

TÜRKİYE İSİ SANTRALI KURUM TÜRME TESİSİNİN İSLAHİ

Sani KOCAYAZ

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Kemal TANER

Makina Yük. Müh.

Şubat 1990

Sani KOYUNCU'nun YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı
"TÜLOKİSAŞ Isı Santrali Kurum Tutma Tesisinin Islahı" başlıklı
bu çalışma, jürimiz ve lisansüstü yönetmeliğinin ilgili madde-
leri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

15.10.21.1990

Üye : Prof. Dr. Kemal TANER

Üye : Y. Doç. Dr. İlker GÜRKAN

Üye : Y. Doç. Dr. Nuri YÜCEL

22. SUBAT 1990

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... gün ve 234/3 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mustafa KAYA

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
RESMİYETLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. HAVA KİRLİLİĞİ	1
1.1. Genel	1
1.2. Havaya Karışan Maddeler ve Kaynakları	2
1.3. Hava Kirliliğinin İnsanlar Üzerindeki Etkisi	5
1.4. Kirlenme ile İlgili Tanımlar	6
1.5. Kirlilik Limitleri	7
1.6. Fosil Yakıtlar İçin Emisyon Faktörleri	10
1.7. Eskişehir İli'nde Hava Kirliliği ve Önleme Çalışmaları	11
2. HAVA KİRLİLENMESİNİN KONTROLÜ	15
2.1. Genel	15
2.2. Yanma Artıklarının Tanımı	15
2.2.1. Yanma artıklarında coğrafi etkenler	16
2.2.2. Yanma artıklarında meteorolojik etkenler ...	16
2.2.3. Yanma artıklarında yakıtların etkisi	17
2.2.3.1. <u>Katı yakacaklar</u>	17
2.2.3.2. <u>Sıvı yakacaklar</u>	19
2.3. Yanma Artıklarının Islahı	25
2.4. Hava Kirliliğinin Kontrolünde Partikül Kontrol Araçları	26
2.5. Kontrol Araçlarının Tasnifi ve Kısa Bilgiler	27

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.5.1. Ağırlık metodları	27
2.5.2. Atalet metodları	28
2.5.3. Filitasyon-süzme metodları	31
2.5.4. Elektrostatik toplayıcılar	32
2.5.5. Termal tutucular	32
2.5.6. Sonik tutucular	32
2.6. Partikül Toplama Araçlarının Karşılaştırılması	33
3. SIKLONLAR	38
3.1. Genel	38
3.2. Siklonların Dizayn Şekilleri	39
3.3. Siklonların Çalışma Mekanizması	41
3.3.1. Girdabın Özellikleri	41
3.3.2. Partiküllerin girdaptan ayrılması	42
3.3.3. Ayrılmış tozların boşaltılması	46
3.4. Siklonların Boyutlandırılması	46
3.5. Siklonlarda Toplama Verimi	52
3.6. Siklonlarda Verim ve Basınç Düşmesi	61
3.7. Siklonlarda Verimliliği ve Basınç Düşümünü Etkileyen Tasarım Faktörleri	63
3.7.1. Siklonun boyut oranlarının etkisi	64
3.7.2. Koninin etkisi	64
3.7.3. Giriş dizaynının etkisi	64
3.7.4. Çıkış kanalı ve etkisi	66
3.7.5. Toz boşaltma dizaynı ve etkisi	67
3.7.6. Pürüzlülüğün etkisi	69
3.7.7. Debi ve hızın etkisi	69
3.7.8. Gazın fiziksel özelliklerinin etkisi	70
3.7.9. Toz parçacıklarının özelliklerinin etkisi ..	71
3.7.10. Toz yükünün etkisi	71
3.7.11. Siklonlarda erezyon	71

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.7.12. Siklonlarda kirlenme	72
3.7.13. Siklonlarda sıcaklık limiti	73
3.8. Siklon Malzemesi	73
3.9. Siklonların Paralel Çalıştırılması	73
3.10. Siklonların Seri Çalıştırılması	75
3.11. Uygun Siklon Seçimi	76
3.12. Siklonların Denenmesi ve Dizaynı	81
3.13. Siklonların Genel Değerlendirilmesi	83
4. TULOMSAS İSİ SANTRALI KURUM TUTMA TESİSİNİN İSLAHI	85
4.1. TULOMSAS Isı Santralının Tanıtımı	85
4.2. TULOMSAS Isı Santralında Kullanılacak Siklon Seçimi	92
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	111
KAYNAKLAR DİZİNİ	113

ÖZET

Bu çalışmada, TÜLOMSAŞ Isı Santrali Kurum Tutma Tesisi'ndeki siklonların ıslahı, yeniden dizaynı ve kullanımını asıl amaç olarak ele alınmıştır.

Ancak amacın gerçekleştirilebilmesi için ilk aşamada hava kirliliği, sebepleri, kirlilik boyutları, özellikle yakıtların oluşturduğu hava kirliliği ele alınmış ve toz tutma metodları kısaca karşılaştırılmıştır.

Toz tutmada kullanılan siklonlar detaylı olarak ele alınmış, özellikle dizaynı, seçimi, kullanımını ve kullanım alanları belirtilmiştir.

TÜLOMSAŞ'da kullanılan Kurum Tutma Tesisi'nin ıslahı için siklon seçimi yapılmış ve çeşitli alternatifler verilmiştir. Ayrıca TÜLOMSAŞ'da mevcut eski ve yeni ısı santralleri hakkında tanıtıcı bilgi verilmiş ve ikisinin karşılaştırılması yapılmıştır.

SUMMARY

In this study; improving, redesigning and utilizing of the cyclons are considered as the main purpose for TULOMSAS Heat plant Soot Restraint System.

However, for reaching the main purpose; the air pollution, causes of pollution, the dimensions of pollution and especially the pollution caused by fossil fuels are discussed and the methods of dust and soot restraining are compared.

The cyclons used for dust restraint are discussed in details and especially design, selection, utilizing and usage areas are given.

For improving the Soot Restraining System of TULOMSAS, the cyclon selection is made and various alternatives are proposed.

In addition to study made above, the old and new Heat Plant of TULOMSAS are explained and compared with each other.

TEŞEKKÜR

Günlük yaşantımızda gittikçe önem kazanan hava kirliliği, özellikle ülkemizde birçok şehirde son beş senede hayatı yaşanmaz hale getirmiştir.

Bu çalışmada da amaç hava kirliliğini önlemektir. TÜLOMSAŞ Isı Santrali'nin yarattığı hava kirliliğini önlemek amacıyla yapılan, ancak istenen verimde çalışmayan Kurum Tutma Tesisi'nin ıslahı ele alınmış ve siklon seçimi yapılarak hava kirliliği önlenmeye çalışılmıştır.

Böyle bir çalışmayı bana ödev olarak veren ve çalışma süresi boyunca yardımlarını esirgemeyen Sayın hocam Prof.Dr.Kemal TANER ve Sayın Yrd.Doç.Dr.Muazzez INCE'ye, ayrıca çalışmanın yapıldığı TÜLOMSAŞ elemanlarından Sayın Mak.Müh.Basri KOSELER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın bundan sonra bu alanda yapılacak çalışmalarda yardımcı kaynak olmasını temenni ederim.

Sani KOYUNCU

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Türkiye'de kömürden çıkan partikül, kükürtdioksit ve karbonmonoksit emisyon miktarları	22
2.2. Türkiye'de petrolden doğan emisyonun bileşenlerine göre toplam miktarları	23
2.3. Türkiye'de kömür ve petrolden doğan kirletici emisyon miktarları mukayesesi	24
2.4. Çöktürme odası	27
2.5. Engel odalarına örnekler	28
2.6. Basit bir siklon örneği	30
2.7. Yüzey çarptırıcı	30
2.8. Duşlu yıkamalı toz toplayıcı	30
2.9. Venturi tip yıkayıcı	30
2.10.Çeşitli tip toz toplayıcılara ait tipik toplama verim eğrileri	36
3.1. Siklonların çeşitli dizayn şekilleri	40
3.2. Partikül toplamada kullanılan teğetsel ve eksenel girişli toplayıcılar	41
3.3. Teğetsel girişli siklonlarda girdap ve anafor akımları	42
3.4. Siklon toplayıcıda gaz akışı	42
3.5. Toz partikülüne etkiyen kuvvet	43
3.6. Bir siklon kesiti	45
3.7. Siklondan parçacıkların ayrılması	47
3.8. Bir siklonun boyutlandırılması	47
3.9. Hesaplamalarda kullanılan boyutları gösteren klasik siklon	50
3.10.Giriş alanının oranı olarak çıkış alanı	53
3.11.Standart siklon tasarımları	54
3.12.Bir siklon kesiti	55
3.13. $\eta_f = F(d_p)$, fonksiyonel verim eğrisi	56
3.14.Dağılım eğrisi	57
3.15.Kümülatif dağılım eğrisi	57
3.16.Genel verim eğrisi	57

GENELİNER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.17. Çeşitli tipteki siklonlar için partikül büyüklüğünün fonksiyonu olarak toplama verimi	59
3.18. Partikül boyutuna bağlı olarak genelleştirilmiş siklon verimi	59
3.19. Giriş hızı 15,2 m/sn, 20°C havada 2000 kg/m ³ katı yoğunluğu olan 200 mm çapındaki siklonların verim eğrileri	61
3.20. Siklonlarda teğetsel giriş tipleri	65
3.21. Çıkış borusu ve kutusu dizaynı örnekleri	66
3.22. Toz boşaltma sistemleri	68
3.23. Vidalı konveyörlü toz boşaltma örneği	68
3.24. Siklon girişlerini paralel düzenleme örnekleri	74
3.25. Tek giriş ve çıkışa sahip paralel siklon düzeniği	75
3.26. Siklon seçiminde kullanılan diyagramlar	80
3.27. Toplam verimi veren diyagram	81
4.1. TÜLOMSAŞ eski ısı santralının şematik yerleşim planı .	88
4.2. TÜLOMSAŞ yeni ısı santralının şematik yerleşim planı..	89
4.3. Eski ısı santralında mevcut kuru tip siklon	90
4.4. Eski ısı santralında mevcut ıslak tip siklon	91
4.5. Tek başına kullanılması düşünülen şematik kuru tip siklon	99
4.6. Tek bir klasik tip kuru siklonun kullanılması durumunda ısı santralının şematik yerleşim planı	100
4.7. Paralel siklon kullanımında boyutları hesaplanan şematik kuru tip siklon	106
4.8. Paralel siklon kullanılması durumunda ısı santralının şematik yerleşim planı	108
4.9. Islak tip siklon dizaynı	109
4.10. Cidarlardan su püskürtmeli ıslak tip siklonun boyutları	110
4.11. Şekil 4.10'da verilen ıslak tip siklona ait su püskürtme nozulları	110

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Görülebilir ve ayırma kimlik boyutları	4
1.2. Durgun havada yaklaşık göçme hızları	5
1.3. KÜL analizi sonucu elde edilebilecek başlıca elementler	9
1.4. Tipik bir ocak emisyonu analizinde elde edilebilecek uçucu kül bileşenleri ve bulunma yüzdeleri	10
1.5. Kömür yakıtlar için kontrol aygıtı olmadığı haldeki emisyon	11
1.6. Eskişehir Köprübaşı mevkinde Ekim 1986-Mart 1987 kış döneminde ölçülen SO ₂ ve partikül düzeyleri	12
2.1. Türk kömürleri ve diğer kömürlerin genel özellikleri..	20
2.2. Türkiye'de kullanılan belli başlı tabii yakıtların yüz- de (%) olarak tasnifi	21
2.3. Kömür yakmalı sistemler için partikül emisyon faktörleri	21
2.4. Partikül toplama cihazlarının bazı çalışma karakteristik- leri	35
2.5. Partikül kontrol cihazlarının genel ve oransal toplama verimleri (Slika partikülleri için)	37
3.1. Siklon verimliliği (%)	58
3.2. Sanayide çeşitli alanlarda toplama verimi	60
3.3. Çeşitli siklonların özellikleri	62
3.4. Basınç düşümü parametresi "K" nın siklon çapı ile deği- şimi	63
3.5. Buzulmuşun verime etkisi	69
3.6. Toz yükü ve hızın erazyon etkisi	72
3.7. Parçacık büyüklüğüne göre fraksiyonel verim (deneysel)	79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler V_0 h, L ρ_p μ d_L \vec{b} ρ_g H_F $R_{1/2}$ V_r $V_n (V_t)$ V_{ro} U_i U_{Rort} U_{Tmax} V_s d_p d_{pmin} d_{krit} d_{50} d_{pc} r r_m Açıklamalar

Parçacığın çöktürme odasına giriş hızı, m/sn

Çöktürme odasının boyutları, m

Parçacığın yoğunluğu, gr/m^3 Gazın dinamik viskozitesi, MS/m^2 Stokes bölgesi için limit parçacık çapı, μm .

Siklonun akışkanın ivmesi

Gazın yoğunluğu, gr/m^3 Akışkan içerisinde hareketi düşünülen herhangi bir cismin hacmi, m^3 Akışkan içerisinde hareketi düşünülen herhangi bir cisme etki eden direnç kuvveti, grf

Akışkanın teğetsel hızı, m/sn

Ortalama teğetsel hız, m/sn

Akışkanın limit hızı, m/sn

Siklon içerisinde gaz hızı, m/sn

Siklon cidarına R kadar uzaklıktaki parçacığın ortalama hızı, m/sn

Maksimum teğetsel hız, m/sn

Siklonun silindirik kısmının hacmi, m^3 Parçacığın çapı, μm Partikülün minimum çapı, μm Kritik partikül çapı, μm Partiküllerin % 50 sine tekabül eden partikül çapı, μm Fonksiyonel veriminin %50'ye tekabül ettiği partikül çapı, μm

Akışın teğetsel yarıçapı, m

Ortalama teğetsel yarıçap, m

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler

Açıklamalar

R	Partikülün siklon girişinde, siklon ekseninden olan ortalama uzaklığı, m
N	Siklon içersinde akışkanın etkin dönme sayısı
b	Siklon giriş eni, m
D	Siklon çapı, m
Q	Birim zamanda siklona giren gaz debisi, m ³ /sn
V	Siklonun hacmi, m ³
H	Siklonun yüksekliği, m
h	Siklonun silindirik kısmının yüksekliği, m
B	Siklon konisi çıkış çapı, m
a	Siklon giriş yüksekliği, m
D _e	Siklon çıkış borusu çapı, m
s	Siklon çıkış borusunun gövde içersinde kalan kısmının yüksekliği, m
$\eta(\eta_f)$	Siklonun toplam (fraksiyonel) verimi, %
η_g	Siklonun genel toplama verimi, %
z	Siklon sayısı, adet
V _g	Gazın hızı, m/sn
P	Gazın basıncı, atmosfer
T	Gazın sıcaklığı, K
U _H /U _i	Siklon içersindeki gazın akışının Reynolds sayısı
t _d	Başlangıçta cidara x uzaklıktaki parçacığın cidara varma süresi, sn
t	Parçacığın siklonda kalma süresi, sn
M _p	Partikülün kütlesi, gr
V _p	Partikülün hacmi, m ³
F	Stokes kanununa göre direnç kuvveti, grf
F _r	Santrifüj kuvvet, grf
F _D	Sürüklenme kuvveti, grf
ρ	Sürtünme faktörü

SİNGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devamı)

Singeler

Açıklamalar

ΔP	Basınç düşümü, mmSS
ΔP_T	Temiz havada oluşabilecek basınç düşümü, mmSS
$\Delta P_{\text{gerçek}}$	Gerçek basınç düşümü, mmSS
$\Delta P_{1,2}$	1 ve 2 şartlarında basınç düşümü, mmSS
$P_{1,2}$	1 ve 2 şartlarındaki basınç, mmSS
$T_{1,2}$	1 ve 2 şartlarındaki gaz sıcaklığı, K
$\rho_{1,2}$	1 ve 2 şartlarındaki gazın yoğunluğu, gr/m ³
$\phi_{1,2}$	1 ve 2 şartlarındaki gaz debisi,
ϕ_1	Paralel çalıştırılan siklonlarda bir debinin karşılayacağı debi, m ³ /sn
$\eta_{a,b}$	a ve b şartlarındaki siklonun toplama verimi, %
$m_{a,b}$	a ve b şartlarındaki gazın dinamik vizkozitesi
$\rho_{a,b}$	a ve b şartlarındaki gazın yoğunluğu, gr/m ³
C	Toz yükü, gr/m ³
$C_{a,b}$	a ve b şartlarında toz yükü, gr/m ³
C_g	Girişteki toz yükü, gr/m ³
C_c	Çıkıştaki toz yükü, gr/m ³
η_1, η_2	Seri olarak çalıştırılan iki siklonun toplama verimi, %
η_T	Leith ve Lich'te göre toplama verimi, %
n	Hava fazlalık katsayısı
V_{go}	Teorik özgül duman miktarı, Nm ³ /kg
V_g	Gerçek özgül duman miktarı, Nm ³ /kg
V_{gT}	Normal duman gazı debisi, Nm ³ /h

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler

V_G

d_G

Açıklamalar

Duman gazı debisi, m^3/h

Dairesel olarak baca çıkış kesiti, cm.

Kısaltmalar

MAK

MEK

MİK

ASME

ASTM

TÜLOMSAŞ

Açıklamalar

Maksimum iş yeri atmosferi konsantrasyonu

Maksimum emisyon konsantrasyonu

Maksimum çevre atmosferi konsantrasyonu

American Society of Mechanical Engineers

American Society of Testing and Materials

Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayi Anonim Şirketi.

B Ö L Ü M : 1

HAVA KİRLİLİĞİ

1.1. Genel

Enerji dönüştürme, üretim, nakliyat gibi olayların sonunda bir takım artıklar ve fazlalıklar oluşmaktadır. Bu fazlalıklar çevrenin doğal yapısını bozmakta, insan yaşamını olumsuz yönde etkilenmektedir. Artıklar ve artıklardan oluşan çürüme, birikme, bir yüzeyi kaplama gibi olayların tümü "Çevre Kirliliği" diye adlandırılmaktadır. Çevre kirliliğini oluşturan kirliliklerin başında hava kirliliği gelmektedir.

Genel anlamda hava kirlenmesi; insan, bitki, hayvan veya madde üzerinde zarar verebilen veya rahat yaşam şeklini ve maddeyi aşırı derecede etkileyen kum, toz, kurum, is, duman, buğu, tütsü, sis, pus, buhar, gaz veya koku gibi bileşenlerin miktar, karakteristik ve süre olarak çevre atmosferindeki varlığı olarak tanımlanabilir. Bu tanım içerisindeki bütün bileşenlerin belirli oran ve sürede etkinlikleri mevcuttur. Ancak, sürekli ve artan bir şekilde hava kirlenmesinde rol oynayan fosil yakıt yanmaları sonunda, atmosfere atılan artıklar özel bir öneme sahiptirler. Bugün dünyamızın enerji ihtiyacı genellikle (yaklaşık %80) fosil yakıtlar dediğimiz petrol ve kömürden temin edilmektedir. İşte bu fosil yakıtların uygun şartlarda yakılmaması nedeniyle yanma sonucunda istenmeyen kirletici bileşenler oluşmakta ve atmosfere atılmaktadır. Bu bileşenler; benzin motorlarında değişik işletme şartlarına bağlı olarak karbonmonoksit, yanmamış hidrokarbonlar, azotoksit, dizel motorlarında azotoksit ve partikül emisyonu, mesken ısıtmalarında, endüstriyel işletmelerde, bazı taşımacılık kolları ve güç santrallerinde kükürt ve partikül emisyonu şeklinde olmaktadır.

Bugün kirli havanın insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri ve alınması gereken önlemler açıkça bilinmektedir. Ancak bu bilinenler yaygın bir anlayış haline getirilmediğinden gerekli önlemler yeterince alınmamaktadır.

1.2. Havayı Kirleten Maddeler ve Kaynakları

Taşıtlar, güç santralleri, endüstriyel kuruluşlar ve meskenlerde katı yakıtların yakılması ve diğer kaynaklardan oluşan kirleticilerin önemli olanları altı grupta toplanabilir. Bunlar karbon oksitleri, azot oksitleri, kükürtlü bileşenler, hidrokarbonlar, aldehitler ve partiküllerdir. Bunların ürünlerini sırasıyla inceleyecek olursak;

a) Azot Oksit: Sis bulutunun oluşmasına neden olan bileşenlerden biridir. Hemoglobinle birleşme eğilimi yüksek olduğundan kandaki konsantrasyonu yükselterek zehirlenmeye neden olur.

b) Azotdioksit: Ciğerlerde nem ile birlikte HNO_3 meydana getirir ve akciğer ödemine sebep olur. Bitkilerde ise büyüme gecikmesi ve yaprak beyazlaşmasına neden olur.

c) İS: Tahriş etkisine sahiptir. Diğer tahriş maddeleri asit ve aldehitlerde olduğu gibi solunum organlarına kaplayan salgıda çözülür ve ince parçacıklara ayrılır. Bu şekilde rahatlıkla solunum yollarında ilerleyebilir. Sonuç olarak kronik bronşit, astım ve dokuz altı arızalarına yol açar. Bitkilerin alt yüzeyi bronzlaşır ve büyümeleri gecikir.

d) Kükürtdioksit: Hoş olmayan kokusu vardır. Gözleri rahatsız eder, havada sülfürik aside dönüşerek solunum yolları ve akciğerlerde çeşitli araz ve tahrişlere sebep olur. Bitkilerde ise, hafif oranda beyazlaşmaya sebep olur, yüksek oranda ise damarlı yaprakları dumura uğratar.

e) Partiküller: Gaz içersinde asılı duran, özellikle süngerimsi yapıdaki katı zerreciklerdir. Partiküller için özel fizik kanunları uygulanır (Stokes Kanunu gibi).

Parçacıkların, küçük olanlarının büyük olanlara nazaran gaz içersinde kalma süreleri fazladır.

Partiküllerin insan sağlığı üzerindeki etkileriyle ilgili istatistikî bilgilere göre havadaki partikül sayısı 4 kat arttığında normal ölüm nispeti 2 katına çıkmakta, bronşit ve astım ölümlerinde ise

3 kat olmaktadır. Boğaz kanserinde ise aynı artışlar gözlenmektedir.

Ülkemizde kirletici kaynaklar arasında termik santraller önemli yer tutmakta, fuel-oil ve kömür yanmasından oluşan kükürtdioksit ve partikül emisyonu bileşenleri en büyük emisyon miktarını oluşturmaktadır.

Havada bulunan partiküller 0,01 μm kadar küçük olabileceği gibi 1000 μm , hatta daha büyük boyutlarda olabilirler. Örneğin; 3 m/sn' nin biraz üzerindeki hızlarda kireç taşı tuzları veya ağır döküm tozları ihtiva eden termal akımlar içinde parçacıklar ortamda asılı kalacaklardır. Fakat çoğunluk 1000 μm den daha küçük boyutlardadır. 10 μm den büyük partiküller çıplak gözle görülebilirler. 0,2-10 μm arasındaki partiküller ise normal bir mikroskopla görülebilirler. Havada daha küçük partiküller bulunabilir. Örneğin en küçük bakteriyel virüsler ve doğal aerosolların en küçük partikülleri Tablo 1.1' de gösterilmiştir.

Genel olarak havayı kirleten maddelerin %90'ını 0,1 ve 10 μm arasındadır. Fakat bu yüzde ve partikül konsantrasyonu önemli oranda yerel çevreye bağlıdır.

Atmosfer içerisindeki partiküllere genelde uygulanabilecek tipik çökme hızları Tablo 1.2'de verilmiştir. Partikül çok küçük olduğunda çökme hızı öyle yavaşlar ki, bir bakıma sürekli havada askıdadır. Bu etki taşıyıcıyı akışkandaki moleküllerin Brownian hareketleri yüzünden daha da artar. Böylece pratik amaçlar için 1 μm den daha küçük partiküllerin sakin havada sürekli askıda kalacaklarını söyleyebiliriz.

Eğer havada hareketli ise ve türbülans varsa çok daha büyük partiküllerde havada kalabilir. Böylece taşıyıcı akışkan olarak havayı alırsak 10 μm 'ye kadar olan partiküllerin hispeten hafif veya hareketlerinde kolaylıkla askıda kalabileceğini, halbuki 100 μm 'ye varan partiküller ancak kuvvetli dikey hava hızları (örneğin 0,3048 m/sn) olduğu hallerde havada kalabilir. Bacadan çıkan gazlar buna bir örnektir.

Tablo 1.1. Tipik kirlilik boyut aralıkları (12).

PARTİKÜL BOYUTU μm	0.001	0.005	0.01	0.05	0.1	0.5	1	2	3	4	5	10	20	30	40	50	100
BİNALARDAKİ TOZLAR																	
DUMANLAR																	
ENDÜSTRİYEL GAZLAR																	
KETEN LİFİ																	
METALURJİ DUMANLAR VE TOZLAR																	
DÖKÜM OCAĞI TOZLARI																	
DUMAN + SİS																	
SİS																	
KURU KÜL																	
YAĞ DUMANI																	
KAYNAK DUMANI																	
ÇİMENTO TOZU																	
KURUM																	
BÖCEK İLACI TOZLARI																	
ÖĞÜTÜLMÜŞ TALK																	

Tablo 1.2. Durgun havada yaklaşık çökelme hızları (özgül ağırlığı 1 gr/cm³ olan küresel partiküller için) (12).

Partikül boyutu m	Çökelme hızı m/dak.
1.000	245
600	133
500	150
400	137
300	122
200	75
100	18
90	14,5
80	11,5
70	9,0
60	6,5
50	4,5
40	3,0
30	1,6
20	0,7
10	0,2
5	0,045
1	0,0018
0,1	0,000018

1.3. Hava Kirliliğinin İnsanlar Üzerindeki Etkisi

Ortalama olarak bir insan her gün yaklaşık 12,5 m³ veya 16 kg hava teneffüs eder. Normal atmosferik hava genelde temiz değildir. Fakat toz partiküllerinin gerçek konsantrasyonu 28,41 m³ te 2,29mgr dan daha az olabilir. Bu değer endüstriyel çevrelerde 6,37-11,45 mgr/lt ve ağır derecede kirli atmosferlerde, örneğin çimento işleri, taş ocakları, dökümhaneler, maden ocakları ve ağır endüstri tesislerinde bu değerden çok daha yüksek olabilir.

İçinde zararlı maddelerin de bulunabileceği kirli havayı solumak yaygın bir hastalanma sebebi olup, grip, anfizem, baş ağrısı,

göz hastalıkları, öksürük, baş dönmesi ve kanda zararlı maddelerin birikmesi gibi hastalıkların oluşmasına neden olur.

Burunla yapılan solunumda çapı 4-6 μm üzerinde olan bütün partiküller burun kılıkları tarafından tutulur. 1 ile 5 μm çapındaki partiküller bronşiyellerde (hava keseciklerine girmeden) tutulur. 1 μm den küçük partiküller ise solunum ile hava keseciklerine gider ve solunum ile dışarı atılır.

İnsan normal yaşamında soluk alırken havanın çoğunu burundan alır. Bu oran kışın %90 burundan gerçekleşir. Fakat kış günleri insanların genellikle nezle hali göstermeleri dolayısıyla burun mukozası şişer ve solunumun tamamı ağızdan yapılır. Yani büyük partiküllerde solunmuş olur. Ağız ve burun yoluyla vücuda giren bu kirli maddeler nefes yollarında birikir. Birikimin başlama anlarında vücut bu maddeleri öksürük ve benzeri yollarla dışarı atar. Fakat kirli havanın sürekli solunması hallerinde fizyolojik ayar mekanizması çalışmaz hale gelir. Sonuç olarak bronşların çalışması bozulur. Ciğerlerde alveoli tıkanıklığı meydana gelir. Buda ciğerlerin sirkülasyon mekanizmasını etkileyip akciğer hastalıklarına yol açar.

1.4. Kirlenme ile İlgili Tanımlar

Kirlenme olayının anlaşılabilmesi için bazı kavramların bilinmesi gerekir. Ancak bu şekilde olayın daha kolay kavranması mümkün olur. Bu tanımların bazıları şunlardır:

a) Kirletici Bileşen: Su buharı hariç havanın tabii yapısında bulunmayan her cins maddedir.

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

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

d) İversiyon: Atmosferde az veya çok kalın bir tabaka içersinde sıcaklığın yükseklikle azalmaya başlamasının tersine sıcaklığın

artması veya sabit kalması halidir.

Atmosfere atılan kirletici bileşen konsantrasyonları üç yerde ölçülebilir.

1. Kirletici üreten kaynağın egzost veya bacasında,
2. İş yeri, büro ve mesken atmosferinde,
3. Çevre havasında.

Bu yerlerde ölçülen kirletici konsantrasyonlarının maksimum değerleri şu tariflerle tanımlanır:

a) MEK Değeri: "Maksimum Emisyon Konsantrasyonu" demektir. Kirletici kaynağın egzost veya bacasındaki konsantrasyonu gösterir. Konsantrasyon birimi olarak gazlar için "ppm (part per million, milyonda bir) ppb (part per billion, milyarda bir), ve toz, duman, sis gibi maddeler için mg/m^3 , kg/ton yakıt, $kg/kcal$ olarak tanımlanır.

b) MAK Değeri: "Maksimum İş Yeri Konsantrasyonu" demektir. İş yerinde, büro, mesken gibi yerlerde sağlığa zarar vermeyecek gaz, buhar ve toz zerrecikleri konsantrasyonudur. Genellikle günlük (8 saat) olarak tariflenir.

$20^{\circ}C$ ve 760 mmHg şartlarında tariflenen MAK değerleri gaz ve buhar için ppm, toz ve süspansiyonlar için mg/m^3 veya $\mu m/m^3$ olarak verilir.

c) MİK Değeri: "Maksimum Emisyon Konsantrasyonu" demektir. Atmosferin yüzüne 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 değerlerinin 5'i mertebesinde ve kısa süreler için ise MEK değerinin üç katı olarak alınabilir.

1.5. Kirlilik Limitleri

Birçok kirletici kaynaklar ve bunların ürünü farklı sayıda kirletici bileşenleri bulunmaktadır. Bu kirletici kaynaklardan biride fosil yakıtların kullanımı ile oluşmaktadır. Fosil yakıtların

geniş kullanım alanlarına sahip olması ve gittikçe yaygın hale gelmesi bunların en önemli kirletici kaynaklarından biri olmasına sağlamıştır.

Fosil yakıtların herbiri önemli bir kirletici olmakla birlikte, özellikle kömürler daha büyük etkiye sahiptirler. Özellikle Türkiye'de parçacık kirlenmesinin %30 ve daha fazlası kömür kullanımı ile olmaktadır. Kaliteli kömürlerin ülkemizde az ve pahalı olması, çoğunlukla özel amaçlar için kullanılması ve ekonomik nedenlerle kalitesiz kömür kullanımını artmaktadır. Kalitesiz kömürlerin yüksek oranda kül ve nem içermeleri kirlenme vasıflarını arttırmaktadır. Bunun yanında elle yükleme yapılarak yakılması emisyonun daha da artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle emisyonu azaltıcı optimum gözömlere gidilmesi ve gerekirse bunun için kanuni kısıtlamaların getirilmesi gerekir.

Ülkemizde kullanılan kömürlerin genel özellikleri aşağıdaki gibidir.

a) Taş Kömürleri:

Kül oranları %12-15 arasındadır.

b) Kaliteli Linyit Kömürleri:

Kül oranları %9-12, nem oranları %12-15, alt ısıl değerleri 5000-5250 kcal/kg civarındadır.

c) Normal Linyit Kömürleri:

Kül oranları %10-40, nem oranları %8-40, alt ısıl değerleri 2400-4200 kcal/kg civarındadır.

d) Kalitesiz Linyit Kömürleri:

Kül oranları %20-60, alt ısıl değerleri 2400 kcal/kg'in altındadır.

Kömürlerin yakılması sonucu oluşan uçucu ve uçucu olmayan kül-ler homojen bir madde olmayıp bir çok element ve bu elementlerin oluştuğu oksitlerden meydana gelir. Yapılan analizlere göre genel olarak kömürlerde bulunabilecek elementler ve bunların durumları Tablo 1.3'de verilmiştir.

Tablo 1.3. Kül analizi sonucu elde edilebilecek başlıca elementler (1).

Külde bulunabilecek başlıca elementler				
Al	Ba	Ca	Co	Bu
Fe	Ef	Rb	La	Sm
Mn	Na	Tn	Si	Pb
Sr	Ta	Ni	Ti	Ga
Zr	Cu	Cd	Mo	Cl
Se	As	Zn	Br	Y
Sb	Sn	Hg	Hg	V
C	P	K	U	
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	

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 1.4'de gösterilmiştir.

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

Tablo 1.4. Tipik bir ocak emisyonu analizinde elde edilebilecek uçucu kül bileşenleri ve bulunma yüzdeleri (1).

Bileşen	Sembol	Oran
Karbon	C	0,37-36,20
Demir	Fe_2O_3 , Fe_3O_4	2,00-26,80
Magnezyum	MgO	0,06-4,7
Kalsiyum	CaO	0,12-14,73
Alüminyum	Al_2O_3	9,81-58,40
Sülfür	SO_3	0,12-24,33
Titanyum	TiO_2	0,00-0,80
Karbonat	CO_3	0,00-2,60
Silis	SiO_2	17,30-63,60
Fosfor	P_2O_3	0,07-47,20
Potasyum	K_2O	2,80-3,00
Sodyum	Na_2O	0,20-0,90
Diğerleri	-	0,80-18,90

1.6. Fosil Yakıtlar İçin Emisyon Faktörleri

Fosil yakıtların kullanılma amacı ve sistem büyüklüğüne bağlı olarak değişik metodlarla yakılmaktadırlar. Yakıtın yakılma şekline bağlı olarak emisyon oranları ve kül granulometrileri değişmektedir. Kömür yakıtların elle yüklenerek ateşlenmesi sonucu gaz akımı düşey olmakta, kömür konması ve alınması işlemleri sonucu küller küçülmekte ve emisyon miktarları artmaktadır. Mekanik yüklemeli sistemler ise daha az kül ve daha kaba kül granulometrisi vermektedir. Çeşitli ateşleme sistemlerinde oluşan emisyonlar ve kül granulometrileri incelenerek bu sistemleri karakterize eden ortalama emisyon faktörleri ve kül granulometrileri elde edilmiştir. ASME tarafından verilen bu faktörler Tablo 1.5'de verilmiştir. Burada verilen emisyon faktörlerinden elle ateşlemeli sisteme ait olanın emisyon faktörü olarak kullanılması tavsiye edilmektedir.

Tablo 1.5. Kömür yakıtlar için kontrol aygıtlı olmadıkları haldeki emisyon (1),

Parçacık çapı (mikron)	Ateşleme Sistemi				
	Pülverize	Siklon	El ile	Yayıncı Stokerli	Diğer Stokerli
	Emisyon Faktörleri (kg/ton yakıt)				
	7;3 . A	0,91 . A	9. A	6. A	2,3 . A
	Uçucu Kül Granulometrisi				
+ 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

Ancak burada bu tip ateşleme sistemi için bir filur verilmektedir. Görüldüğü gibi burada fuel-oil için emisyon faktörü verilmemiştir. Mesken, genel hizmet binaları ve endüstriyel uygulamalarda fuel-oil için parçacık emisyon faktörü olarak 3kg uçucu kül/ton fuel-oil olarak verilmiştir.

1.7. Eskişehir İlinde Hava Kirliliği ve Önleme Çalışmaları

Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğünce hazırlanan ve 2 Kasım 1986 gün ve 19269 Sayılı Resmî Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinde "kış aylarında, binaların ısıtılmasıyla ortaya çıkabilen hava kirlenmelerine yol açan hava kirleneticiler için Ekim-Mart ayları arasında yerleşim bölgelerinde yapılan ölçümlerin ortalamaları, aşılması gereken kış sezonu ortalaması uzun vadeli sınır değerleri ile mukayese edilirdi" denilmektedir.

Kirletici Maddeler

Kükürtdioksit

Kış sezonu ortalaması sınır değerleri

250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Havada asılı partikül madde

200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Yine aynı yönetmelikte kısa vadeli sınır değerleri olarak, maksimum günlük ortalama değerlerinin SO_2 için m^3 de 400 μg geçmemesi istenmektedir. Sağlık Bakanlığınce Köprübaşı mevkiinde 1986-1987 yılları Ekim-Mart kış aylarında yapılan SO_2 ve partikül ölçümleri Tablo 1.6'da verilmiştir.

Bu durumda Eskişehir'de Ekim 1986-Mart 1987 kış döneminde yapılan ölçümlerde SO_2 düzeyinin Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliğinde verilen sınırların üzerine çıktığı, partikül değerinin ise sınırın altında kaldığı anlaşılmaktadır. Bu arada yine aynı yönetmelikte SO_2 için kısa vadeli sınır değeri olarak verilen 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ limitinin Aralık 1986 ayında 11 gün, Ocak 1987 ayında 14 gün ve Şubat 1987 ayında 4 gün süre ile aşıldığı günlük ölçüm sonuçlarının tek tek değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu durum hızlı ve düzensiz kentleşme, endüstri için uygun olmayan yer seçimi, bölgenin topografyası, kış aylarında çıkan kararlı hava şartları ve özellikle düşük kaliteli yakıt kullanımı gibi nedenlerle Eskişehir'de zaman zaman insanları rahatsız edici ve sağladığı etkileyici boyutlarda bir hava kirliliğinin oluştuğunu göstermektedir.

Tablo 1.6. Eskişehir-Köprübaşı mevkiinde Ekim 1986-Mart 1987 kış döneminde ölçülen SO_2 ve partikül düzeyleri (Aylık ortalama $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (7).

Tarih	SO_2	Partikül
Ekim - 1986	59	29
Kasım- 1986	140	77
Aralık-1986	356	156
Ocak - 1987	390	144
Şubat- 1987	318	100
Mart - 1987	289	101
Ortalama	259	101

Renksiz, kokusuz ve havadan hafif olan doğal gaz başlıca metan, etan ve propandan oluşur. Atmosferik basınç altında -160°C 'de sıvılaştıran doğal gaz, gaz olarak borularla taşınabileceği gibi sıvı olarakta deniz ve kara tankerleri ile uzun mesafelere nakledilebilir. Isıl değeri 8788 kcal/m^3 olan doğal gazın kükürt bileşikleri arındırıldığı için temiz bir gaz olması yanında kül ve partikül bırakmaması nedeniyle hava kirliliğinin önlenmesinde yüksek kaliteli bir yakıt olarak kullanıldığı bilinmektedir. Botaş temsilcisi Tümer tarafından Anadolu Üniversitesi'nde verilen Doğal Gaz Konferansı notlarında Hamidabat doğal gazında %0,7 azot bulunmasına karşın Sovyet doğal gazında %3,2 oranında azot olduğu kaydedilmektedir. Eskişehir'de doğal gaz şebekesinin 1995 yılında tamamlanması halinde yılda $189 \times 10^6 \text{ m}^3$ doğal gazın kullanılacağı hesaplanmaktadır. Bu durumda Sovyet doğal gazının yüksek sıcaklıkta yakılması sonucu ($\text{O} + \text{N}_2 \longrightarrow \text{NO} + \text{N}$) yılda yaklaşık olarak 8000 ton nitrik oksit ve onunda atmosferde kolayca oksitlenmesi sonucu ($2\text{NO} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}_2$) 12000 ton/yıl azotdioksit oluşması söz konusudur. Bu durumda SO_2 ve partikül yönünden bir çevre sorunu yaratmayan Sovyet doğal gazının ihtiva ettiği bilinen azot derişimi nedeniyle azotoksitleri açısından bir miktar hava kirliliğine yol açması mümkündür. Bu nedenle özellikle kış aylarında ısınma amacıyla kullanılacak doğal gaz seçiminde azot derişimi düşük olanın tercih edilmesi gerekir (Oruç, N. 1984).

Eskişehir'deki hava kirliliğinin ulaştığı boyutlar dikkate alındığında kükürdü alınmış ve azot miktarı çok düşük doğal gazın kullanılmasının sağlayacağı faydalar ortadadır. Sovyetler Birliği'nden doğal gaz ithalatının gerçekleşmesi ve Ankara'ya kadar uzanacak gaz boru hattının Eskişehir'den geçmesi nedeniyle bu gazın Eskişehir'de konut ve sanayide kullanılmasına ilişkin çalışmalar 1985 yılında valilikçe başlatılmış ve Sanayi ve Ticaret İl Müdürlüğü'nce gerekli ön rapor hazırlanmıştır. Bu raporda doğal gaz şebeke yatırımının 67,7 milyon ABD doları olmasına karşın azami yıllık taşıma miktarının $189,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak ön görülmesi nedeniyle gazın Eskişehir'deki yalnızca dağıtım maliyetinin 1000 m^3 doğal gaz için 48,73 ABD doları gibi oldukça yüksek bir değerde çıktığı belirtilmekte ve bu şartlarda doğal gazın öncelikle kömürle fiyat açısından rekabet edemeyeceği ileri sürülmektedir. Botaş'ın gaz alımı fiyatı ve tüketicilere do-

ğal gaz satış politikası henüz belirlenemediğinden Eskişehir'deki tüketicilerin doğal gazı alış fiyatı bilinmemektedir. Son olarak Eskişehir İl merkezi, mücavir alan sınırları içerisinde doğal gaz kullanım etüdü müşavir Danimarka Naturgas firmasına yaptırılmış ve çalışma sonucunda Botaş tarafından hazırlanan fizibilite raporu DPT müşteşarlığına sunulmuştur (Oruç, N. 1984).

B Ö L Ü M : 2

HAVA KİRLENMESİNİN KONTROLU

2.1. 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, amaca uygun olarak şekil kazanmakta kendi içinde çeşitlilik göstermektedir. Hava kalitesinin iyileştirilmesi onun sürekli olarak kontrolunu göstermektedir. Gerek kirlenme gerekse diğer amaçlar için kullanılan kontrol araçlarının bilinmesi, optimum gözümün sağlanması açısından gereklidir.

Bu bölümde öncelikle kontrol araçlarını ele almadan yanma ve yakıtları ele alarak, bunların hava kirlenmesinin kontrolundaki etkisini bilmek gerekir.

2.2. Yanma Artıklarının Tanımı

Yakıtın yanması sonucunda bacadan atılan çevre ve insan sağlığı için zararlı olan yanma artıklarını genel olarak aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- a. Uçucu kül ve partiküller
- b. Yanmamış veya yarı yanmış karbon partikülleri
- c. Sülfürdioksit gazı
- d. Nitrojen oksitleri

Bu yanma artıklarının miktar ve özellikleri yakıtın cinsine, özelliklerine, yanmanın şekline bağlı olarak yanma sonucunda ortaya çıkarlar. İstenmeyen yanma artıklarını azaltmak veya en aza indirmek için iki temel yol izlenir.

1. Filtre kullanımı,
2. Yanmanın ıslahı.

Yanma artıklarında doğanın coğrafik ve meteorolojik durumlarının etkisi büyüktür. Bunları yanma artıklarınının açığa kavuşması için kısaca açıklayalım.

2.2.1. Yanma artıklarında coğrafik etkenler

Hava kirliliğinin bir endüstri bölgesinde veya yerleşme bölgesinde etkisini hissettirmesi, herşeyden önce o bölgenin coğrafi durumuna ve topografyasına bağlıdır.

Bilindiği gibi bir bölgede hava kirlenmesi probleminin mevcut olabilmesi için, kirletici unsurların havada belirli bir miktarda birikmesi gerekmektedir. Genellikle binaların ısıtılması, motorlu vasıtalar ve sanayi kuruluşları vasıtası ile havaya atılan kirletici maddelerin belirli oranlarda birikebilmeleri ise, o bölgedeki mevcut hava akımlarının elverişlilik durumuna bağlıdır.

Hava akımlarını doğuran en etkili sebep bölgenin coğrafi yapısıdır. Arazinin kapalı vadi veya çanak şeklinde, etrafının kapalı olması durumunda hava akımları hissedilir derecede azalacaktır. Bu azalma ise kirli havanın dağılmasına yeterli olmayacağından, problem doğal olarak kendini hissettirecektir.

Bu nedenle, böyle yapılara sahip bölgelerin büyük yerleşme merkezleri veya geniş endüstri sahaları olarak düşünülmemesi, gerek şehircilik gerekse sanayi yönünden hava kirlenmesi problemi açısından oldukça önemlidir.

2.2.2. Yanma artıklarında meteorolojik etkenler

Bölgenin meteorolojik etkenlere karşı olan bağlılığı hava kirlenmesinde etken bir faktördür. Rüzgar (yön ve hıza bağlı olarak) yağış, sis ve sıcaklık değişimleri gibi etkenlerden oluşan meteorolojik faktörlerin mevsimlere göre değişmesi o bölgede hava kirlenmesi problemi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Bacalar, oto egzostları gibi kaynaklardan havaya atılmış bulunan kirleticiler, hava hareketleri ile havada yayılmakta ve bu yayılma esnasında ise konsantrasyonları da gittikçe düşmektedir. İri durumda olan tanecikler yerçekimi kuvveti yardımı ile yere düşmekte ve hava tabakasından ayrılmaktadır. Bu ayrılan tanecikler, rüzgarın

lız ve doğrultusuna bağılı olarak belirlenemeyen yerlere taşınmaktadır. Bu şartlar altında yere inen taneciklerin çapı genellikle 20 μm civarındadır. Taneciklerin çoğu yere inerse de çapı 5 μm 'den küçük olanlar çökmeyip havada asılı kalırlar.

Yukarı tabakalarda rüzgar hızları çok daha yüksek olduğundan düşey dağılmayı sağlayıcı türbülans odacıkları daha önemlidir. Bunun aksine, şartlar düşey doğrultuda dağılmayı önleyici şekilde ise, kirleticilerin havadaki konsantrasyonlarının tehlikeli değerlere çıkması beklenebilir.

Sıcaklık değişimi su buharı ile doymuş bir havada daha kolaylıkla meydana gelir. Doymuş bir havada sıcaklık düşümü genellikle 100 metrede 1°C civarındadır. Böyle bir duruma kararlı durum adı verilir. Bu durumda çalkantı ve dağılım sadece mekanik kaynaklıdır.

Yağışlar, sis ve sıcaklık değişimleri ikinci derecede meteorolojik faktörler grubuna girerler. Düşen yağmur damlaları çapları 1 μm den büyük olan tozları toplayarak, gaz ve buharları çözerak yeryüzüne indirilirler.

2.2.3. Yanma artıklarında yakıtların etkisi

Bö bölümde katı ve sıvı yakacakların hava kirliliği üzerindeki etkisi alınacaktır.

2.2.3.1. Katı yakacaklar

Halen ülkemizde yakacak olarak endüstride veya halk tarafından ısınma vasıtası olarak kullanılan katı yakıtların üç ana grupta toplanmak mümkündür.

- Linyit kömürü
- Taş kömürü
- Kok kömürü

Bunlardan linyit ve taş kömürü tabii yakıttır. Kok kömürü ise işlem sonucu olan bir kömürdür. Bu nedenle kok kömürü bünyesini nispeten ayarlayabilmemiz mümkün olabilmektedir. Bunlarla beraber linyit kömürü temininin kolaylığı nedeniyle gerek endüstride gerekse ısıtma maksadı nedeniyle meskenlerde en çok kullanılan bir yakıttır. Şüphesiz kullanımındaki bu aşırılık, hava kirlenmesi konusun-

daki bütün ağırlığın kendi üzerine sevkedilmesine neden olmuştur.

Tan yanmaya uğrayan bir kömür cinsi, kirlenme yönünden aşırı bir problem oluşturmaz. Esas tehlike eksik yanma esnasında meydana gelen ve genellikle bacalar vasıtasıyla atmosfere terk edilen kül, kurum, karbon oksitleri, SO_2 , SO_3 , azot oksitleri, doymamış hidrokarbonlar, aldehitler ve bazı aromatik bileşikler gibi zararlı yanma artıklarıdır.

Bu yanma artıklarının limit değerleri sağlık açısından çeşitli ölçümlerle sınırlandırılmıştır. Ancak yanma durumuna bağlı olarak, bazı durumlarda bu limit miktarları geçen kirleticiler havada süzen partiküller, kimyevi gazlar ve karışık bulutlar meydana getirerek, insan sağlığını tehdit ederler.

Özellikle is, kurum ve diğer partiküllerle, karbonmonoksit, kükürt dioksit ve kükürt trioksit hava kirlenmesi konusunda ön sıraları işgal eden en tehlikeli kirleticilerdir. Bunların dışında gene yanma ürünleri olan 3-4 Benzopyren'de genellikle en önemli kanserojen sayılmaktadırlar.

Hava kirlenmesinde ana problemi teşkil eden hususlar duman ve SO_2 gazlarıdır. Bu her iki kirleticide, katı yakıtların yanması esnasında aşırı derecede havaya atılmaktadır. İşte bu yakıtların, ısıtma v.s. amaçlar için kullanılmasına birinci derecede karşı koyan hususlar bu kirleticilerdir. Yapılan incelemelerden çıkarılan sonuçlara göre, duman adını verdiğimiz karbon zerrecikleri ve uçucu kül zerreciklerinin, insan sağlığı yönünden aşırı tehlikeleri mevcut değildir. Esas tehlike, kükürt gazlarının yüzey aktivitesi çok olan bu karbon zerreciklerinin üzerine yapışmasından doğmaktadır. Zira, gene bir yanma ürünü olan su buharının da aynı şekilde karbon zerrecikleri üzerine yapışacağı düşünülürse zerre üzerinde;



gereğince bir sülfürik asit tabakasının meydana gelebilmesi durumu kolaylıkla anlaşılabilir. Akciğer dokusu için esas tehlike sülfürik asit tabakası ile kaplı olan karbon zerrecikleridir.

Katı ve sıvı yakıtları, yakıt tesisleri yönünden ayıran en önemli fark işte bu asit kaplı taneciklerin teşekkül durumudur. Zira

yakıtlar belirli limitler dahilinde kükürtlü gazlar atmalarına rağmen, is (karbon) zerreleri atmadıkları veya çok az attıkları için insan sağlığı yönünden aşırı bir tehlikeleri yoktur. Hatta, duman-sız yakılmaları halinde (tam yanma), havayı nispeten temiz dahi tutabilirler.

Ülkemizde özellikle kullanılmakta olan linyit kömürleri, yakılmaları çok zor olan ve aynı zamanda uçucu kül miktarları ile kükürt miktarları, ısı değerlerine göre çok yüksek olan kömürlerdir. Ortalama uçucu kül miktarları %40 civarındadır. Üstelik kükürt miktarları da;

Değirmisaz linyitleri	: % 5
Tunçbilek linyitleri	: %15
Soma linyitleri	: %15
Seyitömer linyitleri	: % 2

gibi oldukça yüksek sayılabilecek mertebededir. Bu linyitlerin ısı değerleride sırası ile 8000, 7000, 6000 ve 6000 kcal/kg dır. Bu durumda 1×10^6 kcal miktarında bir ısı jenerasyonu için yukarıdaki sıraya göre 6.25; 2.15; 2.50 ve 3.35 kg kükürdün atmosfere atılması gerekmektedir. Buda insan sağlığı yönünden oldukça tehlikeli bir durum arz eder.

Tablo 2.1'de Türk kömürleri ve diğer kömürlerin genel özellikleri, Tablo 2.2'de Türkiye'de kullanılan belli başlı tabii yakıtların yüzde olarak tasnifi, Şekil 2.1'de de Türkiye'de kömürden çıkan partikül, kükürt dioksit ve karbonmonoksit emisyon miktarları verilmiştir.

2.2.3.2. Sıvı yakacaklar

Bu yakıtların büyük bir çoğunluğunu, ham petrolden elde edilen destile ve artık maddeler teşkil etmektedir. Ham petrolden elde edilen sıvı yakıtların en önemlileri, rafinasyon sıcaklığına göre benzin, gaz yağı, fuel-oil, marine-diesel ve motorindir. Bunların yanında yine sıvı yakıt sınıfına giren ancak kaynağı petrole dayanan çeşitli yakıtlar mevcuttur. Birer proses ürünü olan bu yakıtların en önemlileri ise taş kömürü zifti ve nafta v.s. dir.

Tablo 2.1. Tünek kömürleri ve diğer kömürlerin genel özellikleri (2).

Yakıt Cinsi	Alt ısııl değeri (kcal/kg)	Uçucu madde (%)	Kül miktarı (%)	CO ₂ max (%)
Turbo Kömürü				
a. tabii	230	65-70	0.1-1.8	19.9
b. kurutulmuş	2600-3500	60-65	0.4-9.0	19.15
c. preslenmiş	3600-4200	50-60	3-12	19.80
Linyit kömürü				
a. zayıf	1600-2000	54-55	2-4	19.60
b. normal	2400-4200	40-50	10-40	-
c. iyi	4500-5200	45-50	15-20	-
Taş kömürü				
a. ziftli	5300-5400	50-55	10-12	13.25
b. zayıf	6300-6900	35-46	6-16	-
c. gazlı	7100-7700	28-40	4-6	13.70
d. yağlı	7200-8000	12-30	3-7	19.00
e. kömür çamuru	3280-3300	14-13	35-41	
Kok kömürü				
a. gazhane	6700-6900	1	3-14	20.60
b. yüksek fırın	6700-7200	1	8	20.70
c. semikok	6600-6800	-	12	-
d. turbo koku	6800-7200	3-12	4-5	19.70
Briket				
a. taş kömürden	7500-7800	15-22	7-9	18.35
b. linyitten	5000-5200	49	9	19.10
c. turbodan	3800-4000	56	10	19.60
Antrasit				
a. İngiliz	7800-8100	4-5	2-3	13.55
b. Amerikan	7500-8000	12-13	3-13	-
c. Rus	6500-7500	30-45	5-13	20.00
Tünek Kömür ve Linyitleri				
Taş kömürü (normal)	6200-7000	20-28	12-15	
Taş kömürü (iyi)	6900-7500	7-9	7-9	
Linyit (normal)	2400-4200	40-50	10-40	
Linyit (iyi)	5000-5250	30-40	9-12	

Tablo 2.2. Türkiye'de kullanılan belli başlı tabii katı yakıtların yüzde (%) olarak tasnifleri (4).

Yakıtın cinsi	Karbon	Oksijen	Hidrojen	Azot	Kükürt
Saf selüloz	44.50	49.40	6.10	-	-
Odun	50.00	43.00	5.70	1.30	-
Turbo veya Bataklık köm.	60.00	32.50	5.50	2.00	1.6
Linyit kömürü	66.50	26.50	5.50	1.50	0.6
Çok bitümlü maden kömürü	75.00	19.00	5.50	1.50	1.2
Bitümlü maden kömürü	82.00	11.00	5.40	1.60	1.2
Az bitümlü maden kömürü	86.50	7.00	5.00	1.50	1.1
Yarı antrasit kömürü	91.00	4.00	3.50	1.50	1.1
Antrasit kömürü	93.20	3.00	2.50	1.30	1.0
Grafit antrasit	97.30	2.10	0.50	0.10	-

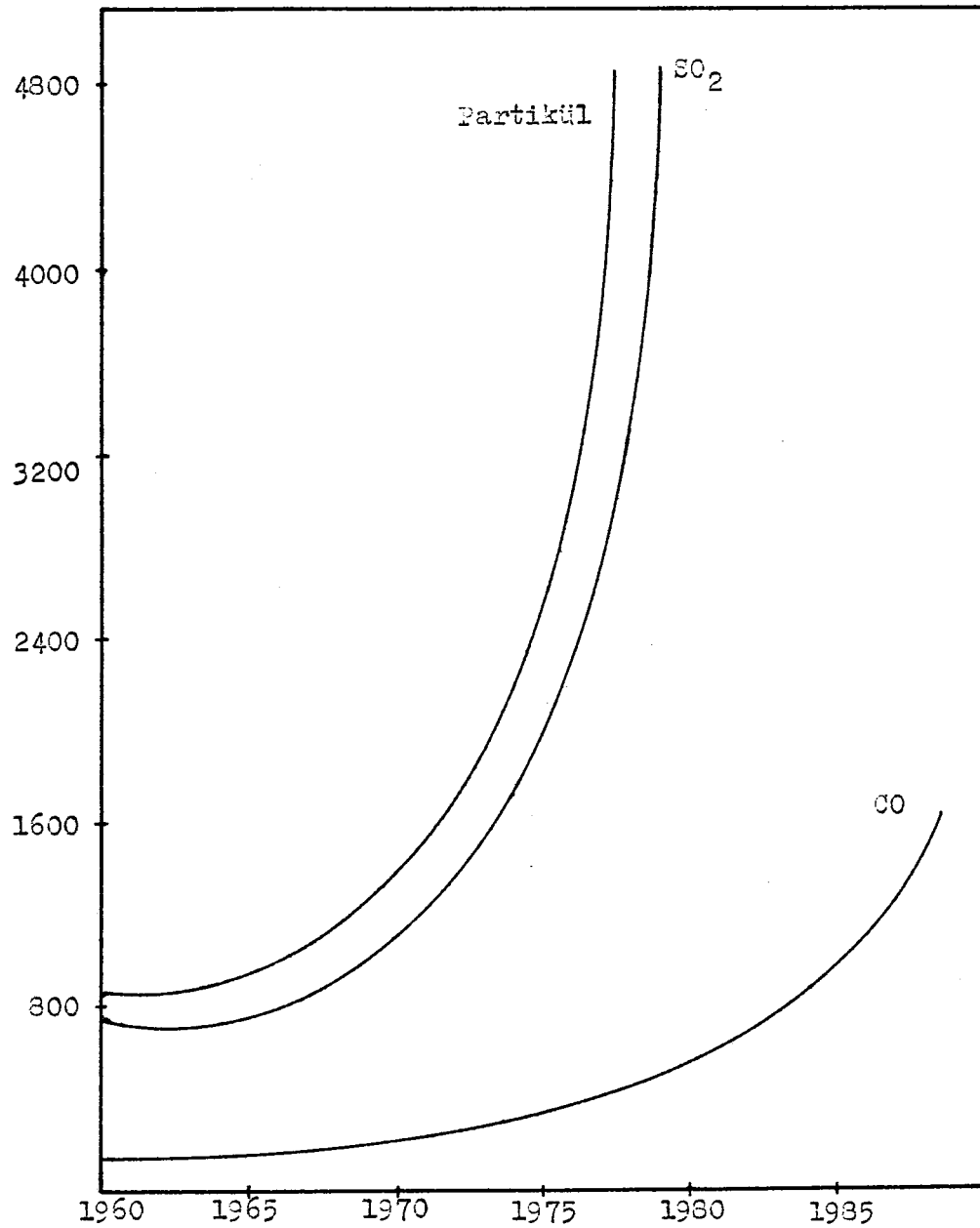
Tablo 2.3. Kömür yakmalı sistemler için partikül emisyon faktörleri(5).

	Partikül konsant. lb/ton	44 μ m'den büyük parti. %	20-44 μ m arası %	10-20 μ m arası %	5-10 μ m arası %	5 μ m'den küçük %
Pülverize	16 k _o	25	23	20	17	15
Siklon	2 k _o	10	7	8	10	65
Yayıcı stokerli	13 k _o	61	13	11	6	4
Diğer stokerliler	5 k _o	70	18	8	1	2
Elle yüklemeli	20	-	-	-	-	100

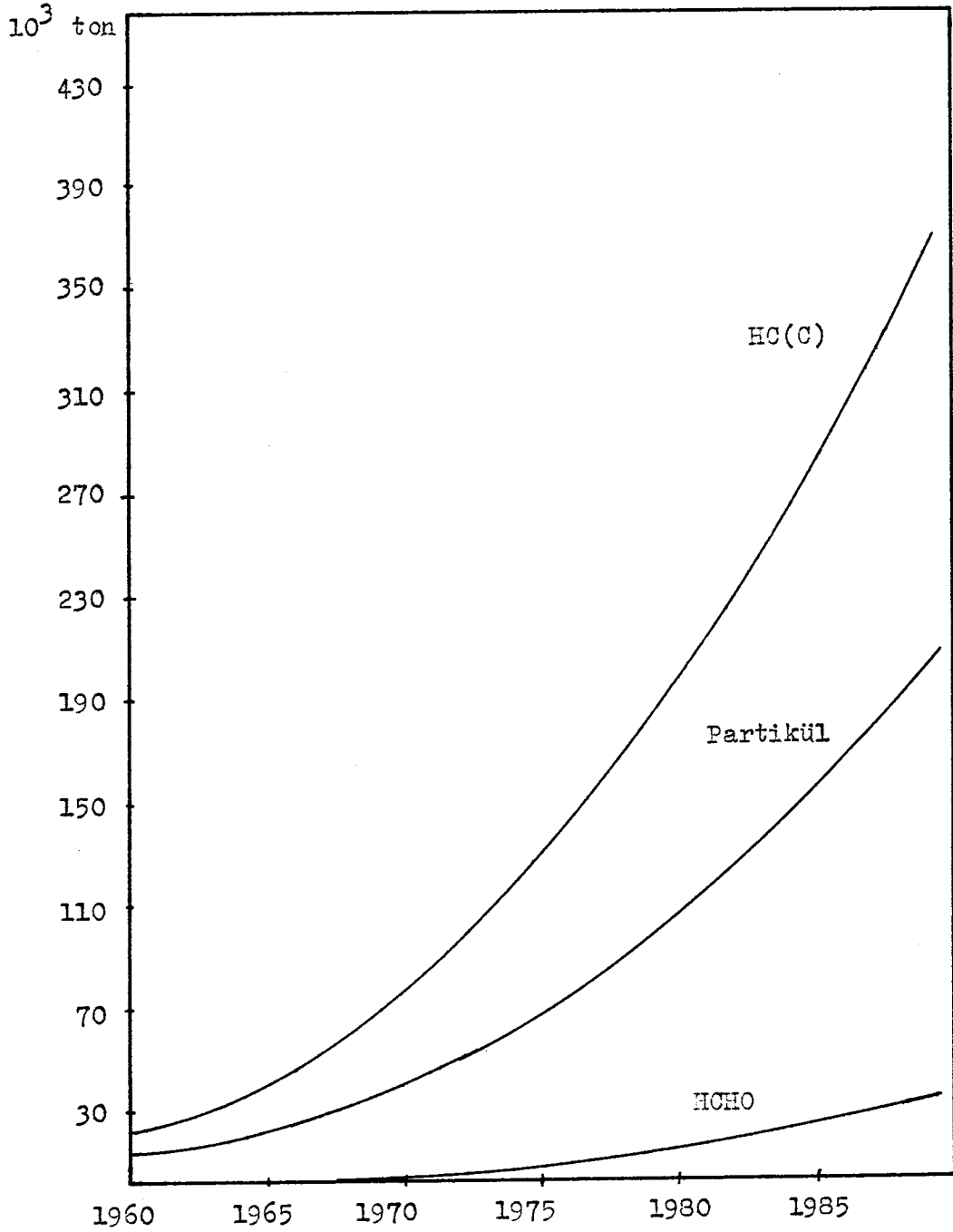
Elle ateşlemeli sistemin dışında bütün ünitelerde k_o verilen değerle çarpılacak kül yüzdesini gösterir. Ör: Faktör 17 ise kül oranı %10 ise;

$$10 \times 17 = 170 \text{ lb/ton emisyon miktarı bulunur.}$$

$$1 \text{ lb} = 543,6 \text{ gr.}$$

10^3 ton


Şekil 2.1. Türkiye'de kömürden çıkan partikül, kükürtdioksit ve karbon monoksit emisyon miktarları (5).



Şekil 2.2. Türkiye'de petrolden doğan emisyonun bileşenlerine göre toplam miktarları (5).

Gerek hava kirlenmesi problemi yönünden ve gerekse bir çok ekonomik avantajları yönünden sıvı yakıtlar, bir çok endüstri tesislerinde katı yakıtların yerlerini tamamen almak üzeredirler.

Yanma durumu gayet iyi ayarlanmış bir tesiste, sıvı yakıt kullanılması sonucunda bacadan çıkan duman, is, kül v.s. miktarı hemen hemen hiç denecek kadar azdır. Şüphesiz bu durumu, insan sağlığı yönünden büyük avantaj oluşturmaktadır. Kükürt içeren gazlar ve bilhassa SO₂ nin sağlık yönünden bir tehlike arz etmesi durumu ve su buharını dolayısıyla;



denklemleri gereğince meydana gelen sülfirik asidi üzerinde taşıyabilecek duman, is, kül gibi karbon zerreciklerinin mevcudiyet miktarına bağlıdır. Karbon içerikli zerrelerin daha az olması dolayısıyla akaryakıtları, kükürt içeren gazlar yönünden üstün kılmaktadır.

Şekil 2.2'de Türkiye'de petrolden doğan emisyonun bileşenlerine göre toplam miktarları, Şekil 2.3'de de kömür ve petrolden doğan kirlenici emisyon miktarlarının mukayesesi verilmiştir.

2.3. Yanma Artıklarının Islahı

Yanma sonucunda bacadan atılan yanma artıklarının kontrolü için birinci temel prensip yanmayı iyileştirme, daha sonra filitre kullanmaktır. Islah edilmemiş bir yanma sonucunda bacaya giden istenmeyen artıklar fazla olabileceği gibi yanmasını tamamlamamış gaz ve partiküller, eksik yanmaya da sebep olacaklarından çevre kirliliği dışında ekonomik bir yanmayı da önleyici faktörler olacaklardır. Yanması kontrol altına alınmamış, filitre takılan bir sistemde filtreye yükleri artacak, istenmeyen artıklarla birlikte yanmamış veya yarı yanmış yanma ürünleride filitrelere ilave yükler getirecektir. Yanmanın bozukluğundan dolayı oluşacak istenmeyen artıkları minimuma indirmek için aşağıdaki noktalar mutlaka gözönüne alınmalıdır.

- a) Hava ile yakıt gerektiği oranda karıştırılmalıdır,
- b) Hava ile yakıt en iyi şekilde karıştırılmalıdır,
- c) Ocak sıcaklıkları katı yakıtın ve gazlarının tam yanabilmesi için yeterli düzeyde tutulmalıdır,

d) Ocak hacimleri, yanmanın tamamlanmasına müsaade edecek hacim ve ebadlarda olmalıdır.

e) Ocak ebadlandırılması, ocak içinde yakıt tutuşma sıcaklığını daima sağlayacak şekilde dizayn edilmelidir.

f) Yanma hücreleri yakıtın cinsine ve özelliklerine göre ayarlanmalıdır.

g) Hava ve yakıt ayarları yapılmış ocakların belli zaman periyodlarında kontrolleri yapılmalıdır.

h) Yanma esnasında ocak sıcaklığını ve yanmayı bozacak yakıt besleme şekillerinden kaçınılmalıdır.

Uçucu gazları fazla olan linyit kömürleri memleketimizin bir çok yöresinde çıkarılmakta ve ev tipi kazanlarda kullanılmaktadır. Bu tür kömürler elle beslemeli yanmakta olan bir kazana atıldığında uçucu gazlar kısa bir sürede kömürden ayrılmakta ve duman gazlarına karışarak ocağı terk etmektedir. Dengesiz hidrokarbon bileşiklerinden oluşan uçucu gazlar kömürden ayrıldıktan sonra yannaları için gerekli sıcaklığı ve yeterli oksijeni bulamazlarsa parçalanarak ve termal ayrışımına uğrayarak daha sonra yanması ve tutuşması çok zor olan kurum olarak bildiğimiz siyah dumani oluştururlar. Kurum, hava kirliliğine sebep olduğu gibi aynı zamanda bir yanma kaybıdır. Kurum; yanma odasının uçucu gazlara maruz olan yüzeylerin reflektör malzeme ile örtülmesi ve bu yüzeylere yakın yerlerden yeterli sıcaklık ve debide ocağa hava verilmesi ile önlenebilir. Böylece hem yanma verimi arttırılmakta ve hem de istenmeyen yanma artıkları azaltılmaktadır. Bu önlem, yapılması kolay, fakat yanma ve hava kirliliği açısından çok etken bir tedbirdir.

2.4. Hava Kirliliğinin Kontrolunda Partikül Kontrol Araçları

Uygun bir toplayıcı seçimi yapılmadan önce birçok faktör belirlenmelidir. Belirlenmesi gereken faktörlerin en önemlilerinden bazıları şunlardır. Partikülün fiziksel ve kimyasal özellikleri, gaz akışının volumetrik akış hızı, umulan partikül konsantrasyonu (toz yükü), akış sıcaklığı ve basıncı, gazın saflığı (korozif veya çözünürlük karakteristikleri), temizlenmiş akımın istenen kalitesidir. Son madde tek veya peşpeşe dizilen birkaç kontrol aletinden istenen verimi gösterdiği için en önemli faktör olabilir. Birçok hallerde yukarıda bah-

sedilen sınırlayıcı faktörler, mühendisi bu araçların ancak bir veya ikisini seçebilmesine izin verir.

Partikül toplama metodlarının altı ana grubu şunlardır.

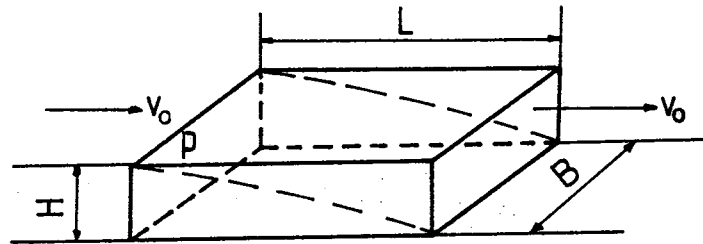
1. Ağırlık metodları
2. Atalet metodları
3. Filtrasyon-süzme
4. Elektrostatik toplama
5. Termal tutucular
6. Sonik tutucular

2.5. Kontrol Araçlarının Tasnifi ve Kısa Bilgiler

Bu kısımda yukarıda sıralanan kontrol metodlarının ana prensipleri ve bu metodlara ait bazı uygulamalar hakkında bilgiler verilecektir.

2.5.1. Ağırlık metodları

Bir akışkan içinde hareket eden parçacıklar ağırlık kuvvetlerinin etkisiyle çökerler. Parçacıkların çökme yükseklikleri küçültülerek ve kanal veya hacmin uzunluğu arttırılıp parçacığın hacimde daha fazla kalması sağlanarak yakalanabilecek parçacık çapı küçültülebilir. Basit bir uygulama olarak Şekil 2.4'de odacığı ele alalım.



Şekil 2.4. Çöktürme odası (5).

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

$$d_2 = \left(\frac{18 \mu \cdot h \cdot V_0}{\rho_p \cdot g \cdot L} \right)^{1/2} \quad (2.1)$$

formülü ile elde edilir.

Ağırlık metodlarında kullanılan basit göktürme odalarının tek odalı ve çok tablalı olanları vardır. Genel olarak büyük hacimlidirler. Daha çok ön temizleyici olarak kullanılırlar.

Tek odalılarda; $d_L = 40 \mu\text{m}$, $P=2,5-13 \text{ mmSS}$, $N=0,2 \text{ kw/m}^3$

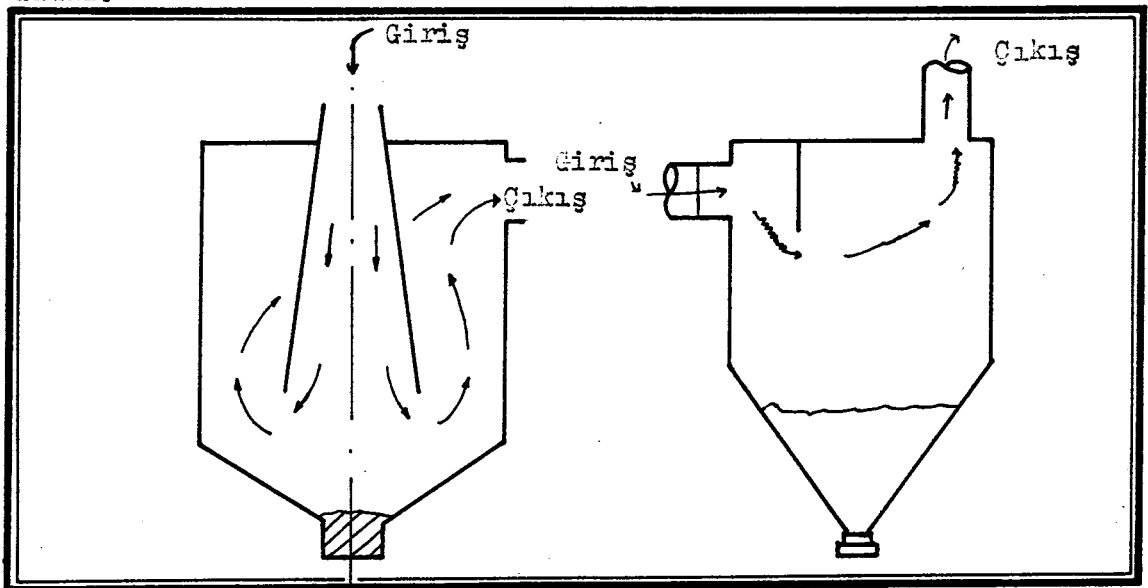
Çok tablalılarda; $d_L = 40 \mu\text{m}$, $P=2,5-13 \text{ mmSS}$, $N=0,2 \text{ kw/m}^3$ tür.

2.5.2. 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 toz, döner cisim kullanılarak parçacıkların hareket kabiliyeti arttırılır. Bir çok tipleri vardır. Engel odaları, yüzey çarptırıcılar, siklonlar, rotosiklonlar, sıvı yıkamalı tipler v.s. sayılabilir. Bir çok uygulama alanları vardır.

Engel Odası: Şekil 2.5'de bir örneği görülmektedir. Genellikle güç sistemlerinde, döner fırınlarda, asit damlacıklarının yakalanmasında kullanılırlar. Yapıları nispetten basittir.

Genel olarak, $d_L = 20 \mu\text{m}$, $P=10-40 \text{ mmSS}$, $N=0,2-1,0 \text{ kw/m}^3$ civarındadır.



Şekil 2.5. Engel odalarına örnekler (2).

Yüzey Çarpıtıcılar: Yüksek hızla gelen gaz akımı bir plaka veya engel üzerine çarpıtılır. Bu esnada parçacıkların toplanması sağlanır. Genellikle asit damlacıklarının toplanmasında kullanılırlar.

Ortalama olarak, $d_L = 2 \mu\text{m}$, $P = 25-75 \text{ mmSS}$, $N = 0,4-1,3 \text{ kw/m}^3$

Siklonlar: Siklon şekli nedeni ile akışkan dönel bir hareket kazanır. Bu hareket içinde parçacıklar merkezkaç etki ile cidara doğru sürülürler. Cidarda toplanan parçacıklar toz kutusunda toplanırlar. Tek, paralel ve seri olarak düzenlenebilirler. Uçucu kül, çimento, ağaç tozları, kurum, v.s. için kullanılırlar.

Tek siklonlarda (normal): $d_L = 10-15 \mu\text{m}$, $P = 10-100 \text{ mmSS}$,

$N = 0,2-1,3 \text{ kw/m}^3$

Çoklu siklonlarda; $d_L = 5 \mu\text{m}$, $P = 50-160 \text{ mmSS}$, $N = 1,5 \text{ kw/m}^3$ dür. Siklonlar Bölüm 3'de detaylı olarak ele alınacaklardır.

Sıvı Yıkamalı Toz Tutucular: Asılı parçacıkları gaz akımından ayırmak veya yardımcı olmak için sıvı yıkama yöntemleri kullanılır. Yıkama sıvı düşü ile olduğu gibi doğrudan sıvı banyosundan geçirilebilir. Bu yöntemle aşağıdaki özellikler kazandırılabilir.

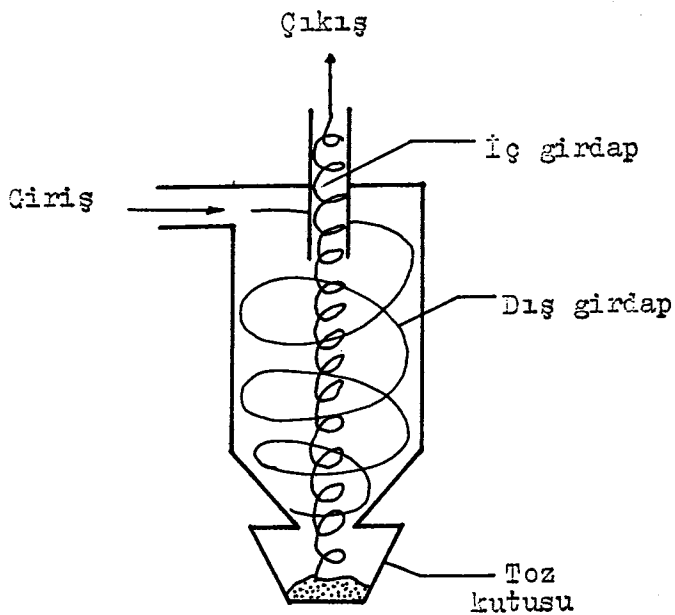
- Nem alma nedeniyle kümelenme, flokülasyon kabiliyetinin oluşması,
- Toz parçacıklarının hızla yüzeye çarpma ve yapışması,
- Özellikle küçük parçacıkların brown hareketi nedeniyle sıvı damlacık yüzeylerine tutularak toplanması,
- Toz parçacıklarına daha geniş hareket kabiliyetinin sağlanması,
- Tutulan tozların devreden çıkarılarak yeniden havalanmasının önlenmesi gibi kabiliyetler kazandırılarak verimi arttıırırlar. Yatay ve düşey yıkamalı tipleri vardır.

Şekil 2.8'de görülen düşey tipli yıkamalı tiplerde,

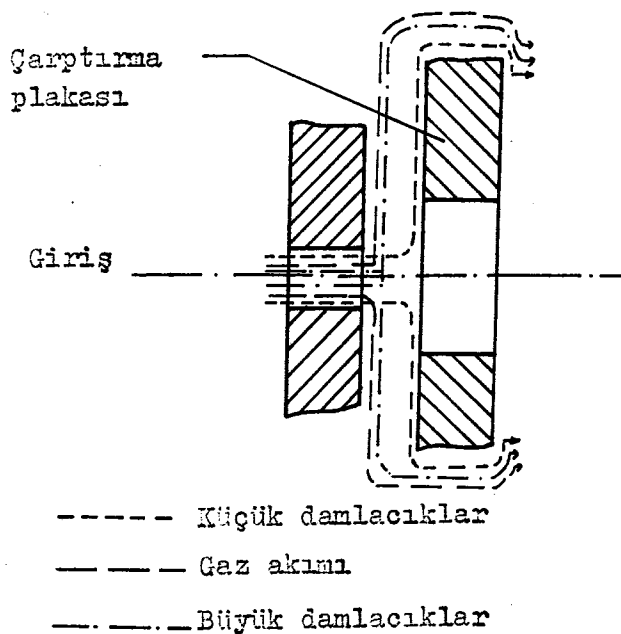
$d_L = 10 \mu\text{m}$, $P = 3-15 \text{ mmSS}$, $N = 0,2-0,5 \text{ kw/m}^3$ tür.

Şekil 2.9'da görülen venturi tipinde gaz hızı 50-120 m/s civarında olup bu gaz akımına sıvı püskürtülür. Bunlarda;

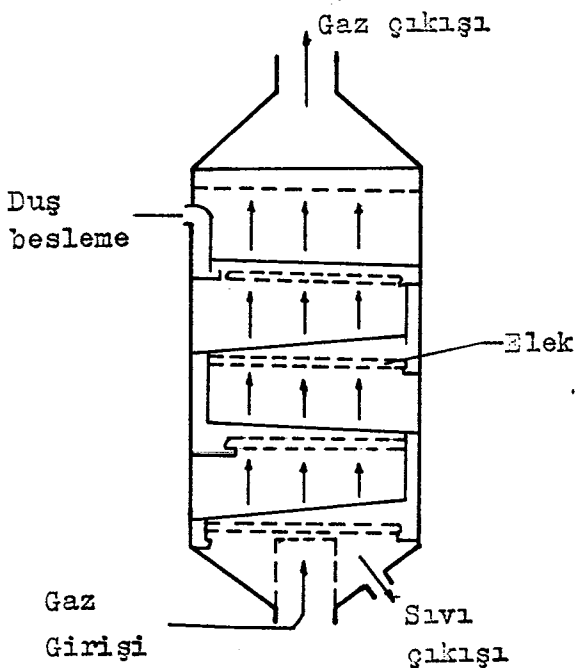
$d_L = 1 \mu\text{m}$, $P = 250-400 \text{ mmSS}$, $N = 4-22 \text{ kw/m}^3$ tür.



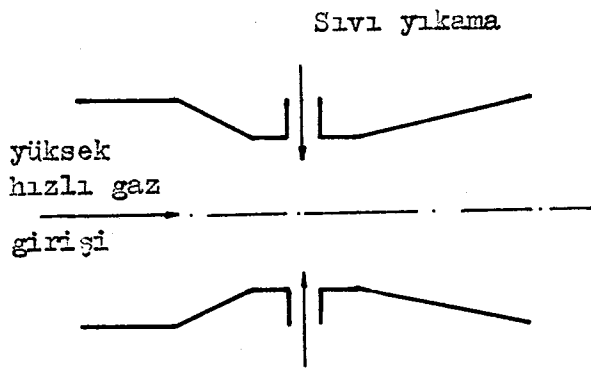
Şekil 2.6. Basit bir siklon örneği (2).



Şekil 2.7. Yüzey çarptırıcı (2).



Şekil 2.8. Duşlu yıkamalı toz toplayıcı (2).



Şekil 2.9. Venturi tip yıkayıcı (2).

Bu tiplerden başka yüksek hızlı sıvı jetli yıkayıcılar, atalet tipli yıkayıcı tipler v.s. vardır.

2.5.3. Filtrasyon-süzme metodları

Temelde filtre bir maddeyi diğerinden ayırmakta kullanılan bir cihazdır. Genel prensip olarak kumaş, metal ve bunun gibi gözenekli malzemeden gazı geçirmek suretiyle bu gözeneklerden büyük partiküllerin yakalanması sağlanır. Dolayısıyla filtrasyon esas itibariyle, ayırma işlemidir. Filtrasyonda ilk anda verim düşük basınç kaybı azdır. Bir müddet çalıştıktan sonra verim ve basınç kaybı artar. Bu gözeneklerin küçülmesi nedeniyle olur.

Çeşitli filtrasyon ve ayırma yöntemleri dört ana grupta toplanabilir.

1. Katı-gaz filtrasyonu,
2. Katı-sıvı filtrasyonu,
3. Sıvı-sıvı filtrasyonu,
4. Katı-katı filtrasyonu,

Katı-gaz ayrıştırılmasının önemli bir kısmı hava filtreleri ve hava filtreleme servisleri tarafından yapılır. Birincisi esas itibariyle filtreleri ve ikincisi seperatörleri, elektrostatik tutucuları, gaz ayrıştırıcıları ve ayrıca gerekirse filtreleri kullanır.

Katı-sıvı filtrasyonun boyutları birbirinden çok farklı çeşitli mekanik filtreleme araçlarının kapsamına girer. Özellikle proses endüstrilerinde kullanılan atalet kuvvetlerinden faydalanarak çalışan seperatörler ve kolaylıkla otomatik ve yarı otomatik hale getirilen başka metodlarda katı-sıvı ayırma işleminde kullanılır.

Sıvı-sıvı ve katı-katı ayrıştırma işinde daha sınırlı tipte filtre ve ayırıcının başarıyla ve ekonomik olarak kullanılması mümkündür. Bu yüzden sınıflama filtrasyon ve ayırıcıların daha özelleştirilmesini kapsar. Katı-katı ayrıştırılmasının en basit örneği fiziksel boyutları farklı katıların elenmesi yöntemidir.

Filtrelerin özel bir tipi için filtreleme alanı, maliyet ve verim du rumuna bağlı olarak değişebilir. Filtre incelidikçe kaba kirleticiler tarafından tıkanması kolaylaşır. Bu yüzden ince ve çok ince filtrelerin kullanılmasının gerekli olduğu birçok hallerde, kademeler halinde iki veya daha çok filtreyi gittikçe daha küçük partikülleri tutacak şekilde kullanmak maliyet ve verimlilik

açısından olumlu sonuçlar verir.

2.5.4. Elektrostatik toplayıcılar

Gaz akımı içindeki parçacıklar elektrostatik alanda yüklenir ve alanın etkisiyle harekete geçerler. Elektrostatik alanda gaz iyonlarına etkiyen kuvvetler etkisinde oluşan gaz hareketinin parçacıklara momentum transferi ve kısa sürede limit hıza erişirler. Silindirik veya plaka cidarlar etrafında toplanan parçacıklar zaman zaman otomatik olarak dökülürler. Olay iki adımda oluşur;

1. Gazın ionizasyonu ve parçacıkların yüklenmesi,
2. Akım yüklenen parçacıkların toplanması.

Bu adımların oluşum şekline göre iki tip filtre vardır;

1. İonizasyon + toplamı komple bir ünite,
2. Birinci kademede ionizasyon ve ikinci kademede toplama işleminin yapılması.

Pratikte ark oluşturmada maksimum gerilim elde etmek suretiyle hem yükleme hem de toplama potansiyeli yükseltilmeye çalışılır.

Bu filitrelerin verimleri toz konsantrasyonu ve parçacık büyüklüğü arttıkça azalır ve azaldıkça artar. Bu nedenle genellikle bir ön toz tutucu ile birlikte çalıştırılırlar. Bir çok kullanım alanları mevcuttur. Tek kademeli olanların verimleri yüksek, maliyetleri pahalıdır. Ağır toz yüklerinde çalıştırılırlar. İki kademeli olanlar daha kompakt olup genellikle hava şartlandırmalarında kullanılırlar.

2.5.5. Termal tutucular

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

2.5.6. Sonik tutucular

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

2.6. Partikül Toplama Araçlarının Karşılaştırılması

Bir tesisin emisyon standartlarını karşılamak için seçmesi gereken özel partikül kontrol cihazı bir çok işletme değişkenlerine bağlıdır. Ana değişkende ele alınacak toplam hacimsel akış debisidir. Düşünülen cihaz tesisin maksimum yada en üst çıkıntısında partikülleri giderecek kapasiteye sahip değilse, o zaman karşılaşılan standartları yerine getirmek mümkün değildir. Endüstri proseslerinin çoğunda dizayn şartlarının % 10'u üzerinde çalışma beklendiği için maksimum toplama verim değerinin gözönüne alınacak temel faktör olması gerekir. Birçok donanım tipinin toplama verimlerine, dizayn kapasitelerinin üstündeki veya altındaki çalışma şartları etki eder. Toplanacak partiküllerin fiziksel ve kimyasal karakteristikleri de cihaz seçimine etki eder. Örneğin, partiküllerin kabalığı veya inceliği de bazı seçimleri etkileyebilir. Gaz akışının toz yükü (m^3 başına düşen gram) de başka bir kritik faktördür. Ağır toz yükleri için (örneğin $230 \text{ gr}/m^3$) gaz akışı daha pahalı olmayan bir ön temizleyici gerekli olabilir. Sıcaklık limiti ötesinde ani sıcaklık artışlarının olması ihtimali gözönüne alınmalıdır. Önemli olan bir başka konuda çeşitli tipteki cihazın bakım ihtiyaçlarında muayene edilmesidir. Dört temel tip partikül kontrol cihazı ve her birinin en etkili olduğu durumlardan bazıları aşağıda verilmektedir. Bu listede genel bir liste olup çok istisnai durumlarda bulunabilir.

1. Siklonlar genellikle,

- a- Tozun kaba (iri taneli),
- b- Konsantrasyonların oldukça yüksek olduğu ($35,3 \text{ gr}/m^3$),
- c- Sınıflandırmanın arzu edildiği,
- d- Çok yüksek verim gerekmediği zaman kullanılır.

2. Sulu gaz temizleyiciler genellikle,

- a- Nispetten yüksek verimlerde ince partiküllerin atılmasına ihtiyaç olduğu,
- b- Soğutmanın arzu edildiği ve nemin mahsurlu olmadığı,
- c- Gazlar yanıcı olduğu,
- d- Gaz ve partikül şeklindeki kirleticilerin atılmasına gerek olduğu zaman kullanılır.

3. Bez filitreler genellikle,

- a- Çok yüksek verimlere ihtiyaç olduğu,
- b- Değerli malzemelerin kuru olarak toplanması gerektiği,
- c- Gazın daima doyma noktası üzerinde olduğu,
- d- Hacimlerin makul şekilde düşük olduğu,
- e- Sıcaklıkların nispeten düşük olduğu zaman kullanılır.

4. Elektrostatik çökelticiler genellikle,

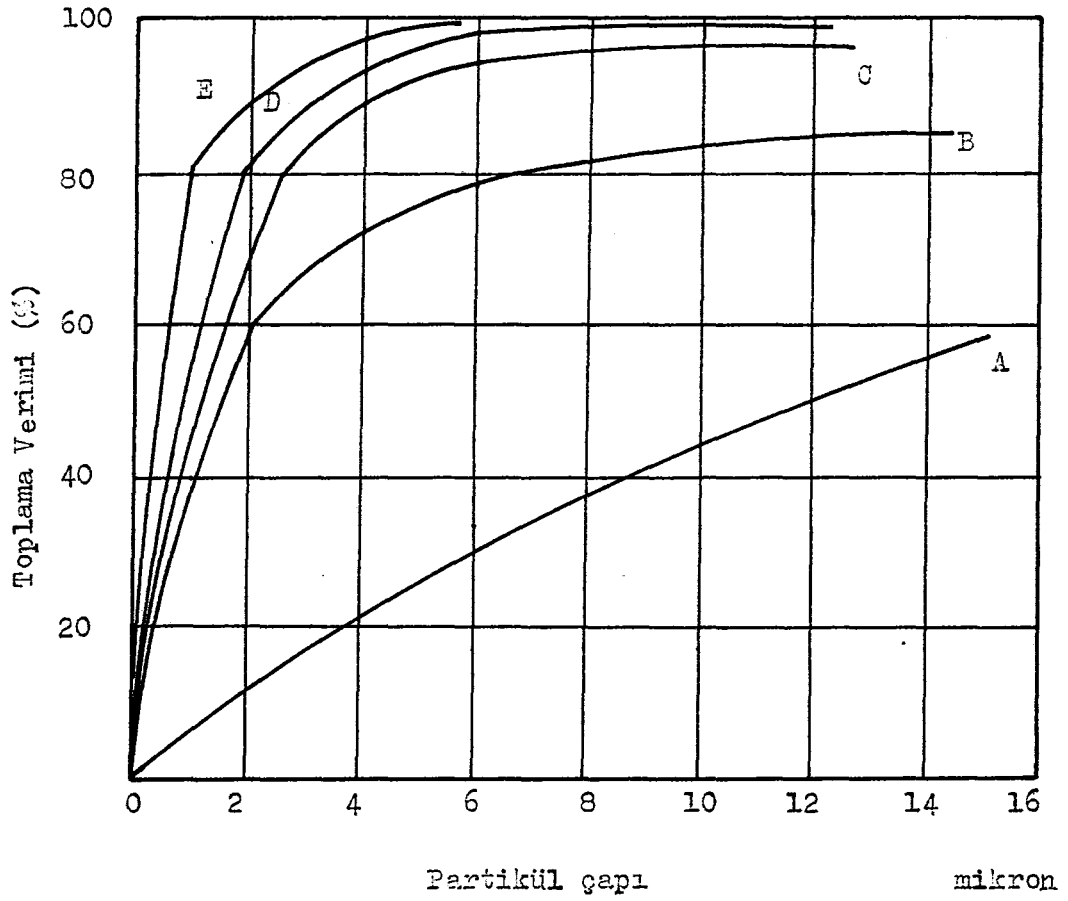
- a- İnce tozu gidermek için çok yüksek verimlerin gerektiği,
- b- Ele alınan gaz hacminin çok büyük olduğu zaman temizleme,
- c- Değerli malzemenin takviye edilmesine gerek olduğu zaman, kullanılırlar.

İşletme ihtiyaçları listesi ve çeşitli genel toplama sınıfları bilgisi ile, mevcut teknoloji cinsinden sınırlı sayıda seçimlere yol açacak bir ilk elemanın yapılması mümkündür.

Çeşitli toplama cihazlarının yeteneklerinin ayrıntılı olarak karşılaştırılması verimli bir çalışma sağlamaz. Yetenekler, teknolojideki büyüme ile birlikte değişir ve güncel bilgiler cihaz imalatçılarından hazır olarak temin edilebilir. Yukarıda açıklanan dört cihaz sınıfından beklenecek kapasite ve çekme kaybı Tablo 2.4'de verilmiştir. Ayrıca partikül çapının fonksiyonu olarak beş tip toz toplayıcının verimleri Şekil 2.10'da verilmiştir. Bu eğriler eğimleri tesis etmek için gösterilmektedir. Şekil 2.10'daki değerler Tablo 2.4'ü doğrulayıcı şekilde toplam verimlerindeki değişim verilmiştir. Tablo 2.6'da da slika tozları için çeşitli toplayıcıların yüzde verimleri verilmiştir.

Tablo 2.4. Partikül toplama araçlarının bazı çalışma karakteristikleri (9).

Genel Sınıf	Spesifik tip	Tipik kapasite (m^3/sn)	Basınç kaybı (mmSS)	Enerji ihtiyacı ($W/m^3/dak$)
	Çökertme odası	Muhafaza hacminin lm^3 'ü başına 0,25-0,41	176,6-459,0 (7,06-17,66)	35,32-141,26 (1,06-3,53)
	Set	Giriş alanının lm^2 si başına 5-17,8	140 (5,4)	-
	Yüksek verimli siklon	Giriş alanının lm^2 si başına 12,7-15,3	307-1346 (32,3-53,8)	161,5-376,73 (5,38-10,77)
Bez Filtreler	Otomatik	Baz alanının lm^2 si başına $5,1 \times 10^3$ -0,304	1076,3-1615,0 (43-64,6)	376,73-484,4 (10,77-14,0)
	Çarpma seti	Alanın lm^2 si başına 2,05-3,05	538-1400 (21,5-53,8)	75,34-376,73 (2,15-10,77)
Sulu gaz temizleyici	Venturi	Boğaz alanının lm^2 si başına 30,5-152,5	2690-13455 (107,6-538,2)	1507 - 4575 (43,0-129,2)
	Dorçlu tasfiye	Yatak kesit alanının lm^2 si başına 2,6-3,6	-	-
Elektrostatik çökelticiler	Kuru tek alan	Elektrot toplama alanının $1 m^2$ si başına 0,01016-0,0406	53,8-140 (2,15-5,38)	161,5 - 376,73 (4,3-10,77)
	Sulu (şarjla damla gazı temizleyicisi)	Elektrot toplama alanının lm^2 si başına 0,0254-0,762	140-194 (5,38-7,53)	107,7 - 161,5 (3,23-5,38)



Şekil 2.10. Çeşitli tip toz toplayıcılara ait tipik toplama verim eğrileri (9).

- A : Yüksek kapasiteli siklon
- B : Yüksek verimli siklon
- C : Kuru elektrostatik gökeltici
- D : Püskürtme kulesi
- E : Venturi gaz temizleyicisi

Tablo 2.5. Partikül kontrol cihazlarının genel ve oransal toplama verimleri (slika partikülleri için) (3).

	Genel Verim	Partikül Sahası için Oransal Verim				
		0.5	5-10	10-20	20-44	44
Gökelme hücreleri	58,6	7,5	22	43	80	90
Basit siklon	65,3	12	33	57	82	91
Uzun konili siklon	84,2	40	79	92	95	97
Elektrostatik gökeltici	97,0	72	94,5	97	99,5	100
Püskürtme kulesi	94,5	90	96	98	100	100
Venturi gaz temizleyicisi 750 mmSS basınç düşmesi için	99,5	99	99,5	100	100	100
Turbo muhafazası	99,7	99,5	100	100	100	100

B Ö L Ü M : 3

SİKLONLAR

3.1. Genel

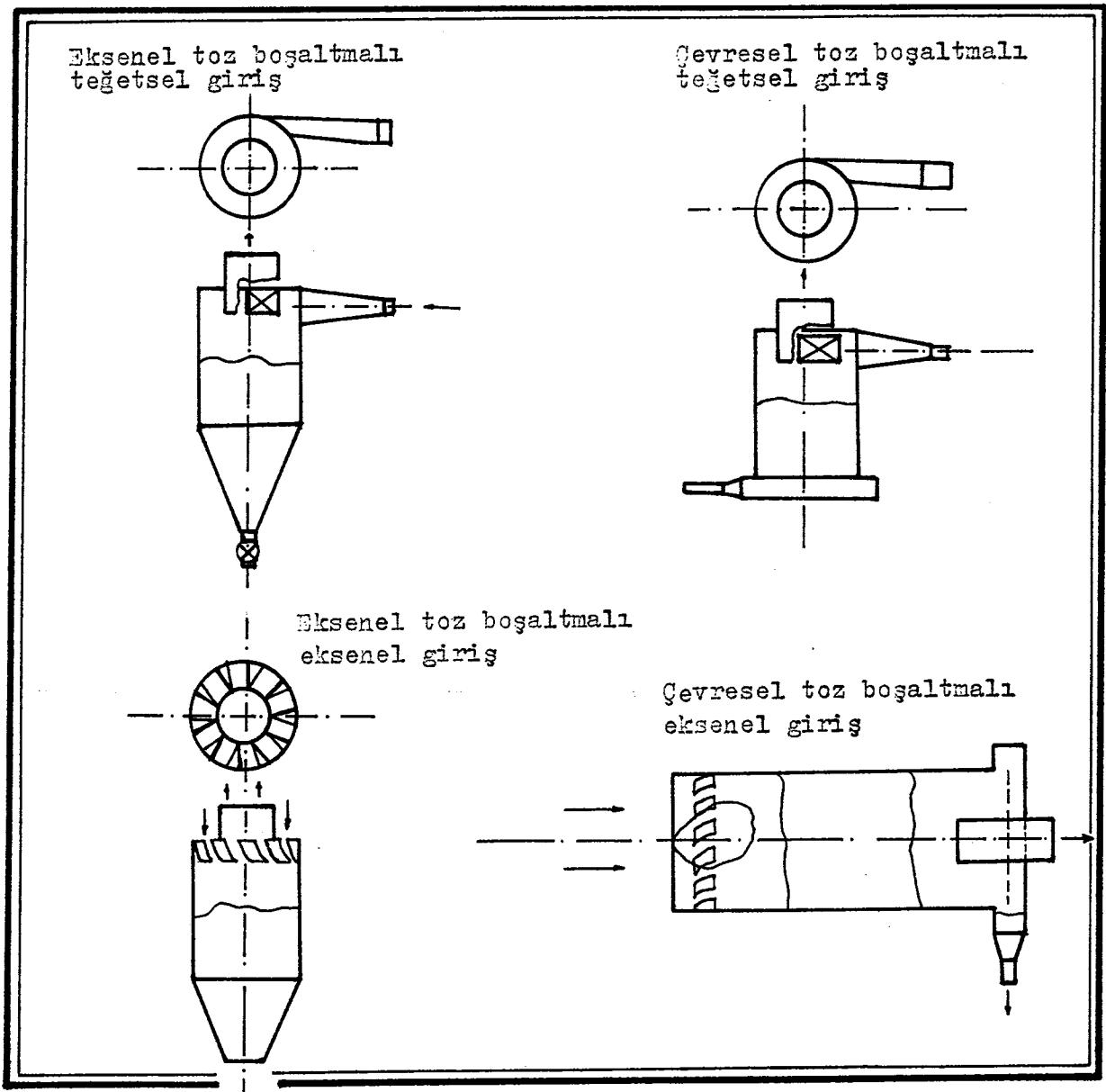
Bir siklon toz toplayıcısı, hareketli parçası olmayan, içine giren gazın hızının sınırlı girdaba dönüştürüldüğü ve bu girdaptan dolayı doğan merkezkaç kuvvetinin, toz parçacıklarını siklon gövdesinin duvarına savurduğu bir konstrüksiyondur.

Bir gaz içerisinde bulunan katı veya sıvı partiküller yerçekiminin etkisi altındadırlar ve eylemsizlik momentine sahiptirler. Bundan dolayı gaz akışının doğrultusu değiştirilmeye zorlanırsa-ki bu dairesel hareket şeklinde olursa partiküllere merkezkaç kuvveti etki eder- Bu, merkezkaç kuvvetinin etkisiyle partiküller siklon cidarına savrulur ve toplanarak alttan alınır.

Siklon ve toplayıcılar teorik olarak yüksek toplama verimine sahiptirler. Yüksek miktarda toz konsantrasyonu içeren gazların temizlenmesinde kullanılırlar. Siklon toz toplayıcıları tek başına kullanıldığında hava kirliliğini önleme şartları sağlanabilir. Bunun için genellikle siklonlar seri veya paralel olarak kullanılırlar. Ayrıca diğer toz toplayıcıların da izleyeceği, ön temizleyici olarakta kullanılırlar.

Siklonların basit, ucuz, hareket eden parçasının olmaması ve herhangi bir konstrüksiyon malzemesinden yapılabilir olması nedeniyle kullanma alanları çok yaygındır. Gazların temizlenmesinde yüksek verim gerekmiyorsa, tam olarak tasarlanmış bir siklonun toplama verimi genellikle yeterlidir. Siklonlar basınçlı şartlarda çalıştırılırlar. Beslemede yeterli basınç sağlanamaması durumunda pompalama işlemi gerekir.

Siklonlar genellikle fosil yakıtların yakılması ile oluşan kül-lerin, görünür tozların, kum, çimento, ufalanır taş, un, nişasta, plastikler, petrol rafineri katalitikleri, gübre sanayi, gıda sanayi, ağaç işleri, kağıt, kinya, maden sanayi ve diğer toz ürünleri ile ilgili tesislerde yardımcı veya ana toplayıcı olarak kullanılırlar.



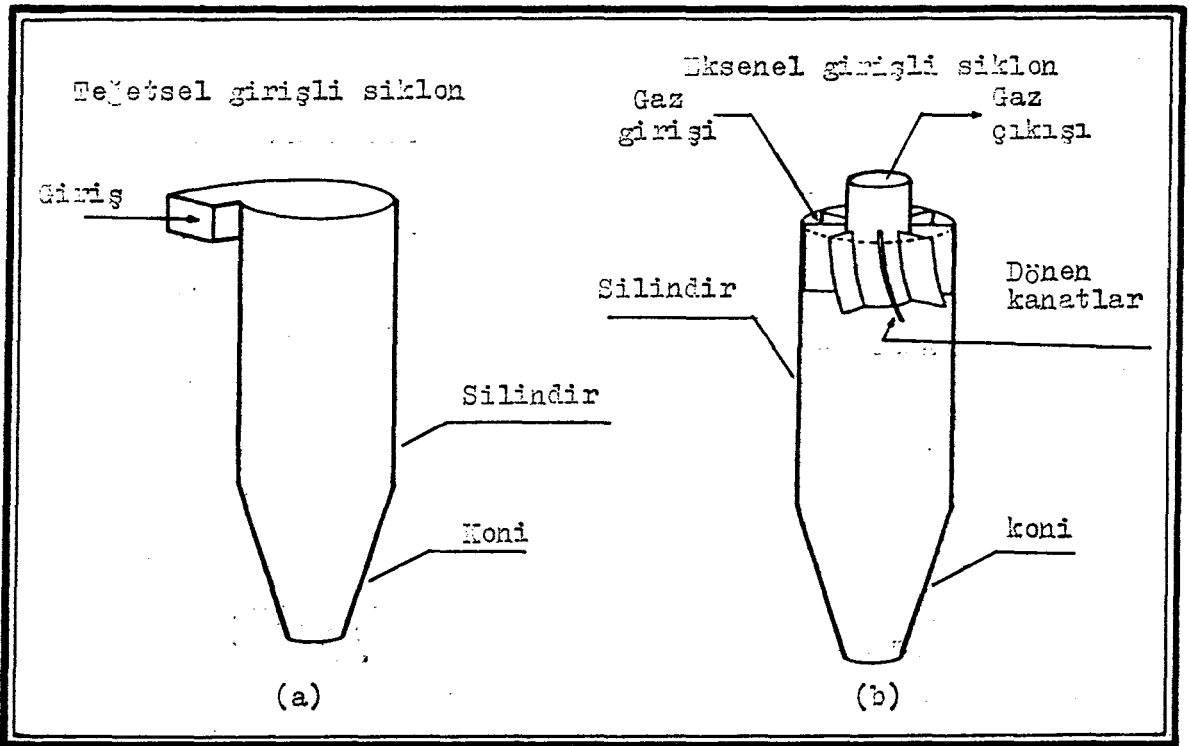
Şekil 3.1. Siklonların çeşitli dizayn şekilleri (1).

fazla olması sebebiyle pahalıdırlar.

Teğetsel girişli siklonlar çeşitli imalat malzemeleri kullanılarak her boyut ve şekilde üretilirler.

Eksenel girişli siklonlarda giriş pervanesinin şekli hem basınç düşmesini, hem de siklonun toz toplama karakterini etkiler. Bu yüzden hava kirliliği oranlarına uymak için çeşitli pervaneler imal edilmektedir. Bu tür siklonlarda, gaz giriş hızları $25+35\text{m/sn}$ teğetsel girişli siklonlarda ise $12+21\text{ m/sn}$ dir.

Uygulamada kullanılan bu iki tip siklon şematik olarak Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Partikül toplama için kullanılan teğetsel (a) ve eksenel (b) girişli toplayıcılar (6).

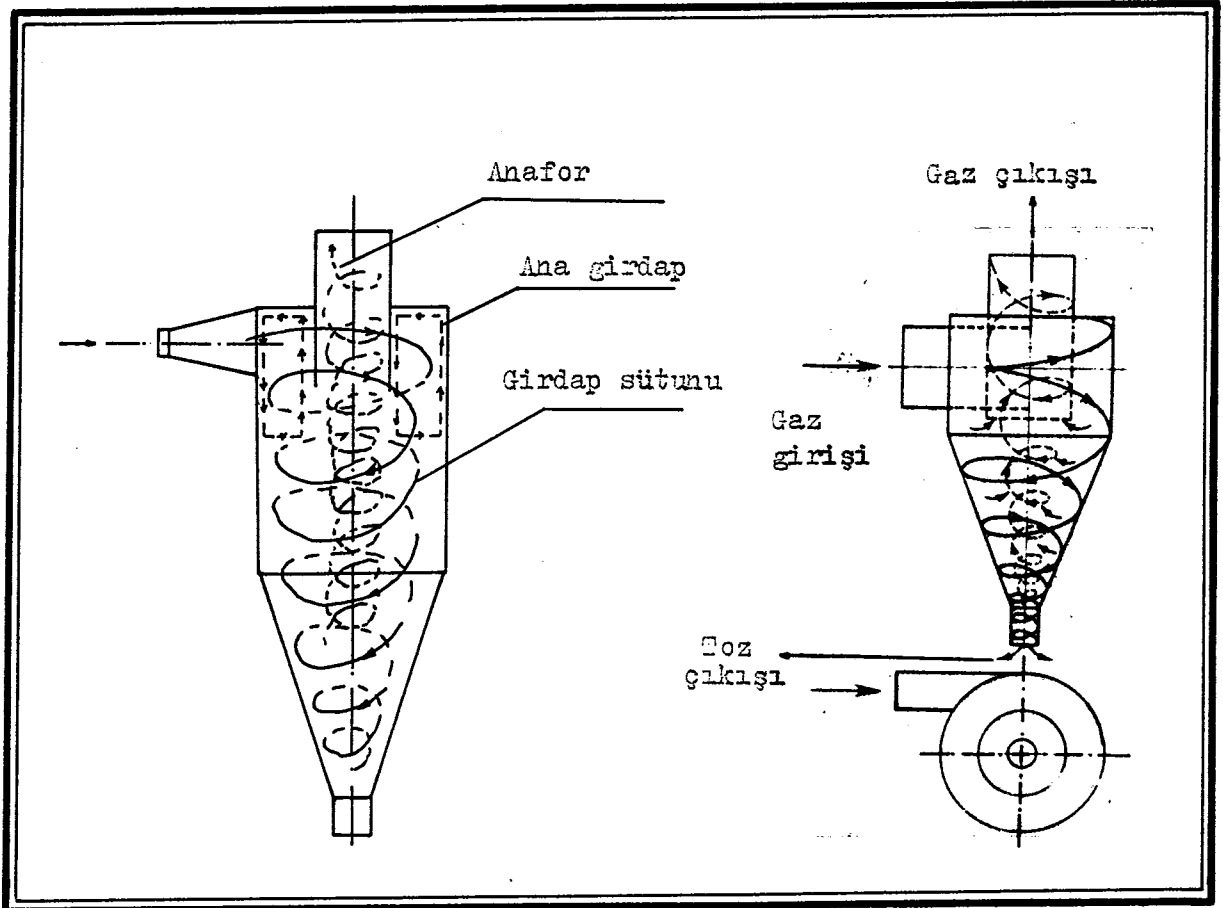
Eksenel girişli siklonlar çoklu tip siklonlara benzerdirler. Genellikle küçük çaplıdır. Çünkü, eksenel girişli siklonlarda küçük çaplı olanlarında verim büyük çaplılara nazaran daha büyüktür. Çeşit çeşit dizayn şekilleri olmasına rağmen, hepsi alışılmış bir dikdörtgensel giriş, gaz akış tübü (gövde) ve boşalma konisinden meydana gelirler. Eksenel girişte, eksenel siklonların küçük hacimli olmalarında, küçük oranlardaki tıkanmalar genellikle sorun olmaktadır. Özellikle, yüksek toz oranlarında ve nem oranı yüksek gaz girişlerinde daha önemli olmaktadır.

3.3. Siklonların Çalışma Mekanizması

3.3.1. Girdabın özellikleri

Siklon girdabını tanımlamak için yaygın olan teğetsel girişli, eksenel toz alımlı siklon esas alınmaktadır. Silindirik gövdenin üstüne yakın bir yerden teğetsel olarak giren gaz, gaz boşaltım çıkışı ve siklon gövdesi arasında aşağı doğru spiral bir akış oluşturur. Bu girdap "ana girdap" olarak adlandırılır ve aşağı doğru gaz

çıkışı duvarın altına kadar devam eder ve koninin altına doğru bir bölgede girdap aksenal akışın yönünü tersine döndürür (yukarı doğru). Fakat dönme yönü aynı kalır. Böylece gaz çıkışı yukarı giden iç girdaptan olacaktır. Buna ek olarak silindirin tepesi yakınında gövde duvarı boyunca yukarı doğru bir gaz akışı daha vardır. Anafor olarak isimlendirilen bu akış istenmez. Bu nedenle teğetsel girişli siklonlarda anafor akımlarına mücadele etmeyen tescilli tasarımlar meydana getirilmiştir. Şekil 3.3'de bahsedilen akımları gösteren şematik teğetsel bir siklon verilmiştir. Şekil 3.4'de de siklon taşıyıcılarda gaz akışı gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Teğetsel girişli siklonlarda girdap ve anafor akımları (6).

Şekil 3.4. Siklon taşıyıcılarda gaz akışı (6).

3.3.2. Partiküllerin girdaptan ayrılması

İlk aşamada partiküllerin gaz akımından ayrılışını kaba bir şe-

kilde tarif edelim; siklonların her iki tipinde de (teğetsel ve ek-senel girişli) tozlu gaz helezonun altına doğru döndürülür. Bu dön-menin etkisiyle gazdan ayrılan partiküller siklonun iç yüzeyine doğ-ru uzaklaşırlar. Partiküller konide helezonun alt kısmına doğru düşey kuvvetleriyle (ağırlıklarından dolayı) hareket ederler ve top-layıcı kaba düşerler. Bu clay gazların aşağı doğru olan hareketi gibidir. Siklonun uzunluğu boyunca hareket halindeki gaz yukarıya doğru bir vortex gerçekleştirir. Bu vortex koninin en alt noktasın-dan, silindirin en üst noktasına kadar devam eder. Böylece atalet ve santrifüj kuvvetlerin etkisiyle hareketli gazdaki partiküller serbest konuma geçerler.

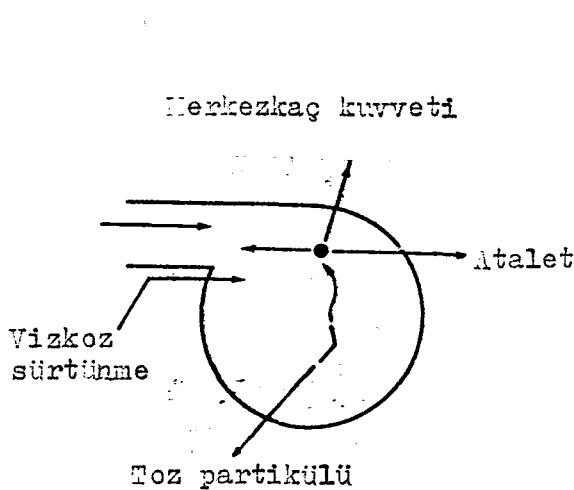
Gazın hareketi esnasında partiküllere şu kuvvetler etki ederler:
(Yerçekimi kuvveti ihmal edilerek)

1. Atalet Kuvveti: Partikülün siklon hattı boyunca hareket; hız ve kütlenin fonksiyonudur.

2. Santrifüj Kuvvet: Siklonun şeklinden dolayı meydana gelen kuvvettir. Partikülün hızının, kütlesinin ve siklon duvarları için-de çizdikleri eğrinin yarıçapının fonksiyonudur.

3. Vizkoz Sürtünme Kuvveti: Bu kuvvet gaz ortamındaki akış di-renci nedeniyle meydana gelir.

Şekil 3.5'de bir toz partikülüne etkiyen kuvvetler gösterilmiş-tir.



Şekil 3.5. Toz partikülüne etkiyen kuvvetler(6).

Sabit bir \vec{b} ivmesi ile hare-ket eden bir akışkanın kütlesi içinde hacmi H_F olan bir cisme etkiyen hidrostatik kuvvetin;

$$H_F \cdot \rho_g \cdot \vec{b} \quad (3.1)$$

olduğu katılaşma prensibiğe göre yazılabilir.

Dönen bir akışkan ortamında bulunan ve akışkandan daha büyük bir özgül kütleye sahip olan par-tikül dışa doğru hareket edecek

ve radyal hız direnç kuvveti ile dengelenecektir. Buradan hareket denklemi;

$$H_p \rho_g \cdot b + R_f - H \rho_p \vec{b} = 0 \quad (3.2)$$

olarak yazılır. Bu denklemde birinci terim cisme etki eden hidrostatik kuvveti, ikinci terim direnç kuvvetlerini ve üçüncü terimde atalet kuvvetlerini göstermektedir.

Radyal yönde hız artması olacağı, yani limit hızı emigildiği hal için, radyal hız dışı doğru ve pozitif alınır ve ivme yerine (v^2/r) değeri konulursa;

$$- H_p \rho_g \cdot \frac{v^2}{r} + H \rho_p \frac{v^2}{r} - R_f = 0 \quad (3.3)$$

Buradan;

$$H_p (\rho_p - \rho_g) \frac{v^2}{r} = R_f \quad (3.4)$$

yazılabilir.

Küçük parçacıklar için direnç Stokes sirtünmesi olarak alınıp $(R_f = 3\pi dp \rho W_{ro})$ değeri denklem (3.4)'de yerine konulursa

$$\frac{dp^3}{6} (\rho_p - \rho_g) \frac{v^2}{r} = 3\pi dp \rho W_{ro} \quad (3.5)$$

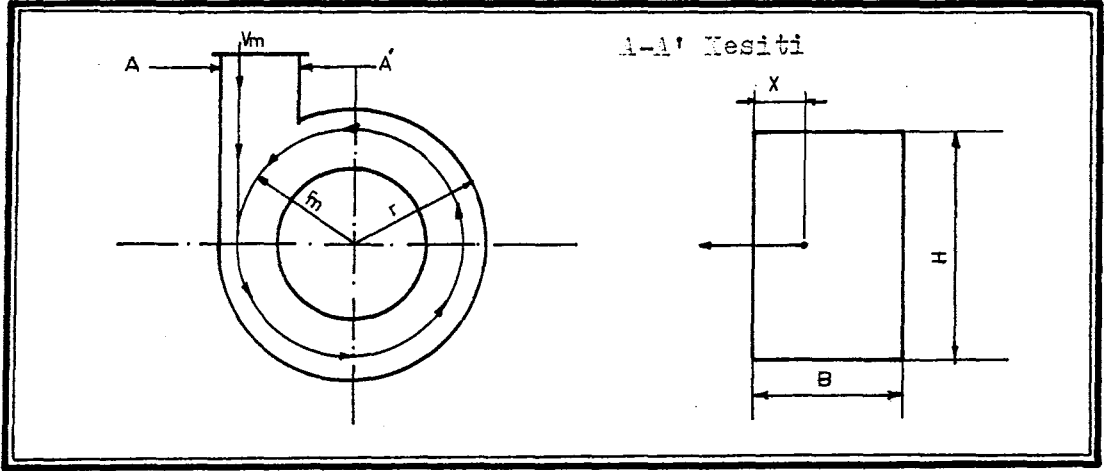
denklemi yazılır.

Burada teğetsel hız (V_m) yerine ortalama teğetsel hız (V_m) alınır ve ortalama teğetsel yarıçap (r) yerine ortalama yarıçap (r_m) yazılırsa, limit hız;

$$V_{ro} = \frac{V_m^2 \cdot dp^2 \cdot (\rho_p - \rho_g)}{18 \cdot \rho \cdot r_m} \quad (3.6)$$

denklemi elde edilir.

Rossen-Hammeler-Intelman tek boyutlu teorisine göre parçacık giriş ortalama hızı ile siklonu "n" kere döndükten sonra terk edebileceği kabul edilmiştir. "n" siklonlarda partiküllerin etkin döndüş sayısı olarak adlandırılır ve 5-10 civarında değişir.



Şekil 3.6. Bir siklon kesiti (5).

Partikülün tutulabilmesi için; gaz ile birlikte siklonu terk etmeden dış cidara varması gerekir. Parçacığın başlangıçta cidara uzaklığı (x) iken cidara varma zamanı (t_d);

$$t_d = \frac{x}{V_{ro}} \quad (3.7)$$

parçacığın siklonda kalma zamanı;

$$t = \frac{2\pi r_m \cdot n}{V_m} \text{ dir.} \quad (3.8)$$

Partikülün tutulabilmesi için $t_d \leq t$ yani;

$$\frac{x}{V_{ro}} \leq \frac{2\pi r_m \cdot n}{V_m} \text{ olmalıdır.}$$

Limit halinde denklem (3.6)'dan V_{ro} yerine konular ve (d) çözümlürse;

$$d = \sqrt{\frac{g \cdot C \cdot x}{\pi \cdot V_m \cdot n (\rho_p - \rho_g)}} \quad (3.9)$$

elde edilir. Bu denklem cidardan (siklon gövdesi duvarından) x birim uzaklıkta olan ve tutulabilen parçacığın çapını vermektedir. Cidardan en uzak noktadaki ($x=B$) partikülün tutulmasını sağlayan şart tutulabilecek minimum çaptaki partikül büyüklüğünü verir. Burada;

$$d_{\text{pmin}} = \sqrt{\frac{g \cdot C \cdot B}{\pi \cdot V_m \cdot n (\rho_p - \rho_g)}} \quad (3.10)$$

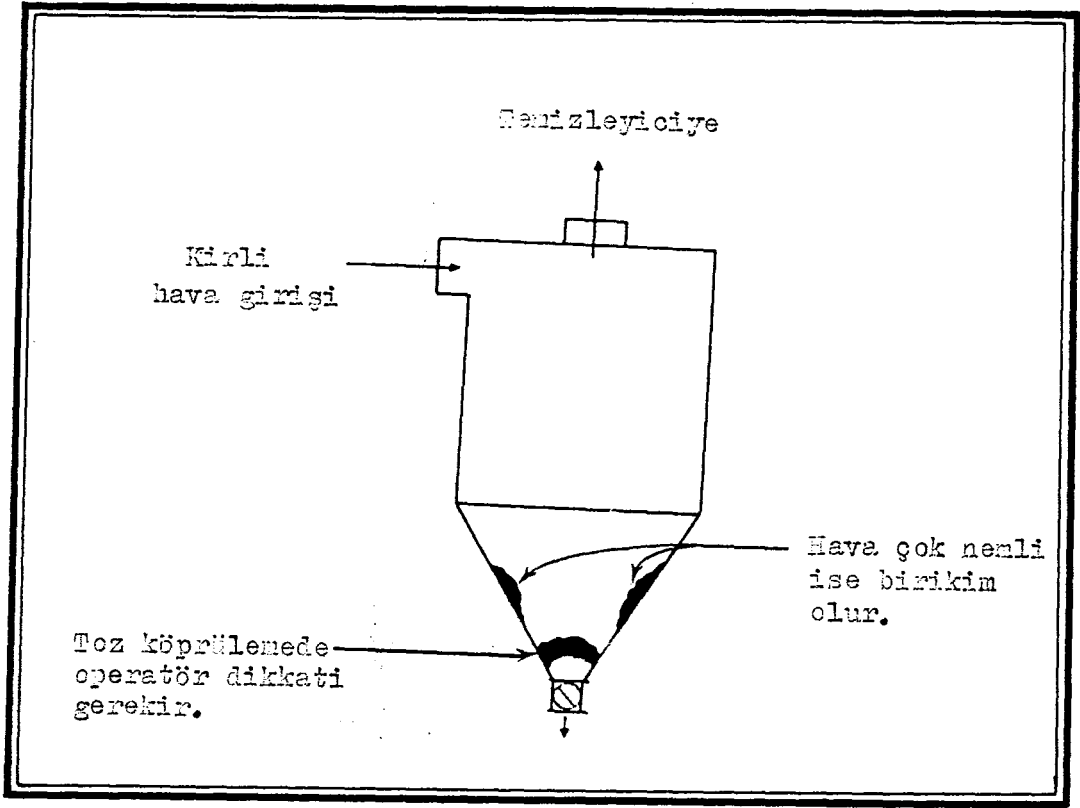
denklemiyle bulunur.

3.3.3. Ayrılmış tozların boşaltılması

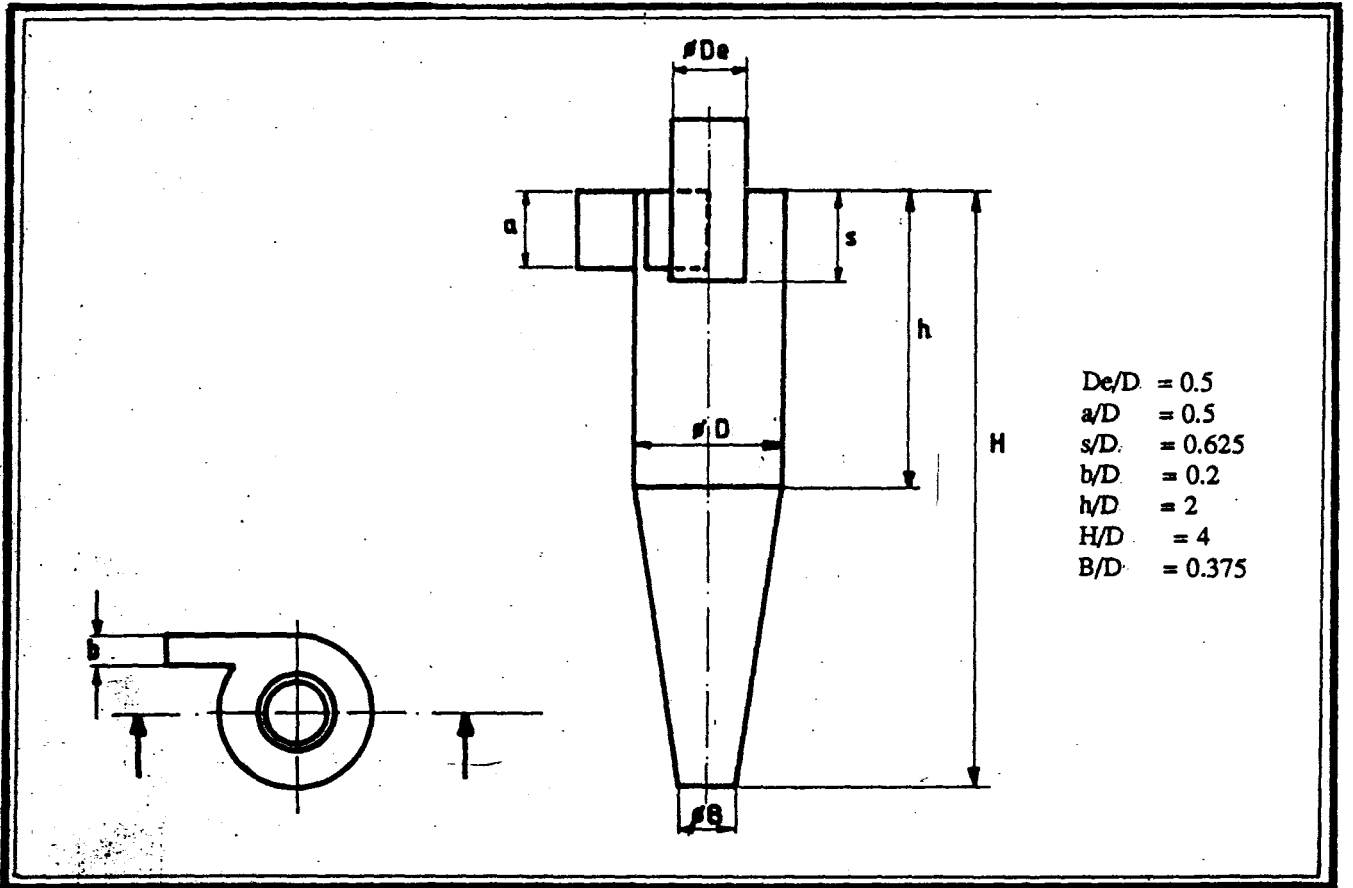
Parçacıkların gaz akışının dışına, siklon toplayıcının duvarına sürmek için merkezkaç kuvvetinin etkisiyle yoğun bir toz tabakasının siklon gövdesinin duvarından aşağı doğru dönerek inmesiyle sonuçlanır. Toz alt kısmında gaz akışından ayrılır. Boşaltımın amacı parçacıkların yeniden girdaba girmesini önlemektir. Siklon gövdesinin ve koninin uzunluğu parçacığın girdaba yeniden girişini etkiler. Toz parçacıklarının pürüzlere çarparak yeniden girdaba girmemesi için siklonun iç duvarlarının pürüzsüz olması gerekir. Toz biriktirme depolarından parçacık çıkması veya siklona hava akımı olmaması için toz alma ağzına vanalar yerleştirilir. Şematik olarak toplanmış tozun konideki birikimi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

3.4. Siklonların Boyutlandırılması

Siklonlarda henüz bir standartlaşmaya gidilmediği için değişik firmalar boyutlandırma da değişik metodlardan faydalanmaktadır. Boyutlandırma esas, dizayn edilen siklonun veriminin yüksek olmasıdır. Genel olarak bir siklon dizaynında gaz çıkış borusunun siklon gövdesi içinde kalan parçasının uzunluğu oldukça önemlidir. (Şekil 3.8'de "S" uzunluğu). Çünkü bu bölgede çevri (Eddy) akımları oluş-



Şekil 3.7. Siklondan parçacıkların ayrılması (6).



Şekil 3.8. Bir siklonun boyutlandırılması (11).

makta ve bu akımlar havayı, toz parçacıkları ile birlikte gaz çıkış borusunun gövde içinde kalan girişine (ağız bölümüne) doğru taşımakta ve bir miktar toz temizlenmiş hava ile bu noktada karışarak dışarı çıkabilmektedir. Boru uzun olduğunda gevri akımları artmaktadır. Bu konuda çeşitli firmalar kendi tasarımlarını bu etkiyi en az kılacak biçimde geliştirmişlerdir. Pratik açıdan çıkış borusu gaz girişi düzeyinin biraz altına kadar gövdeye girecek şekilde yerleştirilebilir.

Siklonların boyutlandırılmasında akışkandan ayrılan parçacığın kritik çapı tasarımcılar tarafından esas alınarak dizaynlar gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle parçacığın kritik çapını siklonun boyutlarına bağlı olarak elde etmek gerekir. Kritik partikülün büyüklüğü (d_{krit}) aşağıdaki bağıntılardan bulunabilir. Eğer gaz girişi U_i gaz hızı ile D çaplı siklon etrafında N kez spiral çizerken sabit kalırsa efektif gaz yolu uzunluğu (πDN) olur. Siklon içindeki gaz akımının siklonda kalma süresi gaz yolu uzunluğunun gaz hızına oranından bulunur. ($N\pi D/U_i$) kritik partikül boyutu siklon içinde bu kalma süresi zarfında B mesafesi (giriş borusu eni veya çapı) kadar hareket eden partikül boyutudur. Partikülü cidara doğru hareket ettiren kuvvet santrifüj kuvveti ve direnç kuvvetidir.

Stokes kanununa göre direnç kuvveti;

$$F = \frac{3\pi \mu d_{krit} \cdot U_i \cdot B}{\pi \cdot D \cdot N} \quad (3.11)$$

Santrifüj kuvveti;

$$F' = \frac{\pi \cdot d_{krit}^3 \cdot \rho_p \cdot U_i^2}{6 R} \quad (3.12)$$

Siklonun merkezinden R mesafede $U_i = U_m$ olduğu kabul edilir. Bu nedenle;

$$R = \frac{D}{2} = \frac{B}{2} \quad (3.13)$$

olur. Bu denklem girişte partikülün siklon ekseninden olan ortalama uzaklığını gösterir. Eğer bunlar eşitlenirse bu durumda,

$$d_{\text{krit}} = 3 \left[\frac{2\mathcal{M}}{\pi \rho_p \cdot U_i} \cdot \frac{R}{H} \left(1 - \frac{2R}{D}\right) \right]^{1/2} \quad (3.14)$$

Devir sayısı;

$$N = \frac{t \cdot U_i}{D} \quad (3.15)$$

den hesaplanır. Burada t , gaz akışının siklonda kalış süresi olup

$$t = \frac{V}{Q} \quad (3.16)$$

olarak yazılır. Q birim zamanda geçen gaz debisi, V ise siklon hacmidir. Şekil 3.9'da görülen ölçülere sahip bir siklonun efektif hacmi;

$$V = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{H-h}{D-B} \right) \cdot \left(\frac{D^3 - B^3}{3} \right) + D^2 \cdot h - D_e^2 \cdot S \right] \quad (3.17)$$

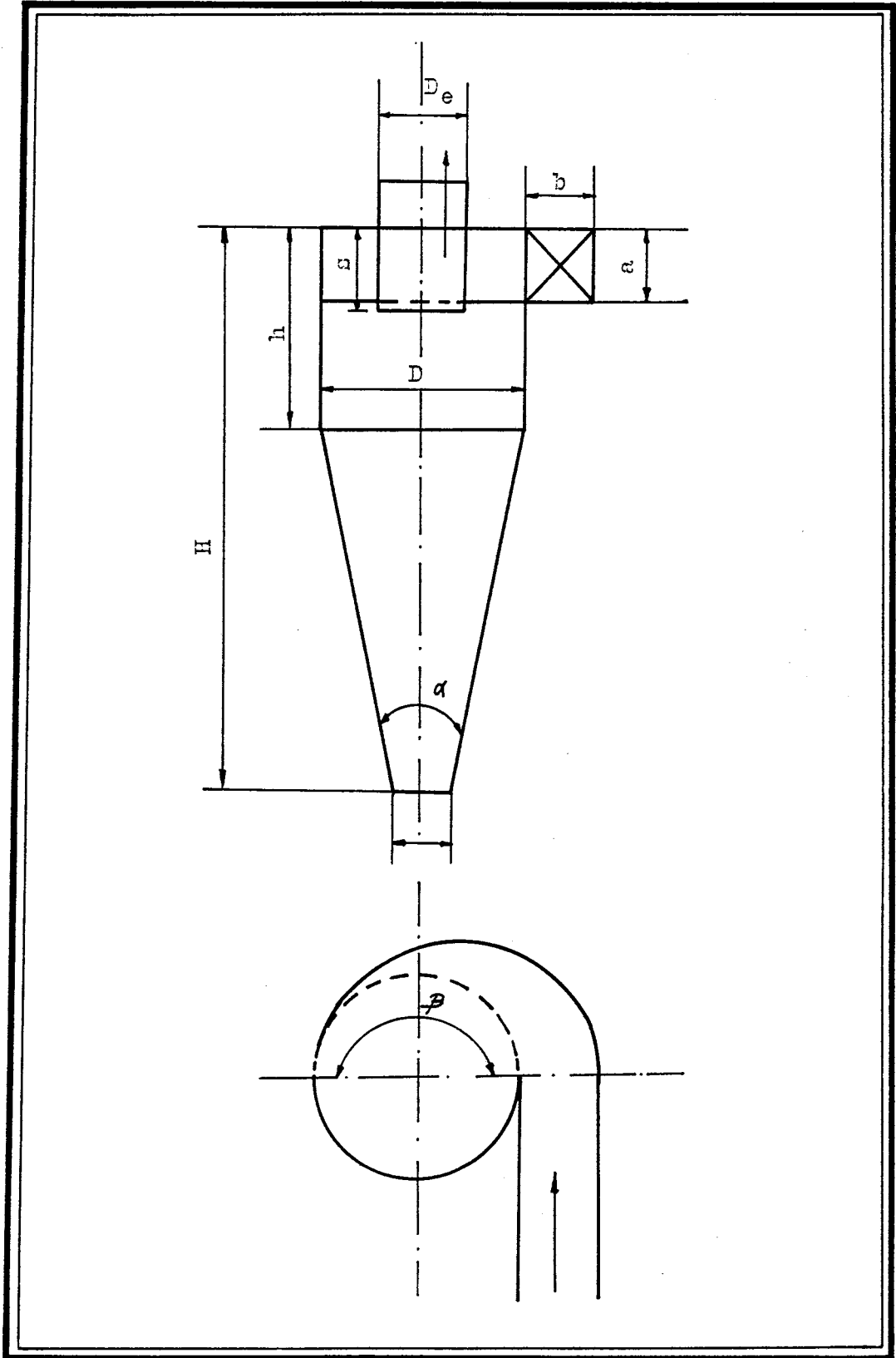
Rietema tarafından bu değer;

$$d_{\text{krit}} = \left[\frac{g \cdot U_H}{U_i} \cdot \frac{D}{aH} \cdot \frac{Q \cdot \mathcal{M}}{P} \cdot \left(\frac{\rho_g}{\rho_p - \rho_g} \right) \right]^{1/2} \quad (3.18)$$

olarak verilmiştir. Rietema'ya göre bu ifadede yer alan U_H/U_i oranının (Reynolds sayısı) yaklaşık olarak sabit kabul edilebileceğini ve böylece D , a , H ölçüleri bilinen bir siklon için, kritik çapın, geçen hacim miktarının ve basınç düşmesinin bir fonksiyonu olacağını ifade eder.

Cidar tabakasının genişliğine bağlı olan bu kritik çap hesaplamaları, belirli bir partikülün belli bir zaman süresi içerisinde gideceği uzaklığı gözönüne alarak komple bir verim eğrisinin elde edilmesi sağlanabilir. Böylece girişteki uzaklığın yarısını kullanmak suretiyle d_{50} partikül boyutunu elde etmek mümkündür. Bu uzaklığı kat eden partiküller toplanacak diğerleri kaçacaktır.

d_{krit} partikül çapı için Rosin, Rammler ve Intelmann'ın yaptığı varsayımları kullanmak suretiyle, fakat partikülün girişteki gaz



Şekil 3.9. Hesaplanalarda kullanılan boyutları gösteren klasik siklon (3).

akış biçimiyle aynı olan gaz akışıyla gitmesi yerine serbest girdap hareketi ile, halka içerisinde gideceği varsayımını yaparak, Davies aşağıdaki hesaplamayı yapmıştır;

$$d_{\text{krit}} = \frac{3}{2} \left[\left(\frac{D^2 \cdot \rho}{2H(\rho_p - \rho_g)U_i} \cdot 1 - \left(\frac{D_e}{D}\right)^4 \right) \right]^{1/2} \quad (3.19)$$

Kritik partikül çapındaki teorik sapmalarda yapılan varsayımlar pratikte doğrulanmaktadır ve deneye dayanan siklon verimini hesaplama metodlarının daha fazla güvenilir olma meyili vardır. Bunlar genellikle bir siklon kesitini hesap eder ve %50 verimin sağlandığı partikül büyüklüğüne göredir.

Maximum teğetsel hız noktasındaki bir halka içinde fırlıdak gibi dönen partiküller %50 lik bir toplama veya çıkış borusu içinden geçme şansına sahiptirler. Cidara doğru olan dış hareketinin gazların içeri doğru (radyal) olan çekmesi tarafından dengelenmesi gerekir.

Stairmand çıkış borusu cidarında maximum teğetsel hıza (U_{Tmax}) erişildiğini belirtir. Zerrenin karşılaştığı akışkan direnci Stokes Kanunu ile veriliyorsa, hız olarak U_{Rort} kullanılırsa ve bu zerre üzerine etkiyen santrifüj kuvveti tarafından dengeleniyorsa d_{50} için;

$$U_{Rort} = \frac{2Q}{\pi \cdot D_e(H-s)} \quad (3.20)$$

ve buradan;

$$d_{50} = \frac{3}{U_i \cdot \varphi} \cdot \sqrt{\left(\frac{Q \cdot \rho \cdot D_e}{2 \cdot \pi (\rho_p - \rho_g) (H-s) D} \right)} \quad (3.21)$$

olarak yazılır. Burada φ sürtünme faktörü ve d_{50} siklon kesit çapıdır. Denklem (3.18)'in elde edilmesinde kullanılan bir ilave değişiklik ise,

$$\frac{U_{Tmax}^2 \cdot D_e}{4} = \frac{U_i^2 \cdot D}{2} = \text{Sabit} \quad (3.22)$$

olmuştur ve bu Stairmand'ın bulduğu deneysel bağıntıdır. Stairmand'ın ortaya attığı fikirlerle benzeyen fikirler boru çıkışıyla aynı hızdaki bir halka içinde ulaşılan maximum teğetsel hız hariç Bart tarafından kullanılmıştır. Çıkış borusu ile aynı hızdaki silindirden geçen çekme hızı;

$$U_{Rort} = \frac{Q}{\pi \cdot De(H-s)} \quad (3.23)$$

yazılır. Çapı d_{p50} olan bir partikülün buna eşit olan dışa doğru bir hızı olacaktır ve yerçekimine bağlı bir son çökme hızı U_t cinsinden akışkan-akış direnci varsayarak (3.21) eşitliğinden;

$$h = -0,029 \frac{V_s \cdot d}{U} + 2,62 \frac{Q_n^{1/2}}{U} \quad (3.24)$$

elde edilir. Buradan;

$$h = \frac{2 U_M^2}{g \cdot De} \quad (3.25)$$

eşitliği kullanılarak söz konusu çap bulunabilir.

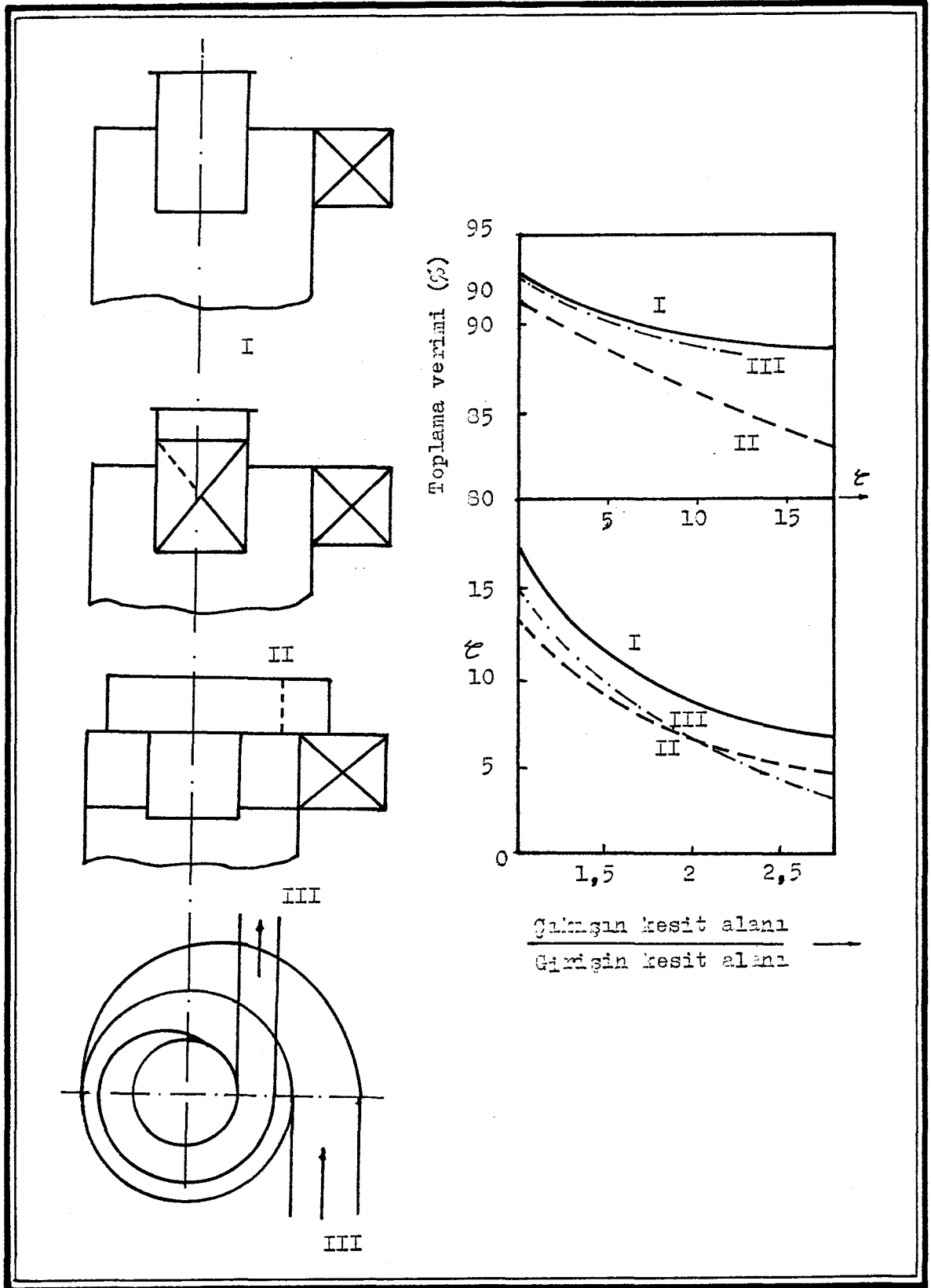
$$U_t = \frac{U_{Rort}}{n} = \frac{Q \cdot g}{2 \cdot \pi \cdot (H-s) U_M^2} \quad (3.26)$$

Bütün bu amprik bağıntılara benzer daha birçok benzer hesaplama yöntemi vardır. Şekil 3.10'da giriş alanına bağlı olarak çıkış alanı verilmiştir. Şekil 3.11'de ise standart siklon tasarımları verilmiştir.

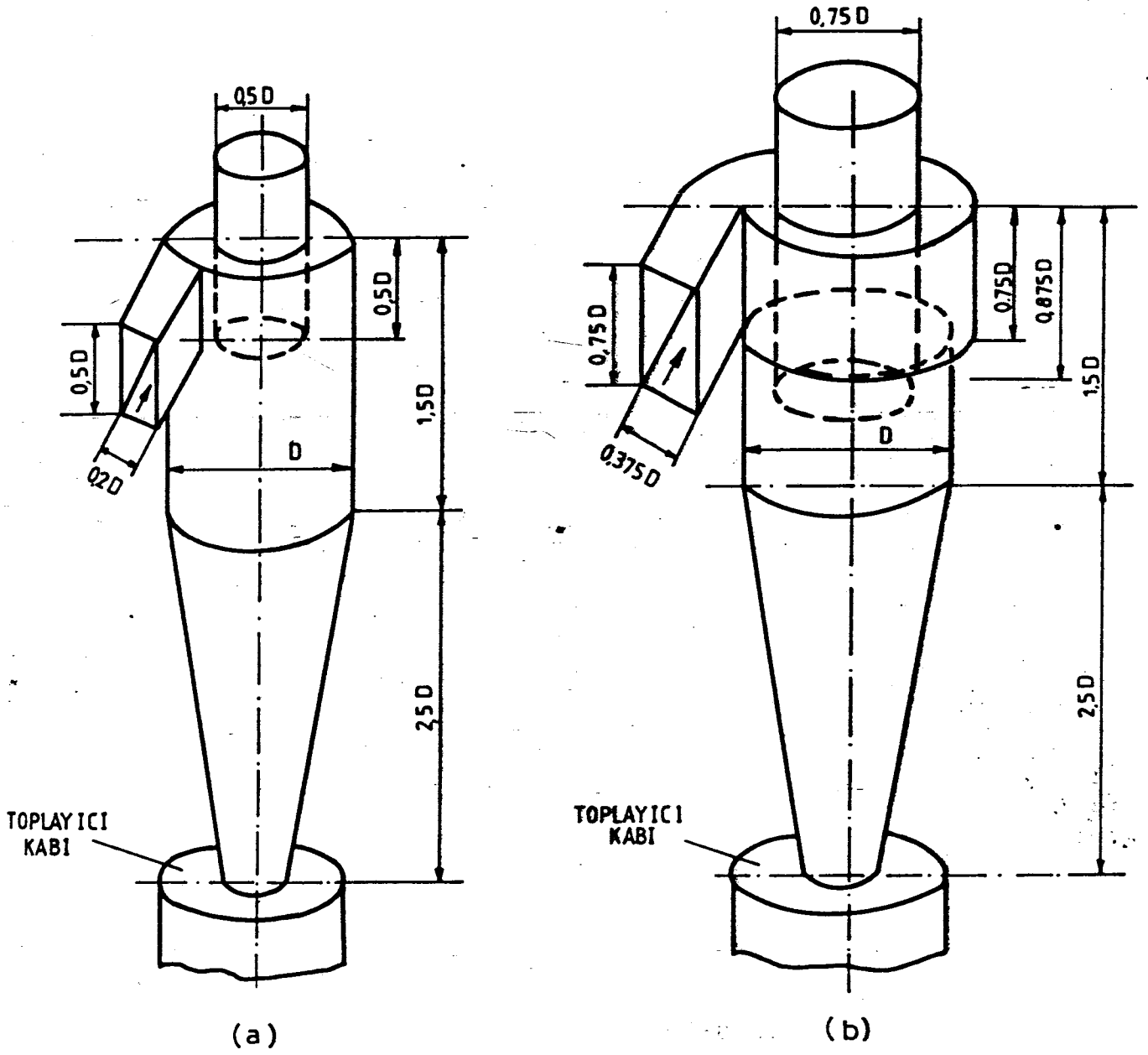
3.5. Siklonlarda Toplama Verimi

Belirli bir d_p çapındaki parçacıkların siklon tarafından toplananlarının, siklona giren bu çaptaki parçacık sayısına oranı toplama verimi olarak adlandırılır. Yani,

$$\eta_f = \frac{\text{Yakalanan } d_p \text{ çapındaki parçacıklar}}{\text{Siklona giren } d_p \text{ çapındaki parçacıklar}} \quad (3.27)$$



Şekil 3.10. Giriş alanının oranı olarak çıkış alanı (3).

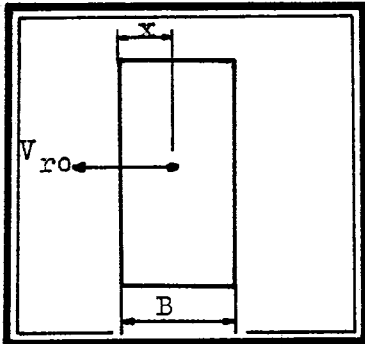


Şekil 3.11. Standart siklon tasarımları (3).

$\eta_f=1$ ise d_p çapındaki bütün parçacıklar toplanıyor demektir. Homojen d_p çapı için x uzaklığındaki tüm parçacıklar toplanacaktır. Buna göre;

$$\eta_f = \frac{x}{B} \quad (3.28)$$

olarak gösterilecektir (Şekil 3.12).



Denklem (3.9) ve (3.10) dan,

$d_p = K \cdot x^{1/2}$ ve $d_{pmin} = K \cdot B^{1/2}$ olarak alınırsa,

$$\eta_f = \frac{1/K^2 \cdot d_p^2}{1/K^2 \cdot d_{pmin}^2} = \left(\frac{d_p}{d_{pmin}} \right)^2 \quad (3.29)$$

Şekil 3.12. Siklon giriş boyutu (5).

elde edilir.

Başka bir anlatımla d_{pmin} bilinen bir siklonda $d_p < d_{pmin}$ olmak üzere d_p çapındaki parçacıkların toplama verimi; $(d_p/d_{pmin})^2$ olur. d_p/d_{pmin} için fonksiyonel verim, $\eta_f=1$ 'dir.

Rossen, Rammler ve Intelmann en uygun oranları grafikte göstererek parça büyüklüğünün toplama verimine etkisini vermişlerdir. Uygun parçacık büyüklüğü (d_{pc})'yi veren ampirik formül;

$$d_{pc} = \sqrt{\frac{g \cdot B}{2 \cdot \pi \cdot V_m \cdot n \cdot (\rho_p - \rho_g)}} \quad (3.30)$$

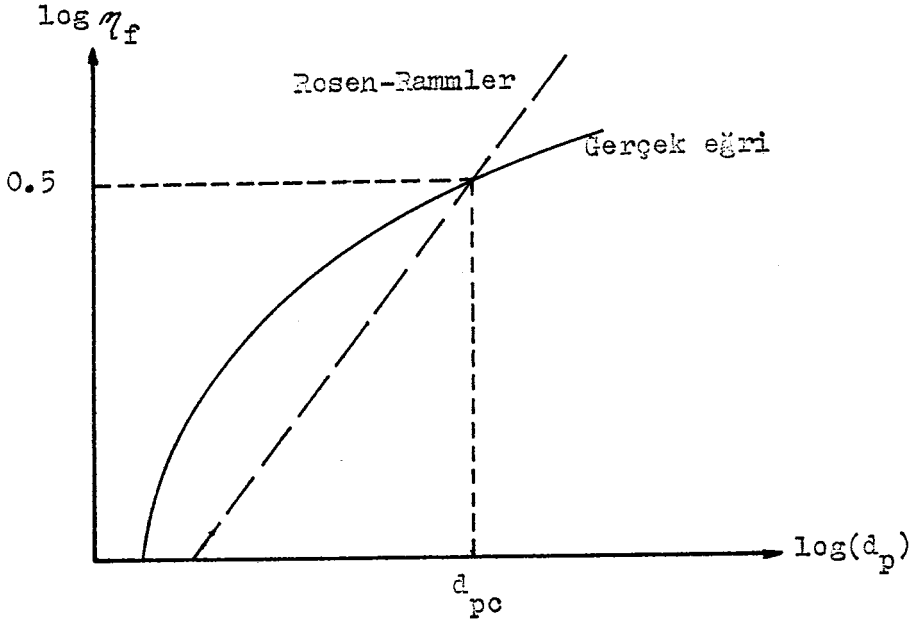
şeklindedir. Denklem (3.10) yardımıyla;

$$d_{pc} = \frac{d_{pmin}}{\sqrt{2}} \quad (3.31)$$

ifadesi çıkarılabilir. Ticari literatürde uygun parça büyüklüğü fonksiyonel verimin %50'sine tekabül eden parça büyüklüğünü verir ve d_{p50} olarak gösterilir.

Denklem (3.31)'de elde edilen bağıntı, gerçekte büyük çaplı

parçacıklar için daha büyük değerler vermektedir. Logaritmik ölçekteki diyagramda bu fark Şekil 3.13'deki gibi gerçekleşir.

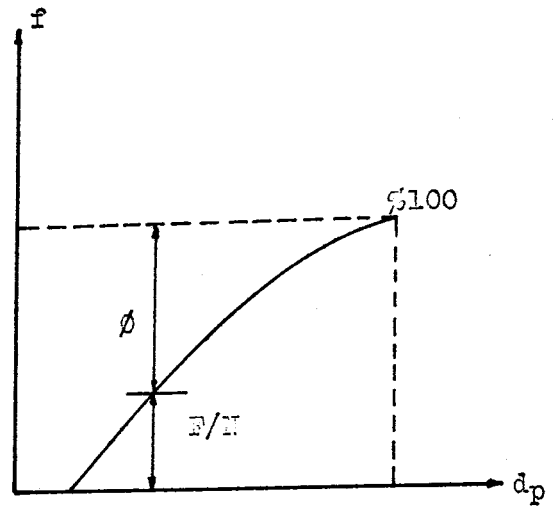
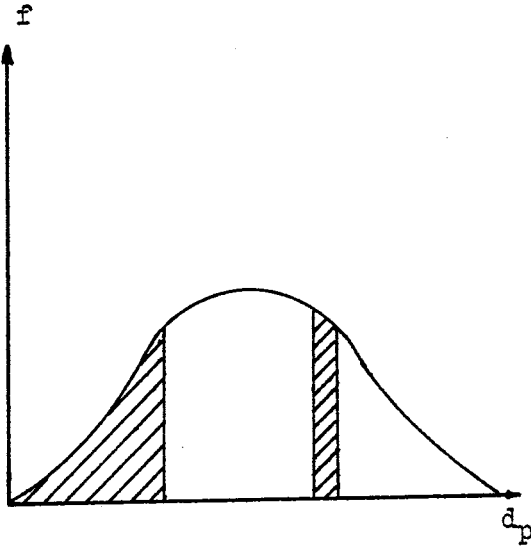


Şekil 3.13. $\eta_f = F(d_p)$, fonksiyonel verim eğrisi (5).

Fonksiyonel verim (toplama verimi) homojen parçacık çapları için tanımlanmıştır. Ancak genelde parçacık çapları homojen değildir. Bu nedenle toplama veriminin yanında, genel toplama verimi tanımlanmıştır. Genel toplama verimi, toplanan parçacık sayısının tüm parçacık sayısına oranını gösterir. Buradan genel toplama verimi,

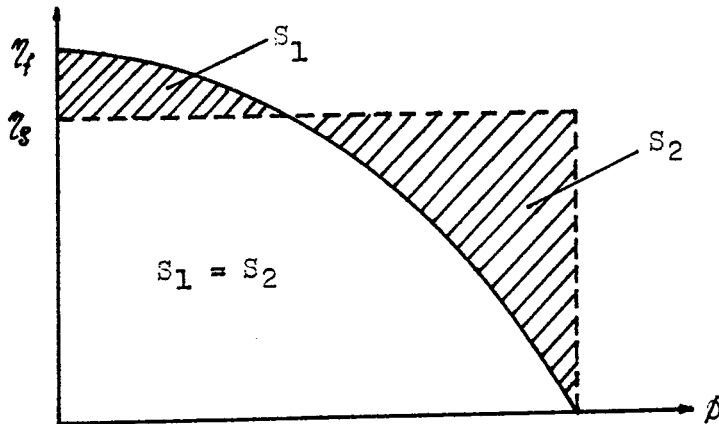
$$\eta_g = \frac{\text{Toplanan parçacık sayısı}}{\text{Tüm parçacık sayısı}} \quad (3.32)$$

Eğer parçacıkların granülometrisi, yani parça dağılımı bilinir ve toplanan parçacık sayısı bilinirse genel toplama verimi de bulunabilir. Bunun için şöyle hareket edilir: Dağılım eğrisi ve burdan kümülatif dağılım eğrisi çizilir. Ordinatlar (N) parçacık sayısına bölünerek boyutsuzlaştırılır. Kümülatif eğri elde edilir. Bu eğriden (d_0) çapından büyük parçaların yüzdesini veren (ϕ) değerinin eğrisi (d_p) ye göre bulunur. $\eta_f = f(d_p)$ ve $\phi = \phi(d_p)$ eğrilerinden $\eta_f = \psi(\phi)$ eğrisi elde edilip çizilir. Fonksiyonel verim eğrisinin



Şekil 3.14. Dağılım eğrisi (5). Şekil 3.15. Kümülatif dağılım eğrisi (5).

ortalama değeri genel verimi verir. Bunun için alan ölçülmesi yeterlidir.



Şekil 3.16. Genel verim eğrisi (5).

Siklon ayırıcılar 10 mikron çapında yada daha büyük partikülleri ayırmak için kullanılırlar. Bununla birlikte siklon ayırıcılar partikül boyutu 25 mikron yada daha büyük olduğu sürece %80 verimin üstüne çıkabilirler. Boyutu 5 mikronun altındaki partiküller için daha yüksek verimli siklonlar dizayn edilmiştir. Dizayn ne olursa olsun, herhangi bir siklonun ayırma (toplama) verimi parti-

kül boyutu küçüldükçe aniden düşer. Bu durum Şekil 3.17'de görülmektedir. Büyük kapasitelerde verim azalır. Büyük partiküller için ön temizleyici konulabilir. Tablo 3.1'de partikül boyutuna göre siklon verimleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Siklon verimliliği (%) (3).

Partikül iriliği (μ)	Klasik siklon	Yüksek verimli siklon
5	-	50 - 80
5 - 20	50 - 80	80 - 95
15 - 50	80 - 95	95 - 99
40	95-- 99	95 - 99

Verilen bir siklonda verim değerini elde etmek için %50 verimle toplanacak partikül boyutları daha önce belirtilen denklem (3.21)'le verilmiştir. Gerçek partikül boyutu olarak kabul edilen d_{p50} ye göre, genelleştirilmiş bir fonksiyona göre toplama verimi Şekil 3.18'de verilmiştir.

Teorik olarak toplama verimini etkileyen faktörler, partiküle etkiyen santrifüj kuvvetin sürüklenme kuvvetine oranından tespit edilebilir. Bu oran arttıkça toplama verimi de artar. Bir partiküle etkiyen santrifüj kuvveti şu şekilde verilir.

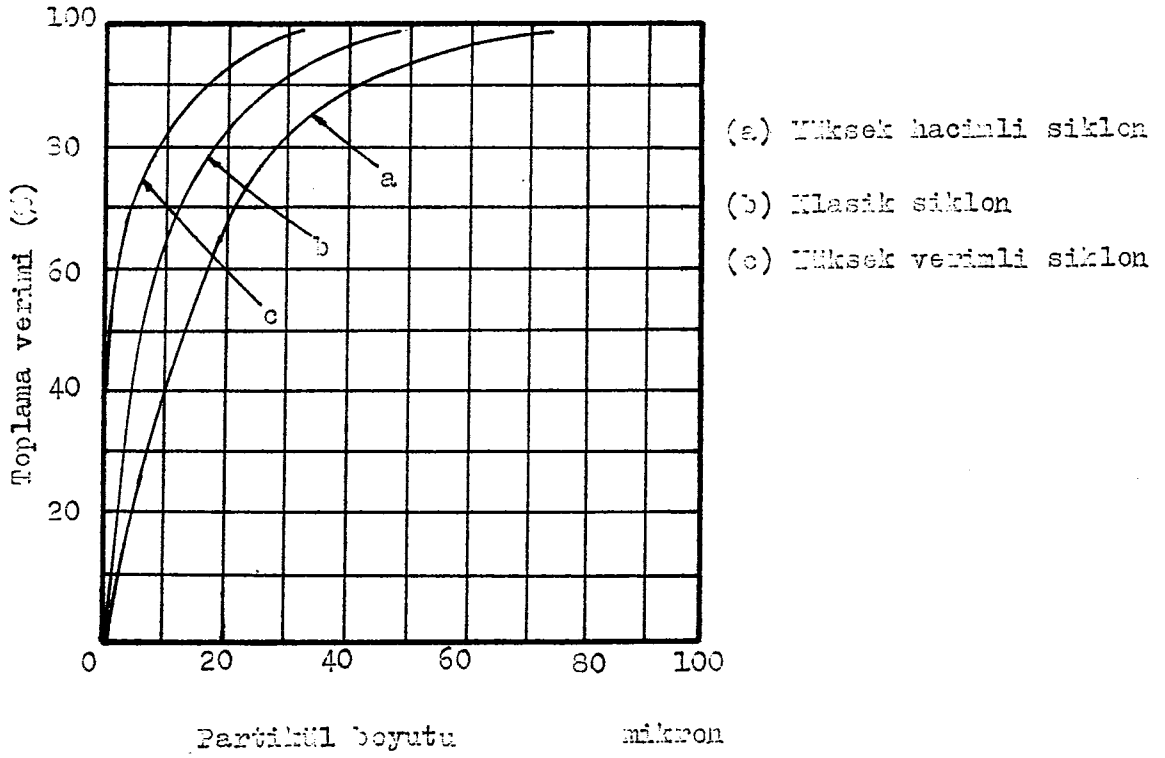
$$F_c = \frac{M_p \cdot V_p^2}{R} = \frac{\rho_p \cdot d_p^3 \cdot V_p^2}{R} \quad (3.33)$$

Burada R siklonda dönüşün yarıçapı ve M_p , partikülün kütlesidir. Buna ek olarak Stokes Kanununun geçerli olduğu bölgede sürüklenme kuvveti;

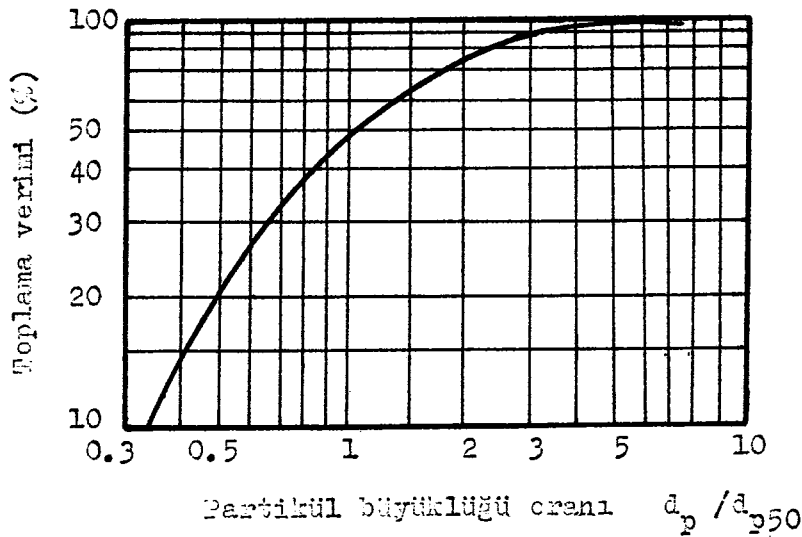
$$F_D = K \cdot d_p \cdot \rho_g \cdot V_p \quad (3.34)$$

olarak verilir. Sonuç olarak denklem (3.35)'le verilen ifadedeki oranın artması verimin artması demektir.

$$\eta = \frac{\text{Santrifüj kuvvet}}{\text{Sürüklenme kuvveti}} = \frac{V_p \cdot \rho_p \cdot d_p^2}{R \cdot \rho_g} \quad (3.35)$$



Şekil 3.17. Çeşitli tipteki siklonlar için partikül büyüklüğünün fonksiyonu olarak toplama verimi (9).



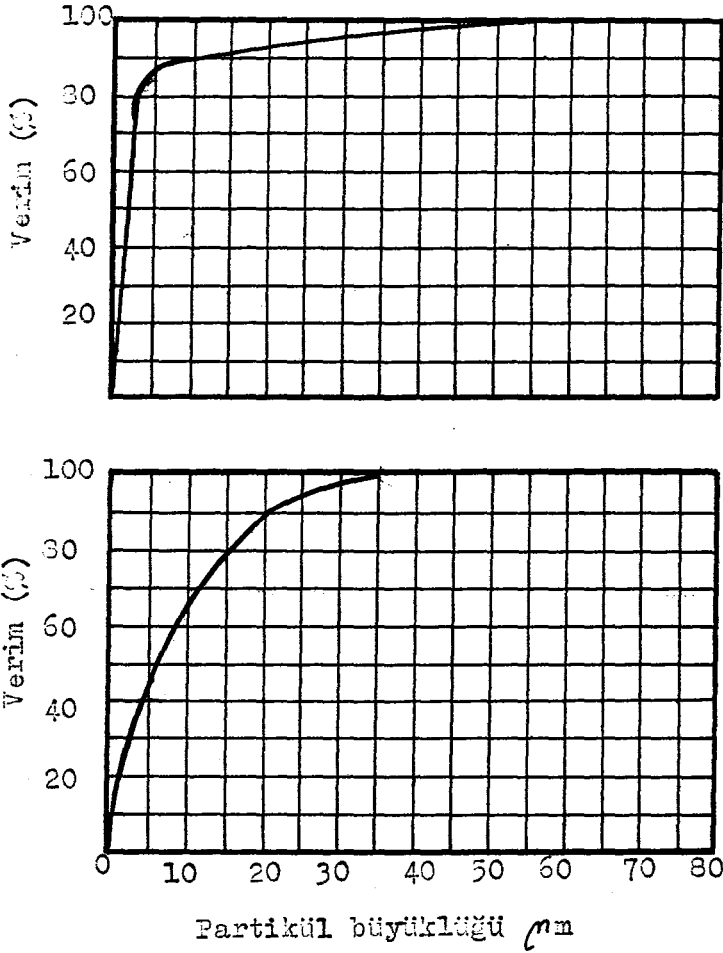
Şekil 3.13. Partikül boyutuna bağlı olarak genelleştirilmiş siklon verimi (9).

İlk yaklaşım olarak toplama veriminin partikül yoğunluğu, partikül çapı ve giriş yada teğetsel hızın artışıyla arttığı, siklon çapı ve taşıyıcı gaz viskozitesinin artmasıyla düştüğü görülmektedir. Gazın viskozitesi ise sıcaklıkla artar. Denklem (3.35)'den kolaylıkla görülebileceği gibi, neden küçük partiküllerin yüksek verimle tutulamadığı anlaşılmaktadır. Çünkü verim (d_p^2)'le orantılıdır. Ayrıca verimin siklon gövdesinin uzunluğu ve taşınan partikül miktarı ile arttığı uygulamada görülmüştür. Siklonun iç yüzeyinin pürüzsüz olmasında verimi önemli ölçüde etkiler. Yine denklem (3.35)'den küçük çaplı siklonların, büyük çaplı siklonlardan daha verimli olduğu görülmektedir. Ancak bu fiziksel boyutları birbirine bağlı olan siklonlar için geçerlidir. Bazı boyutların değiştirilmesiyle büyük çaplı siklonların verimi arttırılabilir. Bunun yanında verimin arttırılması aynı debi değeri için basınç düşümüne veya yükselmesine sebep olabilir.

Daha önce siklon taşıyıcıların veriminin partikül büyüklüğüne bağlı olduğu açıklanmıştır. Dolayısıyla siklonların kullanım alanlarına göre de verimi değişir. Tablo 3.2'de tipik uygulamalar için toplama verimleri verilmiştir.

Tablo 3.2. Sanayide çeşitli alanlarda siklon toplama verimi (6).

Örnek Uygulamalar	Partikül Yoğunluğu	Partikül Büyüklüğü	Toplama verimi (%)
Çimento Bacaları	% 35	10 mikron	75-85
Hafif toz grupları	% 25	"	80-95
Gübre fabrikaları	% 40	"	80-95
Kıyza sanayi	% 10-50	"	80-97
Petrol artıkları	% 10-20	"	99
Genel olarak (endüstride)	% 10-60	"	65-98



Giriş hızı 15,2 m/sn, 20°C havada 2000 kg/m³ katı yoğunluğu (kesafeti) olan 200 mm çapındaki siklonlardaki verim eğrileri,

- a) Yüksek verimli siklon Şekil 3.11 a
- b) Yüksek geçişli siklon Şekil 3.11 b

Şekil 3.19. Giriş hızı 15,2 m/sn, 20°C havada 2000 kg/m³ katı yoğunluğu olan 200mm çapındaki siklonların verim eğriler (9).

3.6. Siklonlarda Verim ve Basınç Düşmesi

Siklonlar genellikle klasik ve yüksek verimli olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Yüksek verimli siklonlar daha büyük ayırma kuvvetine ulaşabilmek için daha küçük gövdeye sahiptirler. Sözkonusu gövdenin çapı maksimum 25 cm kadardır. Çeşitli siklonların verim-

leri ve basınç düşmeleri Tablo 3.3'de verilmiştir. Genel olarak partikül iriliği veya yoğunluğu, gaz giriş hızı, siklonun konik bölümünün uzunluğu ve gövde çapının gaz çıkış çapına oranı (D_c/D_e) arttıkça verimlilik artmaktadır. Buna karşın gazın özgülüğü, siklon çapı, gaz çıkış çapı ve giriş alanı arttıkça verim düşmektedir. Siklonlarda verimliliği arttıran etkenler aynı zamanda siklondaki basınç düşmesini de arttırmaktadır.

Klasik siklonlar 20 mikrondan büyük partiküller için çok iyidir. Örneğin kağıt, odun talaşının 10 mikrondan büyük olmaları durumunda yüksek verimli siklonlarda daha iyi bir şekilde toplanırlar. Benzer şekilde göklu tip siklonlar için 5 mikron çapındaki tahta ve metal parçaları iyi bir verim sağlar.

Tablo 3.3. Çeşitli siklonların özellikleri (3).

Siklon Türü	Yer Gereksinimi	Debi (m^3/dk)	Verim	Basınç Düşmesi (mmSS)	Enerji Gereksinimi (kw/m^2)
Klasik	fazla	1400(max)	20 miğin %50	20-75	$0,38-1,15 \times 10^{-12}$
Yüksek	orta	340(max)	10 miğin %80	75-125	$1,15-1,9 \times 10^{-12}$
Gök Tüplü	Az	2850(max)	7 miğin %90	115	$1,74 \times 10^{-12}$

Siklonlarda basınç düşümü şu formülle verilmektedir;

$$\Delta P = 807497,6 \cdot \frac{KQ^2 \cdot P \cdot \rho_g}{T} \quad (3.36)$$

Burada ΔP , cmSS olarak basınç düşmesi, Q cm^3/sn olarak gazın debisi, P atmosfer olarak gazın basıncı, T kelvin olarak gazın sıcaklığı, ρ_g , gr/cm^3 olarak gaz yoğunluğu ve K Tablo 3.4'de verilen ampirik tasarım faktörüdür.

Tablo 3.4. Basınç düşümü parametresi "K" nin siklon çapı ile değişimi (3).

Siklon çapı (cm)	73,66	40,64	20,57	11,17
K	10^4	10^3	10^2	10^1

K faktörünün siklon çapıyla değişimi logaritmik eksenlerde düz bir doğrudur. Eğer taşıyıcı gaz hava ise (3.36) denklemi aşağıdaki şekle döner.

$$\Delta P = 1,14815 \times 10^{-12} \frac{K \cdot Q^2 \cdot P^2}{T^2} \quad (3.37)$$

Buradaki birimler denklem (3.36)'daki birimlerle aynıdır. Gaz hızı debi ile doğru orantılı olduğundan basınç düşümü hızın karesi ile orantılı olarak artar. Eğer başlangıçta partikül hızı gaz hızına eşit alınırsa denklem (3.35)'ten toplama veriminin gaz hızıyla doğru orantılı olduğu görülür. O zaman toplama verimi ve basınç düşümü hacimsel debi ile orantılıdır. Basit siklonlar için basınç düşümü 1,25-5 mbar arasında değişirken yüksek verimli siklonlarda bu düşüş 5-15 mbar arasındadır.

3.7. Siklonlarda Verimliliği ve Basınç Düşümünü Etkileyen Tasarım Faktörleri

Boyut analizinde ve teorik çalışmalarda görüldüğü gibi bir çok değişken verim ve kayıplarına etki etmektedir. Bazı değişkenler ise ne boyut analizi, ne de teorik çalışmalarda gözönüne alınmamıştır. Bütün bu değişkenlerin etkilerini kısaca şöyle sıralayabiliriz.

3.7.1. Siklonun boyut oranlarının etkisi

Siklon boyutları D_1 çapının oranları olarak ele alınacaktır. Bir boyut oranı ele alındığında diğer boyut oranları sabit kabul edilecektir. D_1 çapı siklon gövde çapıdır.

D_1/D_2 oranı arttığında yük kayıpları ve verim artar.

D_1/D_3 oranı arttırıldığında yük kayıpları ve verim artar.

a/D_1 oranı arttırıldığında yük kayıpları artar, verim azalır.

L/D_1 oranı arttırıldığında yük kayıpları azalır, verim artar.

b/D_1 oranının büyük bir etkisi olmamakla beraber arttırılması halinde yük kayıpları ve verim bir miktar azalır.

h/D_1 oranının da önemli bir etkisi olmadığı kabul edilir. Ancak genellikle b 'den küçük olmayacak şekilde mümkün mertebe küçük tu tulumaya çalışılır. Oranın arttırılması yük kayıplarını bir miktar arttırıp verimi bir miktar azaltabilir.

3.7.2. Koninin etkisi

Koni siklon için şart bir öge olmamakla birlikte genellikle konik siklonlar tercih edilir. Koni, gazın daha kısa mesafede toparlanıp iç girdap oluşumunu sağlar. Tozların bir merkeze toplanması ve kolayca alınabilmesini mümkün kılar. Koni yük kayıplarını ve verimi bir miktar arttırır.

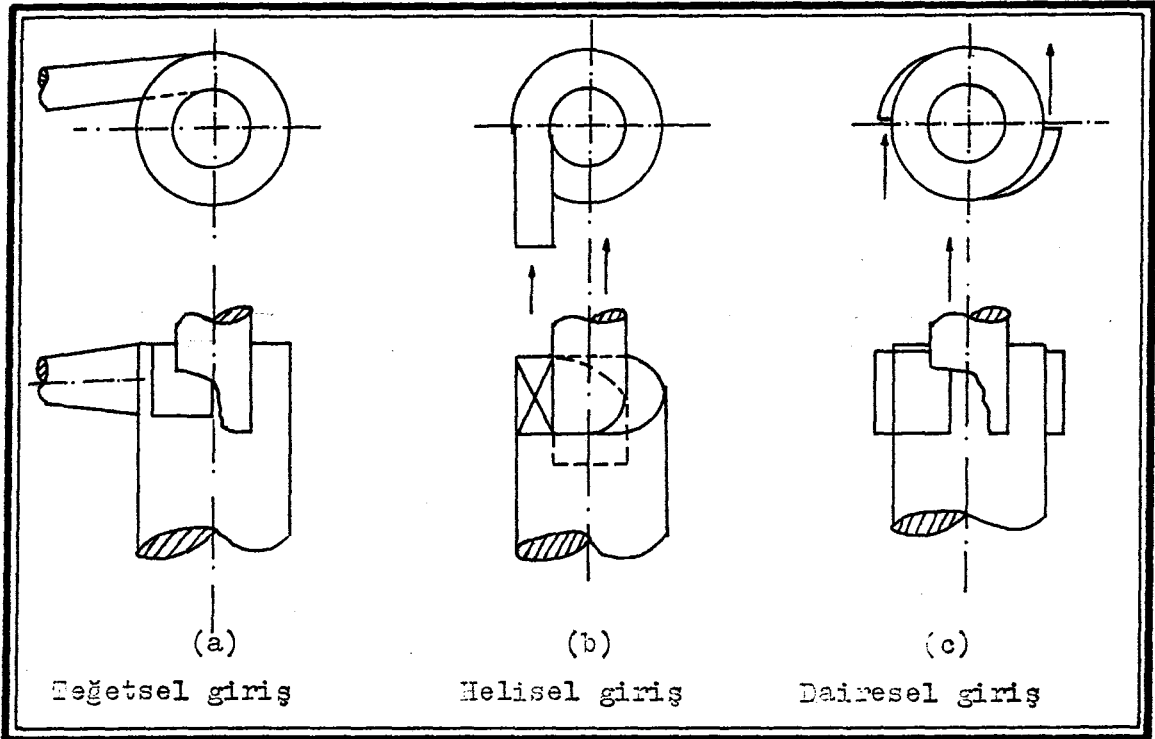
3.7.3. Giriş dizaynının etkisi

En önemli öğelerden biridir. İki tip giriş vardır. Bunlardan biri aksenal girişler olup bunlar hakkında yeterli bilgi yoktur. Mevcut bilgilerde genellikle ticari işletmelere aittir. Teğetsel girişler için yapılmış bir çok araştırma mevcuttur. Bu araştırmalar neticesinde farklı giriş tipleri geliştirilmiştir.

Teğetsel girişlilere ait 3 farklı giriş tipi şekil 3.20'de gösterilmiştir. Bu farklılık basınç yarıçaplarının azaltılması ve verimin arttırılması kaygısından kaynaklanmaktadır.

Şekil 3.20.a'da görülen normal teğetsel girişli siklonların girişinde akım yönünün değişmesi, genişleme ve daralma etkisinden dolayı çok kayıpları ve akım bozulmaları gibi etkiler oluşabilmek-

tedir. Bazı girişler düz iken bazıları akıma cidara yönlendirici eğikliğe sahiptir. Eğik girişler bazen gaz akıma kanalının küçültülmesi veya dairesel kanalın dikdörtgen kesite dönüştürülmesinden kaynaklanabilmektedir. Bu durumlarda bağlantının siklondan uzakta yapılması veya kademeli olarak küçük bir açı ile (max 12-15°) yapılması gerekir. Düz girişlilerin verimleri ve yük kayıpları eğik girişlilerden daha iyidir.



Şekil 3.20. Siklonlarda teğetsel giriş tipleri (1).

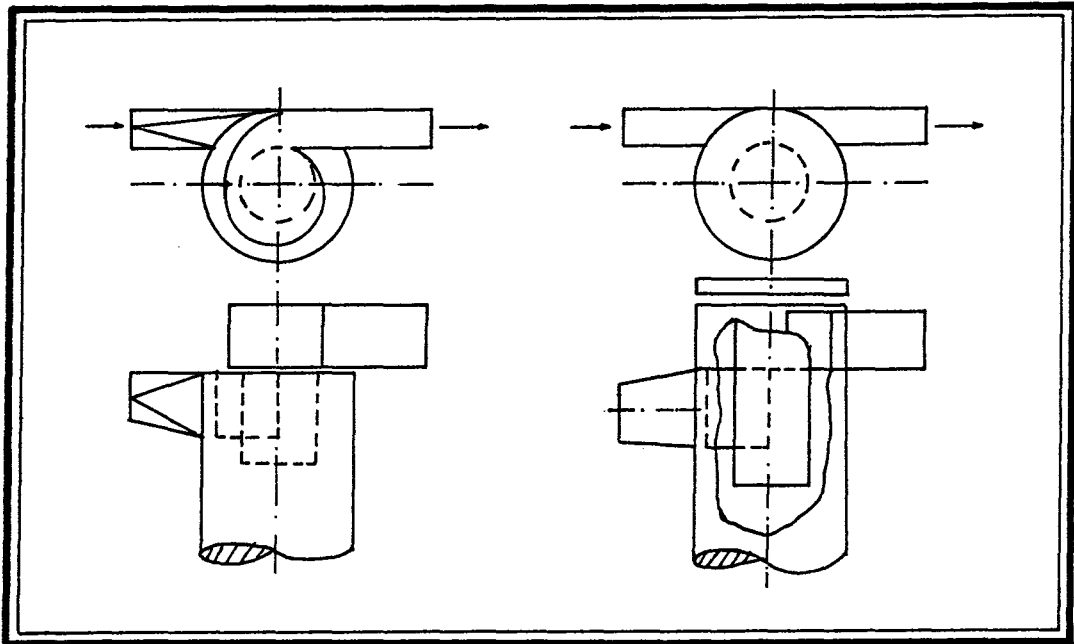
Girişte oluşan kayıpları azaltmak ve akışkana spiral bir hareket kazandırmak amacıyla Şekil 3.20.b'de görülen helisel giriş dizaynı düşünülmüştür. Ancak yapılan çalışmalarda bu amaçların gerçekleştirildiğini gösteren yeterli sonuçlar bulunamamıştır. Fazla yaygın bir tip değildir.

Girişteki çok kayıplarını ve gazın çıkış borusu ile temasını azaltmak amacı ile Şekil 3.20.c'de görülen yuvarlak girişli tipler geliştirilmiştir. Bu tiplerin çok tablalı olması tesiri daha etkin kılabilir. Bu tipler için yapılmış yeterli deneysel sonuçlar yoktur.

3.7.4. Çıkış kanalı ve etkişi

Genelde çıkış kanalı veya borusu kısa yapılır. Bu sayede yük kayıplarının azaltılmasına çalışılır. Buna karşın verimde bir azalma gözlenir. Optimum çözüm olarak siklona giriş yüksekliğinden küçük olarak şartıyla ona yakın değerler alınır. İç girdap çıkış boyunca devam ettiğinden parçacıkların tutulması devan eder. Gaz akımı parçacık akımının ters yönünde olduğundan burada tutulan tozlar-
dan yararlanmak güçtür. Bunun için çıkış borusunda toz toplama yönünde bir miktar temizleme akışı verilir. Bazende bir eğimsiz malzemeyle yüzey kaplanarak siltme yoluyla tozların kazanılması yoluna gidilir.

Yük kayıplarını azaltmak amacıyla çıkış borusunun üstüne genişleme kutuları veya akım doğrultucular konularak girdabın ve kinetik enerjisinin geri alınarak statik basıncın iyileştirilmesi yoluna gidilir. Bu şekilde bir miktar kayıplar azaltılmış olur. Şekil 3.21'de bu uygulamalara ait 2 konstrüksiyon örneği verilmiştir.



Şekil 3.21. Çıkış borusu ve kutusu dizaynı örnekleri (1).

3.7.5. Toz boşaltma dizaynı ve etkisi

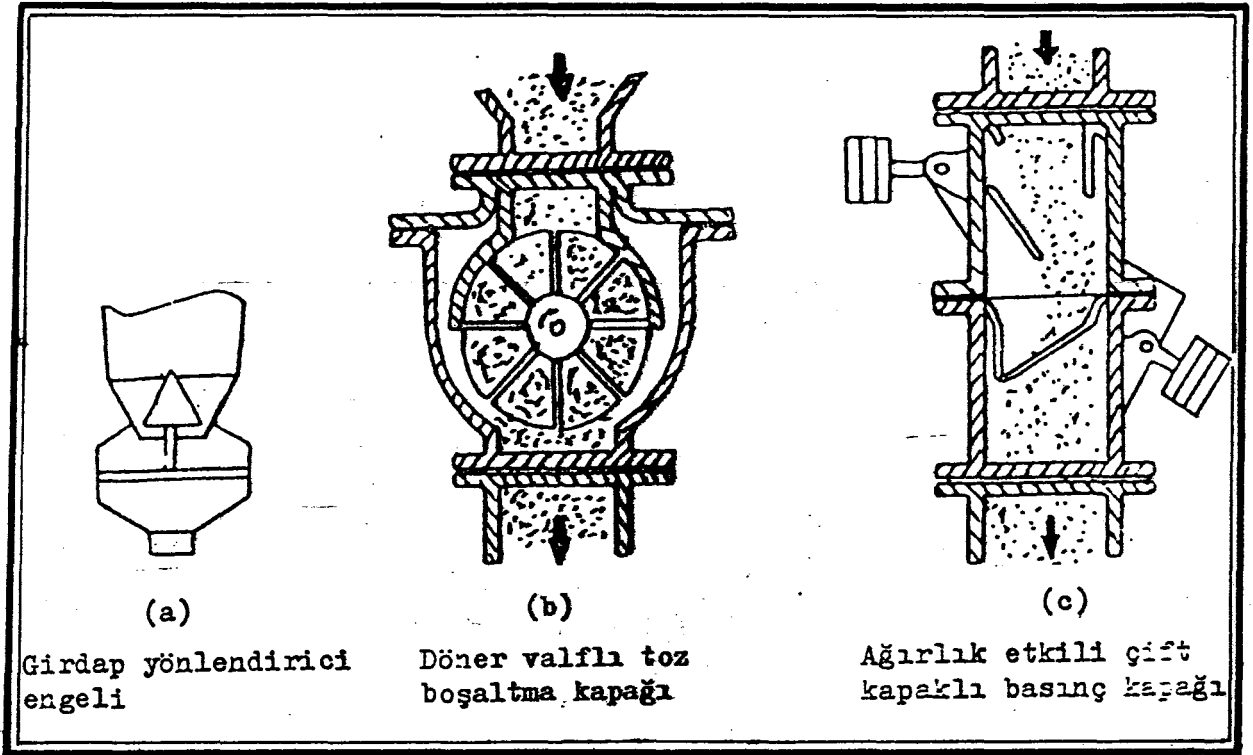
Siklonlarda toplanmakta olan tozların siklon bölgesinden uzaklaştırılması gerekir. Bu işlem sürekli veya kademeli olarak yapılabilir. Ancak sürekli alınmasında yarar vardır.

Siklon bölgesinden tozları uzaklaştırmak için en basit çözüm koni ucuna (bir tarafı koni ucuna açık diğer tarafı kapalı) bir toz tutucusu bağlanmıştır. Bu halde kutunun en az iki saatlik, normalde sekiz saatlik toz yüküne sahip olması gerekir. Bu tip kutularda siklonlarda oluşan girdapa benzer girdaplar oluşur. Bu girdaplar sonucu tozların bir kısmı sürüklenerek siklon içine, oradan iç girdaptan siklon dışına çıkar. Bu durum verimi düşürür. Bu toz kaybını önlemek için siklon kenisi ile toz kutusu arasına girdap yönlendirici kanatlar veya diskler konulabilir. Bir örnek şekil 3.22.a'da görülmektedir.

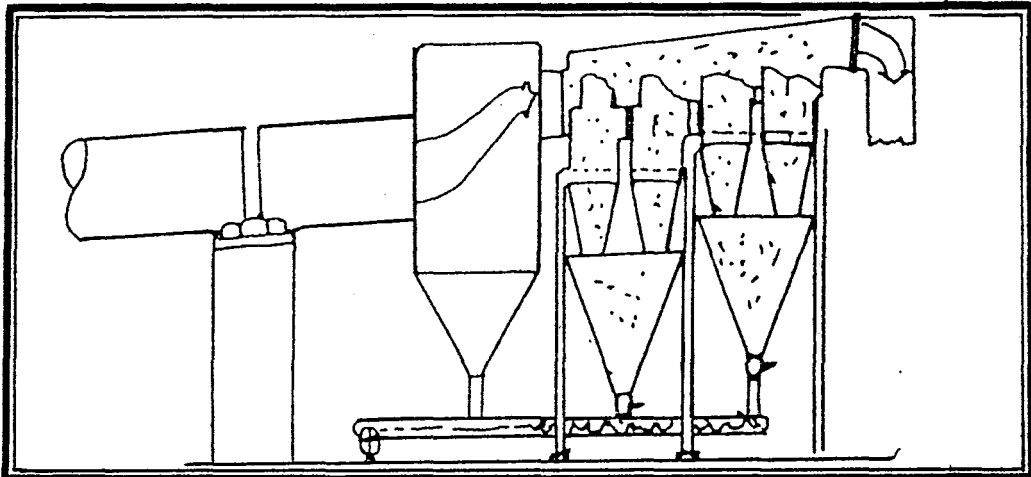
Siklondan tozları almanın diğer bir yolu periyodik valfler kullanmaktır. Döner valf kapakları ile hem yeterli gaz sızdırmazlığı sağlanabilir hem de sürekli toz alınması mümkündür. Yüksek negatif basınçlar için daha kaliteli valflerin kullanılması gerekir. Bu tür bir valf şekil 3.22.b'de görülmektedir. Diğer bir tip ise toz ağırlığı ile çalışan çift kapaklı valflerdir. Bu valflerde yeterli ağırlıkta toz yağıldığında birinci valf kapağı açılır ve toz boşaltma kapanır. Bu esnada ikinci kapak açılarak tozları dışarı boşaltır. Bunların ağırlıkla çalışanları yanında mekanik kumandalı olanları da vardır. Şekil 3.22.c'de ağırlıkla çalışan tip görülmektedir. Diğer bir tip boşaltma sistemide vidalı konveyör kullanılmasıdır. Bunlar yeterli sızdırmazlığı sağladığı gibi sürekli boşaltmada yaparlar. Böyle bir konveyör tipi şekil 3.23'de görülmektedir.

Siklon toz kutusundan ve koni ağzından oluşan toz kayıplarını önlemenin bir yolu da temizleme akışı kullanmaktır. Genellikle ana akışın %10 mertebesinde temizleme akışı, toz emisyonunun %20-25 azaltmasını sağlar. Temizleme akışı bazen %25'e kadar çıkabilir. Pozitif basınçla çalışan sistemlerde temizleme akışı doğrudan çekilebilir. Negatif basınçlı sistemlerde ikinci bir fan kullanmak gerekir. Siklonlar genellikle negatif basınç altında çalışırlar. Temizleme akışı kullanıldıktan sonra, ya siklona giriş kanalına yada ikinci

bir siklona gönderilerek temizlenir. Temizleme akımının bir avantajı da toz kutusunun veya toplama sisteminin siklondan uzakta yerleştirilebilmesini mümkün kılmasıdır. Cidardan boşaltmalı sistemlerde temizleme akışı daha küçüktür. Özellikle cidarlarda birikme özelliği gösteren tozların, cidardan alınması için kaygan kılıf veya elek tipi kılıflar cidarlara konarak aralıklı titreşimlerle tozlar alınabilir.



Şekil 3.22. Toz boşaltma sistemleri (1).



Şekil 3.23. Vidalı konveyörlü toz boşaltma örneği (1).

3.7.6. Pürüzlülüğün etkisi

Pürüzlülük basınç kayıplarını azaltır. Cidarlarda küçük ikincil akımlar oluşturarak girdap şiddetini azaltmaya veya tozların cidarlara ulaşmasını önlemeye çalışır. Bu nedenle verimde düşer.

0,5-1 mm büyüklüğünde kum tozları ile oluşturulan sunni pürüzlü bir yüzeye sahip siklonla yapılan deneyde K kayıp katsayısı 8'den 4.1'e kadar düşmüştür. Yine 0,5 meş'lik bar ağıla belli yüzeylerde kaplanan siklon cidarları için 18 m/sn'lik giriş hızına sahip duman gazından kül toplama deneyinden Tablo 3.5'deki şu sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 3.5. Pürüzlülüğün verime etkisi (1).

Ağ ile kaplı alan yüzdesi	Toplama verimi (%)
0	87,5
11,6	86,1
75,5	81,9
87	78

Bu sonuçlardan görüleceği üzere verimin arttırılması için cidarların mümkün mertebe pürüzsüz olması gerekir. Kaynak ve bağlantılar da hassas yapılmalıdır. Nemli ve yapışkan tabiatlı tozların titreştirme ve akustik etkiyle ve cidarların ısıtılması ile cidarlarda birikmesi önlenmeye çalışılabilir.

3.7.7. Debi ve hızın etkisi

Siklonlarda yük kayıpları hızın 1,5-2 üssü ile ve genellikle karesiyle değişir. Verim ise hızın kare köküyle orantılı değişir. Ancak belli bir hız sınırından sonra verim artışı azalır ve durur. Bu olaya türbülansın neden olduğu sanılmaktadır. Bu özellikle büyük parçacıklarda etkin olur. Küçük parçacıklarda ise etkinliği azdır. Siklonların genelde çalışma hızları 20-25 m/sn'nin altında olup bu hızlarda çalışmak türbülans açısından bir problem oluşturmaz. Yük-

sek hızlarda ise türbülanans artar ve verim düşer. Ayrıca yüksek hızlarda toz parçacıklarının tutulması zorlaşır, yapışkan tabiatlı tozlar parçalanır ve yüzeyi temiz kalır. Optimum hız 15 m/sn civarındadır.

Deneyssel olarak elde edilmiş bir bağıntı yok ise debi ile verim arasındaki bağıntı şöyle alınır.

$$\frac{100 - \eta_a}{100 - \eta_b} = (\rho_b / \rho_a)^{1/2} \quad (3.38)$$

Burada;

$\eta_{a,b}$: a ve b şartlarındaki verimi,

$\rho_{a,b}$: a ve b şartlarındaki debiyi gösterir.

3.7.8. Gazın fiziksel özelliklerinin etkisi

Gaz vizkozitesi, yoğunluğu ve sıcaklığı verim ve yük kayıplarına etki eder. Gaz sıcaklığının artması verim ve yük kayıplarının bir miktar düşmesine neden olur. Ayrıca vizkozitesini de değiştirir. Verim ve vizkozite arasında şu bağıntı kullanılabilir.

$$\frac{100 - \eta_a}{100 - \eta_b} = (\mu_a - \mu_b)^{1/2} \quad (3.39)$$

Burada;

$\mu_{a,b}$: Gazın a ve b şartlarındaki vizkozitesidir.

Gaz yoğunluğu toz yoğunluğunun yanında ihmal edilebilir. Ancak çok yüksek basınçlarda gözönüne alınması gerekir. Yoğunluk arttıkça yük kayıpları artar. Aşağıda verilen bağıntıda görüldüğü gibi verimi azaltır.

$$\frac{100 - \eta_a}{100 - \eta_b} = \frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_p - \rho_a} \quad (3.40)$$

3.7.9. Toz parçacıklarının özelliklerinin etkisi

Tozun yoğunluk, sertlik, yapışkanlık, kimyasal yapısı ve granulometrik dağılımı verimi etkilemesine rağmen, bunlardan ancak yoğunluk ve granulometrik dağılımın etkisini ölçebilmekteyiz. Granulometrik dağılım irileştikçe verim artar. Yoğunluk arttıkça verim artar. Verim ile yoğunluk arasında şu bağıntı yazılabilir,

$$\frac{100 - \eta_a}{100 - \eta_b} = (\rho_a / \rho_b)^{1/2} \quad (3.41)$$

3.7.10. Toz yükünün etkisi

Toz yükünün artması yük kayıplarını azaltır ve verimi yükseltir. Yük kaybı ile toz yükü arasında şu bağıntı kullanılabilir;

$$\Delta P = \frac{\Delta P_T}{(0,03 \cdot \sqrt{C} + 1)} \quad (3.42)$$

Burada;

ΔP_T : Temiz havada oluşabilecek kayıp,

C : Toz yükü (gr/m^3)

Toz yükü verimi arttırmasına rağmen yüksek yüklerde toz emisyonu da artar. Yüksek yüklerde ayrıca aşınma ve tıkanma problemleri de oluşur. Yük ile verim arasında şu bağıntı kullanılabilir;

$$\frac{100 - \eta_a}{100 - \eta_b} = (C_b / C_a)^{0,171} \quad (3.43)$$

Burada;

$C_{a,b}$: a ve b şartlarındaki toz yüküdür (gr/m^3).

3.7.11. Siklonlarda erezyon

Yüksek toz yükü, yüksek gaz hızı ve kaba granulometrik toz dağılımında toz parçacıklarının cidarlara çarpması sonucu erezyon oluşur. Ancak bu özellikler siklon verimini arttırıcı faktörler oldu-

ğundan birer dezavantajdır. Uygun olmayan toz boğaltma sistemi-
de önemli bir aşındırıcı faktördür. Pürüzlülükte bunlara ilave edi-
lebilir.

En çok erezyona maruz bölgeler ise giriş kanalı, koni alt cidar-
ının uygun olmayan bağlantıları, pürüzlü ve ısıl gerilmelerin oldu-
ğu bölgelerdir. Aşınmaya maruz bölgeler dirençli malzemelerden ya-
pılmalı veya aşınmaya dirençli astarla kaplanmalıdırlar.

Belli toz yüklerinin belli gaz hızlarında erezyon olayı belir-
ginlik kazanır. Bu etki Tablo 3.6'da görülmektedir.

Tablo 3.6. Toz yükü ve hızın erezyon etkisi (1).

Toz yükü (gr/m ³)	Hız (m/s)
0,72	35
7,12	20
7128	2

Erezyonu önlemek için yüzey astarla kaplanacaksa, astar döküm
veya sıvama kabuk yapılabilir. Bu halde astar kalınlıkları 15-25
mm. ve uygun gaz hızları 10-25 m/sn civarında olmalıdır. Gaz hız-
larının daha fazla olması zararlıdır.

Yüksek hızlarda erezyonu azaltmanın bir yolu da D_1/D_2 oranının
artmasıdır. Ancak bu durumda yük kayıpları artar.

3.7.12. Siklonlarda kirlenme

Genellikle kirlenme ya cidarlarda toz birikmesi ya da toz gi-
kışının tıkanması ile meydana gelir. Erezyonu ve yük kayıplarını
arttırır ve verimi azaltır.

Tozun yapışma özelliği, nem, pürüzlülük, parçacıkların yunu-
şak olması vb. cidarlarda toz birikmesini sağlayan faktörlerdir.
Toz kutusundan tozun geri çıkışı, koni ucunun dar olması, toz ku-
tusunda gaz sıkışması ve toz kutusunun dolması, toz çıkışının tıkan-

masına neden olan faktörlerdendir.

Cidarlarda toz birikmesini önlemek için hızları 15 m/s üzerinde tutmak, varsa ön temizleyici kaldırarak iri parçacıkların siklona girmesini sağlamak, nem oluşumunu önlemek için siklonu ısıtmak, belli sınırlarda siklonu yıkanak, cidarları bir-astarla kaplayarak zaman zaman titreştirmek, büyük siklonlarda temizleme kapakları açmak belli önlemler olarak düşünülebilir. Koni ucunun geniş yapılması, temizleme akımının kullanılması, tozların toz kutusundan sık sık veya sürekli alınması ve toz kutusunda sıkışan havanın alınması suretiyle toz çıkışının tıkanması önlenebilir.

3.7.13. Siklonlarda sıcaklık limiti

Siklon toplayıcıların sıcaklık limitleri sadece konstrüksiyonda kullanılacak malzemelere bağlıdır. Siklon toplayıcılar çoğu durumda tuğlalarla ısıya karşı yalıtırlar.

3.8. Siklon Malzemesi

Siklon yapımı için gerekli malzeme ve donanımlar önemli ölçüde kullanım yerine, tesisat maliyetinin ne olabileceğine bağlıdır. Bunun yanısıra yapım malzemesi şu faktörlere bağlı olarak seçilir;

- Gazın sıcaklığı
- Toz parçacıklarının aşındırıcılığı (büyüklüğü ve sertlik)
- Tozun pislikten korunması
- Gazın çürütücülüğü

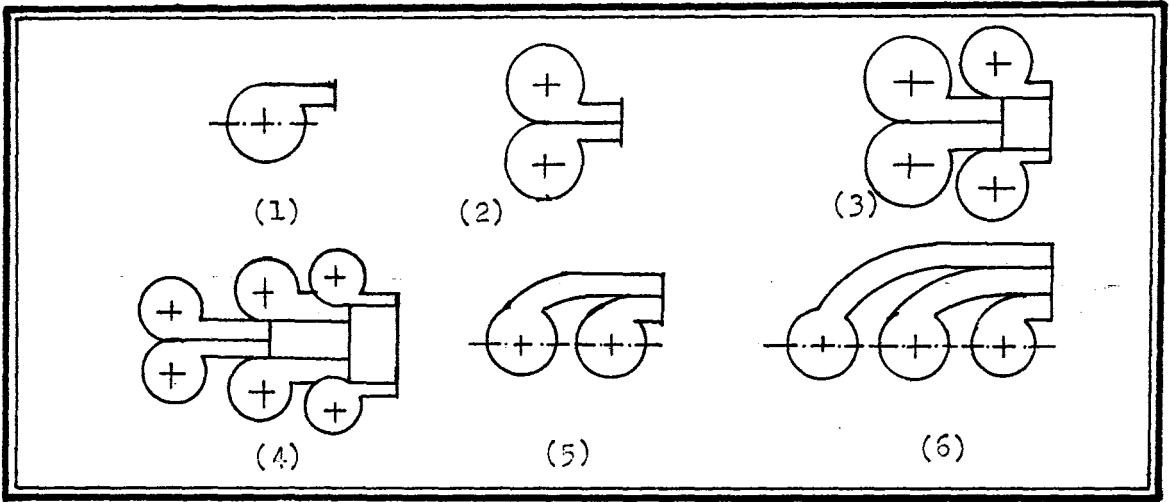
Karbon çeliği 425^oC civarında bir gaz sıcaklığına kadar kullanılabilir. Daha yüksek sıcaklıklar için paslanmaz çelikler veya alaşımli çelikler kullanılabilir. Paslanmaz çelik kullanılması siklonun ilk maliyetini karbon çeliğine kıyasla üç kat artırır. Bu nedenle karbon çeliği kullanmak genellikle en iyi seçimdir.

Ayrıca siklonlar döküm olarak yapılacaksa siklonu aşınmaya direnci yüksek olan mangan demirinden dökmek iyi bir seçimdir.

3.9. Siklonların Paralel Çalıştırılması

Yüksek verimli siklonların kullanılması gerektiğinde küçük

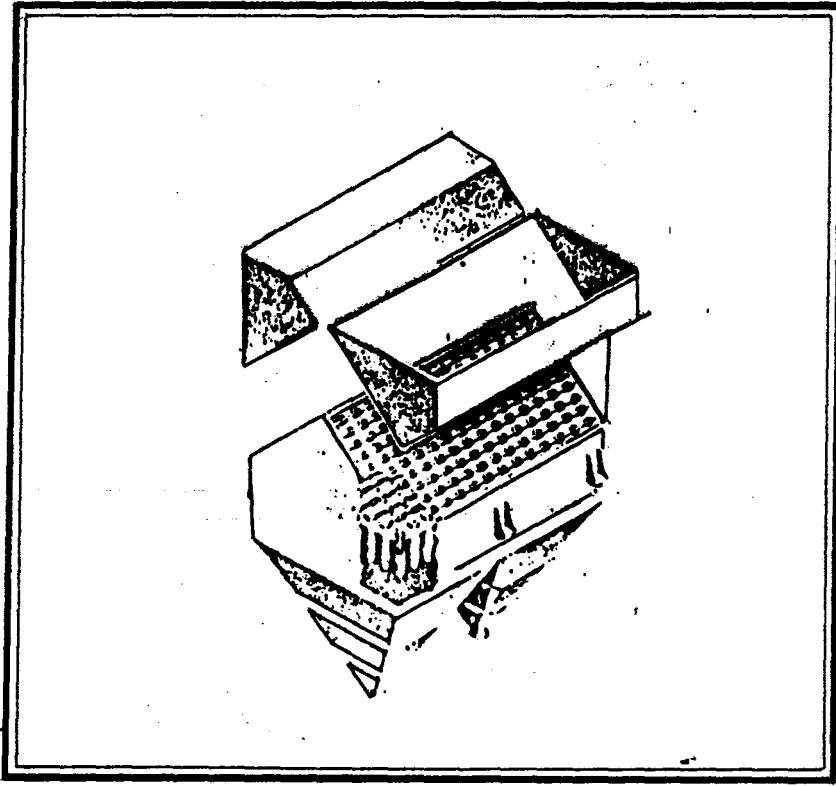
boyutlu siklonlar gerekli gaz debisini karşılayacak sayıda alınarak paralel olarak geliştirilirler. Eğer paralel olarak geliştirilecek siklon sayısı az ise giriş kanalları ve toz kutuları ayrı ayrı yapılır. Şekil 3.24'de paralel giriş örnekleri verilmiştir. Eğer paralel çalışacak siklon sayısı çok ise tek giriş haznesi ve tek toz kutusu kullanılır. Gaz çıkışı atmosfere yapılabileceği gibi geniş bir kanala giden manifoldlarla da yapılabilir.



Şekil 3.24. Siklon girişlerini paralel düzenleme örnekleri (2).

Çok sayıda siklon bir giriş haznesinden beslendiği zaman eşit gaz dağılımı ve homojen basınç dağılımının sağlanması gerekir. Aksi halde bazı siklonlarda aşırı akışa, bazılarında geri akışa neden olabilir. Bu durum bazı siklonların tıkanmasına neden olabileceği gibi verimi de düşürür. Bu tür çalışma hallerinde özellikle, çok küçük siklonlar kullanıldığında tek siklonla elde edilen verimi elde edebilmek için konstrüksiyonun hassas yapılması lazımdır. Uygun olmayan toz kutularında bazı siklon çıkışları tıkanabilir. Bu durumda bu siklonlar toz toplama vazifesini yapamazlar. Bu nedenle uygun toz kutusu yapmak gerekir. Toz yükü ve gaz yükünün değişken olduğu durumlarda verim sabit tutulmak isteniyorsa o zaman giriş hazneleri birden fazla yapılarak giriş ve çıkışın ikisine birden kapama valfleri koymak gerekir. Gaz yükü azaldığında bazı siklonlar devreden çıkarılarak verimin düşürülmesi önlenir. Özellikle büyük

tesislerde bu hususa dikkat edilir. Tek giriş ve çıkışa sahip paralel siklon sistemine ait bir resim Şekil 3.25'de görülmektedir.



Şekil 3.25. Tek giriş ve çıkışa sahip paralel siklon düzeneği (1).

Paralel çalışan siklonlarda toz çıkış kanalını küçültmek sistemi daha kompakt yapar. Bunun için toplam akışın %5'i civarına kadar temizleme akımı kullanılır. Bir fan ile temin edilen temizleme akımı ya toplayıcı kollektöre veya toz kutusuna giriş kısmına verilir. Toz kutusundan çıkan gaz ya ikinci bir kollektöre yada sisteme gelen gaz kanalına verilir.

3.10. Siklonların Seri Çalıştırılması

Çoğunlukla siklonların seri çalıştırılması yoluna gidilmez. Ancak bazı pratik nedenlerden dolayı seri siklonların kullanılmasını gerekli kılan bazı şartlar ortaya çıkabilir. Bunlar;

Yüksek hızlarda topak tozların ufalanarak küçülmesi verimi

azaltacağından iki seri siklon kullanmak avantajlı olabilir.

Çalışma durumuna bağlı olarak seri halde birinci siklonun tıkanması halinde, ikinci siklonun birincinin vazifesini yaparak toz tutulması ve ikincisinin çalışması halinde verimin yüksek tutulması açısından avantajlı olabilir. Ticari amaçla kullanılan seri siklonlar genellikle üç kademeli olup ağır şartlarda çalıştırılırlar.

İki siklonun seri olarak çalıştırılması halinde verim şöyle hesaplanabilir;

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 (100 - \eta_1) \quad (3.44)$$

Deneyisel bilgiler olmadığında bir siklonun veriminin hesabı zor iken seri bağlı ikinci siklonun verimini hesaplamak çok daha zordur. İkinci siklon birinci siklonda yakalanamayan tozları yakaladığından verimi daha küçük olacaktır. Pratik olarak ikincinin verimi birinci siklonun veriminin yarısı olarak alınır.

Seri bağlı iki siklonda oluşacak yük kaybına, eşit yük kaybı oluşturan bir tek siklondan elde edilecek verim çok daha yüksektir. Ancak yüksek hızlarda bu gerçekleştirilemez. Böyle bir seçim yapılırken optimum hız bulunarak uygun dizayn seçilmelidir.

Çoğu zaman ön temizleyici olarak kullanılan siklonlar sistemin verimini arttırmırlar. Mesela elektrostatik kollektörlerde gaz ve toz yükü arttıkça verim azalır. Oysa siklonlar gaz ve toz yükünün artması ile daha verimli olarak çalışırlar. Bu iki kollektör birlikte çalıştırıldığında birbirinin kusurlarını gidererek sistemin sürekli olarak verimli çalışmasını sağlarlar.

3.11. Uygun Siklon Seçimi

Siklon seçimi için öncelikle gaz miktarı gereklidir. Şekil 3.26'da I nolu diyagramda gaz miktarı (m^3/s) ve siklon sayısı (z) verilmiştir. Birinci adımda kabul edilen siklon sayısına göre I nolu diyagramdan bir nokta bulunur. Bu noktadan şekil 3.26'daki II nolu diyagrama geçilerek siklon çapı (D_g) ve basınç kaybı (ΔP) bulunur. III, IV ve V nolu diyagramlardan da fonksiyonel verim bulunur.

Toplama verimi ise (Leith ve Licht'e göre);

$$\eta_T = \sum_{D_p} F_{D_p} \eta_{D_p} \quad (3.45)$$

olarak verilmiştir. Burada $\sum_{D_p} F_{D_p}$ partikül fonksiyonu olarak bilinir.

Fonksiyonel verim bulunduktan sonra (3.45) eşitliğinden toplam verim bulunur. Bulunan basınç kaybı ve verim değerleri uygun değerler değilse siklon sayısı veya çapı değiştirilir. Şekil 3.26'daki II nolu diyagram kullanılırken sabit yoğunluk eğrileri veya onun altındaki alanın kullanılmasına dikkat edilmelidir. Gaz içerisindeki toz konsantrasyonu 10 gr/m^3 den fazla ise Şekil 3.27 yardımıyla toplam verimin gerçek değeri bulunur.

Şekil 3.26'da I nolu diyagram maksimum $7000 \text{ m}^3/\text{h}$ gaz debisi için verilmiştir. Daha büyük gaz debileri için basınç kaybı ve siklon debisi aynı olacak şekilde siklon sayısı arttırılır.

Şekil 3.26'daki III, IV, V nolu diyagramlar gaz viskozitesi 20°C sıcaklığındaki hava için alınmıştır. Sıcaklığın değişmesiyle meydana gelen viskozite değişimi verimi maksimum %0,5 oranında etkilendiğinden viskozite için bir düzeltme faktörü verilmemiştir.

Leith ve Licht'in geliştirmiş olduğu bu verim modeli siklon çapının 200 mm'den büyük olması halinde oldukça tatminkar sonuçlar verir. Bu model küçük partikül yükleri için geliştirilmiş olup partikül yükünün artmasıyla siklon içerisinde daha çok meydana gelen partikül çarpışmaları verimi arttırır. Değişen verim Şekil 3.27'den bulunur.

Siklon tasarımında en önemli noktalar verim ve basınç kaybıdır. Genel olarak verimin yükselmesi, siklon çapının küçülmesi ve basınç kaybının artmasıyla olasıdır. Basınç kaybı genellikle 1 kpa civarındadır. Fakat yüksek verim elde etmek için 2 kpa'la kadar yükselilebilir.

Belirli bir çap için, partikül yoğunluğu ve siklon giriş genişliğine bağlı olarak giriş hızının bir üst sınırı vardır. Bu hızın aşılması durumunda verim büyük ölçüde azalır. Şekil 3.26'da II nolu

diyagramdaki sabit yoğunluk eğrileri bu his için KILBEN ve ZENZ'in deneysel yoldan elde ettikleri bağlantıya göre verilmiştir. En yüksek verim için bu eğrilerin geçtiği noktalar kullanılır.

Basıncı kaybı ifadesi Shepherd ve Lapple tarafından siklon giriş hızı ve siklonun geometrik özelliğine bağlı olarak verilmiştir. Aynı siklon geometrisi için siklon büyüklüğü ile değişmez. Şekil 3.26'da II nolu diyagramda verilen basıncı kaybı değerleri gaz yoğunluğu 1.2 kg/m^3 içindir. Farklı gaz yoğunluğu için gerçek değer aşağıdaki ifadeden bulunur.

$$\Delta P_{\text{gerçek}} = \frac{\rho}{1.2} \cdot \Delta P \quad (3.46)$$

Şekil 3.26'da II nolu diyagramdan bulunan siklon çapı yardımıyla Şekil 3.8'den siklonun diğer boyutları bulunur.

Uygun siklon seçimi için örnek: Verilen diyagramları kullanarak üzere bu örnekte portland çimentosu üretiminde kullanılacak siklon seçimi gösterilmiştir. Bunun için;

Hava miktarı	: 5000 m ³ /h
Partikül miktarı	: 6,44 kg/ton-üretim
Üretilen çimento	: 1 t/h
Partikül yoğunluğu	: 1500 kg/m ³
Hava basıncı	: Atmosferik
Hava sıcaklığı	: 293 K
Toz konsantrasyonu	: 1,28 gr/m ³ -hava
Atılacak toz limiti	: 0,0084 kg/ton-üretim

Bu verilere göre Şekil 3.26'daki seçim tatbik edilirse, istenen tutma verimi $\eta_{\text{T}} = 99,37$ olur. Çimento tozu için siklonlarda bu verime ulaşmak imkansızdır. Siklonlardan sonra ince tozları tutabilen ikinci kademe filtreleri gerekir. İkinci kademe filtrelerinin sağlıklı çalışabilmesi için partikül yükünü mümkün olduğu kadar azaltmak gerekir. Bu nedenlerle siklonlar maksimum verimi sağlayacak şekilde seçilir.

Hava miktarından hareketle Şekil 3.26'da I nolu diyagramdan 4 veya 6 adet siklon kullanılabileceği görülür. Bunların en yüksek

verimini sağlayan seğılecektir. II nolu diyagramdan 6 adet siklon iğın, siklon ęapı 350 mm ve basınę kaybı 1,43 kpa, 4 adet siklon iğın, siklon ęapı 400 mm ve basınę kaybı 1,7 kpa bulunur. III,IV ve V nolu diyagramlardan 350 mm'lik siklonun fonksiyonel verimi, 400 mm'lik siklondan daha fazla bulunur. Bu durumda 350 mm'lik 6 adet siklon kullanılır. Üstelik 350 mm'lik siklonda bulunan basınę kaybı daha azdır. Ayrıca teğetsel hız dđşük olduğundan siklon duvarlarındaki aşınma daha az olur.

Portland ęimentosunun ağırlıkça dağılımı iğın Stairmand'ın V nolu diyagramından bulunan fonksiyonel verim kullanılarak Tablo 3.7 den toplan verim bulunur.

Bulunan toplam verim 94,2'dir. Konsantrasyon dđşük olduğundan verimin değışmesi söz konusu değıildir. Siklonda tutulamayan toz miktarı 0,374 kg/h olup ikinci kademe filtreden istenen verim 97,8 olur.

Tablo 3.7. Paręacık büyüklüğüne göre fonksiyonel verim (deneysel)
(11).

D_p (μ m)	η_{Dp} (%)	F_{Dp}	$\eta_{Dp} \cdot F_{Dp}$ (%)
5	80	0,22	17,6
10	92	0,23	22
15	96	0,10	9,6
30	100	0,25	25
50	100	0,10	10
50	100	0,10	10
TOPLAM		1.0	$\eta_T = 94,2$

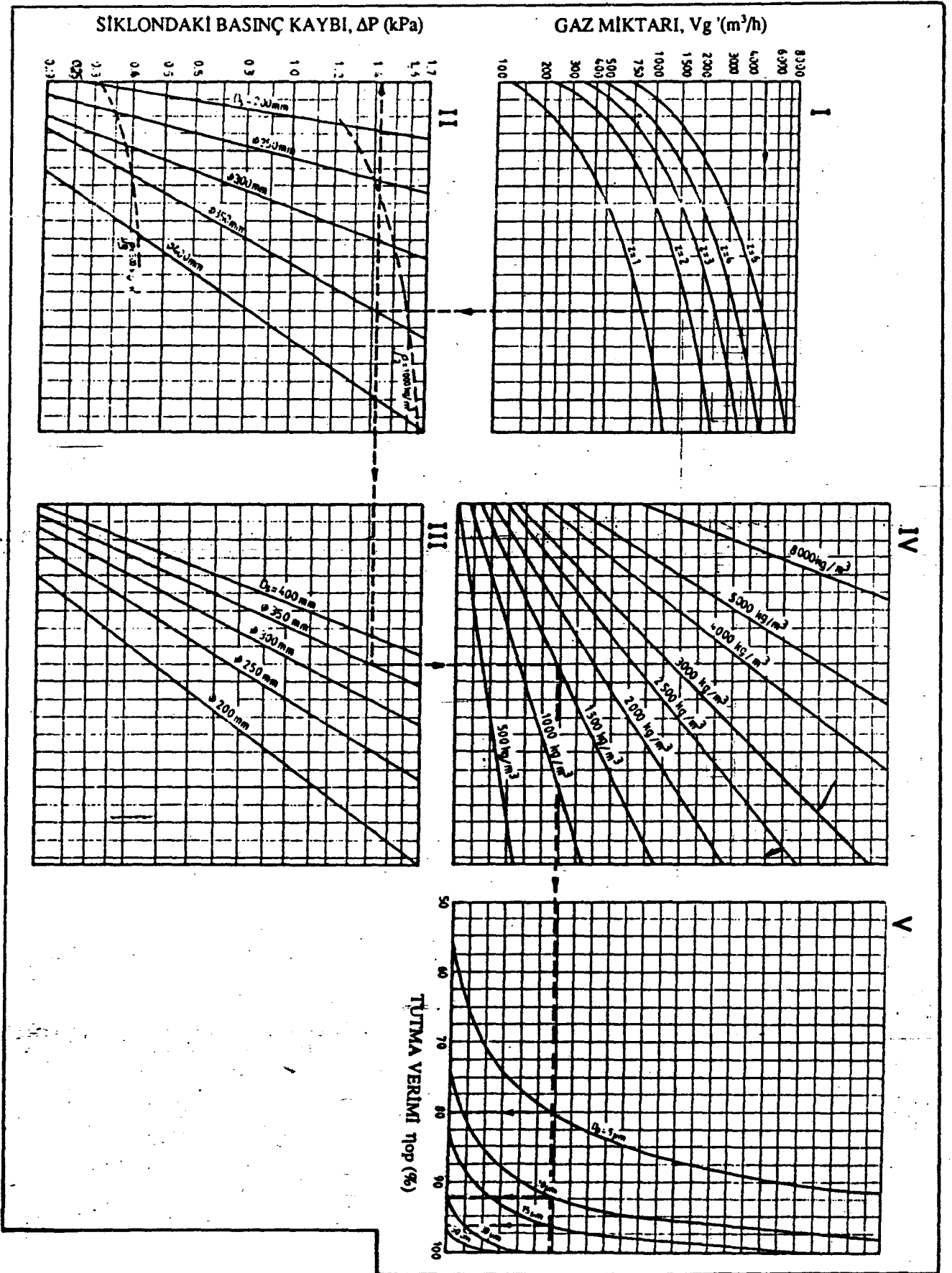
Seğıilen siklonun özellikleri:

ęap (D) : 350 mm

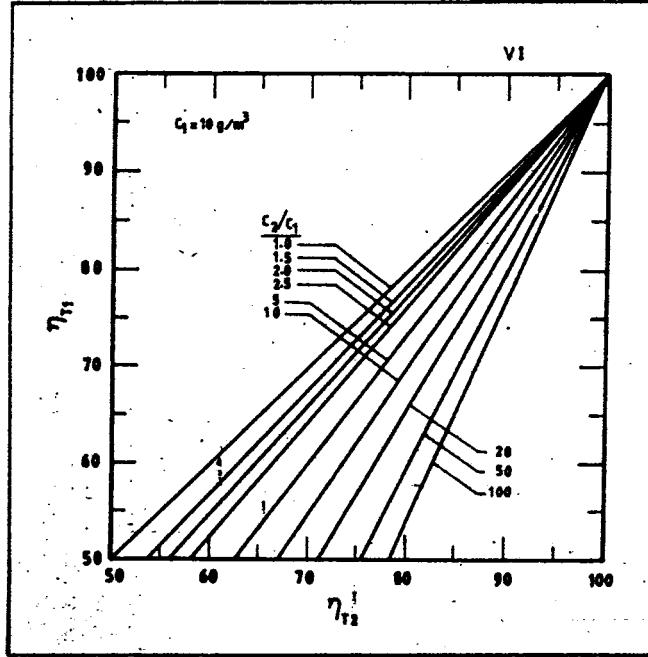
Sayı (z) : 6 adet

Basinę kaybı (ΔP): 1,43 kpa

Siklonun diğer boyutları Şekil 3.8'yardımıyla bulunur.



şekil 3.26. Siklon seçiminde kullanılan diyagramlar (11).



Şekil 3.27. Toplam verimi veren diyagram (11).

3.12. Siklonların Denenmesi ve Dizaynı

Herhangi bir siklonun dizaynı için o siklona ait fraksiyonel verim eğrisinin, siklonun çalıştırılacağı ortamda gazın özelliklerinin, toz yoğunluğunun ve granulometrisinin, toz yükü v.s. bilinmesi lazımdır. Bu değişkenlerden siklona ait fraksiyonel verim eğrisi her bir boyut oranlı siklon için deneysel olarak elde edilmelidir. Daha sonra elde edilen bu fraksiyonel verim eğrileri kritik çapa göre boyutsuzlaştırılarak belli boyut oranlı bir siklonun bütün büyüklükleri için bu boyutsuz fraksiyonel verim kullanılır.

Karakteristikleri elde edilmek istenen siklonlar, normal şartlar altında veya belirli şartlar altında deneye tabi tutulurlar. Deneyde siklona giren gaz ve toz yükü bellidir. Siklon tarafından tutulan toz miktarı toz kutusunda tutulan tozdan bellidir. Tutulmayan kısmı ise siklon çıkışında girdaplı akım doğrultulduktan sonra kanal kesitinin en az 4-6 noktasında toz numunesi alınarak elde edilir. Bu üç değer dengelemesi ile toplam verim bulunur.

Siklon verilen toz ile siklonda tutulan tozdan birer numune alınarak bunların granulometrileri bulunur. Siklonun toplam verimi ve iki toz numunesine ait granulometrik dağılımlardan siklona ait fraksiyonel verim eğrisi elde edilir. Yine bu deneyde elde edilen kritik çapa göre boyutsuzlaştırılarak boyutsuz fraksiyonel verim eğrisi elde edilir.

Siklon tasarımı:

a) Siklon dizaynı düşünülen yerin çalışma şartları bellidir. Bu nedenle şu değişkenler bilinir;

Q : Debi (m^3/s)

C_g : Girişteki toz yükü (gr/m^3)

C_c : Çıkıştaki toz yükü (gr/m^3)

\mathcal{F} : Müsade edilen veya arzulanan yük yada basınç kaybı veya siklona giriş hızı,

Giriş toz granulo metrisi

b) Mevcut bilgilerden siklon için gerekli toplam verim hesaplanır.

$$\eta = \frac{C_g - C_c}{C_g} \quad (3.47)$$

c) Verilmiş hız varsa o hız, yok ise arzulanan yük kaybına göre veya optimum hal için hız seçilir. Yük kaybına göre hız seçilecekse bu halde bir siklon tipi seçilir ve buna bağlı olarak yük kaybı hesap yöntemlerinden biri ile hız hesaplanır.

d) Seçilen siklon tipi için D_1 çapı tahmin edilir. Eğer gaz debisi küçükse;

$$Q = V_g \cdot a \cdot b = k \cdot V_g \cdot D_1^2 \quad (3.48)$$

bağıntısından verilen debi ve hızı karşılayacak siklon çapı hesaplanır.

e) Bu siklon için hesap yöntemlerinden biri ile kritik parçacık

çapı hesaplanır.

f) Seçilen siklon için boyutsuz fraksiyonel verim eğrisi belli olduğundan elde edilen kritik çaptan gerçek fraksiyonel verim eğrisi bulunur.

g) Toz granulometrisi bilindiğinden frekans eğrisi bellidir. Frekans eğrisinden kümülatif eğri ve kümülatif eğriden ϕ ve fraksiyonel verim eğrisi çizilerek toplam verim hesaplanır.

h) Elde edilen verim uygun ise seçilen siklon kullanılabilir. Eğer yeterli verim elde edilmedi ise yeniden D_1 çapı seçilerek uygun verim elde edilinceye kadar aynı hesaplar tekrarlanır. Yeterli verimi sağlayan siklon çapı gerekli debiyi sağlamıyorsa paralel siklon tesisi yoluna gidilir. Bu durumda gerekli siklon sayısı;

$$Z = Q/Q_1 \quad (4.49)$$

Burada, Q_1 , bir siklonun karşılayabileceği debi ve Q gerekli toplam debidir.

i) Eğer siklonun belli çalışma şartlarında elde edilmiş değerler var ise yeni çalışma şartları için elde edilebilecek değerler şu şekilde hesaplanır.

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^2 \cdot \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{P_2}{P_1} \quad (4.50)$$

Burada;

$\Delta P_{1,2}$; 1 ve 2 şartlarındaki basınç kaybı, $P_{1,2}$; 1 ve 2 şartlarındaki basınçları, $T_{1,2}$; 1 ve 2 şartlarındaki sıcaklıkları göstermektedir.

j) Gerekli siklon hesaplandıktan sonra yük kayıpları ve verime etkiyen faktörler gözönüne alınarak imalatı ve tesisi gerçekleştirilir.

3.13. Siklonların Genel Değerlendirilmesi

Siklonlar başlıca şu yerlerde kullanılabilirler;

- a- Toz parçacıklarının $5\mu\text{m}$ 'den büyük olduğu yerler,
- b- Toz konsantrasyonunun 7 gr/m^3 'den fazla olduğu yerler,
- c- Parçacıkların sınıflandırma elemesinin yapılmak istendiği yerler,
- d- Çok yüksek verimin çok önemli olmadığı yerler.

Bu gibi yerlerde kullanılan siklonlar şu avantajları sağlarlar;

- Jenz konstrüksiyon,
- Problemsiz basit donanım,
- Alçak basınç kaybı (50-160 mmSS),
- Yüksek sıcaklıklarda ve basınç altında çalışma,
- Kuru toplama ve boşaltma,
- Küçük alanlarda kullanılabilme.

Bu çok yönlü avantajlarının yanı sıra şu dezavantajlarında gösterir.

- $10\mu\text{m}$ 'den küçük partikülleri düşük verimlerde tutabilme,
- Yapışkan malzeme tutmada güçsüz kalma.

B Ö L Ü M : 4

TÜLOMSAŞ ISI SANTRALI KURUM TUTMA TESİSİNİN ISLAHI

4.1. TÜLOMSAŞ Isı Santralinin Tanıtımı

TÜLOMSAŞ ısı santrali 1946 yılında A.B.D. şirketlerince inşa edilerek devreye sokulmuştur. Isı santrali 7,5 milyon kcal/h' lik ısı kapasitesine sahip iki adet buhar kazanından oluşmaktadır. İlk aşamada santral ısı amacının yanında elektrik enerjisi sağlamak için türbin çalıştırmak için de kullanılmıştır. Uzun süreli kullanım nedeniyle kazanlarda meydana gelen yıpranma ve verim düşüklüğü nedeniyle türbin devreden çıkarılarak ısı santrali sadece ısınma ve sıcak su elde etmek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır.

Isı santralindeki kazanlar dik su borulu olup, toplam ısıtma yüzeyleri 482 m² dir. İşletme basıncı 10-15 Atü, buhar sıcaklığı 200 °C olarak planlanmıştır. Her bir kazanın tam kapasiteli olarak çalıştığı zaman 1800 kg/saat'lik bir kömür tüketiminin olduğu da yetkililerce belirtilmiştir. Ancak kullanılan kömür kalitesinin giderek düşmesi, hem sistemin verimliliğini düşürdüğü gibi, kömürün içerisindeki yabancı maddelerde (taş, toprak, metaller v.s.) kazan içerisinde parçalanarak partikül halinde baca gazına karışarak hava kirliliği oranını arttırmıştır. Bu nedenler sistemdeki bakım yetersizliği ile birleşince sistemden istenen ısı kapasitesi sağlanamamıştır. Isı kapasitesi 6+6,5 milyon kcal/h' e buhar sıcaklığı 170 + 175 °C'ye, işletme basıncıda 8 + 12 atüye düşmüş, yakılan kömür miktarı da 2000-2500 kg/saat'e yükselmiştir.

Bütün bu olumsuzlukların bir araya gelmesi sonucu bacadan çıkan partiküller ve kurumun miktarı sürekli artmış ve bunun sonucunda hava kirliliği problemi gündeme gelmiştir. Bunun önlenmesi amacıyla TÜLOMSAŞ idaresi tarafından problemin çözülmesi için bir proje dizaynı düşünülmüştür. Bunun için teknolojinin son ürünü olan, ancak henüz bir standartlaşmanın olmadığı ve kullanım alanına yeni yeni giren siklonların kullanılması düşünülmüştür. Bu amaçla geniş kapsamlı bir proje hesaplamalarına dayandırılmadan her iki kazan için siklon seçimi yapılmış ve imalatları da TÜLOMSAŞ'da gerçekleştirilmiştir. Bu

aşamada yapılan ve halen kullanılmakta olan (sadece geceleri) sistemin çalışma prensibini ve konumunu kısaca açıklayalım.

Sistemin Tanıtımı: Her iki kazan bir arada ele alınmıştır. 1. kazandan çıkan baca gazı normal baca kanalından bir vantilatör yardımıyla alınarak klasik kuru tip bir siklona gönderilmektedir. Aynı şekilde diğer kazandan çıkan baca gazları da sonradan sistem için konulan kanallarla aynı siklona gönderilmektedir. Dolayısıyla çok yüksek bir gaz debisi, aynı zamanda yine çok yüksek hızda bir gaz akışı oluşmaktadır. Baca gazı içerisinde partikülden çok kurum bulunması ve kurumun partiküllere nazaran hafif olması nedeniyle siklonda oluşan vortex hareketi esnasında kendi ağırlığından dolayı düşmemektedir. Bu kurumun büyük bir çoğunluğu vortex hareketiyle beraber bacaya gitmektedir.

Kuru tip siklondan çıkan baca gazı, filtre sistemine benzer bir şekilde çalışan ve dizaynı TULOMSAŞ'da yapılan ıslak tip siklondan geçmektedir. Çalışma sistemi; baca gazı, koni kısmı suyla dolu olan siklonda, su yüzeyini yalamaktadır. Bu yalama esnasında kurumun suyla temas edenleri suyun dibinde birikmektedir. Burada biriken çamurumsu kurum yağın ve kuru tip siklonda toplanan kuru kurum bir helezon yardımıyla arıtma havuzuna gönderilmektedir. Helezondaki biriken kurum su ile iletildiğinden havuzda toplanabilen çamurumsu kurum alınmakta kalanıda kanallarla Porsuk nehrine akıtılmaktadır.

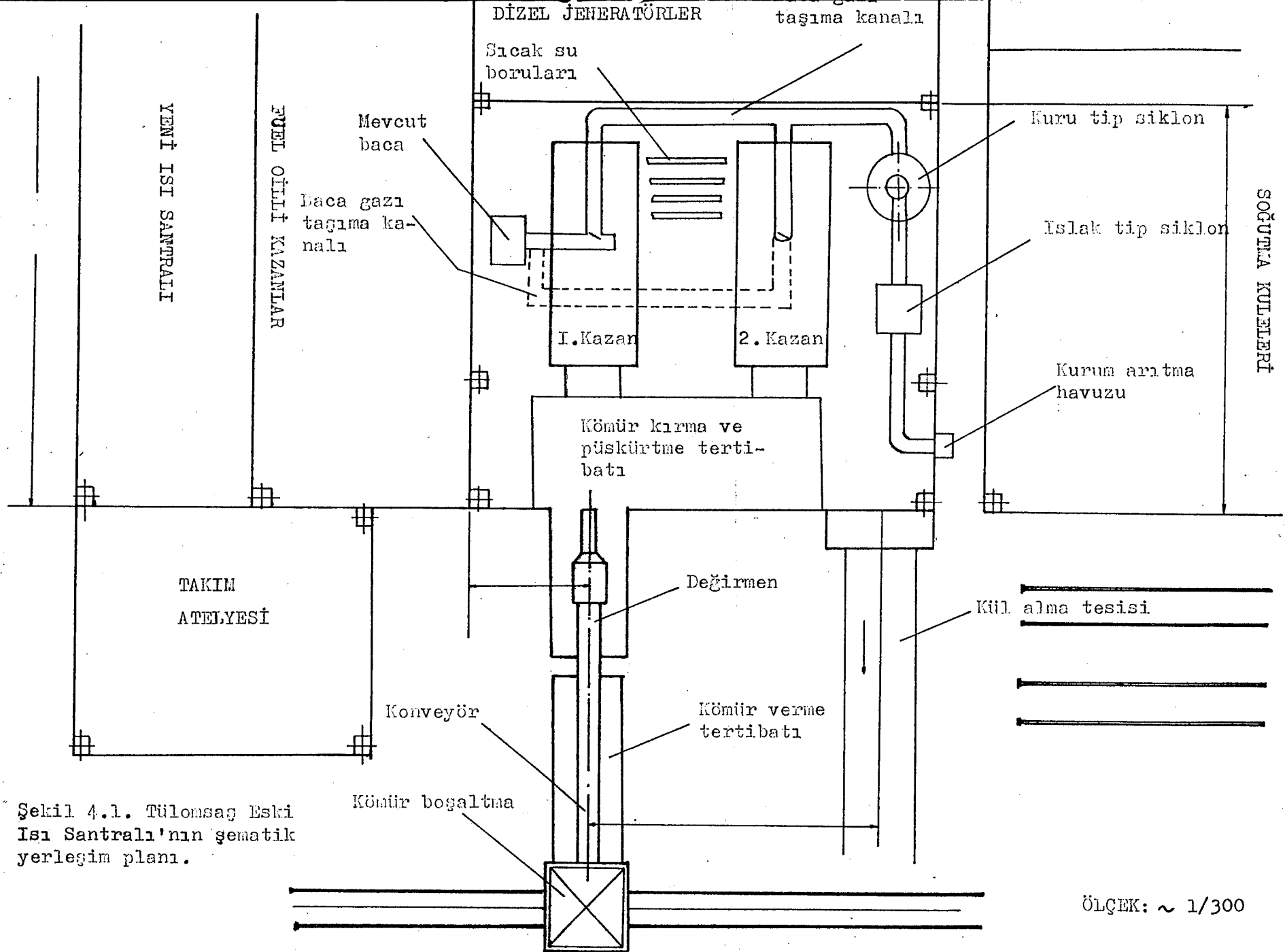
Siklonların çalışma mekanizmasının yanında kazanlara kömürün gönderilmesini de kısaca açıklanması gerekir. Vagonlarla getirilen linyit kömürü santral için hazırlanan ve kömürün elavatöre yüklenmesini sağlayan çukura dökülmektedir. Elavatörle santralin üst kısmına doğru alınan linyit kırıcılara getirilir. Kırılan kömür elekten geçirildikten sonra taşıyıcı elavatörlerle bunkerlere getirilir. Buradan kömür kendi ağırlığı ile stokerlere yavaş bir şekilde hareket eder. Bu kısımda kömür bir yandan tekrar kırılarak toz haline gelir. Buradan da toz halindeki kömür yanmakta olan ateşin içerisine pülverize edilir. Oluşan kül ise kazan içerisinde hareketli (kazanın alt yüzeyinde) dişli yüzeyle dışarı alınır. Söz konusu ısı santraline ait şematik yerleşim plana Şekil 4.1'de verilmiştir.

Isı santrali binası bir yandan yeni ısı terminali, bir yandan

takım atelyesi ve bürolar, bir yandan dizel jeneratör binasıyla çevirili olmuş olup etrafında herhangi bir boş alan yoktur.

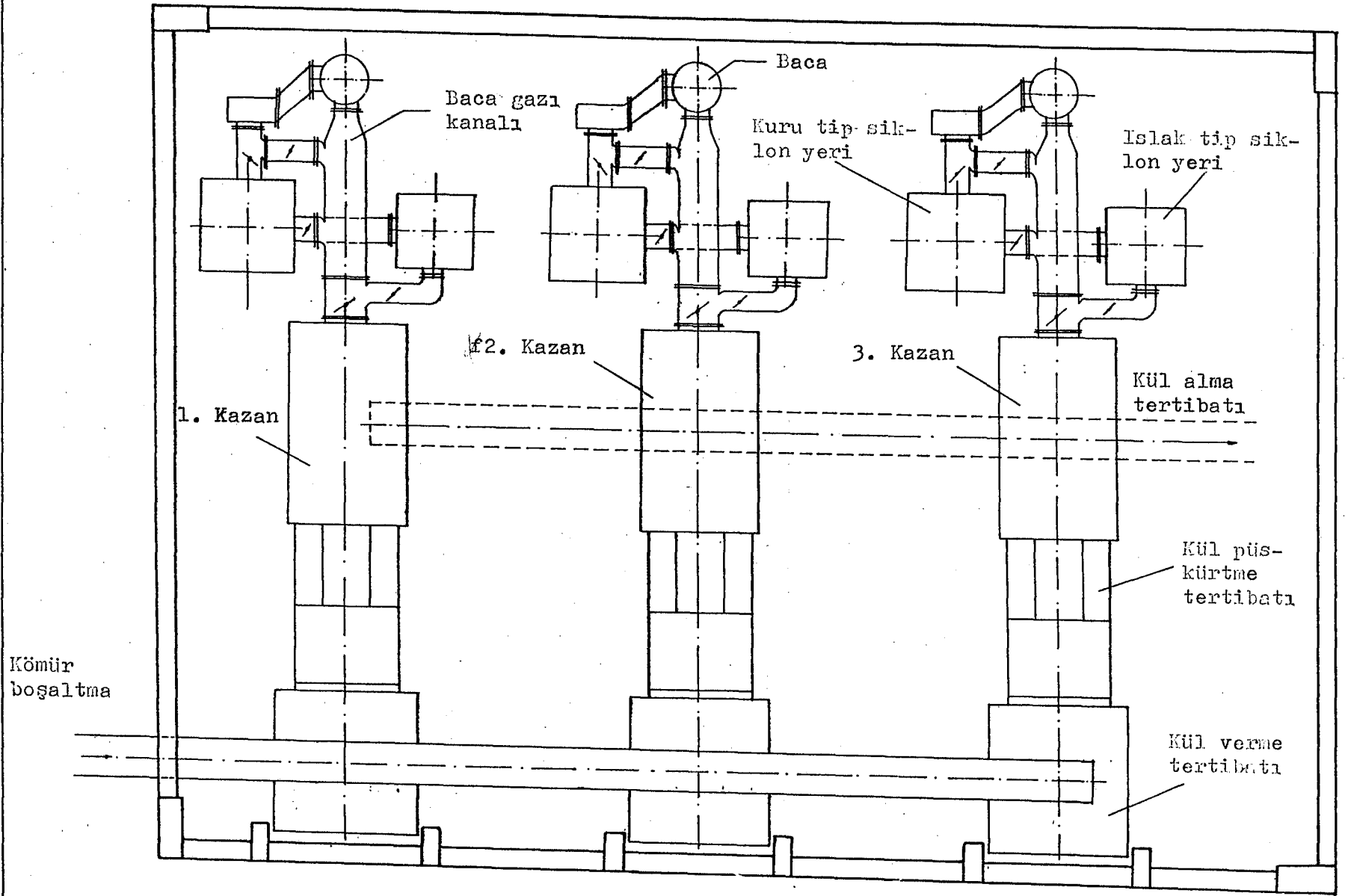
Bu bölümde TULOMSAŞ'da devreye giren yeni ısı terminalini karşılaştırma amacıyla kısa bir şekilde inceleyelim:

Yeni terminalde 7,5 milyon kcal/h kapasitede üç adet buhar kazanı bulunmaktadır. Her bir kazan çıkışına bir baca gazı kanalı konularak 1,5m çapında yüksek verimli klasik bir kuru tip siklon ve kenarlarından su püskürtmeli 1,5m çapında bir ıslak tip siklon konulmuştur. İkili olarak çalışan ıslak ve kuru tip siklonlardan çıkan baca gazları tek bir baca kanalına verilerek temizlenmiş olan gaz atmosfere verilmektedir. Islanmış olan kurum ise eski ısı santraline benzer bir sistemle taşıyıcı helezonlarla alınmaktadır. Benzer şekilde, Şekil 4.2'de yeni ısı santralinin şematik yerleşim planı verilmiştir.

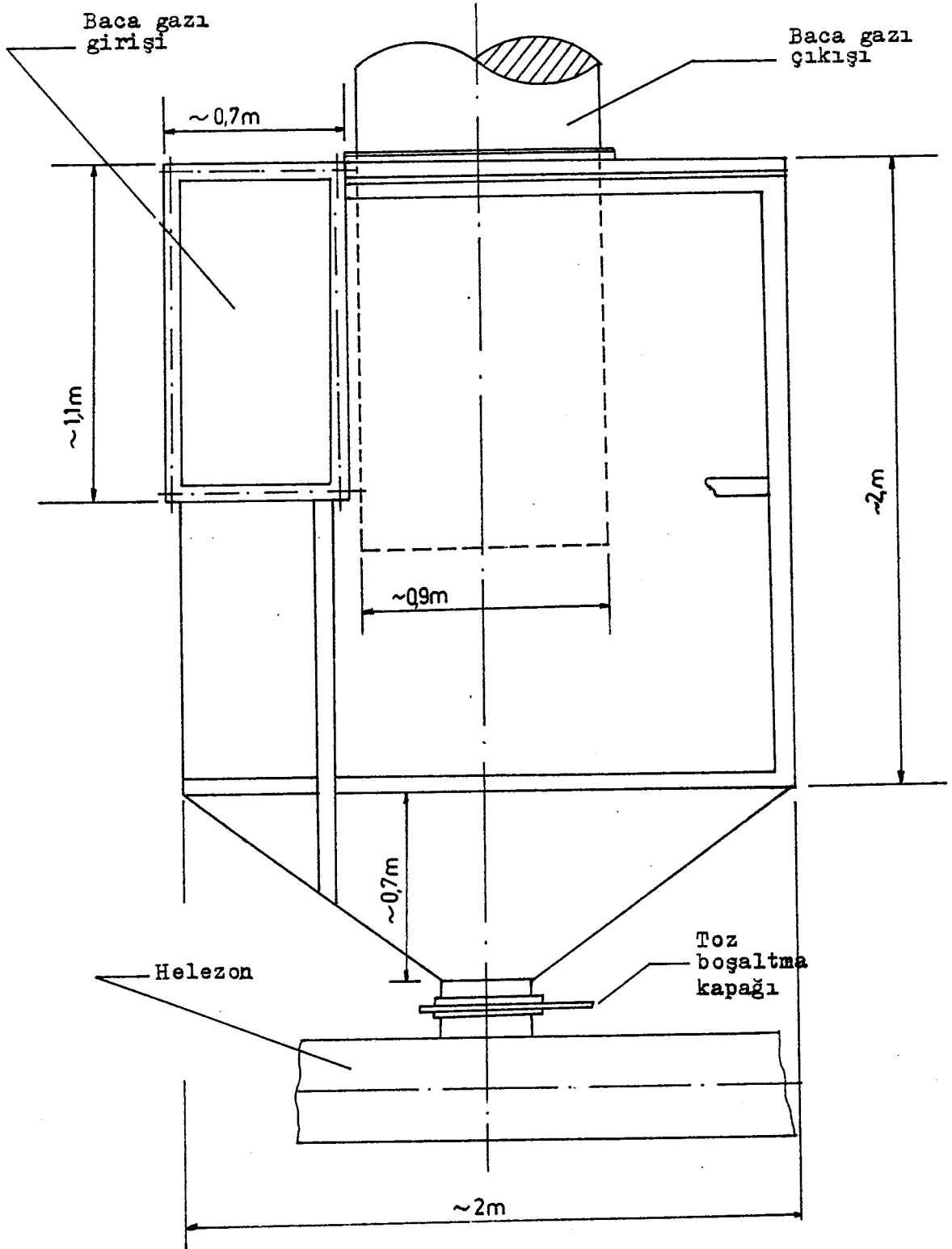


Şekil 4.1. Tulumşag Eski Isı Santrali'nin şematik yerleşim planı.

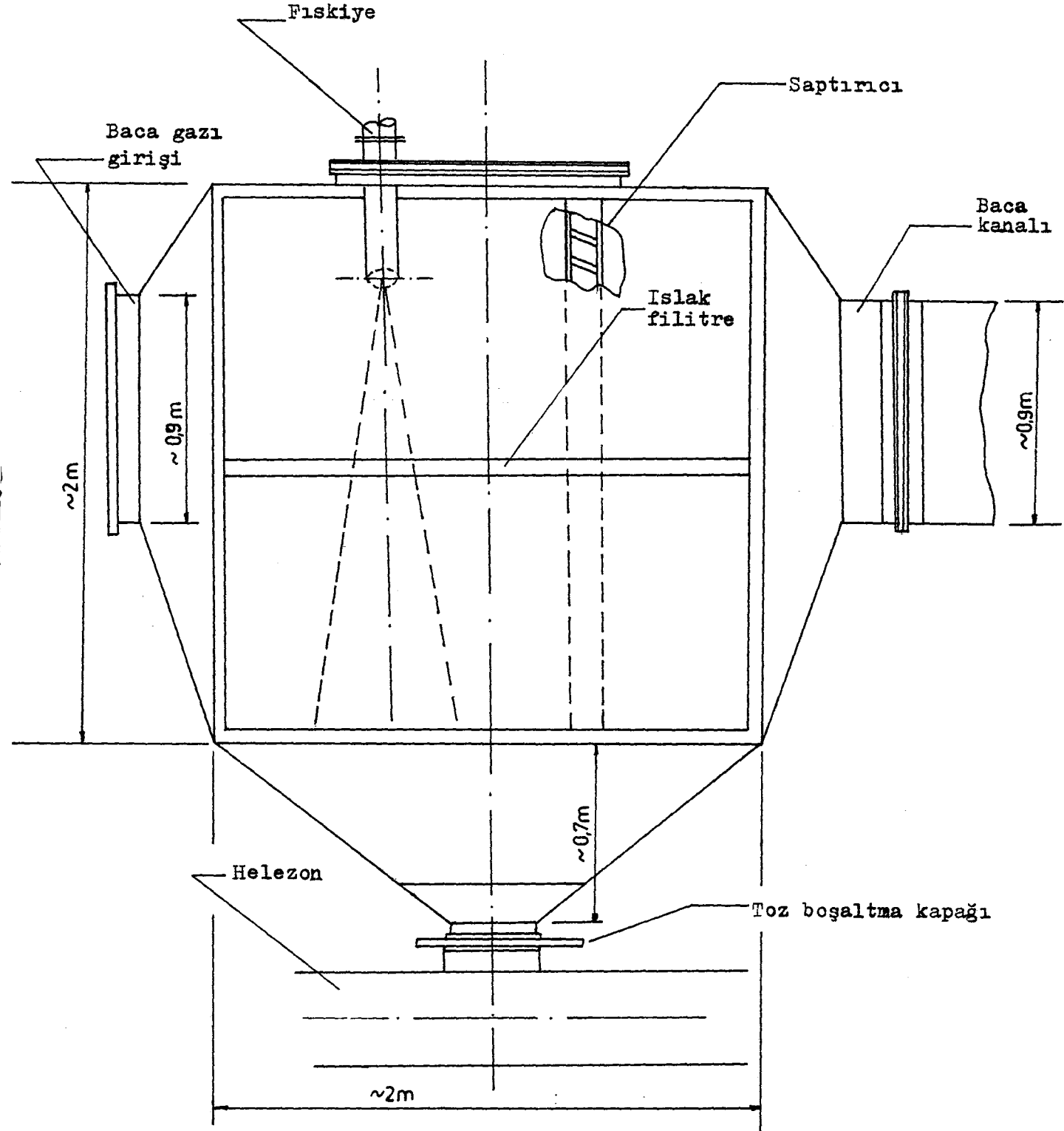
ÖLÇEK: ~ 1/300



Şekil 4.2. Nilonsag Yeni Isı Santrali'nin şematik yerleşim planı.



Şekil 4.3. Eski ısı santralında mevcut kuru tip siklon



Şekil 4.4. Eski ısı santralında mevcut ıslak tip siklon

4.2. TULOMSAŞ Isı Santralinde Kullanılacak Siklon Seçimi:

Santralin çalışma şartları:

Kazanın ısı kapasitesi (bir kazan)	: $7,5 \times 10^6$ kcal/h
Baca gazı sıcaklığı (T)	: 170°C
Kazan verimi (η_k)	: % 70
Kazana su giriş sıcaklığı (T_g)	: 117°C
Buhar sıcaklığı (T_b)	: 397°C
Buhar basıncı (P_b)	: 28 Atü

TULOMSAŞ ısı santralinde aynı özelliklere sahip iki adet buhar kazanı bulunduğu daha önce açıklanmıştır. Isı kapasitesinin çok yüksek olması nedeniyle her kazan çıkışına ayrı siklon projesi düşünülmüştür. Benzer uygulama yine TULOMSAŞ'ta hizmete giren yeni ısı santralinde uygulanmıştır. Söz konusu yeni santralde aynı ısı kapasitesine sahip üç adet kazan çalışmaktadır. Bu sistemde her kazandan sonra siklon toplayıcılar kullanılmış ve temizlenen baca gazları tek bir bacadan atmosfere verilmiştir. Benzer bir uygulama düşünerek;

I. Bacadan Çıkan Duman Gazının Debi Hesabı:

Katı yakacaklar için kullanılan amprik formüllerden kömür yanması için teorik özgül hava miktarı (V_{ho}) için şu ifade yazılır;

$$V_{ho} = 1,012 \frac{Hu}{1000} + 0,5 \quad (\text{Nm}^3/\text{kg}) \quad (4.1)$$

verilen bu amprik formülde tek değişken Hu kullanılan yakıtın alt ısıl değeridir. Bu değerler;

<u>Yakıt</u>	<u>Hu (kcal/kg)</u>
Odun	2000 - 4000
Linyit	3000 - 5000
Taş kömürü	5000 - 8000
Sıvı yakıt	≥ 10000

Isı santralinde linyit kullanılmaktadır. Buna göre $Hu=4000\text{kcal/kg}$ seçilebilir. Denklem (4.1)'den;

$$V_{ho} = 1,012 \frac{4000}{1000} + 0,5$$

$$V_{ho} = 4,548 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

Yine ampirik olarak teorik özgül duman miktarı;

$$V_{go} = 0,95 \frac{Hu}{1000} + 1,375 \quad (\text{Nm}^3/\text{kg}) \quad (4.2)$$

Linyit için;

$$V_{go} = 0,95 \frac{4000}{1000} + 1,375$$

$$V_{go} = 5,175 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

Gerçek özgül duman miktarı (V_g)

$$V_g = V_{go} + (n-1) V_{ho} \quad (\text{Nm}^3/\text{kg}) \quad (4.3)$$

Burada n ; hava fazlalık katsayısıdır. El ile yüklemde $n=1,6+2$ arasında bir değer alınabilir. Kazanlara elevatör yardımıyla, linyit kırılarak gönderilmektedir. Bu nedenle $n=1,5$ alınabilir. Buradan;

$$V_g = 5,175 + (1,5-1) 4,548$$

$$V_g = 7,449 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

Santralden istenen ısı miktarı (ısı kapasitesi):

$$Q = 7,5 \times 10^6 \text{ kcal/h}$$

Buna göre, bu ısı kapasitesini sağlayacak kömür miktarı (Be);

$$Be = \frac{Q}{Hu \cdot \eta_k} \quad (\text{kg/h}) \quad (4.4)$$

η_k : kazan verimi

$$Be = \frac{7,5 \times 10^6}{4000 \times 0,7}$$

$$Be = 2678,5 \text{ kg/h}$$

Bacadan çıkacak olan normal duman gazı debisi (V_{gN}):

$$V_{gN} = V_g \cdot Be \quad (4.5)$$

Elde edilen verileri kullanarak;

$$V_{gN} = 7,449 \cdot 2678,5$$

$$V_{gN} = 19952,14 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Bacadan çıkacak olan duman gazı debisi (V_G):

$$V_G = \frac{T_G}{T_N} V_{gN} \quad (\text{Nm}^3/\text{h}) \quad (4.6)$$

Buradan;

$$V_G = \frac{273+170}{273} 19952,4$$

$$V_G = 32376,97 \text{ m}^3/\text{h}$$

II. Baca Çıkış Kesit Alanı:

Baca gazının siklona giriş hızı maximum verimin sağlanabilmesi için $V_m = 5-25 \text{ m/sn}$ arasında seçilir. Ancak debi çok yüksek olduğundan giriş hızının çok yüksek olması da normaldir. İyi bir verim ve tesisin yerleşim alanı gözönüne alınarak $V_m = 25 \text{ m/sn}$ seçilebilir. Bu hız kullanılacak siklonlarda aşınmaya neden olabilecek bir hızdır. Ancak ısı santralinde baca gazından kurum tutulacağından ve kurumun toz parçacıklarına nazaran daha yumuşak olduğu düşünülürse fazla sorun yaratmayacaktır. Buradan hareketle;

$$V_G = 32376,97 \text{ m}^3/\text{h} \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

$$V_G = \frac{32376.97}{3600}$$

$$V_G = 8,99 \text{ m}^3/\text{sn} \quad \text{elde edilir.}$$

$$V_G = V_m \cdot A_G \quad (4.7)$$

Buradan;

$$A_G = \frac{V_G}{V_m} \quad (4.8)$$

$$A_G = \frac{8,99}{25}$$

$$A_G = 0,3596 \text{ m}^2$$

Baca kesiti dairesel olarak düşünülürse;

$$A_G = \frac{\pi d_G^2}{4} \quad (4.9)$$

Buradan;

$$d_G = \sqrt{\frac{4 \cdot A_G}{\pi}}$$

$$d_G = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,3596}{\pi}}$$

$$d_G = 0,67665 \text{ m}$$

$$d_G = 67,66 \text{ cm} \quad \text{elde edilir.}$$

Siklon kullanımında baca kesiti dikdörtgen olarak seçilir. Te-siste şu anda kullanılan baca kesitide dikdörtgendir. Genellikle enin boya oranı 1/2 olarak seçilir. Buradan;

$$\frac{b}{a} = \frac{1}{2}$$

$$A_G = a \cdot b \quad (4.10)$$

$$b = \frac{1}{2} a$$

olarak yerine konulursa;

$$A_G = \frac{1}{2} a^2$$

olarak elde edilir. Buradan;

$$a = \sqrt{2 \cdot A_G}$$

$$a = \sqrt{2 \cdot 0,3596}$$

$$a = 0,8480 \text{ m}$$

$$a = 84,80 \text{ cm} \quad \text{elde edilir.}$$

$$b = \frac{a}{2}$$

$$b = \frac{84,8}{2}$$

$$b = 42,1 \text{ cm} \quad \text{elde edilir.}$$

Bu değerlerden hareket edilerek gerçek V_m (gaz giriş hızı) hesaplanırsa;

$$A_G = a \cdot b$$

$$A_G = 0,848 \cdot 0,421$$

$$A_G = 0,357 \text{ m}^2$$

Buradan;

$$V_m = \frac{V_G}{A_G}$$

$$V_m = \frac{8,99}{0,357}$$

$$V_m = 25,182 \text{ m/sn.}$$

Baca giriş kesiti siklon giriş kesiti olarak kabul edilirse giriş boyu ve eninden hareketle kuru tip siklonun boyutları hesaplanabilir. Eğer ısı santralinde şu anda kullanılan baca kesiti, hesaplanan (olması gereken) baca kesitinden büyük ise bu kesitin bu boyutta getirilmesi gerekir.

III. Siklon Boyutlarının Hesabı:

- Siklon gövde çapı (D) :

$$D = 2a \quad (4.11)$$

$$D = 2 \cdot 84,80$$

$$D = 169,6 \text{ cm} \quad \text{elde edilir.}$$

- Duman gazı çıkış kesiti (D_e):

$$D_e = \frac{1}{2} D \quad (4.12)$$

$$D_e = \frac{169,6}{2}$$

$$D_e = 84,8 \text{ cm}$$

- Siklon gövdesi silindirik kısım yüksekliği (h):

$$h = 2D \quad (4.13)$$

$$h = 2 \cdot 169,6$$

$$h = 339,2 \text{ cm}$$

- Siklon gövdesi konik kısmının yüksekliği (H,h)

$$H-h = 2D \quad (4.14)$$

$$H-h = 2 \cdot 169,6$$

$$H-h = 339,2 \text{ cm}$$

- Duman çıkış borusunun siklon içerisindeki yüksekliği (S)

$$S = \frac{3}{4} D$$

$$S = \frac{3}{4} 169,6$$

$$S = 127,2 \text{ cm}$$

- Toz boşaltım kanalı kesit çapı (B):

$$B = \frac{1}{4} D \quad (4.15)$$

$$B = \frac{1}{4} 169,6$$

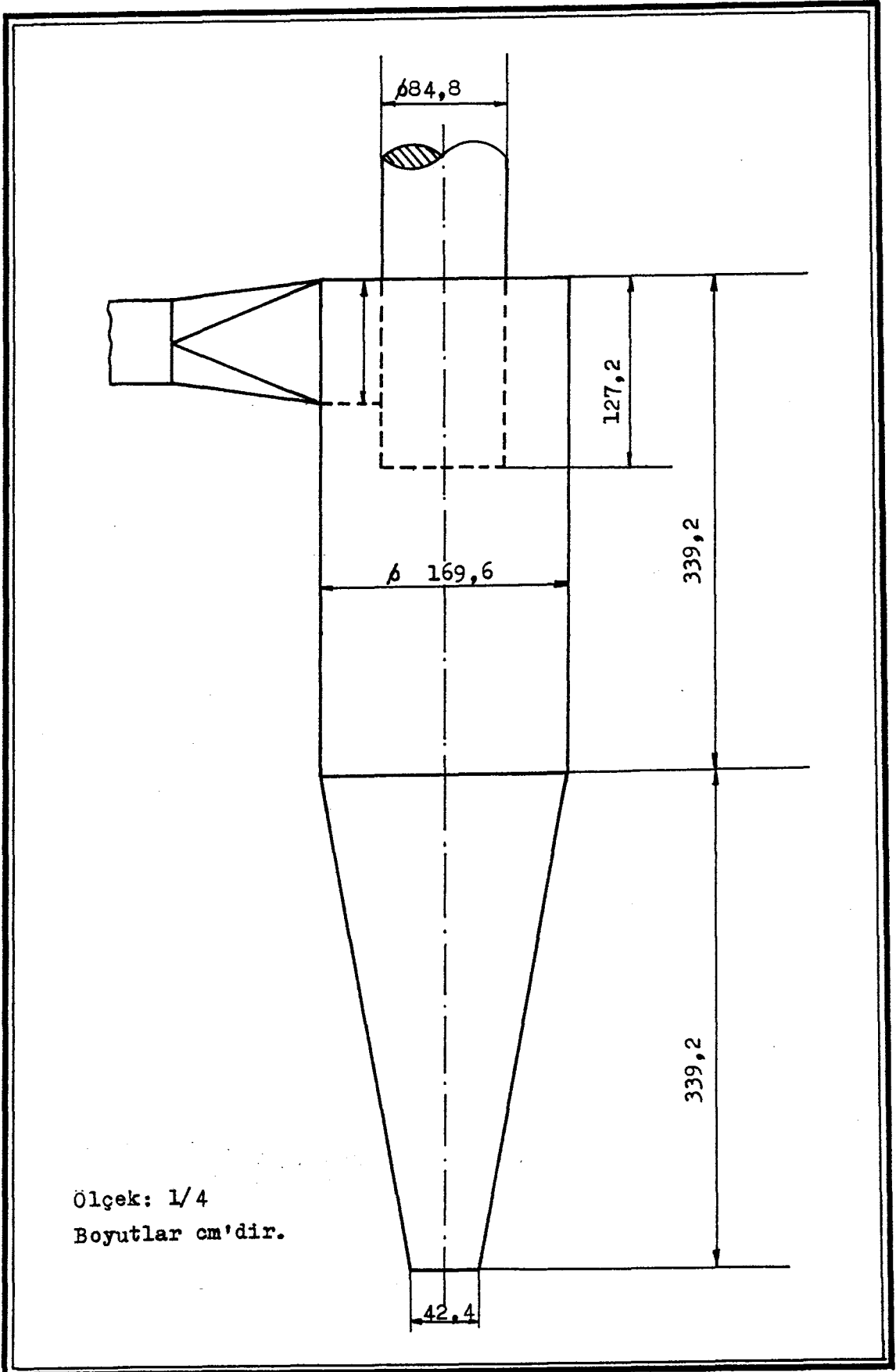
$$B = 42,4 \text{ cm}$$

Buradan elde edilen boyutları şematik olarak Şekil 4.5'dedir.

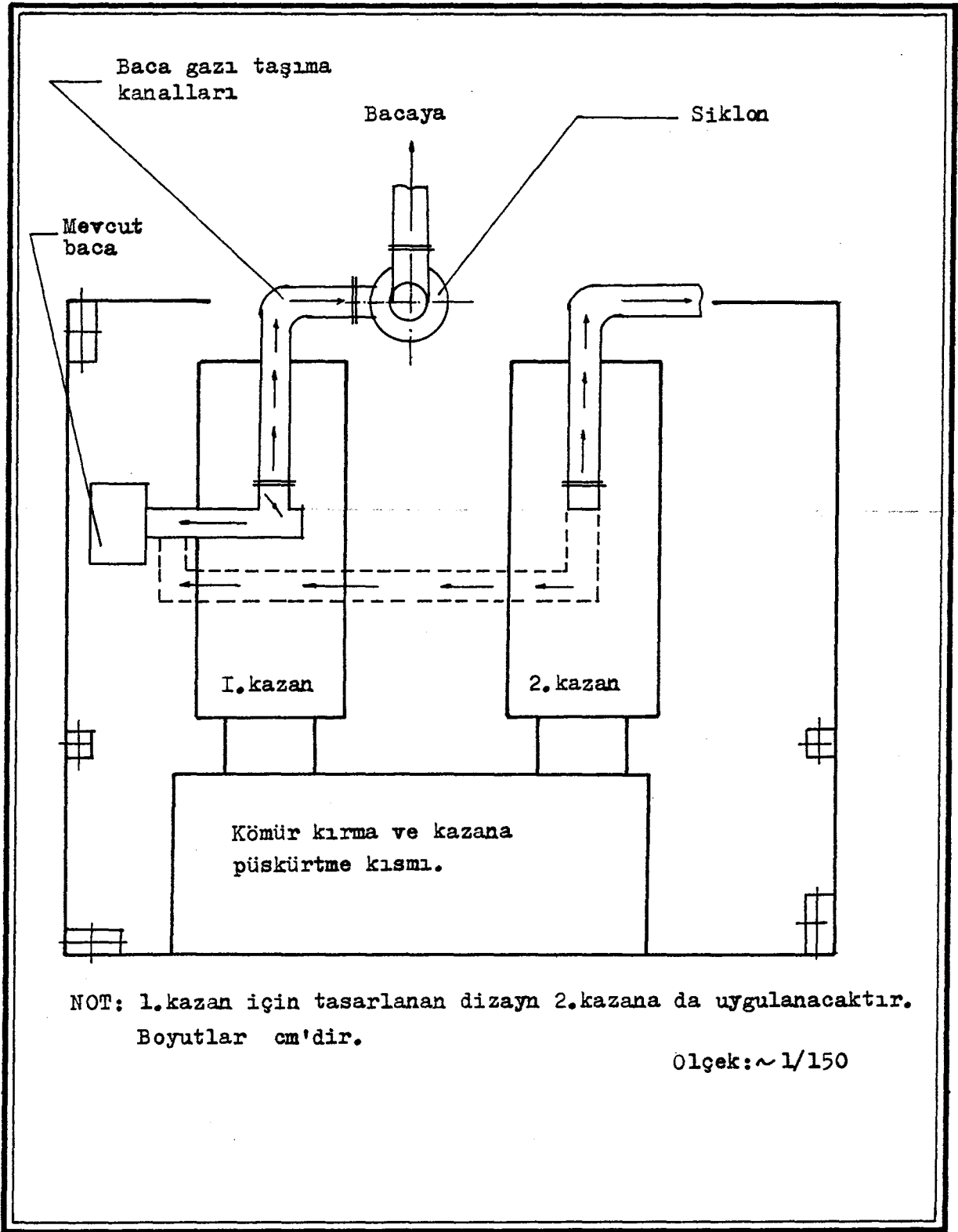
Siklon seçiminde, siklon boyutları tespit edildikten sonra bu siklonun tutabileceği minimum parçacık çapı, siklon girişindeki ve çıkışındaki toz konsantrasyonu, siklon verimi, basınç kaybı ve buna bağlı olarak vantilatör seçimi yapılır. Ancak Şekil 4.5'de verilen siklonun TULOMSAŞ'da kullanılması mümkün olmadığı gibi bu siklon tek başına çok hızlı hareket eden baca gazından kurumu iyi bir verimle ayıramaz. TULOMSAŞ ısı santralinde bu boyutlarda bir siklonu yerleştirmek de mümkün değildir. Çünkü, iki kazan olduğundan bu siklonlardan da iki adet gereklidir. Şematik olarak sistem Şekil 4.6'daki gibi olacaktır

Yeni ısı santralinde de ısı kapasitesi $7,5 \times 10^6$ kcal/h ve kullanılan kazan verimi ise %70'dir. Yapılan hesaplamalarda kullanılması düşünülen klasik tip kuru siklon çapı 1,7m olarak bulunmuştur. Yeni santrallerde siklon çapı ise 1,5 m. dir. Ancak yeni ısı santralinde ıslak tip siklonun kullanıldığı da düşünülürse, bu etkinin buradan kaynaklandığı söylenebilir. Yeni ısı santralinde kullanılan klasik yüksek verimli kuru tip siklon ile kenarlarından su püskürtmeli ıslak siklonun çapları 1,5 m. dir.

Şematik olarak verilen Şekil 4.6'dan'da görülebileceği gibi, siklonların özellikle boy olarak kaplayacakları yer (yaklaşık 8m), ayrıca toz boşaltım kısımları da dahil edildiğinde sistem kullanılmaz hale gelecektir.



Şekil 4.5. Tek başına kullanılması düşünülen şematik kuru tip siklon



Şekil 4.6. Tek bir klasik tip kuru siklonun kullanılması durumunda ısı santralının şematik yerleşim planı

Gerçekçi bir çözüm için, ısı santralinin bugünkü koşulları göz önüne alınırsa;

1. Isı santrali ilk kurulduğu kapasitede çalışmıyor. Bunda sistemin uzun süredir kullanılıyor olması, istenen kalitede yakıtın kullanılmaması (tağ kömürü yerine linyit kullanılıyor), etkili olmaktadır.

2. TULOMSAŞ tesislerinde yapılan ikinci ısı santralinin devreye girmesi ve diğer şartlar nedeniyle söz konusu ısı santralinden, daha düşük ısı kapasitesi elde edilmektedir. Zaten, ısı santralinde tam kapasite ile çalışıldığında saatte 2 ton kömür yakıldığı belirtilmiştir. Oysa hesaplamalarda bir kazan için $7,5 \times 10^6$ kcal/h ısı kapasitesi için bu değer 2678,5 kg/h olarak elde edilmiştir. Bu nedenle gerçekçi bir çözüm için ısı kapasitesi $(5,5-6) \times 10^6$ kcal/h olarak alınabilir.

Ayrıca paralel siklon çalıştırılması düşünülerek, hem siklon boyutları düşürülür, hem de verim arttırılır.

Bu yorumları gözönüne alarak sistemi yeniden boyutlandıralım; Bir kazanın ısı kapasitesi 6×10^6 kcal/h

I. Bacadan Çıkan Duman Gazının Debi Hesabı:

$$V_{ho} = 1,012 \frac{Hu}{1000} + 0,5 \quad (\text{Nm}^3/\text{kg})$$

Daha önce alt ısı değer (Hu), linyit için 4000 kcal/kg olarak alınmıştır. Buradan hareketle

$V_o = 4,548 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ olarak bulunur. Bu değer katı yakacaklar için (kömür yanması) teorik özgül hava miktarıdır.

Yine amirik olarak teorik özgül duman miktarı;

$$V_{go} = 0,95 \frac{Hu}{1000} + 1,375 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$V_{go} = 5,175 \text{ Nm}^3/\text{kg}.$$

Buradan gerçek özgül duman miktarı (V_g)

$$V_g = V_{g0} + (n-1) V_{ho} \quad (\text{Nm}^3/\text{kg})$$

Linyit için, elde edilen verilerden hareketle;

$$V_g = 7,449 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

Santralden istenen ısı miktarı (ısı kapasitesi): 6×10^6 kcal/h
Buna göre bu ısı kapasitesini sağlayacak kömür miktarı (Be);

$$Be = \frac{Q}{Hu \cdot \eta_k}$$

$$Be = \frac{6 \times 10^6}{4000 \cdot 0,7}$$

$$Be = 2142,85 \text{ kg/h}$$

Bacadan çıkacak olan normal duman gazı debisi (V_{gN});

$$V_{gN} = V_g \cdot Be$$

$$V_{gN} = 7,449 \cdot 2142,85$$

$$V_{gN} = 15962 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Buradan çıkacak olan duman gazı debisi (V_G);

$$V_G = \frac{T_G}{T_N} \cdot V_{gN}$$

$$V_G = \frac{273+170}{273} \cdot 15962$$

$$V_G = 25901,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Elde edilen bu debi paralel siklon kullanımında kullanılması düşünülen siklon sayısına bölünerek her bir siklonun debisi saptanır.

İki siklonu, bir kazan için paralel çalıştırmayı düşünerek;

$$V_G = \frac{25901.7}{2}$$

$$V_G = 12950 \text{ m}^3/\text{h}$$

II. Baca Çıkış Kesit Alanı:

Baca gazının siklona giriş hızı yine 25 m/sn seçilerek;

$$V_G = 12950/3600$$

$$V_G = 3.59 \text{ m}^3/\text{sn} \text{ alarak;}$$

$$V_G = V_m \cdot A_G$$

Buradan hareketle,

$$A_G = \frac{V_G}{V_m}$$

$$A_G = \frac{3.59}{25}$$

$$A_G = 0.143 \text{ m}^2 \text{ elde edilir.}$$

Baca kesiti dairesel düşünülürse;

$$A_G = \frac{\pi \cdot d_G^2}{4}$$

$$d_G = \sqrt{\frac{4 \cdot A_G}{\pi}} \text{ den hareketle}$$

$$d_G = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.143}{\pi}}$$

$$d_G = 0.428 \text{ m}$$

$$d_G = 42.8 \text{ cm}$$

Ancak siklon kullanımında dikdörtgensel giriş tercih edilir ve genellikle enin boya oranı 1/2 olarak alınır. Buradan

$$\frac{b}{a} = \frac{1}{2}$$

$$A_G = b \cdot a \quad \text{ve}$$

$$A_G = \frac{1}{2} a^2$$

Buradan;

$$a = \sqrt{2 \cdot A_G}$$

$$a = \sqrt{2 \cdot 0,143}$$

$$a = 0,53 \text{ m.}$$

$$a = 53 \text{ cm} \quad \text{elde edilir.}$$

$$b = \frac{a}{2} \text{ olduğundan,}$$

$$b = 26,5 \text{ cm} \quad \text{elde edilir.}$$

Bu değerlerden hareketle gerçek gaz giriş hızı hesaplanır;

$$A_G = a \cdot b$$

$$A_G = 0,53 \cdot 0,265$$

$$A_G = 0,141 \text{ m}^2$$

Buradan;

$$V_m = \frac{V_G}{A_G}$$

$$V_m = \frac{3,59}{0,141}$$

$$V_m = 25,46 \text{ m/sn} \quad \text{elde edilir.}$$

Baca giriş kesiti siklon giriş kesiti olarak ele alınır. Eğer

eşit alınmazsa gazın hızı değişecektir. Buradan hareketle siklonun boyutları hesaplanabilir.

III. Siklon Boyutlarının Hesabı:

- Siklon gövde çapı (D)

$$D = 201$$

$$D = 2,53$$

$$D = 106 \text{ cm}$$

- Duman gazı çıkış kesiti (D_c)

$$D_e = 1/2 D$$

$$D_e = 53 \text{ cm}$$

- Siklon gövdesi silindirik kısmının yüksekliği (h)

$$h = 2D$$

$$h = 2 \cdot 106$$

$$h = 212 \text{ cm}$$

- Siklon gövdesi konik kısmının yüksekliği (H-h)

$$H-h = 2D$$

$$H-h = 212 \text{ cm}$$

- Duman çıkış barusunun siklon içerisindeki yüksekliği (S)

$$S = \frac{3}{4} D$$

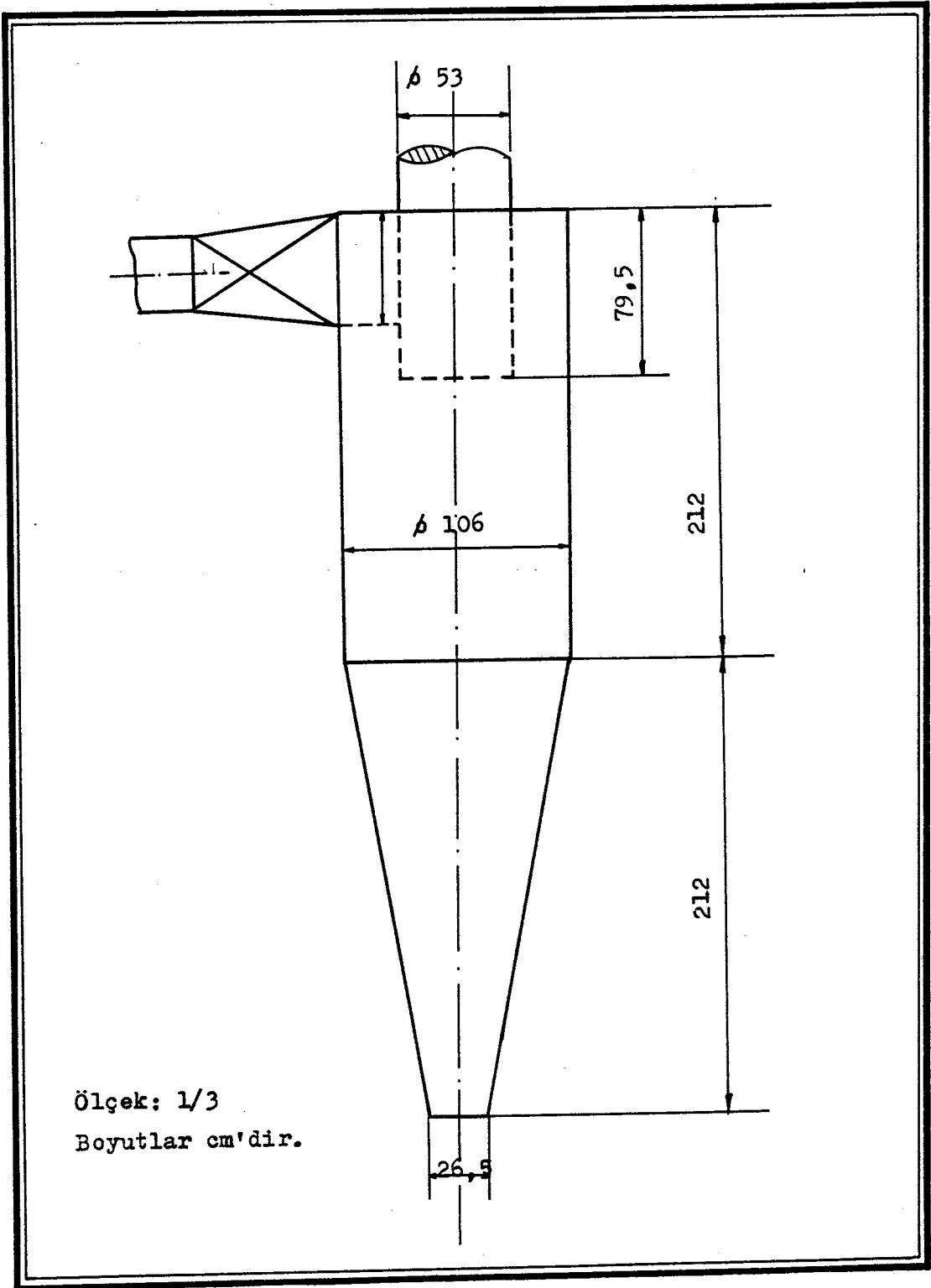
$$S = \frac{3}{4} 106$$

$$S = 79,5 \text{ cm}$$

- Toz boşaltım kanalı kesit çapı (B)

$$B = \frac{1}{4} D$$

$$B = \frac{106}{4}$$



Şekil 4.7. Paralel siklon kullanımında boyutları hesaplanan şematik kuru tip siklon

B = 26,5 cm.

Buradan; elde edilen boyutları şematik olarak Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Boyutları belirlenen bu siklondan (Şekil 4.7) bir kazan için iki adet gereklidir. TULOMSAŞ ısı TERMINALI'nde iki adet kazan söz konusu olduğu için bu siklonlardan dört adet gereklidir. Sistem şematik olarak Şekil 4.8'deki gibi olacaktır.

İkinci bir alternatif olarak düşünülen paralel siklon kullanımı için geniş bir alana ihtiyaç vardır. Ayrıca baca gazlarına kararlı bir akım sağlamak amacıyla bacadan siklonlara giden baca gazı kanallarının da uzun olması gerekir. Ancak ısı santralında bu dizaynı uygulamak için yeterli alan yoktur. Çünkü kazanlarla santral duvarları arasındaki mesafe 3 + 4 m. kazanlar arası mesafe ise 4 + 5 m dir. Daha önce bölümün başında yapılan açıklamalarda ise santralin etrafı diğer atelyelerle kaplandığından sistemin dışarı taşınması da mümkün değildir.

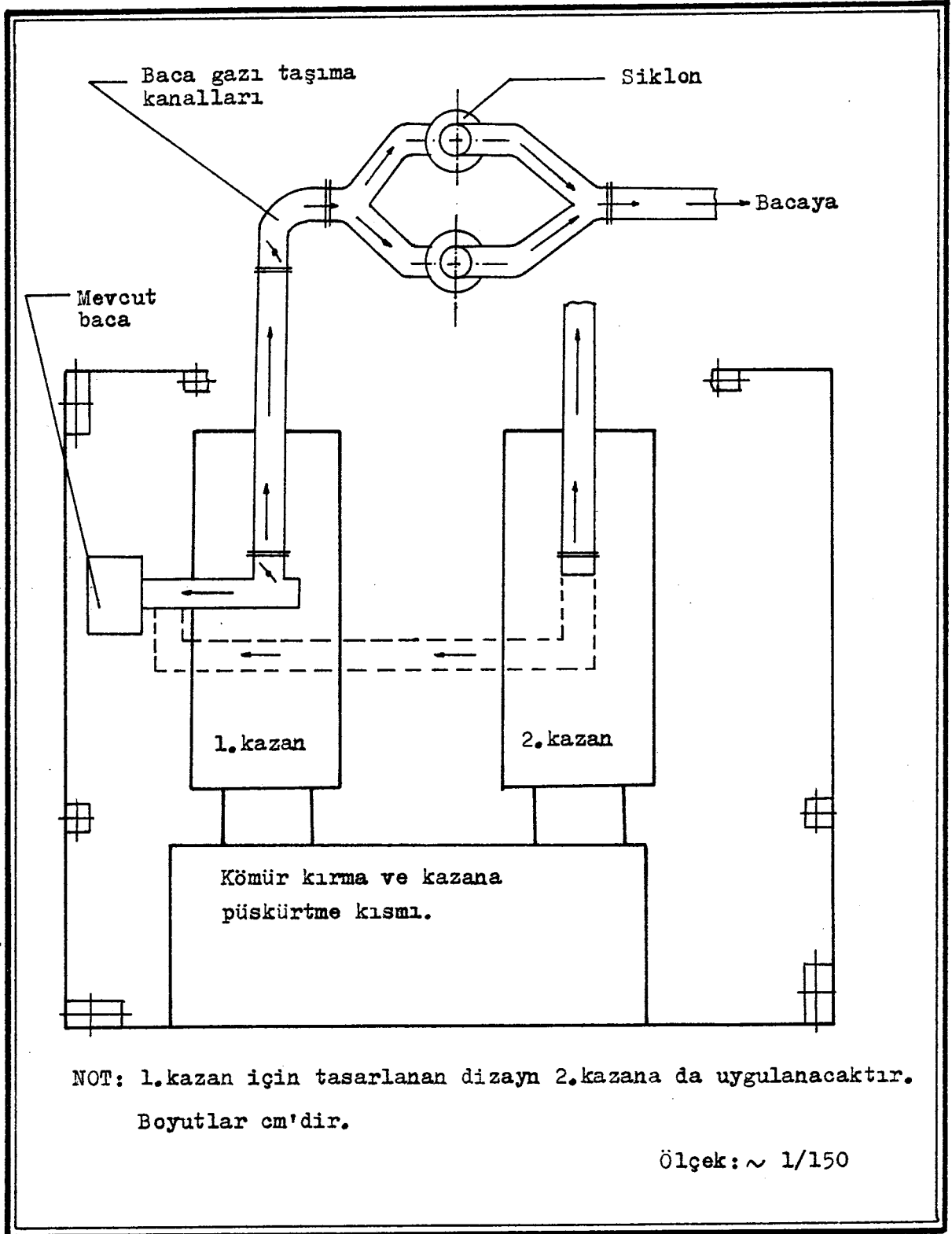
Üçüncü bir alternatif de ıslak tip siklonların kullanılmasıdır. Bunun için ise daha önce verilen iki alternatif ele alınabilir. Ancak yine bu alternatifin uygulanabilmesi için yeterli bir alan olması gerekir.

Daha önce ele alınan tek kuru siklondan sonra ıslak tip siklon konulabilir. Bu her kazana ayrı ayrı uygulanmalıdır. Aynı durum paralel siklon kullanımı içinde geçerlidir. İki paralel siklondan çıkan baca gazları tek kanalla ıslak tip siklondan geçirilebilir.

Düşünülen ıslak tip siklon farklı şekillerde olabilir. Kuru tip siklonlarda olduğu gibi ıslak tip siklonlarda da belirli bir standartlaşma henüz gerçekleştirilememiştir. Bu nedenle bu siklon tipi,

a) Koni kısmı su ile dolu ve baca gazı bu su yüzeyinden geçirilerek kurumun suda kalmasını sağlayacak şekilde bir siklon düşünülebilir. Şematik olarak böyle bir siklon Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

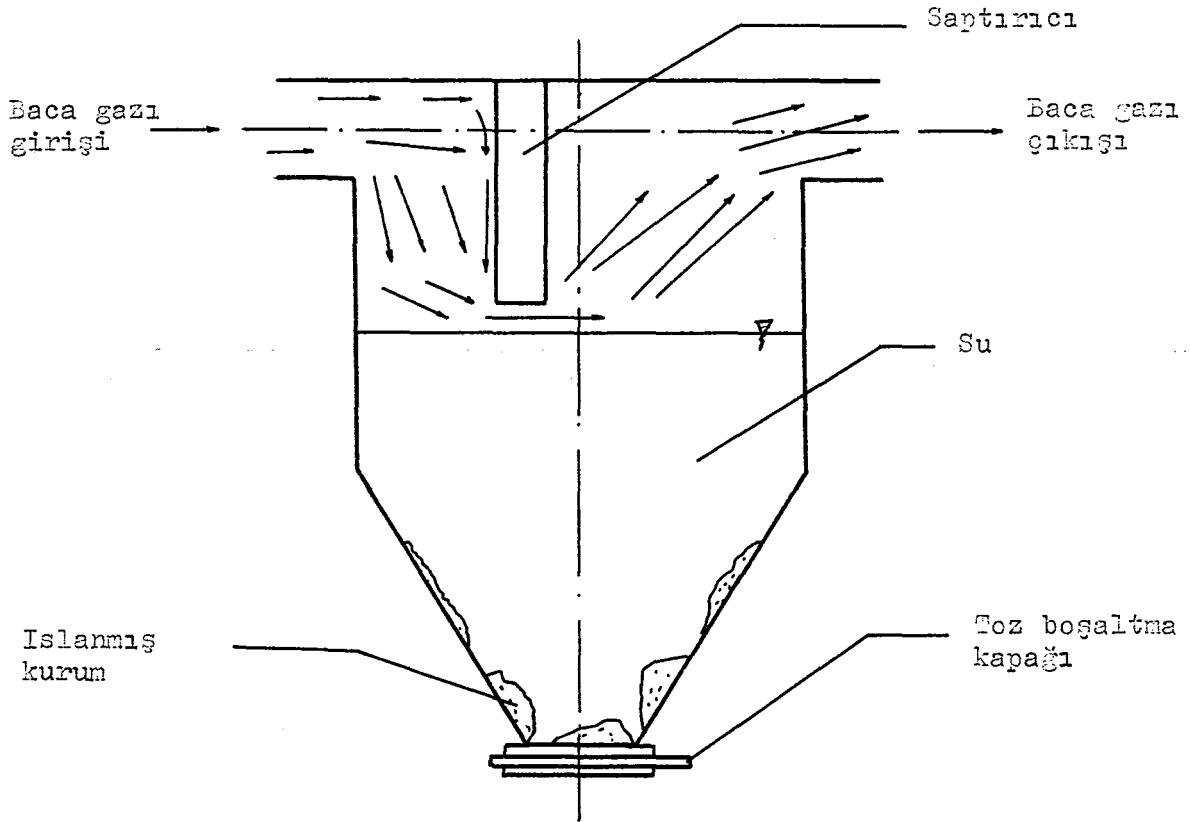
b) Baca gazının siklona girdikten sonra, toz yüklü gaza siklon çeperlerinden su püskürtülerek partiküllerin çöktürülmesini sağlayan bir siklon kullanılabilir. Böyle bir siklon Şekil 4.10'da, bu siklona ait su püskürtme şekli (nozül) kesiti Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



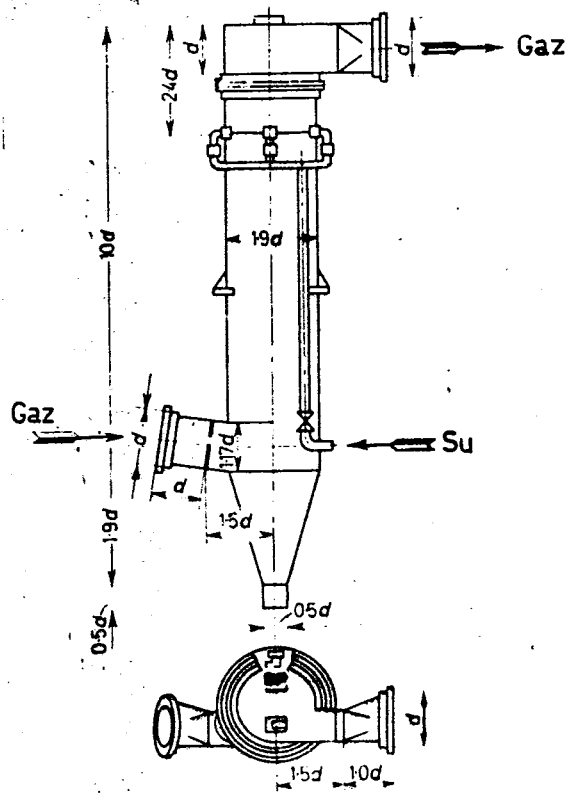
Şekil 4.8. Paralel siklon kullanılması durumunda ısı santralının şematik yerleşim planı

Bu siklona ait boyut oranları ise üzerinde verilmiştir.

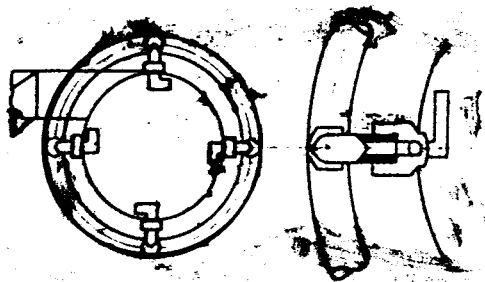
Siklon seçimi yapıldıktan sonra gerekli gaz akışını sağlamak ve baca gazlarına kararlı bir akış sağlamak amacıyla baca kesiti, gaz debisi, gaz sıcaklığı ve diğer şartlar gözönüne alınarak vantilatör seçimi gerçekleştirilir.



Şekil 4.9. Islak tip siklon dizaynı



Şekil 4.10. Cidardan su püskürtmeli ıslak tip siklonun boyutları



Şekil 4.11. Şekil 4.10'da verilen ıslak tip siklona ait su püskürtme nozulları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Asıl amacı; son yıllarda gittikçe önemli bir problem haline gelen hava kirliliğini önleme çalışmalarına -bir nebze de olsa- faydalı olabilmek için yapılan bu tez çalışmasında "TULOMSAŞ Isı Santrali Kurum Tutma Tesisinin İslahı" ele alınmıştır. Bu nedenle, ilk aşamada genel olarak hava kirliliği ele alınmış ve hava kirliliğinin önlenmesinde kullanılan metodlar karşılaştırılmıştır. Isı santralinde mevcut Kurum Tutma Tesisinde siklonların kullanılması nedeniyle, siklonlar dayalı bir biçimde incelenmiştir.

Hava kirliliğini önleme çalışmaları yapılmadan önce, hava kirliliğine sebep olan etkenlerin bilinmesi gerekir. TULOMSAŞ Isı Santrali'nde son derece kalitesiz linyit kullanılmakta, linyitin içerisindeki taş, toprak, metal parçaları vb. yabancı maddeler yanma esnasında parçalanarak baca gazına karışmaktadır. Daha kaliteli linyit veya projenin esasında var olan taş kömürünün kullanımı gerçekleştirilirse bacadan çıkan kurum miktarının daha da düşeceği aşıkardır.

Ayrıca Kurum Tutma Tesisinde kullanılan siklonlar son derece yetersiz olup, dizaynında da herhangi bir hesaplama yöntemi kullanılmamıştır. İki kazandan çıkan yüksek gaz debisi tek bir kanala gönderilmiş, debi daha da arttırılmıştır. Söz konusu problemi gidermek amacıyla gerçek değerlere dayalı siklon seçimi yapılmıştır. Ancak baca gazı debisinin çok yüksek olması ve çalışma şartlarının sağlanamaması nedeniyle, seçilen siklonun yetersiz kalabileceği düşünülerek alternatif siklon kullanımları verilmiştir.

Birinci alternatif olarak tek bir klasik kuru tip siklonun kullanılması durumunda, siklonun boyutları belirlenmiş ve şematik olarak ısı santralının yerleşim planı verilmiştir.

İkinci alternatif olarak paralel siklon kullanımı düşünülmüştür. Benzer şekilde siklonlar boyutlandırılmış ve ısı santralının şematik yerleşim planı verilmiştir.

Üçüncü alternatif olarak, birinci veya ikinci alternatifte verilen siklonlara ilave olarak ıslak tip siklon konulabileceği düşünülmüştür.

TÜLOMSAŞ'da devreye giren Yeni Isı Santrali ele alınarak Eski Isı Santrali ile karşılaştırılmıştır. Yeni Isı Santralindeki kazanlar ile eski kazanların ısı kapasiteleri aynıdır. Benzer bir uygulama Eski Isı Santralinde kullanılabilir. Ancak Eski Isı Santralinde gerekli alanın olmaması benzer bir çalışmayı engellediği gibi verilen alternatifler uygulamaya da elverişli değildir. Gerekli boş alan sağlanması halinde bacadan çıkan kurumların yüksek bir verimle tutulabileceği, Yeni Isı Santralindeki uygulamadan dolayı görülebilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Avcı, A., 1985, Baca gazının kontrolunda siklonlar, Yüksek lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Doğaner, C., 1977, Konut ve endüstri tesislerinde baca gazlarının temizlenmesi, yüksek lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Esgin, M., 1988, Siklonlar, lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, 122 s.
- Eyice, S., 1971, Isı ekonomisi, Cilt-1, İstanbul Teknik Üniversitesi, 50 s.
- Fındıkçı, A.N., 1984, Hava kirliliği ve kontrolü, yüksek lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, 63 s.
- Lund, H.F., 1971, Industrial pollution control hand book, H.C.Graw Hill Book Comp., 243 p.
- Oruç, H., 1984, Eskişehir'de hava kirliliği ve doğal gaz, Eskişehir, 14 s.
- Perkins, H.C., 1974, Air pollution, Mc Graw Hill Book Comp., Düsseldorf
- Straus, W., 1971, Air pollution I and II, Wiley Interscience, London
- Taner, K., 1985, Buhar kazanları ders notları, Anadolu Üniversitesi Eskişehir
- Tanyeri, H., 1988, Toz tutma için uygun siklon seçimi, Mühendis ve Makina, T.M.M.O.B. Makina Mühendisleri Odası yayını, 343. sayı
- Warring, R.H., 1981, Filters and filtration hand book, trade technical press Ltd., England, 460 p.
- Warner, F.C., Air pollution its origin and control, Tomas, Y.Crawwel comp. Inc., 424 p.

