

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİKLONLARDA DALMA BORUSU ÇAP  
DEĞİŞİMİNİN AKIŞ PARAMETRELERİNE  
ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ferit FIÇICI**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç.Dr Vedat ARI**

**Ağustos 2006**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİKLONLARDA DALMA BORUSU ÇAP  
DEĞİŞİMİNİN AKIŞ PARAMETRELERİNE  
ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ferit FIÇICI**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE EĞİTİMİ**

**Bu tez .. / .. /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

-----

**Jüri Başkanı**

-----

**Jüri Üyesi**

-----

**Jüri Üyesi**

## **TEŞEKKÜR**

Tez çalıőmamın hazırlanması sırasında çalıőmalarımı teővik eden, her tŒrlŒ yardımlarını esirgemeyen danıőmanım Yrd.Doç.Dr.Vedat ARI'ya minnet borçluyum. Deneyler sırasında yardımcı olan Ali Kıvanç' a teőekkŒrlerimi sunarım. Çimento hammaddesi (farin) temininde bize yardımcı olan Nuh imento'ya teőekkŒr edeim. Ayrıca tezimi tamamlamada yardımlarını esirgemeyen Araő.Gör Bahtiyar Dursun, Araő.Gör Cihan Gököl ve aileme teőekkŒr ederim.

**Ağustos 2006**

**Ferit FIÇICI**

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLOLAR LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
SİKLONLA AYRIŞTIRMA TEORİSİ.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Siklonla Ayrıştırma Teorisi.....	4
2.3. Siklon Akış Modeli .....	4
2.4. Ters Akışlı Siklonda Partiküllere Etki Eden Kuvvetler .....	6
2.5. Siklonlarda Basınç Kaybı ve Ayrıştırma Verimlilikleri.....	8
2.6. Siklon Dizaynı.....	16
BÖLÜM 3.	
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	19
3.1. Deney Düzenegi.....	19
3.2. Deney Programı .....	32

## BÖLÜM 4.

DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....	33
4.1. Dalma Borusu Derinliğinin Etkisi.....	33
4.2. Siklon Giriş Hızının Etkisi.....	35
4.3. Siklona Giren Toz Konsantrasyonunun Etkisi.....	37

## BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	41
KAYNAKLAR.....	42
ÖZGEÇMİŞ.....	44

## SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Kesit alanı, m <sup>2</sup>
B	: Siklon dip çapı, m
b	: Siklon giriş eni, m
C	: Sürüklenme katsayısı, kg/m <sup>3</sup>
D	: Çap, m
d	: Partikül çapı, m
E	: Enerji, kJ
F	: Kuvvet, N
G	: Siklon geometri sabiti
H	: Yükseklik, m, Entalpi (kJ)
h	: Yükseklik, m
K	: Emniyet katsayısı, -
L	: Uzunluk, m
M	: Partikül miktarı, kg
N	: Hız kayıp katsayısı, -
n	: Kademe sayısı, Siklon oran sabitini etkileyen faktör
p	: Basınç, N/m <sup>2</sup>
Q	: Debi, m <sup>3</sup> /h, Isı, W
R	: Girdap yarıçapı, m
r	: Yarıçap, m
S	: Ayrışma, - Dalma yüksekliği, m
T	: Sıcaklık, K
t	: Sıcaklık, °C
u	: Çevresel hız, m/s
X	: Partikül miktarı, kg/kg
x	: Tanecik çapı, m
V	: Hız, m/s, Hacim, m <sup>3</sup>

W : Sürüklenme hızı, hız, m/s  
Z : Kademe sayısı, adet

### **Yunanca semboller**

$\alpha$  : Isı transfer katsayısı,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$   
 $\beta$  : Hacim sabiti  
 $\varepsilon$  : Kayıplar  
 $\phi$  : Hız kayıp sayısı etki faktörü  
 $\eta$  : Viskozite,  $Ns/m^2$ , Verim  
 $\lambda$  : Sürtünme faktörü, -  
 $\mu$  : Verim, Gaz viskozitesi,  $Ns/m^2$   
 $\rho$  : Yoğunluk,  $kg/m^3$   
 $\zeta$  : Basınç kayıp katsayısı  
 $\psi$  : Atalet parametresi  
 $\Delta$  : Fark  
 $\gamma$  : Özgül kütle,  $kg/m^3$

### **Alt İndisler**

A : Siklon altı  
a,C : Çıkış  
c : Siklon  
e,G : Giriş  
g : Gaz, giriş  
i : Dalma borusu çapındaki değer  
p : Partikül  
s : Yükseltici kanal  
T : Toplam  
w : Sürüklenme  
z : Merkezkaç

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Bir siklonun şematik görünümü ve boyutları.....	2
Şekil 2.1.	Siklon içerisindeki akış modeli.....	5
Şekil 2.2.	Ters akışlı siklonda hız dağılımları.....	5
Şekil 2.3.	Siklon giriş tipleri.....	9
Şekil 2.4.	Teğetsel giriş tipleri.....	10
Şekil 2.5.	Siklonun temel boyutları.....	11
Şekil 2.6.	Siklonun tipik kesirsel verimlilik eğrisi.....	13
Şekil 3.1.1.	Ön ısıtıcı siklon deney düzeneğinin şematik görünümü.....	19
Şekil 3.1.2.	Humboldt tipi ön ısıtıcı deney siklonunun boyutları Kontrol Panosu.....	20
Şekil 3.1.3.	Siklon dalma boyu ayarlama mekanizması.....	21
Şekil 3.1.4.	Yanma odası.....	21
Şekil 3.1.5.	Dozajlama ünitesi detayları.....	22
Şekil 3.1.6.	Ön ısıtıcı siklon reaktörle ilgili imalat detayları.....	24
Şekil 3.1.7.	Deney düzeneğinin genel görünümü.....	25
Şekil 3.1.8.	Deney düzeneğinin önden görünümü.....	26
Şekil 3.1.9.	Yanma odası gözetleme delikleri ve sekonder hava menfezleri.....	26
Şekil 3.1.10.	Pitot tüpü ve termo eleman.....	27
Şekil3.1.11.	Kontrol Panosu.....	27
Şekil3.1.12.	Basınç Transmitterlerinin ve Sıcaklık Göstergelerinin Ön Görünümü.....	28
Şekil3.1.13.	Farin dozajlama ünitesi.....	28
Şekil 3.1.14.	Vantilatöre yol veren frekans invertörü.....	29
Şekil 3.1.15.	Önısıtıcı siklon dalma boyu ayarlama mekanizması.....	29
Şekil 3.1.16.	Önısıtıcı siklon toz toplama haznesi.....	30
Şekil 3.1.17.	Önısıtıcı siklon ve vantilatör bağlantısı.....	30
Şekil 3.1.18.	Vantilatör.....	31
Şekil 3.1.19.	Önısıtıcıya bağlı termokupllar.....	31



Şekil 4.1.1	Dalma Boyu Yüksekliğine Göre Basınç Farkı Değişiminin Gösterilmesi.....	35
Şekil 4.1.2	Dalma Borusu Yüksekliğine Göre Çıkış Sıcaklığı Değişimi.....	35
Şekil 4.1.3.	Dalma Boyu Yüksekliğine Göre Tutma Verimi Değişimi.....	36
Şekil 4.2.1.	Siklon Giriş Hızına Göre Basınç Farkı Değişimi.....	37
Şekil 4.2.2.	Siklon Giriş Hızına Göre Çıkış Sıcaklığı Değişimi.....	37
Şekil 4.2.3.	Siklon Giriş Hızına Göre Tutma Verimi Değişimi.....	38
Şekil 4.3.1.	Siklon Toz Giriş Konsantrasyonuna Göre Basınç Farkı Değişimi..	39
Şekil 4.3.2.	Siklon Toz Giriş Konsantrasyonuna Göre Çıkış Sıcaklığı Değişimi	40
Şekil 4.3.3.	Siklon Toz Giriş Konsantrasyonuna Göre Tutma Verimi Değişimi.	40

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Partikül boyutları .....	3
Tablo 2.2.	$\Delta H$ hesabı için araştırmacılar tarafından önerilen metotlar .....	12
Tablo 2.3.	Toplam verimliliğın hesabına bir örnek .....	14
Tablo 2.4.	Siklonların verimlilik dağılımı .....	16
Tablo 2.5.	Standart siklon dizaynları için boyut oranları.....	17

## ÖZET

Anahtar Kelime: Siklon, basınç düşümü, tutma verimi, farin

Günümüz dünyasında enerji ihtiyaçlarının artması ülkeleri ve insanları daha iktisatlı olmaya yönlendiriyor. Bundan dolayı sanayinin her sektöründe olduğu gibi çimento sektörü de enerjiyi daha dikkatli kullanmak için çalışmalar yapmıştır. Bu yüzden çimento sektörü döner fırını yüksek sıcaklıkta terk eden baca gazının enerjisini acaba tekrar kullanabiliriz düşüncesiyle önisıtıcı siklonları tasarlamışlardır.. Döner fırını yaklaşık 950–1100 °C terk eden baca gazı ters akışlı olarak çimentonun hammaddesi farinle (kireçtaşı+kil) reaksiyona geçirilir. Böylelikle farin kısmi kalsinasyon sıcaklığına sıcaklığına kadar ısıtılır ve gazın taşıdığı ısı enerjisinin büyük bir kısmı farine geçirilir. Önisıtıcı siklonlar vasıtasıyla hem döner fırının ısı yükü azaltıldı hem de büyük bir enerji tasarrufu sağlanır. Bu öneminin yanında, önisıtıcı siklonlarla ilgili olarak ısı geçişi ve akışkanlar dinamiği konularında sıcak baca gazı kullanılarak yeterince inceleme yapılamamıştır. Ayrıca konuyla ilgili verilerin önemli ticari değerlerinin bulunması, bunların literatürde kapsamlı olarak yer almaması gibi bir sonucu doğurmuştur.

Siklon performansını birçok parametre etkilemektedir. Siklonun geometrik yapısı boyutsal oranları ve işletme parametrelerinin yanı sıra deneysel çalışmada gaz debisi, gaz giriş/çıkış sıcaklıkları, gaz yoğunluğu, siklondaki basınç düşümü, hammadde konsantrasyonu ve gaz akımının siklondaki hız dağılımı gibi performans parametreleri kaydedilmiştir.

Bu çalışmada, siklon dalma borusu çap değişiminin ısı transferi ve akış parametrelerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

# **AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE EFFECT OF PLUNGING PIPE DIAMETER CHANGE IN CYCLONES TO THE FLOW PARAMETERS**

## **SUMMARY**

Key Words: Cyclone, Pressure Drop, Collection Efficiency, Farin

Continuously increase in the energy demand pushes people and countries to be more economical and so energy is also used more carefully in cement sector as any sector of industry does. Therefore, cement sector designed pre-heated cyclone in order to re-use the energy of exhausting gas leaving the rotary furnace at high temperature. Exhausting gas with the leaving temperature of 950–1100 °C is in reverse flow reacted with farin which is the raw material of cement. Consequently, farin is heated up to calcination temperature, and the most part of heat energy is transmitted to the farin. As a result, by means of preheated cyclone either available heat on rotary kiln is decreased or a big energy saving is made. Added to this advantage of preheated cyclone, Concerning with the subjects of heat transfer and fluid dynamics no more research where heat exhausting gas is used, hasn't been done yet. In addition, since data interested with the subject has commercial values, it causes them not to exist in literature in detail.

Many parameters effects the cyclone performance. Geometrical structure, size, and operation parameters of cyclone, added to them, performance parameters such as, gas flow rate, input/output gas temperature, gas density, pressure drop in cyclone, raw material concentration, and velocity distribution of gas flow in cyclone are recorded.

In this study, effect of radius change of cyclone plunge pipe on heat transfer and flow parameters is experimentally examined.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

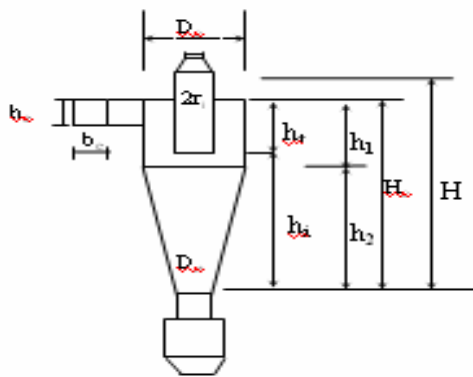
Siklon ayırıcılar endüstriyel gaz akışlarından parçacık toplamak amacıyla 1800'lerden bu yana kullanılmaktadır. Bu toplayıcıların oynar parçaları yoktur ve çalışma prensibi sisteme giren havanın dönmesiyle oluşturulan merkezkaç kuvvetine dayanır. Gaz girişine ek olarak siklonlarda gaz çıkışı ve toz tahliye yeri de olmalıdır. Bu üç bölgenin farklı konfigürasyonları için çeşitli düzenlemeler mümkündür. Genel düzenlemede teğetsel gaz girişi ve aksel çıkış vardır ve ters akışlı siklon olarak adlandırılır. Siklonlar endüstriyel toz toplamada en çok kullanılan yapılardır. Ticari amaçlı siklonlar 50–50000 m<sup>3</sup>/sa gaz akış debilerinde çalışırlar. Çalışma basınç kaybı normal olarak 1 ve 20 cm su seviyelerinde olup diğer yapılara benzerdir ancak yüksek verimli fırçalardan daha azdır[1].

Siklon ayırıcılar belki de endüstride toz toplamada en çok kullanılan cihazlardır. Bu popülerliğini basit ve kısa imal sürecinden kaynaklanan düşük bakım ve maliyet masraflarından elde etmiştir. Yapının içinde hareketli parça bulunmamakla birlikte kolay işlenemeyen malzemeleri de kapsayan geniş bir malzeme yelpazesinden imal edilebilirler. Orta derecede basınç düşmesi, kullanım alanlarının genişliği ve verimlilik aralığıyla birlikte tüm bu avantajlar siklonu; katalizör toplaması toz tutması ve birleşik döngülü güç üretimi için her türlü kirletici madde yayınımlarındaki ayırma gereksinimlerini karşılayacak en etkili çözüm kılmaştır. Siklonun gerekli verimliliği sağlayamadığı hallerde elektrostatik çökticiler gibi yüksek verimli toplama cihazları ile birlikte kullanılma avantajı vardır.

Önisıtıcı siklonlar ise; çimento prosesinde döner fırını yüksek sıcaklıkta terk eden baca gazlarının, ısı enerjisini geri kazanmak için ısı değiştiricisi olarak tasarlanmış siklonlardır. Önisıtıcı siklon reaktörlerde çimento üretiminin hammaddesi farin (kireçtaşı+kil) yüksek sıcaklıktaki baca gazı ile temasa geçirilerek kalsinasyon sıcaklığına yaklaştırılır. Böylece genel olarak büyük bir enerji tasarrufu sağlanır.

Önsütücü siklonların optimizasyonu için siklon akışının ve ısı geçişinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca gaz-katı partikülleri arasındaki ısı geçişinde birçok parametreler etken olmaktadır. Siklon reaktörün tasarımı için her akışkan dinamiğinin ve ısı geçişi probleminin aynı zamanda göz önünde bulundurulması gerekmektedir[2].

Siklonlar genellikle çapı 5–10  $\mu\text{m}$  daha büyük parçalarda yüksek verimde çalışırlar. Siklonlar 1000  $^{\circ}\text{C}$ 'in üzerinde çalışabilen toz tutuculardır. 0,001–10 MPa arası basınçlarda çalışabilmektedirler. Siklonlar kullanım amacına göre sınıflandırılır; boyutlandırılır ve imal edilirler maliyetleri düşük, verimleri yüksek olan siklon reaktörlerin geometrileri kullanım amacına göre değişmektedir[3]. Şekil 1,1 de tipik bir siklon ile temel boyutları gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Bir siklonun şematik görünümü ve boyutları

Bu çalışmada, siklonlardaki dalma borusu çap değişiminin ısı transferi ve akış parametrelerine fiziksel etkilerinin deneysel olarak incelenmesi hedeflenmiştir. Burada siklon giriş hız, gaz sıcaklığı, partikül konsantrasyonu, siklon dalma borusu dalma derinliği parametre olarak seçilmiş ve partikül tutma verimi ve partikül tutma verimi ve siklonda meydana gelen basınç kaybı üzerinde bu parametrelerin etkileri araştırılmıştır.

## BÖLÜM 2. SIKLONLA AYRIŞTIRMA TEORİSİ

### 2.1. Giriş

Endüstrinin birçok alanında, özellikle kimya ve gıda sanayinde ana akış filesinden partikülleri ayırıştırmak önemli işlemlerden biridir. Ayırıştırma, partiküllerin boyutlarına göre ve/veya yoğunluk gibi partikül özelliklerine göre sınıflandırılması için yapılmaktadır. Ayırıştırma için birçok cihaz tasarlanmıştır. Ayırıştırmaya çalışan partiküllerin boyutları Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Partikül boyutları.

Partikül tipi	Boyutu( $\mu\text{m}$ )
Alg sporu	3 >
Bakteriler	5–30
Elbise dokusu	10 >
İnsan sacı	10 >
İnsan deri dokusu	10 >
Bitki sporu	10–35
Hayvan kılı	35
Polenler	10–100
Sigara dumanı	0.01–100
Toz	0.5–5
Mite	5–10

## 2.2. Ters Akışlı Siklon Ayırıcılar

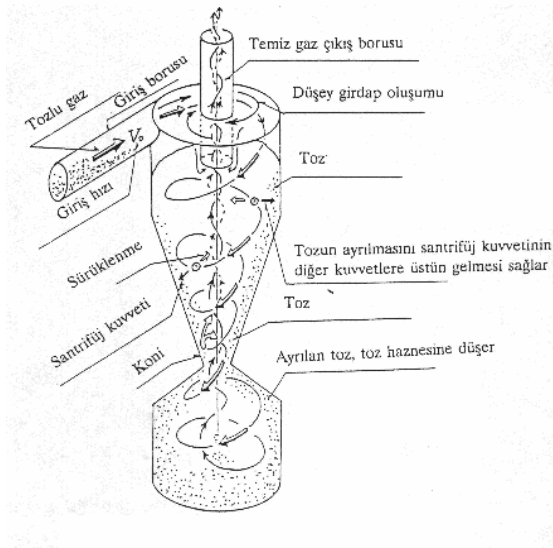
Siklon ayırıcılar ana akış filtrelerinden partikül halindeki maddeleri merkezkaç kuvvetler yardımıyla ayıran yapılardır. 1800'lerden günümüze kadar kullanılmaktadırlar. Merkezkaç kuvvet gazın siklona girmesinden sonra döndürülmesiyle oluşturulmaktadır. Birkaç siklon konfigürasyonu olup sınıflandırılmaları giriş ve çıkışlarına göre yapılmaktadır[1].

## 2.3. Siklon Akış Modeli

Siklon performansı basınç kaybı ve toplama(tutma) verimliliği ile değerlendirilir. Performansı etkileyen faktörlerin tayin edilebilmesi için akış modeli mutlaka anlaşılmalıdır. Dirgo ve Leith[4] 1985 yılında akış modelini aşağıdaki gibi ifade etmektedirler: siklon içerisinde baskın olan akış düzeni (şekil 2.1) dış vortektir. Bu vorteks gazın siklona teğetsel girişiyle ya da girdap yaratan girişlerden aksel girişiyle oluşmaktadır.

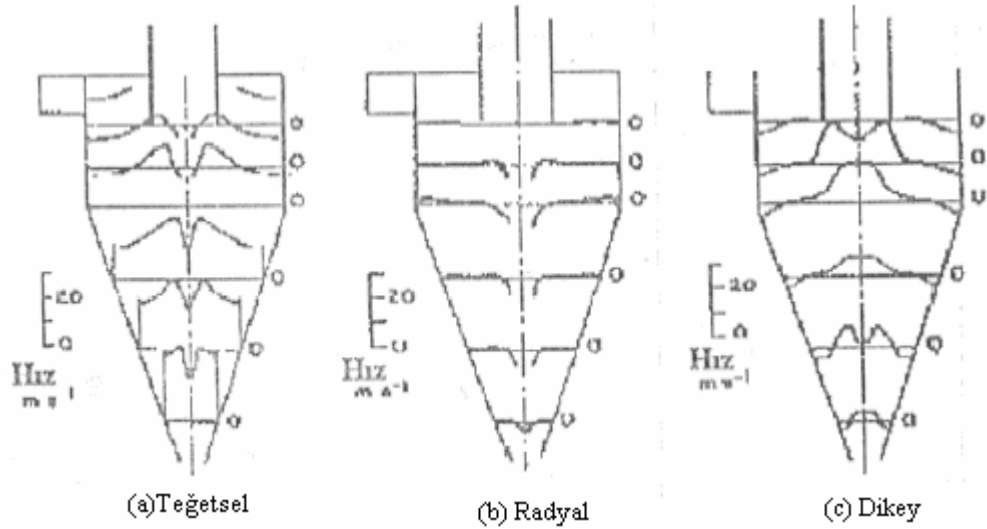
Gaz spirali alttaki akış kanalına ulaştığında, gaz dış vorteksten radyal olarak siklon eksenine doğru akmaya başlar, iç kısımda akan gaz başka bir vorteks oluşturur. İç vorteksin dönüş yönü dış vorteksle aynı olmasına rağmen hareket yönü aşağıdan yukarıya doğrudur. Bu tip siklonların ters akışlı(reverse) siklon olarak adlandırılmasının nedeni de budur. Toplama işlemi dış vorteksteki parçacıkların merkezkaç kuvvetleriyle siklon duvarına doğru fırlatılması sırasında olmaktadır. Bu parçacıklar siklon duvarının üzerinde toz toplama haznesine doğru aşağıya kayarken, bu hareketlerine siklon duvarı yakınında aşağıya doğru hareket eden gazında yardımcı olmaktadır. Merkeze doğru ilerleyen parçacıklar toplanmamaktadır[11].





Şekil 2.1. Siklon içerisindeki akış modeli

Siklon içerisindeki hareket teğetsel, radyal ve dikey hız bileşenleri ile ifade edilebilir. Ter Linden'in bu bileşenlerle ilgili olarak ters akışlı siklondaki ölçümleri şekilde verilmiştir.



Şekil 2.2. Ters akışlı siklonda hız dağılımları.

Gazın teğetsel hızı dış vortekste duvar yanında minimum bir değer alır ve artarak merkez korda maksimuma erişir. Bu bölgede alttaki üstel ifade geçerlidir.

$$v_t r^n = s b t \quad (2.1)$$

Burada  $v_t$  teğetsel hız ve  $r$ 'de siklon eksenine olan radyal uzaklıktır. Vorteks eksponenti olan  $n$  temiz gaz için 0.5-0.9 aralığında ölçülmüştür. Alexander 1949 yılında  $n$ 'i herhangi bir sıcaklık ve çap için ampirik olarak hesaplayabilmek için alttaki formülü önermiştir:

$$N = 1 - [(1 - 0.67D^{0.14})(T/283)^{0.3}] \quad (2.2)$$

Burada siklon çapı metre cinsinden ve sıcaklıkta Kelvin ( $^0K$ ) cinsinden olmalıdır. Bu bölgeden sonra merkez kor içerisinde teğetsel hız düşmeye başlar ve merkezde neredeyse sıfıra ulaşır. Korda gaz katı bir yapıymış gibi dönmektedir. Siklonun en tepesinde kor çapı yaklaşık olarak gaz çıkış çapı kadardır, altta ise dardır.

Radyal hız dağılımı gaz çıkış kanalının altındaki tüm düşey pozisyonlar için nispeten küçük ve içe doğru radyal sabit hızları göstermektedir. Siklon duvarı civarındaki dikey gaz hızı aşağıya doğrudur ve bu aşağı hız toz duvardan toplama haznesine götürmekte yerçekiminden daha etkilidir. Aşağı doğru gaz hareketinden yukarı doğru harekete geçiş merkez korun dışında oluşur. Gaz kora girer girmez yukarı doğru hızı oldukça artmaktadır.

#### 2.4. Ters Akışlı Siklonda Partiküllere Etki Eden Kuvvetler

Siklonda partiküle etki eden kuvvet  $\bar{f}_i$  olarak gösterildiğinde, parçacık hareket denklemi alttaki gibidir:

$$\sum_i \bar{f}_i = \bar{f}_c + \bar{f}_D + \bar{f}_G + \bar{f}_{col} = m \frac{d\bar{v}}{dt} \quad (2.3)$$

Burada  $\bar{f}_C, \bar{f}_D, \bar{f}_G$  ve  $\bar{f}_{col}$  sırasıyla merkezkaç kuvveti, aerodinamik sürüklenme, yerçekimi ve çarpışma kuvvetidir. İlk üç kuvvet d çapındaki bir küresel partikül için alttaki gibidir.

$$\text{Karakteristik yüzey alanı: } A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.4)$$

$$\text{Karakteristik hacim} = \frac{\pi d^3}{6} \quad (2.5)$$

$$\text{Merkezkaç kuvveti: } = \bar{f}_c = m \frac{v_t^2}{r} = \frac{\pi d^3}{6} \rho_p \frac{v_t^2}{r} \quad (2.6)$$

Burada  $v_t$  radyal olarak r konumunda olduğu kabul edilen partikülün teğetsel hızıdır.

$$\text{Aerodinamik sürüklenme kuvveti: } \bar{f}_D = A \frac{1}{2} \rho_{air} \bar{U}^2 C_D = \frac{\pi d^2}{4} \frac{1}{2} \rho_{air} \bar{U}^2 C_D \quad (2.7)$$

$$\text{Burada } C_D = C_D(Re_p) \text{ aerodinamik sürüklenme katsayısı ve } Re_p = \frac{\bar{U}d}{\nu} \quad (2.8)$$

$$\text{Burada } \bar{U} \text{ bileşke hızdır ve } \bar{U} = \sqrt{(v_t^2 + v_r^2 + v_v^2)} \quad (2.9)$$

$$\text{Yerçekimi kuvveti: } \bar{f}_G = mg = \frac{\pi d^3}{6} \rho_p g \quad (2.10)$$

Bu kuvvetlerin büyüklüğü altta görüldüğü gibi çapa son derece bağlıdır:

$$\bar{f}_c \propto d^3 v_t^2 \rho_p$$

$$\bar{f}_D \propto d^2 \bar{U}^2$$

$$\bar{f}_G \propto d^2 \rho_p$$

Buradan anlaşılacağı üzere büyük partiküller genellikle  $\bar{f}_c, \bar{f}_G$  ve az derecede  $\bar{f}_D$  tarafından etkilenir. Orta boyuttaki ve küçük partiküller çoğunlukla  $\bar{f}_D$  tarafından ve daha az derecede  $\bar{f}_c$  ve  $\bar{f}_G$  tarafından etkilenir. Bu kuvvetlerin oranları partikülleri sınıflandırmak ve ayırtmak için  $\bar{f}_G / (\bar{f}_c + \bar{f}_D)$  oranı hızın genişleme odası vasıtasıyla düşürülmesi ile artırılmalıdır. Küçük partikülleri havadan ayırmak için de  $\bar{f}_D$  ve  $\bar{f}_c$  akışın ivmelendirilmesi ve teğetsel bir hız katılmasıyla artırılmalıdır. Çarpışma kuvvetlerinden karışıklarından dolayı burada bahsedilmemektedir. Ancak bu kuvvet büyük partiküller için direkt olarak kullanılabilir.

## 2.5. Siklonlarda Basınç Kaybı ve Ayırıştırma Verimlilikleri

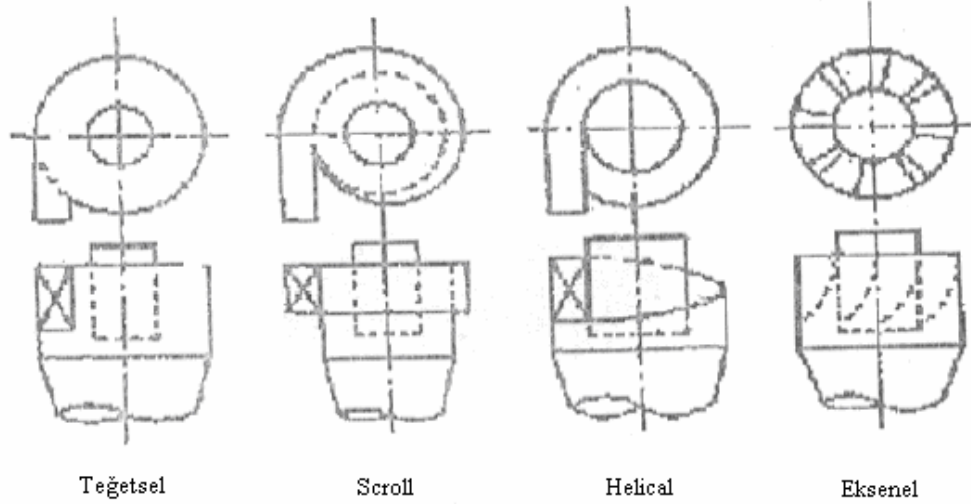
Siklon performansı basınç düşmesi ve ayırıştırma verimliliği ya da diğer bir adıyla toplama verimliliği terimleriyle değerlendirilmektedir. Genellikle bu iki parametre birbirine karşı çalışır yani biri iyileştirilirken bir diğeri istenmeyen değer alır. Bundan dolayı tanımlanan siklon için bir optimizasyon yapılması gereklidir[12].

Basınç kaybından kaynaklanan enerji sarfiyatı siklon ayırıcılar için ana işletme masrafını oluşturmaktadır. Basınç kaybına katkıda bulunan faktörler Dirgo ve Leith tarafından alttaki maddeler halinde sıralanmıştır:

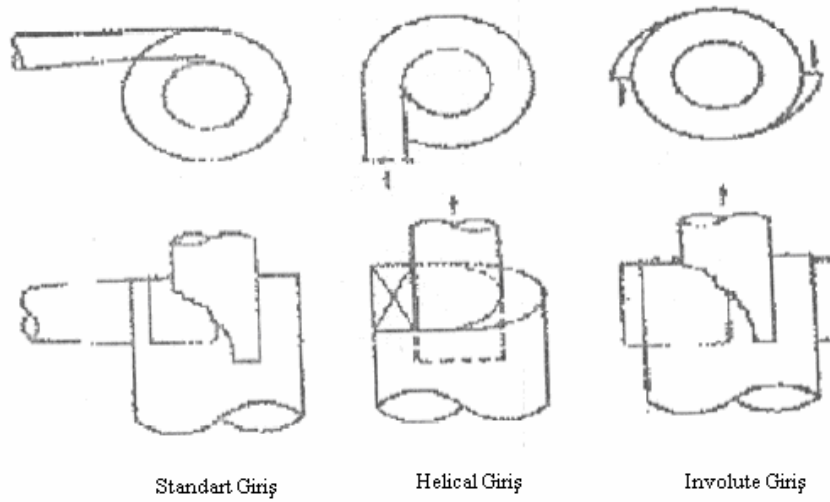
- Gazın siklona girişinde oluşan genişleme ya da sıkışmadan kaynaklanan kayıplar
- Siklon duvarında oluşan sürtünmeden kaynaklanan kayıplar
- Siklon vorteksindeki dönme hareketinin kinetik enerji kaybı
- Çıkış kanalında dönen akışkanın sürtünmesinden kaynaklanan kayıplar
- Çıkış kanalına giren gazın kasılmasından kaynaklanan kayıplar
- Çıkış kanalında dönme enerjisinin basınç enerjisi olarak geri kazanılması

Bu faktörlerden dönme enerjisi kaybı basınç düşmesinin büyük bir kısmını açıklamaktadır. Doğrultucu kanatçıklar ya da bozucular kullanılarak dıştaki gaz akışında dönme enerjisi geri kazanılmaya çalışılır. Basınç düşümünü toz toplama verimliliğine zarar vermeden %5-%10 arasında azaltırlar.[5] Bununla birlikte, Dirgo ve Leith (1985) bu cihazların gaz akışının ağzına yakın yerlerde bulunmasının siklondaki vorteksi olumsuz yönde etkilediğini ve toplama verimliliğini azalttığını belirtmişlerdir.

Basınç kaybını azaltmak ve ayırma verimliliğini artırmak için birçok farklı tipte giriş dizaynı bulunmaktadır.(Şekil 2,4–2,5). Bunlardan teğetsel girişli olanları en çok kullanılandır ve şekilde gösterilmiştir. İnvolute giriş en çok gelecek vaat edendir. Bununla birlikte, farklı tipteki girişlerin etkileri halen açıkça ifade edilmemiştir ki buda farklı giriş dizaynları ile basınç düşümünün azaltılmasının, ayırma verimliliğini düşürmeden henüz yapılamadığı anlamına gelmektedir.



Şekil 2.3. Siklon giriş tipleri [6]



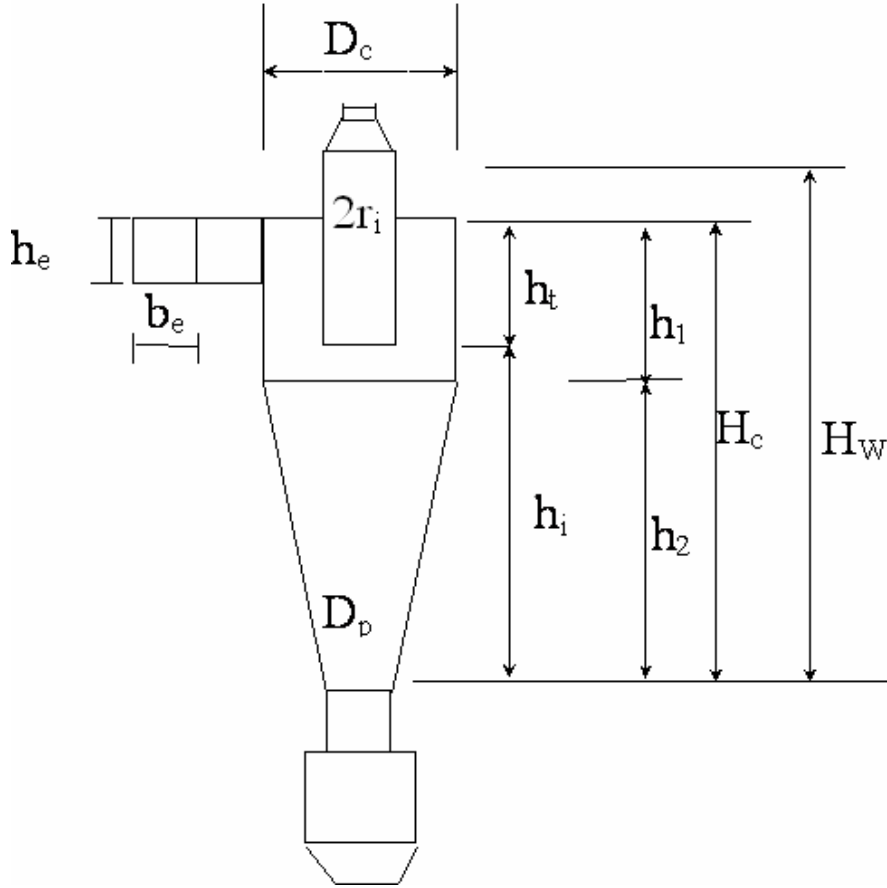
Şekil 2.4. Teğetsel giriş tipleri[7]

Lang ve Ye [6]'in iddiasına göre teğetsel hızın merkezindeki korun kenarında bulunmasının partiküllerin ayrışmasına küçük bir faydası vardır ancak daha fazla enerji tüketir. Ayrışma çoğunlukla dış vorteksin teğetsel hızına bağlıdır. Siklon içine yerleştirilen şeridin merkez korun kenarındaki teğetsel hızın teğetsel hız tepe noktasını düşürür ve böylelikle bir miktar dönme kinetik enerji tasarrufu sağlanır ve basınç kaybı azaltılır. Toplam ayrışma verimliliğinde herhangi bir değişim olmadan %20 oranında bir azalma mümkündür. Bu azalma şeritlerin miktarına ve şekline bağlı olarak %53'e kadar artırılabilir. Bununla birlikte %53 basınç kaybı azalması toplam ayrışma verimliliğinde %48 azalma gözlemlenmiştir. Bu yüzden fazla basınç kaybı ayrışma verimliliğinin düşmesine neden olan negatif bir etki yaratır. Bu metod ilk prototip için farklı bir şekilde kullanılacaktır.

Basınç kaybı teorik olarak debinin karesi ile yani iç hızın karesi ile değiştiğinden alttaki ifade elde edilir.

$$\Delta P = \frac{\rho_g v_i^2 \Delta H}{2g\rho_i} \quad (2.11)$$

Burada  $\Delta H$  geometrinin etkisini ifade etmektedir.  $\Delta H$  'ın hesabı için birçok metot tablo 2.2'de gösterilmiştir. Siklon boyutlarının notasyonu şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.5. Siklonun temel boyutları [6]

Tablo 2.2.  $\Delta H$  hesabı için araştırmacılar tarafından önerilen metotlar[6]

Shepherd ve Lapple (1940)	$\Delta H = \frac{16ab}{D_e^2}$
First (1949)	$\Delta H = \frac{24ab}{D_e^2} \left[ \frac{D^2}{h(H-h)} \right]^{1/3}$
Stairmand (1949)	$\Delta H = 1 + 2\Phi^2 \left( \frac{2(D-b)}{D_e} - 1 \right) + 2 \left( \frac{4ab}{\pi D_e^2} \right)$ $\Phi = \frac{\sqrt{\frac{D_e}{2(D-b)} + \frac{4GA}{ab}} - \sqrt{\frac{D_e}{2(D-b)}}}{\frac{2GA}{ab}}$ $A = \frac{\pi}{4}(D^2 - D_e^2) + \pi Dh + \pi D_e S +$ $+ \frac{\pi}{2}(D+B) \left[ (H-h)^2 + \frac{(D-B)^2}{2} \right]^{1/2}$ <p>G 0.005 değerinde srtnme katsayısıdır.</p>
Alexander (1949)	$\Delta H = 4.62 \left( \frac{ab}{DD_e} \right) \left[ \left\{ \left( \frac{D}{D_e} \right)^{2n} - 1 \right\} \left( \frac{1-n}{n} \right) + f \left( \frac{D}{D_e} \right)^{2n} \right]$ $f = 0.8 \left[ \frac{1}{n(1-n)} \left( \frac{4-2^{2n}}{3} \right) - \left( \frac{1-n}{n} \right) \right] +$ $+ 0.2 \left[ \left( 2^{2n} - 1 \right) \left( \frac{1-n}{n} \right) + 1.5(2^{2n}) \right]$ <p>N vorteks eksponenti olup Şekil 2.2 denkleminde hesaplanmaktadır.</p>

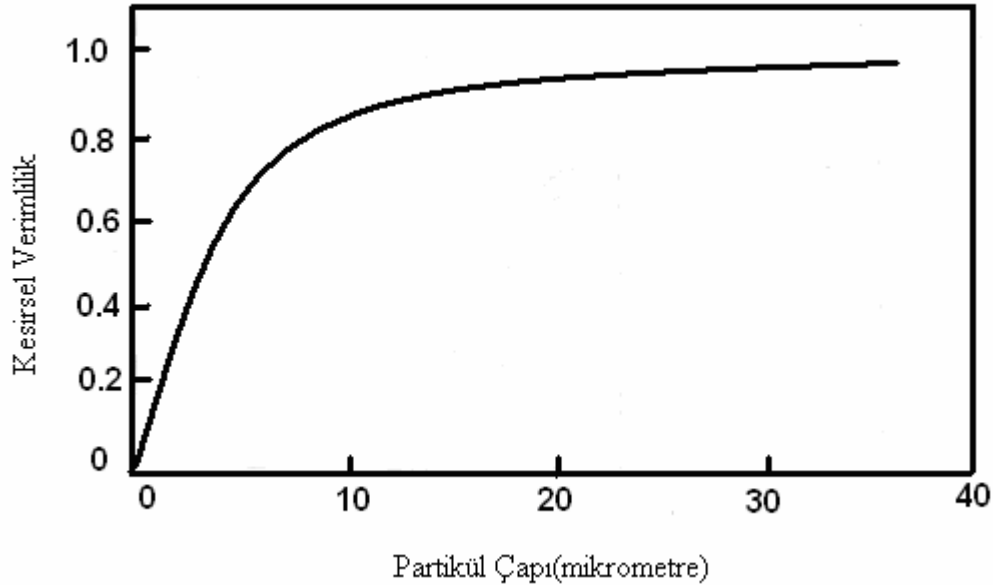


Bu metotlardan; Shepherd ve Lapple tarafından 1940 yılında bulunana basitliğinden dolayı öncelikle kullanılmaktadır. Bu ifade:

$$\Delta H = \frac{16ab}{D_e^2}$$

Böylelikle, bu formüllerin yardımıyla iç hızın ve siklon boyutlarının bilinmesi durumunda siklondaki basınç kaybı hesaplanabilir. Ancak bu hesaplar kaba tahmin olup, deneysel çalışmalar ile ilk dizayn optimize edilmelidir.

Siklonun toplama verimliliği  $\eta$  siklona verilen her boyuttaki partiküllerin alıkonulan kesirleri cinsinden ifade edilir.  $\eta$  partikül boyutuna göre çizilirse elde edilen kesirsel siklon verimlilik eğrisidir.



Şekil 2.6. Siklonun tipik kesirsel verimlilik eğrisi[6]

Kesirsel verimlilik eğrisi her ne kadar herhangi bir boyuttaki partikül için siklon ayrışmasını ifade etse de, tek başına toplam ayrışma için bir tahminde bulunulmasına

yetmez. Partiküllerin boyut dağılımına sahip olduğu pratik uygulamalarda toplam verimlilik öncelikle ilgilenilen husustur. Toplam verimlilik kesirsel verimlilik eğrisi ile kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$\bar{\eta} = \sum_{i=1}^n \eta_i \Delta d_i \quad (2.12)$$

Burada toz n boyut aralığına bölünmüş olup  $\Delta d_i$  in'ci aralıktaki toz partiküllerinin kesrini göstermektedir. Hesaplamaya örnek teşkil eden bir tablo altta verilmiştir.

Tablo 2.3. Toplam verimliliğin hesabına bir örnek[6]

Boyut aralığı	Ortalama çap	Aralıktaki kesir	Ortalama Çaptaki verimlilik	Toplanan toplam Tozun kesri
0-5	2,5	0,09	0,55	0,05
5-10	1,5	0,19	0,78	0,15
10-15	12,5	0,18	0,87	0,16
15-20	17,5	0,12	0,92	0,11
20-30	25,0	0,16	0,95	0,15
30-40	35,0	0,10	0,98	0,10
40-50	45,0	0,06	0,99	0,06
50-70	60,0	0,05	0,99	0,05
70-130	100,0	0,05	1,00	0,05
		1,00		0,88

Var olan siklon teorileri herhangi bir siklon dizaynı ve herhangi boyuttaki bir partikül için ayrışma verimliliğinin direkt olarak hesaplanmasını mümkün kılmaktadır. O nedenle; siklon ayırıcı imali için projenin dizayn adımında kesirsel eğrinin tamamı hesaplanabilir. Ayrışma verimliliğinin tahmininde kullanılan ifadelerden Leith ve Licht'in ifadeleri en çok kullanılanıdır ve altta verilmiştir:

$$\eta = 1 - \exp\left[-2(C\Psi)^{1/(2n+2)}\right] \quad (2.13)$$

Gaz ve parçacık özelliklerinin etkisi:

$$\Psi = \frac{\rho_p d^2 v_i (n+1)}{18\mu D} \quad (2.14)$$

$$C = \frac{\pi D^2}{ab} \left[ 2 \left\{ 1 - \left( \frac{D_e}{D} \right)^2 \right\} \left( \frac{S}{D} - \frac{a}{2D} \right) + \frac{1}{3} \left( \frac{S+l-h}{D} \right) \left( 1 + \frac{d_c}{D} + \frac{d_c^2}{D^2} \right) \frac{h}{D} - \left( \frac{D_e}{D} \right)^2 \frac{l}{D} - \frac{S}{D} \right] \quad (2.15)$$

$\Psi$  gazın ve parçacığın özelliklerinin etkisi iken, C boyutsuz bir geometrik parametre olup sekiz siklon boyut oranına bağlıdır.  $l$  ve  $d_c$  ise siklonun teğetsel boyut ve doğal uzunluktaki siklonun koni çapıdır. Alexander (1949) tarafından alttaki gibi tanımlanmışlardır:

$$l = 2.3 D_e \left( \frac{D^2}{ab} \right)^{1/3} \quad (2.16)$$

$$d_c = D - \frac{(D-B)(S+l-h)}{H-h} \quad (2.17)$$

$l$ 'nin  $(h-s)$ 'ten büyük çıkması durumunda hesaplandığı denklemde  $l$  ve  $d_c$ ,  $(H-S)$  ve  $B$  ile yer değiştirmelidir.

Leith ve Licht'in teorilerinin tahminlerinin deneysel verimlilik verileri ile karşılaştırıldığında doğru değerler verdiği görülmüştür. Doğruluk ve basitlik temel alındığında dizayn amacıyla kullanılabilecek en iyi yaklaşıma sahiptir.

Genel olarak ters akışlı siklonların 5  $\mu\text{m}$  'den küçük parçacıklar için düşük ayırma verimliliğine sahip olduğu bilinmektedir. Siklonların verimlilik dağılımı tablo 2.4'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Siklonların verimlilik dağılımı [7]

Partikül Boyut Aralığı	Verimlilik aralığı	
	Konvansiyonel	Yüksek Verimli
5'den küçük	50'den az	50-80
5-20	50-80	80-95
15-40	80-95	95-99
40'dan büyük	95-99	95-99

Yüksek verimli siklonlar esasen yüksek toplama verimliliği için dizayn edilirler. Ancak yüksek basınç kaybından kaynaklanan yüksek maliyetini de beraberinde getirirler.

Bir siklon ayırıcının ayırma verimliliği sadece boyutlardan dolayı düşük olmayabilir. Toz toplama haznesindeki partiküllerin tekrar siklona geri dönmesinden dolayı da düşük olabilir. Örneğin, siklon çapındaki artış siklon içerisindeki teğetsel hızın düşmesine ve dolayısıyla ayırma verimliliğinin de düşmesine neden olmaktadır.

Ayırma verimliliği debiyle birlikte limit hıza kadar artmaktadır, bu hızın üzerindeki hızlarda içerideki türbülans ayırmasından daha hızlı artmakta ve bunda debinin daha fazla artmasıyla verimlilikte düşmeye neden olmaktadır.

## 2.6. Siklon Dizaynı

Dizayn, esasen bir optimizasyon işlemi olup, performans beklentileri ve verilen çalışma şartları arasında yapılmaktadır. Çalışma şartları, ilk debiyi ve girişteki partikül boyut dağılımını içermektedir. Performans beklentileri ise müsaade edilebilir basınç kaybı ve istenen ayırma verimliliğidir. Siklonun temel boyutları şekil 2.6'da gösterilmiştir. Tablo

2.5'te standart siklon dizaynı için boyut oranları verilmiştir. Buradan isteğe uygun olanı seçilmektedir.

Tablo 2.5. Standart siklon dizaynları için boyut oranları [6]

Boyutsal oranlar	Yüksek verimli		Genel maksatlı		Yüksek iş çıkaran	
	Stairmand (1951)	Swift (1969)	Lapple (1950)	Swift(1969)	Stairmand (1951)	Swift (1969)
D	1	1	1	1	1	1
$D_e / D$	0.5	0.4	0.5	0.5	0.75	0.75
a/D	0.5	0.44	0.5	0.5	0.75	0.8
b/D	0.2	0.21	0.25	0.25	0.375	0.35
S/D	0.5	0.5	0.625	0.6	0.875	0.85
H/D	4.0	3.9	4.0	3.75	4.0	3.7
h/D	1.5	1.4	2.0	1.75	1.5	1.7
B/D	0.375	0.4	0.25	0.4	0.375	0.4
Diğer parametreler						
Geometri parametresi C	55.1	64.6	50.4	47.7	Scroll girişte C uygulanamaz	
Ölçülen $\Delta H$	5.4	9.2	8.0	7.6	7.2	7.0
$Q / D^2$ m/sa	5.380	4.950	6.860	6.670	16.100	12.400

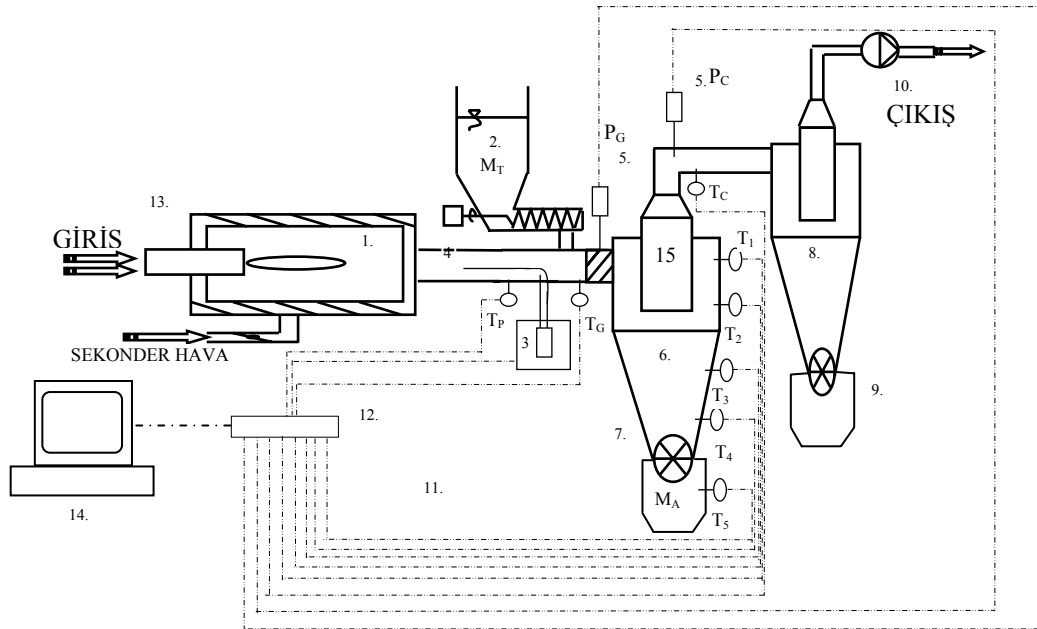
Gerçek boyutları siklon çapına karar verildikten sonra hesaplanabilir. Yüksek verimli ve genel amaçlı siklonlar için  $D_m = \frac{(Q_{m^3/hr})^{1/2}}{80}$  ifadesi  $D_m$  için metre cinsinden bir değer vermektedir. Yüksek iş çıkarma yetenekli siklonlar için daha makul bir değere sahip olan  $D_m$  çapı alttaki formülden elde edilebilir:

$$D_m = \frac{(Q_{m^3/hr})^{1/2}}{120}$$

## BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 3.1. Deney Düzenegi

Bir önısıtıcı siklonun basınç kaybı, toz tutma verimi, geometrik parametreleri ve ısı özelliklerinin birbirleri ile ilişkileri incelemek üzere bir deney düzenegi tasarlanmış ve imal edilmiştir[2]. Deney düzeneginin şematik görünümü Şekil 3.1 de verilmiştir.



Şekil 3.1.1. Önısıtıcı siklon deney düzeneginin şematik görünümü

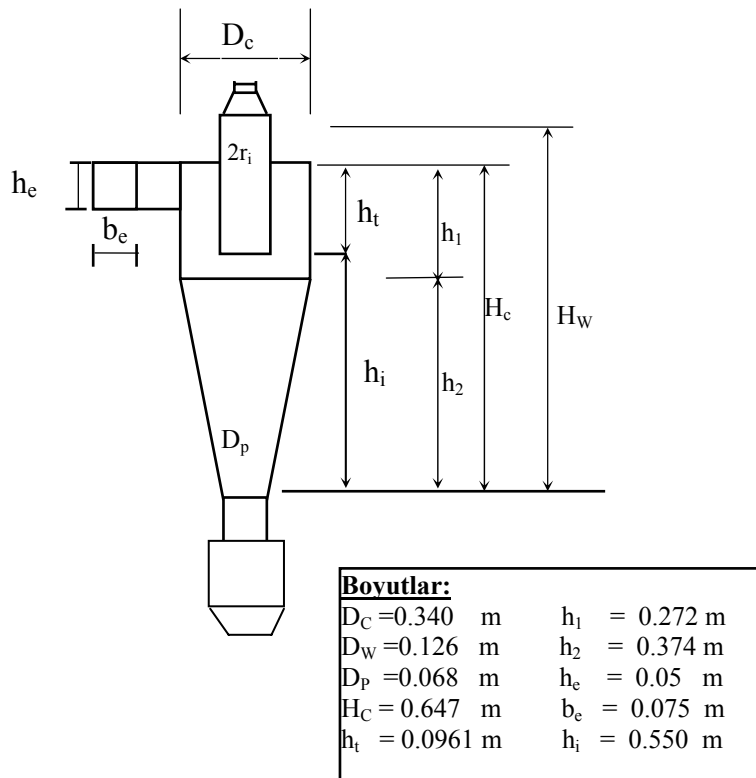
- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1. Yanma odası                                       | 12. Veri Toplama Kartı           |
| 2. Farin dozajlama ünitesi                           | 13. Brülör                       |
| 3. Debi ölçer (pitot tüpü, fark basınç transmitteri) | 14. Bilgisayar ve scada programı |
| 4. Boru  | 15. Dalma borusu                 |
| 5. Basınç transmitteri                               |                                  |
| 6. Ön ısıtıcı siklon reaktör                         |                                  |
| 7. Dönel palet                                       |                                  |
| 8. Toz tutucu siklon                                 |                                  |
| 9. Toz toplama silosu                                |                                  |
| 10. Vantilatör                                       |                                  |
| 11. Analog giriş sinyalleri                          |                                  |

Deney düzeneginde yanma odasında (1), bir motorün brülörüyle 1100 °C sıcaklığında baca gazı elde edilmekte, bu gazın debisi bir pitot tüpüyle (4) ölçülmektedir. Bir

frekans invertörü ile yol verilen çıkış vantilatörüyle debi istenilen seviyede tutulmaktadır (10). Siklona girişte ve çıkışta ayrı ayrı basınçlar birer basınç transmitteriyle ölçülmektedir (5). Siklona giren partikül miktarı, ayrı bir frekans invertörü tarafından bir redüktörlü dozajlama helezonuyla siklona istenilen konsantrasyonda dozajlamaktadır (2). Partiküllü ve partikülsüz yapılan deneylerin tamamında siklon girişinden çıkışına kadar 8 noktadaki sıcaklıklar termokupullar yardımıyla ölçülmektedir ( $T_{G,p,1,2,3,4,5,C}$ ). Ölçülen bütün veriler analog sinyal olarak (11), veri toplama kartında toplanır ve bilgisayarda bir Scada programı tarafından depolanmaktadır(14).

### Deney Siklonu

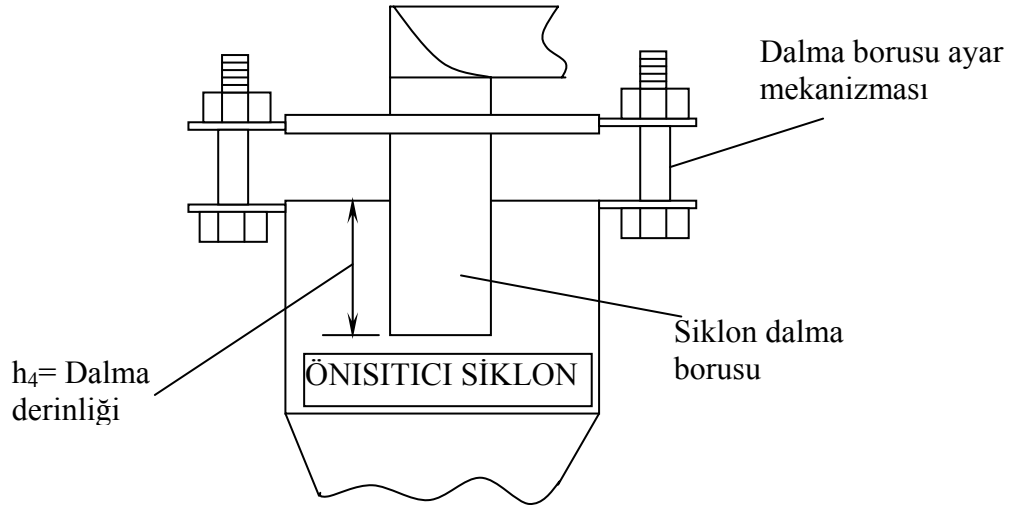
Deneylerde kullanılan önisıtıcı siklon reaktör bir Humboldth tasarım modelidir. Bu önisıtıcı siklonun şematik görünümü ve boyutları Şekil 3.2 de görülmektedir.



Şekil 3.1.2. Humboldth tipi önisıtıcı deney siklonun boyutları



### Dalma borusu derinliğinin ayarlanması

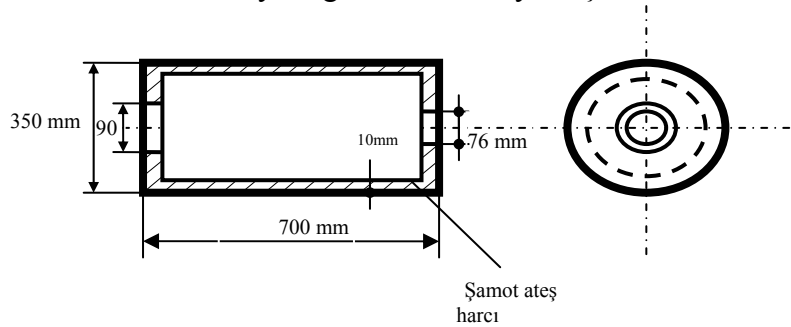


Şekil 3.1.3. Siklon dalma boyu ayarlama mekanizması

Siklondaki dalma derinliğine bağlı olarak ortaya çıkan toz tutma verimi ve basınç kaybını incelemek için tasarlanan mekanizma Şekil 3.3 de görülmektedir. Burada dalma derinliği  $h_4$ , 10 mm den 220 mm ye kadar 8 değişik boyda olabilmektedir.

### Yanma odası ve brülör

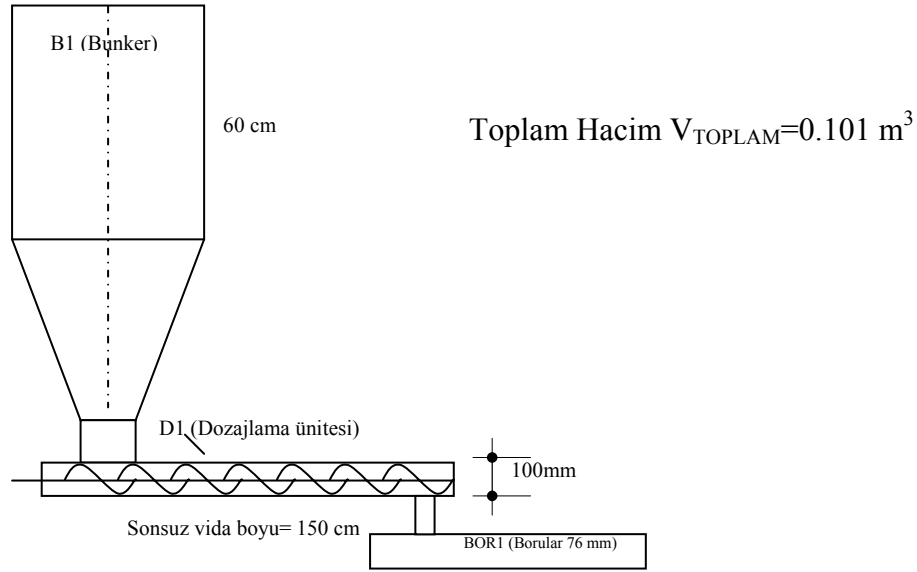
Deney tesisinde çapı 350 mm ve boyu 700 mm olan aynı zamanda içi 10 mm refrakter şamot harcıyla kaplanmış, yanmanın gözlenmesi ve sekonder hava ihtiyacını karşılamak için yanma odası üzerine menfezler yerleştirilmiştir. Yanma odasında, 13-35 kW ısı gücü 1.1-3 kg/h yakıt debisine sahip bir motorin brülörü bulunmaktadır. Yanma odasıyla ilgili imalat detayları Şekil 3.4 de verilmektedir.



Şekil 3.1.4. Yanma odası

### Farin dozajlama ünitesi

Siklona giren sıcak gaza istenilen oranda farin dozajlamayı sağlayan bu ünite bunker, helezon kovanı, redüktörlü motor ve frekans invertörü olmak üzere 4 kısımdan oluşmaktadır. Şekil 3.5 de bunker ve helezon kovanının imalat detayları yer almaktadır.



Şekil 3.1.5. Dozajlama ünitesi detayları

Dozajlama ünitesinde, 0.78 kW lık bir tahrik motorunun devrinin bir frekans invertörüyle daha düşük dozajlama miktarları yüklemeye olanak sağlayacak biçimde değiştirilebilecek şekilde imal edilmiştir.

### Debi-ölçer (Pitot tüpü)

Siklona giren sıcak gazların hızını ölçmek için tasarlanmış olan pitot tüpünde basınç farkını ölçmek için FISHER DE 50 marka (0-50 Pa) arasında %0.5 hassasiyetle ölçüm yapabilen ve alınan ölçüm değerlerini 4-20 mA analog sinyallere dönüştürebilen fark basınç transmitteri kullanılmıştır. Ölçülen fark basınç ile (3.1) eşitliği kullanılarak akış hızı, aynı zamanda siklon giriş kesit bilindiğinden akış debisi hesaplanmış olur.

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (3.1)$$

$$Q=V A \quad (3.2)$$

burada akışkan yoğunluğu  $\rho$  akış ölçüm noktasındaki sıcaklığa bağlı olarak ayrıca hesaplanmıştır.

### **Basınç transmitterleri**

Siklonun girişinde ve çıkışında birer tane 0-6 mbar aralığında basınç değerlerini %0.5 hassasiyetle ölçebilen ve 4-20 mA analog sinyal verebilen FISHER DE 50 marka basınç transmitterleri kullanılmıştır. Transmitterler sıcak gazdan etkilenmemesi için uzatma borusu ile beraber kullanılmaktadır.

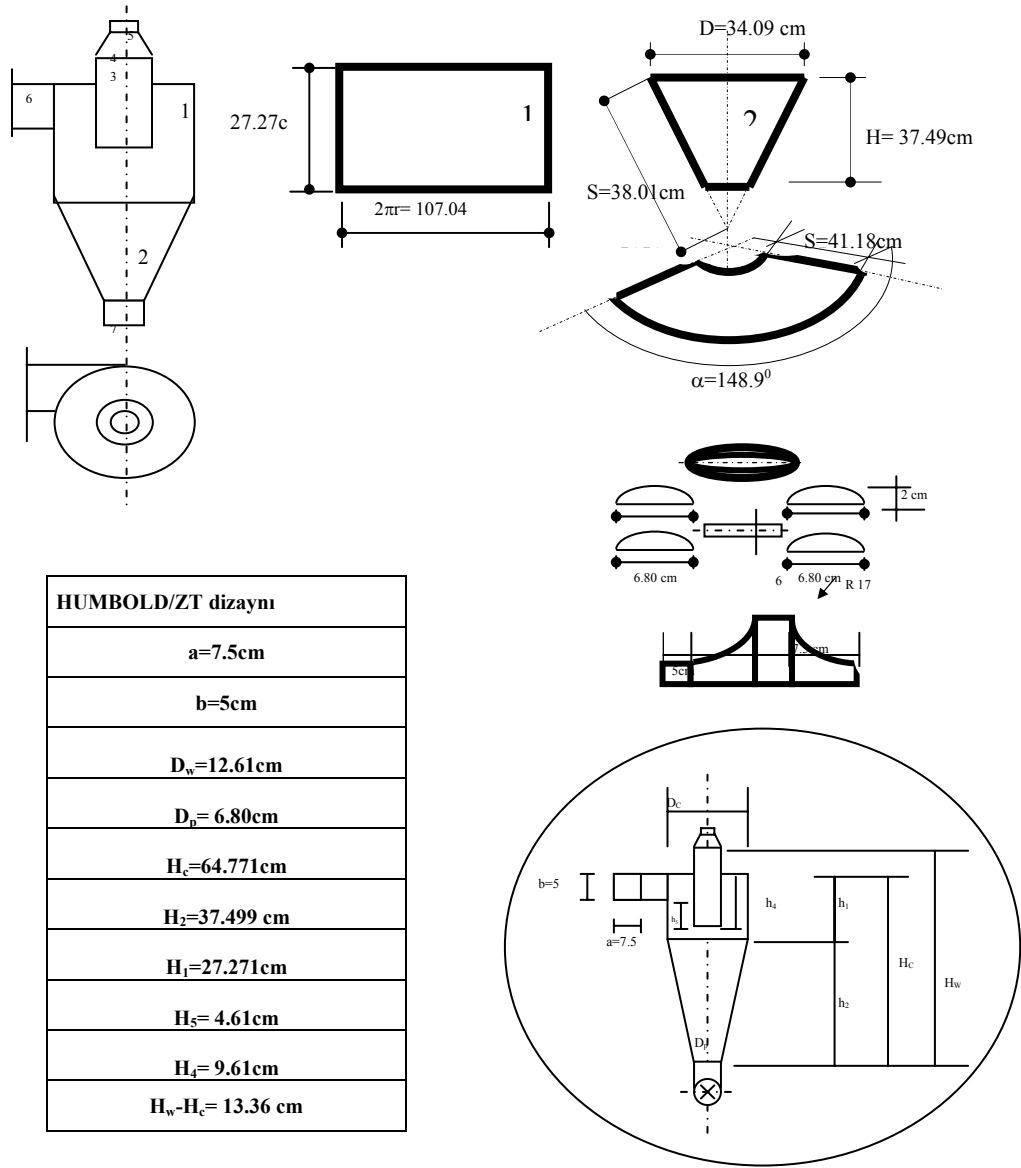
### **Sıcaklık transmitterleri**

Siklona giren gazın akış hızı ölçüm noktasından başlamak üzere siklon çıkışına kadar 8 noktada 0-1100 °C sıcaklığında ölçüm yapabilen termokupların ürettiği gerilim, FISHER T 11 marka transmitterler aracılığıyla 4-20 mA analog veri sinyaline çevirerek dönüştürücü karta ve dijital sıcaklık göstergelerine göndermektedir.

### **Vantilatör**

Önisıtıcı siklonuna giren gazı çeken ve akış hızını, debisini bir frekans invertörüyle kontrol ettiğimiz radyal vantilatör, 39 mmSS lik basınca ve 1.1 kWlık motor gücüne sahiptir.

## Önsıttıcı Siklon Reaktör



Şekil 3.1.6. Önsıttıcı siklon reaktörle ilgili imalat detayları

Şekil 3.1.6. da imalat detayları verilen önsıttıcı siklon reaktör yüksek sıcaklığa dayanıklı saçtan bükülerek imal edilmiştir.

## Frekans invertörleri

Gerek vantilatör gerekse dozajlama ünitesi farklı devirlerde eşzamanlı çalışma sözkonusu olamadığından iki ayrı frekans invertörüyle yol almaktadır. Elektrik motorlarına SIEMENS MICROMASTER serisi 5.5 ve 7 kW'lık birer 380V-AC sürücü (invertör) ile yol verilmektedir. Son derece gelişmiş olan bu sürücülerle P000-P971 olarak birçok parametrenin kontrolü sağlanabilmektedir. Motorlara adapte edilen sürücüler çalışma esnasında motora ait çalışma akımı, gerilimi, frekansı gibi bir çok özelliklerin yanında, motor devri ve nominal momentin yüzdesi olarak motor mili momentini bilgilerini hem analog değer (4-20mA) olarak hemde dijital ekrandan kullanıcıya sunmaktadır.

Deney düzeneğinin ve bazı kısımların resimleri Şekil 3.1.7.–3.1.8. de toplu halde verilmiştir.



Şekil 3.1.7. Deney düzeneğinin genel görünümü



Şekil 3.1.8. Deney düzeneğinin önden görünümü



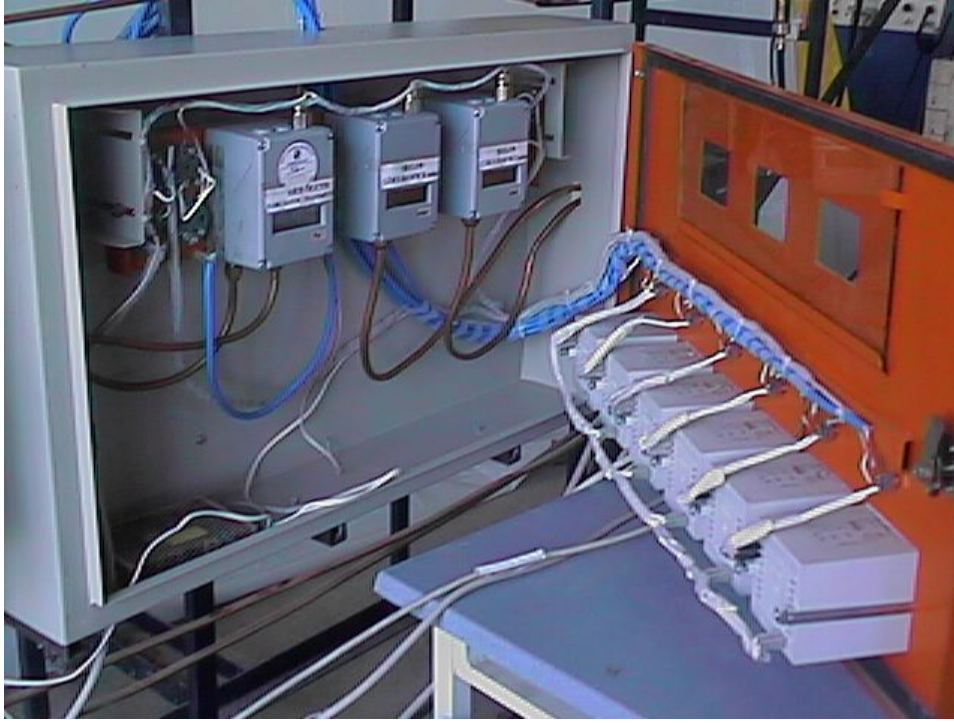
Şekil 3.1.9. Yanma odası gözetleme delikleri ve sekonder hava ihtiyaç menfezleri



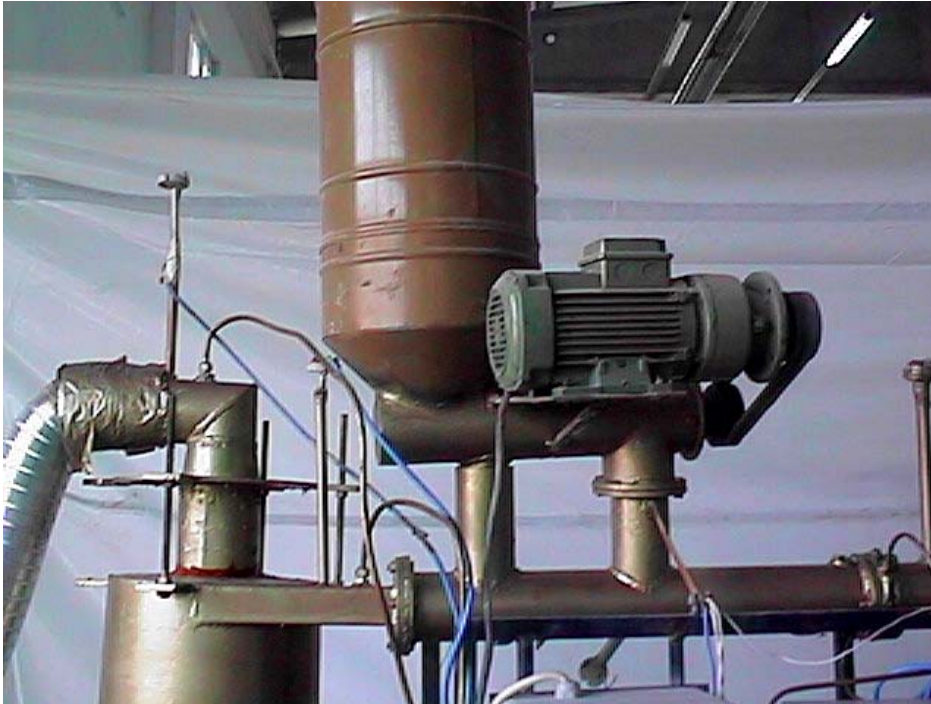
Şekil 3.1.10. Pitot tüpü ve termo eleman



Şekil 3.1.11. Kontrol panosu



Şekil 3.1.12. Basınç transmitterlerinin ve sıcaklık göstergelerinin önden görünümü

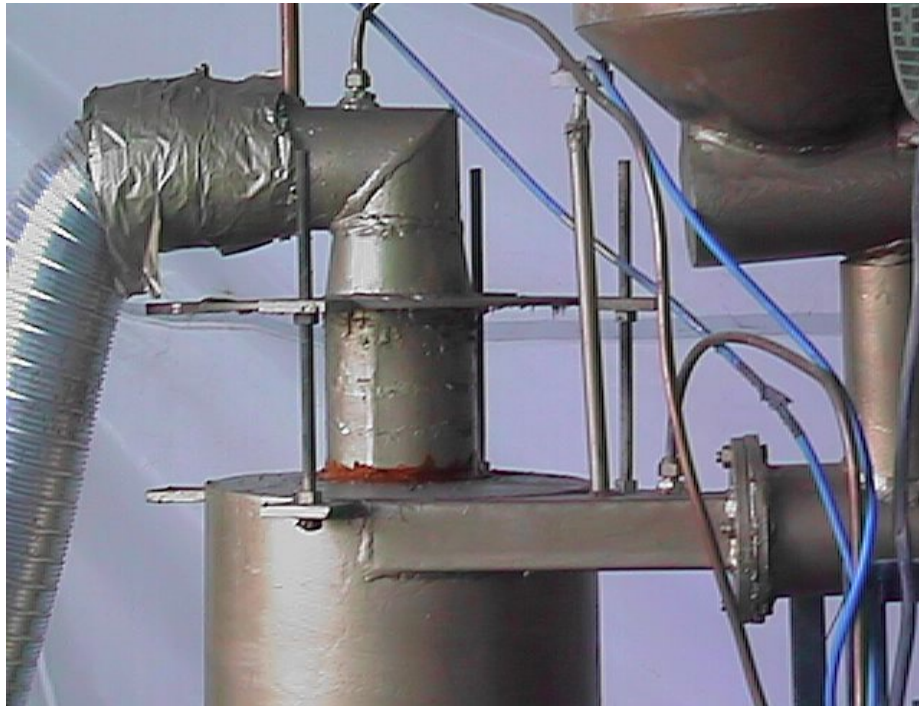


Şekil 3.1.13. Farin dozajlama ünitesi





Şekil 3.1.14. Vantilatöre yol veren frekans invertörü



Şekil 3.1.15. Önısıtıcı Siklon Dalma Boyu Ayarlama Mekanizması



Şekil 3.1.16. Önısıtıcı Siklon Toz Toplama Haznesi



Şekil 3.1.17. Önısıtıcı Siklon ve Vantilatör Bağlantısı



Şekil 3.1.18. Vantilatör



Şekil 3.1.19. Önisıtıcıya Bağlı Termokupllar

### 3.2. Deney Programı

Deney programı 3 ana grupta toplanmaktadır.

İlk olarak dalma borusu çapı değiştirilen siklon deney setine monte edilir. Daha sonra sızdırmazlıkları yapılır. Dalma borusunun dalma derinliğinin değişimine göre basınç kaybı ve toz tutma verimlerinin değişimini bulmak üzere ayarlanan her dalma boyunda akış hızı 12,44 m/sn olacak şekilde vantilatör devri sabitlenir ve sistemin rejime gelmesi beklenir. Daha sonra sisteme 0,556 kg/m<sup>3</sup> konsantrasyonunda farin dozajlanır. Dozajlama sonrasında siklon giriş sıcaklığı sabit bir değere düşene kadar beklenir. Bundan sonra diğer deney verileri siklon çıkış sıcaklığı, akış ölçüm sıcaklığı, siklon konik kısım sıcaklığı, siklon silindirik kısım sıcaklığı, farin depolama sıcaklığı, siklon giriş basıncı ve siklon çıkış basıncı kontrol ünitesinden alınarak kaydedilir. Deney durdurularak siklon toz toplama bunkerinden alınan ve önısıtılmaya tabi tutulmuş çimento hammaddesi farin(kireçtaşı+kil) hassas bir şekilde toplanarak dijital göstergeli teraziyle tartılır.

İkinci grup deneylerde hızın değişmesi halinde siklon karakteristikleri ölçülmüştür.(11,79 m/s'den 14 m/s'ye artan.)Burada toz konsantrasyonu sabit tutulmuştur.

Üçüncü son grup deneylerde ise partikül konsantrasyonunun artırılması durumunda testler tekrarlanmıştır.

Bütün deneylerde ölçümler hem partiküllü hem de partikülsüz olarak alınarak kaydedilmiştir.

## **BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR**

Deneyleerde kullanılan üç farklı dalma borusu çapına ait siklonlardan elde edilen veriler, dalma boyu yüksekliği, giriş hızı ve konsantrasyon değerlerine göre basınç farkı, çıkış sıcaklığı ve tutma verimleerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Siklon dalma borusu çapları 80,120 ve 160 mm olarak deneyleerde kullanılmıştır.

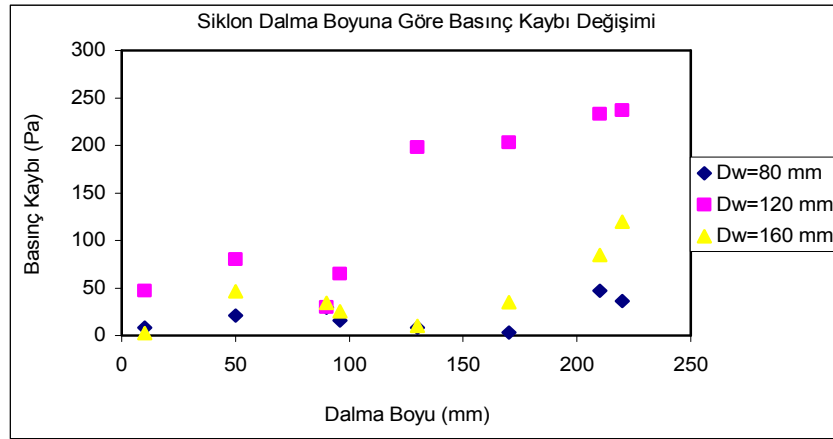
### **4.1. Dalma Borusu Derinliğinin Etkisi**

Siklon çıkışındaki dalma borusunun derinliği 8 değişik boyda seçilmiştir. Dalma borusu derinliğinin basınç kayıplarına, siklon çıkış sıcaklığına ve tutma verimine etkileri ele alınacaktır.

#### **Basınç Kayıpları**

Bu deneyleerde dalma boyu ( $h_4$ ) değiştirilerek, yüksek sıcaklıktaki partikül yüklü gazlarla testler yapılmıştır. Siklon giriş ve çıkış noktaları arasında ölçülen basınç farkı  $\Delta p$ , Şekil 4.1.1.' de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre dalma boyu değişiminde basınç kayıpları dip çapların her biri için artış göstermektedir. . Bununla beraber dalma borusu çapı 80 mm olan deney siklonunda bu ölçüyü 120 mm'ye çıkardığımızda bu kayıpların mertebesi daha fazla artmakla beraber dalma borusu çapı 160 mm ye çıkardığımızda bu değer tekrar 80 mm dalma borusu çapı için geçerli olan değerlere yaklaşmaktadır. Bu durum bize dalma borusu çap parametresinin kritik bir çapa kadar basınç kayıplarında artış eğilimi mutlak değerlerinin 120 mm dalma borusu çapa göre azalma eğilimi gösterdiğini ifade etmektedir.

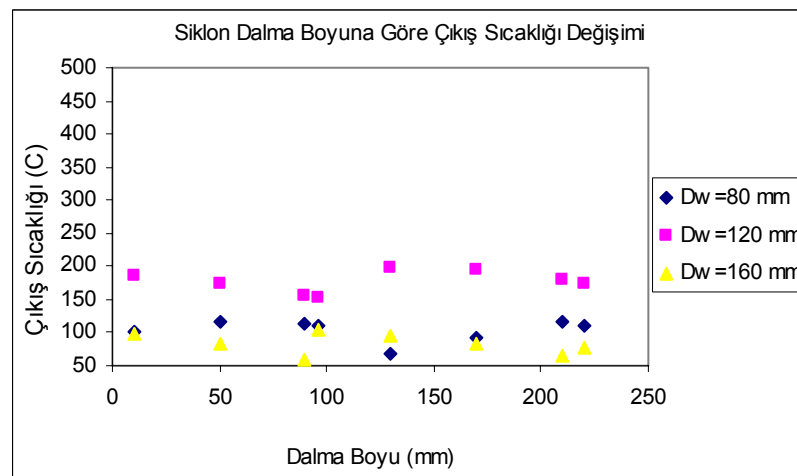
Dalma derinliğinin artması ile girdap akışının dönme sayısı artmakta, dolayısıyla akış yolu genişlemekte ve böylece basınç kayıpları artmaktadır[8].



Şekil 4.1.1. Dalma Boyu Yüksekliğine Göre Basınç Kaybı Değişiminin Gösterilmesi

### Çıkış Sıcaklığı

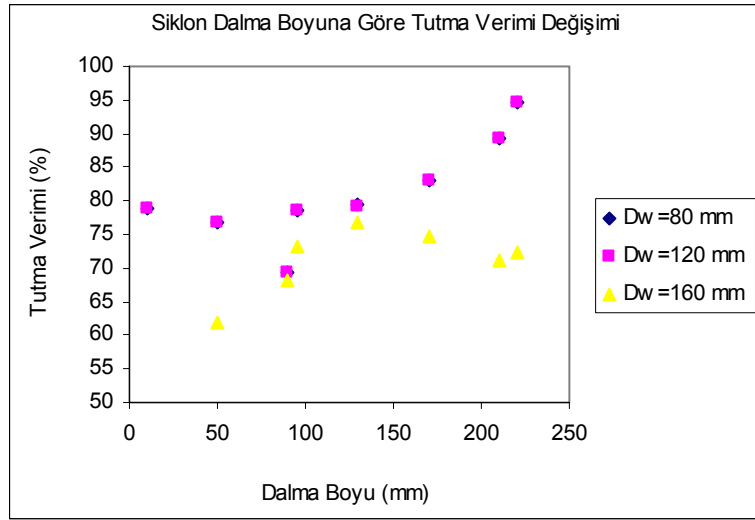
Şekil 4.1.2.'de siklon dalma borusu çıkış çapı 120 mm için siklon çıkış sıcaklığı  $T_c$  'de önemli değişiklik gözlenmekle beraber siklon dalma borusu çıkış çap 80 mm ve 160 mm olan deney siklonunda çıkış sıcaklığı azalma eğilimi olduğu yapılan deneylerde anlaşılmıştır. Ayrıca sıcaklık değerlerinin büyüklükleri dalma borusu çapı 160 mm için en alt seviyeye düşmüş dip çapın 120 mm kritik çapında çıkış sıcaklığı diğer dalma borusu çaplarındaki çıkış sıcaklığından uzaklaşmıştır. Bu değişim bize dalma borusu çap azalışında belli bir kritik değere ulaşıncaya kadar önce arttığını daha sonra azalıp en büyük çapın çıkış sıcaklığına yaklaştığını göstermektedir.



Şekil 4.1.2. Dalma Borusu Yüksekliğine Göre Çıkış Sıcaklığı Değişimi

## Tutma Verimi

Şekil 4.1.3.'e göre dalma boyu değişiminde tutma verimi her üç dalma borusu çapına sahip siklonda'da artış göstermektedir. Bu artış dalma boyu değişiminin mutlak olarak arttığını açıkça göstermektedir. Bu artış siklon dalma borusu çapının azalmasıyla daha' da artmaktadır. Ayrıca bu değişimin ısı transferiyle önemli bir ilişkisi vardır. Çıkış sıcaklığı artışındaki eğilimin tutma verimindeki eğilimle benzerlik arz etmektedir. Buda çift fazlı akışkanın sıcaklığının tutma verimine etkisi açıkça gözlenmektedir.



Şekil 4.1.3. Dalma Boyu Yüksekliğine Göre Tutma Verimi Değişimi

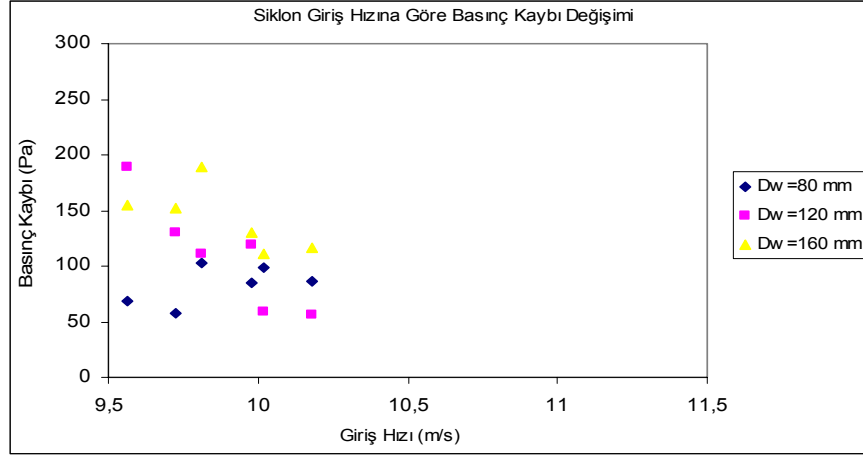
## 4.2. Siklon Giriş Hızının Etkisi

Siklona giren hızı yüksek sıcaklıktaki deneylerde değişik hızda denenmiştir. Siklon giriş hızının etkisi, aşağıdaki bölümlerde basınç kayıplarına, siklon çıkış sıcaklığına ve verime etkisi ele alınacaktır.

### Basınç Kayıpları

Siklona giren partiküllü akışkanın hızı arttığında her üç dalma borusu çapına ait siklonda basınç kayıpları farklılık göstermektedir. Bununla beraber dip çapı 80 mm olan deney siklonunda bu ölçüyü 120 mm ye çıkardığımızda bu kayıpların

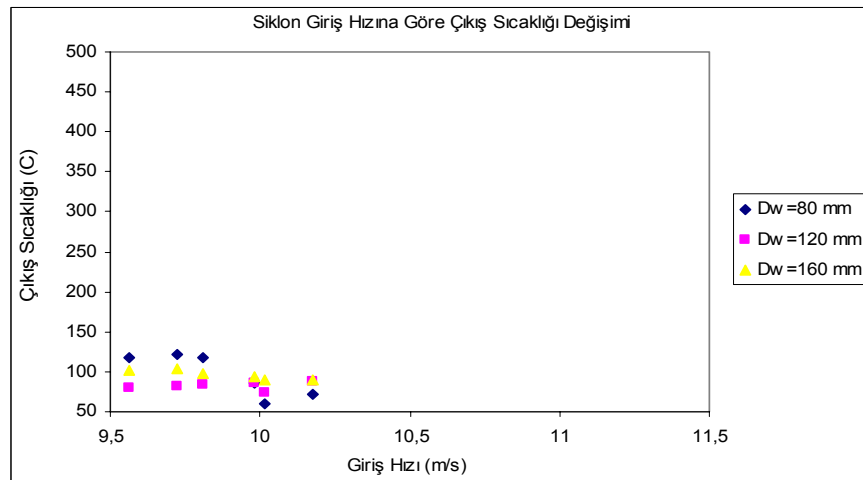
değişiminin azaldığı görülmektedir. Dalma borusu çapını 160 mm ye çıkardığımızda basınç kayıpları yine azalmaktadır. Şekil 4.2.1' de bu değişimler görülmektedir.



Şekil 4.2.1. Siklon Giriş Hızına Göre Basınç Kaybı Değişimi

### Çıkış Sıcaklığı

Siklona giren partiküllü akışkanın hızı arttığında her üç dalma borusu çapına ait siklonda çıkış sıcaklığı artmaktadır. Buda siklonda partikül kalış zamanının ve girdap sayısının hız arttıkça azaldığını böylece ısı transferinin tam gerçekleşmeden siklonu terk ettiğini göstermektedir. Ayrıca çıkış sıcaklığının optimum olduğu dip çap 120 mm olduğu Şekil 4.2.2'de. anlaşılmıştır.

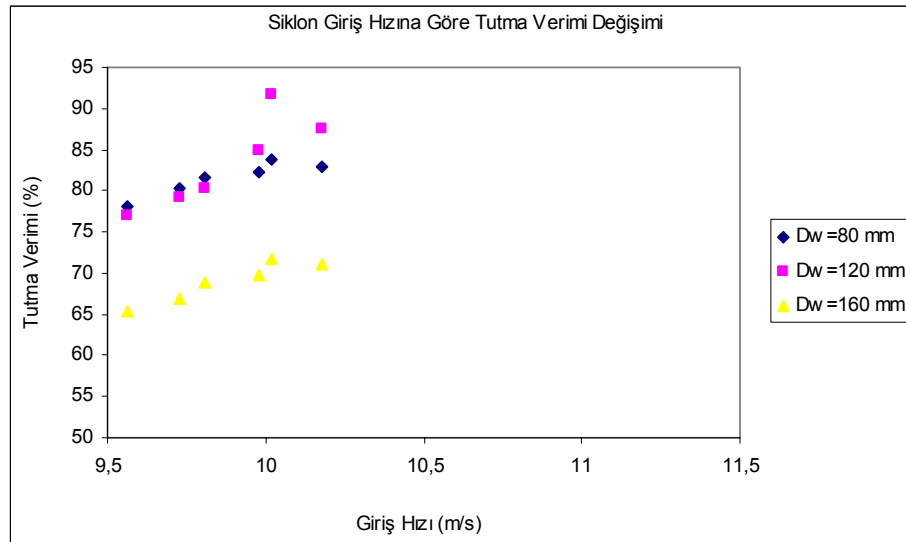


Şekil 4.2.2. Siklon Giriş Hızına Göre Çıkış Sıcaklığı Değişimi



## Tutma Verimi

Şekil 4.2.3'e. göre siklon giriş hızı değişiminde tutma verimi her üç dalma borusu çapına sahip siklonda'da farklıdır. Bu farklılık siklon giriş hızı değişiminin tutma verimine etki ettiğini mutlak olarak etki ettiğini açıkça göstermektedir. Siklon dalma borusunun her üç çapına göre tutma veriminde artış görülüyor. Fakat siklon dip çapı 160 mm olduğunda verimi diğer çaplara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Siklon giriş hızının artışı, partikül üzerine etkiyen merkezkaç kuvveti ve girdap dönme sayısı artmasından dolayı tutma veriminde iyileşme olduğu tespit edilmiştir[9],(Şekil 4.2.3.).



Şekil 4.2.3. Siklon Giriş Hızına Göre Tutma Verimi Değişimi

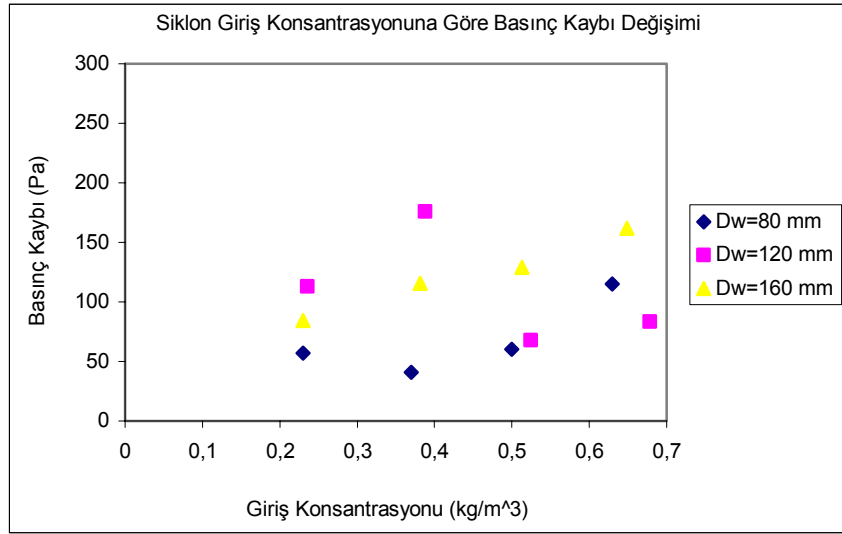
## 4.3.Siklona Giren Toz Konsantrasyonunun Etkisi

Siklon giriş konsantrasyonunu değiştirilerek yapılan deneylerde ( $0.19 \text{ kg/m}^3$ - $0.55 \text{ kg/m}^3$ ) basınç kaybı ve meydana gelen toz tutma verimi ölçülmüştür[10].

## Basınç Kayıpları

Siklona giren partikül miktarı arttığında her üç dalma borusu çapına ait siklonda basınç kayıpları farklılık göstermektedir. Bununla beraber dip çapı 80 mm olan

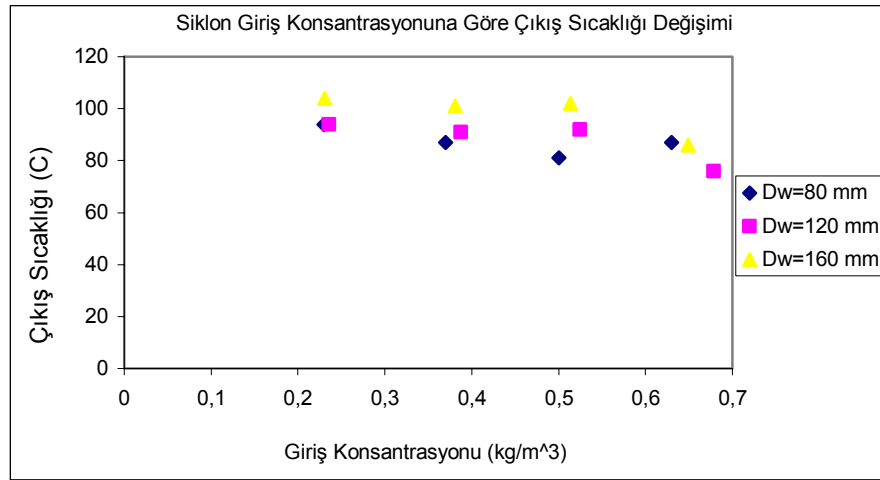
deney siklonunda bu ölçüyü 120 mm çıkardığımızda bu kayıpların mertebesi ters olmaktadır. Burada siklon dip çapının 120 mm' nin kritik bir değeri olduğu gözlemlenmiştir. Dip çapı 160 mm ye çıkardığımızda bu değer tekrar 80 mm dalma borusu çapı için geçerli olan değişim şekline uyum sağlamaktadır. Bu durum bize dalma borusu çap parametresinin kritik bir çapa kadar basınç kayıplarında artış eğilimi göstererek daha sonrada dip çapı 80 mm' lik siklonun basınç kayıplarına yaklaştığını Şekil 4.3.1. ifade etmektedir.



Şekil 4.3.1. Siklon Toz Giriş Konsantrasyonuna Göre Basınç Kaybı Değişimi

### ÇIKIŞ SICAKLIĞI

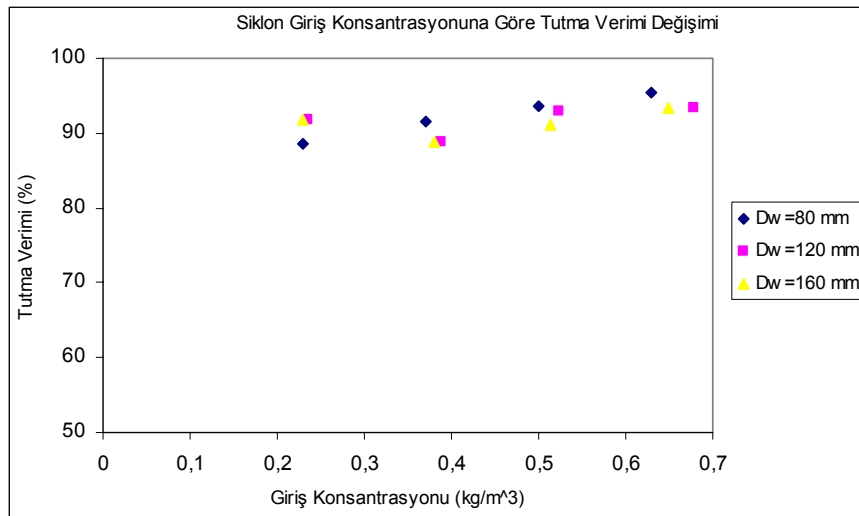
Siklona giren partikül miktarı arttığında her üç dalma borusu çapına ait siklonda çıkış sıcaklığı azalmaktadır. Buda siklonda partikül kalış zamanının ve girdap zamanını azaldığını böylece ısı transferinin tam gerçekleşmeden siklonu terk ettiğini göstermektedir. Ayrıca çıkış sıcaklığının optimum olduğu dip çap 160 mm olduğu Şekil 4.3.2.'de anlaşılmıştır.



Şekil 4.3.2. Siklon Toz Giriş Konsantrasyonuna Göre Çıkış Sıcaklığı Değişimi

### Tutma Verimi

Şekil 4.3.3'e. göre siklona giren partikül miktarı tutma verimine her üç dalma borusu çapına sahip siklondada birbirine yakındır. Bu yakınlık siklon giren partikül değişiminin mutlak olarak etki ettiğini açıkça göstermektedir. Bu siklon dip çapının 80 mm olduğunda tutma veriminde artış görülmektedir. Bunun yanında siklon dip çapı 120 ve 160 mm olduğunda ilk önce biraz düştüğü daha sonra tekrar artış yaptığı şekil 4.3.3 görülmektedir.



Şekil 4.3.3. Siklon Toz Giriş Konsantrasyonuna Göre Tutma Verimi Değişimi

## **BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Deneyleer değişik gaz giriş hızlarında, toz tutma konsantrasyonlarında ve dalma borusunun değişik dalma derinliklerinde test edilerek basınç kayıpları, çıkış sıcaklıkları, toz tutma verimlilikleri gibi akış özelliklerini etkileyen bu parametrelerle birlikte ısı geçişi de incelenmiştir.

Dalma derinliğinin artması ile girdap akışının dönme sayısı artmakta, dolayısıyla akış yolu genişlemekte ve basınç kayıpları artmaktadır. Partiküllü akışta da dalma boyunun artmasıyla basınç kayıpları önce azalmakta ve daha sonra yükselmektedir. Akışın partikül taşınmasıyla, siklonda basınç kayıplarının azaldığı gözlenmektedir.

Genel olarak giriş hızının artmasıyla basınç kayıplarının arttığı gözlenmiştir. Deneyleerde siklon giriş hızının artmasıyla her üç dalma borusu çapında da çıkış sıcaklığında artış olduğu gözlenmiştir. Deneyleerde 120 mm de tutma veriminde artış görülmesine rağmen 80 ve 160 mm'lik siklon dalma borusu çaplarında azalma gözlenmiştir. Siklon giriş hızının artışında, partikül üzerine etkiyen merkezkaç kuvveti ve girdap dönme sayısı artmasından dolayı tutma veriminde iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

Siklon giriş konsantrasyonunu değiştirildiğinde 80 mm ve 160 mm'lik dalma borusu çaplarında basınç kaybında artış görülürken, 120 mm'de bir azalma görülmüştür. Her üç dalma borusu çapı için siklon giriş partikül konsantrasyonu arttığında siklon çıkış sıcaklığının düştüğü gözlenmiştir. Her üç dalma borusu çapına göre siklon giriş konsantrasyonu değiştirildiğinde tutma veriminin arttığı gözlenmiştir. Basınç kayıpları ve toz tutma verimlerinin zıt yönde etkilendiği deneyleerden anlaşılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] KÜTÜKÇEKEN,E.,”Teğetsel Girişli-Eksenel Çıkışlı Siklon Dizaynı”,Yüksek Lisans Tezi,İTÜ 2001.
- [2] ARI,V.,”Çimento Endüstrisinde Kullanılan Önısıtıcı Siklon Reaktörlerin Deneysel Olarak İncelenmesi”,Doktora Tezi,Sakarya 2000.
- [3] GIMBUN,J.,CHUAH,T.G.,CHOONG,T.S.Y.,FAKRU’L RAZI,A.”A CFD Study on The Prediction of Cyclone Collection Efficiency” International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics, 6:161–168, 2005.
- [4] DİRGO, J. and LEITH, D., “ Design of Cyclone Separators,Encyclopedia of Fluid Mechanics” Volume 4,41,1281-1306,1985.
- [5] CAPLAN,K.J., “Chemical Engineering Handbook,McGraw-Hill,New York,1984.
- [6] WANG,L.ze and YE,L.,” Reducing Pressure Drop in Cyclones By a Stick” Aerosol Science and Technology,Volume 31,187-193.
- [7] KIM,W. S. And LEE, J. W., “ Collection Efficiency Model Based on Boundary-Layer Characteristics for Cyclones.” AICHE Journal, Volume 43, 2446-2455.
- [8] RAMACHANDRAN, G., RAYNOR, PC., LEITH D.,”Collection Efficiency and Pressure Drop for a Rotary Flow Cyclone”, Filtration & Separation, Vol:31, pp.631-636, 1994.
- [9] KARPOV, SV., SABUROV, EN., ”Optimization of Geometric Parameters for Cyclone Separators”, Theoretical Foundations of Chemical Engineering, Vol:32, pp.7-12, 1998.
- [10] BAKARI, M.I. and HAMDULLAHPUR, F., “Optimization of the Overall Performance of Cyclone Separators”, Second Trabzon International Energy and the Environment Symposium, pp.501-503, Trabzon, 1998.

- [11] CLIFT, R., GHADIRI, M., and HOFFMAN, A.C., "A Critique of two Models for Cyclone Performance", *AIChE Journal*, Vol:37, pp.285-289, 1991.
- [12] BOHNET, M., MORWEISER, M., "Modern Design of Aerocyclones", *Advanced Powder Technology*, Vol:8, pp.137-161, 1997.

## ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Eskişehir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Eskişehir’de tamamladı. 1995 yılından 2000 yılına kadar özel sektörde çalıştı. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Programını kazandı. 2004 yılında aynı bölümden mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim dalında yüksek lisansa başladı. Öğrenciliği halen devam etmektedir.