

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİMENTO ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ÖNISITICI SİKLOK REAKTÖRLERİN DENEYSSEL İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Vedat ARI

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

104317

Enstitü Ana Bilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ.

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

104317

ARALIK 2000


T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


ÇİMENTO ÜRETİMİNDE KULLANILAN ÖNİSİTİCİ
SİKLOK REAKTÖRLERİN DENEYSEL İNCELENMESİ

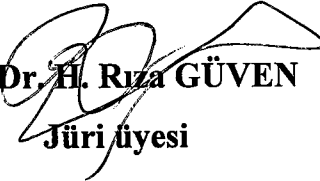
DOKTORA TEZİ
VEDAT ARI


Enstitü Ana Bilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ.
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ


Bu tez .. /.. 2000 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir


Prof. Dr. İsmail ÇALLI
Jüri başkanı (Danışman)


Prof. Dr. Mesut GÜR
Jüri Üyesi (Danışman)


Doç. Dr. H. Rıza GÜVEN
Jüri üyesi


Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ
Jüri Üyesi


Doç. Dr. İsmail EKMEKÇİ
Jüri Üyesi

TEŞEKKÜR

Böylesi güncel bir konuya beni teşvik eden tez danışmanım değerli hocam ve rektörümüz Sn. Prof. Dr. İsmail ÇALLI'ya, bilimsel çalışmalarıyla ve tecrübesiyle deneysel çalışmamda beni yönlendiren Sn. Prof. Dr. Mesut GÜR'e , çimento prosesindeki tecrübeleriyle bana her türlü yardımını esirgemeyen değerli çalışma arkadaşım Dr. Tahsin ENGİN'e deney setinin kurulması işleminde maddi ve işçilik olarak büyük desteğini gördüğümüz Mert Makine Ltd. Şti'ye hammadde (farin) yardımında bulunan Eskişehir Çimento'ya, Partikül analizlerinde ve endüstrinin ihtiyaçları konusunda fikirleriyle bize ışık tutan Nuh Çimento'ya, projeyi destekleyen SA.Ü. Araştırma Fonu'na, deney tesisatının elektrik ve elektronik sistemlerinin montajı, devreye alınması ve kalibrasyonunda büyük desteğini aldığım Arş. Gör. Elek. Y. Müh. Gürsel DÜZENLİ'ye, deneyleri yaparken bana yardımcı olan laboratuvar teknisyenimiz Metin GÜNAY'a, doğrudan veya dolaylı olarak çalışmamda bana yardımcı olan bütün çalışma arkadaşlarıma ve özellikle 17 Ağustos'ta yaşadığımız büyük felaketten sonra bir eğitimci anlayışıyla sonsuz yardımlarını hep yanımda hissettiğim sevgili eşim Öğretmen Gülay ARI'ya ve çocuklarım Ahmet ve Nilgün ARI'ya Teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Aralık 2000

Vedat Arı

İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLOLAR LİSTESİ.....	X
ÖZET	XI
SUMMARY	XII
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. SIKLON TEORİSİ.....	3
2.1. Siklon Akışı	3
2.2. Kritik Partikül Çapı	4
2.3. Ayrışma Derecesi, Tutma verimi.....	7
2.4. Siklon Basınç Kayıpları.....	10
2.5. Siklon Tasarımı.....	15
BÖLÜM 3. ÖNİSİTİCİ SIKLON REAKTÖRLER.....	19
3.1. Önısıtıcı Siklon Reaktörlerin Gelişimi.....	19
3.2. Önısıtıcı Siklon Reaktörlerin Avantajları	20
3.3. Önısıtıcıların Çalışma Prensipleri.....	21
3.4. Humboldth Önısıtıcı Siklon Reaktörü.....	26
3.5. Önısıtıcı Siklon Boyutlarının Tesbiti	28
3.6. Akış Karakteristiğinin İncelenmesi.....	33
3.7. Önısıtıcı Siklonlarda Basınç Kayıpları.....	34
3.8. Önısıtıcı Siklon Reaktörlerde Isı Geçişi.....	36

BÖLÜM 4. LİTERATÜR.....	38
BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA	42
5.1. Deney Düzenegi.....	42
5.2. Ölçü Aletlerinin Kalibrasyonu	58
5.3. Veri Toplama ve Kontrol Sistemi	61
5.4. Deneylerde Kullanılan Boyut Dağılımı.....	63
5.5. Deney Programı	66
BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	68
6.1. Dalma Borusu Derinliğinin etkisi.....	68
6.2. Siklon Giriş Sıcaklığının etkisi	77
6.3. Siklon Giriş Hızının etkisi.....	85
6.4. Siklona Giren Toz Konsantrasyonunun etkisi	91
6.5. Deneysel Siklonun Isıl Analizi	97
BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	104
KAYNAKLAR	108
ÖZGEÇMİŞ.....	112

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Kesit alanı, m ²
B	Siklon dip çapı, m
b	Siklon giriş eni, m
C	Sürüklenme katsayısı, Siklon oran sabiti, Konsantrasyon, kg/m ³
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 ²
Q	Debi, m ³ /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 ³
W	Sürüklenme hızı, hız, m/s
Z	Kademe sayısı, adet

Yunanca semboller

α	Isı transfer katsayısı, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$
β	Hacim sabiti
ε	Kayıplar
ϕ	Hız kayıp sayısı etki faktörü
η	Viskozite, Ns/m^2 , Verim
λ	Sürtünme faktörü, -
μ	Verim, Gaz viskozitesi, Ns/m^2
ρ	Yoğunluk, kg/m^3
ζ	Basınç kayıp katsayısı
ψ	Atalet parametresi
Δ	Fark
γ	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 içindeki gaz hareketleri.....	3
Şekil 2.2	Siklonlarda geometrik boyutlar.....	4
Şekil 2.3	Gaz ve partikül üzerine etkiyen kuvvetler	5
Şekil 2.4	Ayrıştırma eğrileri ve tasarım boyut oranları.....	17
Şekil 3.1	Paralel ve karşı akım ısı değişiminde ısı derecelerinin profili	22
Şekil 3.2	Farin partiküllerinin ısınma derecesi.....	24
Şekil 3.3	Hope önısıtıcısında tipik bir gaz ve farin sıcaklık profili.....	25
Şekil 3.4	Humboldt önısıtıcısı.....	27
Şekil 3.5	Basınç kaybı ve üretim ilişkisi.....	30
Şekil 3.6	Tipik bir önısıtıcı siklon reaktöre proses şeması.....	32
Şekil 5.1	Önısıtıcı siklon deney düzeneğinin şematik görünümü	42
Şekil 5.2	Humboldth tipi önısıtıcı deney siklonunun boyutları	43
Şekil 5.3	Siklon dalma boyu ayarlama mekanizması.....	44
Şekil 5.4	Yanma odası.....	44
Şekil 5.5	Dozajlama ünitesi detayları.....	45
Şekil 5.6	Önısıtıcı siklon reaktörle ilgili imalat detayları	47
Şekil 5.7	Deney düzeneğinin genel görünümü.....	49
Şekil 5.8	Deney düzeneğinin önden görünümü	49
Şekil 5.9	Yanma odası, brülör ve yakıt tankının genel görünümü.....	50
Şekil 5.10	Yanma odası gözetleme delikleri ve sekonder hava menfezleri	50
Şekil 5.11	Pitot tüpü ve termo eleman	50
Şekil 5.12	Kontrol Panosu.....	51
Şekil 5.13	Basınç Transmitterlerinin ve Sıcaklık Göstergelerinin Ön Görünümü	51
Şekil 5.14	Farin dozajlama ünitesi	52
Şekil 5.15	Frekans invertörü	52
Şekil 5.16	Bilgisayar, veri toplama kartı ve scada kartı.....	53
Şekil 5.17	Bilgisayar scada kartı ve kontrol ünitesinin genel görünümü.....	53

Şekil 5.18 Scada programı GENIE programıyla deneyin simülasyonu	54
Şekil 5.19 Deney önisıtıcı siklonu.....	54
Şekil 5.20 Önisıtıcı siklon dalma Boyu ayarlama mekanizması	55
Şekil 5.21 Önisıtıcı siklon toz toplama haznesi	55
Şekil 5.22 Önisıtıcı siklon ve vantilatör bağlantısı.....	56
Şekil 5.23 Vantilatör	56
Şekil 5.24 Önisıtıcıya bağlı Termo elemanlar.....	57
Şekil 5.25 Basınçölçerler için kalibrasyon ünitesi	59
Şekil 5.26 Basınç transmitterlerinin kalibrasyon eğrileri.....	60
Şekil 5.27 Siklon girişi ile çıkışındaki basınçölçerlerin kalibrasyon eğrileri.....	60
Şekil 5.28 Veri toplama ve kontrol sistemi	61
Şekil 5.29 Bir farin değirmeninden alınan farin numunesinin elek analizi.....	64
Şekil 5.30 Değirmenden alınan ikinci numunenin elek analizi.....	65
Şekil 6.1 Partikülsüz Akış İçin Dalma derinliğine göre basınç kaybının değişimi 70	
Şekil 6.2 Partiküllü Akış İçin Dalma derinliğine göre basınç kaybının değişimi . 70	
Şekil 6.3 Basınç kayıplarının literatürle karşılaştırılması	71
Şekil 6.4 Basınç kayıp katsayıları-dalma boyu ilişkisi.....	72
Şekil 6.5 Dalma boyu değişiminde tutma verimi ve literatür ile karşılaştırılması 74	
Şekil 6.6 Basınç kayıplarının ve tutma veriminin dalma boyuna göre değişimleri75	
Şekil 6.7 Dalma derinliğinin siklon çıkış sıcaklığına etkisi	78
Şekil 6.8 Partikülsüz akışta sıcaklık değişimine bağlı basınç kayıpları ilişkisi 78	
Şekil 6.9 Partiküllü akışta sıcaklık değişimine göre basınç kayıplarının değişimi 78	
Şekil 6.10 Sıcaklık değişimi etkisinin literatürle karşılaştırılması	79
Şekil 6.11 Siklon giriş sıcaklığı-Basınç kayıp katsayısı ilişkisi.....	80
Şekil 6.12 Tutma verimine siklon giriş sıcaklığının etkisi.....	82
Şekil 6.13 Kinematik viskozite-yoğunluk farkı oranının sıcaklıkla değişimi	82
Şekil 6.14 Basınç kaybı ve toz tutma veriminin sıcaklıkla değişimi	83
Şekil 6.15 Siklon giriş sıcaklığının çıkış sıcaklığına etkisi	84
Şekil 6.16 Partikülsüz akışta siklon giriş hızına göre basınç kaybının değişimi... 86	
Şekil 6.17 Partiküllü akışta siklon giriş hızına göre basınç kaybının değişimi..... 86	
Şekil 6.18 Hız etkisinin Literatürle karşılaştırılması.....	87
Şekil 6.19 Siklon gaz giriş hızının basınç kayıp katsayısına etkisi.....	88
Şekil 6.20 Siklon giriş hızına göre toz tutma veriminin değişimi	89

Şekil 6.21 Siklon giriş hızına göre basınç kaybı ve toz tutma veriminin değişimi	90
Şekil 6.22 Giriş hızının giriş ve çıkış sıcaklığına etkisi	91
Şekil 6.23 Siklon giriş konsantrasyonu ve basınç kaybı ilişkisi	92
Şekil 6.24 Siklon giriş konsantrasyonu kayıp katsayısı ilişkisi	93
Şekil 6.25 Siklona giren toz konsantrasyonu ve toz tutma ilişkisi.....	94
Şekil 6.26 Toz konsantrasyonunun basınç kaybı ve tutma verimi üzerindeki etkisi	95
Şekil 6.27 Konsantrasyonun çıkış sıcaklığına etkisi	96
Şekil 6.28 Önsıtıcı siklonda ısı geçiş modeli	99
Şekil 6.29 Dalma borusu derinliğinin ısı geçişine etkisi	100
Şekil 6.30 Siklon giriş sıcaklığının ısı geçişine etkisi	101
Şekil 6.31 Gaz giriş hızının ısı geçişine etkisi	102
Şekil 6.32 Toz konsantrasyonunun ısı geçişine etkisi.....	103



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 Yaygın kullanılan siklon tasarımları (Leith ve Mehta 1973).....	18
Tablo 3.1 Önısıtıcı siklon tasarım boyut oranları.....	31
Tablo 3.2 Önısıtıcı siklon reaktörlerin ısı tekniği formülleri	37
Tablo 5.1 Deneysel sabitler	67



ÖZET

Anahtar Kelimeler: Siklonlar, Önısıtıcı Siklonlar

Önısıtıcı siklon reaktörler çimento üretim tesislerinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Döner fırının ısı yükünü azaltmak ve böylece enerji tasarrufu sağlamak üzere çimentonun hammaddesi farinin belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılması gerekir. Bunun için döner fırından çıkan sıcak gazlardan yararlanılır ve gazın taşıdığı ısı enerjisinin önemli bir bölümü çok kademeli olarak tasarlanan önısıtıcı siklon reaktörlerde farine geçirilir. Böylece klinker hammaddesi olan farinin miktar bakımından hemen hemen üçte biri kalsinasyon sıcaklığına kadar ısıtılmış olur. Dolayısıyla önemli bir ısı tasarrufu sağlanarak sistemin ısı verimi yükseltilir. Bu öneminin yanında, ön ısıtıcı siklon reaktörler, günümüze kadar, ısı geçişi ve akışkanlar dinamiği bakımından yeterince incelenmemiştir. Ayrıca konuyla ilgili verilerin önemli ticari değerlerinin bulunması, bunların literatürde kapsamlı olarak yer almaması gibi bir sonucu doğurmuştur.

Siklon performansına etkisi olan temel parametreleri siklonun geometrik yapısına belirleyen, boyutsal oranların yanında, işletme parametreleri, gaz debisi, gaz giriş/çıkış sıcaklıkları, gaz yoğunluğu, siklondaki basınç düşümü, hammadde konsantrasyonu ve gaz akımının siklondaki hız dağılımı sayılabilir. Burada siklonun sıcak gazlardan farine yüksek bir ısı geçişini, düşük basınç kayıpları ve yüksek ayrışma (tutma verimi) ile gerçekleştirme istenir.

Bu çalışmada, siklon geometrik özellikleri ile çalışma koşullarının siklon performansı üzerindeki etkilerini incelemek üzere deneyler yapılmıştır. Deneyler için, önısıtıcı siklon reaktör olarak Humboldth tipi [2] bir siklon, seçilmiştir. Bu önısıtıcı siklon bir kademeli olarak incelenmiştir. Siklon dalma borusu derinliği, gaz giriş sıcaklığı, gaz giriş hızının ve farin konsantrasyonunun, araştırma sonuçlarına göre performans üzerinde önemli etkilerinin bulunduğu ve ön ısıtıcı siklon tasarımında mutlaka dikkate alınması gerektiği anlaşılmıştır. Bununla beraber daha genel sonuçlara varabilmek için çeşitli deney koşullarında ve siklon tipleriyle deneyler yapmaya gereksinim vardır. Buradan elde edilen deneysel bulguların, kurulacak teorik modellere önemli bir katkı yapacağı açıktır.

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE PRE-HEATER CYCLONE REACTORS UTILISING IN CEMENT INDUSTRY

SUMMARY

Keywords: Cyclones, Pre-heater cyclones

The most important part of cement production line is the rotary kiln. Before entering the rotary kiln, raw material, namely dust, should be heated to a certain temperature to reduce its heat load. To do this, multistage pre-heater type of cyclones have been widely used in cement industry to recovery heat energy of hot gas. The heat is, then, used in preheating of dust which is the raw material of the cement. Thus the dust is heated until its calcination temperature is reached. Therefore, a large amount of heat energy is saved. Nevertheless, the cyclones used as a pre-heater in cement processes have scarcely been investigated in view of heat transfer and fluid dynamics, up to now. In addition, most data in the field are not available in the open literature due to their commercial values.

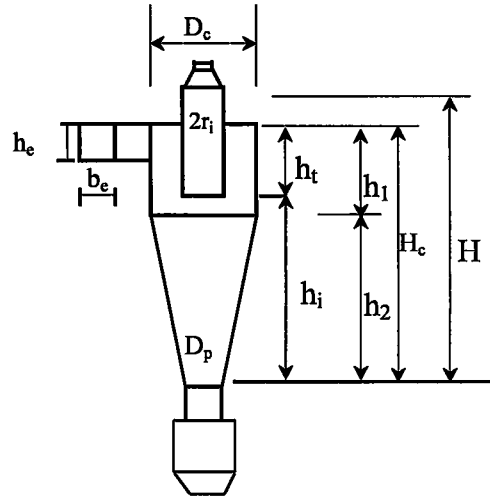
The variables which affect the cyclone performance are; hot gas flowrate, inlet/exit gas temperatures, gas density, pressure drop in the cyclone, geometrical specifications of the cyclone, raw material concentration and the velocity distribution of the gas flow. It is obvious that a study concerning pre-heater cyclone should be simultaneously elaborated with heat transfer and fluid dynamics principles.

In this work, experiments were conducted to determine the effects of geometrical properties and operating conditions of the cyclone characteristics, on the pre-heater. A type of Humboldth cyclone with with one stage was used over the experiments. Test results have shown that the parameters mentioned above have a considerable impact on the pre-heater characteristics and must be consider in design considerations. However, for a general conclusion, more detailed studies should be conducted at various test conditions.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Siklonlar, içinde partikül bulunan bir gaz akımının bir girdaba dönüştürülmesi sonucu meydana gelen merkezkaç kuvveti ile partikülün gazdan ayrılması işlemine kullanılan cihazlardır. Önısıtıcı siklonlar ise, çimento prosesinde döner fırını yüksek sıcaklıkta terk eden baca gazlarının, ısı enerjisini geri kazanmak için ısı değiştiricisi olarak tasarlanmış siklonlardır. Önısıtıcı siklonlar çok kademeli olarak çimento sanayiinde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Önısıtıcı siklon reaktörlerde çimento üretiminin hammaddesi farin (kireçtaşı+kil) yüksek sıcaklıktaki baca gazı ile temas geçirilerek kalsinasyon sıcaklığına yaklaştırılır. Böylece genel olarak büyük bir enerji tasarrufu sağlanır. Önısıtıcı 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.

Siklonlar genellikle çapı 5-10 µm daha büyük parçalarda yüksek verimde çalışırlar. Siklonlar büyük parçacıklar tutulmak istendiğinde toplayıcı olarak da sıkça kullanılırlar, ayrıca yem sanayiinde, tahıl silolarında, kurutma sistemlerinde, çimento sanayiinde daha verimli bir toplayıcıdan önce örneğın bir elektro-filtreden önce, ve benzeri yerlerde kullanılabilirler. Siklonlar 1000 °C'ın 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. Şekil 1.1 de tipik bir siklon ile temel boyutları gösterilmiştir



Şekil 1.1 Bir siklonunun şematik görünümü ve boyutları

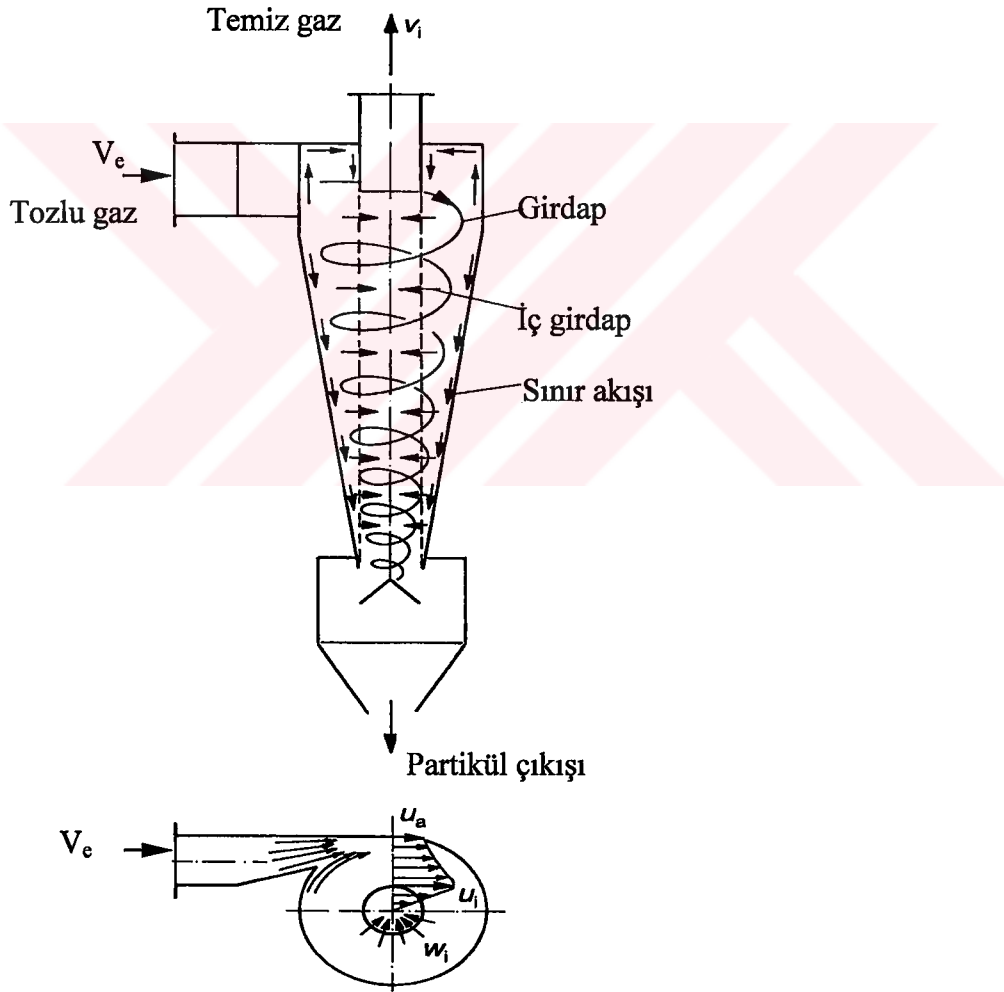
Bu çalışmada, baca gazı ve farinin beraber akışı esnasında siklonda meydana gelen fiziksel olayların deneysel olarak incelenmesi hedeflenmiştir. Burada siklon giriş hızı, gaz sıcaklığı, partikül konsantrasyonu, siklon dalma borusu dalma derinliği parametre olarak seçilmiş ve partikül tutma verimi ve siklonda meydana gelen basınç kaybı üzerinde bu parametrelerin etkileri araştırılmıştır.

Literatürde çeşitli siklon geometrilerine göre tutma verimi ve basınç kaybı ile ilgili çalışmalar bulunmasına rağmen siklon giriş sıcaklığının ve partikül konsantrasyonunun tutma verimine ve basınç kaybına etkisi pek araştırılmamıştır[2]. Bu nedenle çalışma, genel olarak siklon çalışma koşullarının değişmesi durumunda tutma veriminin, basınç kaybının ve ısı geçişinin nasıl etkilendiği konusunu ele almaktadır.

BÖLÜM 2. SIKLON TEORİSİ

2.1. Siklon Akışı

Siklonda içerisinde partikül bulunan gaz akımı, bir girdaba dönüştürülür. Şekil 2.1 de bu tür gaz hareketleri ile ilgili hız profilleri gösterilmiştir.

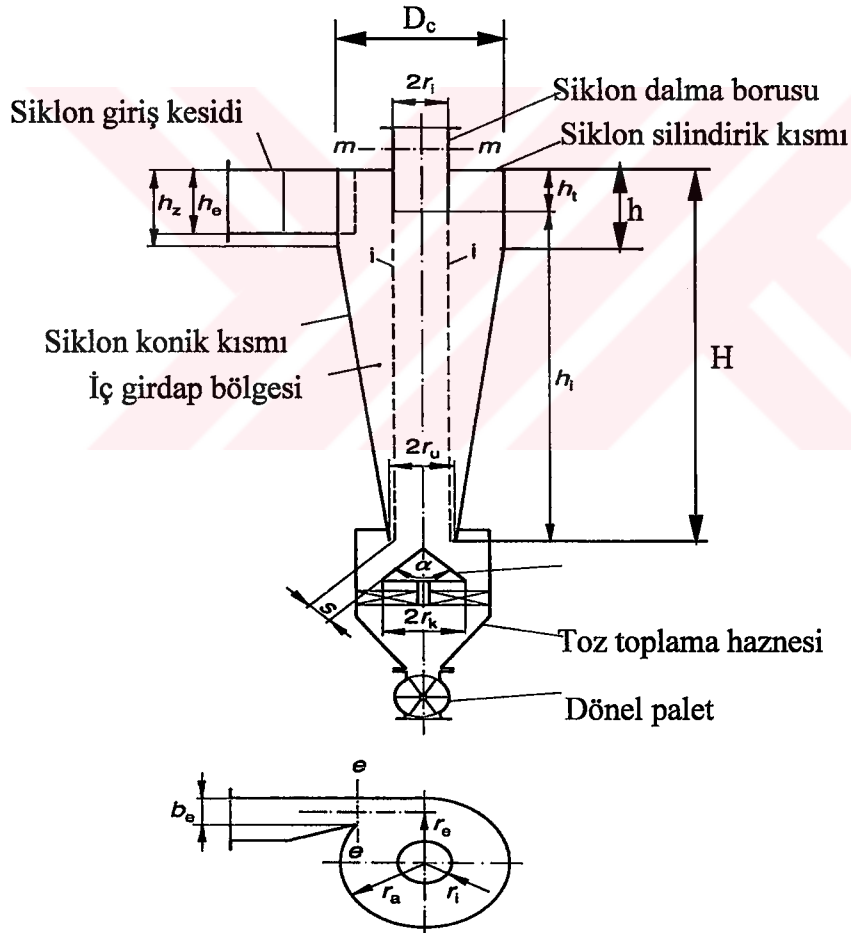


Şekil 2.1 Siklon içindeki gaz hareketleri

Burada siklona partikül yüklü olarak beraber giren gaz akımı, girdap akış kanununa göre hareket eder. Daha sonra merkeze yakın r_i uzaklığında kritik bir hız (u_i) sınırı oluşur. Bu sınırdan sonra akış rijit bir cismin dönüşünde olduğu gibi ikinci bir akış meydana gelmektedir. Bu yüzden akış hızı merkeze doğru sıfırlanan bir şekilde devam eder ve bu akışa iç girdap denir, [1].

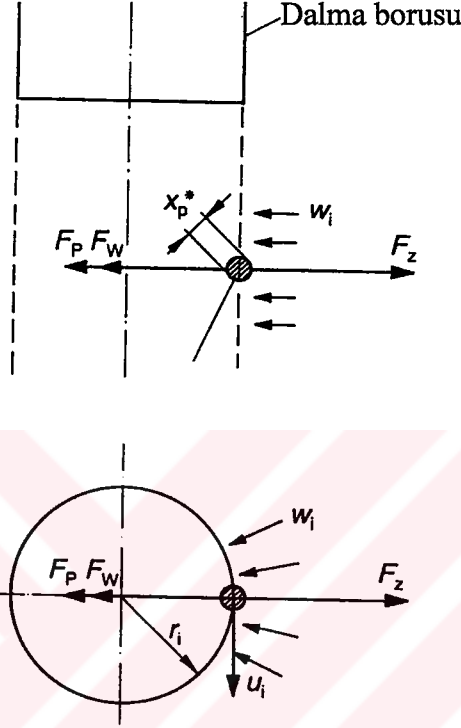
2.2. Kritik Partikül Çapı

Siklon için kullanılacak temel boyutlar Şekil 2.2 de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Siklonlarda geometrik boyutlar

Dalma borusunun dış yarıçapı olan (r_i) yörüngesinde bulunan partikül, ayrışma sınırını belirler ve ayrışmanın kritik partikül çapı olarak adlandırılır. Bu çapın üzerindeki partiküller, siklonun dış yüzeylerine savrulur ve siklondan aşağıya sürüklenirken, altındaki çaplar siklonun üst tarafından gazla birlikte siklonu terk ederler.



Şekil 2.3 Gaz ve partikül üzerine etkiyen kuvvetler

Siklonda r_i yörüngesinde dönen bu partikül üzerine aşağıdaki kuvvetler etkir;

Partikül merkezkaç kuvveti;

$$F_z = \rho_p V_p \frac{u_i^2}{r_i} \quad (2.1)$$

ρ_p = Partikül yoğunluğu

V_p = Partikül hacmi

u_i = Çevresel hız

r_i = Dalma borusu yarıçapı

Diğer taraftan partiküle doğru ters gaz akışı nedeniyle sürüklenme kuvveti F_w ,

$$F_w = C_w A_p \frac{\rho_g}{2} w_i^2 \quad (2.2)$$

Etki eder.

C_w = Sürüklenme katsayısı

A_p = Partikül kesit alanı

ρ_g = Gaz yoğunluğu

w_i = Sürüklenme hızı

Gaz debisi V_g , dalma borusu altındaki silindirik yüzeyden ($2\pi h_i r_i$) geri döndüğünden, sürüklenme hızı w_i ,

$$w_i = \frac{\dot{V}_g}{2\pi h_i r_i} \quad (2.3)$$

denklemleri ile hesaplanabilir.

Bu kuvvetlerden başka, girdap akışında oluşan basınç kuvveti F_p ,

$$F_p = \rho_g V_p \frac{u_i^2}{r_i} \quad (2.4)$$

partikül üzerine etkir.

Böylece bu üç kuvvet yatay düzlemde birbirlerini dengeler.

$$F_z - F_p - F_w = 0 \quad (2.5)$$

Burada C_w sürtüklenme katsayısı partikül etrafındaki akışta küresel parçacık için $C_w=24/Re$ olduğunda (2.5) eşitliğinde yerine yazılırsa siklonda tutulan kritik partikül boyutu x_p^* ;

$$x_p^* = \sqrt{\frac{18\eta_g W_i \Gamma_i}{\Delta\rho u_i^2}} \quad (2.6)$$

elde edilir.

Siklonu terk eden gazın hızı V_i , ise

$$V_i = \frac{\dot{V}_i}{A_i} \quad (2.7)$$

olduğundan (2.3), (2.6) ve (2.7) eşitliklerinden yararlanarak

$$x_p^* = 3A_i \frac{V_i}{u_i} \sqrt{\frac{\eta_g}{\pi h_i \Delta\rho \dot{V}_g}} \quad (2.8)$$

olarak elde edilir.

Ancak gerçekte bu partikül kritik çapı x_p^* ile ayırıştırma sağlanamaz. Diğer bir ifade ile, siklonun üst ve alt akışında her çapta partiküle rastlanır.

2.3. Ayırıştırma Derecesi, Tutma Verimi

Siklon içindeki gerçek akışta kritik partikül çapı, ayırıştırmanın sınırı olarak elde edilemez. Bunun nedeni genel olarak , ayırıştırmanın en önemli olduğu dalma borusu altındaki silindirik yüzeyde siklonun derinliğine doğru , u_i hızının farklılık

göstermesidir. Bu hız değişimi, partikül üzerine farklı kuvvet etkimesine neden olur. Dolayısıyla ayrılan partikül çapı değişir.

Kritik partikül çapının x_p^* , siklonun her akış bölgesinde farklı değer olması, Şekil 2.4 de görüldüğü gibi siklon tipine bağlı olarak farklı ayırma eğrilerinin ortaya çıkmasına neden olur. Burada ayırma derecesi $S(x_p)$ söz konusu olan tanecik çapındaki ayrılan kütlenin (ΔM_A), girişteki toplam kütleyle (ΔM_T), oranı olarak

$$S(x_p) = \frac{\Delta M_A}{\Delta M_T} \quad (2.9)$$

ifadesiyle tanımlanır.

Teğetsel siklonlarda ayırma derecesi siklonun boyutları, taşıyıcı gazın özellikleri ve toz özellikleri dikkate alınmak suretiyle her partikül boyutu aralığında toplanarak elde edilir [6]. Bu bağıntılarda aşağıdaki büyüklüklerin bilinmesi gerekmektedir.

- D_c = siklon çapı (m)
- h_e = giriş yüksekliği (m)
- b_e = giriş genişliği (m)
- $2r_i$ = gaz çıkış çapı (m)
- h = dairesel siklon yüksekliği (m)
- H = toplam siklon yüksekliği (m)
- $2r_u$ = toz çıkış çapı (m)
- h_t = çıkış dalma derinliği (m)

Gaz özellikleri:

- \dot{V}_g = gaz debisi (m^3/s)
- ρ = gaz yoğunluğu (kg/m^3)
- μ = gaz viskozitesi (Ns/m^2)
- T = gaz sıcaklığı (0K)

Toz özellikleri

ρ_p = partikül yoğunluğu (kg/m^3)

η_i = i'nci partikül boyutu için verim

m_i = partikül boyutu ağırlık oranı

η_T = tutma verimi $\sum m_i \eta_i$

Her hangi bir tane boyutu için verim;

$$\eta_i = 1 - \exp \left\{ -2 \left[\frac{G \tau_i \dot{V}_g}{D_c^3} (n+1) \right]^{\frac{0.5}{(n+1)}} \right\} \quad (2.10)$$

bağıntısıyla hesaplanılır. Burada;

$$G = \frac{8K_c}{(K_a K_b)^2} \quad (2.11)$$

olup τ_i parçacık zaman sabiti (s) ve G siklon konfigürasyon sabitidir.(-).

Girdap üstel sabiti n , siklon çapı ve sıcaklığın fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$n = 1 - \left[1 - 0.67 D_c^{0.14} \right] \left(\frac{T}{283} \right)^{0.3} \quad (2.12)$$

G'nin hesaplanması için gerekli olan sabitler

$$K_a = \frac{h_e}{D_c} \quad K_b = \frac{b_e}{D_c} \quad K_c = \frac{2V_s + V_{nl,H}}{2D_c^3} \quad (2.13)$$

dir. Burada ;

$$V_S = \frac{\pi \left(h_t - \frac{h_e}{2} \right) (D_c^2 - 2r_i^2)}{4} \quad (2.14)$$

$$V_H = \frac{\pi D_c^2}{4} (h - h_t) + \left(\frac{\pi D_c^2}{4} \right) \left(\frac{H - h}{3} \right) \left(1 + \frac{2r_u}{D_c} + \frac{2r_u^2}{D_c^2} \right) - \frac{\pi 2r_i^2}{4} (H - h_t) \quad (2.15)$$

$$V_{nl} = \frac{\pi D_c^2}{4} (h - h_t) + \left(\frac{\pi D_c^2}{4} \right) \left(\frac{1 + h_t - h}{3} \right) \left(1 + \frac{d}{D_c} + \frac{d^2}{D_c^2} \right) - \frac{\pi 2r_i^2}{4} \quad (2.16)$$

olarak verilmektedir. Yukarıdaki eşitliklerde d ve l büyüklükleri;

$$d = D_c - (D_c - 2r_u) \frac{h_t + l - h}{H - h} \quad (2.17)$$

$$l = 2.3r_i \left(\frac{D_c^2}{h_e b_e} \right)^{1/3} \quad (2.18)$$

eşitliklerinden hesaplanacaktır. K_c hesaplanırken;

$l < (H-S)$ ise V_{nl} ,

$l > (H-S)$ ise V_H

Kullanılır.

2.4. Siklon Basınç Kayıpları

Siklonun içerisinde meydana gelen basınç kayıpları Δp çok önemli olup fan gücünü belirlemektedir. Basınç kayıpları, genel olarak siklon girişinde, ayırma bölgesinde ve dalma borusunda meydana gelir.

Basınç kaybının hesabı için Fritz [1] aşağıdaki denklemi önermektedir.

$$\Delta p = \xi_T \frac{\rho_g}{2} V_i^2 \quad (2.19)$$

Burada, ρ_g gaz yoğunluğunu V_i dalma borusundaki gaz hızını, ξ_T basınç kayıp katsayısını, göstermektedir. Şekil 2.2 de. e-e kesitindeki kayıp katsayısı,

$$\zeta_e = \frac{r_i}{r_a} \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{u_i \lambda}{V_i} \frac{h_i}{r_i}\right)^2} - 1 \right] \left(\frac{u_i}{V_i} \right)^2 \quad (2.20)$$

$$\lambda = \lambda_g \left(1 + K_1 \sqrt{C_F}\right) \quad (2.21)$$

Burada $C_F \geq 1$ için $K_1=3$, $C_F < 1$ için $K_1=2$ alınır ve $\lambda_g=0.005$ dir.

i-i kesitinde ise kayıp katsayısı,

$$\zeta_i = K \left(\frac{u_i}{V_i} \right)^{\frac{3}{4}} + \left(\frac{u_i}{V_i} \right)^2 + K_0 \left(1 - \frac{u_i}{V_i} \right) \quad (2.22)$$

ile verilmektedir. Burada

$$\frac{u_i}{V_i} < 1 \Rightarrow K = 4.4, K_0 = 2.0$$

$$\frac{u_i}{V_i} > 1 \Rightarrow K = 3.4, K_0 = 1.1$$

olarak alınır. Toplam kayıp katsayısı böylece

$$\zeta_T = \zeta_e + \zeta_i \quad (2.23)$$

olarak elde edilir.

Shepherd ve Lapple (1939) Yaklaşımına göre basınç kayıplarına etki eden faktörler aşağıdaki gibi sıralanmıştır,[6];

- 1- Siklona giren gazın genişlemesinden kaynaklanan kayıp,
- 2- Siklon içinde dönmeden dolayı kinetik enerji kaybı ,
- 3- Siklon içindeki duvar sürtünme etkilerinden kaynaklanan kayıplar ,
- 4- Çıkış kanalındaki sürtünme yoluyla kayıplar,
- 5- Dönme kinetik enerjisinin basınç enerjisi olarak geri kazanımı.

Bunlara göre siklondaki basınç kaybı, giriş hızı kayıp katsayısına (N_H) bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\Delta P_c = \frac{N_H}{g} \frac{\rho_g}{2} V_i^2 \quad (2.24)$$

Burada ;

ΔP_c = basınç düşüşü, Pa

N_H/g = basınç kayıp katsayısı, (ζ_T)

V_i = siklon girişindeki gaz hızı, m/s

ρ_g = gaz yoğunluğudur. kg/m^3

Shepherd ve Lapple tarafından N_H ,

$$N_H = K \frac{h_e b_e}{2r_i^2} \quad (2.25)$$

olarak tanımlanmıştır.

Burada K hız kayıp katsayısı olup, standart teğetsel girişli bir siklon için 16, teğetsel girişin iç duvarı siklonun ortasına kadar uzanıyorsa (normal perdeli siklon) 7.5 değerini alır.

First [6], Shepherd ve Ippelle eşitliğine benzer bir eşitliği siklon çapı, koni ve silindir boylarını dikkate alarak

$$N_H = \frac{h_e b_e}{2r_i^2} \frac{12/\gamma}{\sqrt{h(H-h)/D_c^2}} \quad (2.26)$$

şeklinde vermiştir. Burada γ bir sabit olup, perdesiz siklon için 0.5, normal perdeli siklon için 1.0, perdesi gaz çıkış kanalına değen siklon için 2.0 değeri alır.

Alexander [6], gaz akımında basınç kaybının sadece kinetik enerji kaybından ileri geldiğini varsayarak,

$$N_H = 4.62 \frac{h_e b_e}{2r_i^2} \frac{2r_i}{D_c} \left\{ \left[\left(\frac{D_c}{2r_i} \right)^{2n} - 1 \right] \left(\frac{1-n}{n} \right) + f \left(\frac{D_c}{2r_i} \right)^{2n} \right\} \quad (2.27)$$

eşitliğini önermiştir. Burada n , denklem 2.18 de tanımlanan girdap üstel sabiti olup

$$n = 1 - \left(1 - 0.669 D_c^{0.14} \right) \left(\frac{T}{283.15} \right)^{0.3} \quad (2.28)$$

olarak verilir. Benzer şekilde

$$f = 0.8 \left\{ \frac{1}{n(1-n)} \frac{4-2^{2n}}{3} - \frac{1-n}{n} \right\} + 0.2 \left\{ (2^{2n} - 1) \frac{1-n}{n} + 1.5(2^{2n}) \right\} \quad (2.29)$$

eşitliği ile belirlenir.

Stairmand [6], siklondaki basınç kaybının siklon girişinde, siklon girdabında ve siklon çıkışında olduğunu varsayarak N_H için

$$N_H = 1 + 2\Phi^2 \left\{ \left(\frac{2(D_c - b_e)}{2r_i} - 1 + 2 \frac{4h_e b_e}{\pi 2r_i^2} \right) \right\}^2 \quad (2.30)$$

ifadesini önermiştir. Burada ϕ

$$\phi = \frac{-\sqrt{\frac{2r_i}{2(D_c - b_e)}} + \sqrt{\frac{2r_i}{2(D_c - b_e)} + 4 \frac{\lambda_1 A}{h_e b_e}}}{\frac{2\lambda_1 A}{h_e b_e}} \quad (2.31)$$

olarak verilir. sürtünme faktörü λ_1 ;

$$\lambda_1 = 0.005 \quad (2.32)$$

alınır ve dönen gazın gördüğü iç yüzey alanı A ;

$$A = \frac{\pi}{4}(D_c^2 - 2r_i^2) + \pi D_c h + \pi 2r_i h + \frac{\pi}{2}(D_c + 2r_u) \sqrt{(H - h)^2 + \left(\frac{D_c - 2r_u}{2} \right)^2} \quad (2.33)$$

ifadesi ile hesaplanır.

Barth [6], basınç kaybının iki faktörün toplamı olarak ele alınabileceğini ifade etmiştir. Bu modelde siklon girişi ve siklon çıkışı ile siklon içindeki sürtünme ve kinetik enerji kayıpları göz önüne alınmaktadır.

$$\zeta_T = \frac{N_H}{g} = \beta^2 \left(\frac{4h_e b_e}{\pi 2r_i^2} \right)^2 (\epsilon_e + \epsilon_i) \quad (2.34)$$

Burada 2.34 ifadesinde siklon giriş ve içindeki kayıplar için

$$\varepsilon_e = \frac{2r_i}{D_c} \left\{ \frac{1}{\left[\frac{1 - 2\beta(H - h_t)\lambda_2}{2r_i} \right]^2} - 1 \right\} \quad (2.35)$$

ifadesi kullanılırken siklon çıkışındaki kayıplar;

$$\varepsilon_i = \frac{4.4}{\beta^{2/3}} + 1 \quad (2.36)$$

ile verilir. Buradaki β

$$\beta = \frac{(2r_i/2)(D_c - b_e)\pi}{2h_e b_e \alpha + (H - h_t)(D_c - b_e)\pi\lambda_2} \quad (2.37)$$

olarak tanımlanır ve

$$\alpha = 1 - 1.2b_e/D_c \quad (2.38)$$

sürtünme kaybı

$$\lambda_2 = 0.02 \text{ dir.} \quad (2.39)$$

2.5. Siklon Tasarımı

Yeni bir siklon sistemini tasarlamak veya mevcut bir sistemi iyileştirmek için siklon veriminin ve siklondaki basınç kaybının doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Bunun için, gaz akış karakteristikleri ve taneciklerin siklon içindeki hareketiyle ilgili çeşitli varsayımlara bağlı olarak farklı yaklaşımlar vardır. Kritik partikül çapı (x_p^*), ayrıştırma derecesini belirleyen bir faktör olduğu için siklonların boyutları buna göre saptanır ve her siklon tipi için değişik ayrıştırma eğrileri ortaya çıkar,[1]. Şekil 2.4 de değişik siklon geometrileri için x_p^* 'nin değişimi sunulmuştur.

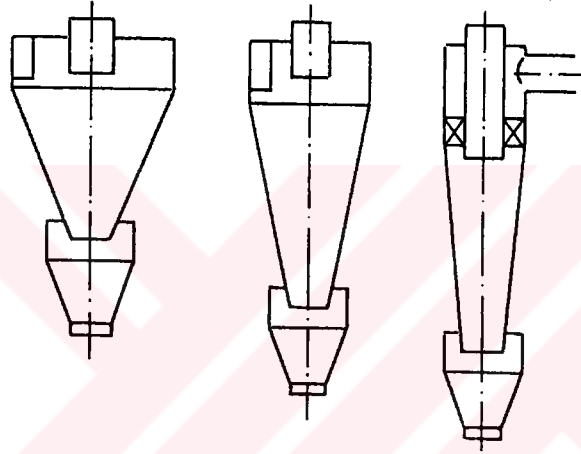
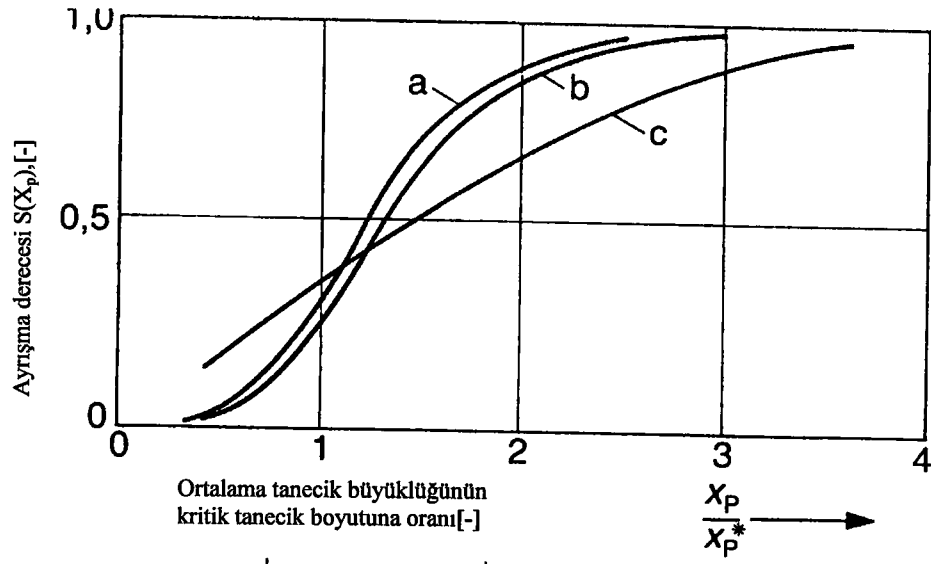
Bu grafikten de anlaşılacağı gibi siklonda tutulması hedeflenen kritik partikül çapı x_p^* , azaldıkça siklonun konik ve silindirik bölümlerinin ve dalma borusu derinliğinin yüksekliği de artar. Bunun sebebi, taşıyıcı akışkanın içindeki partikülü ayırmak için gerekli olan merkezkaç kuvvetinin F_z , kritik partikül çapı x_p^* , azaldıkça azalmasıdır. Bu yüzden siklon çapının azalması gerekmektedir. Bunun tam aksine artan kritik partikül çapında x_p^* , partiküllerin ayırma derecesinin artması için siklon çapının artması ve boyunun da buna bağlı olarak azalması gerekmektedir.

Siklon tasarımına başlamak için daha önce (2.9) eşitliğinde $S(x_p)$ ile tanımlanan ayırma derecesi, kritik partikül çapının x_p^* bu çapın üzerindeki partikül çapına x , oranı olduğundan

$$S(x_p) = \frac{M_A}{M_T} = \frac{x}{x_p^*} = \frac{1}{3A_i \frac{V_i}{u_i} \sqrt{\frac{\eta_g}{\pi h_i \Delta \rho \dot{V}_g}}} \quad (2.40)$$

ifadesi yazılabilir. Burada ayırma derecesi için arzu edilen değere göre h_i/r_i saptanmakta, böylece Şekil 2.4de görülen ayırma karakteristiğine uygun bir tasarım biçimi elde edilmiş olmaktadır.

Bunlardan başka literatürde, siklon giriş kesitinin ve giriş debisinin dikkate alındığı modeller bulunmaktadır. Bu modellerde çeşitli tipte siklonların kıyaslanmasında kolaylık olması açısından diğer boyutların ana gövde çapına oranları (h_e/D_c , b_e/D_c , $2r_i/D_c$, h_i/D_c , h/D_c , H/D_c ve $2r_v/D_c$) kullanılır. Literatürde ileri sürülen çeşitli standart siklonlardaki boyut oranları Tablo 2.1de verilmiştir,[6].



	I	II	III
TASARIM ORANLARI			
r_a / r_i	4	3	2
h_i / r_i	7.5	10	10
b_e / r_i	0.7	0.9	-
h_e / r_i	2.1	3.1	-

Şekil 2.4 Ayrıştırma eğrileri ve tasarım boyut oranları

Tablo 2.1. Yaygın standart siklon tasarımları.

Siklon tipi	Kullanım amacı	D_c	h_e/D_c	b_e/D_c	$2r_i/D_c$	h_t/D_c	h/D_c	H/D_c	$2r_u/D_c$
Stairmand	Yüksek verim	1	0.5	0.2	0.5	0.5	1.5	4.0	0.37
Swift	Yüksek verim	1	0.44	0.21	0.4	0.5	1.4	3.9	0.4
Lapple	Genel amaçlı	1	0.5	0.25	0.5	0.62	2.0	4.0	0.25
Swift	Genel amaçlı	1	0.5	0.25	0.5	0.6	1.75	3.75	0.4
Stairmand	Yüksek debi	1	0.75	0.37	0.75	0.87	1.5	4.0	0.37
Swift	Yüksek debi	1	0.8	0.35	0.75	0.85	1.7	3.7	0.4
Leith-Mehta	Genel amaçlı	1	0.43	0.17	0.68	1.2	3.0	5.0	0.37

Tablo 2.1 de verilen çeşitli standart tasarımlar kıyaslandığında, boyut oranlarının siklonun kullanım amacına göre değiştiği görülür. Genel amaçlı standart tasarımlar, yüksek verimli veya yüksek kapasiteli amaçlar için ayrı ayrı oranlar vermektedir. Aynı siklon çapı ve toplam boyu için aynı basınç düşüşünde yüksek verimli siklon oranları kullanılırsa kapasite, yüksek kapasiteli boyut oranları seçildiğinde elde edilecek olanın yarısı olacaktır. Dolayısıyla siklon tasarımı kullanım amacına bağlıdır ve çözümde tek seçenek yoktur. Tüm toz tutma sorunlarını çözecek tek bir siklon tasarım yöntemi henüz bulunmamaktadır.

BÖLÜM 3. ÖNİSİTİCİ SİKLON REAKTÖRLER

3.1. Önısıtıcı Siklon Reaktörlerin Çimento Endüstrisindeki Gelişimi

İlk çimento döner fırınları yaş sistem olarak çalışmaktaydı ve bu sistem çok talep görmüştü, öyle ki 1920de Otto Tellep tarafından lepol ızgaralı ön ısıtıcı geliştirilip kullanılmaya başladıktan sonra bile yaş sistem tercih edilmekteydi. Bunun nedeni öncelikle toz haline getirilen hammaddelerin karıştırılmasında karşılaşılan zorluktan kaynaklanıyordu. Bir de bir çok yerde kullanılan hammaddenin fiziksel özellikleri, çamurla çalışmayı daha kolay bir yöntem olarak benimsemeyi gerektiriyordu.

1934de FL Smith de çalışan M Vogel-Jorgensen tarafından siklon ön ısıtıcısı için ilk patent başvurusu yapılmışsa da, ancak 12 Mayıs 1953 tarihinde siklon ön ısıtıcılı ilk döner fırın kullanılmıştır. Bu ön ısıtıcı Klockner Humbold Deutz (KHD) tarafından imal edilmiş ve Batı Almanya'da bulunan Beckum'daki Bomke Blecham fabrikalarında kullanılmıştı. Bu ön ısıtıcı bugünkü 300 t/gün kapasiteli 3.2 m x 40 m boyutundaki döner fırınlarda kullanılan ön ısıtıcıların benzeri olan, 4 kademeli bir ön ısıtıcıydı. Gerek yakıt tüketiminin az oluşu, gerekse atık gazların hammadde kurutma ve öğütülmesinde kullanılmasına olanak sağlamasına rağmen, 1950'ye kadar bu yeni prosesle çalışan sadece 9 tesis kurulmuş olup hepsi de KHD işletmelerine aitti. Bununla beraber 1966 da çimento yapımında kullanılan makinaları imal edenler üretim zincirlerine süspansiyon ön ısıtıcıları dahil etmeye başladılar. 1961 de ilk Humboldth ön ısıtıcısı Plymstock tesislerinde işletmeye alındı. Ve 1966 da kurulan ikinci üretim hattında da kullanıldı. 1970 de Hope'da kurulan iki fırınlı Humboldth tesisinde de bu ön ısıtıcılar kullanılmaya başlandı. Bu fırınların kapasitesi 2000 t/gün idi. 1960 ve 1970 li yıllarda fırın verimlerinin düzenli bir şekilde arttırılmasına

paralel olarak çimento yapımında, süspansiyon ısıtıcıları dönüştürme işlemleri de giderek yaygınlaştı. Bu gün artık bütün dünyada enerjinin verimli kullanımına büyük önem verilmektedir.

Konvansiyonel süspansiyon ön ısıtıcılarında farin, kısmi bir kalsinasyona uğramaktadır (%10-50). Öncelikle malın, ön ısıtıcıda % 90 a kadar bir önkalsinasyona uğratılmasıyla, döner fırının ısıl yükünün azaltılacağı ve dolayısıyla çok yüksek verimlerle çalışacağı düşünülmüştür. Bu düşünceyle Japonyada ön kalsinatör geliştirme çalışmalarına ağırlık verilmiştir.

3.2. Önısıtıcı Siklon Reaktörlerin Avantajları

Geçmişte döner fırın kapasitesindeki artış, fırının geometrik boyutlarındaki artışla orantılıydı. Öyle ki 200 m uzunlukta 7 m yi aşan çapta fırınlar mevcuttu. Yaş usul fırınlar için bu değerler makul sayılabilir. Büyük fırınlar için 1 ton klinker başına özgül efektif hacmin artışının daha fazla oluşu ve ender olarak 1 kg klinker başına 1000 kcal'ye yaklaşan değerlere düşen ısı tüketiminde iyi sonuç alındığı düşünülürdü. Buna bağlı olarak fırınların ısıl verimleri düşüktü. İçteki tertibatların sadece malzemeyi kurutmak için o uzunluktaki fırının yarısı kullanılır ve bu yüzden fırın gerçek yanma prosesi için etkisiz kalırdı. Çok büyük tipteki önısıtıcı siklonların üretime katılmasıyla klinker soğutucularında olduğu gibi mekanik arızalara daha hassas yaklaşan tesisler fırın boyutlarını düşürmüştür. Kuru prosesin seçimiyle meydana gelen ısı tüketiminde ve fırın boyutlarında önemli miktarda azalma elde edilmiştir,[2]. Önısıtıcı siklonlarla kullanılan fırınların avantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Tüm tesiste %95e varan verim ,
- % 55-60a yükselen fırın verimi,

- Kuru besleme kullanılması sonucu farin ile fırın gazı arasındaki ısı geçişinin iyileştirilmesi ısı tüketimi 850 kcal/kg klinker' değerinin altına düşürülmüştür.
- Kil, fırın cürufu gibi bir çok plastik olmayan hammaddenin kullanılmasının mümkün olması
- Nem oranının % 0.5-1'ı aşmadığı durumda, hammaddenin 0.09 mm lik elek üzerinde % 20 incelikte tutularak öğütülmesinin mümkün oluşu,
- Daha yüksek ve daha uniform ön ısıtma sonucu klinker kalitesindeki iyileşme,
- Uzun yaş fırınla karşılaştırıldığında, fırının birim efektif hacmi başına klinker üretimindeki çok büyük artış,
- Döner fırında suyun buharlaşması ve kısmi kalsinasyon gibi tüm hazırlık proseslerinin önısıtıcıya aktarılması ve döner fırın çıkış gaz ısısından maksimum yararlanılması,
- Birçok hareketli kısımların kaldırılması sayesinde daha emniyetli çalışma sağlanma,
- Daha az kompleks konstrüksiyon ve daha az bakım masrafı sağlanması,

Bunların yanında bazı dezavantajlar söz konusudur. Bunlar;

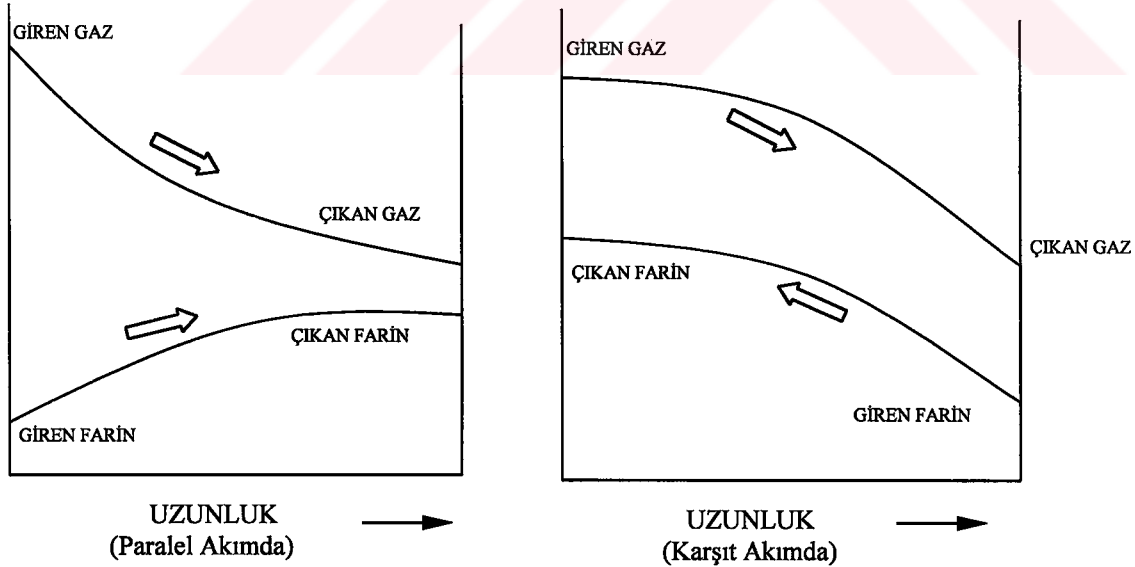
- Siklon önısıtıcısı 60 m nin üzerinde bir kuleye ihtiyaç duyar,
- Artan basınç kayıplarına bağlı olarak sıcak gazın emilmesinde kullanılan fanların enerji tüketimleri büyük oranda artmıştır.

3.3. Önısıtıcıların Çalışma Prensipleri

Yaş proste fırına çamur verilirken kuru sistemde toz haline getirilmiş farin beslemesi yapılmaktadır. İlk önceleri uzun fırın kullanılan kuru sistemde, ısı geçişine yardımcı olmak üzere zincirlerden yararlanılmaktaydı. Ancak suspansiyon önısıtıcıların geliştirilmesiyle farinin ön ısıtılması ve kısmi kalsinasyonu için uzun fırınların arka kısmında yanma gazlarını kullanmak yerine, siklon sistemleri kullanılmaya başlanmış ve fırınların da boyu kısalmıştır. Bu iş için, fırına kıyasla ısı değişim etkinliği daha yüksek olan ön ısıtıcılar tercih edilmiştir. Gazla farin arasında iki yöntemle gerçekleşmektedir,

- a) **Paralel akış yöntemi:** Burada kanalın bir ucundan soğuk farin ve sıcak gaz verilmekte, öteki ucundan da boşaltılmaktadır. Boru içinden geçerken, farin gaz akımıyla sürüklenmekte, gaz soğurken, farin de ısınmaktadır. Ve iyice karışmış olarak borunun öteki ucundan hemen hemen aynı sıcaklık derecesinde boşalmaktadır.
- b) **Karşıt akış yöntemi:** Bu yöntemde farin akışı, gaz akışının ters yönünde olmaktadır. Diğer bir deyişle düşey kanalın ağzından soğuk farin verilmekte ve sıcak gazlar alt taraftan kanal içine çekilmektedir. Tozlar kanaldan aşağı dökülürken yavaş yavaş ısınmaktadır.

Bu ısı değişim yöntemlerinde oluşan sıcaklık profilleri Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Paralel akımda ısı değiştiricinin başlangıç noktasında farinle gaz arasında sıcaklık farkı çok olup ısı değiştiricisi içinde farin aşağı dökülürken bu sıcaklık farkı asimptotik olarak azalmaktadır.



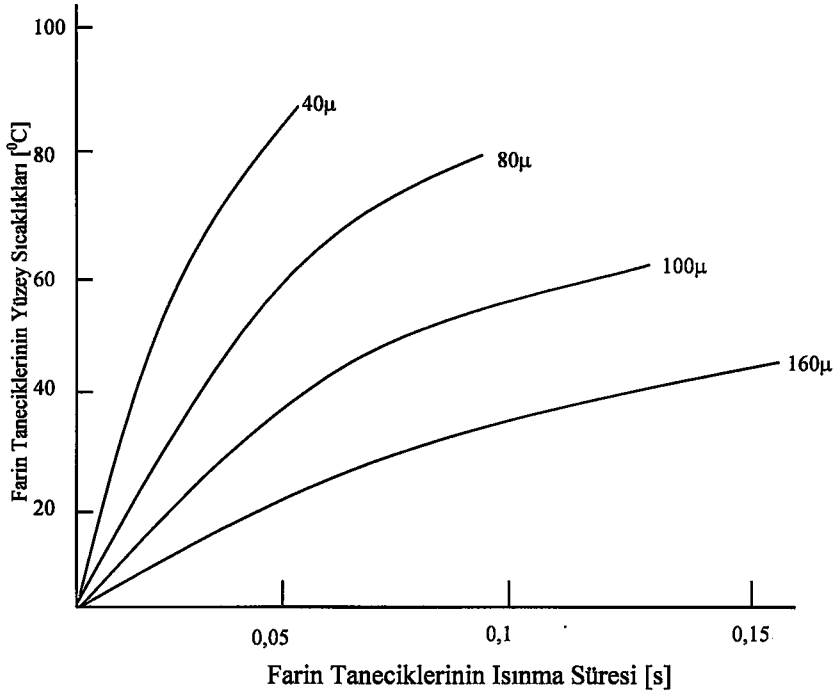
Şekil 3.1 Paralel ve karşıt akım ısı değişiminde sıcaklık profilleri

Karşıt akım yönteminin avantajı ise belirli bir giriş sıcaklığı ve akış hızında farin paralel akım yöntemine göre daha fazla ısınmaktadır.

Süspansiyon ön ısıtıcıların çoğu paralel akım prensibine göre çalışmaktadır. Prosesin ısı etkinliği, birbirine bağlanmış birkaç bölüme ayırmak suretiyle daha da artırılmıştır. Bu şekilde düzenlenmiş ön ısıtıcı karşı akım prensibiyle çalıştırılmaktadır.

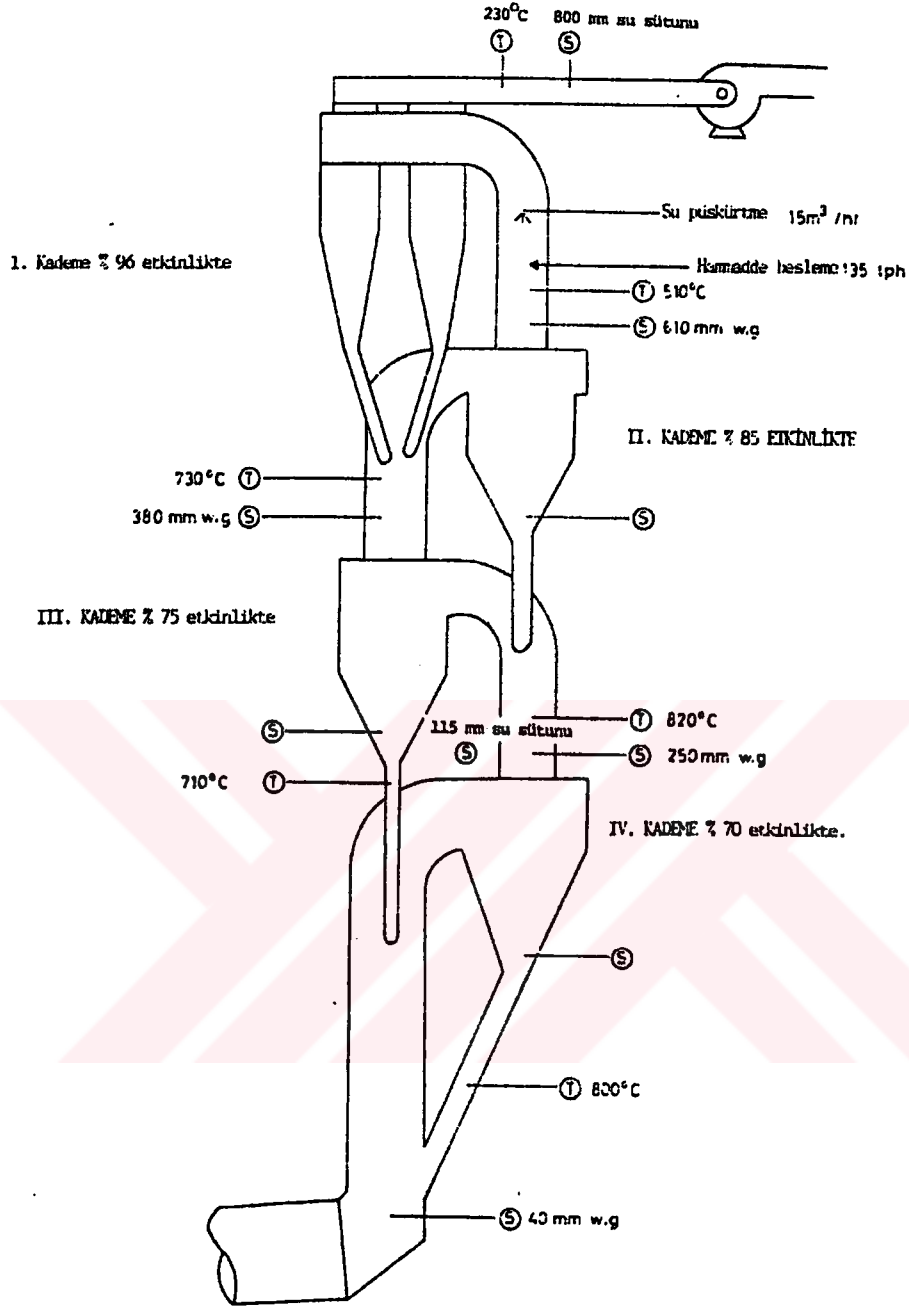
Fırından çıkan sıcak yanma gazları bir dizi siklon ya da kamaradan atık gaz fanı yardımı ile geçirilirken, farin de gazlara ters yönde sisteme sevk edilmektedir. Farin sistem ikinci kademeyi en tepedeki siklona bağlayan kanaldan verilir. En tepedeki siklonda farin gazdan ayrılarak ikinci kademe siklona girer. Bu işlem ön ısıtıcının altına ulaşmaya kadar tekrarlanır. Ön ısıtıcının en altına inen farin Şekil 3.2 de görüldüğü gibi döner fırın içine girer. Her kademe farin düşey bir gaz çıkış kanalının dibine girmektedir. Bu noktalarda farin ile gaz arasında büyük sıcaklık farkları bulunmaktadır.

Farin, gaz tarafından kanal içinde sürüklenir ve sonraki siklona girdiği zaman farin ve gaz artık ısı dengeye ulaşmış bulunmaktadır. Bu hızlı ısı alışverişi (kanal içinde malın kalış süresi 1 saniyeden daha azdır.) çok sıcak olan gazlarda, çok ince taneli olan farinin gaz akımına maruz kalan yüzey alanının büyük olması sayesinde gerçekleşmektedir ($3000-4000 \text{ cm}^2/\text{gr}$). Bu ani olarak farinin ısınmasını sağlar. (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Farin partiküllerinin ısınma derecesi

Siklonlar gerçekte iki ortamı (katı ve gaz) birbirinden ayırmaya yaramakta olup buradaki ısı alışverişi azdır. Malzeme besleme borularındaki kanatlı valfler, gazın kısa devre yapmasını ve dolayısıyla önısıtıcının etkinliğinin azalmasını önlemektedir. Ama bir miktar gaz geçmektedir. IV. kademedeki ve kısmen de III. kademedeki farinin dekarbonasyonu başlar. Önısıtıcıda dekarbonasyon ne kadar fazla olursa fırının boyu da o kadar kısa tutulabilmektedir. Ama genellikle IV. kademedeki % 30 kadar dekarbonasyon olmaktadır. Şekil 3.3 de her kademedeki farin ve gaz sıcaklıkları gösterilmiş olup, şematik olarak paralel akım ısı değiştirici sistemi ve her kademedeki sürükleyici gazın sıcaklığı görülmektedir. Sistemin her kademesindeki bu sıcaklıklar, önısıtıcıların değişik tiplerinde pek fazla farklılık göstermez.



Şekil 3.3 Hope ön ısıtıcısında tipik bir gaz ve farin sıcaklık profili

Önısıtıcı siklonların tasarımı için siklon akışının yanında ısı geçişinin iyi bilinmesi gerekir. Öte yandan bu tip siklonların önemli parametreleri yeterli nitelikte açıklanamamıştır. Siklonunun çalışma prensiplerinin anlaşılması için bazı etken parametrelerin bilinmesi gereklidir. Bunlar ;

- Siklon giriş debisi ve giriş hızı,
- Gaz yoğunluğu,
- Basınç kaybı,
- Siklon geometrisini belirleyen boyutsal oranlar,
- Siklona giren taneciklerin büyüklükleri,
- Isı geçişi

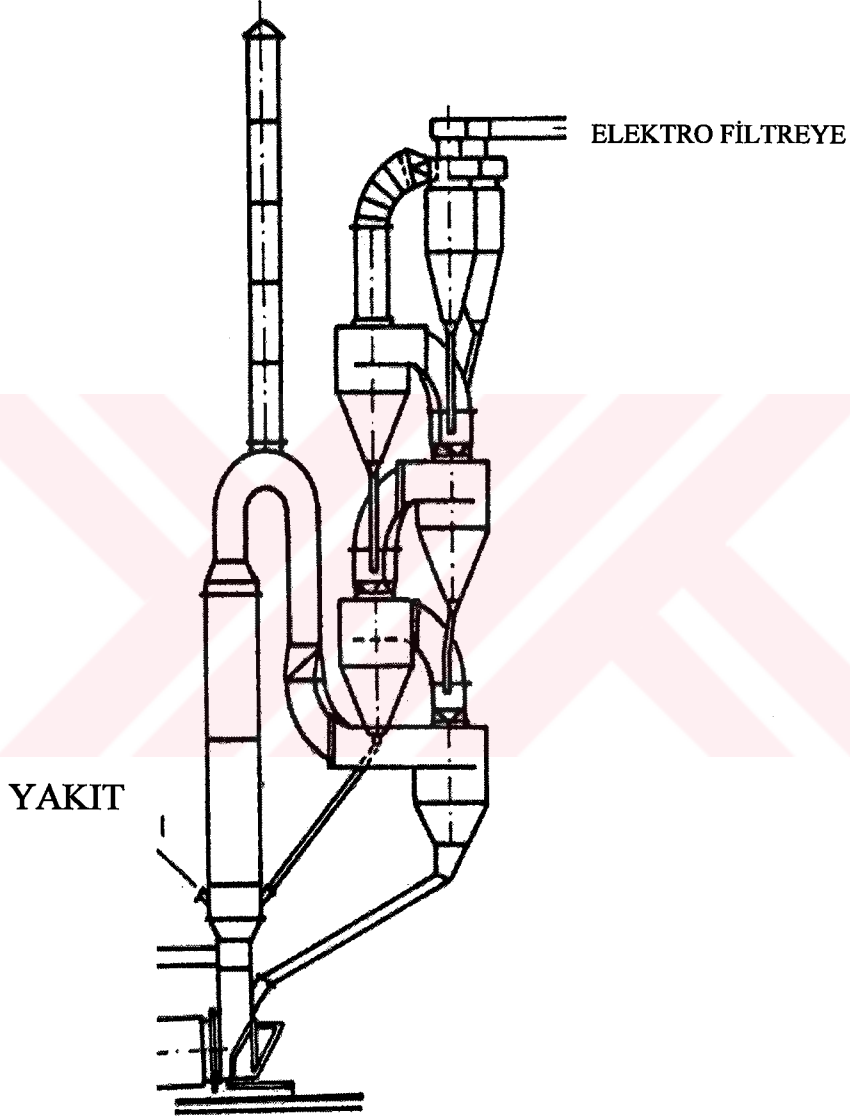
Bu parametrelerin siklon performansı üzerindeki etkileri bu çalışma kapsamında incelenecektir.

3.4. Humboldth Ön ısıtıcı Siklon Reaktörü

Daha önce de bahsedildiği gibi, çimento fabrikalarına süspansiyonlu ön ısıtıcı imal eden çok sayıda firma bulunmaktadır. Bunların çoğu aynı dizaynda olmakla beraber lisanslı olarak üretilmektedir. Genelde birbirine benzer yapıları olan önısıtıcı siklon guruplama şekillerinden burada Humboldth guruplama modelinin tanıtımı yapılacaktır.

Humboldt

Hope ve Plymstock da bu önısıtıcılar kullanılmaktadır, Şekil 3.4 de 1. kademedeki ikiz siklon, öteki kademelerde de aynı boyutla üç siklonlu bir düzenleme görülmektedir. Humboldt sisteminin lisansı ile Fuller, Amerika da ve Japonya da üretim yapılmaktadır. İstenen üretim miktarına göre tek veya çift ön ısıtıcı hattı kurulabilir.



Şekil 3.4 Humboldt ön ısıtıcısı

3.5. Önısıtıcı Siklon Boyutların Tespiti

Atık gaz fanı, gaz akımına karşı sistemin direncini yenerek gazın ön ısıtıcı sisteminden geçmesini sağlar. Sistemin direnci çok önemlidir ve bir çok tesiste fırın verimini kısıtlayan bir faktör olmaktadır. Bu nedenle tasarımdaki ana kriterlerden en basınç kaybıdır. Şekil 3.5 de değişik tipteki önısıtıcı siklon reaktörler için üretim miktarına basınç kaybı değişimleri yer almaktadır.

Ön ısıtıcının tasarımı, kanalların kesit alanları, gazın fanini taşıyabilecek ve dökülmesini engelleyecek hızda olmasını sağlayacak kadar dar olacak şekilde yapılmalıdır. Bu durum özellikle gaz akışının düşük olduğu devreye alınmada çok önemlidir. Ancak kanal kesitlerinin alanı çok küçük tutulursa bu durum çok büyük basınç kayıplarına neden olmaktadır. Ayrıca siklonlar etkin bir ayırıştırma yapacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Ancak etkin ayırmanın yanında yeterince düşük bir basınç kaybına yol açmalıdırlar. Siklon içinde basınç kaybının düşük olmasını gerçekleştirmek için siklon toplama veriminin azaltılarak farinin yeniden sirkülasyonunu attırmak ve sistemin ısıl verimini azaltmak gerekir. Bu nedenle tasarımı yaparken etkinlik optimizasyonunun yanı sıra toplam basınç kaybı ve fan gücünü de hesaba katmak gereklidir.

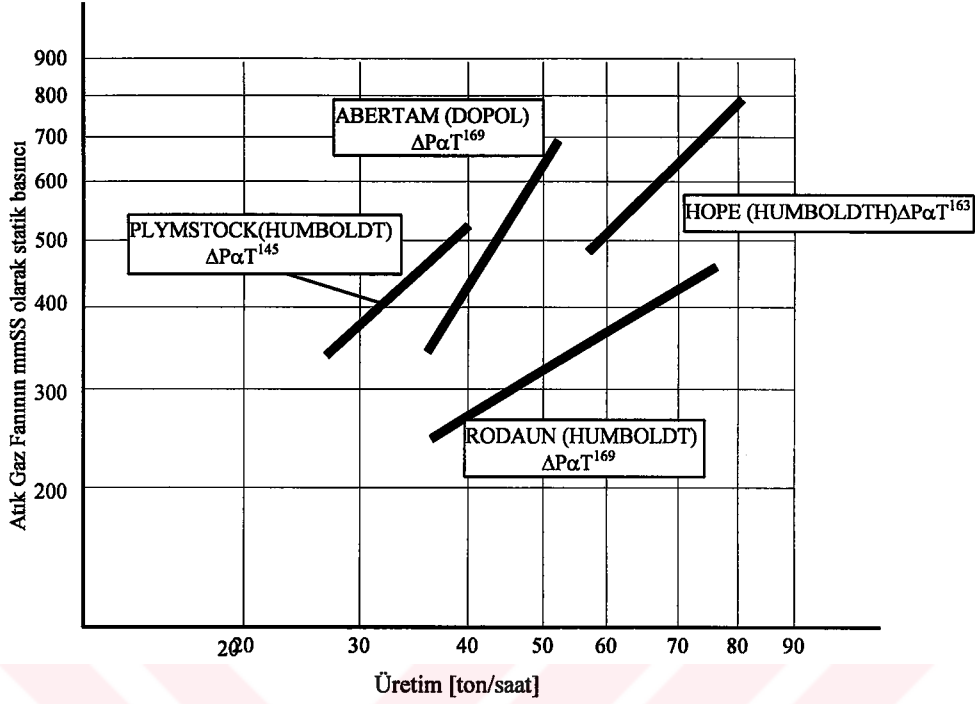
Araştırmalar basınç kayıplarının en fazla siklonlarda meydana geldiğini göstermektedir. Bu nedenle en fazla değişiklik yapılabilecek bölge burası olmaktadır. Bundan dolayı, Humboldt, Polymstock No-1 deki siklon çap/giriş kanalı çapı oranı 2.31 den 2.21'e düşürmüş ve aynı işlemi Plymstock No. 2 ve Hope ön ısıtıcılarında da yapmıştır. Bunlar Tablo 3.1 de gösterilmiştir. Böyle yapmakla kesit alanı % 9 arttırılmış olmakta ve dolayısıyla aynı basınç kaybı için % 9 daha fazla gaz iletilebilmektedir.

Isı geçişi değiştirilmeksizin bu çap oranlarını ne kadar değiştirebileceği sonraki bölümde tartışılacaktır. Örneğin Hope tesislerinde eğer kanalları mevcut tuğlalardan daha iyi bir yalıtkanla, sözgelimi yarı tuğla kalınlığında astarlamak mümkün olabirse, kesit alanı % 20 kadar büyüyebilecek ve aynı basınç kaybı için % 20 kadar daha fazla gaz iletimi mümkün olabilecektir.

Ön ısıtıcıdaki basınç kaybının önemli bir bölümü (% 30 kadar) I. kademedeki ikiz siklonlarda meydana gelmektedir. Böyle yapılmasının nedeni sistemden toz kayıplarını mümkün olduğu kadar azaltılabilmesi için yüksek bir ayırma etkinliğine gerek duyulmasıdır. Görüleceği gibi bu yüksek ayırma etkinliğini sağlamak üzere I. kademe siklonlarının şekli diğer siklonlardan daha farklı olup iç girdap bulucu dalma boruları daha uzundur.

Çimento tesislerindeki pek çok ön ısıtıcı sisteminde 4 kademeli siklon veya kamaralar kullanılmaktadır. Bu, optimum olarak saptanmış bir sayıdır. Siklon kademelerinin sayılarını arttırarak çıkış gazları sıcaklığından daha fazla yararlanma, basınç kayıplarını arttıracığından fan gücünün de ilave siklona cevap verebilecek şekilde arttırılması gerekir. Bu durumda ısıl kazanç yönünden pek bir avantaj sağlanmamış olacaktır.

İntikal kamarası, IV. kademedeki gelen malın sürüklenmesini engelleyecek kadar gaz hızını düşük tutmak fakat aynı zamanda II. kademedeki fırına farin girmesine mani olacak kadar da yüksek olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bununla beraber bazı durumlarda yüksek bir resirkülasyon yükünün oluşmasına meydan vermek avantajlı olabilmektedir.



Şekil 3.5 Basınç kaybı ve üretim ilişkisi

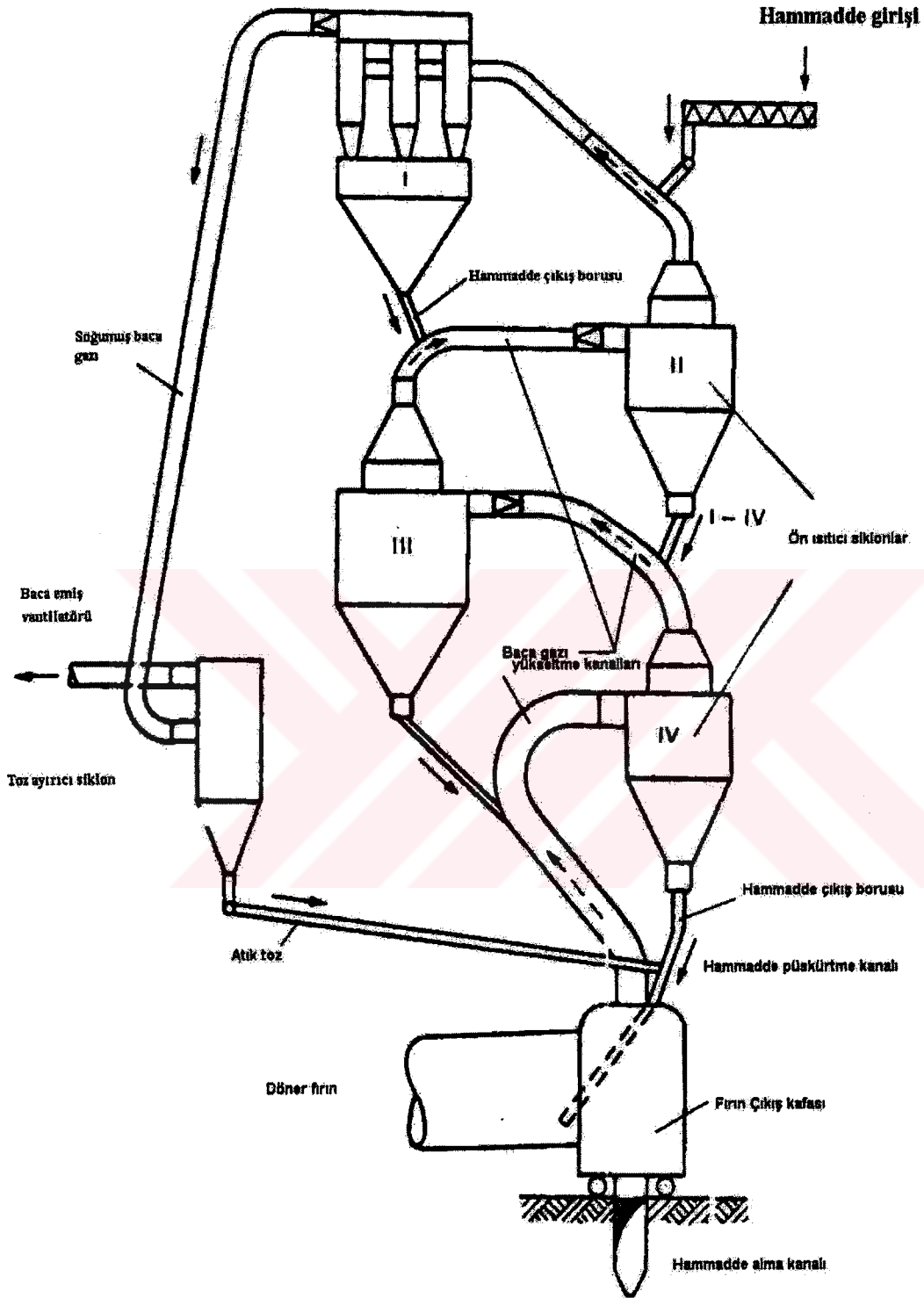
Buradan anlaşılacağı gibi, Şekil 3.6 deki tipik ısıtıcı siklonlarının klasik toz ayırma siklonundan temel farkı, hammaddenin sıcak gazdan tam olarak ayrıştırılmamasıdır. Ancak birbirini takip eden kademelerde farin ısıtılır ve sistem içerisindeki yolda ilerlemeye devam eder. Bunun için ön ısıtıcı siklonun silindirik kısmının yüksekliği, toz biriktirme siklonunun 2/3 ünden daha küçük yapılır. Gaz ve hammadde partikülleri arasında ısı geçişini arttırmak için bütün kademelerdeki siklonlar hemen hemen eşit çapta imal edilirler. Sadece I. kademedeki bir önceki siklondan daha küçük çaplar kullanılır. Eğer siklon çapı uygun genişlikte yapılırsa, silindirik ve konik kısmın yüksekliği daha küçük yapılabilir. Konvansiyonel siklonlarda giriş hızları; $15 < W_g < 25$ m/s arasındadır. 30 m/s lik ve daha yüksek hızlar kullanışlı değildir. Çünkü sadece daha büyük basınç kayıplarına sebep olmazlar, aynı zamanda siklonun biriktirme (çökme) verimini de düşürürler.

Önısıtıcı siklonlar üzerinde yapılan araştırmalar, W_g için daha düşük değerleri (yani 12-14 m/s) ortaya çıkarmıştır. Siklonların dizaynı için, çeşitli teorik yaklaşımlar literatürde yayınlanmıştır,[2]. Bu araştırmalarda $a/b=0.2\div 1.0$ değeri önerilirken genellikle 0.5-0.6 değerleri seçilir.

$a=b$ için olan basınç düşümü, $a/b= 0.6'$ olduğu halden daha fazladır. Tablo 3.1 de verilen siklon çapını hesaplamayla ilgili bağıntılar sunulmuştur,[2]. Bu tablodan açık olarak görüleceği gibi, değişik üreticilerin siklon oranlarındaki boyutlarda önemli farklar vardır. Bu farklılıkları göstermek için incelenen tüm siklon tipleri için, dizayn parametreleri ortaya çıkarılabilir.

Tablo 3.1 Ön ısıtıcı siklon tasarım boyutsal oranlar

BOYUT ORANLARI	Delta-neu		Humboldt		Babcock	Stan- dard	Schröter	Mittelwert e für west
	HR10	HR14	zt	z				
1. Giriş Kesiti								
$h_e/b_e=$	3.8	2.0	1.5	1.0	3.0	2.0	1.0	2.04
$h_e =$	3.8b	2b	1.5b	b	3.0b	2.0b	b	2.04b
2. Siklon Çapı								
$h_e/D_C=$	0.2	0.2	0.22	0.22	0.27	0.20	0.33	0.2-0.4
$D_C =$	a/0.2	a/0.2	a/0.22	a/0.22	a/0.27	a/0.20	a/0.33	0.2-0.4/ D_C
3. Gaz çıkış çapı								
$2r_i/D_C =$	0.6	0.5	0.37	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3-0.6
$2r_i =$	0.6 D_C	0.5 D_C	0.37 D_C	0.5 D_C	0.5 D_C	0.5 D_C	0.5 D_C	0.3-0.6 D_C
4. Toz çıkış hazne çapı								
$2r_u/D_C =$	0.4	0.25	0.20	0.30	0.15	0.4	0.33	0.2-0.4
$2r_u =$	0.4 D_C	0.25 D_C	0.20 D_C	0.30 D_C	0.15 D_C	0.4 D_C	0.33 D_C	0.2-0.4 D_C
5. Siklon yüksekliği								
$H/D_C =$	3.8	2.6	1.9	3.2	3.5	3	4.0	2.0-10
$H =$	3.8 D_C	2.6 D_C	1.9 D_C	3.2 D_C	3.5 D_C	3 D_C	4.0 D_C	2.0-10 D_C
6. Konik kısmın yük.								
$h/D_C =$	1.8	2.0	1.1	2.0	2.5	0.8	2.0	1-8
$h =$	1.8 D_C	2.0 D_C	1.1 D_C	2.0 D_C	2.5 D_C	0.8 D_C	2.0 D_C	1-8 D_C



Şekil 3.6 Tipik bir önısıtıcı siklon reaktör proses şeması

3.6. Akış Karakteristiğinin incelenmesi

Siklon içerisindeki hızlar, dizayn-çalışma-basınç kaybı ve siklonların ayırıştırma derecesi açısından önemli olduğu kadar gaz ve katı partiküller arasındaki ısı geçişi açısından da önemlidir. Hızlar arasında aşağıdaki oranlar önerilmiştir,[2]:

$$W_g / W_a = 3.6 \quad \text{genellikle; } 3.0 < W_a < 8.0 \text{ (m/s)}$$

$$W_i = W_g / (1.4 \dots 1.5) \text{ (m/s)} \quad \text{genellikle; } 10.0 < W_i < 14.0$$

Yükseltici kanaldaki gaz hızı W_s ve siklondan çıkış hızı W_a , akışın farklı tipleri için aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

a) Önsıtıcı siklonların karakteristiği, laminer akış için: ($Re < 1000$)

$$Re = W_{s,a} \cdot d / \nu_g ; \quad (3.1)$$

$$W_s = 0.22 d_{\max} \cdot K_w \sqrt[3]{\left[\left(\frac{\gamma_M}{\rho_g} \right)^2 \frac{1}{\nu_G} \right]} \quad (3.2)$$

$$W_a = 0.22 d_{\min} \cdot K_w \sqrt[3]{\left[\left(\frac{\gamma_m}{\rho_G} \right)^2 \frac{1}{\nu_G} \right]} \quad (3.3)$$

İfadeleri verilir.

b) Türbülanslı akış için: (Re>1000)

$$W_s = 1.67 \left(d_{\max} \frac{\gamma_M}{\rho_g} \right)^{0.5} K_w \quad (3.4)$$

$$W_a = 1.67 \left(d_{\min} \frac{\gamma_M}{\rho_g} \right)^{0.5} K_w \quad (3.5)$$

ifadeleri kullanılır. Burada

- γ_M = Katı partiküllerin özgül ağırlık, (N/m³)
 d_{\max}, d_{\min} = max ve min ortalama partikül çapı (10-20x10⁻⁶m)
 ρ_g', ρ_g'' = Siklona giren ve çıkan gazın yoğunluğu, (kg/m³)
 v_g', v_g'' = Siklona giren ve çıkan gazın viskozitesi, (m²/s)
 K_w = Emniyet katsayısı (genelde 1.5-3.0)

3.7. Önısıtıcı Siklonlarda Basınç Kayıpları

Önısıtıcı ve siklonlardaki basınç düşümü hesaplamalarında çeşitli denklemler önerilmiştir.

Giriş gazındaki toz konsantrasyonuna göre

$$\Delta P = \zeta_c \frac{W_g^2}{2g} \gamma_g (1 + X) \quad (N/m^2) \quad (3.6)$$

ile verilir,[2]. Burada

γ_g = Gazın özgül ağırlığı (N/m^3)

X = Gazdaki toz konsantrasyonu (kg/kg)

ζ_c = Standart siklonlar için 7, Siot siklonları için 4.2, Liot için 2.8, Niogaz için (2.7-4.8) arasındadır.

Özgül ağırlığa göre basınç kaybı ise

$$\Delta P = \zeta_c \frac{W_g^2}{2g} \gamma_g \quad (N/m^2) \quad (3.7)$$

ile belirlidir.

Burada ζ_c değeri, CKKb siklonları için 2.5, WTI için 6 ve Niogaz için 7' dir. Eğer siklon girişindeki statik (h_{st}) ve dinamik (h_d) biliniyorsa, ζ_c değeri (3.8) denkleminle ifade edilir:

$$\zeta_c = h_{st} / h_d \quad (-) \quad (3.8)$$

WTI siklonları için $Re < 1000$ ise:

$$\zeta_c = 13 / (Re^{0.5}) \quad \text{ve} \quad Re > 1000 \quad \text{ise} \quad \zeta_c = 0.48 \quad \text{alınır.}$$

Basınç kaybı için basitleştirilmiş bir ifade

$$\Delta P = 0.4 W_g^2 \cdot \gamma_g \quad (N/m^2) \quad (3.9)$$

şeklinde verilir[2].

Çıkış hızı hesaba katılarak yapılan hesaplama

Giriş kesitindeki basınç düşümünden başka, göz önünde tutulan çıkış kanalında basınç kaybı vardır. Ancak bu kayıplar önemli bir etkiye sahip değildir. Dört kademeli siklon önsütcüsü içindeki basınç düşümü $500 < \Delta P < 1000$ (N/m^2) aralığında olabilir. Tüm önsütcü sistemdeki basınç kaybının, tek tek siklonlarla birleştirilenden sadece yaklaşık %10 daha fazla olduğu ortaya çıkar. 'Soğuk model' üzerine dayanan çalışmalarda, basınç kaybı, alternatif olarak aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir.

$$\Delta P = \frac{\gamma_G w_G^2}{2} \left[\left(\frac{R_C}{R_0} \right)^2 - 1 \right] = \frac{\gamma_G}{2} (w_G^2 - w_A^2) \quad (\text{N/m}^2) \quad (3.10)$$

$$\zeta_c = 11.0 (a.b/D_w^2) \quad (3.11)$$

Burada R_c ve R_0 (m) sırasıyla siklon ve ortalama girdap yarıçaplarını gösterirler.

Eğer kanal çıkışı, klavuz kanatlarla tasarlanmışsa 3.11 denkleminde 11.0 faktörü 5.5 olarak yerine koyulabilir. Sadece çelik saçtan yapılan siklonlar için gazın sürtünme katsayısı

$$\omega = 0.005.(1+3.x^{0.5}) \quad (3.12)$$

ile hesaplanabilir.

Önisıtıcılardaki siklonlar, genelde 200-300 mm kalınlıktaki refrakter malzemeye kaplandığından sürtünme katsayısı, seramik kanallarda, borularda ve benzerlerinde karşılaşılanlardan daha büyük olur.

3.8. Önisıtıcı Siklon Reaktörlerde Isı Geçişı

Siklon kademelerindeki ve yükseltici kanallardaki hammaddeyi ısıtma paralel akışta olurken tüm sistem karşıt akımlı olarak çalışır. Döner fırından çıkan baca gazı 800-1100 °C sıcaklıkta dip siklon kademesine girer. Gazın bütün ön ısıtıcı sistemden çıkıştaki sıcaklığı 200-350 °C'dir. Hammadde yaklaşık 30 °C'den 700-800 °C'ye kadar ısıtılır, bu kısmi kalsinasyon ile beraber gerçekleştirilir.

Tablo 3.2de Federow sayısına göre, ısı geçiş katsayısını, gaz hızını hesaba katmadan sadece partikül çapı ve özgül yoğunluğu kullanarak hesaplamak mümkündür.

Tablo 3.2 Ön ısıtıcı siklon reaktörlerin ısı tekniği formülleri,[2]

	α_F - Isı geçiş katsayısı (kcal/m ² h ⁰ C)
Federow sayısı	ΔT - Sıcaklık farkı (°C)
1. $Fe = d_m \left[\frac{4}{3} \frac{g}{\xi^2} \left(\frac{\gamma_R}{\gamma_g} - 1 \right) \right]^{-0.333}$ -	ξ - Gaz viskozitesi (m ² /s)
Ön ısıtıcı siklonda	γ_R, γ_g - Katı (R) ve gazın (g) özgül ağırlıkları (N/m ³)
2. a) $25 < Fe < 100$ $Nu = 0.40 Fe^{0.895}$ -	d_m - Ortalama partikül çapı (m)
b) $100 < Fe < 700$ $Nu = 0.83 Fe^{0.735}$ -	λ - Gaz ısı iletim katsayısı (kcal/m h ⁰ C)
ısı transfer katsayısı	g - Yerçekimi ivmesi (m/s ²)
3. $\alpha_F = 0.40 \frac{\lambda}{d_m} Fe^{0.895}$ kcal/m ² h ⁰ C	

Isı geçiş katsayısı hesaplamak için karışımdaki partiküller için ısı geçiş katsayısının hesabı için

$$Nu = 2.0 + (0.4 Re^{1/2} + 0.06 Re^{2/3}) Pr^{0.4} (\mu/\mu_s)^{0.25} \quad (3.13)$$

$$Re = \frac{W d_m}{\nu} \quad (3.14)$$

$$Nu = \frac{d_m \alpha}{\lambda} \quad (3.15)$$

olarak verilir,[31].

BÖLÜM 4. LİTERATÜR

Önısıtıcı siklonların akış karakteristiği ve geometrik boyut tasarımı ile ilgili birçok araştıma yapılmış olmasına rağmen sıcak gazların akış karakteristiği ve ısı değiştirici olarak kullanılan siklonlarla ilgili genel bir metot mevcut değildir.

Siklonların geometrik tasarımı ile ilgili genel bir metot FRITZ, KERN [1] tarafından verilmiştir. Önısıtıcı siklonlarla ilgili olarak LUDERA [2], bu tür siklonların seçimi basınç kaybı, siklon giriş-çıkış hızı ve partikül ile gaz arasındaki ısı transfer katsayısının bulunmasıyla ilgili çalışmalar yapmıştır.

Siklonlarda, yüksek miktarda FCC (Fluidized bed Coal Cumbustion) katalizatöründen alınan partikülü dozajlayarak basınç kaybı ve toz tutma verimini inceleyen FASSANI [3], deneylerinde 20 kg partikül/kg gaz konsantrasyonu için 18 ve 27 m/s ortalama giriş hızını kullanmış ve deneylerinde 12kg part./kg gaz'ın üzerinde toz tutma veriminin arttığını basınç kaybının azaldığını, bunun yanında siklona giren karışım hızının 18 m/s deki toz tutma veriminin, 27 m/s dekinden daha fazla olduğunu gözlemlemiştir.

BOHNET [4], Sıcaklığın toz tutma verimi üzerine etkisini incelemiş, siklonda sıcaklığa bağlı duvar katsayısı modelini geliştirmiştir.

KALAFATOĞLU [6], bilgisayar yardımıyla konvansiyonel bir siklonunun tasarımını incelemiştir.

HOFFMANN [7], siklon toz toplama kabına kadar oluşan vortex uzunluğunun son noktasındaki tasarım geometrisiyle ilgili yaptığı iki değişik deneyle önerdiği iki korelasyonu karşılaştırmıştır.

Petrol yakan endüstriyel tesisler için ön temizleyici siklonlarla ilgili bir matematik model kuran RAMACHANDRAN [8], minimum basınç kaybının, maksimum tutma veriminin olduğu bir siklon çapında oluştuğunu deneysel çalışmalarıyla gözlemlemiştir.

VEDERNIKOV [9], toz tutma verimiyle ilgili siklona giren gaz hızının maksimum sınırını veren bir formül önermiştir.

Siklonda meydana gelen basınç kayıpları ve toz tutma verimi ile ilgili iki değişik hesaplama metodu veren BOHNET [10], bu modellerden birinde basit fiziksel kabullerden yola çıkmış diğerinde ise akış alanında türbülans varlığı düşünülerek fiziksel tanımlamalara yer vermiştir.

KARPOV [11], giriş ve çıkış akış şartlarının toz tutma verimine etkisini analiz etmiş bu yolla siklonun geometrik parametrelerini optimize etmiştir.

ZHU [12] değişik boyut dağılımına sahip katı maddeleri değişik debilerde ve değişik geometrik boyutlara sahip küçük siklonlarda test ederek bu parametrelerin toz tutma verimine etkisini incelemiştir. Sonuç olarak siklon giriş debisinin ve silindirik kısım yüksekliğinin artışıyla verimin arttığını gözlemlemiştir.

Siklonda meydana gelen hız dağılımını PHOENICS kodunu kullanarak 3 boyutlu olarak simüle eden FRASER [13] bu simülasyonun deneysel verilere uyumlu olduğunu göstermiştir.

RAMESOHL [14], çimento fabrikalarında kullanılan Humboldt önısıtıcı siklonlarının 40 yıllık tarihsel gelişim sürecini incelemiştir.

ONTKO [15], tanecik boyut dağılımı ile toz tutma verimi arasındaki ilişkiyi deneysel sonuçlarını kullanarak bir korelasyon halinde sunmuştur.

Siklonda meydana gelen basınç kayıplarının siklon giriş geometrisi ile ilgilendiren FEI [16], siklona giren gaz hızının arttığı bütün değerler için 3 değişik giriş dikdörtgeninin yüksekliği arttıkça basınç kayıplarının azaldığını kesit alanının artışında ise basınç kayıplarının arttığını gözlemlemiştir.

BAKARI [17], 0.2 kg/m^3 konsantrasyonda dozajladığı partikülü 10-45 m/s hız aralığında dalma derinliğini, giriş dikdörtgeninin enini ve çıkış boru çapını değiştirerek basınç kayıpları ve tutma verimi değişimlerini incelemiştir.

COKER [18], konvansiyonel siklonların tasarımı ile ilgili bir algoritma geliştirmiştir.

HEUMANN [19], tanecik boyut dağılımının ve siklon üst kapak geometrisinin tutma verimine etkisini incelemiştir. Partikül büyüklüğünün tutma verimini arttırdığını gözlemiştir.

Siklon içindeki hız dağılımının siklon verimine etkisini inceleyen CLIFT [20], bu konuda iki matematik model kurmuştur.

Siklon giriş geometrik yapısının siklondaki gaz akımı üzerindeki etkileri AMREN[21], tarafından incelenmiştir.

YAZDABADI [22]'nin çalışmasında, siklonda meydana gelen girdap dönme sayısı ve Re sayısı arasında bir matematik model geliştirilmiştir

Siklon akışının 3 boyutlu bir modeli, GORTON [23] tarafından geliştirilmiştir.

Eksenel siklonlarda toz tutma verimi KLUJSZO [24] tarafından ele alınmıştır.

Çok girişli siklonların tasarım metotları MOORE [25] tarafından sunulmuştur.

Yüksek basınçlı sistemlerde kullanılan siklonlarla ilgili MUSCHELKNAUTZ [26] deneysel bir çalışma yapmıştır.

Çok girişli ve kademeli siklonlarla ilgili deneysel bir çalışma SHI MIX [27] tarafından yapılmıştır.

Çimento prosesinde kullanılan döner fırın sisteminin ısıl analizi ilgili ENGİN [28] tarafından yapılmıştır.

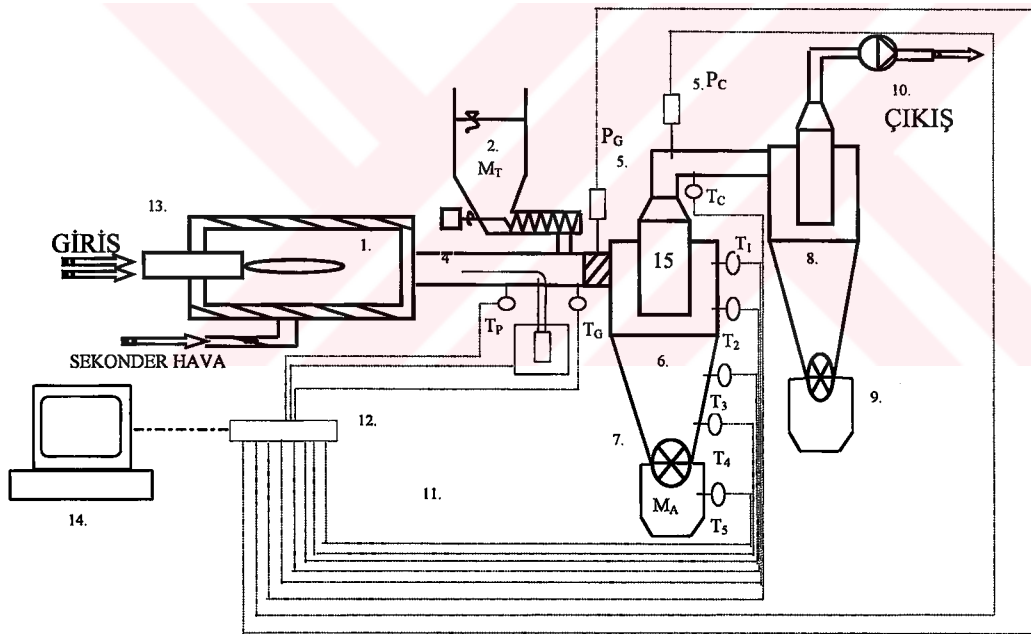
ÇENGEL [29], Siklon akışıyla ilgili teorik anlamda akışı kitabında açıklamaktadır.



BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Deney Düzeneği

Bir önısıtıcı siklonun basınç kaybı, toz tutma verimi, geometrik parametreleri ve ısı özelliklerinin birbirleri ile ilişkileri incelemek üzere bir deney düzeneği tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü Şekil 5.1 de verilmiştir.



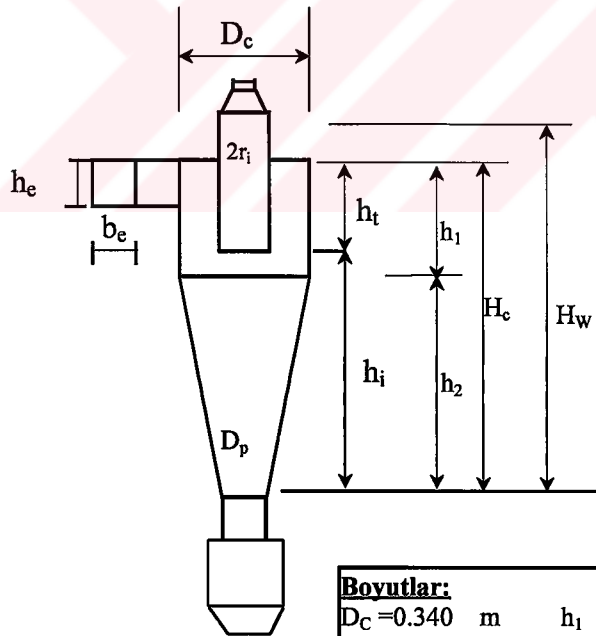
Şekil 5.1 Önısıtıcı siklon deney düzeneğinin şematik görüntüsü

1. Yanma odası
2. Farin dozajlama ünitesi
3. Debi ölçer (pitot tüpü, fark basınç transmitteri)
4. Boru
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
12. Veri Toplama Kartı
13. Brülör
14. Bilgisayar ve scada programı
15. Dalma borusu

Deney düzeneğinde yanma odasında (1), bir motorin 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 dozajlanmaktadır (2). Partiküllü ve partikülsüz yapılan deneylerin tamamında siklon girişinden çıkışına kadar 8 noktadaki sıcaklıklar termokupllar 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).

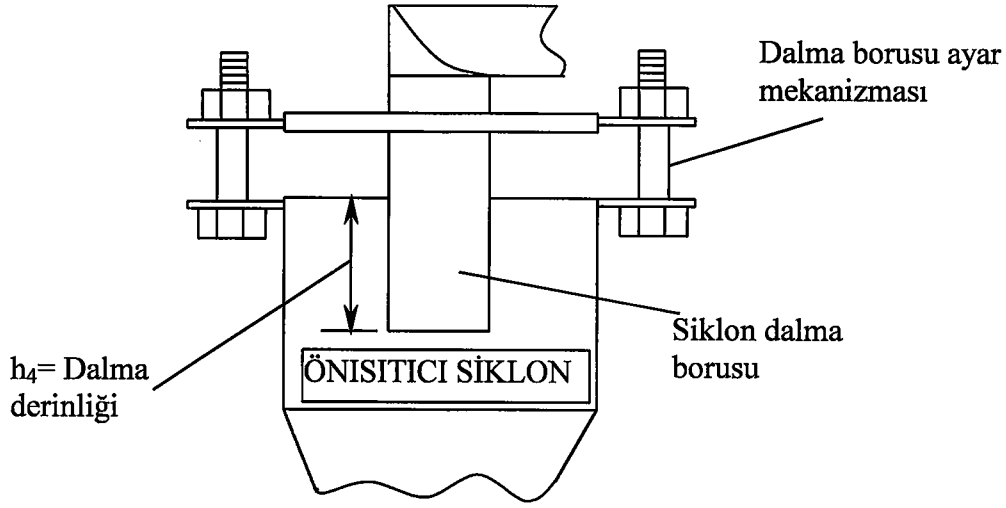
Deney Siklonu

Deneylerde kullanılan önsıtıcı siklon reaktör bir Humboldth tasarım modelidir. Bu önsıtıcı siklonun şematik görünümü ve boyutları Şekil 5.2 de görülmektedir.



Şekil 5.2 Humboldth tipi önsıtıcı deney siklonun boyutları

Dalma borusu derinliğinin ayarlanması

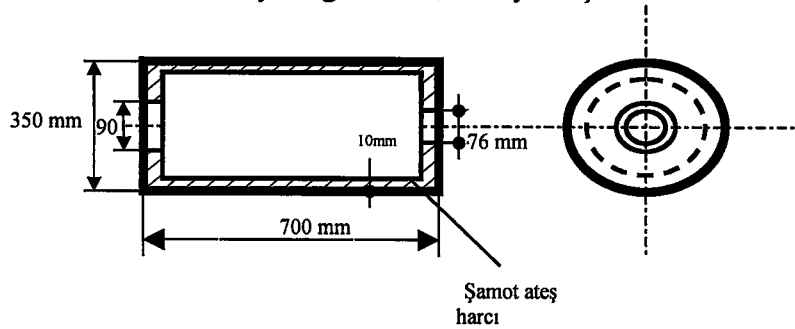


Şekil 5.3 Siklon dalma boyu ayarlama mekanizması

Siklondaki dalma derinliğine bağlı olarak ortaya çıkan toz tutma verimi ve basınç kaybını incelemek için tasarlanan mekanizma Şekil 5.3 de görülmektedir. Burada dalma derinliği h_4 , 10 mm den 220 mm ye kadar 8 değişik boyda olabilmektedir.

Yanma odası ve brülör

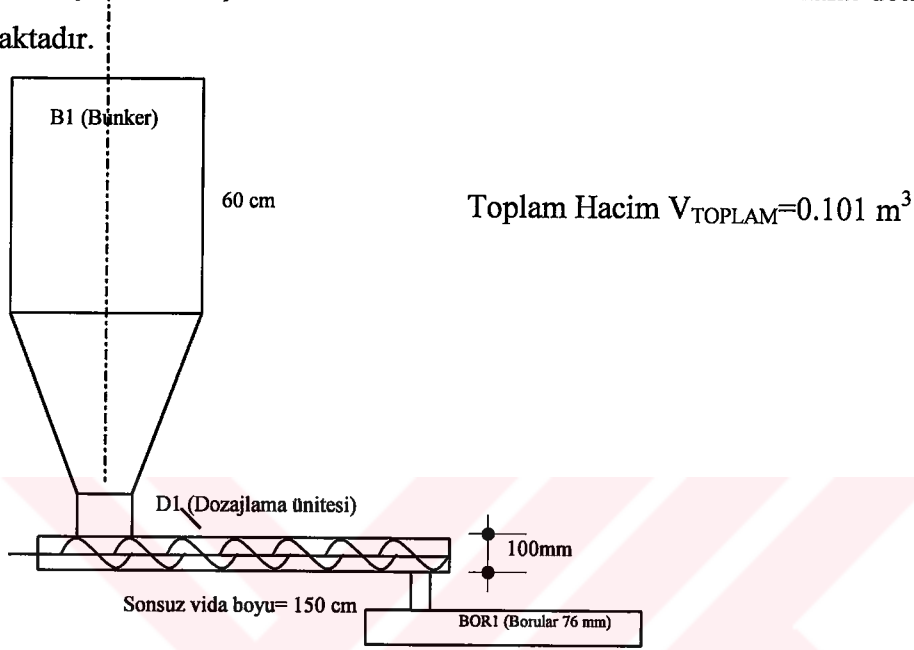
Deney tesisinde çapı 350 mm ve boyu 700 mm olan aynı zamanda içi 10 mm refrakter şamot harcıyla kaplanmış, yanmanın gözlenmesi ve sekonder hava ihtiyacını karşılamak için yanma odası üzerine menfezler yerleştirilmiştir. Yanma odasında, 13-35 kW ısı gücü 1.1-3 kg/h yakıt debisine sahip bir motorin brülörü bulunmaktadır. Yanma odasıyla ilgili imalat detayları Şekil 5.4 de verilmektedir.



Şekil 5.4 Yanma odası

Farin dozajlama ünitesi

Siklona giren sıcak gaza istenilen oranda farin dozajlamayı sağlayan bu ünite bunker, helezon kovani, redüktörlü motor ve frekans invertörü olmak üzere 4 kısımdan oluşmaktadır. Şekil 5.5 de bunker ve helezon kovanın imalat detayları yer almaktadır.



Şekil 5.5 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 (5.1) eşitliği kullanılarak akış hızı, aynı zamanda siklon giriş kesit bilindiğinden akış debisi hesaplanmış olur.

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (5.1)$$

$$Q=V A \quad (5.2)$$

burada akışkan yoğunluğu ρ 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.

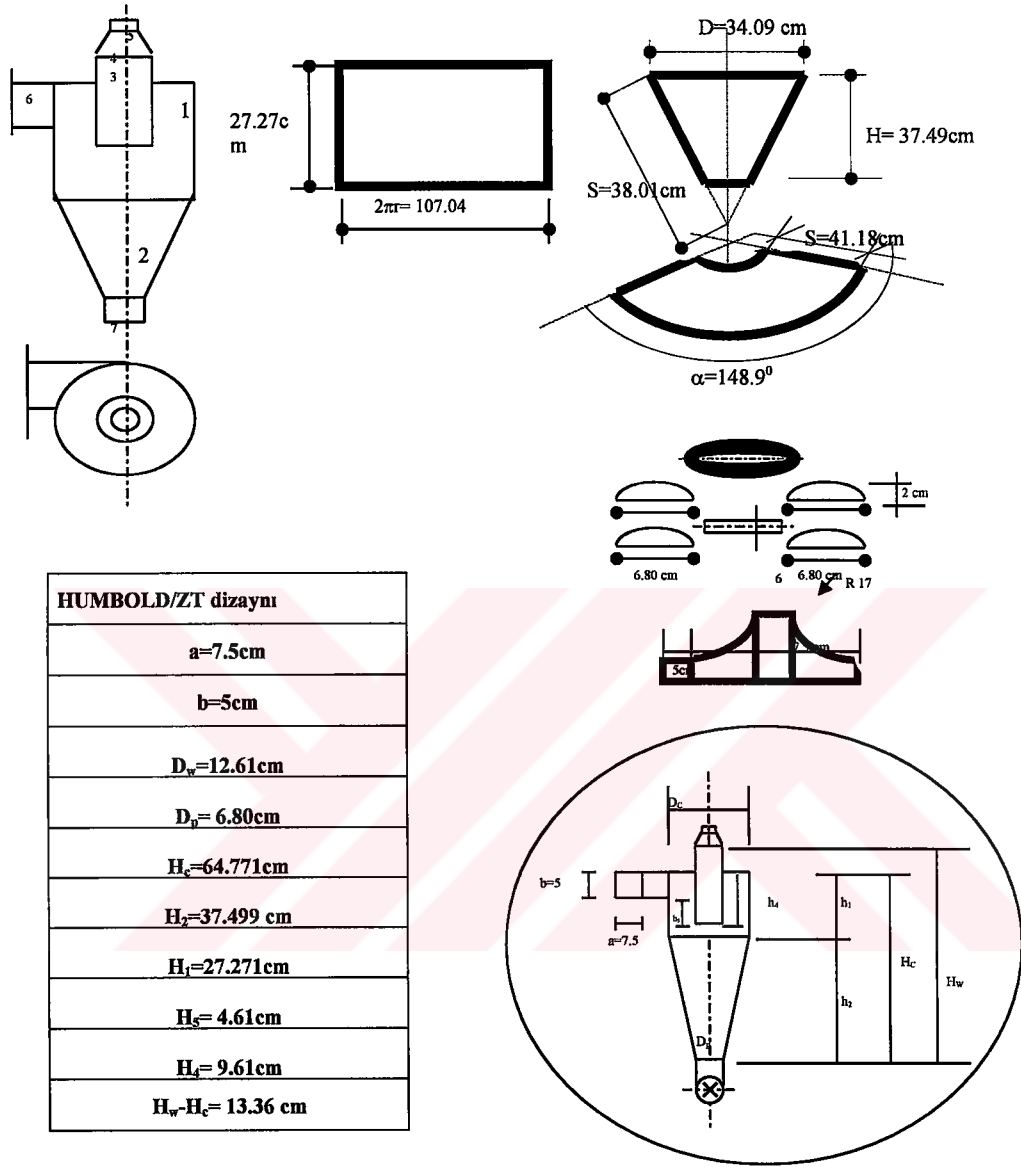
Sıcaklık transmitterleri

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

Vantilatör

Önsıtıcı 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.

Önisıtıcı Siklon Reaktör



Şekil 5.6 Önisıtıcı siklon reaktörle ilgili imalat detayları

Şekil 5.6 da imalat detayları verilen önisıtıcı 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 bir çok 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 momenti bilgilerini hem analog değer (4-20mA) olarak hemde dijital ekrandan kullanıcıya sunmaktadır.

Deney düzeneğinin ve bazı kısımların resimleri Şekil 5.7-5.24 de toplu halde verilmiştir.



Şekil 5.7 Deney düzeneğinin genel görünümü



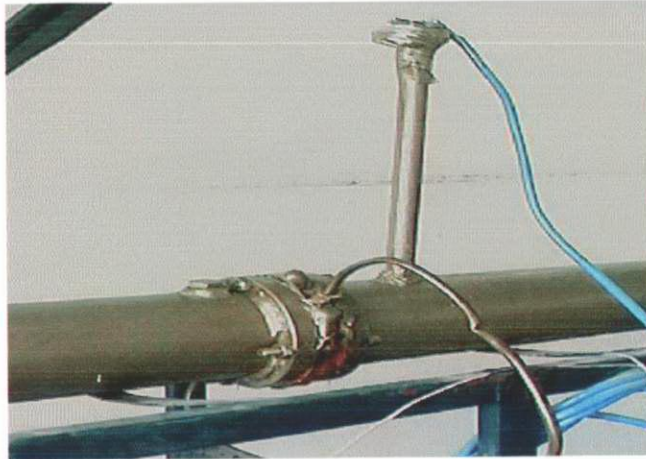
Şekil 5.8 Deney düzeneğinin önden görünümü



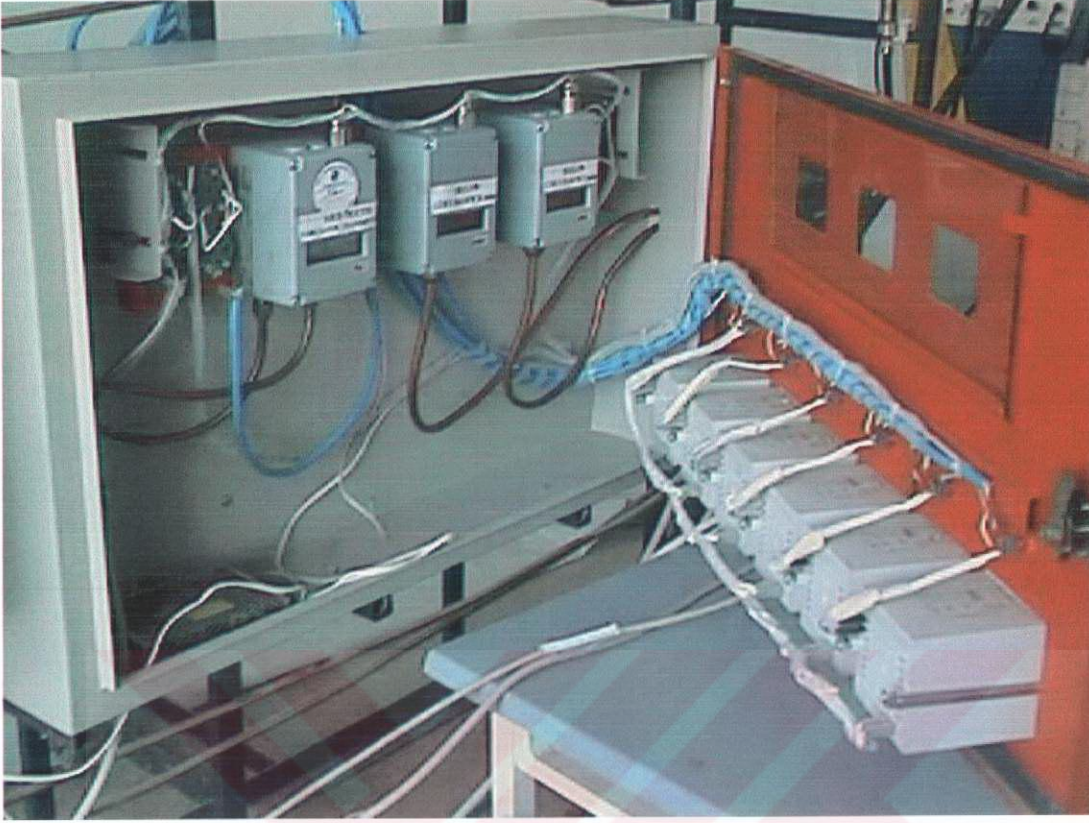
Şekil 5.9 Yanma odası, brülör ve yakıt tankının genel görünümü



Şekil 5.10 Yanma odası gözetleme delikleri ve sekonder hava ihtiyaç menfezleri



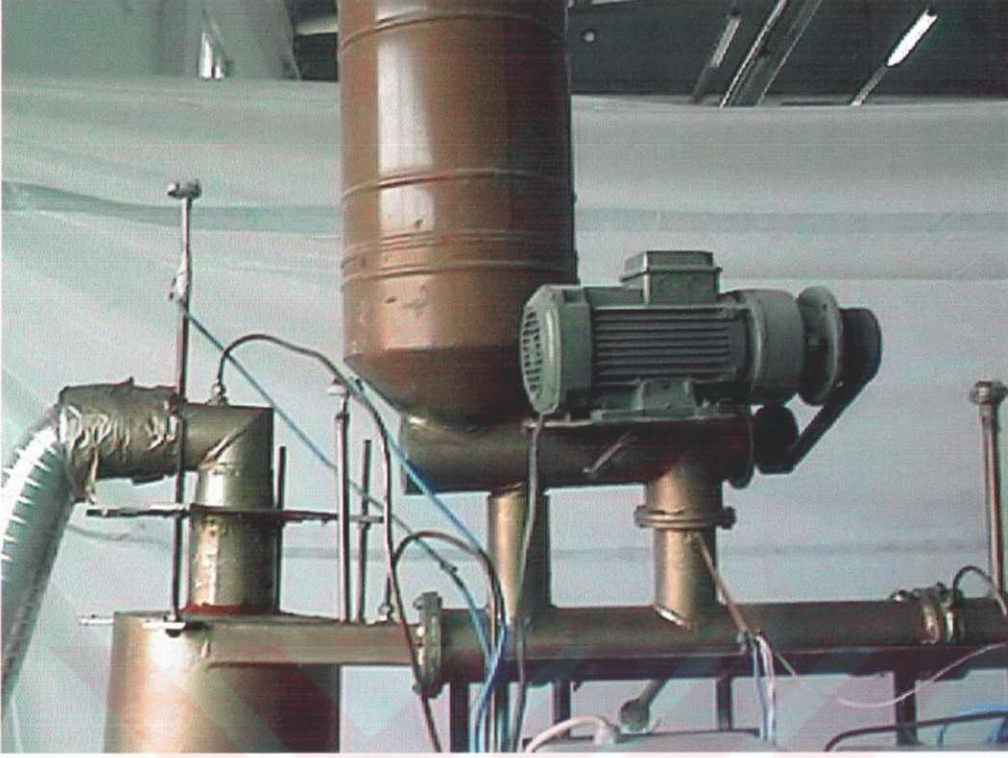
Şekil 5.11 Pitot tüpü ve termo eleman



Şekil 5.12 Kontrol panosu



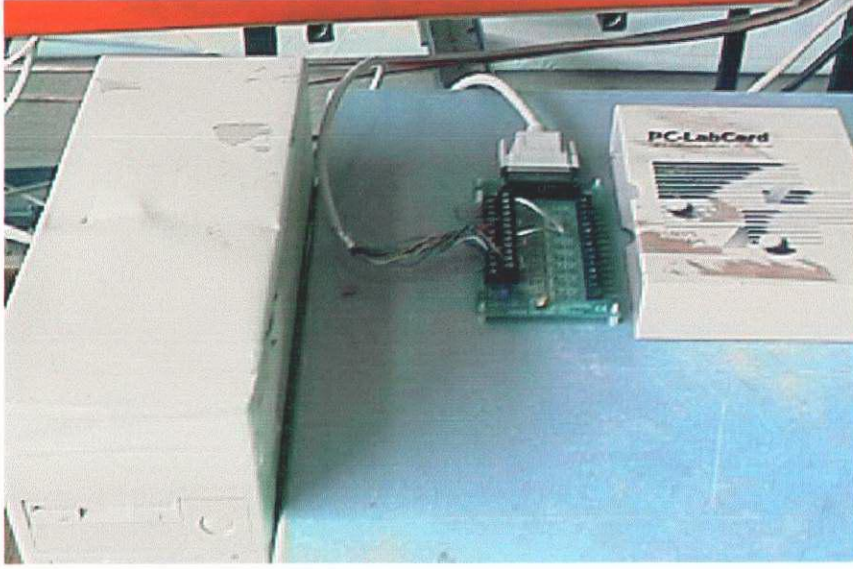
Şekil 5.13 Basınç transmitterlerinin ve sıcaklık göstergelerinin ön görünümü



Şekil 5.14 Farin dozajlama ünitesi



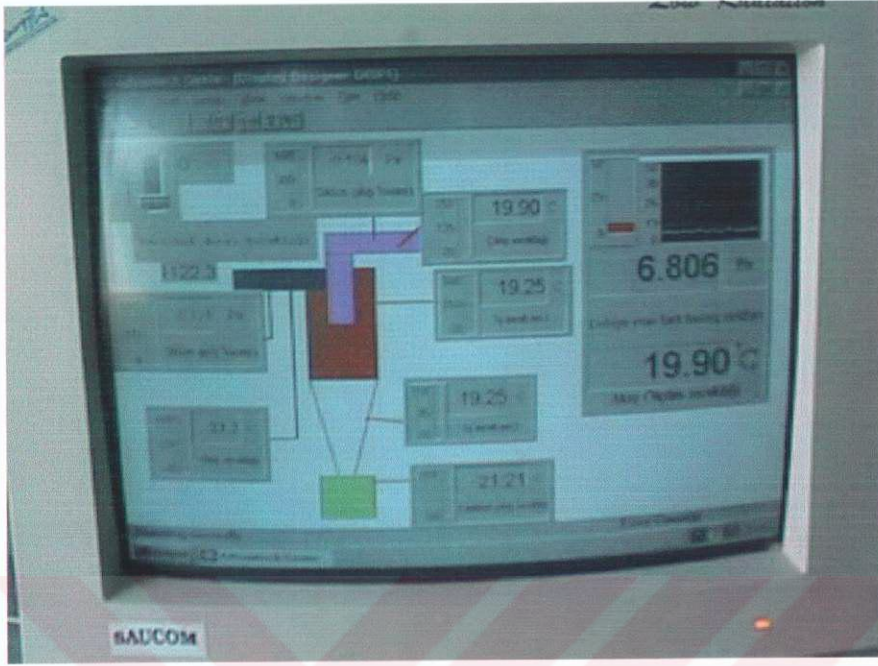
Şekil 5.15 Vantilatöre yol veren frekans invertörü



Şekil 5.16 Bilgisayar, Veri toplama kartı ve Scada kartı



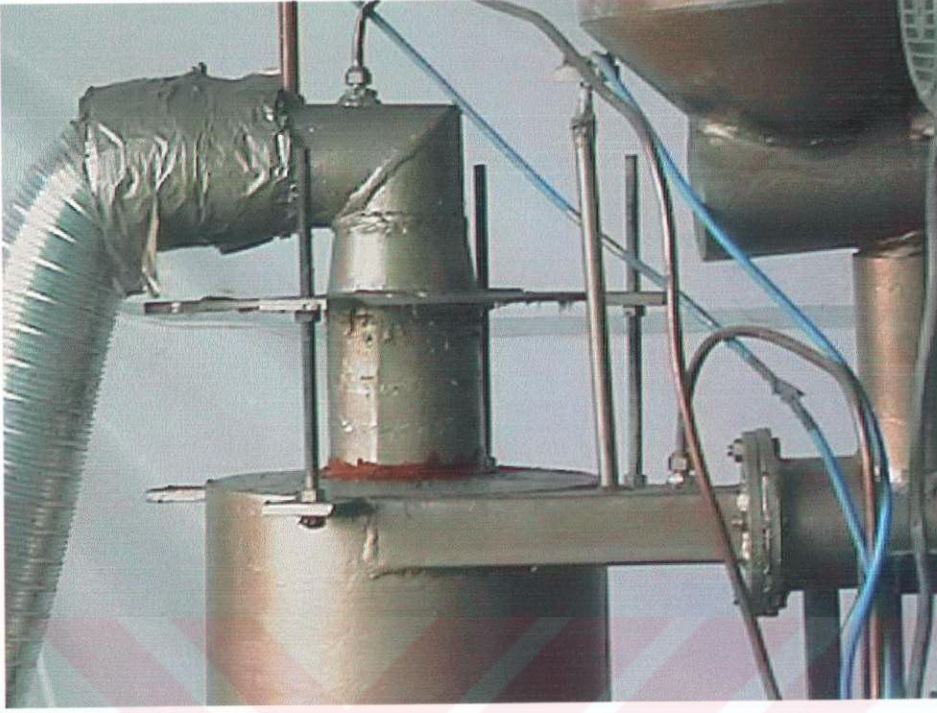
Şekil 5.17 Bilgisayar Scada kartı ve kontrol ünitesinin genel görünümü



Şekil 5.18 Scada programı GENIE programıyla deneyin simülasyonu



Şekil 5.19 Deney Önisitıcı Siklonu



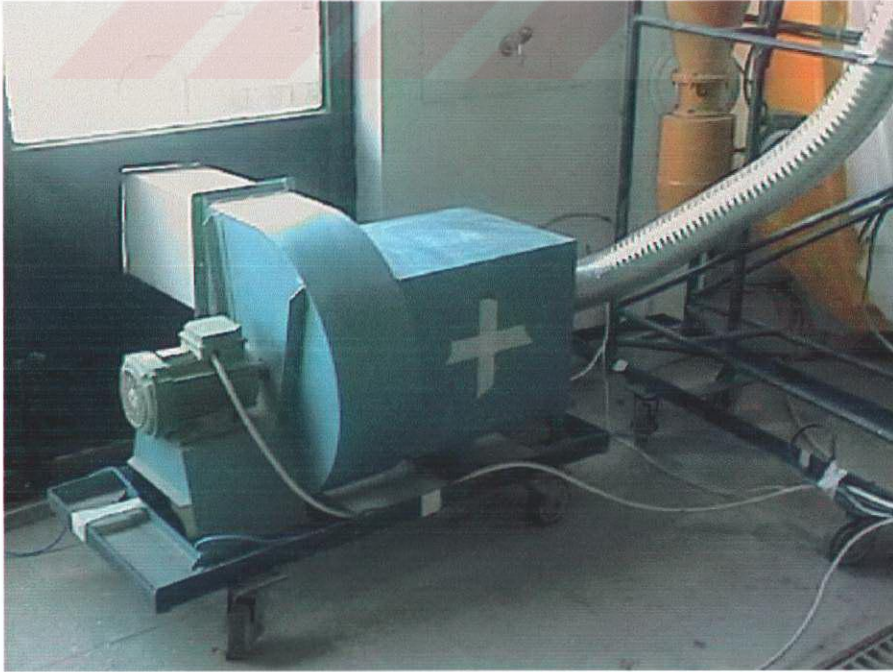
Şekil 5.20 Önısıtıcı Siklon Dalma boyu Ayarlama Mekanizması



Şekil 5.21 Önısıtıcı Siklon Toz Toplama Haznesi



Şekil 5.22 Önısıtıcı siklon ve vantilatör Bağlantısı



Şekil 5.23 Vantilatör



Şekil 5.24 Önisitücüya bağlı termokupllar

5.2. Ölçü Aletlerinin Kalibrasyonu

Bilindiği gibi ölçü aletlerinin imalatçılar tarafından yapılan kalibrasyonları zamanla veya kullanıma dayalı olarak bozulabilmektedir. Bu da ölçülecek olan fiziksel büyüklüğün hatalı ölçülmesi sonucunu doğurmaktadır. Bu yüzden belirli periyotlarla basınç ölçerlerin ve debi ölçerlerin kalibrasyonu yapılmıştır.

Sürücünün motora adaptasyonu

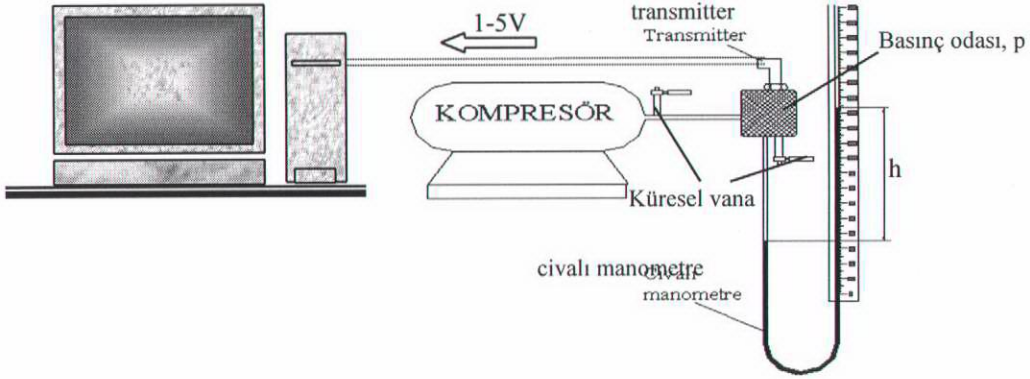
Deney düzeneğinde bulunan sürücü maksimum 5.5 ve 7 kW güce kadar her güçteki motora yol verebilecek özellikte olduğundan kendisine bağlanan motor(lar)a ait bilgilerin tanıtılması gerekir. Bunun için P081-P085 arasındaki 5 parametreye motorun bilgileri yazılır. Kullanılan motorlar için bu bilgiler; P081=50 Hz, P082=1497 d/d, P083=5/2.9 A, P084=380 V, P085=0.78/1.1 kW olarak verilmiştir.

Debi-ölçer için kullanılan fark basınç ve siklon girişi ile çıkışına konulan normal transmitterinin kalibrasyonu

Kalibrasyon deneylerinin önemli bir bölümünü basınç ölçerlerin kalibrasyonu oluşturmuştur. Basınç ölçerlerin belirli periyotlarla kalibre edilmeleri zorunludur. Çünkü çift faz akışına maruz kalan sensör ağızları son derece hassastır ve bu tür elektronik ölçüm yapan cihazların kalibrasyonu kısa sürede bozulabilmektedir. Bu işlem için Şekil 5.25 de görülen kalibrasyon birimi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kalibre edilecek basınç ölçer, basınç odasına bağlandıktan ve sızdırmazlık sağlandıktan sonra kompresör ile içerisine belirli bir basınçta hava gönderilir. Bu esnada su seviyeleri arasında bir h sapması meydana gelir. Havanın hidrostatik basınç etkisi ihmal edilirse, basınç odasındaki basınç,

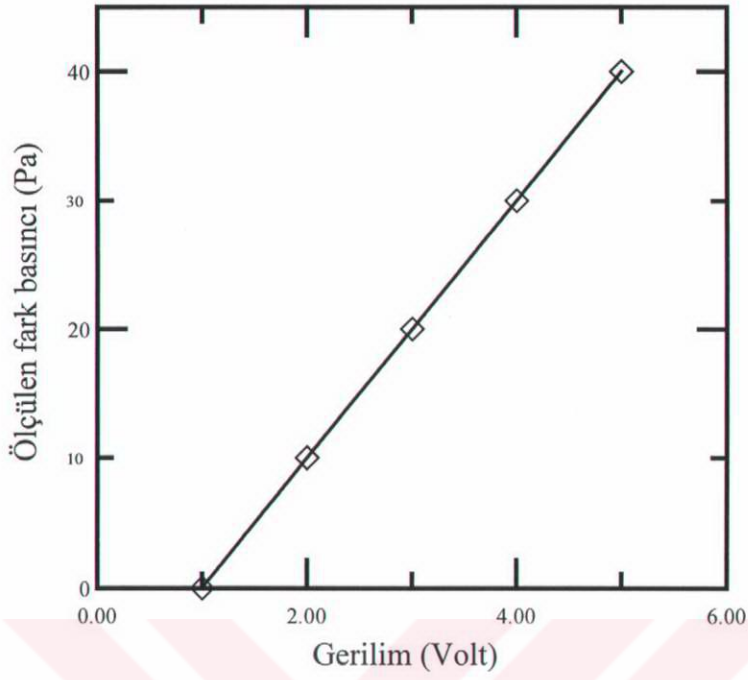
$$p = (\rho g)_{su} h \quad (5.3)$$

ile hesaplanır. Böylece odadaki basınç belirlenmiş olur.

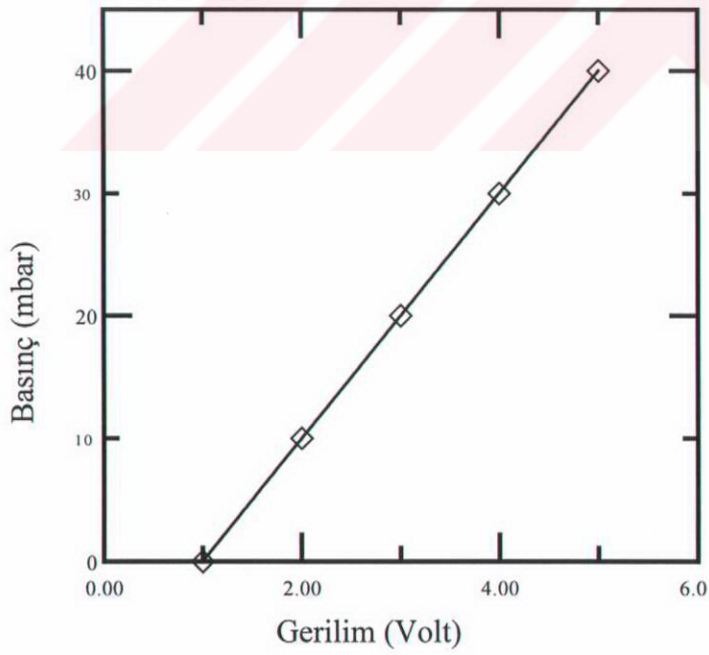


Şekil 5.25 Basınç ölçerler için kalibrasyon ünitesi

Diğer taraftan bu koşullar altında transmitterin sağladığı analog sinyal (V olarak) dijital multimetre yardımıyla veya SCADA programı üzerinden kaydedilir. Elde edilen $p(\text{Pa})-V(\text{volt})$ değerleri ve kalibrasyon eğrileri debi ölçen pitot tüpüne bağlı fark basınç transmitteri için, Şekil 5.26 da gösterilmiştir. Siklon giriş ve çıkışına bağlanan ve giriş ile çıkış basınçlarını ölçen basınç transmitterlerinin $p(\text{Pa})-V(\text{volt})$ değerlerine kalibrasyon eğrileri Şekil 5.27 de gösterilmiştir..



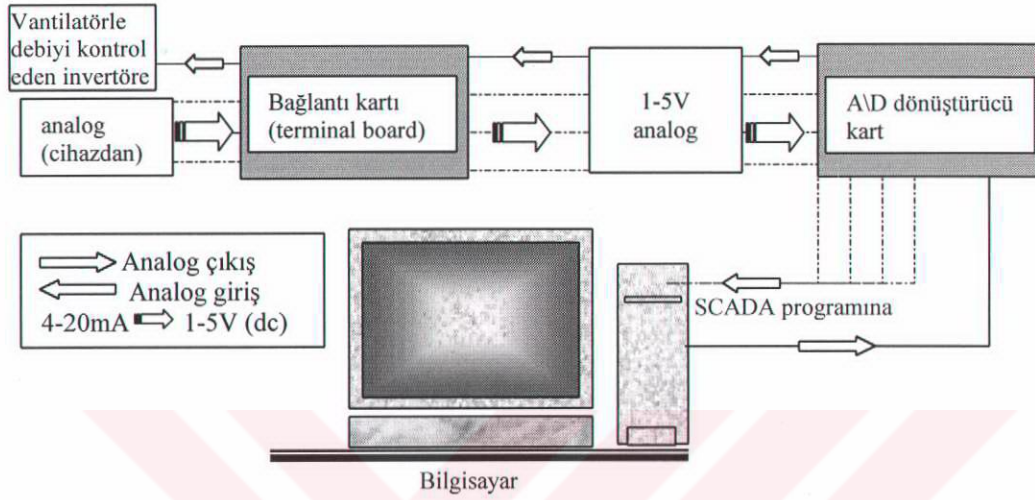
Şekil 5.26 Basınç transmitterinin kalibrasyon eğrileri



Şekil 5.27 Siklon girişi ile çıkışındaki basınç transmitterlerinin kalibrasyon eğrileri

5.3. Veri Toplama ve Kontrol Sistemi

Veri toplama ve kontrol sistemi şematik olarak Şekil 5.28 de gösterilmiştir.



Şekil 5.28 Veri toplama ve kontrol sistemi

Şekil 5.28 den de görüldüğü gibi veri toplama ve kontrol sistemi 2 ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar veri toplama kartı (A/D dönüştürücü) ile SCADA programıdır.

Veri toplama kartı (A/D dönüştürücü)

Deneylerde ölçüm cihazlarından gelen 4-20mA değerindeki analog sinyaller öncelikle birincil kart olan bağlantı kartı (terminal wiring board) üzerinde toplanır ve burada $250 \pm 1 \Omega$ luk paralel dirençler yardımıyla $V=I \cdot R$ bağıntısına göre 1-5 V (dc) gerilime dönüştürülür. Kullanılan SCADA programı sadece gerilim olarak değerlendirme yaptığından bu dönüşüm yapılmak durumundadır. Bununla beraber ölçüm sonuçlarını doğrudan gerilim cinsinden veren cihazlar da vardır.

İkincil olarak kullanılan ve bilgisayarın içerisine monte edilen (internal) Analog\ Dijital dönüştürücü kart Advantech marka PCL-818HG yüksek kazanımlı (high gain) bir karttır. Kart 16 adet tek uç (single ended) veya 8 adet farksal

(differential) analog giriş ile 1 adet analog çıkış özelliğine sahiptir. Deneylerde farksal bağlantı daha hassas ölçüm sağladığından tercih edilmiştir. Benzer şekilde bağlantı kartı da aynı marka olup PCLD-8115 modelidir.

Ölçüm cihazlarından gelen çok düşük seviyelerdeki (4-20mA) akımlar çevreden ve çalışan cihazlardan yüksek oranda etkilenebilmektedir. Bunun en önemli nedeni sürücünün yaydığı elektromanyetik dalgalardır. Bu dalgaların etkilerini minimize etmek için pompa motorunun güç kablosu dahil olmak üzere tüm kablo tesisatı ekranlı kablodan çekilmiştir. Bu sayede sinyallerde oluşan pik noktaları büyük oranda giderilmiştir. Ayrıca sürücünün P077=8.0 parametre ayarı yapılarak motor gürültüsü mümkün olduğu kadar filtelenmiştir.

Kart üzerine sürücüden bir, basınç ölçerlerden iki, debi ölçerden bir olmak üzere toplam dört analog giriş farksal olarak bağlanmıştır. Bunlardan başka bilgisayar üzerinden servomotorlu vanaya 1-5V luk analog çıkış yapılarak debi ayarı sağlanmıştır.

SCADA programı

Deneyler sırasında ölçüm cihazlarından gelen sinyallerin fiziksel büyüklüklere dönüşümü ve bunlar arasında çeşitli matematiksel işlemlerin yapılması için bir yazılıma ihtiyaç vardır. Bu tür sistemlerde kullanılan programlar genel olarak SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) yazılımı olarak bilinirler.

Kullanılan SCADA yazılımı PC-Lab ürünü GENIE 3.02 versiyonudur. Bu yazılım 3 ana kısımdan oluşur.

- Görev tasarımcısı (Task Designer)

Bu kısım temel bilgisayar dilleri bazında bir veri akışı programlama modeli kullanır. Halen kullanılmakta olan bilgisayar dillerinin ayrıntılarında kaybolmadan kullanıcının problemine uygun blok diyagramını oluşturmasına yarar. Tüm veri alma işlemleri bu tasarımcıda yapılandırılır. Görev tasarımcısı kullanıcının proses

kontrol ve/veya veri toplama stratejisini basitçe oluşturabilmesi için ikon bloklarından oluşan bir araç çubuğu kullanmaktadır. Her bir ikon, problemi çözmek için kullanılan belirli bir fonksiyonu temsil eder.

- Görüntü tasarımcısı (Display Designer)

Operatör görüntü paneli oluşturmada kullanılan ve prosesin temsili görüntüsünü oluşturan kısımdır. Bu kısım ile görev tasarımcısı arasında çalışma esnasında sürekli olarak dinamik veri transferi gerçekleşerek, görüntü üzerinde kullanıcıya bilgi aktarılır. Bu sayede, örneğin belirli bir sınır değeri aşan sıcaklık durumunda görüntü tasarımcısında alarm vermesi gibi fonksiyonlar yerine getirilmektedir. Burada, test ekipmanı veya endüstriyel proses görüntüleri oluşturulabilmekte ayrıca başka bir editörde tasarlanmış olan şemalar buraya aktarılabilmektedir. Böylece süreci görüntülemenin yanı sıra çalışma esnasında kontrol etme imkanı da sağlanmış olur.

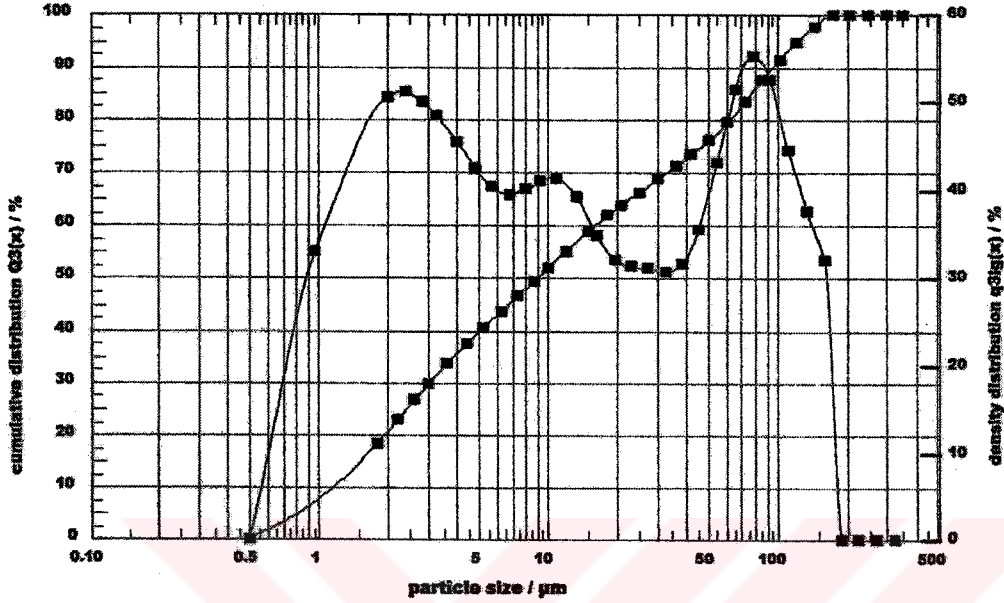
- Rapor tasarımcısı (Report Designer)

Rapor tasarımcısı, rapor içeriklerinin tanımlanabildiği ve kullanıcı tarafından konfigürasyonu değiştirilebilen bir ortam sağlar. Bu sayede veri kanallarından aktarılan bilgileri daha önceden belirlenen bir zaman aralığında kullanıcının istediği formatta elde etme imkanı sağlanmış olur.

5.4. Deneyde Kullanılan Boyut Dağılımı

Deneyde önisıttıcı siklon reaktöre çimento hammaddesi olan farin dozajlanmaktadır. Farin Kireçtaşı (Ca CO_3) ve kilin karıştırılarak öğütülmesinden elde edilmektedir. Deneyde kullandığımız farinin boyut dağılımı Nuh Çimento Fabrikasındaki labratuvarda yapılmış olup Şekil 5.29 da sunulmaktadır.

DEĞİRMEN ADI :
ACIKLAMA : FARIN DEĞ II



PARÇACIK DAĞILIMI ($x_0/\mu\text{m}$ micron olarak elek açıklığını ifade eder)

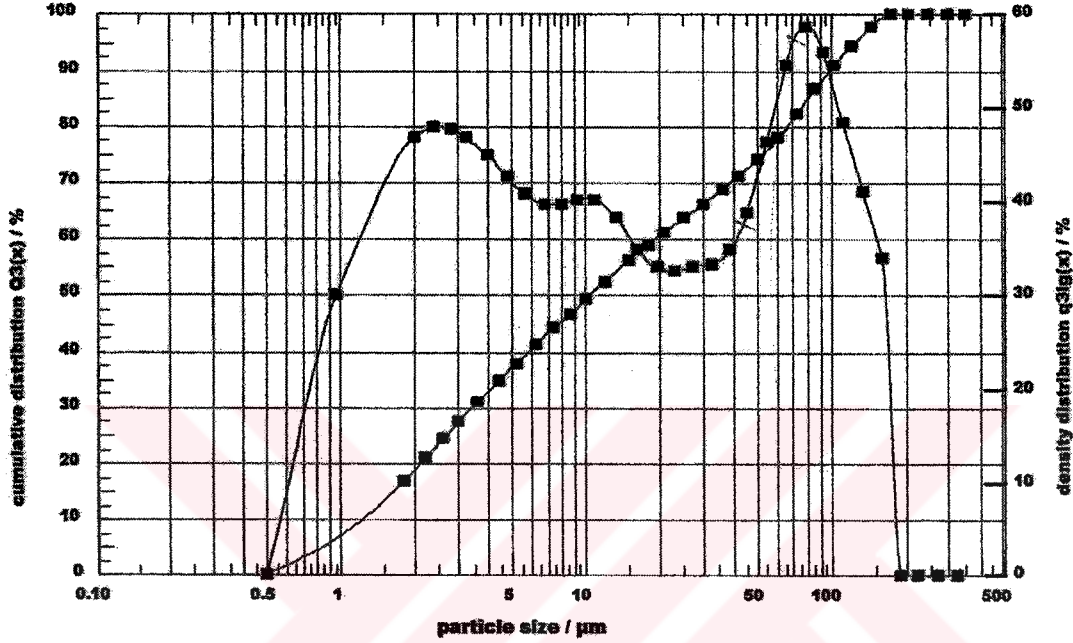
$x_0/\mu\text{m}$	EL.ALTI%	$x_0/\mu\text{m}$	EL.ALTI%	$x_0/\mu\text{m}$	EL.ALTI%	$x_0/\mu\text{m}$	EL.ALTI%
5.00	39.51	60.00	79.03	110.0	92.58	175.0	100.00
10.00	51.65	70.00	82.40	120.0	94.30	180.0	100.00
20.00	62.89	75.00	83.99	130.0	95.62	185.0	100.00
32.00	69.22	80.00	85.50	140.0	96.84	200.0	100.00
40.00	72.25	90.00	88.29	150.0	97.92	250.0	100.00
45.00	73.96	95.00	89.50	160.0	98.79	300.0	100.00
50.00	75.63	100.0	90.72	165.0	99.22	350.0	100.00
55.00	77.33	105.0	91.72	170.0	99.65		

$x_{10} =$	1.21 μm	Ortalama =	9.13 μm	$x_{90} =$	97.05 μm
$x_{16} =$	1.64 μm	$x_{99} =$	162.47 μm	$x_{100} =$	174.00 μm
VMD =	30.8 μm	Sv =	1.6 m^2/cm^3	$c_{\text{opt}} =$	12.67 %

Şekil 5.29 farin değirmeninden alınan farin numunesinin elek analizi

Aynı değirmenden alınan ikinci numunenin de boyut ve yoğunluk dağılım analizi Şekil 5.30 da gösterilmektedir..

DEĞİRMEN ADI :
ACIKLAMA : FARIN DEG II



PARCACIK DAGILIMI (x0/µm micron olarak elek acikligini ifade eder)

x0/µm	EL.ALTI%	x0/µm	EL.ALTI%	x0/µm	EL.ALTI%	x0/µm	EL.ALTI%
5.00	37.01	60.00	77.51	110.0	91.98	175.0	100.00
10.00	49.12	70.00	81.11	120.0	93.85	180.0	100.00
20.00	60.20	75.00	82.79	130.0	95.29	185.0	100.00
32.00	66.87	80.00	84.40	140.0	96.62	200.0	100.00
40.00	70.16	90.00	87.37	150.0	97.79	250.0	100.00
45.00	72.03	95.00	88.67	160.0	98.71	300.0	100.00
50.00	73.86	100.0	89.96	165.0	99.17	350.0	100.00
55.00	75.69	105.0	91.04	170.0	99.63		

x10 =	1.28 µm	Ortalama =	10.56 µm	x90 =	100.16 µm
x16 =	1.75 µm	x99 =	163.15 µm	x100 =	174.00 µm
VMD =	32.7 µm	Sv =	1.49 m ² /cm ³	c_opt =	10.96 %

Şekil 5.30 Değirmenden alınan ikinci numunenin elek analizi

5.5. Deney Programı

Deney programı 4 ana grupta toplanmaktadır.

İlk olarak, dalma borusunun dalma derinliğinin değişimine göre basınç kaybı ve toz tutma verimlerinin değişimini bulmak üzere, ayarlanan her halma boyunda akış hızı 12.44 m/s olacak şekilde vantilatör devri sabitlenir ve sistemin rejime gelmesi beklenir. Burada akış debisi 284.87 m³/h, siklon giriş sıcaklığı 439⁰C'dır. Daha sonra sisteme 0.556 kg/m³ konsantrasyonunda farin dozajlanır. Dozajlama sonrasında siklon giriş sıcaklığı sabit bir değere düşene kadar beklenir. Bu sıcaklık 337 ⁰C olarak tesbit edilir. Sıcaklığın sabitlendiği belli bir zaman aralığında dozajlama ve deney durdurularak siklon toz toplama bunkerinden alınan ve önısıtılmaya tabi tutulmuş farin hassas bir şekilde tartılır. Dozajlamanın miktarına bölünen altta toplanan farin miktarıyla toz tutma verimini verir. Bütün deney boyunca siklon giriş ve çıkış sıcaklıkları, siklon girişinde çıkışına kadarki 5 sıcaklık ve siklon giriş hızı ölçülerek alınan veri toplama kartı üzerinden SCADA programında GENIE de bir kütüğe yazdırılır. Deneyler 8 değişik dalma boyunda tekrarlanarak bu grup deneyler tamamlanır.

İkinci grup deneyler ise sıcaklık değişim parametresini incelemek için yapılmaktadır. 8.39 m/s hız ve 0.340 kg/m³ sabit konsantrasyonda 39 ⁰C dan 556 ⁰C a kadar artan sıcaklıklarda yapılan deneylerin sonuçları bir önceki deneyde olduğu gibi ölçülerek depolanır.

Üçüncü grup deneylerde hızın değişmesi halinde siklon karakteristikleri ölçülmüştür. (11.79 m/s den 14 m/s ye artan) Burada toz konsantrasyonu 0.187 kg/m³ olarak sabit tutulmuştur.

Dördüncü ve son grup deneylerde ise partikül konsantrasyonunun artırılması durumunda testler tekrarlanmıştır. Bu testlerde siklon giriş hızı sabit tutulmuştur.

Bütün deney guruplarında ölçümlerin tamamını partikülsüz akış için de ayrıca alınmış ve kaydedilmiştir.

Deneyleerde kullanılan sabit değerler Tablo 5.1 de yer almaktadır.

Tablo 5.1 Deneysel sabitler

Deney Değişkenleri	Giriş hızı V_G (m/s)	Giriş sıcaklığı, T_G , ($^{\circ}$ C)	Giriş konsantrasyonu, C_F , (kg/m ³)	Dalma borusu, dalma derinliği h_4 , (mm)
Dalma borusu derinliği	12.44	439	0.556	Değişiyor 10 ila 220mm
Siklon giriş Sıcaklığı	8.60	Değişiyor 39 ila 556	0.346	96
Siklon giriş hızı	Değişiyor 10 ila 14	Değişiyor 370 ila 450	0.346	96
Giriş Konsantrasyonu	12.44	Değişiyor 350 ila 390	Değişiyor 0.190 ila 0.556	96

BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Dalma Borusu Derinliğinin Etkisi

Siklon çıkışındaki dalma borusunun dalma derinliği yüksek sıcaklıktaki ($T=439$ °C'de) deneylerde 8 değişik boyda seçilmiştir. Dalma boyunun etkisi, aşağıdaki bölümlerde basınç kayıplarına, verime ve siklon çıkış sıcaklığına etkisi ele alınacaktır.

Basınç Kayıpları

Bu deneylerde dalma boyu (h_4) değiştirilerek, yüksek sıcaklıktaki partikülsüz ve partikül yüklü gazlarla testler yapılmıştır. Siklon giriş ve çıkış noktaları arasında ölçülen basınç farkı Δp , Şekil 6.1 ve 6.2 de gösterilmiştir. Şekiller için basınç kayıpları Δp , dalma derinliğinin $h_4=0$ olduğu noktadaki basınç kayıp değerine ($\Delta p_{h_4=0}$) ve dalma derinliği h_4 , ise siklon çapına (D_c) bölünerek boyutsuz hale getirilmiştir. Partiküllü akışın basınç kayıpları mertebe olarak partikülsüz gaz akışından düşük olmaktadır.. Her iki durumda da dalma boyunun artması ile basınç kayıplarında bir yükseliş gözlenmiştir. Dalma boyunun maksimum olduğu durumda basınç kayıpları, her iki akışta da yaklaşık % 50 dolaylarında artmıştır.

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

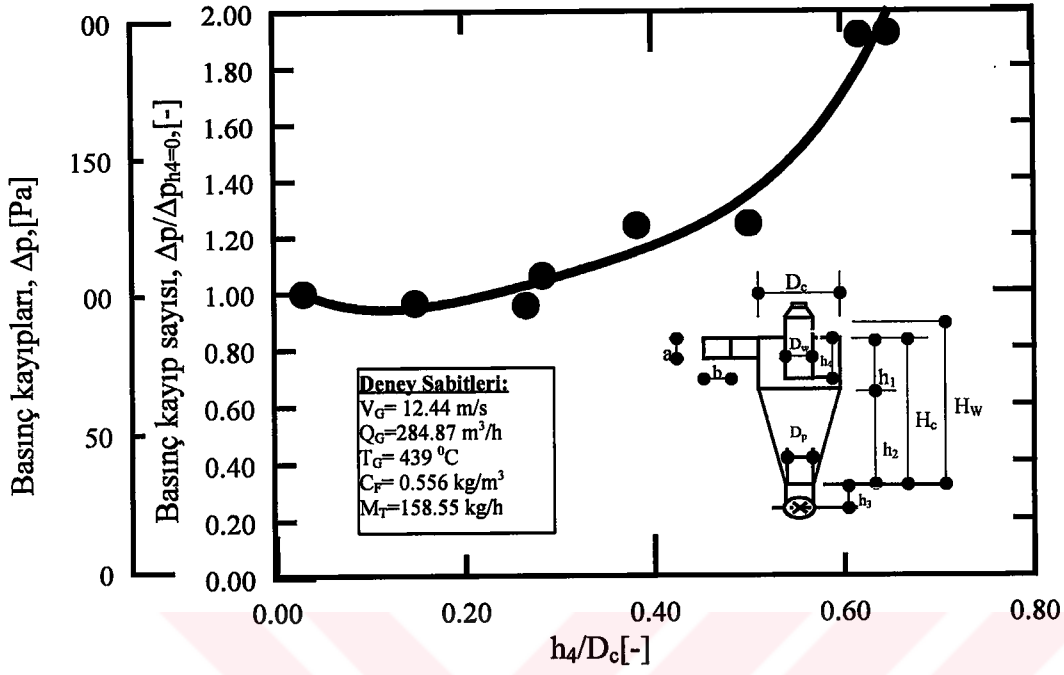
Partiküllü akışta da dalma boyunun artmasıyla basınç kayıpları önce azalmakta ve daha sonra yükselmektedir. Akışın partikül taşımasıyla, siklonda basınç kayıplarının azaldığı gözlenmektedir. Dalma boyunun en fazla ayarlandığı konumda da ölçülen basınç kayıpları partikülsüz akış için partiküllü akıştan daha fazla olduğu ölçülmüştür. Bu durum partikülün yüklenmesiyle girdap akışının dönme sayısı azalması ve buna bağlı olarak basınç kayıplarının azalması ile açıklanabilir(Şekil 6.1 ve 6.2).

Siklon basınç kayıplarının hesaplanmasında, dalma boyunun değişimi Fritz[1], tarafından dikkate alınmıştır. Barth [6], Ludera [2] Bu çalışmalarda hesaplanan basınç kayıpları Δp , ve kayıp katsayıları $\zeta (N_H/g)$, Şekil 6.3 de deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

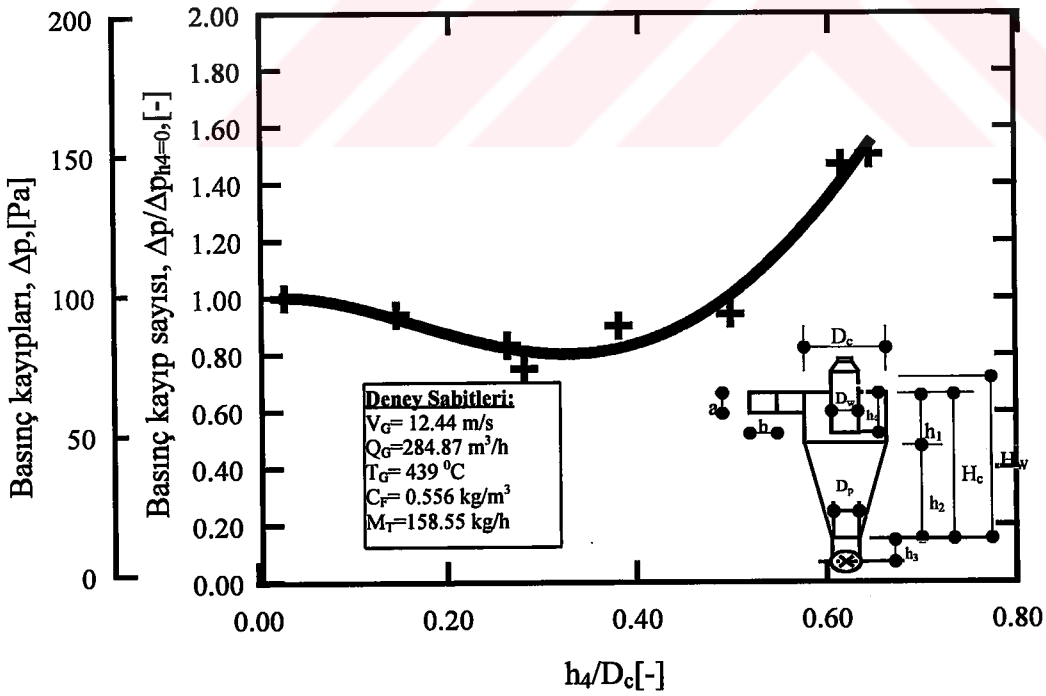
Barth ve Fritz denklemleri ile hesaplanan eğriler ölçülen değerlere yakın olmasına rağmen Ludera eşitliğinden elde edilen değerler, deneysel değerlerden uzakta bulunmaktadır. Bunun nedeni Ludera'nın eşitliği, ömsütücü siklonlarla ilgili olarak geliştirmiş olmasına rağmen, siklon geometrisini dikkate almamasından kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak;

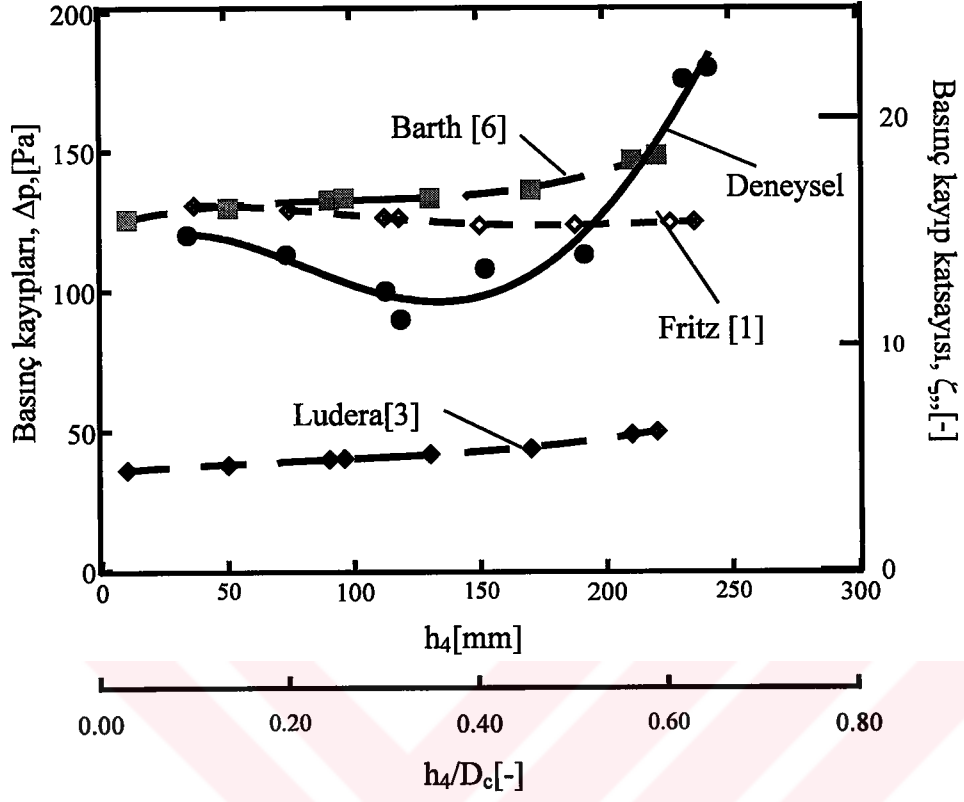
1. Dalma boyu arttıkça basınç kayıpları artmaktadır.
2. Partikül yüklü akışta basınç kayıpları, girdap akış dönme sayısı azaldığından partikülsüz akışa oranla daha az olmaktadır.



Şekil 6.1 Partikülsüz akış için dalma derinliğine göre basınç kaybının değişimi

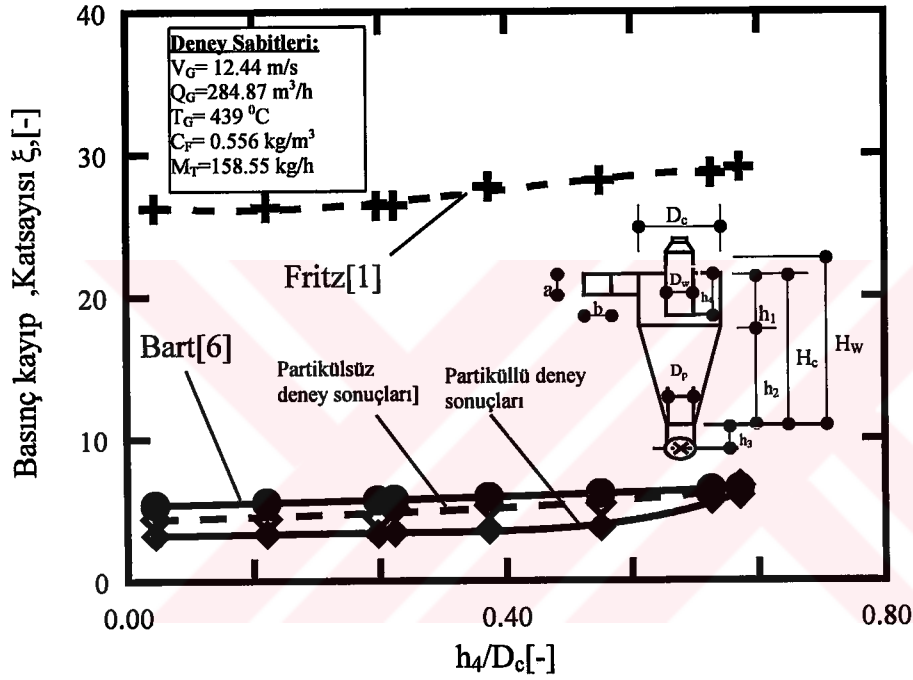


Şekil 6.2. Partiküllü akış için dalma derinliğine göre basınç kaybının değişimi.



Şekil 6.3 Basınç kayıplarının literatür ile karşılaştırılması

Şekil 6.4 de dalma borusu boyunun, basınç kaybı katsayısına (ζ_T) etkisi görülmektedir. Burada partiküllü ve partikülsüz deneylerde ölçülen kayıp katsayısının dalma borusu derinliği artmasına paralel olarak deneysel olarak belirlenmiştir. Ayrıca literatürden elde edilen kayıp deneysel sonuçlara benzer şekilde artış göstermiştir. Ancak Fritz [1]e göre bu artış Bart [6] ve deneysel sonuçların artışına göre daha fazla olmaktadır. Bu da geometrik boyutların Fritz [1] kolerasyonunda, kayıp katsayısı üzerine daha fazla etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.4 Basınç kayıp katsayıları- Dalma boyu ilişkisi.

Partikül Tutma Verimi

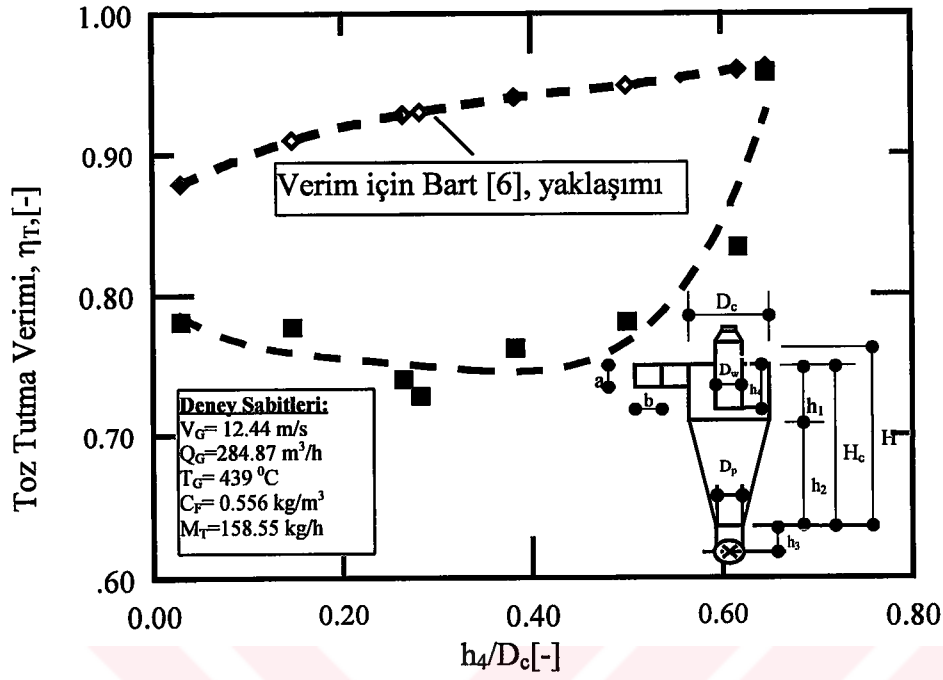
Burada partikül tutma verimi η_T , siklon alt tarafından tutulan kütlenin M_A , siklon girişindeki partikül kütlesine M_T oranı olarak,

$$\eta_T = \frac{M_A}{M_T} \quad (6.1)$$

tanımlanmıştır.

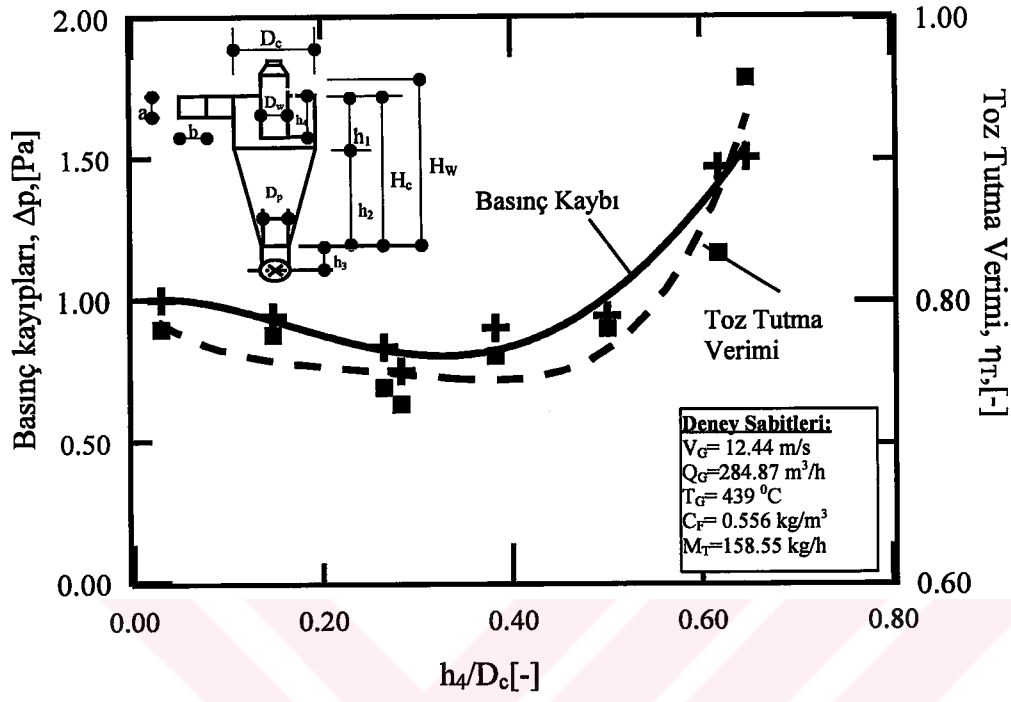
Dalma derinliğinin artırılması tutma verimini önce azaltmakta ve belirli bölgeden itibaren arttırmaktadır (Şekil 6.5). Dalma boyunun değiştirilmesiyle, siklon akışında değişiklikler meydana gelmektedir. Öncelikle dalma borusu altındaki silindirik yüzey küçülmekte, dolayısıyla gaz dönüş alanı daralmakta ve gaz çıkış hızı V_i artmaktadır. Bu durum partikül üzerine etkiyen sürtünme kuvvetlerinin artmasına, dolayısıyla ayrışmanın kötüleşmesine neden olmaktadır. Öte yandan akışın girdap dönme sayısı, aynı nedenle (silindirik alanın küçülmesiyle) artmaktadır. Bu durum ayrışmayı arttırarak tutma verimini iyileştirmektedir.

Girdap dönme sayısı partikül ayrışması üzerinde olumlu etki yaparken, yüksek gaz çıkış hızının V_i partikül ayrışmasını olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bu durum belirli dalma derinliğinde farklı rol oynadığı ve yüksek dalma derinliğinde ayrışmanın olumlu etkilendiğini göstermektedir.



Şekil 6.5 Dalma boyu değişiminde tutma verimi ve literatür ile karşılaştırılması.

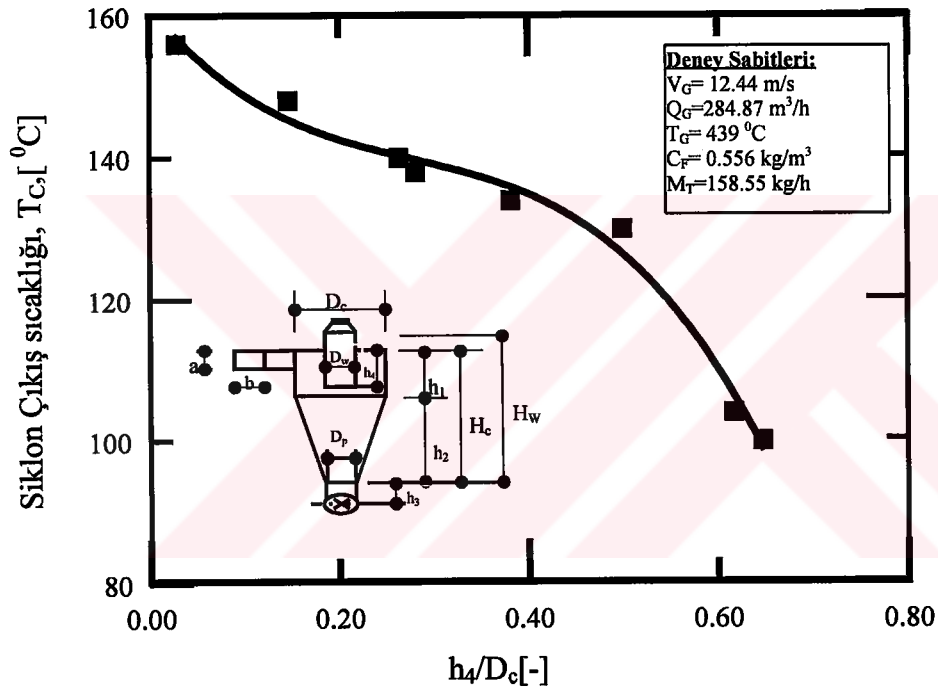
Basınç kayıplarının tutma verimine bağlı olarak değişim gösterdiği bu deneylerden anlaşılmaktadır (Şekil 6.6). Partikül tutma veriminin iyileşmesine paralel olarak, basınç kayıplarının arttığı şekil üzerinden anlaşılmaktadır.



Şekil 6.6 Basınç kayıplarının ve tutma veriminin dalma boyuna göre değişimleri

Çıkış sıcaklığı

Siklon dalma borusunun dalma derinliği arttıkça siklonu terk eden gaz sıcaklığının da düştüğü deneysel olarak gözlenmiştir (Şekil 6.7). Diğer bir deyişle, gaz akışından partiküle ısı geçişi olduğundan gaz sıcaklığı düşmektedir. Dalma boyunun artması sonucu girdap dönme sayısı artmakta ve bu durum partikül ile gaz arasındaki ısı geçişinde önemli rol oynamaktadır.



Şekil 6.7 Dalma derinliğinin siklon çıkış sıcaklığına etkisi

6.2. Siklon Giriş Sıcaklığının Etkisi

Siklon giriş sıcaklığı değiştirilerek yapılan deneylerde sıcaklık 39 °C dan 556 °C'e kadar kademeli olarak artırılmıştır. Ölçülen basınç kayıpları ve sıcaklıklar siklon girişindeki 39 °C sıcaklıktaki basınç kaybına göre boyutsuz hale getirilerek ifade edilmiştir. Dalma boyu $h_4=96$ mm de sabit tutulmuştur.

Basınç kayıpları

Siklon basınç kayıpları partiküllü ve partikülsüz akışta, sıcaklığın artmasıyla genel olarak düşmektedir (Şekil 6.8 ve 6.9).

Bilindiği gibi , basınç kayıpları yoğunlukla, denklem 2.10'a göre,

$$\Delta p = \xi_T \frac{\rho}{2} v_G^2 \quad (6.2)$$

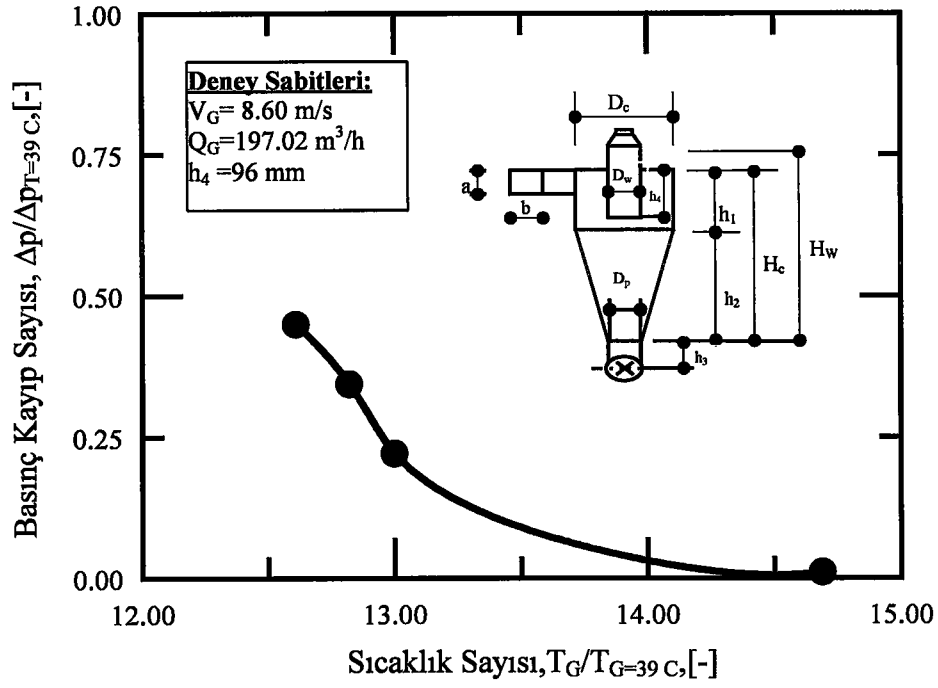
doğru orantılıdır. Yoğunlukla ve sıcaklık ideal gaz yasasına göre

$$p \frac{1}{\rho} = RT \quad (6.3)$$

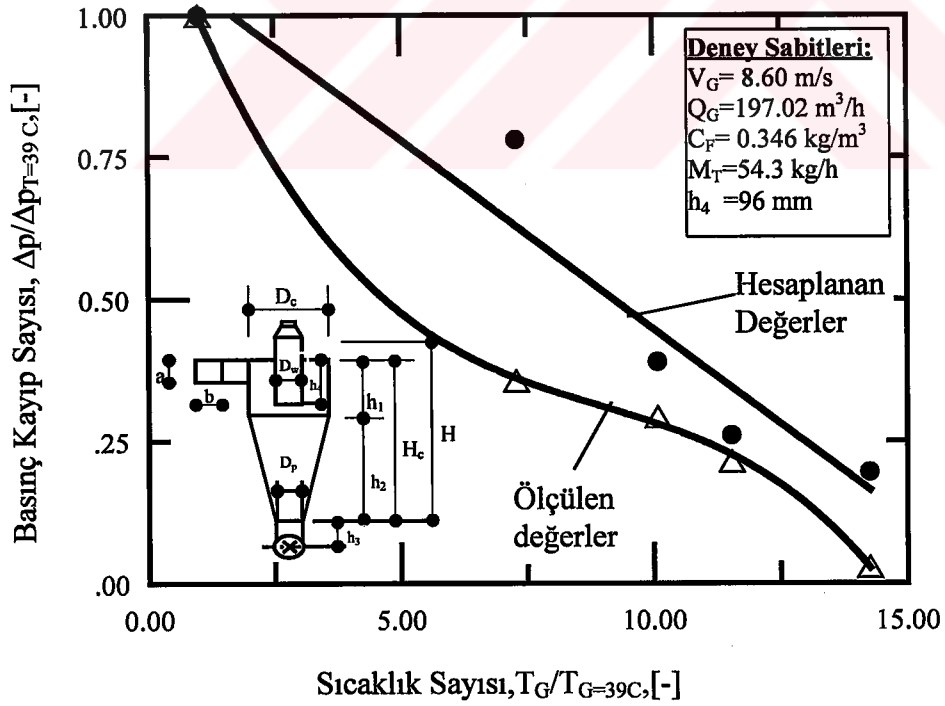
ters orantılıdır. Dolayısıyla sıcaklıkla basınç kayıplarının düşmesi beklenir. Ölçülen basınç kayıpları $T=39^\circ\text{C}$ daki basınç kaybına oranlanarak boyutsuz olarak

$$\frac{\Delta p}{\Delta p_{t=39}} = \frac{\rho}{\rho_{t=39}} = \frac{T_{39C}}{T} \quad (6.4)$$

İfade edilmiştir. Böylece, teorik olarak diğer sıcaklıklardaki basınç kayıpları, hesaplanabilir. Şekil 6.9 da hesaplanan ve ölçülen basınç kayıpları karşılaştırılmıştır.

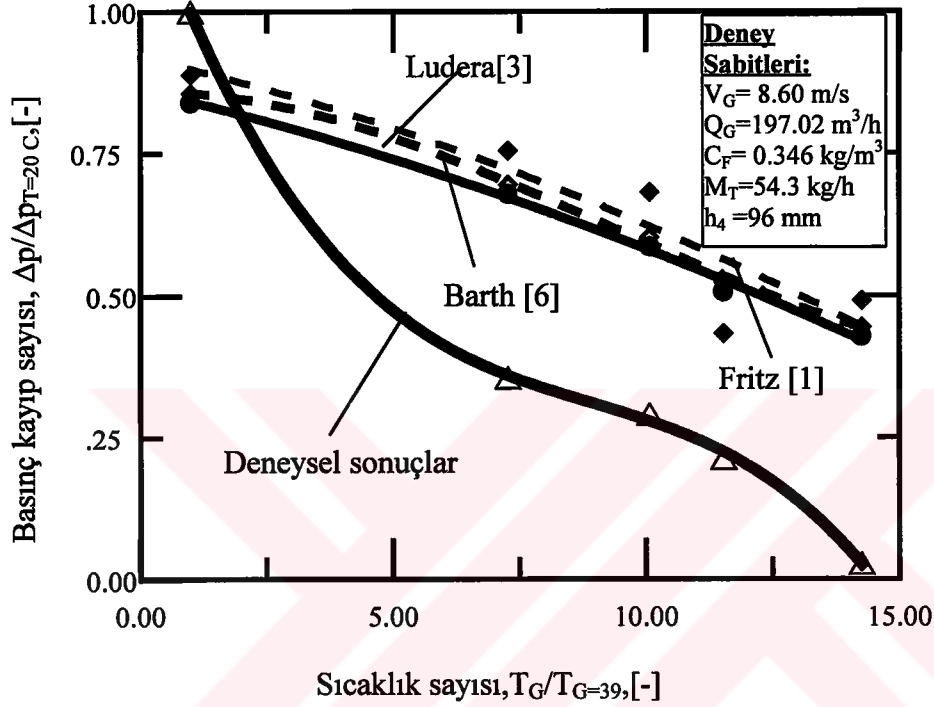


Şekil 6.8 Partikülsüz akışta sıcaklık değişimine bağlı basmañ kayıpları ilişkisi



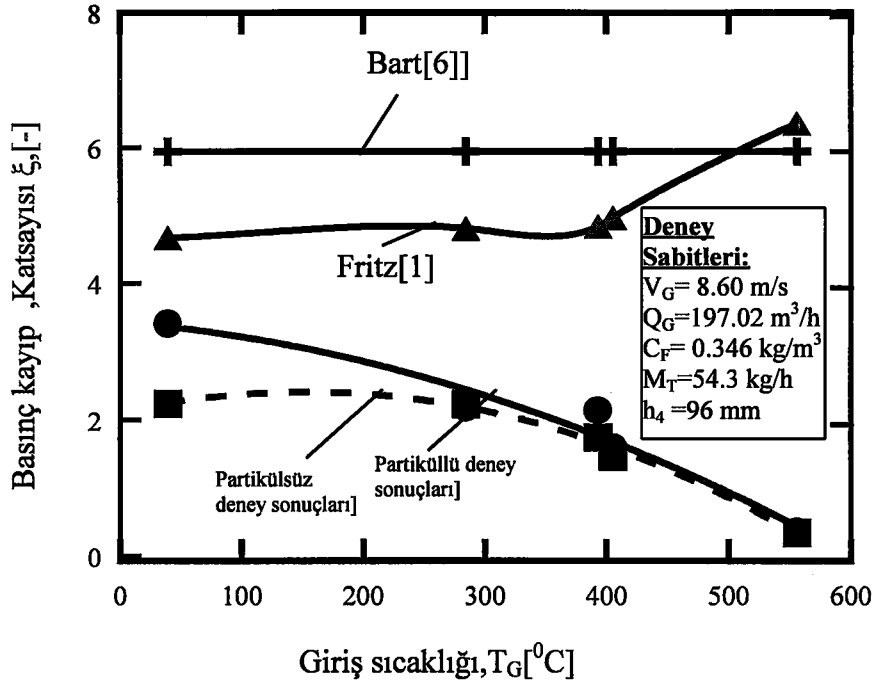
Şekil 6.9 Partiküllü akışta sıcaklık değişimine göre basmañ kayıplarının değişimi

Şekil 6.10 da literatürde basınç kaybı ile ilgili verilen korelasyonlarda elde edilen değerler ve deneysel sonuçlar yer almaktadır. Görüldüğü gibi bütün hallerde sıcaklık artışıyla basınç kayıplarında düşme gözlenmektedir.



Şekil 6.10 Sıcaklık değişimi etkisinin literatürle karşılaştırılması

Şekil 6.11 de siklona giren gaz sıcaklığının, basınç kayıp katsayısına etkisi yer almaktadır. Burada partikülsüz ve partiküllü deney sonuçlarına göre basınç kayıp katsayısı, sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Bart[6] denklemine göre sıcaklığın basınç kayıp katsayısına etkimeidiği görülmektedir. Fritz[1] kolerasyonunda ise çıkış hızı basınç kayıp katsayısına etkimekte, dolayısıyla artan çıkış sıcaklıklarında çıkış hızları azalmakta ve buna bağlı olarak da basınç kayıp katsayısı artmaktadır.



Şekil 6.11 Siklon giriş sıcaklığı –Basınç kayıp katsayısı ilişkisi

Partikül tutma verimi

Siklon tutma veriminin η_T , gaz sıcaklıklarının artmasıyla düştüğü deneylerden anlaşılmaktadır (Şekil 6.12). Özellikle 500 °C sıcaklıkta verim oldukça düşmektedir.

Bölüm 2.1 gazın viskozitesinin η_g ve yoğunluğunun ρ , (2.7) eşitliğine göre

$$x_p^* = 3A_i \frac{V_i}{u_i} \sqrt{\frac{\eta_g}{\pi h_i \Delta \rho \dot{V}_g}} \quad (2.7)$$

kritik partikül çapı üzerine önemli etkisi vardır.

Ancak, gaz viskozitesi η_g ,

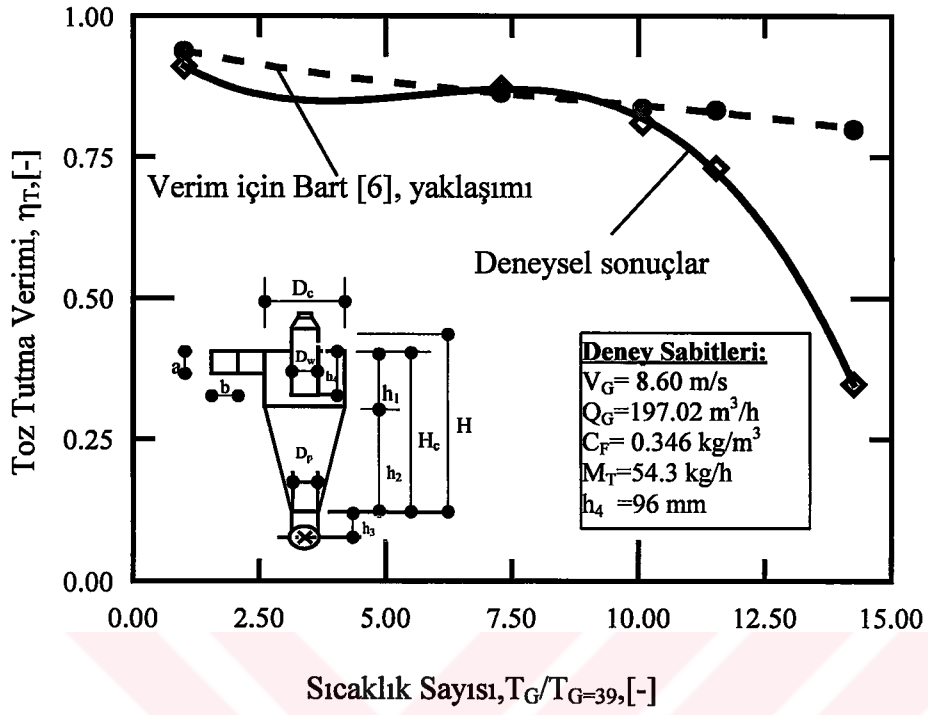
$$\eta_g \approx T \quad (6.5)$$

ifadesine göre sıcaklıkla artarlar. Yoğunluk ρ ise sıcaklıkla ters orantılı olarak

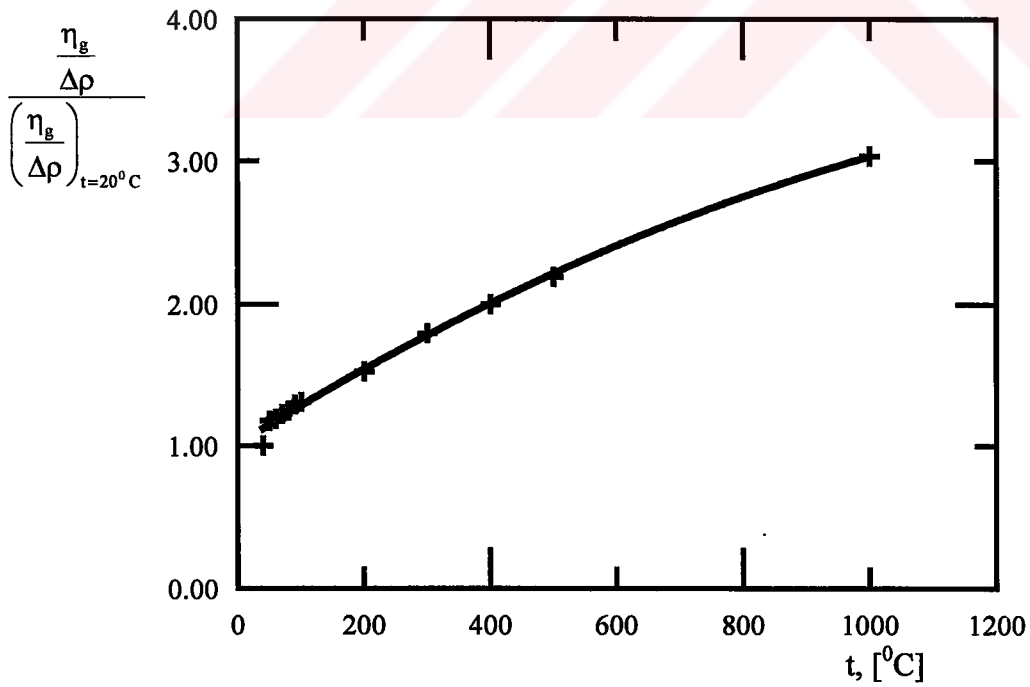
$$\rho \approx \frac{1}{T} \quad (6.6)$$

azalır.

Bu iki özellik sıcaklıkla Şekil 6.13 de görüldüğü gibi, farklı etki göstermektedir ancak sıcaklığın artışıyla viskositede meydana gelen artış hızı, yoğunluktaki düşme hızından çok yüksek olduğundan $\eta/\Delta\rho$ oranı sıcaklıkla artış göstermiştir. Denklem 2.7 ye göre artan sıcaklıkta kritik partikül çapı büyümekte ve verimin azalması beklenmektedir. Deneyler de bu yönde sonuçlar vermiştir.

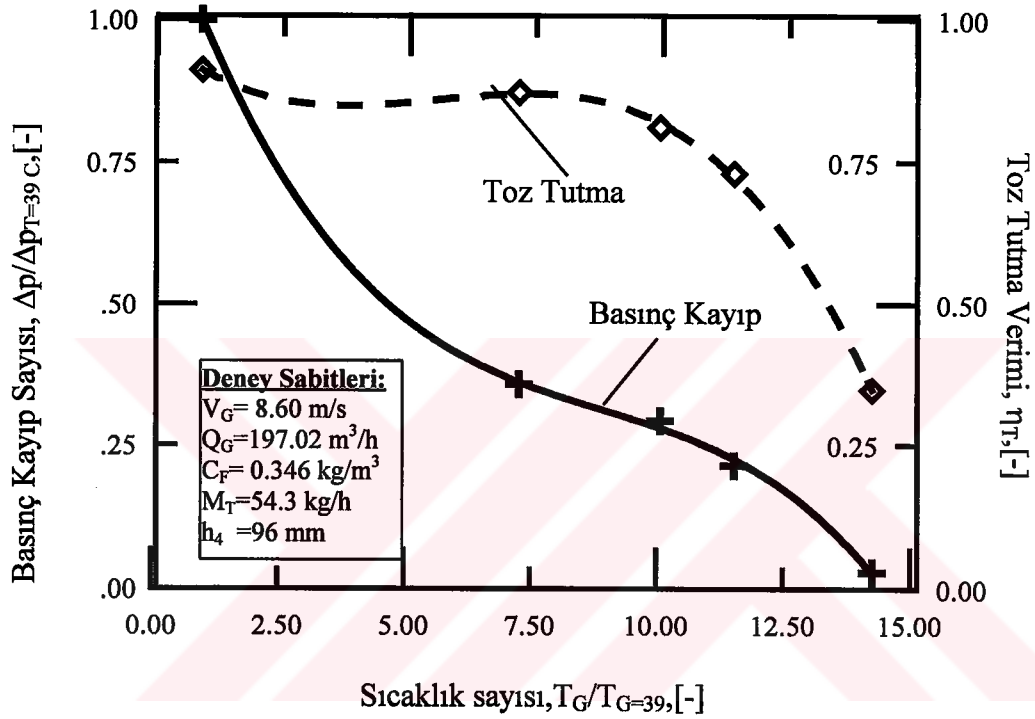


Şekil 6.12 Tutma verimine siklon giriş sıcaklığının etkisi



Şekil 6.13 Kinematik viskozite- yoğunluk farkı oranının sıcaklıkla değişimi

Şekil 6.14 e basınç kaybı ve tutma veriminin sıcaklıkla değişimi verilmiştir. Siklon verimi, sadece yüksek sıcaklıklarda keskin düşüşe uğramaktadır. Basınç kayıpları ise sürekli olarak düşüş göstermiştir. Bununla birlikte basınç kayıpları siklon veriminin düşmesine paralel olarak azalmaktadır.

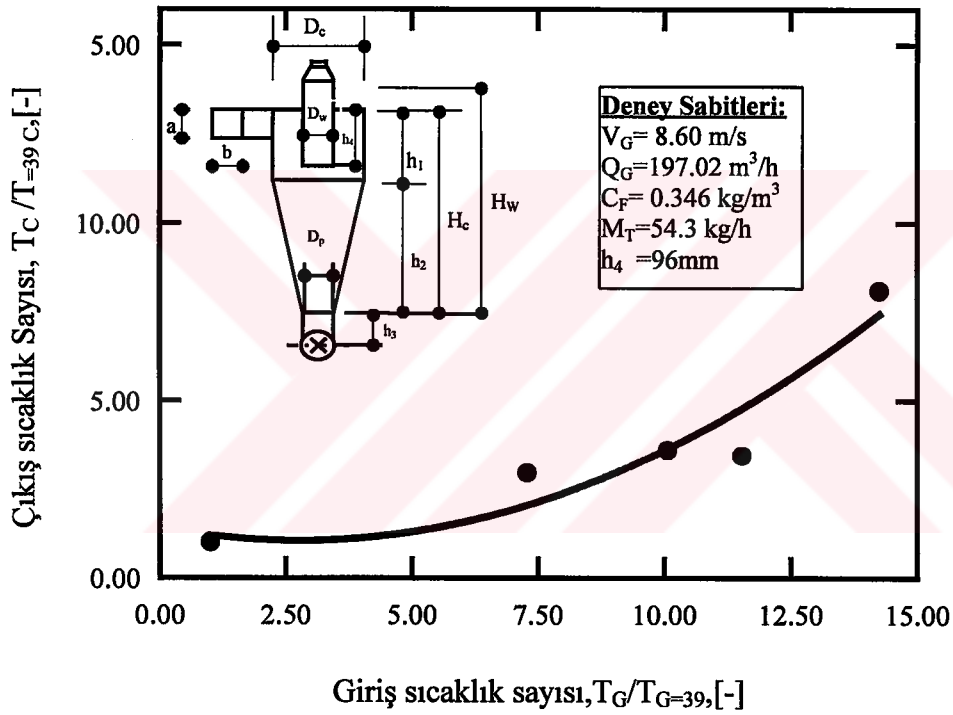


Şekil 6.14 Basınç kaybı ve toz tutma veriminin sıcaklıkla değişimi

Çıkış sıcaklığı

Siklon gaz çıkış sıcaklığının, siklon giriş sıcaklığı ile orantılı artmadığı ölçülmüştür. (Şekil 6.15). Diğer bir deyişle, gaz çıkış sıcaklığı beklenenin altında olmaktadır.

Gaz çıkış sıcaklığının artış düşüklüğü, gaz ısı enerjisinin farine geçmesinden kaynaklanmaktadır.



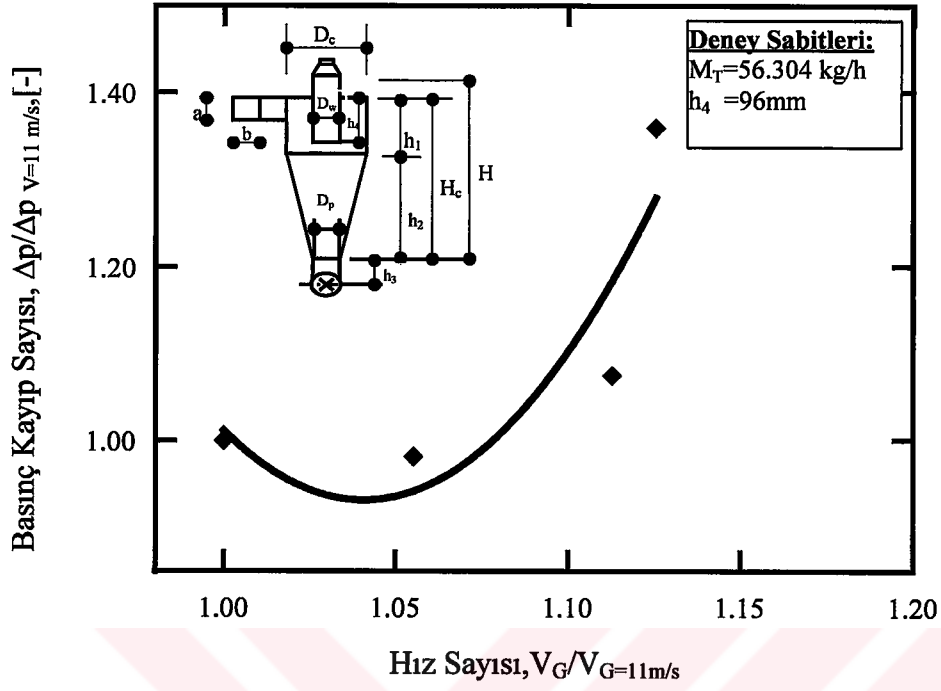
Şekil 6.15 Siklon giriş sıcaklığının çıkış sıcaklığına etkisi

6.3. Siklon Giriş Hızının Etkisi

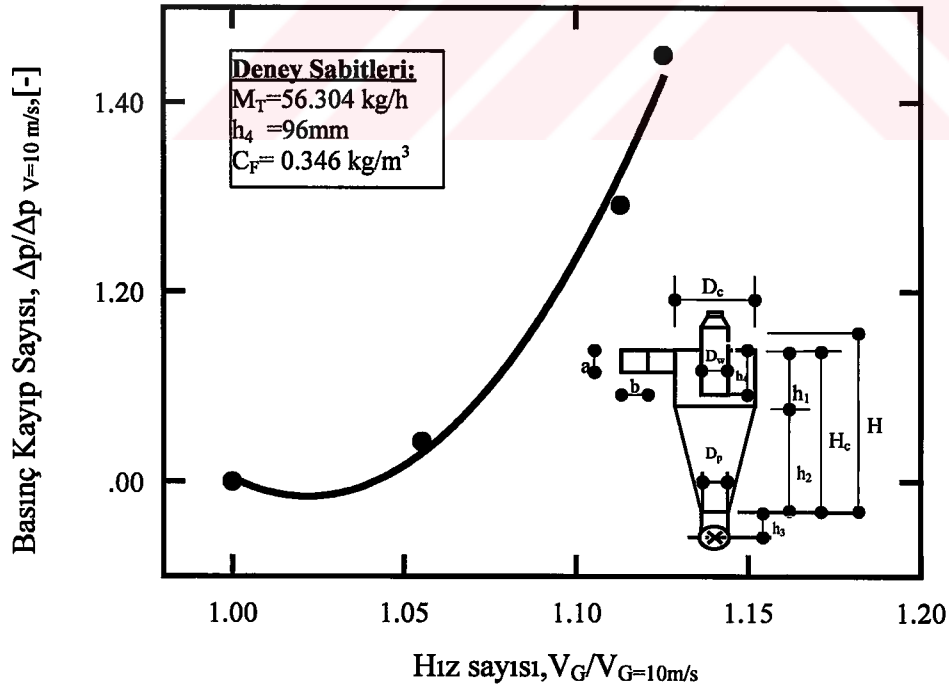
Siklon giriş hızı değiştirilerek yapılan deneylerde 10 m/s dan 14 m/s'e kadar artan giriş hızlarında deneyler yapılmış, bu değişime karşın oluşan basınç kaybı ve partiküllü akış için meydana gelen toz tutma verimi bulunmuştur. Basınç kaybı, çimento prosesi için önerilen en düşük hız olan 10 m/s deki basınç kaybına göre boyutsuz hale getirilmiştir. Hız değerleri ise yine aynı hıza göre boyutsuz hale getirilmiştir.

Basınç Kayıpları

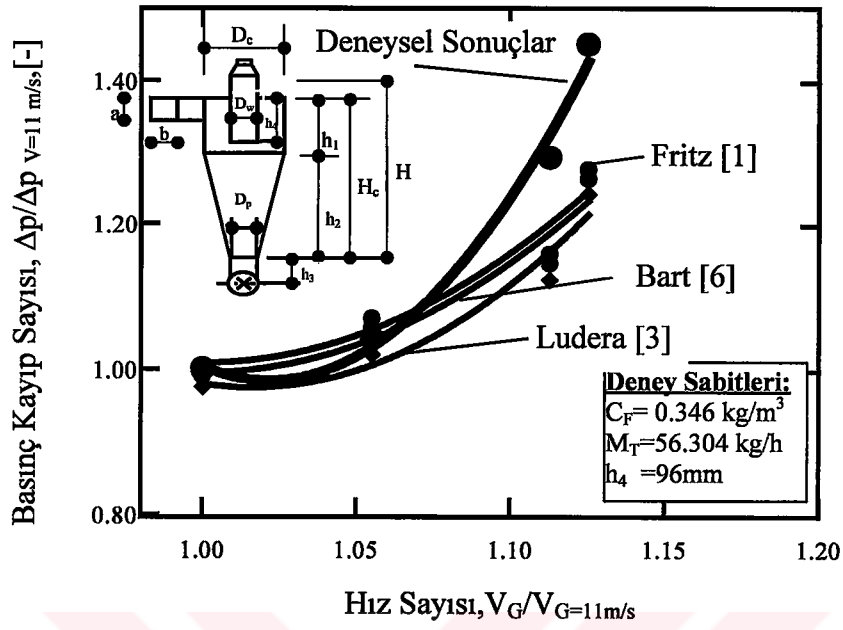
Partikülsüz ve partiküllü akışlarda, siklona giren gaz hızının basınç kayıplarına etkisi Şekil 6.16 ve 6.17 de gösterilmiştir. Genel olarak akış hızının artmasıyla basınç kayıplarının arttığı gözlenmiştir. Şekil 6.18-6.19 de elde edilen sonuçlarla literatürde verilen deney sonuçları yer almaktadır. Basınç kayıp eğrileri birbirleriyle karşılaştırıldıklarında, benzer eğilim gösterdikleri anlaşılmaktadır. Ancak mertebe olarak, partiküllü akışın basınç kayıpları daha yüksek çıkmaktadır.



Şekil 6.16 Partikülsüz akışta siklon giriş hızına göre basınç kaybının değışimi

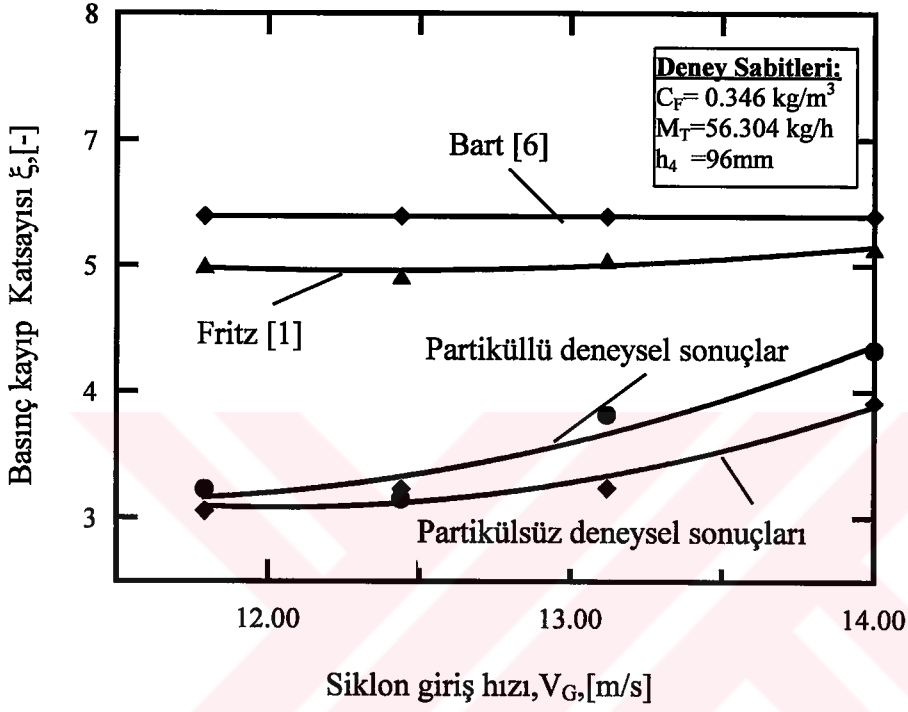


Şekil 6.17 Partiküllü akışta siklon giriş hızına göre basınç kaybının değışimi



Şekil 6.18 Hız etkisinin literatürle karşılaştırılması

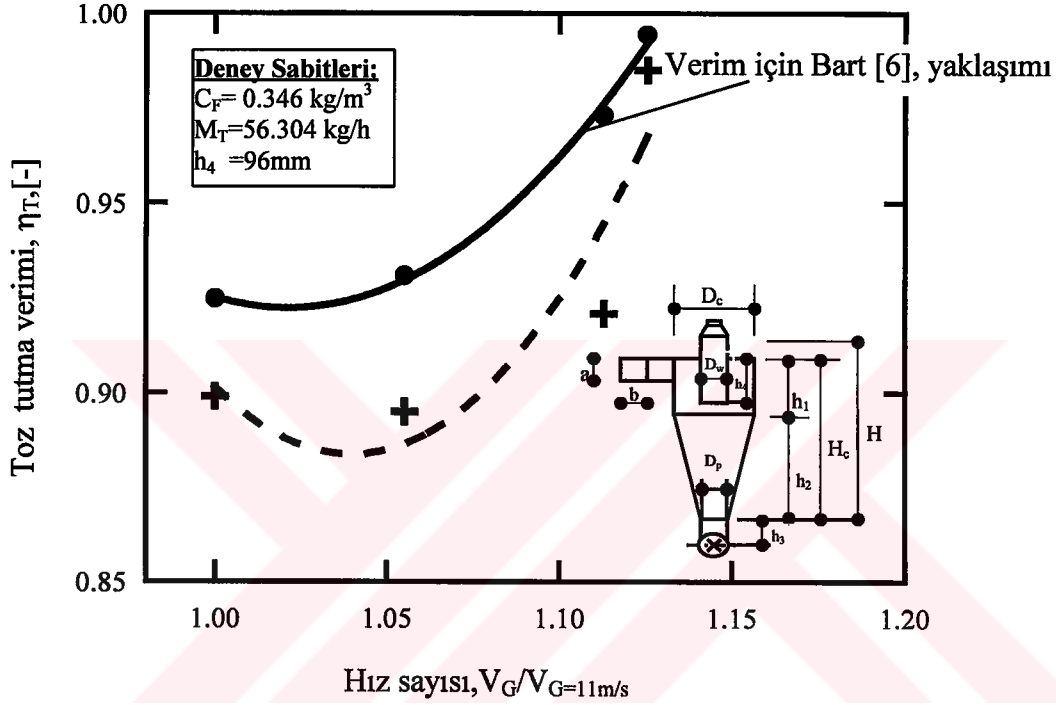
Basınç kayıp katsayılarının yer aldığı Şekil 6.19'de, basınç kayıp katsayıları, partikülsüz ve partiküllü deneylerde ve Fritz[1] kolerasyonunda, artmaktadır. Geometrik boyutların haricindeki büyüklüklerin etkemediği görülen Bart[6]'ya göre basınç kayıp katsayısının değeri sabit kalmaktadır.



Şekil 6.19 Siklon gaz giriş hızının basınç kayıp katsayısına etkisi

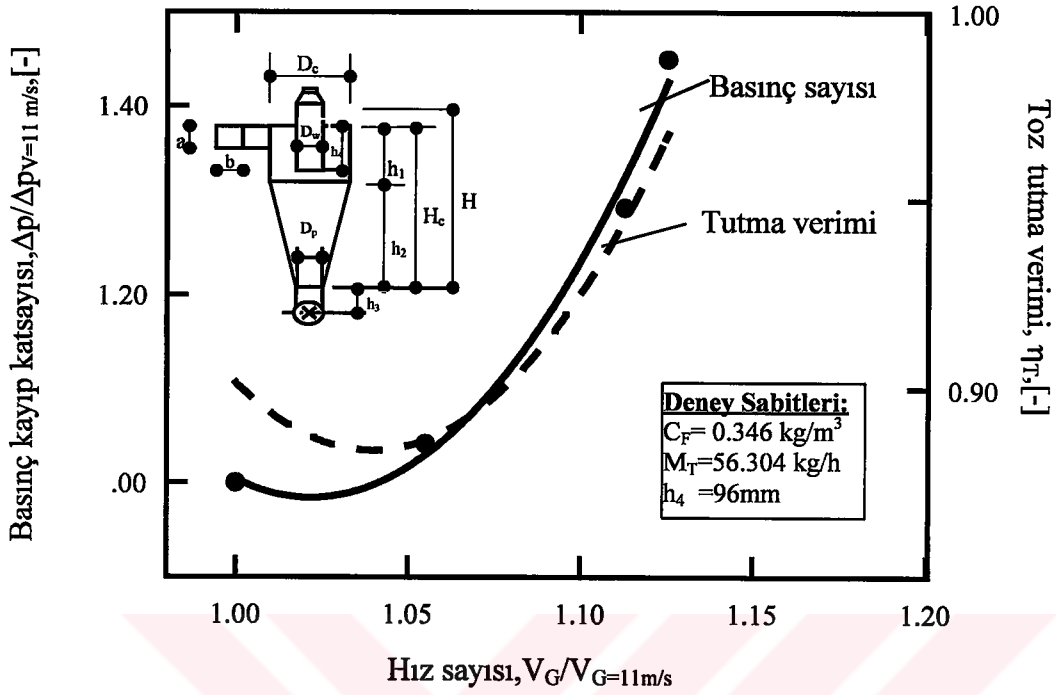
Partikül tutma verimi

Deneysel olarak siklon giriş hızının artışıyla, partikül üzerine etkiyen merkezkaç kuvveti ve girdap dönme sayısı artmasından dolayı tutma veriminde iyileşme olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.20).



Şekil 6.20 Siklon giriş hızına göre toz tutma veriminin değişimi

Şekil 6.21 de basınç kaybının ve tutma veriminin giriş hızıyla değişimi verilmiştir. Tutma veriminin artmasına paralel olarak, basınç kayıplarını da yükseltmektedir.

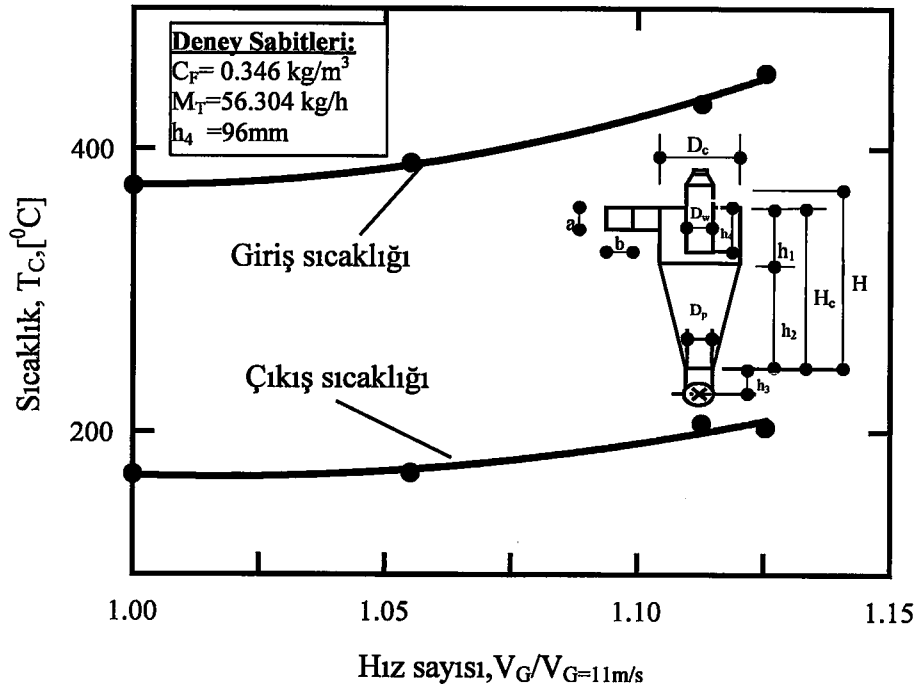


Şekil 6.21 Siklon giriş hızına göre basınç kaybı ve toz tutma veriminin değişimi

Gaz giriş sıcaklığının ve çıkış sıcaklığı üzerine etkisi

Siklon giriş hızının artmasıyla, deney şartlarından dolayı, siklon giriş gaz sıcaklığı yükselmiştir (Şekil 6.22). Aynı zamanda siklon çıkış gaz sıcaklığı da benzer şekilde yükseldiği ölçülmüştür (Şekil 6.22).

Bu deneylerde, tutma veriminin iyileşmesine rağmen, siklon çıkışındaki gaz sıcaklığının değişmediği yani değişen siklon akış hızının partikül-gaz arasındaki ısı geçişine etkisi olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 6.22 Giriş hızının giriş ve çıkış sıcaklığına etkisi

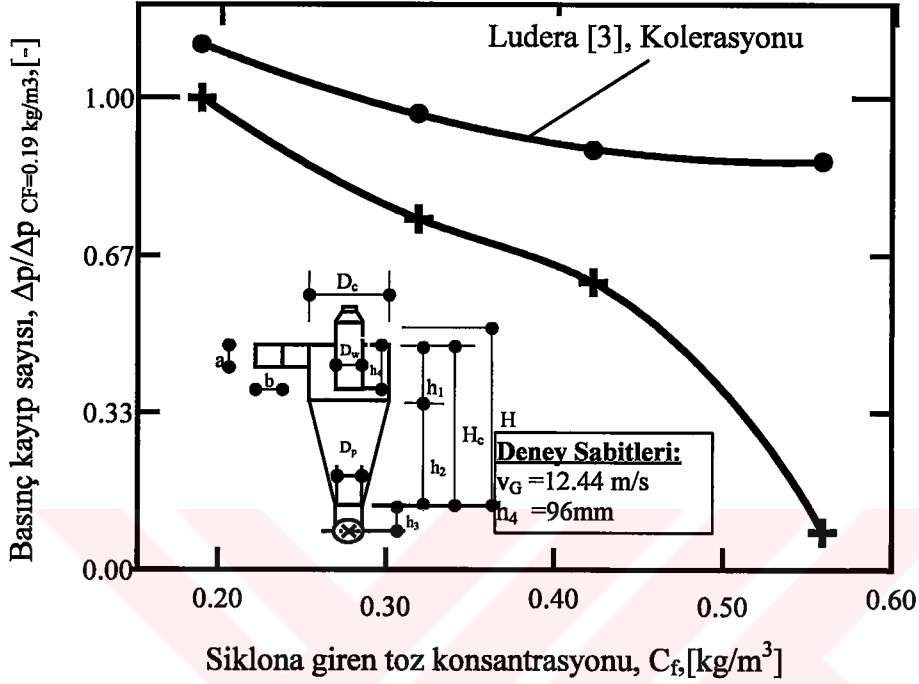
6.4. Siklona Giren Toz konsantrasyonunun Etkisi

Siklon giriş konsantrasyonunu değiştirilerek yapılan deneylerde (0.19 kg/m^3 - 0.55 kg/m^3) basınç kaybı ve meydana gelen toz tutma verimi ölçülmüştür. Basınç kaybı, deney prosesi için uygulanan en düşük konsantrasyon olan 0.190 kg/m^3 deki basınç kaybına göre boyutsuz hale getirilmiştir.

Basınç kayıpları

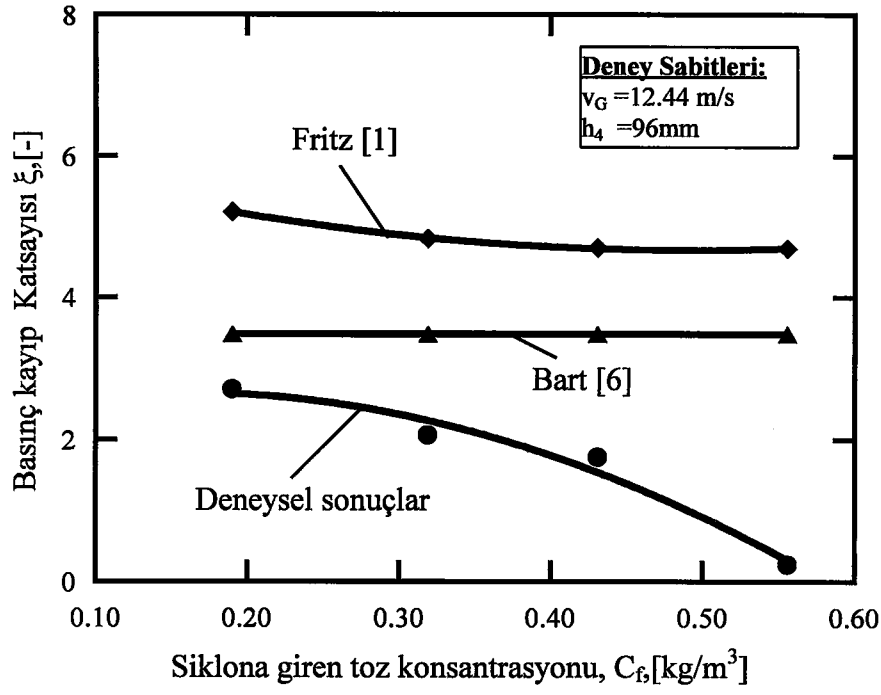
Artan partikül konsantrasyonu ile basınç kayıplarının azaldığı deneysel sonuçlardan anlaşılmaktadır (Şekil 6.23). Deneylerde sıcaklıklar $390 \text{ }^\circ\text{C}$ ile $335 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında değişmektedir. Bununla beraber Ludera [3]nın konsantrasyonun etkisini incelediği

(3.8) eşitliğinde deney girdileri ile elde edilen sonuçları da aynı eğilimi göstermektedir.



Şekil 6.23 Siklon giriş konsantrasyonu ve basınç kaybı ilişkisi

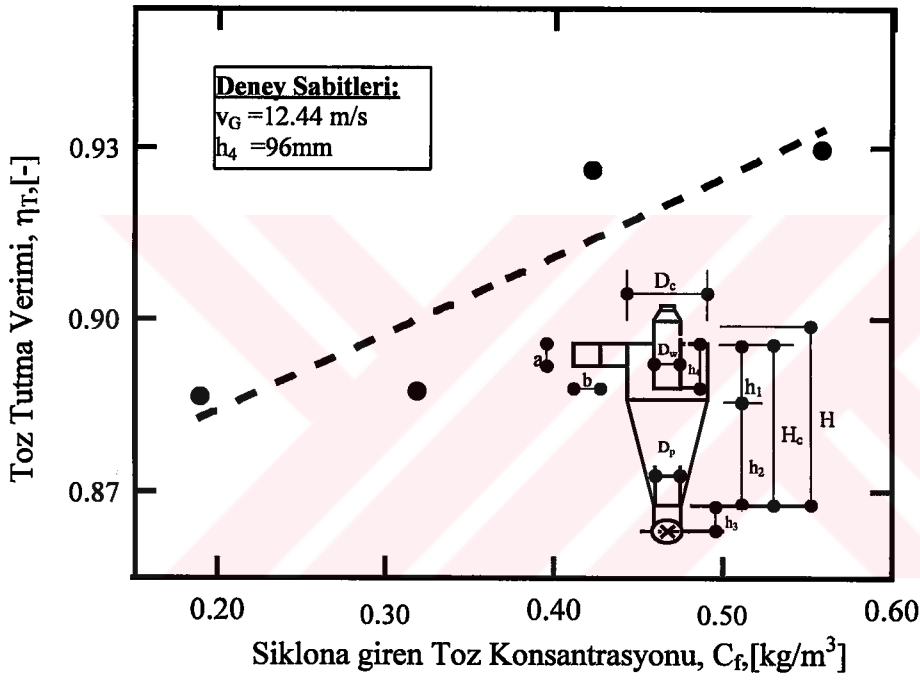
Şekil 6.25'de siklon giriş konsantrasyonu ve basınç kaybı ilişkisi nasıl etkilendiği yer almaktadır. Burada deneysel sonuçlarda ve Fritz[1] kolerasyonunda konsantrasyonun basınç kaybı katsayısını azaltan şekilde etkilediği saptanmıştır. Ayrıca yine Bart[6] kolerasyonuna göre yine geometrik değişkenlerin dışındaki etkilerin olmadığı ve basınç kaybı katsayısının sabit kaldığı görülmektedir.



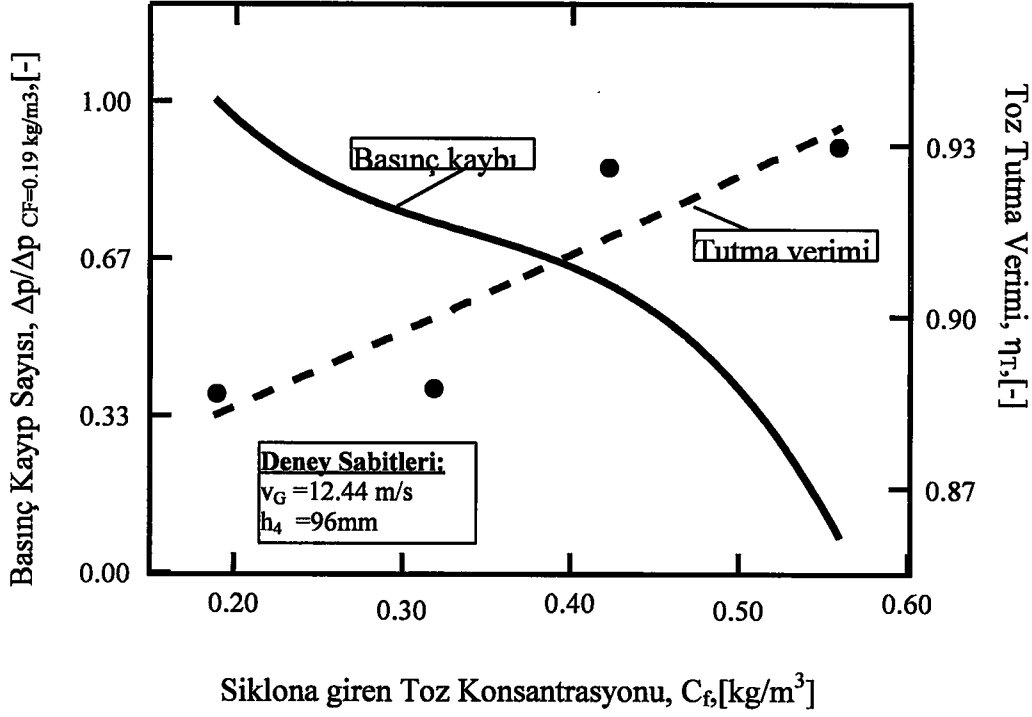
Şekil 6.24 Siklon giriş konsantrasyonu kayıp katsayısı ilişkisi

Partikül Tutma Verimi

Siklona giren toz yükü arttıkça toz tutma veriminde iyileşme görülmektedir (Şekil 6.25). de Basınç kayıpları ve toz tutma verimlerinin zıt yönde etkilendiği deneylerden anlaşılmaktadır (Şekil 6.26). Burada gazın üzerine aldığı toz yükü arttıkça verimde artma beklenmektedir. Deneysel sonuçlarda bunu doğrulamaktadır.



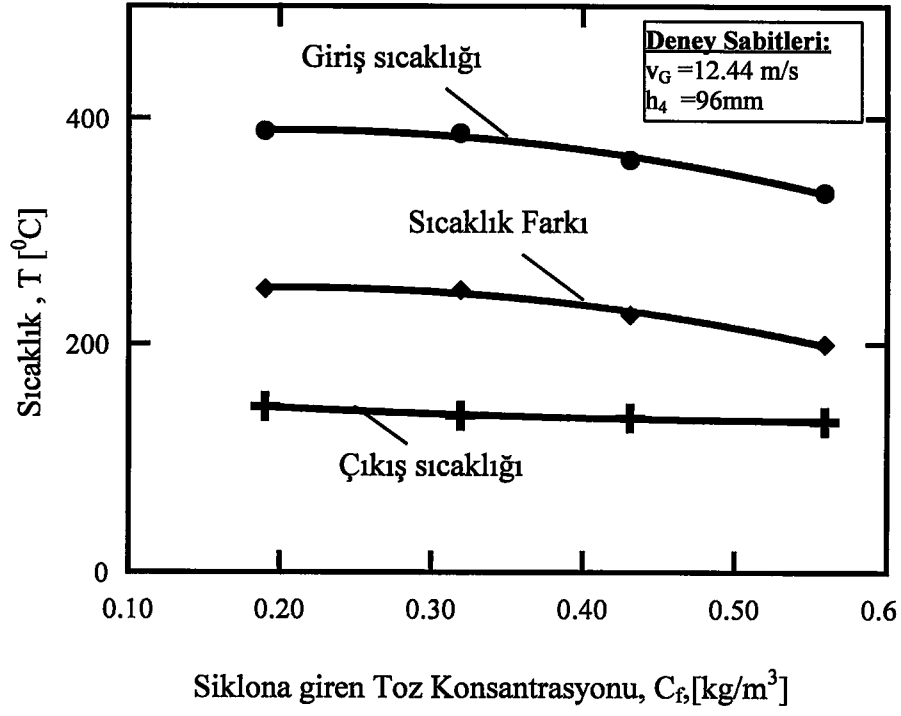
Şekil 6.25 Siklona Giren Toz Konsantrasyonu ve toz tutma verimi ilişkisi



Şekil 6.26 Toz konsantrasyonunun basınç kaybı ve Toz Tutma Verimi üzerindeki etkisi

Gaz çıkış sıcaklığı

Siklon giriş partikül konsantrasyonu arttığında, siklon giriş sıcaklığı düşmektedir (Şekil 6.27). Bu durum, partiküllerin gaza verildiği nokta ile siklon giriş sıcaklığının ölçüldüğü nokta arasında bir mesafe bulunması ve bu arada gaz ile partikül arasında ısı geçişi olmasından kaynaklanmaktadır ve siklondan çıkışta, gaz çıkış sıcaklıklarının da, partikül konsantrasyonu ile azaldığı deneylerden ölçülmüştür (Şekil 6.27). Siklon giriş ve çıkış noktaları arasında oluşan sıcaklık farkı incelendiğinde (Şekil 6.27), partikül konsantrasyonunun artmasıyla sıcaklıkların düştüğü anlaşılmaktadır.



Şekil 6.27 Konsantrasyonun çıkış sıcaklığına etkisi

6.5. Siklonlarda Isı Geçişi

Siklonlarda oluşan ısı geçişi analizinin yapılabilmesi için temel bazı kabuller yapılmalıdır. Bunlar;

1. Siklon yüzeyinden ısı kaybı yoktur. ($\delta Q=0$)
2. Siklon üst ve alt çıkışında gaz ve partikül aynı sıcaklıklarda kabul edilir.
3. Isı geçişi sadece taşınım ile olmaktadır.

Termodinamiğin I. yasası açık sisteme uygulanırsa

$$\delta Q + \delta W_t = dH + dE_{kin.} + dE_{port.} \quad (6.7)$$

elde edilir. İncelenilen sistemde

$$\begin{aligned} \delta W_t &= 0 && \text{(Teknik iş)} \\ dE_{kin.} &= 0 && \text{(Kinetik enerji değişimi)} \\ dE_{port.} &= 0 && \text{(Potansiyel enerji değişimi)} \end{aligned}$$

kabul edilerek

$$\delta Q = dH \quad (6.8)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik siklondaki partikül ve gaz arasında uygulandığında

$$Q = H_g - H_\phi \quad (6.9)$$

bulunur. Buradaki Q ısı geçişi,

$$Q = \alpha A_T [(T_{gg}/2) - (T_{pg}/2)] \quad (6.10)$$

Olarak yazılabilir.

Burada gaz giriş sıcaklığı T_{gg} ve partikül çıkış sıcaklığı $T_{pç}$, deneylerden ölçülmüştür. Toplam yüzey alanı A_T ise, tek bir partikül kütlesi (m_p);

$$m_p = \rho_p V_p \quad (6.11)$$

olduğundan toplam partikül kütlesi (m_T)

$$m_T = n_T m_p \quad (6.12)$$

olarak yazılabilir. Burada n_T , 1 kg'a gelen partikül sayısıdır. Tek bir partikülün yüzey alanı (A_p) bilindiğinden partikülün toplam yüzey alanı (A_T),

$$A_T = n_T A_p \quad (6.13)$$

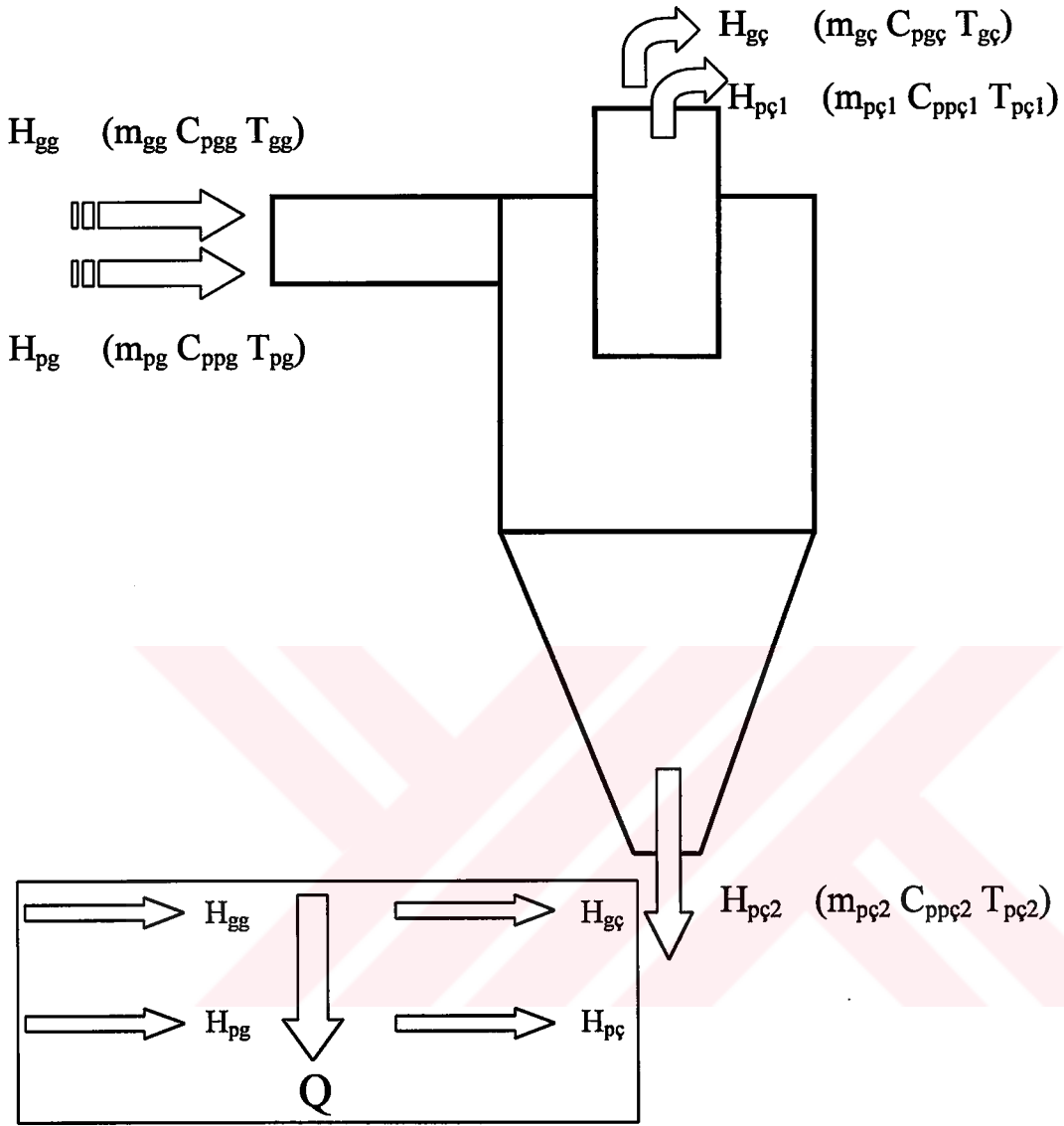
olarak elde edilir. Burada partikülün küresel olduğu kabul edilmiştir. Siklonun giriş ve çıkışındaki akışkanların entalpileri (H_g, H_c) ve birbirleri arasındaki ısı geçişi Şekil 6.28 daki gibi düşünülerek, enerji dengesi denklemi

$$[(m_{gg}C_{pgg} T_{gg} + m_{pg} C_{ppg} T_{pg})] - [(m_{gc}C_{pgc} T_{gc}) + (m_{pç1} C_{pç1} T_{pç1}) + (m_{pç2} C_{ppç2} T_{pç2})] = Q \quad (6.14)$$

yazılabilir. Isı geçişi denklemi (6.10), yukarıdaki denklemde yazıldığında

$$[(m_{gg}C_{pgg} T_{gg} + m_{pg} C_{ppg} T_{pg})] - [(m_{gc}C_{pgc} T_{gc}) + (m_{pç1} C_{pç1} T_{pç1}) + (m_{pç2} C_{ppç2} T_{pç2})] = \alpha A_T [(T_{gg}/2) - (T_{pç}/2)] \quad (6.15)$$

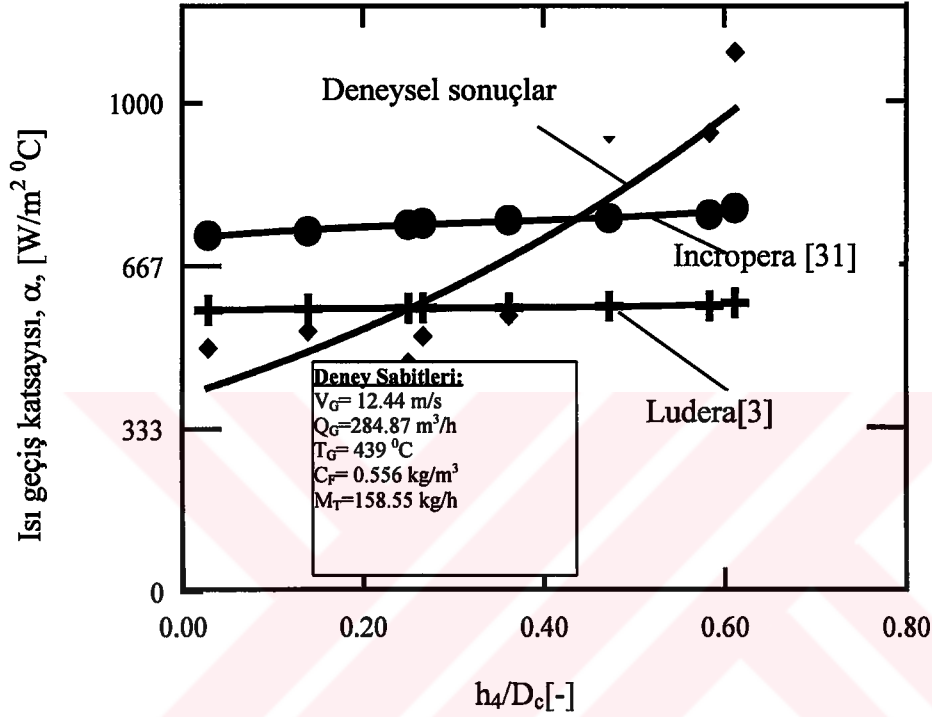
elde edilir. Bu denklem, deneylere uygulanmasıyla, ısı geçiş katsayısı α , hesaplanır.



Şekil 6.28 Ön ısıtıcı siklonda ısı geçiş modeli.

Dalma borusu derinliğinin ısı geçişine etkisi

Denklem 6.15 ile ve literatürde önerilen denklem 3.15-18 yardımıyla, ölçülen deney verileri kullanılarak ısı geçiş katsayısı α hesaplanmış ve Şekil 6.29 da gösterilmiştir.

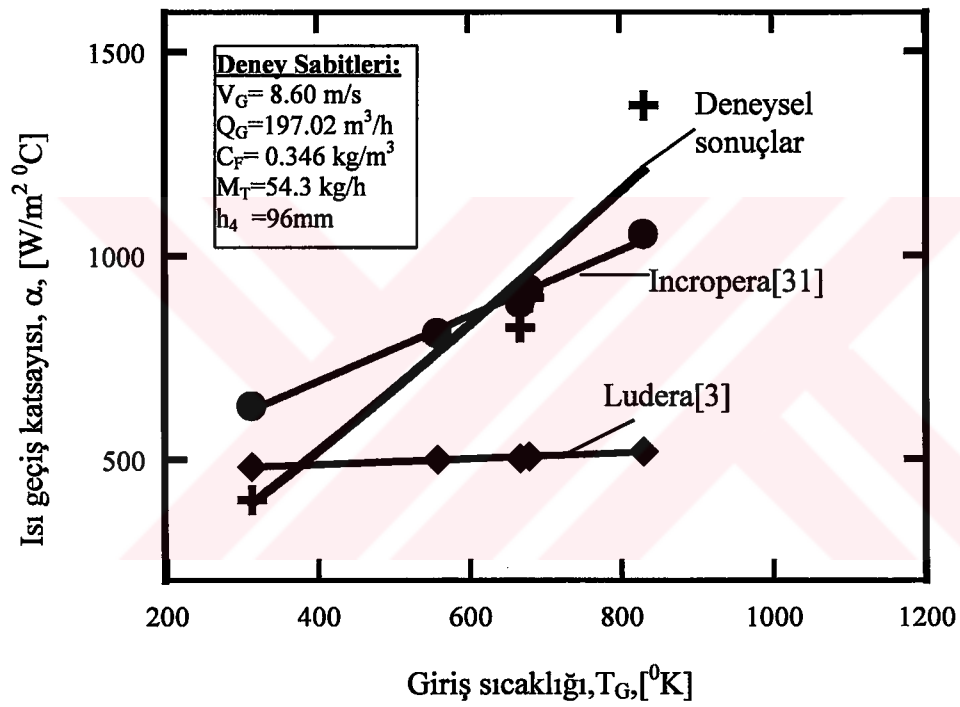


Şekil 6.29 Dalma borusu derinliğinin ve ısı geçişine etkisi

Şekil 6.29' da yer alan sonuçlarda, siklon girişinde sıcaklık sabit tutulmuştur. Siklonda dalma boyu arttığında ısı geçiş katsayısı α , artmaktadır. ısı geçiş katsayısı, deneysel sonuçlarda, Ludera[3] ve Incropera [31]'e göre daha fazla olmaktadır. Burada deneysel sonuçlara göre dalma boyu ısı geçişini daha fazla etkilediği söylenebilir. Buna karşın partikül ve gazın beraber akışı esnasındaki ısı geçişini birebir karşılayamayan ve geometrik parametrelerin etkisinin olmadığı Ludera [3] ve Incropera [31]'e göre bu artış daha az olmaktadır.

Siklon gaz giriş sıcaklığının ısı geçişine etkisi

Şekil 6.30 de siklona giren gaz sıcaklığının artmasıyla ısı geçiş katsayısının arttığı deneysel olarak ölçülmüştür. Bununla beraber Incropera [31] korelasyonunda elde edilen teorik sonuçlara göre yine bir artış eğilimi elde edilmiştir. Gerek deneysel sonuçlara göre gerekse Incropera [31] ve Ludera [3] korelasyonlarına göre siklon giriş sıcaklığı artışıyla ısı geçiş katsayısı artmaktadır.

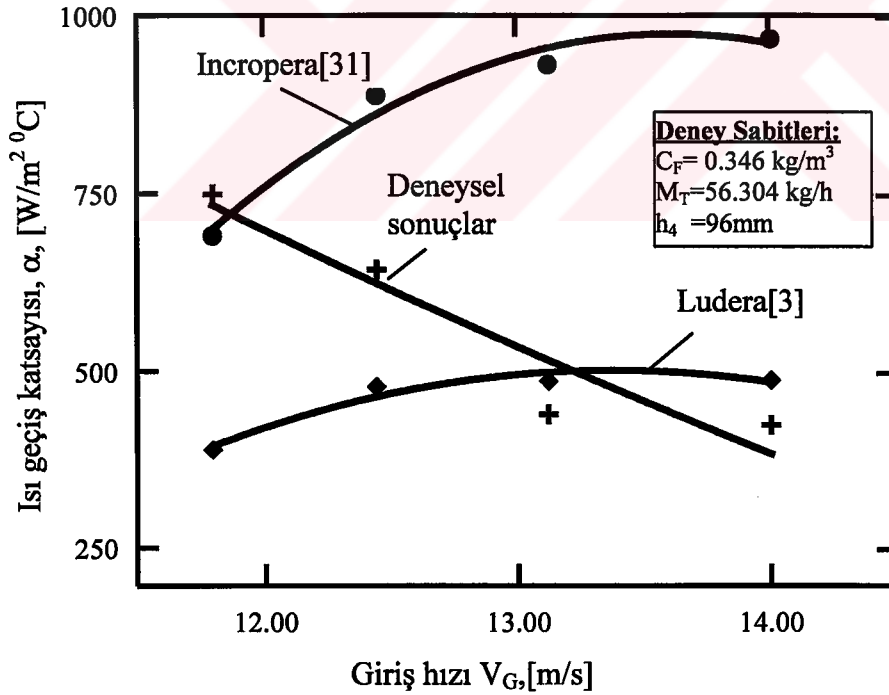


Şekil 6.30 Siklon giriş sıcaklığının ısı geçişine etkisi

Gaz giriş hızının ısı geçişine etkisi

Şekil 6.31’de siklona giren gaz hızı artışının ısı geçiş katsayısına etkisi incelenmiştir. Burada Incropera [31] ve Ludera [3] e göre tek bir partikül için gaz hızı arttıkça ısı geçiş katsayısı artmaktadır. Ancak bu model siklon içinde değişiklik göstermektedir.

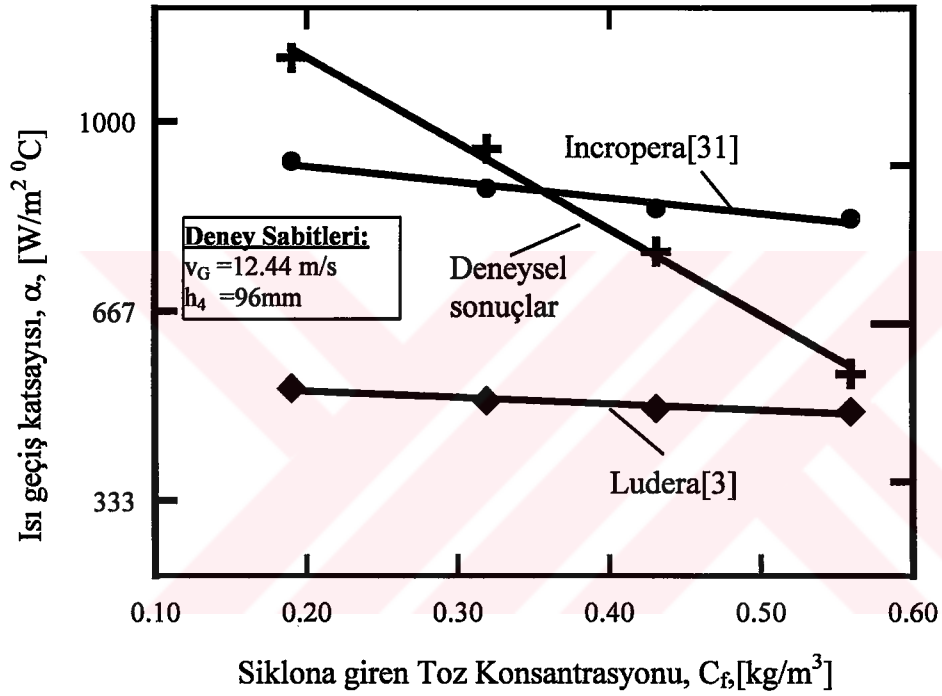
Siklon giriş hızı arttıkça partikülün siklon içindeki girdap dönme sayısı azalmakta ve aynı zamanda partikülün siklon içinde kalma süresi azalmaktadır. Bu da ısı geçişini olumsuz yönde etkilemektedir. Önısıtıcı siklonlarda partikülün siklon içinde kalma süresini arttırarak ısı geçişini arttırmak istenmektedir. Bu yüzden önısıtıcı siklonlarda seçilen gaz giriş hızında partikül tutma veriminden çok ısı geçiş katsayısının arttırılması amaçlanır.



Şekil 6.31 Gaz giriş hızının ısı geçişine etkisi

Toz Konsantrasyonunun Isı Geçisine Etkisi

Şekil 6.32 de artan partikül konsantrasyonunda, giriş ve çıkış sıcaklıklarının düşüşünden dolayı ısı geçiş katsayısının azaldığı deneysel olarak bulunmuştur. Ludera [3] ve Incropera [31]'e göre bu süreç yine azalmakta ancak tek partikül boyutlarında ele alınan sonuçlara bağlı düşüş eğilimi daha az olmaktadır.



Şekil 6.32 Toz konsantrasyonunun ısı geçiş katsayısına etkisi

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Bir önisıtıcı siklon reaktör değişik sıcaklıklarda, gaz giriş hızlarında, toz konsantrasyonlarında ve dalma borusunun değişik dalma derinliklerinde test edilerek, çift fazlı akış için basınç kayıpları, basınç kayıp katsayıları, toz tutma verimleri, çıkış sıcaklıkları ve ısı geçişi incelenmiştir.

2. Dalma borusu dalma derinliği

- Siklon akışında geometrik boyutların basınç kayıpları ve tutma verimi üzerindeki etkileri çok önemlidir. Bunlardan siklon dalma borusu dalma boyu arttıkça basınç kayıpları ve tutma verimi artmaktadır. Dalma boyu arttıkça girdap akışının dönme sayısı fazlalaşmakta, dolayısıyla akış yolu artmakta böylece basınç kayıpları artmaktadır.
- Dalma boyu arttıkça basınç kayıpları artan siklonlarda seçilecek vantilatörün boyutları ve enerji maliyetleri artmaktadır. Bu yüzden önisıtıcı siklon gruplarında 1. kademe siklonların geometrik özellikleri toz tutma verimlerini arttıracak şekilde tasarlanmasına karşın, diğer kademelerdeki önisıtıcı siklonlarda esas amaç baca gazı ısı enerjisini farine aktarmak olduğundan toz tutma verimleri düşük tutularak en üst kademedeki kalan farinin atmosferi daha az kirletmesi için dalma derinliğinin 1. kademedeki daha da arttırılması gerekir.
- Dalma derinliğinin 85-95 mm sine kadar basınç kaybının azaldığı daha sonraki bütün dalma derinliklerinde basınç kaybının arttığı gözlenmiştir.

- Önisıtıcı siklonlar için basınç kayıpları açısından optimum dalma derinliği $h_4/D_C=0.28$ olarak saptanmıştır.
- Dalma derinliğinin basınç kayıpları ve toz tutma verimi üzerinde benzer etki gösterdiği deneysel olarak tespit edilmiştir. Siklon dalma borusu dalma boyu arttıka, siklon içindeki girdap dönme sayısı artmakta, siklon altı partikül miktarı artmakta ve buna bağlı olarak siklon çıkış sıcaklığı düşmektedir. Siklon dalma borusu dalma derinliği arttıka basınç kayıp katsayısı artmaktadır.

3. Giriş sıcaklığı

- Siklona giren gaz hızını ve toz konsantrasyonunu sabit tutarak sıcaklığın arttırıldığında gaz yoğunluğunun düşüşüne bağlı olarak basınç kayıplarının azaldığı deneysel olarak gözlemiştir.
- Sıcaklığın artışı karşısında basınç kayıplarına etkiyen basınç kayıp katsayılarının düştüğü saptanmıştır. Ancak artan çıkış sıcaklıkları çıkış hızlarını düşürdüğünden kayıp katsayısı Fritz[1]'e göre, basınç kayıpları azalmasına rağmen artmakta olduğu anlaşılmaktadır.
- Artan siklon gaz giriş sıcaklığında, siklonda tutulan kritik partikül çapı büyümekte bununla beraber yoğunluk düşüşüyle partikül tutma verimi oldukça azalmaktadır.

4. Giriş hızı

- Siklona giren toz konsantrasyonunun sabit tutulduğu halde, siklon giriş hızı arttırıldığında, basınç kayıpları artmaktadır. Burada girdap dönme sayısının artması basınç kaybının artmasının başlıca sebebinin teşkil etmektedir.
- Basınç kayıplarına belirleyen basınç kayıp katsayısı, giriş hızı arttıkça artan bir eğilim göstermektedir.
- Siklon giriş hızı artışında, partikül üzerine etkiyen merkezkaç kuvvetlerinin arttığından ayrışma derecesi de artmaktadır.
- Sabit partikül konsantrasyonunda siklon giriş hızı artarken, siklona giren ve terk eden gaz sıcaklıkları da artmaktadır.

5. Konsantrasyon

- Siklondan sabit gaz debisi geçerken iken toz konsantrasyonunun arttırılmasıyla basınç kayıplarının ve tutma veriminin azaldığı deneysel olarak saptanmıştır. Burada artan çıkış sıcaklığı çıkış yoğunluğunu ve hızını düşürmekte, böylece basınç kayıplarını azaltmaktadır.
- Artan toz konsantrasyonu basınç kayıp katsayısını arttırmaktadır.
- Sabit giriş hızında partikül üzerine etkiyen merkezkaç kuvveti artmakta bu da ayrışma derecesini olumlu yönde etkilemektedir.

6. Isı geçişi

- Siklonda dalma borusu dalma derinliği arttığa ısı geçişinin belirgin arttırdığı saptanmıştır.
- Siklon gaz giriş sıcaklığı arttığında ısı geçişinin iyileşmekte olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir.
- Gaz giriş hızı, siklonda partikülün kalma süresini azaltmakta ve ısı geçişini olumsuz yönde etkilemektedir.
- Siklona giren partikül miktarı arttığa ısı geçişi olumsuz etkilenmektedir.

7. Yapılan bu çalışmada Önisıtıcı siklon kademelerinin hangisinde, giriş parametrelerinin, basınç kayıpları, toz tutma verimleri ve ısı geçişine etkisinin nasıl olacağı deneysel olarak bulmak mümkün olmuştur. Böylece toplam basınç kaybı ve atmosfere kaçan partikül miktarı deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca siklonların seri bağlanması sağlanarak daha yüksek sıcaklıklarda, hızlarda, konsantrasyonlarda ve çok daha değişik geometriler altında deneyler yapılması hedeflenmektedir.

8. Daha sonra yapılacak araştırmalarda giriş parametrelerinin etkisinde partikül boyut analizlerinin değişiminin araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] FRITZ, W., KERN, H., "Reinigung Von Abgasen", Vogel Buchverlag, 1992.
- [2] LUDERA, L.M., "Design Methods for Cyclone Preheaters of Rotary Kilns", ZKG, 11/88, pp. 551-558, 1989.
- [3] FASSANI, F.L., GOLDSTEIN, L., "A Study of the Effect of High Inlet Solids Loading on A Cylone Separator Pressure Drop and Collection Efficiency", Powder Technology, Vol:107, pp. 60-65, 2000.
- [4] BOHNET, M. "Influence of the Gas Temperature on the Separation Efficiency of Aerocyclones", Chemical Engineering and Processing, Vol:34, pp.151-156, 1995.
- [5] BAHU, RE., "Cyclone Modeling", Chemical Engineering Progress, Vol:90, pp.8-9, 1994.
- [6] KALAFATOĞLU, E., "Siklon Tasarımı ve Sonuç Raporu", TÜBİTAK MAM GEBZE.
- [7] HOFFMANN, AC., DEJONGE, R., ARENDS, H., and HANRATS, C., "Evidence of the Natural Vortex Length and Its Effect on the Separation Efficiency of Gas Cyclones", Filtration & Separation , Vol:32, pp.799-804, 1995.
- [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] VEDERNIKOV, VB., "Dust Collecting Efficiency of a Cyclone as a Function of Gas Velocity", Russian Journal of Applied Chemistry, Vol:68, pp.760-762, 1995
- [10] BOHNET, M., MORWEISER, M., "Modern Design of Aerocyclones", Advanced Powder Technology, Vol:8, pp.137-161, 1997.
- [11] KARPOV, SV., SABUROV, EN., "Optimization of Geometric Parameters for Cyclone Separators", Theoretical Foundations of Chemical Engineering, Vol:32, pp.7-12, 1998.
- [12] ZHU, YF., LEE, KW., "Experimental Study on Small Cyclones Operating at High Flowrates", Vol:30, pp.1303-1315, 1999.
- [13] FRASER, SM., RAZEK, AMA., "Computational and Experimental Investigations in a Cyclone Dust Separator", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part E- Journal of Process Mechanical Engineering, Vol:211, pp: 247-257, 1997
- [14] RAMESOHI, H., "40 Years of Humboldt Preheaters", ZKG, pp.342-347, 6/1993.
- [15] ONTKO, J.S., "Cyclone Separator Scaling Revisited", Powder Technology", Vol:87, pp. 93-104, 1996.
- [16] FEI, P., "Investigations of Cyclone Preheaters with a Cold Model", ZKG, 12/86, pp.668-670, 1987.
- [17] 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.

- [18] COKER, A.K., "Understand Cyclone Design", Chemical Engineering Progress, pp. 51-55, 12/1993.
- [19] HEUMANN, W.L., "Cyclone Separators a Family Affair", Chemical Engineering, Vol:98, pp.118, 1991.
- [20] CLIFT, R., GHADIRI, M., and HOFFMAN, A.C., "A Critique of two Models for Cyclone Performance", AIChE Journal, Vol:37, pp.285-289, 1991.
- [21] AMREIN, L.D., "Tips for Selecting Highly Efficient Cyclones", Chemical Engineering, Vol:102, pp.123-128, 1995.
- [22] YAZDABADI, P., GRIFFITHS AJ. SYRED, N., "Investigation Into the Precessing Vortex Core Phenomenon in Cylone Dust Separators", Proceedings of the Instituon of Mechanical Engineers Part E- Journal of Process Mechanical Engineering , Vol:208, pp: 147-154, 1994.
- [23] GORTON-HULGERTH, A., STAUDINGER, G., "Three Dimensional Flow Simulation on a Gas Cyclone with a Reynolds Stress Model", Chemie Ingenieur Technik , Vol:71, pp.354-356, 1999.
- [24] KLUJSZO, LAC., RAFAELOF, M., RAJAMANI, RK., "Dust Collection Performance of a Swirl Air Cleaner", Powder Technology, Vol:103, pp.130-138, 1999.
- [25] MOORE, ME., MCFARLAND, AR., "Design Metodology for Multiple Inlet Cyclones", Environmental Science & Technology, Vol:30, pp.271-276, 1996.
- [26] MUSCHELKNAUTZ, S., RUPPERT, KA., KLUG, F., "Transient Loading of Cyclone Separators on Use in Blowdown Systems", Chemie Ingenieur Technik , Vol:66, pp.180-186, 1994.

- [27] SHI, MX., LIU, JR., LIU, GR., JIN, YH., YAO, ZB., LIU, QX.," The Cyclone Separators Performances Under High-Temperature in PFBC Unit", Heat Recovery System, Vol:15, pp. 191-198, 1995.
- [28] ENGİN, T.," Çimento Fabrikalarındaki Döner Fırın Sistemlerinin Isıl Analizi", 1. Makine Mühendisliği Kongresi İTÜ, pp. 29,1997.
- [29] ÇENGEL, Y.A.,"Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer", McGraw-Hill ,pp.528-530,1997.
- [30] MUNSON, B.R., YOUNG, D.F., OKIISHI, T.H.,"Fundamentals of Fluid Mechanics", John Wiley&Sons, Inc.,pp.341-343,1998.
- [31] INCROPERA, F.P., WITT, D.P.D., "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", John Wiley&Sons, Inc.,pp.416-421,1990

ÖZGEÇMİŞ

Vedat Arı 1968 yılında Eskişehir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı ilde tamamladı. 1990 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünden mezun olduktan sonra ilk görev yeri Bursa Hürriyet Teknik ve Endüstri Meslek Lisesinde öğretmenlik görevine başladı. 1993 yılında Dumlupınar Üniversitesinde Makine Eğitimi Bölümünde Y. Lisansa başladı. Aynı yıl Simav Teknik Eğitim Fakültesinde Makine eğitimi bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 1995 Güz döneminde Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi E.A.B.D.’nda doktora eğitimine başladı ve aynı Fakültede 1996 Haziranında araştırma görevlisi kadrosuna atandı. Halen bu görevini sürdürmektedir. Pompalar, Çimento üretim prosesi, Pnomatik transport alanlarında yayınlanmış 3 adet makale ve bildiri çalışması vardır. Vedat Arı evli ve iki çocuk babasıdır.