

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİKLON AYIRICILARDA ÇIKIŞ BORU ÇAPI VE AKIŞ HIZLARININ
SİKLON PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Ayşegül BALIKCI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tarkan KOCA

OCAK 2023

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİKLON AYIRICILARDA ÇIKIŞ BORU ÇAPI VE AKIŞ HIZLARININ
SİKLON PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS

Ayşegül BALIKCI
(36193618037)

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tarkan KOCA

OCAK 2023

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalıőmasının her aőamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedен beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Tarkan KOCA 'ya,

alıőmalarımда tüm hayatım boyunca benden desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan annem Sevim GÖRMEZ ve ablam őeyda BALIKCI' ye,

Laboratuvar olanak konusunda, deneysel ve analiz çalıőmalarımı yürütmeme imkân sağlayan MİMSAN ENDÜSTRİ KAZANLARI A.ő.' ye,

teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Siklon Ayırıcılarında Çıkış Boru Çapı Ve Akış Hızlarının Siklon Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Ayşegül Balıkcı



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. GENEL BİLGİLER	11
3.1 Akışkan Yataklı Kazanlar	11
3.2.1 Kabarcıklı akışkan yataklı kazan.....	14
3.2.2 Dolaşımli akışkan yataklı kazan.....	15
3.2 Siklon Ayırıcılar	16
3.2.1 Siklon ayırıcılarda akış davranışı	17
3.2.2 Siklon ayırıcılarda basınç düşümü.....	18
3.1.3 Siklon ayırıcılarda toplama verimliliği.....	22
3.3 Ekonomizer.....	24
3.4 Reküperatör.....	25
3.5 Elektrostatik Filtre	26
3.6 Baca	27
4. MATERYAL VE METOT	29
4.1 Siklon Tasarımı.....	29
4.2 Siklon SolidWorks Flow Simulation Akış Analizi.....	31
4.2.1 SolidWorks Flow Simulation’da kömürün basınç düşümü.....	32
4.2.2 SolidWorks Flow Simulation’da biyokütlenin(mısır sapı)basınç düşümü.....	34
4.3 Deneysel Çalışma	36
4.4 Deney Setinde Kullanılan Ekipmanlar	39
4.4.1 Siklon.....	39
4.4.2 Dozajlama ünitesi (bunker)	40
4.4.3 Basınç transmitteri.....	40
4.4.4 Redüktör	41
4.4.5 Frekans invertörlü hava fanı	41
4.4.6 Kontrol panosu	42
4.4.7 Partikül analiz cihazı	43
4.4.8 Sıcaklık rezistansı.....	43
4.4.9 Numune eleği.....	44
4.4.10 Hassas tartı.....	44
4.4.11 Helezon borusu.....	45
4.4.12 Kömür numunesi	45
4.4.13 Biyokütle (Mısır Sapı) numunesi	46
4.4.14 Kömür ve biyokütlenin (mısır sapı) yakıt özellikleri	47
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	48
5.1 Numunelerin Sınıflandırılması	48

5.2 Elek Analizi	50
5.3 SolidWorks Programında Akış Analizi	51
5.3.1 Basınç düşüşü	51
5.3.2 Toz tutma verimliliği	52
5.4 Deneysel Çalışma Verileri	59
5.4.1.1 450 m ³ /h Debideki kömür ve biyokütlenin toz tutma verimliliği.....	60
5.4.1.2 374.85 m ³ /h Debideki kömür ve biyokütlenin toz tutma verimliliği..	61
5.4.1.3 299.7 m ³ /h Debideki kömür ve biyokütlenin toz tutma verimliliği....	62
5.4.1.4 255 m ³ /h Debideki kömür ve biyokütlenin toz tutma verimliliği.....	62
5.4.2 Basınç düşüşü deneysel çalışma.....	63
5.4.2.1 450 m ³ /h Debideki kömür ve biyokütlenin toz tutma verimliliği.....	64
5.4.2.2 374.85 m ³ /h Debideki kömür ve biyokütlenin toz tutma verimliliği..	65
5.4.2.3 299.7 m ³ /h Debideki kömür ve biyokütlenin toz tutma verimliliği....	66
5.4.2.4 255 m ³ /h Debideki kömür ve biyokütlenin toz tutma verimliliği.....	66
5.5 Sayısal yöntemler ile basınç düşüşü faktörü.....	67
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 : Siklonların verimlilik dağılımı [36].	24
Çizelge 4.1 : Standart siklon tasarım boyutlandırması [14].	30
Çizelge 4.2 : Deney düzeneği malzeme listesi.	37
Çizelge 4.3 : Kömür ve biyokütlenin (mısır sapı) yakıt özellikleri [70].	47
Çizelge 5.1 : Kömür elek analizi ağırlıkları.	50
Çizelge 5.2 : Biyokütle (mısır sapı) elek analizi ağırlıkları.	51
Çizelge 5.3 : Biyokütle ve kömür numunelerinin basınç düşümü analiz verileri.	51
Çizelge 5.4 : Biyokütle (mısır sapı) numunesinin DN80 toz tutma verimliliği.	53
Çizelge 5.5 : Biyokütle (mısır sapı) numunesinin DN100 toz tutma verimliliği.	54
Çizelge 5.6 : Biyokütle (mısır sapı) numunesinin DN125 toz tutma verimliliği.	55
Çizelge 5.7 : Kömür numunesinin DN80 toz tutma verimliliği.	56
Çizelge 5.8 : Kömür numunesinin DN100 toz tutma verimliliği.	57
Çizelge 5.9 : Kömür numunesinin DN125 toz tutma verimliliği.	58
Çizelge 5.10 : Kömür ve biyokütle (mısır sapı) numunesinin toz tutma verimliliği.	59
Çizelge 5.11 : Kömür ve biyokütle (mısır sapı) numunesinin basınç düşüşü.	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 : Buhar kazanı ve ekipmanları sistem şeması.	11
Şekil 3.2 : Akışkan yataklı kazan teknolojisi [65].	13
Şekil 3.3 : Sabit yatak, minimum akışkanlaştırma konumu, kabarcıklı ve dolaşimli akışkan yatak [67].	14
Şekil 3.4 : Kabarcık akışkan yataklı kazan.	15
Şekil 3.5 : Dolaşimli akışkan yataklı kazan.	16
Şekil 3.6 : Teğetsel girişli siklon girişleri [30].	17
Şekil 3.7 : Siklon akışları a) teğetsel, b) radyal, c) aksenal [36].	18
Şekil 3.8 : Siklon ayırıcılarda farklı giriş modelleri [61].	18
Şekil 3.9 : Ekonomizer.	25
Şekil 3.10 : Reküperatör.	26
Şekil 3.11 : Elektrostatik Filtre.	27
Şekil 4.1 : Siklon akış modeli [36].	29
Şekil 4.2 : Siklon tasarım modellemesi [36].	30
Şekil 4.3 : Yüksek verimli Stairmand modeline göre siklonu tasarımı.	31
Şekil 4.4 : DN80 Kömür yakıtın analizi.	32
Şekil 4.5 : DN100 Kömür yakıtın analizi.	33
Şekil 4.6 : DN125 Kömür yakıtın analizi.	33
Şekil 4.7 : DN80 Biyokütle (mısır sapı) yakıtın analizi.	34
Şekil 4.8 : DN100 Biyokütle (mısır sapı) yakıtın analizi.	35
Şekil 4.9 : DN125 Biyokütle (mısır sapı) yakıtın analizi.	35
Şekil 4.10 : Deneysel şematik kurulum.	37
Şekil 4.11 : Deney düzeneği montaj ve kontrol panosu.	38
Şekil 4.12 : Üç farklı dalma boru çapı.	38
Şekil 4.13 : Stairmand tipi yüksek verimli siklon filtrenin boyutları.	39
Şekil 4.14 : Dozajlama ünitesinin görünümü.	40
Şekil 4.15 : Basınç transmitteri.	41
Şekil 4.16 : Redüktör.	41
Şekil 4.17 : İntertörlü hava fanı.	42
Şekil 4.18 : Kontrol Panosu.	42
Şekil 4.19 : Mastersizer 3000 lazer partikül cihazı.	43
Şekil 4.20 : Sıcaklık rezistansı.	43
Şekil 4.21 : Beş farklı elek.	44
Şekil 4.22 : Hassas tartı.	45
Şekil 4.23 : Redüktöre bağlı helezon borusu.	45
Şekil 4.24 : Kömür numunesi	46
Şekil 4.25 : Biyokütle (mısır sapı) numunesi.	47
Şekil 5.1 : Biyokütle (mısır sapı) Mastersizer 3000 lazer katı partikül analizi.	49
Şekil 5.2 : Kömür Mastersizer 3000 lazer katı partikül analizi.	50
Şekil 5.3 : SolidWorks Flow Simulation’da biyokütle (mısır sapı) için basınç düşüşü verileri.	52
Şekil 5.4 : SolidWorks Flow Simulation’da kömür için basınç düşüşü verileri.	52
Şekil 5.5 : DN80’ de biyokütle (mısır sapı) için toz tutma verimliliği.	53
Şekil 5.6 : DN100’ de biyokütle (mısır sapı) için toz tutma verimliliği.	54
Şekil 5.7 : DN125’ te biyokütle (mısır sapı) için toz tutma verimliliği.	55
Şekil 5.8 : DN80’ de kömür için toz tutma verimliliği.	56
Şekil 5.9 : DN100’ de kömür için toz tutma verimliliği.	57
Şekil 5.10 : DN125’ te kömür için toz tutma verimliliği.	58

Şekil 5.11 : Deneysel çalışmada kömür için toz tutma verimliliği.	60
Şekil 5.12 : Deneysel çalışmada biyokütle (mısır sapı) için toz tutma verimliliği.	60
Şekil 5.13 : 450 m ³ /h debide toz tutma verimliliği farkı.	61
Şekil 5.14 : 374.85 m ³ /h debide toz tutma verimliliği farkı.	61
Şekil 5.15 : 299.7 m ³ /h debide toz tutma verimliliği farkı.	62
Şekil 5.16 : 255 m ³ /h debide toz tutma verimliliği farkı.	63
Şekil 5.17 : Deneysel çalışmada kömür basınç düşüşü.	64
Şekil 5.18 : Deneysel çalışmada biyokütle (mısır sapı) basınç düşüşü.	64
Şekil 5.19 : 450 m ³ /h debide basınç düşümü farkı.	65
Şekil 5.20 : 374.85 m ³ /h debide basınç düşümü farkı.	65
Şekil 5.21 : 299.7 m ³ /h debide basınç düşümü farkı.	66
Şekil 5.22 : 255 m ³ /h debide basınç düşümü farkı.	67
Şekil 5.23 : Basınç düşüşü faktör hesabı.	67



SEMBOLLER VE KISALTMALAR

a	: Giriş kesiti genişliği
b	: Giriş kesiti yüksekliği
c	: Siklon silindir yüksekliği
L	: Siklon toplam gövde yüksekliği
S	: Dalma borusu yüksekliği
D₀	: Ortalama siklon çapı
D₁	: Siklon iç çapı
D₂	: Siklon koni çıkış çapı
kW	: Kilowatt
V_{giriş}	: Giriş hızı
Q	: Debi
A	: Siklon giriş kesiti alanı
K	: Basınç Düşümü Katsayısı
ΔP	: Basınç Kaybı
bar	: Basınç birimi
ρ	: Yoğunluk
D_{3m}	: Ortalama çıkış çapı
a_d	: Düzeltilen boyutsuz akış genişliği
a_h	: Hidrolik çap
C_c	: Cunningham düzeltme faktörü
C_s	: Boyutsuz parametre
X	: Giriş ve çıkış çaplar oranı
d_k	: Kritik parçacık çapı
μ	: Dinamik viskozite
f₀	: Ortalama sürtünme katsayısı
m_g	: Siklona giren parçacık kütlesi
m_b	: Siklonda tutulan parçacık kütlesi
η	: Ayırma verimi
d_i	: Parçacık çapı
Re	: Reynolds sayısı
d/dk	: Devir/Dakika
Hz	: Frekans

K	: Sıcaklık
mmSS	: Milimetre su sütunu
Pa	: Pascal
V	: Gerilim
HAD	: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
mg/m³	: Partikül konsantrasyonu
LES	: Large eddy simülasyonu
SO₂	: Kükürt oksit
NO_x	: Azot oksit



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİKLON AYIRICILARDA ÇIKIŞ BORU ÇAPI VE AKIŞ HIZLARININ SİKLON PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

AYŞEGÜL BALIKCI

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

75+XI sayfa

2023

Danışman: Doç.Dr. Tarkan KOCA

Siklon ayırıcılar, katı parçacıklar içeren bir gaz akımı ile vorteksler oluşturarak akıştaki katı parçacıkları gazdan ayırma işleminde kullanılan sabit parçalı cihazlardır. Genellikle siklonlar endüstriyel alanlarda demir-çelik, çimento, inşaat gibi tesislerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, yüksek verimli Stairmand modeline göre tasarlanan siklonda, siklon performansını etkileyen basınç düşüşü ve toz tutma verimini incelemek için üç farklı daldırma boru çapı, dört farklı debi ve iki farklı numune kullanılmıştır. İmal edilen siklon ayırıcıya sırasıyla 88.9 mm, 114.3 mm ve 139.7 mm olan dalma boru çapı yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Biyokütle (mısır sapı) ve kömür numuneleri kullanılarak sırasıyla her bir dalma boru çapında dört farklı debide (450 m³/h, 374.85 m³/h, 299.7 m³/h ve 255 m³/h) basınç düşümü ve toz tutma verimliliği hesabı yapılmıştır. Siklon ayırıcılarda performansı en fazla etkileyen parametreler toz toplama verimi ve basınç düşüşüdür. Toz tutma verimliliği, siklona giren tozun ağırlığının, deney sonunda toz toplama haznesinde biriken tozun ağırlığına oranı olarak hesaplanmaktadır. Siklonun giriş ve çıkış kısımlarında termokupl ile sıcaklık ölçümü ve dijital basınç ölçüm cihazı ile basınç ölçümü yapılmıştır. Solidworks Flow Simulation programında akış analizi yapılarak deneysel çalışma ile kıyaslaması yapılmıştır. Biyokütle (mısır sapı) ve kömür numuneleri için beş farklı elekten geçen partiküller için analizler yapılmış ve Mastersizer 3000 modelli cihazda partikül analizi yapılarak fraksiyonel verimleri incelenmiştir. Buna bağlı olarak SolidWorks programında yapılan akış analizi ve deneysel çalışmaya göre dalma boru çapı arttıkça basınç düşüşü azalmıştır. Kömür numunesinde toz tutma verimliliğinde en iyi sonuç 374.85 m³/h debi ve 114.3 mm dalma boru çapı ile elde edilmiştir. Biyokütle (mısır sapı) örneğinde en iyi toz tutma verimi 374.85 m³/h debide 88.9 mm dalma boru çapı ile elde edilmiştir. Biyokütle (mısır sapı) ve kömür numunesi arasında karşılaştırma yapıldığında kömür numunesinin toz tutma verimliliğinin daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Siklon ayırıcılar, Toz tutma verimliliği, Basınç düşümü

ABSTRACT

Master Thesis

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF OUTPUT PIPE DIAMETER AND FLOW SPEEDS ON CLONE PERFORMANCE IN CYLON SEPARATIONS

AYŞEGÜL BALIKCI

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

75+XI sayfa

2023

Supervisor: Doç.Dr. Tarkan KOCA

Cyclone separators are fixed-part devices used in the process of separating solid particles from the gas in the stream by creating vortices with a gas stream containing solid particles. Cyclones are used in industrial areas such as iron and steel, cement, construction. In this study, three different immersion pipe diameters, four different flow rates and two different samples were used to study the pressure loss and dust retention efficiency affecting the cyclone performance in the cyclone designed according to the high-efficiency Stairmand model. Experiments were carried out by placing a subduction pipe diameter of 88.9 mm, 114.3 mm and 139.7 mm respectively in the manufactured cyclone separator. Using biomass and coal samples, pressure drop, and dust retention efficiency were calculated at four different flow rates (450 m³/h, 374.85 m³/h, 299.7 m³/h and 255 m³/h) in diameter of each plunge pipe, respectively. The parameters that most affect performance in cyclone separators are dust collection efficiency and pressure loss. The dust retention efficiency is calculated as the ratio of the weight of the dust entering the cyclone to the weight of the dust accumulated in the dust collection chamber at the end of the experiment. At the inlet and outlet parts of the cyclone, temperature measurement was carried out with a thermocouple and pressure measurement was carried out with a digital pressure measuring device. In Solidworks Flow Simulation, flow analysis was performed and compared with experimental work. For biomass and coal samples, analyzes were made for particles passing through five different screens and fractional efficiencies were examined by particle analysis in the Mastersizer 3000 model device. Accordingly, according to the flow analysis and experimental work done in the SolidWorks program, the pressure drop decreased as the plunge pipe diameter increased. The best result in dust retention efficiency in coal sample was achieved with a flow rate of 374.85 m³/h and a plunge pipe diameter of 114.3 mm. In the biomass sample, the best dust holding efficiency was achieved with a plunge pipe diameter of 88.9 mm at a flow rate of 374.85 m³/h. When comparing between biomass and coal sample, it was observed that the dust retention efficiency of the coal sample was better.

Keywords: Cyclone separators, Dust retention efficiency, Pressure loss

1. GİRİŞ

Endüstri alanında kullanılan siklonlar, akışkanların içerisinde bulunan katı parçacıkları santrifüj kuvveti ile ayıran toz toplama cihazlarıdır. Siklonlar tek parçadan imal edilmekte olup demir-çelik, çimento, inşaat, kimya gibi tesislerde filtreleme işlemi için kullanılmaktadırlar. Filtreleme sisteminde tek başına yeterli olmayan siklonlar asıl filtreleme öncesinde kaba partiküllerin bir noktada toplanmasını sağlarlar. Böylelikle ana filtreleme sisteminin ömrünü artırır ve bakım onarım maliyetini azaltır. Uygulama alanları olarak siklonlar ısıtma ve soğutma işlemlerinde kullanılır. Siklonların içerisinde merkezkaç kuvveti sayesinde toz partiküller iç duvara çarpar ve katı partiküller tabana çöker. Siklonlar toz partiküllerin giriş şekillerine göre aksel, teğetsel ve salyangoz girişli olarak çeşitlendirilmektedir. Günümüzde kullanım alanına göre teğetsel girişli siklonlar çok yaygın olan siklon modelidir. Farklı siklon tipleri mevcut olsa da tasarımsal olarak aynı yapıya sahip siklonlar, üç ana bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler; gaz girişi, gaz çıkışı ve toz toplama haznesi olarak üçe ayrılmaktadır.

Siklon ayırıcıların içerisinde iki farklı girdap oluşur. Fan yolu ile gönderilen hava, katı parçacık ile birleşerek gaz akımını oluşturur. Gaz akımı giriş borusundan belli bir hızla geçerek siklona ulaşır. Silindirik yüzeye helisel bir hareket ile çarpan gaz akımı ana girdabı oluşturur. Ana girdap sonucu oluşan merkezkaç kuvvetin etkisi ile gaz akımı iç duvarlara çarparak hızını kaybeder ve koni alt kısma doğru toz ilerler. Diğer girdabın oluşumu ise tutunamayan ağır partikülleri, koni alt kısma göndererek kalan küçük partiküllü hava karışımını siklonun üst kısmına gönderir. Bir arada oluşan iki girdap, akış ve hareket halindeki partiküller yüzünden siklonu karmaşık hale getirmektedir. Siklonlar basit gibi görünse de karmaşık bir yapıya sahiptir.

Siklon ayırıcılar filtreleme sisteminden önce kullanıldığında filtre ömrünü uzatmaktadır. Ayırıcılar; düşük maliyeti, bakım masrafının az olması ve yüksek sıcaklığa dayanım sağlaması gibi sebeplerden dolayı tercih edilmektedirler. Siklonların performansını tahmin etmek ve tasarım aşamasını belirlemek oldukça zordur. Performansa ve tasarıma etki eden faktörler basınç düşümü ve toz tutma verimliliğidir. Siklon performansını etkileyen en önemli unsur tasarımsal olarak konfigürasyonlarıdır. Genellikle basınç düşüşü ve partikül verimi siklon performansına zıt etki etmektedir. Bir parametre iyileşme yönüne giderken diğer

parametre tam tersi değer alabilir. Bu yüzden istenilen verim için siklonda optimizasyon yapılır. Optimizasyon için siklonun i akışı ve geometrik boyutlandırması yapılmalıdır. Literatüre uygun olacak şekilde deneysel çalışmalara göre uygun siklon boyutlandırılması belirlenmelidir. Siklon performansına etki eden basınç düşüşü ve toz toplama verimliliği dışında diğer parametrelerde önemli rol oynamaktadır. Bunlar; siklon tipi, siklon boyutu, dalma boru çapı, dalma boru çapı yüksekliliği, siklon giriş hızı, siklona giriş sıcaklığı, partikül konsantrasyonu gibi parametrelerdir.

Endüstri de toz toplamada kullanımı yaygın olan siklonlar, kısa sürede imal edilebilir. Yakıtın içerisinde talaş gibi farklı katı parçacıklardan oluşan gaz akımının veya havanın, parçacıklardan ayrılması ve toplanması için kullanılır. Toz toplama sistemlerinde taneciklerin 50 mikrona kadar tutulduğu gözlenmiştir. Ticari amaçlı kullanılan siklon ayırıcılar 50-5000 m³/h debide çalışabilmektedirler. Siklon ayırıcılar gerekli verimliliği sağlayamazsa yüksek verimli toplama cihazları tercih edilmelidir.

Yapılan bu çalışmada, siklon performansını etkileyen basınç düşüşü ve toz tutma verimliliği parametrelerini incelemek için farklı dalma boru çapı, farklı numuneler ve farklı debilerde siklona hava gönderilmiştir. Her bir çalışma için farklı dalma boru çapları kullanılarak modellenmesi yapılmıştır. Deney ncesinde SolidWorks Flow Simulation programında akış analizi yapılarak basınç düşüşü ve toz tutma verimliliği incelenmiştir. İmal edilen siklon ayırıcıya sırasıyla 88.9 mm, 114.3 mm ve 139.7 mm olan dalma boru çapı yerleştirilerek deney yapılmıştır. Biyokütle (mısır sapı) ve kömür numuneleri sırasıyla her bir dalma boru çapında dört farklı debiyi (450 m³/h, 374.85 m³/h, 299.7 m³/h ve 255 m³/h) göndererek basınç düşüşü ve toz tutma verimliliği hesabı yapılmıştır. Buna bağlı olarak hem deneysel hem de akış analizi sonucunda siklon performansına etki eden basınç düşüşü ve toz tutma verimliliği incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yapılan literatür araştırmasında, siklon ayırıcılar üzerine yapılan çalışmalar araştırılmış, kullanılan siklon modellerin siklon tipine göre değerlendirmeleri ve bu çalışmalar ile ilgili özet bilgileri aşağıda verilmiştir.

Shepherd ve ark. [1], yaptıkları çalışmada siklon da tasarımın fiziksel etkilerini göz önünde bulundurularak, partikül tutma verimini ve basınç kaybını araştırmışlardır. Siklon performansına etki eden, parçacık toplama mekanizması ile tasarım parametreleri arasında toz tutma verimliliğini bulmak için çalışmalar yapılmıştır.

Alexander ve ark. [2], siklon ve santrifüj ayırıcılarının içine giren tozlu gazın, oluşan vorteks de gazın girişine ve çıkış boyutuna bağlı olduğunu göstermişlerdir.

Chan ve ark. [3], siklon toplama teorisini geliştirmek için partikül çapları ve akış hızları parametreleri ile deneysel çalışma yapmışlardır. Stairmand tarafından geliştirilmiş yüksek verimliliğe sahip siklon tasarımının partikül çapı 0.2 ve 8 µm arasında olan rapor hazırlanmıştır.

Dirgo ve ark. [4], geliştirmiş oldukları yüksek verimli Stairmand modeline göre deneysel çalışma yapmışlardır. Yapılan deneyde 10 µm'den daha küçük partikülleri fraksiyonel verim ile inceleyerek sonuçları karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda 10 µm'den büyük partiküller ile elde edilen verilerin teorik yaklaşıma daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Bohnet [5], siklonlarda 6 farklı sıcaklık değerleri ile basınç kaybı ve toz tutma verimi hakkında deneysel çalışma yapmıştır. Reynolds sayısına bağlı olarak sıcaklık değerlerin analizini yapmıştır. Bununla birlikte basınç düşüşleri ve verimlilik eğrilerini de hesaplamıştır.

Griffiths ve ark. [6], siklon performansına etki eden toz tutma verimliliğine uygun tasarım için araştırma ve deneysel çalışmalar yaparak üç farklı siklon modeli ile ampirik teori verileri elde etmişlerdir. Yapılan çalışma ile ele alınan üç ampirik teoriden yalnızca Barth (1956) teorisi doğru tasarım geometrileri ve daha küçük iki siklon türünün performansını yansıttığı öngörülmüştür. Elde edilen veriler ile basınç düşüşlerinin ölçülen verimlerle uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

Liden ve ark. [7], partikül verimliliği için dört farklı siklon tasarımında hangi parametrelerin etkin olduğunu belirlemek adına analiz yapmışlardır. Toplama verimliliğine bağlı etkenler siklon gövdesinin çapı, partikülün giriş hızı ve siklon duvarı arasındaki mesafe

olarak tespit edilmiştir. Partikül verimlilik eğrisi dikliği dikkate alındığında Reynolds sayısının bağımsız olduğu ve siklon gövde çapının girdap tüpü iç çapına oranında etkisinin olduğu gözlenmiştir.

Zhu ve ark. [8], yedi farklı siklon tasarımı ile yüksek akış hızında çalışabilen mini siklon ayırıcıların toz toplama verimliliğine ilişkin deneysel çalışma yapmışlardır. Partikül toplama verimliliğine bağlı olan değişkenler silindir yüksekliği ve çıkış borusu için farklı parametreler verilmiştir. Silindir yüksekliği ve çıkış borusu uzunluğunun siklon gövde çapına olan uzunluk oranları sırasıyla 0.75 ile 4.5 ve 0.5 ile 1.5 arasında alınmıştır. Çalışma sonucunda silindir yüksekliği arttıkça toplama verimliliği ve basınç düşüşün azaldığı tespit edilmiştir.

Avcı ve ark. [9], çalışmalarında teğetsel girişli siklonlarda iki fazlı akışın matematiksel modeli oluşturmuşlardır. Siklon tasarımında etkili olan, yüzey pürüzlülüğü ve partikül boyutları parametreleri incelenmiştir. Akışın spiral hareketinde aynı ivme, radyalde göreceli bir hıza sahip olduğunu tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen fraksiyonel verimlere göre, şekil faktörünün tahmini ile kesirli verimlilik eğrileri birbirine benzese de partikül çapının alt ve üst sınırlarında tutarsızlıklar meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Avcı ve ark. [10], siklon ayırıcılarda basınç kayıplarının teorik analizi dikkate alınarak giriş geometrisi, yüzey pürüzlülüğü, hız ile parçacık konsantrasyonu, geometrik ve akış parametreleri için yeni bir denklem oluşturmuşlardır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile farklı tipteki siklonların deneysel veri karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen denklem ile basınç kayıpları tahmini ve endüstriyel uygulamalar için kolaylık sağlayacağı tespit edilmiştir.

Xiang ve ark. [11], bu çalışmada siklon koni boyutunun performansa etkisi incelemiştir. Üç farklı koni taban çapına sahip siklonların toplama verimliliği, partikül boyutu ve akış hızı ölçülmüştür. Siklon koni çapı gaz çıkış çapından daha büyük olduğunda, basınç düşüşünü arttırmadan daha yüksek toplama verimi elde edilmesini sağlamaktadır.

Avcı ve ark. [12], siklon boyunun uzunluğu ayırma verimine etkisini tespit etmek için araştırma yapmışlardır. Araştırma sonucunda sürtünmeye bağlı olarak akış alanında etkisinin ve ivmeli bir hareket halinde olduğu belirlenmiştir. Partiküllerin akış alanında seri hareketle cidara varması radyal yönde oluşan hareket ile bağıntısı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneyde siklon uzunluğunun verimi arttırmayacağı tam tersi azaltacağı yönde sonuca varılmıştır.

Aydın ve ark. [13], siklonda ayırma işleminin verime olan etkisi incelemiştir. Çalışmalarında siklon giriş hızı, giriş sıcaklığı ve partikül konsantrasyonu sabit bırakarak siklon geometrik parametrelerinde dalma boru derinlik değişimi ve partikül boyutlarını değiştirilerek yapılarak inceleme yapmışlardır. Deney sonucunda dalma borusunun derinliği arttıkça partikül tutma veriminin de arttığı gözlemlenmiştir. Böylece siklondan beklenen çalışma mekanizması doğrulanarak gerçekleştirilmiştir.

Karagöz ve ark. [14], çalışmalarında teğetsel girişli siklon modeline göre basınç düşümü için farklı sayısal modelleme yapmışlardır. Basınç düşümünü bulabilmek için sürtünmeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünü, Reynolds sayısını ve giriş, çıkış parametrelerine göre hesaplamalarını yaparak çalışmalarını tamamlamışlardır. Tasarladıkları modelin çeşitli koşullarda iyi sonuçlar verdiğini ön görmüşlerdir.

Fıçı [15], siklon ayırıcılarda performansı etkileyen dalma boru çapının, toz tutma verimliliği ve basınç düşümü parametrelerini inceleyerek deneysel çalışma yapmıştır. Siklonun geometrik tasarımı yanı sıra gaz giriş/çıkış sıcaklıkları, hızı, hammadde konsantrasyonu, basınç düşümü, gaz yoğunluğu verilerini de kayıt altına almıştır. Üç farklı siklon dalma boru çapı kullanılarak toz tutma verimliliği ve basınç düşümü kıyaslaması yapılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda 80 mm, 120 mm ve 160 mm çapında olan dalma borularının arasında 120 mm çapında olan dalma borunun tutma veriminde artış gösterdiği 80 mm ve 160 mm çaplarında dalma boruların da verimin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca dalma derinliğinin partikül olmayan akışta basınç kaybının arttığını ve partiküllü akışta ise azaldığını bulmuştur.

Kıvanç [16], siklonun performansına etki eden geometrik özellikleri bu çalışmada deneysel olarak incelemiştir. Ayrıca gaz giriş sıcaklığı, gaz giriş hızı, siklon dalma borusunun derinliği ve partikül konsantrasyonu parametre etkileri de kayıt altına alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda dalma boru derinliği artışında ısı transferinin iyileştiği, giriş hızı arttığında basınç kaybının arttığını, toz konsantrasyonunun artması ile basınç kayıplarının ve toz tutma verimliliğinin azaldığı incelenmiştir.

Faulkner ve ark. [17], endüstriyel tesislerde partikül maddeleri hava akımlarından ayırmak için siklon çapı ve toplama etkinliği arasındaki ilişkiyi değerlendirip sonuçları dört matematiksel modelle karşılaştırmışlardır. Siklon çapı arttıkça toplama verimliliği doğrusal olmayan şekilde azalmıştır. Bu çalışmada analiz edilen matematiksel modellerin istenilen siklon verimliliğini sağlayamamıştır.

Bhaskar ve ark. [18], farklı türbülans modelleri ile deneysel ve simüle edilmiş dalma boru çıkışları uyacak şekilde siklon tasarlamışlardır. Siklon giriş basıncının artması teğetsel hızları da arttırmış ve siklon kesim boyutunu azaltmıştır. Partikül enjeksiyon tekniği kullanılarak, dağılım değerlerinin 4.9 ile 14.0 μm arasında elde edilirken deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

Li ve ark. [19], çalışma sıcaklıklarının siklon performansına etkisini test etmek için, ters akışlı, 300 mm çapında ve 973 K'ye kadar ısıtılmış hava ile partikül ayırmalı teğetsel giriş siklonunda deneysel bir çalışma yapmışlardır.

Martignoni ve ark. [20], bu çalışmada, deneysel bir siklonda simetrik bir giriş ve çıkış bölümü oluşturularak ve teğetsel giriş ile karşılaştırılarak siklon geometrisinin etkisi incelemiştir. Çalışma, literatürdeki klasik siklon modelinin deneysel çalışmasına dayalı olarak gaz-katı akışı için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, yeni tasarımların siklon performans parametrelerini önemli ölçüde etkilediğini ve RSM-LES kullanarak siklon akışkanlar dinamiği özelliklerinde farklı ayrıntılar bulunduğunu göstermiştir.

Kaya ve ark. [21], teğetsel giriş siklonlarında çeşitli sayısal şemaların ve türbülans modellerinin karmaşık girdap akışlarda uygunluğunu tespit etmişlerdir. Sıkıştırılmaz türbülanslı akış için üç boyutlu sabit yönetim denklemleri Fluent CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) kodu ile sayısal değerlerini çözmüşlerdir. Bu çalışmada ile siklonların performansını görmek için hesaplama sonuçları literatürde deneysel ve sayısal değerlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile yüksek girdaplı akışlarda istenilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Kaya ve ark. [22], çalışmalarında dalma borusunun uzunluğuna bağlı iki fazlı akış alanında sayısal modellemesi yapılarak performans değerleri ölçmüşlerdir. Üç boyutlu türbülanslı sürekli gaz akışına bağlı olarak modellemesi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda siklona düşük giriş hızı ile dalma borusunun uzunluğu basınç düşümünden daha çok ayırma verimliliğini etkilemektedir.

Ji ve ark. [23], siklon ayırıcılarının performansını etkileyen genel toplama verimliliklerini, ortam sıcaklığı ve atmosferik basınç altında çok düşük partikül yoğunluğunu değerlendirmek için inceleme yapmışlardır. Partikül konsantrasyonu 5-2000 mg/m^3 arasında aerosol spektrometre kullanılarak partikül boyutu ölçülmüştür. Yapılan deney sonucunda partikül konsantrasyonu, giriş hızları, toplam toplama verimlilikleri ve grad verimliliklerinin arttığı ve 10 μm ' den büyük çaplı partiküllerin siklondan uzaklaştırıldığı tespit edilmiştir.

Verimlilik eğrileri giriş hızı 6-30 m/s ve partikül konsantrasyonu 5-2000 mg/m³ arasında çalışması ortam koşullarına uygundur.

Bhasker [24], sirkülasyonlu akışkan yataklı yanma odasında oluşan kül problemi yüzünden siklon ayırıcı CAD paketi sayesinde modellenmesi yapmışlardır. Tasarımı yapılan siklon ayırıcıların (Hesaplama Destekli Tasarım) CFD analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda siklonda güçlü bir akışın olduğu ve yüksek bir basınç düşüşü meydana geldiği gözlemlenmiştir. Basınç düşümünü azaltmak ve hız dağılımını iyileştirmek için geometrik modelleme için değiştirilmiş simülasyon tekrarlanmıştır. Tekrarlanan analiz sonucunda çıkış kanalında geliştirilmiş hız dağılımı görülmüştür.

Farias ve ark. [25], bu çalışmada giriş fazından ayırma işlemine geometrik parametrelerin (vorteks konumlandırıcı çapı) ve katı konsantrasyonunun etkisi sayısal olarak incelemiştir. Ana denklemlerin sayısal bir çözümü ANSYS programı ile karşılaştırılmıştır. Siklondaki akım hatları, basınç düşüşü ve ayırma verimliliği parametreleri analiz edilmiştir. Partikül konsantrasyonu ve siklon geometrisinin ayırma verimini etkilediği gözlemlenmiştir.

Okur [26], teğetsel girişli siklonun performansını etkileyen basınç kaybı ve verim parametrelerini incelemiştir. Deney için siklonun gövde uzunluğu, giriş kesiti ve giriş hızı parametreleri değişken olarak tasarlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda siklon giriş kesitinin artması basınç kaybının artmasına ve verimin düşmesine neden olduğu gözlenmiştir.

Şendoğan [27], çalışmasında siklonun konik kısmı olmadan verim ve basınç kaybı parametrelerinin performansını ölçmüştür. Siklonun boyu ve giriş hızı parametreleri değiştirilmiştir. Deney sonucunda klasik siklon ile karşılaştırılma yapılmıştır.

Elsayed ve ark. [28], siklon ayırıcıların performansına etki eden basınç ve toplama verimliliği parametrelerini incelemiştir. Siklonun tasarimsal olarak giriş genişliği, giriş yüksekliği, toplam yüksekliği ve girdap çapı parametreleri üzerinden performansa etkileri incelenmiştir. Deney sonucunda tasarimsal analizde siklon performansın daha üstün olduğu tespit edilmiştir.

Karagöz ve ark. [29], siklonun tasarımının performans özelliklerini ve verimlilikteki etkisini incelemiştir. Yapılan siklon tasarımı klasik siklonlardan farklı olup konik kısım yerine dış silindir ve girdap durdurucu kullanılmıştır. Siklon modeli üretilmiş ve testleri yapılmıştır. Siklonun toplama verimliliği ve basınç düşüşü farklı koşullarda incelemesi yapılmıştır. Konvansiyonel siklonlarla karşılaştırılması yapılmıştır ve siklon performansına

etkisi incelenmiştir. Deney sonucunda yeni siklonun fraksiyonel verimlilik eğrileri, konvansiyonel siklonunkinden daha diktir. Girdap sınırlayanın dikliği değıştikçe konumundaki eğriler de değışmektedir.

Funk ve ark. [30], literatür taraması ile toz siklon tasarımlarını cebirsel ve matematiksel olarak incelemişlerdir. Hesaplamaya dayalı akışkanlar dinamiğine göre modellenmesinin uygun olarak tasarlanması laboratuvar ve sahada önem kazanacaktır. Yapılan çalışmada toz toplama verimliliği ve basınç düşümü dikkate alınmıştır.

Batsh ve ark. [31], çalışmalarında, siklon performansını iyileştirmek için dalma çıkış borusunun boyutlarını optimize etmeyi amaçlamışlardır. Hesaplamalar yapılmış ve sayısal sonuçlar deneysel ölçümlerle karşılaştırılmıştır.

Demir [32], siklonun performansı için yüksekliği, konik yüksekliği ve girdap bulucu yüksekliğinin basınç düşüşüne etkilerini incelemişlerdir. Değişkenler 6 farklı giriş hızlarına göre incelenmiştir. Deneysel sonuçlara göre basınç düşüşünün siklon yüksekliği ve konik yüksekliği arttıkça azaldığı tespit edilmiştir.

Hosseini ve ark. [33], bu çalışmada, siklon gövdesi boyunca giriş akış hızı, numune hacim oranı ve numune damlacık çapının ayırma verimi ve basınç düşüş hızı üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Simülasyonlar, Eulerian çok fazlı modeli ve Reynolds stres türbülans modeli kullanılarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) tekniği ile analiz edilmiştir. Simülasyonların sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte, numune hacim fraksiyonu, araştırılan diğer parametrelere kıyasla siklon gövdesindeki hidrodinamik akış davranışı üzerinde çok az etki göstermiştir.

Brar ve ark. [34], siklon modelinin silindir ve koni uzunluklarındaki değişiminin siklon performansına etkisini incelemişlerdir. Ayrıca performans ve hız alanına göre on farklı veride iki geometrik değişken karşılaştırılmıştır. Silindir boyu siklon çapına göre arttıkça basınç kaybında ve toplama veriminde artış gözlemlenmiştir. Siklon çapına göre koni uzunluğu arttıkça basınç kaybı azalmakta ve toplama verim artmaktadır.

Hsiao ve ark. [35], bir siklonun geometrik konfigürasyonların siklon performansı üzerindeki farklı etkilerini araştırmak için sistematik deneysel araştırmalar yapmışlar ve geometrik en boy oranları için optimal aralıklar önermişlerdir. Dört siklon geometrik bileşenine göre siklon gövdesi, siklon konisi ve girdap uzunluğu için analiz yapılmıştır. Kısa ve geniş konili bir siklon, uzun ve keskin bir koniye sahip olandan daha dik bir kesme eğrisine sahiptir.

Tan [36], modern bir siklon ve değiştirilebilir girdap durdurucu tasarımı yapmıştır. Tasarımsal olarak siklon da girdap durdurucu arasında bir ayırma boşluğu bırakarak yüzey sürtünmesini azaltmayı araştırmıştır. Elde edilen verilere göre basınç kayıpları, çeşitli çıkış boru çapları, silindir yükseklikleri ve koni taban çaplarının tasarımdaki giriş hızları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırılmalı çalışmalar sayesinde siklonlarda benzer basınç kaybı katsayısı olduğu tespit edilmiştir. Siklon da çıkış boru çapının diğer parametrelere göre etkisi daha fazladır. Deney sonucuna göre siklonun boyu uzadıķa basınç kaybında azalma meydana geldiği gözlenmiştir.

Erol [37], bu çalışmada siklonun performansına etki eden toz tutma verimliliği ve basınç dūřümü parametrelerini hem deneysel hem de sayısal olarak incelemesini yapmıştır. Sayısal alışmasında ANSYS programında sıkıştırılmaz türbülanslı akışın, üç boyutlu hali yapılmıştır. Çalışma da gövde çapı 700 mm olan iki farklı siklon seçilmiştir. Siklonların çıkış çapları sırasıyla 350 mm ve 280 mm olan Stairmand siklon modelleridir. Yapılan alışma sonucunda partikül büyüklükleri sayısal çalışma ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Çalışkan [38], bu çalışmada siklon tipi sınıflandırılması, toz tutma verimliliği, fraksiyonel verim ve basınç kaybı parametrelerine bağlı siklon performansını incelemiştir. Siklona gönderilen kalsit tozunun tutunma verimi incelenmiştir. Partikül boyutunu istenilen sınıfa yerleştirmek için deney düzeneğinde uygun debi ve konfigürasyon ayarlamasının yapılmasının gerektiği de sonuçlarından birisidir.

Çalışkan ve ark. [39], parçacık ayırma işleminde modüler yapıda birkaç toplayıcı içeren yeni siklon tasarımı yapmışlardır. Klasik siklon modellerinden farklı olarak konik gövde kullanılmamıştır. Partikül hava, siklon ayırıcısına gönderilerek akış hızı ve basınç dūřüřü ölçülmüştür. Siklonun sınıflandırma özelliğini belirlemek için farklı konfigürasyonlarda deneyler yapılmıştır. Yapılan konfigürasyonların siklon performansına etkisi ve akış hızı incelenmiştir. Gövdesi tamamen silindirik olan siklona belirli aralıklarla kolektör yerleştirilmiş ve partikül sınıflama kapasitesi araştırılmıştır. Üç kollektörlü istenilen sınıflandırma oluşturulmuştur.

Karakař [40], bu çalışmada siklon tipi olarak yüksek verimli Stairmand modelini kullanmıştır. Siklon gövde çapını azaltarak ayırma veriminin etkisi incelenmiştir. Oluřturulan siklon modeli mini olarak beř farklı büyüklükte imal edilmiştir. Siklon çapları 30 mm, 25 mm, 20 mm, 15 mm ve 10 mm olarak belirlenmiştir. Siklon ayırıcıların basınç dūřümü ve ayırma

verimliliği deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda siklon çapına göre verimlilikte farklı değişkenlikler olmuştur. Basınç düşümünde ise çapların azalması ile kayıp daimî olarak azalmıştır. Buna bağlı olarak elde edilen sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bütün hızlarda en düşük verim siklon çapının 10 mm olduğu çalışmada tespit edilmiştir.

Çelik [41], çalışmasında teğetsel girişli siklon modeli kullanarak toplama verimliliğini ve basınç kaybını incelemiştir. Değişken parametreler siklon gövde çapı, gövde uzunlukları ve çıkış borusu çaplarıdır. Deneyde tasarimsal boyutlandırmaya göre dört farklı çıkış borusu ve beş farklı siklon gövde çapı kullanılmıştır. Deneyde ilk olarak sanal gövde çapının azalması, basınç kaybının artmasına neden olmuştur. Sonrasında sanal gövde çapının artmasıyla verimde yükselme meydana gelmiştir. Son olarak siklonun toz tutma verimi bulunmuştur. Yapılan çalışmada sanal gövde çapının azalması ile verimlerde azalma meydana gelmiştir.

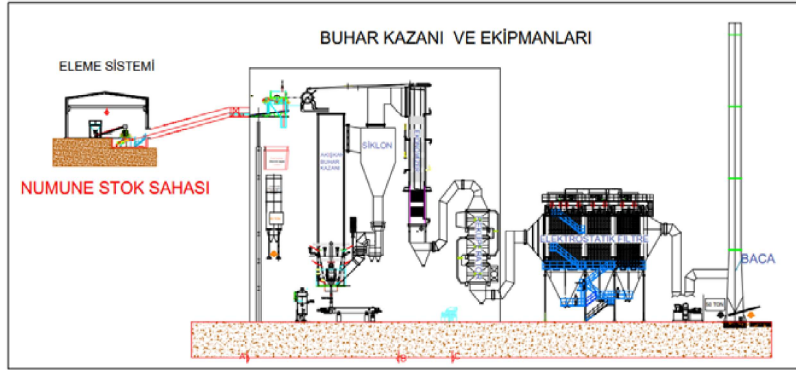
Oruç [42], yapmış olduğu çalışmada eksenel bir siklon ayırıcının performans parametreleri için ANSYS Fluent programında inceleme yapmıştır. Eksenel girişli üç farklı siklon ayırıcı kullanarak partikül toplama verimi ve basınç kayıplarını incelemiştir. Siklon içerisine giren fazın farklı hız ve farklı helis açısına sahip siklon modeli tasarlanmıştır. Analizler tek fazlı ve iki fazlı olarak yapılmıştır. Analiz sonucunda helis açılarının siklon ayırıcı toplama verimi ve basınç kayıplarına karşı etkisi incelenmiştir.

Fu ve ark. [43], deneysel ve sayısal çalışmalarına göre, girdap bulucuların akış alanlarının iyileştirilmesi üzerindeki etkileri ve siklon ayırıcılarda buna karşılık gelen performansını incelemişlerdir.

Bu tez çalışmasında, teğetsel girişli yüksek verimli Stairmand modeline bağlı olarak siklon modeli tasarlanmıştır. Deney düzeneğine göre siklon ayırıcılarda performansa etki birçok parametrelerden birileri olan basınç kaybı ve toz tutma verimliliği incelenmiştir. Bu çalışmada; iki farklı numune (mısır sapı ve kömür), üç farklı dalma boru çapı (88.9 mm, 114.3 mm ve 139.7 mm) ve dört farklı debi (450 m³/h, 374.85 m³/h, 299.7 m³/h ve 255 m³/h) kullanılmıştır. Her bir dalma boruya ait debi ve numune değiştirilerek akış analizi ve deneysel çalışma yürütülmüştür. Böylelikle hem SolidWorks programında akış analizi incelenmiş hem de deneysel çalışmada teyit edilmiştir. Ayrıca yapılan bu çalışma sayesinde siklona gönderilen numunenin performansa etkisi incelenmiş olup endüstri alanındaki kullanımı gözlenmiştir.

3. GENEL BİLGİLER

Enerji, kaynaklarının tükenmesi sonucunda çevresel faktörleri göz önünde bulundurarak daha az emisyon üreten ve daha verimli yakıtların yakılmasını sağlayan yeni sistemler tasarlamaya yönlendirmektedir. Genellikle yakma teknolojileri yakıt ve oksijenin karışması ile yakıt içerisindeki kimyasal enerjiyi kullanabilir enerjiye çevirmektedir [57]. Kazanlar, içerisinde yakıtı ve yanmanın gerçekleştiği enerjiyi ısı enerjisi olarak açığa çıkartan basınçlı kaplardır. Kazanlar birçok sanayi dalında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kazanlarda işletme şartlarına bağlı olarak baca gazı emisyonları, yanma sonucu açığa çıkan enerjinin akışkana transfer miktarına ve yakıt içerisindeki kirletici miktarlarına dikkat edilmektedir. Kazanlarda yanma sonucu meydana gelen ısının tamamı akışkana aktarılamaz. Isının bir kısmı kazanın yüzeyinde kalmakta, diğer kısmı ise baca gazı ile atmosfere gönderilmektedir. Kazan verimini etkileyen bir diğer parametre ise kullanılmayan ısının büyüklüğüdür. Bu yüzden yakıtın kullanımı verime bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Kazanlar ihtiyaca göre tasarlanmakta ve üretilmektedir. Bir kazan sistemi ve yardımcı ekipmanları ve o ekipmanların yerleşim yerine göre görünümü şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Buhar kazanı ve ekipmanları sistem şeması.

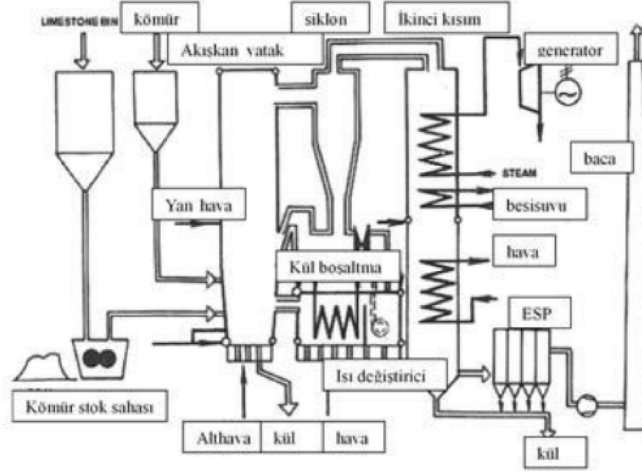
3.1 Akışkan Yataklı Kazanlar

Akışkan yataklı kazanlar, 1930-1940’lı yılların başında katı-gaz teması olan uygulamalar için benzin ve petrol bazlı ürünlerin üretiminde kullanılmıştır. Akışkan yataklı kazanlar birçok farklı endüstride çeşitli proseslerde kullanılmaktadırlar. 1960’lı yılların

başında termik santrallerden dolayı dışarıya atılan kükürt oksit (SO₂) ve azot oksit (NO_x) emisyon değerlerinin azaltılması gerektiği düşünülerek kömür yakan kazanların geliştirilmesi sağlanmıştır. Çalışmalar sonucunda 1970'li yıllarda kabarcıklı akışkan yataklı kazanlarda başarı sağlanmışken 1980'lü yıllarda dolaşım yakıtlı akışkan kazan teknolojisi geliştirilmeye başlanmıştır. Sanayide sıcak su, buhar ve kurutmak için sıcak gaz eldesi için termik santrallerde elektrik enerjisi üretimini sağlamıştır.

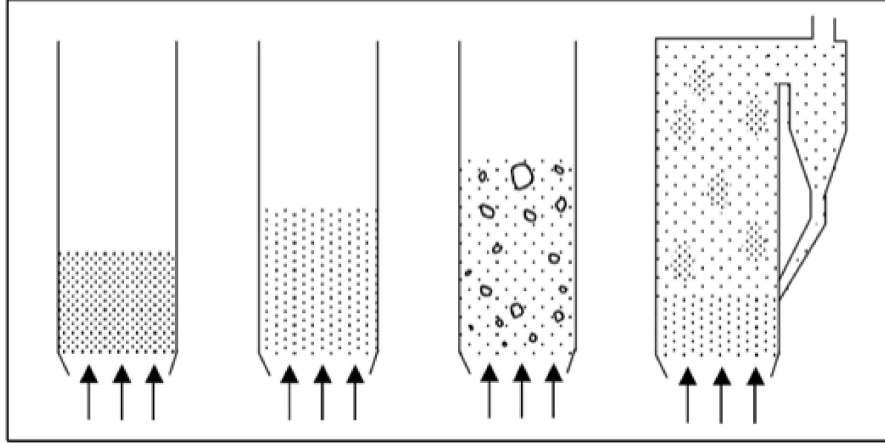
Kazanlarda yakılan yakıt, atmosfere zararlı emisyonlar yaymasından dolayı çevreyi ve canlı sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. İnsan sağlığının korunması için yakılan yakıtın, temiz yakma teknolojilerinin kullanımına uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Fosil yakıtların istenilen kalitede bulunamaması, maliyetinin yüksek olması ve yanma gazlarının atmosfere bırakılmaması için akışkan yataklı yakma sistemlerine yönelim artmaktadır.

Akışkan yataklı kazanların yatak malzemeleri yakıt, kül, kum ve kireçten oluşmaktadır. Kazan içerisindeki yatak malzemeler alt ve yan bölgelerden gönderilen hava ile akışkanlaşır. Alt bölgeden gönderilen hava akışkanlığı, yan bölgeden gönderilen hava ise yanmayı sağlamaktadır. Kazanın alt tabanında akışkanlaşmasını sağlayan basınçlı hava nozulları bulunmaktadır. Bu yüzden daha güçlü fanlar kullanılır. Yanmanın verimini, etkileyen en önemli etmen kazana yan bölgelerden verilen havadır ve yanma havası olarak adlandırılır. Akışkan hava içerisindeki yanmayan büyük tanecikli katı parçacıklar toplama sistemi olan siklondan kazana geri gönderilir. Böylelikle sirkülasyon oluşturularak yanmanın verimi artırılır. Hava, yakıt, kül ve oluşan gazlar karışım halde bulunan ısının bir kısmını su borularına ve ısıtıcılara göndererek kaybeder ve siklon ayırıcılardan ikinci bölgeye geçer. Isıtıcılarda enerjisini yüksek oranda gönderir ve filtreden geçen hava bacadan atılır [67]. Akışkan yataklı teknolojiye ait sistem şeması şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.2 : Akışkan yataklı kazan teknolojisi [65].

Yakma sistemine göre en önemli özelliği farklı yakıt kullanabilme ve emisyon değerlerinin istenilen aralıkları sağlamasıdır. Taneciklerin bir yığın olarak bulunmasını engellemek için alt taraftan düşük hızla hava verilmektedir. Düşük hızla gelen hava, taneciklere yeterli kuvveti uygulayamadığından parçacık arasındaki boşluklar yukarıya doğru hareket etmektedir. Bu bölgede parçacıklar hareket etmez ve sabit yatak kısmı olarak anılır. Alt taraftan akış hızı artırıldığında, hava parçacıklara daha fazla kuvvet uygular ve parçacıklara yerçekiminden dolayı etki eden kuvvetlerin azaldığı görülmektedir. Böylelikle parçacıklar akışkan olma özelliği kazanır ve minimum akışkanlaşma oluşur. Hava hızının artması ile yatak içerisinde hava kabarcıkları oluşur ve su kaynamasına benzer bir şekilde yatak içerisinde terk eder. Bu kısım kabarcıklı akışkan yatağı oluşturmaktadır. Hava ile partikül taneciklerinden oluşan gaz-katı faz karışımı hacmi, sabit yatak durumuna göre artmaktadır. Ancak yatak bölgesi ile serbest bölgede kolayca ayırım yapılmaktadır. Yatak bölümünün malzemesi, eylemsiz taneciklerden oluşmaktadır. Tanecikler yakıtın kendi külü olduğu kadar kum da olabilmektedir. Akışkan yatakta 750-900°C aralığında yanma oluşur. Sabit yatak bölgesi, minimum akışkanlaşma konumu, kabarcıklı akışkan yataklı kazan ve dolaşımli akışkan yataklı kazana ait kum besleme görüntüsü şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3 : Sabit yatak, minimum akışkanlaştırma konumu, kabarcıklı ve dolaşimli akışkan yatak [67].

Akışkan yataklı kazanların tercih edilmesinin en önemli nedeni ise az maliyetli olması ve farklı yakıtların kullanılmasıdır. Yakıt olarak örneğin; kömür, linyit, petrol atıkları vb. yakıtlar kullanılabilir. Yakıt özellikleri olarak düşük kalorili (55%) ve yüksek kül oranına sahip (>60%) olabilir. Verilen aralık sayesinde, ekonomik olarak ucuz maliyetli yakıtları kullanabilme olanağı oluşur. Bu sayede, üretilen elektriğin birim maliyeti düşer [67].

Akışkan yataklı kazanlar akışkanlığa bağlı olarak kabarcıklı akışkan yataklı kazan (KAYK) ve dolaşimli akışkan yataklı kazan (DAYK) olmak üzere ikiye ayrılır.

3.1.1 Kabarcıklı akışkan yataklı kazan

Akışkan yataklı kazanlarda ilk ortaya çıkan ve en yaygın olan yakma sistemi kabarcıklı akışkan yataklı kazanlardır. Kolon içerisindeki yataklı bölgede yığılı bulunan taneciklere alt taraftan düşük hızla hava verildiği zaman, hava parçacıkların üstünden kuvvet uygulanamaz ve parçacıklarda boşluklardan kazanın üst kısmına doğru hareket eder. Böylece parçacıklar sabit kalır, hareket edemez ve bu duruma sabit yatak konumu denir. Hava akış hızı arttıkça parçacıklara daha fazla kuvvet uygulanır ve yatak içerisinde hava kabarcıkları meydana gelir. Zamanla kabarcıklar yatak bölgesini suyun kaynaması gibi bir görüntü ile terk eder. Bu yakma sisteminde, katı-gaz karışımının daha fazla hacim kapladığı görülmektedir. Yatak içerisine verilen numune dağıtıcı plakadan ocağa gönderilir ve yukarıya doğru giden hava akımı hacimde havada kalır.

Kabarcıklı akışkan yataklı kazanlarda, yatak alanında beslenen kömür taneleri önce uçucu maddelerini kaybetmektedirler. Böylece yatakta kömür taneleri yanarken kaybedilen uçucu maddeler yatakta boş olan yerde yanmaya devam etmektedirler. Yanma reaksiyonu

sonucunda uçucu kül gaz ile sürüklenerek ve siklona ulaşmaktadır. İri tanecikler tutunurken ince tanecikler ise elektrostatik filtrede veya torbalı filtrede tutulmaktadır. Siklon ayırıcıda tutunan uçucu küller, tutma verimini artırmak için yatak bölgesine tekrar beslenmekte olup yanma reaksiyonuna katılmaktadırlar. Kabarcık akışkan yataklı kazan şekil 3.4' de görülmektedir.



Şekil 3.4 : Kabarcık akışkan yataklı kazan.

3.1.2 Dolaşımli akışkan yataklı kazan

Dolaşımli akışkan yataklı kazanlar düşük hızlarda akışkana sahip alternatif olarak geliştirilmiş akışkan yataklı yakma sistemine sahip kazanlardır. Dolaşımli akışkan yataklı kazanda serbest bölge bulunamaz. Çünkü tanecik boyutları küçük olup yüksek gaz hızına sahiptirler. Kabarcıklı akışkan yataklı kazanlar da gaz hızları, dolaşımli akışkan yataklı kazanlardaki gaz hızına göre 3-4 kat daha fazladır. Bu sayede katı tanecikler daha kolay sürüklenir. Yanma havası kademeli verilerek, yanma işlemi tüm kazanda devam eder. Kazan alt bölgede birincil yanma havası, yanma reaksiyonu göstererek %60-75' ini oluşturur. İkincil yakma havasını geriye kalan oranla yukarıya doğru kazana verilir. Dolaşımli akışkan yataklı kazanlarda yakılan numunenin içeriğine bağlı olarak sıcaklık 750-950°C aralığındadır. Yatak sıcaklığı 900°C' yi geçtiğinde SO₂' nin tutma verimliliği azalmaktadır. Dolaşımli akışkan yataklı kazanlarda kireçtaşı parçacıkları küçük ve ağırlık başına düşen

yüzey alanı artmakta, SO₂ kireçtaşı reaksiyonunu olumlu olarak etkilemektedir. Dolaşımli akışkan yataklı kazana ait sistem şeması çalışma prensibi şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5 : Dolaşımli akışkan yataklı kazan.

3.2 Siklon Ayırıcılar

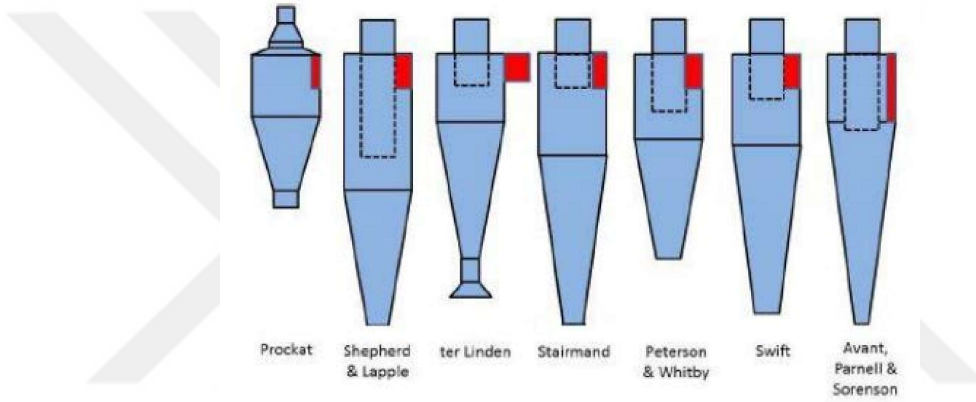
Siklon ayırıcılar, santrifüj kuvveti etkisiyle katı taneciklerin gazdan ayrılmasını sağlayan tek parçalı cihazlardır. Farklı uygulama alanlarıyla geniş bir kullanım çeşidine sahip olan siklonların en önemli amacı parçacık filtresi olarak ayırma işlemini gerçekleştirmesidir. Kullanım alanı olarak siklonlar; hava ve gazlarda gaz siklonlar veya sadece siklon olarak adlandırılırken sıvılarda ise hidrosiklonlar olarak adlandırılmaktadırlar. Siklonların performansının iyileştirilmesi adına farklı konstrüksiyonlara sahip siklon tasarımları yapılmaktadır. En yaygın kullanım alanına sahip siklonlar teğetsel girişli siklonlar olup en çok kullanılan siklon tipi ise yüksek verimli Stairmand modelidir. Faz ayırma işlemi için en sık kullanılan siklon modeli teğetsel girişli siklonlardır.

Siklonların performansını etkileyen parametreler ayırma verimi ve basınç kaybıdır. Bu parametreler üzerinden siklonda iyileştirmeler yapılabilmesi için uygun konstrüksiyonlara sahip tasarımının teorik ve deneysel çalışmaları oluşturulmuştur. Deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda performansı etkileyen parametreler için akışım iyi seviyede belirlenmesi gerekmektedir. Boyutsuz verim eğrileri ve basınç kayıp katsayıları göz önünde bulundurulduğunda teorik çalışmalar ile siklonlar boyutlandırılır.

Kazanların çalışma prensibi yüksek sıcaklıktaki atık gaz (180-210°C) siklona girer, büyük ve tutunamayan partiküller siklondan arındırılır. Yüksek verimli Stairmand modeline göre tasarlanan siklonda gaz dairesel hareket oluşturur. Dairesel hareket sonucun siklon

içerisinde santrifüj etkisi ile katı-gaz akışı iç duvarlara çarparak, 4 mikron üzeri partiküller yerçekimi ile siklon koni bölgesine doğru hareket eder. Katı-gaz akışı %75-%85 oranında katı partiküllerden ayrılan gaz siklon dalma boru çapından çıkarak ana gövde üzerinden ana fan tarafından hava emilir. Siklon koni bölgesinde biriken toz tanecikleri kül silolarına gönderilir ve sistemden uzaklaştırılır.

Teğetsel girişli siklon ayırıcılar da Prockat, Shepherd ve Lapple, ter Linden, Stairmand, Peterson ve Whitby, Swift ve Avant Parnell ve Sorenson siklon tasarımları kullanılmaktadır. Siklon tiplerinin şematik görünümü şekil 3.6'da görülmektedir.

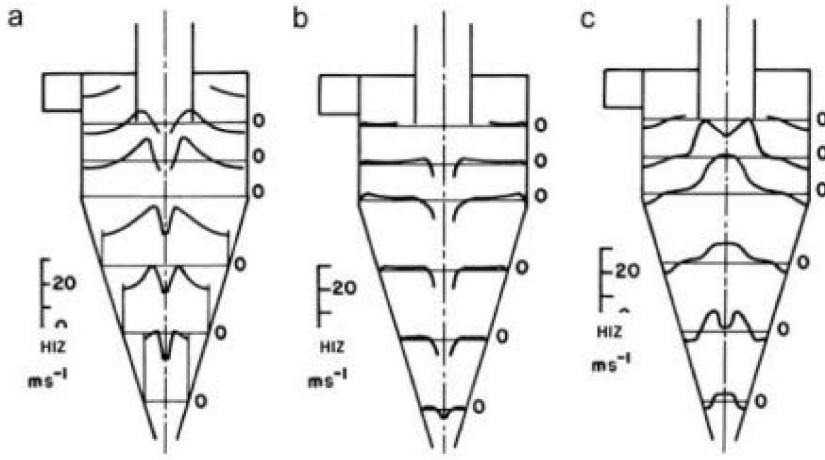


Şekil 3.6 : Teğetsel girişli siklon girişleri [30].

3.2.1 Siklon ayırıcılarda akış davranışı

Siklon içerisinde performansı etkileyen akış davranışı detaylı olarak incelenmektedir. Siklon içerisinde akışkan, teğetsel giriş yaparak vorteks hareket oluşumunu sağlar. Siklon içerisindeki akışkan, girdap sayesinde farklı atalet kuvvet ile radyal yönde izafi yol oluşturur. Siklon ayırıcılar merkezkaç kuvveti sayesinde çalışırlar. Dikey konumda bulunan baca gazları silindirik ayırıcıya teğetsel olarak girer ve açısız hız kazanırlar. Açısız hızın etkisi ile harekete geçen kül tanecikleri silindirin yan yüzeylerinden çıkar ve siklona giriş yaparlar. Kalan küller ya yanma odasına gönderilir ve yakılır ya da cürufa karıştırılır. Siklon ayırıcılarda tutulan kül oranı %90' a kadar çıkabilir ve çekiş kayıpları yüksek olabilir. Ağır ve havaya tutunamayan partiküller santrifüj hareketi ile gazdan ayrılır. Santrifüj hareketi, toz partikülleri siklonun iç duvarına sürükler ve büyük tanecikler duvar bölgesinde hareket ederek aşağı bölgeye akışı sağlanır. Ağır partiküller yerçekimi sayesinde siklonun alt koni bölgesinde toplanır. Buna bağlı olarak siklonda iç akış iki girdaptan oluşmaktadır. Birisi dış akım olup siklonun altına doğru hareket eder. Diğeri ise iç girdap akım olup

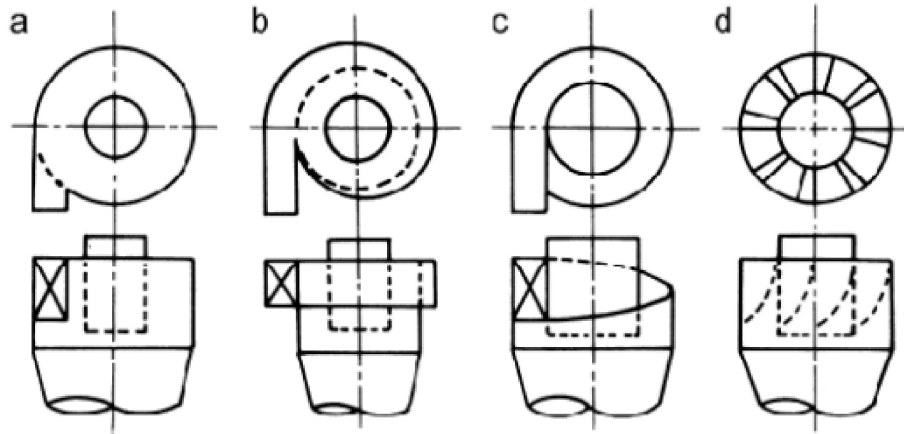
siklonun üst kısmına temiz gaz çıkışına doğru hareket eder. Dış vorteks ile iç vorteksin dönme hareketleri aynı olmasına rağmen iç vorteks hareketi aşağıdan yukarıya doğrudur. Akış yönüne bağlı olarak bu tip siklonlar şekil 3.7’de ters akışlı siklonlar olarak adlandırılmaktadır. Siklon ayırıcılarda tutunamayan küçük boyuttaki toz tanecikleri elektrostatik filtrelerde tutulmaktadır.



Şekil 3.7 : Siklon akışları a) teğetsel, b) radyal, c) aksenal [36].

3.2.2 Siklon ayırıcılarda basınç düşüşü

Siklon performansını etkileyen basınç düşüşü ve toz tutma verimliliği parametreleri ters orantılı olarak hareket etmektedir. Bu çalışmalara göre birçok farklı siklon ayırıcı giriş tipleri şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8 : Siklon ayırıcılarda farklı giriş modelleri [61].

Basınç düşüşüne etki eden bazı etkenler Dirgo ve Leith [4] tarafından maddesel olarak aşağıda vurgulanmıştır;

- Siklona giren gazda oluşan kayıplar
- Siklon iç duvarında sürtünmeye bağlı olan kayıplar
- Vorteks dönme hareketine göre kinetik enerji kaybı
- Dalma boru çapına bağlı olan çıkış kanalda dönen akışın sürtünmesindeki kayıplar
- Çıkış kanalında oluşan dönme hareketi ile basınç enerjisinin geri kazanımı
- Çıkış kanalındaki gazın kasılması sonucu kaynaklanan kayıp

olarak sıralanmaktadır. Siklon ayırıcılarda iç duvar kısmında oluşan sürtünmeye bağlı olarak basınç düşüşü oluşmaktadır. Kayıpların bulunması için farklı yöntemler vardır. Birçok matematik modellemesi mevcuttur. Siklonlarda basınç kayıp hesabına göre;

$$dp = \rho \frac{f}{D_{hl}} \frac{V^2}{2} dl \quad (3.1)$$

burada f , D_{hl} ve V sırasıyla sürtünme katsayısı, hidrolik çap ve akış hızı olarak belirlenmiştir. l ise akış borusunun uzunluğudur.

Akış genişliğini bulabilmek için yaklaşık değer şu şekilde hesaplanabilir;

$$a = a_0 \left(1 + \frac{a_3 - a_0}{a_0} \frac{l}{L_v} \right) = a_0 (1 - a l_n) \quad (3.2)$$

burada $a = \left(\frac{a_0 - a_3}{a_0} \right)$, boyutsuz uzunluk $l_n = l/L_v$, ve L_v girdap uzunluğudur.

Sürtünme katsayısı eynolds sayısının bir fonksiyonudur ve bağlı yüzey pürüzlülüğünün ivmelenmesi nedeniyle koni tepesine doğru hızı artarken akış hızı da artar. Bir siklonda belirli bir çalışma koşulları için sabit (f_0) olarak alındığında denklem şöyle yazılır;

$$dp = \rho R_0 \frac{a_0 V^2}{a} \frac{dl_n}{2} \quad (3.3)$$

burada $R_0 = \frac{f_0 L_v}{D_h}$ sürtünme faktörü olarak adlandırılır. Bu denkleme bağlı olarak basınç düşüşü hesabı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\Delta p = \rho R_0 \frac{V^2}{2} \left(\frac{1 - (1 - a)^{-2(1 - \frac{R_0}{a})}}{2R_0 - 2a} \right) \quad (3.4)$$

Teğetsel girişli bir siklon modeli için Basınç düşüşü şu şekilde hesaplanabilir;

$$K = \frac{2\Delta p}{0.5\rho V_0^2} = \frac{R_0}{a - R_0} \left((1 - a)^{-2(1 - R_0/a)} - 1 \right) \quad (3.5)$$

Siklon boyutlandırmasına bağılı olan sürtünme faktörü R_0 ve diğeri ise α 'dır.

Boyutsuz çap denklem 3.6'da verilmiştir.

$$D_d = \frac{c}{L_0} + 0.5 \left(1 + \frac{D_3}{D_1} \right) x \sqrt{0.25 \left(1 - \frac{D_3}{D_1} \right)^2 \left(\frac{D_1}{L_0} \right)^2 + \left(1 - \frac{c}{L_0} \right)^2} \quad (3.6)$$

Düzeltilen boyutsuz akış genişliği denklem 3.7'de verilmiştir.

$$a_d = \left[1 + 0.5 \left(\frac{1.25}{D_d} \beta^3 \sqrt{\frac{b}{h}} - 1 \right) \right] \quad (3.7)$$

$$\beta = \frac{2a_0}{(D_1 - D_2)} \quad (3.8)$$

Ortalama çıkış çapı;

$$D_{3m} = \sqrt{\frac{L_0 - h}{L_0} D_2 D_3} \quad (3.9)$$

Akış boyutu;

$$\alpha = 1 - \frac{0.1 D_{3m}}{a_0} \quad (3.10)$$

Girdap uzunluğu;

$$L_v = 2D_d a_d L_0 \quad (3.11)$$

olarak hesaplanabilir.

Bazı siklon modellerinde sürtünme katsayısı sabit kabul edilmektedir. Ancak tasarlanan modele göre ortalama sürtünme katsayısı f_0 fonksiyonu yüzey pürüzlülüğü olarak yazılır ve Reynolds sayısı;

$$Re = \frac{D_h a_d V_0}{\nu} \quad (3.12)$$

Hidrolik çapı;

$$D_h = \frac{2a_0b}{a_0 + b} \quad (3.13)$$

Sürtünme katsayısı hesabı;

$$f_0 = 0.314Re^{-0.25} \quad (3.14)$$

Basınç düşüşü hesabı;

$$\Delta P = K\rho \frac{V^2}{2} \quad (3.15)$$

şeklinde hesaplanır. Formüle göre V (m/s) giriş hızı, Q (m³/s) hacimsel debi olduğuna göre;

$$V = \frac{Q}{a \cdot b} \quad (3.16)$$

şeklinde bulunur. Siklon girişindeki akışkanın yoğunluğu ρ (kg/m³) ve basınç kayıp katsayısı faktörü K olarak alınır. Siklon ayırıcının geometrisi ve çalışma parametrelerine bağlı olarak K katsayısı bulunur. K katsayısı parametresine göre Avcı ve Karagöz (2005) 'ün model hesabı;

$$K = \frac{cs}{cs - 1} (x^{2(1-cs)} - 1) \quad (3.17)$$

şeklinde verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalara göre basınç düşüşü (Pa veya mmss) ölçümü;

$$K = \frac{2\Delta P}{\rho V^2} \quad (3.18)$$

olarak bulunur.

3.2.3 Siklon ayırıcılarda toplama verimliliği

Siklon toz tutma verimliliği, siklona gönderilen farklı boyuttaki taneciklerin haznede bulunan tozun kütesinin sisteme gönderilen tozun kütesine oranı olarak ifade edilmektedir. Siklon toz tutma verimliliği “ η ” aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Toz toplama verimliliği } (\eta) = \frac{\text{Haznede bulunan toz kütle}}{\text{Deneyden önce tartılan toz kütle}} \quad (3.19)$$

Siklona gönderilen parçacık kütlesi (m_g) ve toz birikme haznesinde biriken parçacık kütlesi (m_b) biliniyor ise ayırma verimi (η),

$$\eta = \frac{m_b}{m_g} \quad (3.20)$$

yada giren toz konsantrasyonu (C_g) ve çıkan toz konsantrasyonu (C_{ck}) biliniyor ise,

$$\eta = 1 - \frac{C_{ck}}{C_g} \quad (3.21)$$

olarak elde edilmektedir. Siklon toz tutma verimliliği hesabına göre en çok yaygın olan kritik çap hesabıdır. Hesaplama siklon geometrisi ve çalışma koşullarına bağlıdır. Analitik hesaba yönelik birçok sayıda bağıntı bulunmaktadır. Parametre sayısına ve eğime göre etkiler bulunmaktadır. Bu konu ile ilgili çalışma Avcı ve Karagöz [14] modeli kullanılmıştır. Bağıntılı formül hesabı,

$$d_k = 0.4 \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot a_d D_S \cdot D_0 \cdot \sqrt{D_{3m} \cdot a_h \cdot D_1}}{(\rho_p - \rho_h) \cdot C_c \cdot L_b \cdot V_0}} \cdot x^{c_s} \quad (3.22)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Basınç düşüşü hesabında verilen bazı değerler yerine eklenerek hesaplama yapılmıştır. Basınç düşüşünde olmayan veriler aşağıda verilmiştir;

Boyutsuz hidrolik çap;

$$a_h = \frac{\sqrt{ab}}{D_1} \quad (3.23)$$

Cunningham Düzeltme Faktörü;

$$C_c = 1 + \frac{0.165}{d_k} \quad (3.24)$$

Ortalama siklon çapı;

$$D_0 = \frac{C}{L} + \left(1 - \frac{C}{L}\right) \frac{D_1 + D_3}{2D_1} \quad (3.25)$$

Sürtünme yüzey ortalama çapı;

$$D_S = D_0 + \frac{(2SD_2 + D_2^2 + D_3^2)}{LD_1} \quad (3.26)$$

Ortalama çıkış çapı;

$$D_{3m} = \frac{2D_2 + D_3}{3D_1} \quad (3.27)$$

Düzeltilen boyutsuz akış genişliği;

$$a_d = 0.5 + \frac{4ab}{(D_1 + D_2)(D_0 + a + b + s)} \quad (3.28)$$

Giriş ve çıkış çaplar oranı;

$$x = \frac{10a_h}{D_{3m}} \quad (3.29)$$

Boyutsuz siklon uzunluğu;

$$L_b = \frac{L}{D_1} \quad (3.30)$$

Boyutsuz parametre;

$$C_s = 0.75 \frac{a_d D_s}{D_0} \frac{L_b f_0}{a_h - 0.1D_{3m}} \quad (3.31)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Siklon tasarımı herhangi boyuttaki partikül için ayırma verimliliği ile direkt olarak hesaplanabilmektedir. Buna bağlı olarak proje tasarımı için kesirsel eğrinin tamamı

hesaplanabilmektedir. Ters akışlı siklonların genelinde 5 µm 'den küçük partiküller düşük ayrılma verimliliğine sahiptir. Buna göre verim aralığı çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Siklonların verimlilik dağılımı [36].

Partikül Boyut Aralığı (µm)	Konvansiyonel	Yüksek Verimli
5'ten küçük	50'den az	50-80
5-20	50-80	80-95
15-40	80-95	95-99
40'tan büyük	95-99	95-99

Yüksek verimli siklon ayırıcıların tasarlanmasının sebebi yüksek toz toplama verimliliği elde etmektir. Siklonların ayrışma verimliliği sadece boyutlarına bağlı olarak düşük değildir. Toz toplama haznesinde biriken partiküllerin siklona geri dönmesi verimin azalmasına neden olur. Siklon ayırıcıların çapındaki artış teğetsel hızın düşmesine ve ayrışma verimliliğinde düşmesine sebep olmaktadır.

3.3 Ekonomizer

Ekonomizer, bir kazanın duman gaz sıcaklığını düşürerek, düşük sıcaklıktaki ısıyı geri kazandıran ve yakıttan tasarruf sağlayan ısı değiştiricidir. Ekonomizer, doymuş buharı elde edilebilmek için kazan besleme suyunun sıcaklığı ve yanmış baca gazının yüksek sıcaklığından faydalanır. Baca gazlarında bulunan atık ısı enerjisi göz önünde bulundurularak, atmosfere verilen ısı miktarı azalır ve ısı tasarrufu sağlanır. Kullanım alanlarına göre ekonomizerler; sıcak su kazanı, kızgın yağ kazanı ve en yaygın olan buhar kazanlarında yer alır. Bununla birlikte duman borulu ve su borulu olarak üretilmektedir. En yaygın olan, su borulu ekonomizer tipidir. Çalışma prensibine göre duman borulu da duman gazı boru içerisinden geçerken, su borulu da ise su boru dışından düşük bir hızla geçiş yapar. Bu yüzden aynı kapasite için yüksek ısı transfer yüzeyi gerekmektedir. Suyun boru dışı geçmesinden dolayı kapılanılan hacim fazla olduğundan maliyetleri yüksektir. Hacmin fazla olduğu su borulu da çok fazla duruş olmasından ısı kaybı meydana gelmektedir. Soğuyan suyun hareketi rejime girene kadar belli süreden geçer ve bu süre de konstrüksiyonlara göre boru cidarında yoğunlaşma süresi daha fazla olur. Su borulu ekonomizere göre ısınan su, boru içerisinden geçer ve gaz ise boru dışından geçmektedir. Boru içerisinden geçen suyun, geçiş hızı arttırılarak yükseltilebilir ve iyi ısı transfer katsayısı elde edilebilir. Buna ait

ekonomizerin görüntüsü şekil 3.9’da verilmiştir. Boru dışında geçen gazın geçiş sayısı artırılarak istenilen ısı transfer yüzeyi elde edilmektedir.



Şekil 3.9 : Ekonomizer.

3.4 Reküperatör

Reküperatörler, atık gazın ısısından faydalanarak, ikincil akışkanı yakma havası ile yakan ısı değiştiricidir. Reküperatörde performansı etkileyen bazı tasarım parametreleri mevcuttur. Bunlar sırasıyla boru et kalınlığı, boru uzunluğu ve dizilimi olarak verilmektedir. Parametrelere göre yapılan değişikliklerde yüzey alanı hesabı ısı transferine etki etmektedir. Aynı zamanda boru dizilimleri basınç düşüşüne etki etmektedir. Boru dizilimleri sıralı kare ve çapraz üçgen olacak şekilde modellenmektedir. Reküperatör boru içerisinden sıcak egzoz

gazı geçerken boru dışından hava geçişi yapılmaktadır. Böylece sıcak gaz taze hava ile soğurken, yanma hacmine ek olarak enerji taşıyan reküperatörler şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10 : Reküperatör.

3.5 Elektrostatik Filtre

Sanayileşmenin büyümesi ve gelişmesi ile çevre yönetim politikasına uygun, doğaya en az zararı verecek şekilde tedbir ve önlemler alınmalıdır. Böylece sanayilerde üretim sonucunda, havaya yayılacak gazın emisyon değerleri ölçülerek doğrudan dışarıya atılması yerine filtrelenerek atılması sağlanmıştır. Endüstriyel tesislerde 10 (μm) mikron altındaki toz taneciklerini tutmak için elektrostatik filtreler kullanılmaktadır. Elektrostatik filtre, yakıtın yanma sonucunda ortaya çıkan sıcak gaz-katı taneciklerinin, gazdan ayrılarak tozun tutulmasını sağlayan ekipmandır. Çalışma prensibi katı faz akışkanın, elektrik kuvveti ile tutularak gaz akışından ayrılmasını sağlamaktır. Elektrostatik filtreyi oluşturan en önemli iki ekipmanı korona ve toplama elektrodudur. Elektrostatik filtrenin, toz tutma verimini etkileyen önemli parametresi korona elektrodunun yapısıdır. Korona elektrodu, bir iletkenin iyonlaşması sonucunda ortaya çıkan elektrik deşarjıdır. Yüksek gerilimde uygulanan korona elektrodu ile toplama elektroduna doğru hareket eden toz parçacıkların elektrotlar üzerinde toplanmaktadır. Verimi etkileyen bir diğer parametre ise gaz akışının filtre içerisinde dağılımıdır. Elde edilmesi istenilen yüksek performans için, tozlu gazın elektrostatik filtre içerisinde eşit bir şekilde dağılması ve birikme olmasını engellenmektedir. Giriş davlumbazlarında gazın uygun bir şekilde dağılımı için, delikli plakalar akış yönüne dik olarak yerleştirilmiştir. Giriş davlumbazdaki difüzör saclarının önemi, toplama elektrotlarına

temas etmeden çıkan toz taneciklerinin elektrostatik filtre kapasitesinde düşme olduğunu göstermektedir [50].

Elektrostatik filtrelerin avantajları; %99 toz tutma verimi, düşük enerji maliyeti, tozların kuru halde toplanması, düşük işletim maliyeti ve geniş aralıktaki akışlar için kullanılmasıdır. Dezavantajları ise; gaz akımındaki değişimlere duyarlılık, yüksek veya düşük parçacıklı tozların tutulmasında zorluk, yanma gazlarından dolayı patlama riski, olarak sıralanmaktadır. Endüstriyel tesislerde filtreleme sistemi olarak bilinen elektrostatik filtrelerin görünümü şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11 : Elektrostatik Filtre.

3.6 Baca

Endüstriyel alanlarda çevreyi kirletici yönde etkileyen atıksu ve baca gazı gibi etmenlere yönelik analiz ve ölçüm çalışmaları yapılmaktadır. Endüstriyel alanlarda kullanılan termik santraller var olduğu sürece bu etmenleri ortadan kaldırmak çok zordur. Yakma sistemlerinde yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan duman gazını atmosfere göndermek için kurulan sistem ekipmanına baca denir. Bacaya giden duman gazının en az seviyede baca çekişinin, baca içerisindeki toplam sürtünme kayıplarının üzerinde olması gerekir. Baca yüksekliği ve duman gazının sıcaklığı baca çekişini etkileyen faktörlerdir. Baca çekişinin kötü olması durumunda yanmaya bağlı olarak zararlı emisyon değerleri ortaya çıkar. Buna bağlı olarak zararlı emisyon değerlerinin olmaması için sürekli olarak baca temizliğine dikkat edilmeli ve nemlenmeden kaçınılmalıdır. Bacadan gönderilen atık

ısı sayesinde kazan giriş havası ısıtılır, tesislerin istenilen sıcak su ihtiyacı görülür ya da farklı proseslerdeki sanayi tesislerin enerjiye olan ihtiyaçları karşılanır.

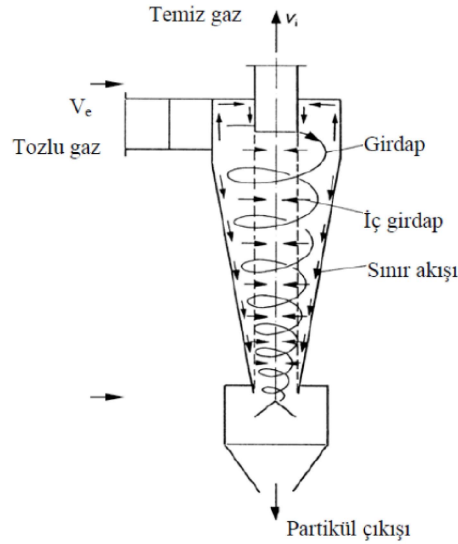


4. MATERYAL METOT

4.1 Siklon Tasarımı

Siklonlarda basınç düşüşünün artmasına bağlı olarak geometrik ve tasarımsal veriler verimi etkilemektedir. Siklon büyüklüğünün azalması toz tutma verimini arttırırken, basınç düşüşünü azaltmaktadır. Siklona gönderilen debinin artması toz tutma verimini ve basınç düşüşünü arttırmaktadır. Bu çalışmada istenilen veri kaynaklara uygun yüksek verimli Stairmand (1951) ve Avcı, Karagöz [12] modelleri esas alınarak çalışmalar yapılmıştır.

Siklon performansına etki eden tasarımsal modellemenin anlaşılır düzeyde olması gerekmektedir. Siklona teğetsel olarak giren akışkan şekil 4.1’de görülmektedir.



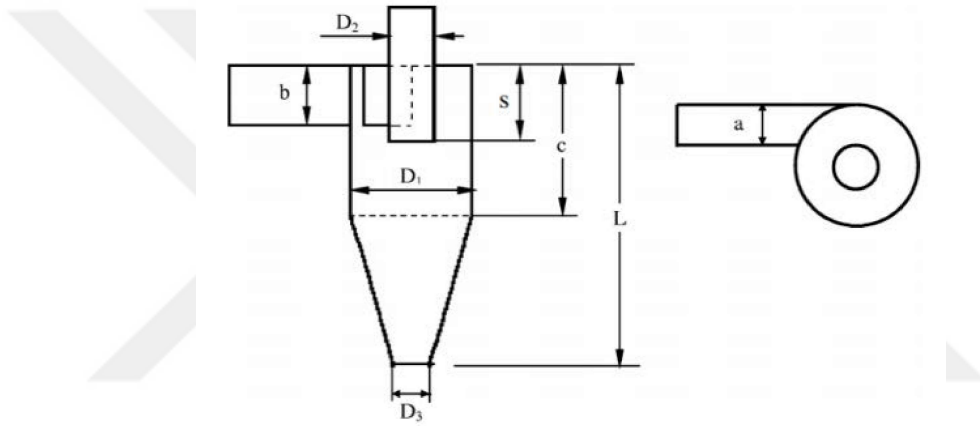
Şekil 4.1 : Siklon akış modeli [36].

Siklonlarda performansına etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Siklon tasarımında siklon boyutlarını belirleyen en önemli parametre siklon dış çapı ve büyüklüğüdür. Belirlenen Siklon çapına göre seçilen siklon tipinin hesaplamasına bağlı olarak diğer boyutlar kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Siklon tasarımında etkili olan diğer parametrelerde şunlardır;

- ✓ Toz parçacığının şekli, parçacığın boyutu, parçacık boyut sıralaması
- ✓ Tozlu havanın sıcaklığı, basıncı ve yoğunluğu
- ✓ Toz konsantrasyonu,
- ✓ Siklon malzemesi ve alanı

Toz tutma verimine etki eden parametreler sıcaklık ve basınç düşüştür. Basıncın artması ile toz tutma verimi artar, sıcaklığın artması ile de verim azalmaktadır. Bu parametrelerin artmasına yönelik 10 μm ' dan daha küçük partiküller toz tutma verimini etkilemektedir. Sıcaklığın artması ve yoğunluğun azalması sürüklenme kuvvetini etkilediği için toz tutma veriminin düşmesine neden olur.

Siklonun tasarımsal boyutlandırmasına göre axb siklona giren toz parçacıkların giriş kesitini, D_1 siklon dış çapını, D_2 siklon dalma boru çapını, D_3 siklon koni ucu çapını, S siklon içerisindeki dalma boru çapının uzunluğunu, c siklonun silindirik bölgesinin boy uzunluğunu ve L siklon toplam boy uzunluğu ölçüleri şekil 4.2' de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Siklon tasarım modellemesi [36].

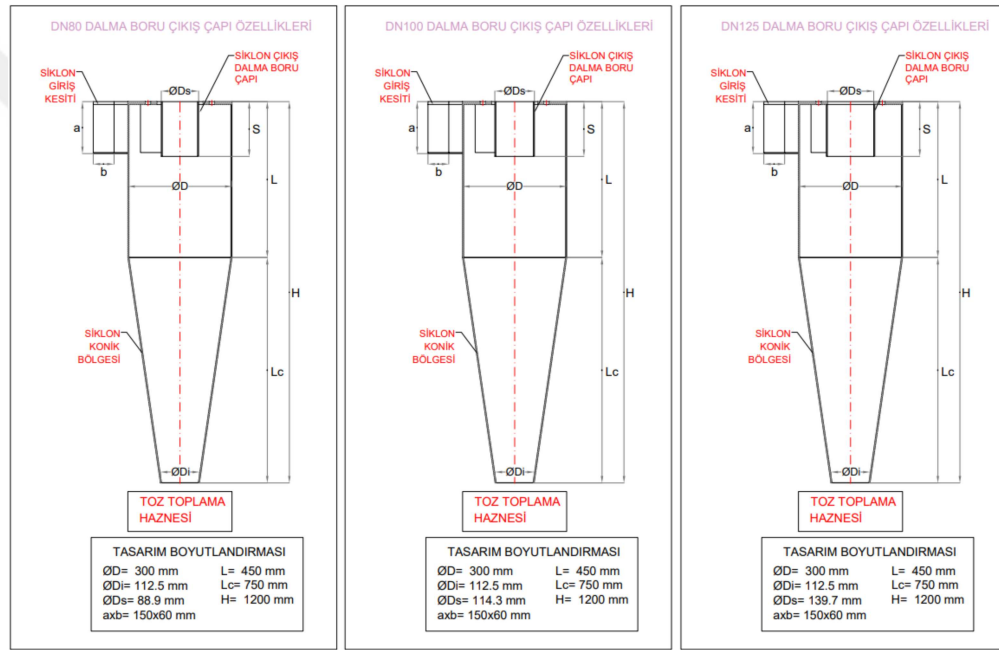
Siklon tasarımlarının, kullanım amacına göre siklon tipleri değişmektedir. Siklonlar genel amaçlı, yüksek verimli ve yüksek debili olarak üçe ayrılırlar. Kullanım amacına göre yüksek verimli siklon tip boyutu, yüksek debili siklon tip boyutlandırmasının yarısıdır. Siklon ayırıcıların tip ve kullanım amacına göre boyutlandırılması çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Standart siklon tasarım boyutlandırması [14].

Siklon Tipi	Kullanım Amacı	D_1	b/D_1	a/D_1	D_2/D_1	S/D_1	c/D_1	L/D_1	D_3/D_1
Stairmand	Yüksek Verimli	1	0.5	0.2	0.5	0.5	1.5	4.0	0.37
Swift	Yüksek Verimli	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-Matha	Genel Amaçlı	1	0.43	0.17	0.68	1.2	3.0	5.0	0.37

Yüksek verimli Stairmand modeli kullanılarak üç farklı dalma boru çapına göre imalatı yapılmıştır. Esas konu olan basınç düşüşü ve toz tutma verimliliğini incelemek olan deneysel çalışmada siklon dış çapına göre üç farklı dalma boru çapı tasarlanmıştır. Siklon çıkış boru çapları 139.7 mm, 114.3 ve 88.9 mm olarak bulunup diğer boyutlandırmaları yüksek verimli Stairmand (1951) modeline göre hesaplanmıştır. Standart siklon tasarımına göre parçalar giriş kanalı, silindirik gövde, konik gövde ve çıkış borusundan oluşmaktadır.

Teğetsel girişli siklonun üç farklı dalma boru çapına ait modelin siklon performansına etkisini incelemek amaçlı tasarımı şekil 4.3’ te gösterilmektedir.



Şekil 4.3 : Yüksek verimli Stairmand modeline göre siklonu tasarımı.

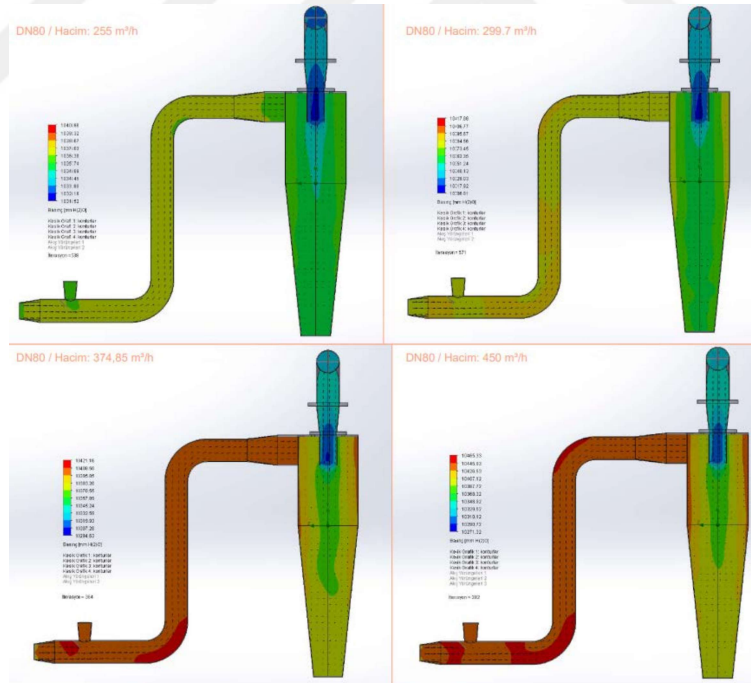
4.2 Siklon SolidWorks Flow Simulation Akış Analizi

Siklon ayırıcılarda performansa etki eden basınç düşüşü ve toz tutma verimliliğini incelemek için Solidworks Flow Simulation Programında akış analizi yapılmıştır. Siklon ayırıcılarda yüksek verimli Stairmand modelinin katsayısına göre hesaplamalar yapılarak baca fanına uygun modelleme yapılmıştır. Hesaplamalara göre siklon boyutlandırmaları; çapı 300 mm, boyu 1200 mm olarak tasarlanmıştır. Tasarıma üç farklı dalma boru çapı (88.9 mm, 114.3 mm, 139.7 mm) eklenerek konfigürasyonlarla tasarım yapılmıştır. Yapılan modellemeye göre fandan dört farklı debi ($0.125 \text{ m}^3/\text{sn}$, $0.104 \text{ m}^3/\text{sn}$, $0.08325 \text{ m}^3/\text{sn}$ ve $0.07083 \text{ m}^3/\text{sn}$) gönderilmektedir. Bunkerden aktarılan toz parçacıklar kanalda hava ile birleşmektedir. Analiz verilerine göre gönderilen toz karışımı hava 30°C ’ de siklona

gönderilmektedir. Siklona giren partiküller 150x80 mm alanına sahip giriş kesitinden iç çapa doğru ilerlemektedir. Programda akış yörüngelerine bakılarak siklon iç kısmında vorteks hareketi olduğu görülmektedir. Girdap hareketi sonucunda ağır partiküller koni ucundan ayrılır ve küçük tutunamayan partiküller hava ile baca fanına gönderilir. Toz tutma verimliliği ölçüm noktası dalma boru çapının çıkış kanalından ölçülmektedir. Analiz sonucunda toz tutma verimliliği için altı farklı mikron (5, 10, 15, 20, 25, ve 30 μm) boyutlandırması oluşturulmaktadır. Kömür ve biyokütle (mısır sapı) olarak iki farklı numuneye ait yoğunluk, özkütle ve ağırlık birimleri yazılmıştır. Buna göre üç farklı dalma boru çapında tasarimsal akış yönlendirmeleri ve basınç düşümü etkisi verilmiştir.

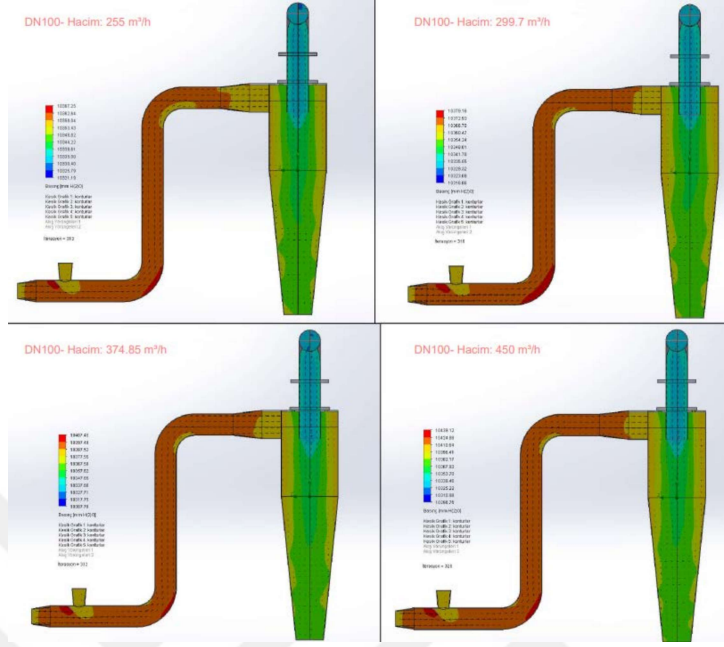
4.2.1 SolidWorks Flow Simulation'da kömürün basınç düşümü

Dalma boru çapı 88.9 mm ve numunesi kömür olan siklon parametresine 4 farklı debide katı-gaz akımı gönderilmiştir. Gönderilen katı-gaz akışa göre şekil 4.4'te akış yörüngeleri ve basınç etkisi verilmiştir. Hacim arttıkça basınç düşümü etkisi de artmıştır.



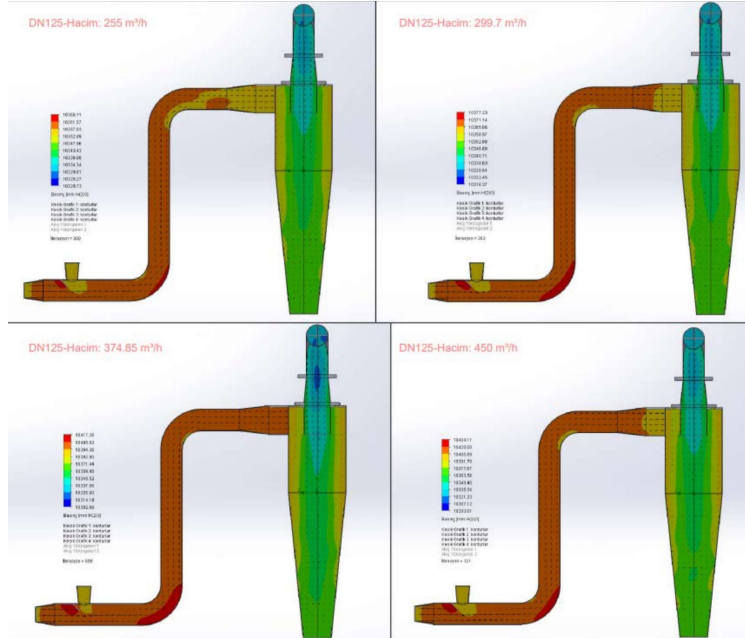
Şekil 4.4 : DN80 Kömür yakıtın analizi.

Dalma boru çapı 114.3 mm ve numunesi kömür olan siklon parametresine 4 farklı debide katı-gaz akımı gönderilmiştir. Gönderilen katı-gaz akışa göre şekil 4.5'te akış yörüngeleri ve basınç etkisi verilmiştir. Hacim arttıkça basınç düşümü etkisi de artmıştır.



Şekil 4.5 : DN100 Kömür yakıtın analizi.

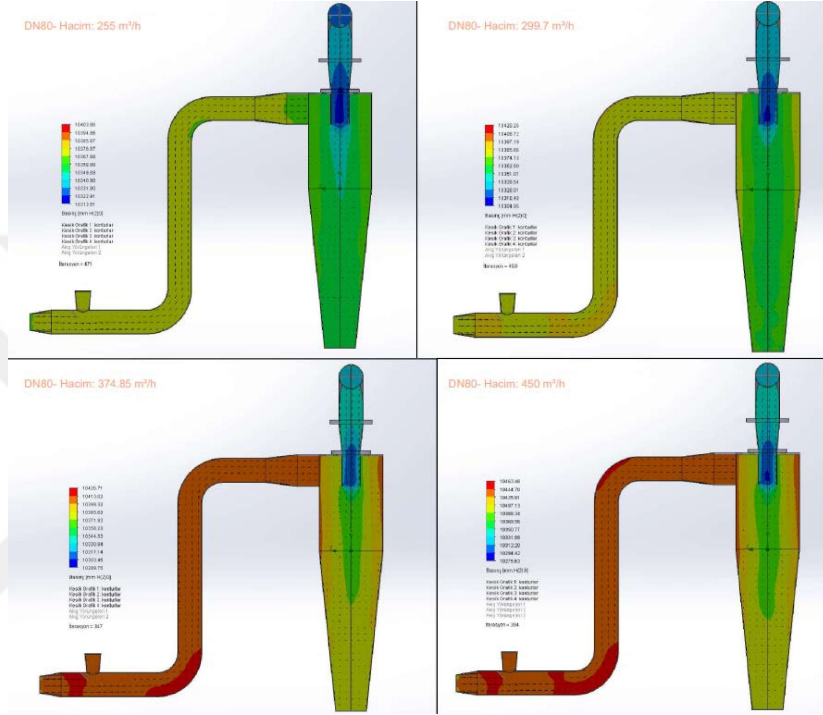
Dalma boru çapı 139.7 mm ve numunesi kömür olan siklon parametresine 4 farklı debide katı-gaz akımı gönderilmiştir. Gönderilen katı-gaz akışa göre şekil 4.6'da akış yörüngeleri ve basınç etkisi verilmiştir. Hacim arttıkça basınç düşümü etkisi de artmıştır.



Şekil 4.6 : DN125 Kömür yakıtın analizi.

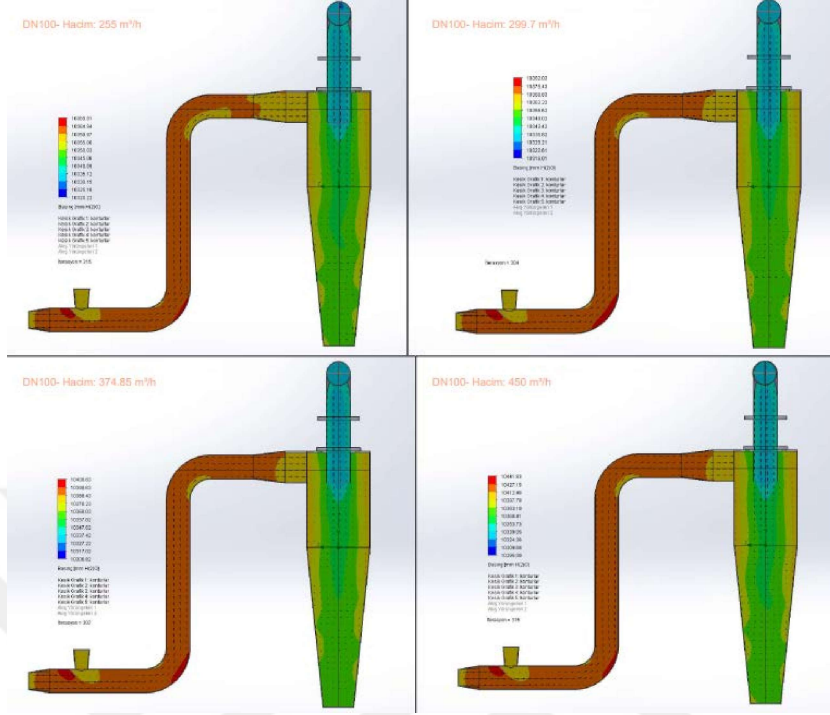
4.2.2 SolidWorks Flow Simulation'da biyokütlenin (mısır sapı) basınç düşümü

Dalma boru çapı 88.9 mm ve numunesi biyokütle (mısır sapı) olan siklona 4 farklı debide katı-gaz akımı gönderilmiştir. Gönderilen katı-gaz akışa göre şekil 4.7'de akış yörüngeleri ve basınç etkisi verilmiştir. Hacim arttıkça basınç düşümü etkisi de artmıştır.



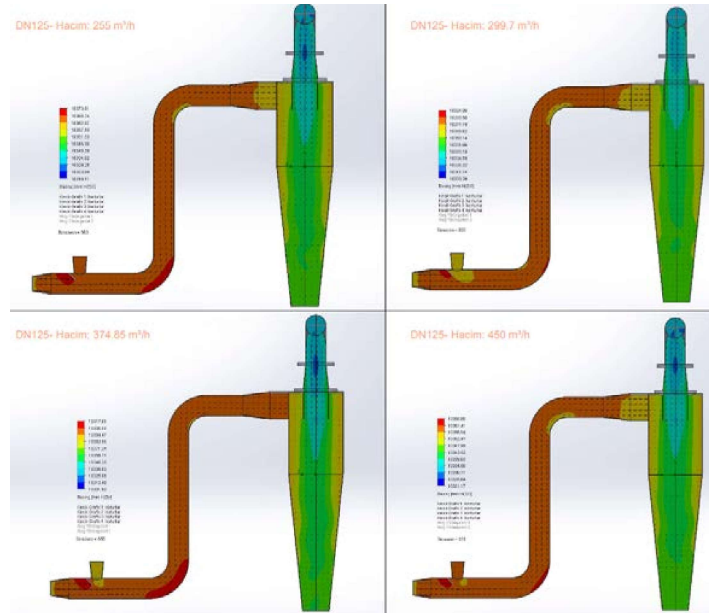
Şekil 4.7 : DN80 Biyokütle (mısır sapı) yakıtın analizi.

Dalma boru çapı 114.3 mm ve numunesi biyokütle (mısır sapı) olan siklon parametresine 4 farklı debide katı-gaz akımı gönderilmiştir. Gönderilen katı-gaz akışa göre şekil 4.8'de akış yörüngeleri ve basınç etkisi verilmiştir. Hacim arttıkça basınç düşümü etkisi de artmıştır.



Şekil 4.8 : DN100 Biyokütle (mısır sapı) yakıtın analizi.

Dalma boru çapı 139.7 mm ve numunesi biyokütle (mısır sapı) olan siklona 4 farklı debide katı-gaz akımı gönderilmiştir. Gönderilen katı-gaz akışa göre şekil 4.9'da akış yörüngeleri ve basınç etkisi verilmiştir. Hacim arttıkça basınç düşümü etkisi de artmıştır.

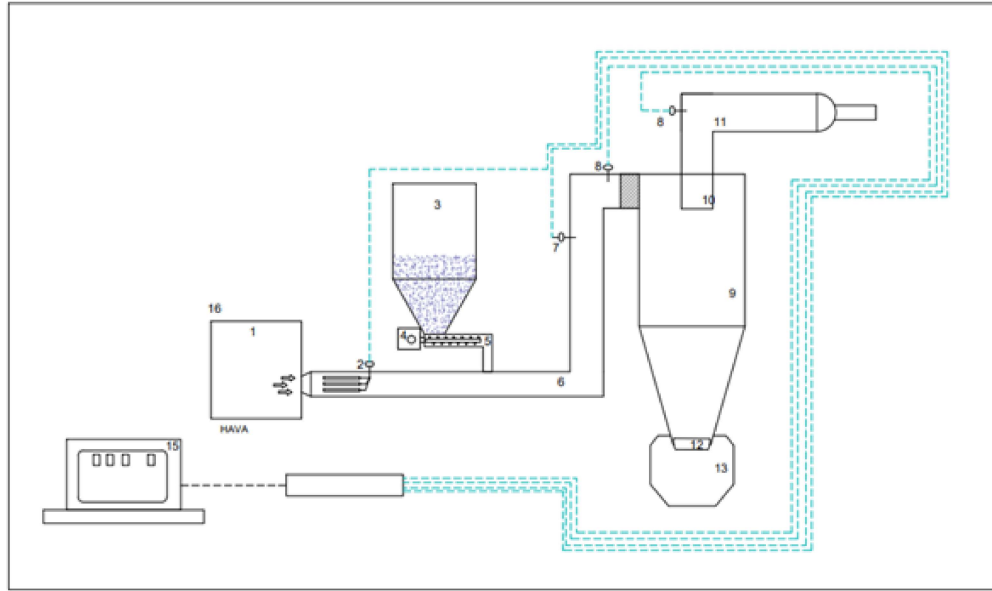


Şekil 4.9 : DN125 Biyokütle (mısır sapı) yakıtın analizi.

4.3 Deneysel Çalışma

Deney seti modellemesine göre üç farklı dalma boru çapı tasarımı uygulanmıştır. Dalma boruları standartlara göre birer kademe düşürülerek DN80, DN100 ve D125 formlarına göre belirlenmiştir. Her bir boru 150 mm uzunluğunda konfigürasyon oluşturacak şekilde düz flanşlara kaynatılmıştır. Deneyde dört farklı debi (1) kullanarak kapasite farkları gözlenmiştir. Debilerin değerleri sırasıyla 450 m³/h, 374.85 m³/h, 299.7 m³/h ve 225 m³/h olarak verilmiştir. Üç farklı dalma boru çapına göre iki farklı numune ve dört farklı debi kullanılmıştır. İki farklı numune için elek analizi oluşturulmuştur. Analize göre 5 farklı elek kullanılmıştır. Boyutları 35 µm, 45 µm, 75 µm, 500 µm, 850 µm, olan elekler üst üste dizilmiştir. Dizilen eleklerin en üst kısmına sırasıyla 286.35 g kömür ve 215.91 g biyokütle (mısır sapı) yerleştirilir. Numuneler her bir elekten geçtikten sonra boyut sınıflandırılması yapılarak ağırlıkları hesaplanmıştır. Siklon giriş kanalına (6) bağlı olan rezitanslar (2) bunkerden (3) gönderilen toz parçacıkların öncesine yerleştirilerek havayı ısıtmaktadır. Kanala bağlı olan üç tane rezistansta, kontrol panosuna (15) bağlanarak sıcaklık probu (7) ölçüm yeri siklon girişine yerleştirilir. Bunkere verilen toz parçacıkları 10 d/dk da redüktöre (4) bağlı helezon borusundan (5) kanala aktarımı yapılmaktadır. Siklona (9) giren katı-gaz karışımı basınç ölçümü için (8) kademeye gönderilmektedir. Hava belli hız da vorteks oluşturarak ağır tutunamayan partikülleri kül toplama haznesinde gönderir. Küçük tutunamayan toz partikülleri, siklon dalma boru çapına doğru hareket eder ve basınç ölçüm noktasından geçerek çıkışı sağlanır. Siklon konisine klape (12) yerleştirilerek her deney bitiminde biriken toz parçacıkları kül toplama haznesine (13) aktarılır. Kül toplama

haznesine (13) biriken partiküllerin ağırlığı ölçülerek toplam verimlilik oranı bulunmaktadır. Siklon modeline göre deneyin çalışma sistem şeması şekil 4.10'da verilmiştir.



1-FAN, 2-SICAKLIK REZİSTANSI, 3-NUMUNE BUNKERİ, 4-REDÜKTÖR, 5-HELEZON BORUSU, 6-BORU, 7-SICAKLIK PROBU, 8- BASINÇ ÖLÇÜM NOKTASI, 9-SIKLON, 10-DALMA BORUSU, 11-DALMA BORU ÇIKIŞ BORUSU, 12-KLAPE, 13-KÜL TOPLAMA HAZNESİ, 14-FREKANS İNVENTÖRÜ, 15-OTOMASYON SİSTEMİ

Şekil 4.10 : Deneysel şematik kurulum.

Siklonun katı-gaz akımını sağlayan deneyin sistem şemasına göre ekipman listesi çizelge 4.2'de verilmiştir.

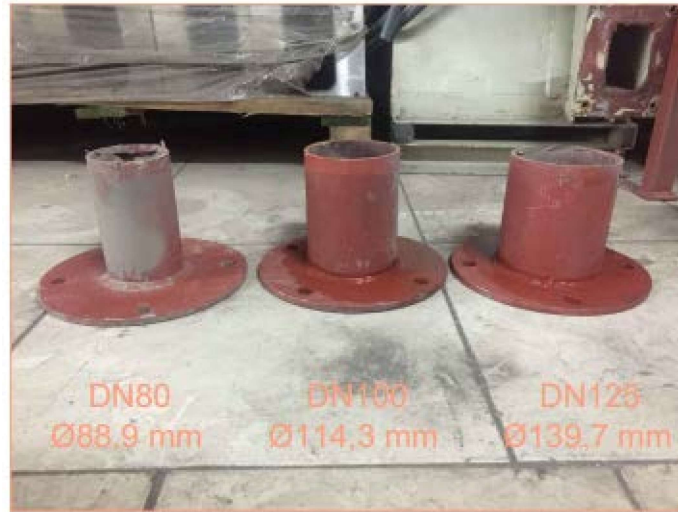
Çizelge 4.2 : Deney düzeneği malzeme listesi.

Malzemeler	Adet	Özellikleri
Dalma Borusu	3	Çaplar; 88.9 mm, 114.3 mm, 139.7 mm
Giriş-Çıkış Kanal Borusu	1	Çap:114.3 mm, Uzunluk:1600 mm
Konsantrik Redüksiyon	2	Çapı: 4''x3'' mm
Patent Dirsek	3	Çapı:114.3 mm 90°
Fan (İnvertörlü)	1	Max Debi: 450 m ³ /h, Motor Gücü: 3 kW, Frekans: 2850 d/dk
Basınç Transmitteri	1	Ölçüm Fark Basıncı: -5000...+5000 Pa
Rezistans	3	Sıcaklık: 30°C, Güç:4 Kw
Redüktör	1	Güç: 0.37 kW, Gerilim: 220 V Frekans: 50 Hz
Helezon Mili	1	Çapı:28 mm Uzunluk:820 mm
Kontrol Panosu	1	-
Sıcaklık Probu	1	-
Bunker	1	Hacim: 0.75 m ³

Siklonun imal görüntüsü ve üç farklı dalma boru çapının boyutlandırması şekil 4.11 ve şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.11 : Deney düzeneği montaj ve kontrol panosu.



Şekil 4.12 : Üç farklı dalma boru çapı.

Borularda akış yönüne göre düz ve patent dirsek olarak imalatı yapılmıştır. 0.75 m³ hacme sahip bunkere helezon mili bağlanacak şekilde tasarımı yapılmıştır. Helezon miline bağlı 0.37 kW motor gücünde dönme hareketi sağlayan redüktör, milin yaprak kanatları ile numunenin kanala aktarımı sağlanmaktadır. Siklon ayırıcılarda katı partikülleri ayırıştırmak için kurulan deneyde frekans invertörlü 2850 devir/dakika 3 kW gücündeki fan sayesinde 4

farklı debi ile kanala hava gönderilmektedir. Fana bağlı olan flanş ebatına göre kanalla bağlantısı sağlanacak aynı model flanş imal edilmiştir. Flanşların hava sızdırmazlığını engellemek için araya conta koyularak civata-somun bağlantısı yapılmıştır. Kanalin içerisine havanın ısıtılması için rezistansların yerleşim tasarımı yapılmıştır. Fana bağlı olan 4 kW gücüne sahip 30°C sıcaklığındaki 3 adet rezistans kanala yerleştirilmiştir. Rezistans kabloları kanaldan açılan bir bölge sayesinde kontrol panosuna bağlanmıştır. Siklon giriş kesit ölçülerine göre redüksiyon açılımlı levha imal edilerek siklona kaynatılmıştır.

Yüksek verimli Stairmand modeline sahip siklon deney setinde biyokütle (mısır sapı) ve kömür numuneleri kullanılmıştır. Deney öncesinde iki farklı numunenin terazi de ağırlıkları ölçülmüştür. Numuneler sırasıyla bunkere aktarılmaktadır. Bu sayede kanala giren hava istenilen sıcaklığa ulaşarak katı partikül ile karışımı sağlamaktadır. Sıcaklığın kontrol panosundan algılanabilmesi için siklon giriş borusuna prob kablosu yerleştirilmiştir. Siklon giriş kesiti ve çıkış borusu bölgelerine ölçüm problemleri yerleştirilmiştir. Dijital basınç ölçüm cihazı ile basınç ve sıcaklığa ait giriş-çıkış değerleri ölçülmüştür.

4.4 Deney setinde kullanılan ekipmanlar

4.4.1 Siklon

Deneyde kullanılan siklon modeli, Stairmand tipi yüksek verimli tasarım modelidir. Modele göre 300 çapında ve uzunluğu 1200 mm olan siklon imal edilmiştir. Siklon malzemesi siyah levha (EN10025-2) standardına göre ve gövde ağırlığı 26 kilo olarak hesaplanmıştır. Siklonun şematik görünümü şekil 4.13'te verilmektedir.



Şekil 4.13 : Stairmand tipi yüksek verimli siklon filtrenin boyutları.

4.4.2 Dozajlama ünitesi (bunker)

Siklona gönderilen gaz akımının ilk olarak dozajlamasının yapıldığı yere bunker denir. Bunker grubu helezon borusu, redüktörlü motor, helezon boru yaprakları ve destek profil hattı olmak üzere 4 kısımdan oluşmaktadır. Bunkerin malzemesi siyah levha (EN10025-2) ve ağırlığı 35 kilo olarak verilmiştir. Şekil 4.14'te bunker ve helezon grubun görünümü yer almaktadır.



Şekil 4.14 : Dozajlama ünitesinin görünümü.

4.4.3 Basınç transmitteri

Siklonun girişinde ve çıkışında birer basınç fark ölçüm problrı bulunmaktadır. Transmitterler sıcak gazdan etkilenmemesi için kanal ile bağlanmıştır. Hava akış ölçer, hava hızını, basıncını, akışını, fark basıncını ve ortam sıcaklığını belirlemek için kullanılır. Transmitter özelliğine göre max basınç 10 psi / 68947 Pa oluşturmaktadır. Ölçüm Aralığı (-5000) -(+5000) Pa olarak verilmiştir. Deneyde kullanılan basınç transmitteri şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15 : Basınç transmitteri.

4.4.4 Redüktör

Yüksek dönüş hızlarına sahip olan elektrik motorların istenilen dönüş hızına getirebilmesini sağlayan kapalı dişli sistemlerine redüktör denir. Helezon grubuna ait olan redüktör, helezon kovanına bağlıdır. Bunkere verilen numune, redüktörün 10 d/dk da dönmesi ile helezon kovanı hareket eder ve kanala numunenin gönderilmesini sağlar. Redüktörün hareket iletimi kontrol panosuna bağlanarak, 30°C' de havanın numune ile karışmasını sağlar. Özelliklerine göre gücü 0.37 kW, gerilimi 220 V, frekansı 50 Hz. göre helezon borusuna bağlanan redüktörün görünümü şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16 : Redüktör.

4.4.5 Frekans invertörlü hava fanı

Siklonda, kanala bağlı olarak invertörlü hava fanı kullanılmıştır. Siklona gönderilen hava, 4 farklı debide olacak şekilde ayarlanmıştır. Fandan sırasıyla kademeli olarak 450

m³/h, 374.85 m³/h, 299.7 m³/h ve 255 m³/h debi göndermiştir. Fanın dört farklı hava gönderimi sayesinde siklon performansı incelenmiştir. Frekans invertörlü hava fanı şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17 : İvertörlü hava fanı.

4.4.6 Kontrol panosu

Siklon kontrolü için pano kurulmuştur. Kurulan kontrol panosuna sıcaklık, fan invertörleri ve redüktör bağlanmıştır. Kontrol panosunun dış kısmına bağlı olan çalıştırma düğmesi sayesinde devreye girmektedir. Sıcaklık 30°C ye çıkartılarak kademeli olarak fan debisi ayarlanmıştır. Sisteme bağlı olan kontrol panosu şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18 : Kontrol panosu.

4.4.7 Partikül analiz cihazı

Mastersizer 3000 lazer cihazı (ISO-13320) ile parçacık (partikül) boyut analizi yapılmaktadır. Hem ıslak hem de kuru şartlarda tüm toz malzemeler için hassas ölçüm yapmaktadır. Ölçüm boyut aralığı 10 nm-3.5 mm. veri toplama hız birimi kHz ve doğruluk yüzdesi %0.6'dır. Deney öncesinde numunelerin analizi için kullanılan lazer cihazı şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19 : Mastersizer 3000 lazer partikül cihazı.

4.4.8 Sıcaklık rezistansı

Siklona bağlı olan fan sonrasında kanala üç adet eşkenar üçgen olacak şekilde sıcaklık rezistansı eklenmiştir. Rezistansın gücü 4 kW olup, kontrol panosuna göre sıcaklık seviyesi ayarlanmıştır. Fandan gönderilen havanın istenilen sıcaklığa ulaşması için 30°C seviyeye getirilmiştir. Kanala yerleştirilen rezistans sayesinde siklona 30°C sıcaklıkta hava gönderilmiştir. Kanala eşkenar şeklinde yerleştirilen üç adet rezistansın görünümü şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20 : Sıcaklık rezistansı.

4.4.9 Numune eleği

Siklona gönderilen iki farklı numunenin boyut analizi eleklerden geçirilerek ölümü yapılmıştır. Beş farklı elek kullanılarak her bir elekte kalan partikül boyutu ölçmüştür. Sırayla yerleştirilen eleklerin partikül tutma boyutları 38 μm , 45 μm , 75 μm , 500 μm ve 850 μm , olarak sıralanmıştır. Elekler st üste yerleştirilerek her eklenen numune de biriken tozun ağırlığına göre boyutlandırılması yapılmaktadır. Sırasıyla yerleştirilen eleklerin toplu görünümü şekil 4.21’de verilmiştir.



şekil 4.21 : Beş farklı elek.

4.4.10 Hassas tartı

Siklona gönderilen partiküllerin ait giren ve çıkan toz ağırlığı tespiti için hassas terazi kullanılmaktadır. Böylelikle toz tutma verimliliği giren toz ağırlığının, çıkan toz ağırlığına oranı ile bulunmaktadır. Toz tutma verimliliği için kullanılan hassas terazi şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22 : Hassas tartı.

4.4.11 Helezon borusu

Siklon ayırıcılarda gönderilen numune bunkere aktarılır. Bunkerin alt kısmına bağlı olan helezon borusu redüktöre bağlıdır. Redüktörün 10 d/dk da gerçekleştirdiği her harekette helezon borusu yaprakları numuneyi kanala doğru aktarır. Borunun üzerine helisel kıvrımla kaynatılan levhaya yaprak adı verilmektedir. Helezon borusunun bunkere bağlı görüntüsü şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.23 : Redüktöre bağlı helezon borusu.

4.4.12 Kömür Numunesi

Kömürler organik ve inorganik maddeler ile nemden oluşmaktadır. Kömürün yoğunluğu; uçucu madde, nem, sabit karbon miktarı ve içerdiği kül miktarına bağlıdır [68].

Kömürün ana bileşeni hidrokarbonlardır. Kömürün oluşumundaki esas kaynaklar; bitki ile havadan oluşan ve sulardan alınan CO₂ 'tir [69].

Kömürün yanması sonucunda oluşan en fazla mineral bileşenleri silisyum, alüminyum, demir ve kalsiyumdur. Daha az olan bileşenleri ise magnezyum, titan, sodyum ve potasyumdur. Kül bileşenleri analizine göre oksitlerin, silikatların ve sülfatların karışımı halinde bulunmaktadır [69]. Kömür'e ait yanmış kül görünümü şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.24 : Kömür numunesi

4.4.13 Biyokütle (Mısır Sapı) Numunesi

Biyokütle, yenilenebilen bitkisel ve hayvansal atıklarından oluşmaktadır. Biyokütlerde mısır, ağaçlar buğday gibi bitkiler, yosunlar, evlerden atılan meyve ve sebze atığı gibi organik çöpler, gübre, hayvan dışkıları ve sanayi atıkları yer almaktadır.

Biyokütlenin enerji içeriği ile nem içeriği doğrudan orantılıdır. Biyokütlenin yakıt kullanımından önce boyut küçültmesi yapılmaktadır. Tanecik boyutunu küçültme işlemlerine göre, biyokütle; parçalama (50-250 mm), yongalama (5-50 mm) ve öğütme (0-80 mm) olarak yer almaktadır. Biyokütlenin küçültülerek parçalar halinde olması depolama yönünden hacmini azaltmakta ve malzemelerin katı haldeki kullanımını kolaylaştırmaktadır.

Organik maddelerin yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksitten dolayı çevre tarafından önlemler alınmaktadır [69]. Biyokütle (mısır sapı)'ye ait yanmış kül görünümü şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.25 : Biyokütle (mısır sapı) numunesi

4.4.14 Kömür ve biyokütlenin (mısır sapı) yakıt özellikleri

Kömür ve biyokütle (mısır sapı) numunelerinin organik ve inorganik olarak enerji içerikleri ve fiziksel özellikleri bakımından birbirinden farklıdır. Kömür ve biyokütlenin (mısır sapı) yanması sonucunda oluşan yoğunluk, partikül büyüklüğü, bileşenlerde bulunan kül oranı, yanma sıcaklığı ve ısı değerine dair veriler çizelge 4.3'te verilmiştir [70].

Çizelge 4.3 : Kömür ve biyokütlenin (mısır sapı) yakıt özellikleri [70].

Özellikler	Biyokütle (Mısır Sapı)	Kömür
Yakıt Yoğunluğu (kg/m ³)	500	1300
Parikül Büyüklüğü	3 mm	100µm
%C (kuru bazda)	42-54	65-85
%O (kuru bazda)	35-45	2-15
%S (kuru bazda)	Max 0.5	0.5-7.5
%SiO ₂ (külde)	23-49	40-60
%K ₂ O (külde)	4-48	2-6
%Al ₂ O ₃ (külde)	2.4-9.5	15-25
%Fe ₂ O ₃ (külde)	1.5-8.5	8-18
Yanma Sıcaklığı (K)	418-426	490-595
Isıl Değer (MJ/kg)	14-21	23-28

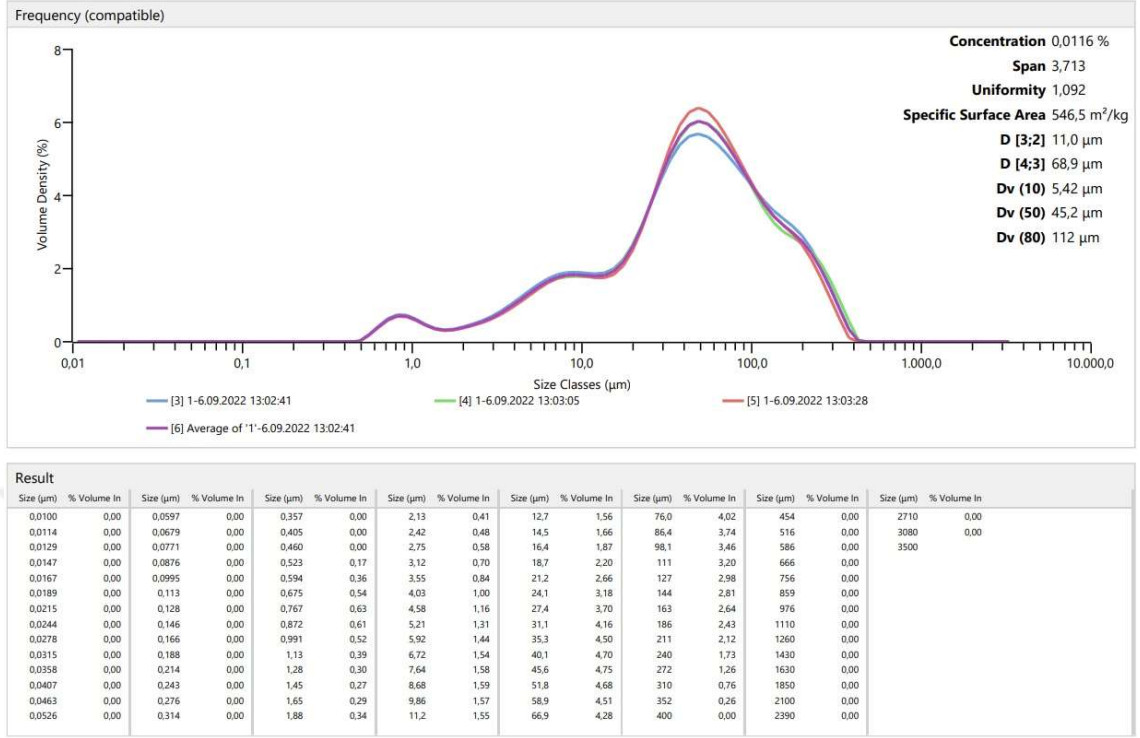
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan deneyde temel değişken olan havanın hızı esas alınmıştır. Hıza bağlı olarak dört farklı debide çalışma yapılmıştır. Üç farklı dalma boru çapı ve iki farklı numune alınarak deneyler yapılmıştır. Kömür ve biyokütle (mısır sapı) olarak kullanılan numuneler, deney öncesinde Mastersizer 3000 cihazında boyutsal analizi yapılmıştır. Buna bağlı olarak laboratuvar ortamında gerçekleşen 5 farklı elek kullanılarak boyut ölçümü yapılmıştır. Deney öncesinde SolidWorks Flow Simulation programında akış analizi yapılmıştır. Bu sonuçlara bağlı olarak deneysel çalışma yapılmıştır. Laboratuvar ortamında gerçekleşen deneyde, aynı ağırlığa sahip kömür ve biyokütle (mısır sapı) numuneleri kullanılmıştır. Hava debisi yüksek olan numunelerin çalışma süresi, düşük debiye göre daha kısa sürede tamamlanmıştır. Sonuç olarak deneylerin her biri 20-30 dk arası sürmüştür. Her deney sonucunda kül haznesine biriken küller tartılmış ve toz tutma verimliliği incelenmiştir.

5.1 Numunelerin Sınıflandırılması

Partiküller boyutlarına göre değerlendirilmektedir. Faz dönüşümü sonucunda siklon içerisinde farklı toz boyutlarının olduğu tespit edilmiştir. Böylelikle partikül boyutlarında sınıflandırılma yapılmaktadır. Deneyde kullanılan numunelerin toz partikül detayları verilmiştir.

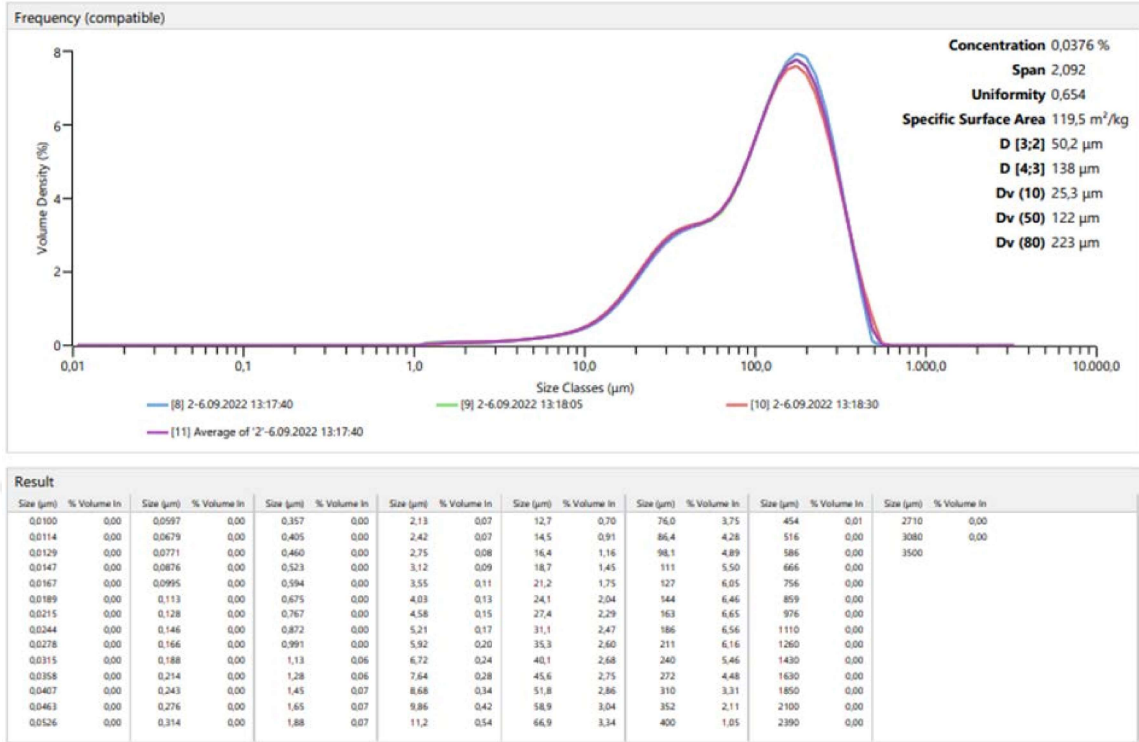
Sınıflandırma için kullanılan biyokütle (mısır sapı) numunenin, partikül boyutuna göre gösterimi şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Biyokütle (mısır sapı) Mastersizer 3000 lazer katı partikül analizi.

Biyokütle (mısır sapı) analiz verilerine göre konsantrasyon yüzdesi 0.0116, yüzey alanı 546.5 m²/kg, analiz süresi 1.092 saniye olarak verilmiştir. Hacim yoğunluğu-boyut sınıfı grafik verisine göre her mikronun ağırlıkları verilmiştir.

Sınıflandırma için kullanılan kömür numunenin, partikül boyutuna göre gösterimi şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2 : Kömür Mastersizer 3000 lazer katı partikül analizi.

Kütle analiz verilerine göre konsantrasyon yüzdesi 0.0116, yüzey alanı 546.5 m²/kg, analiz süresi 1.092 sn'dir.

5.2 Elek Analizi

Siklon ayırıcılarda iki farklı numuneye ait elek analizi yapılmıştır. Elek analizine göre 5 farklı elek kullanılarak hassas terazi de ağırlıkları hesaplanmıştır. Hesaplamalara göre biyokütle (mısır sapı) ve kömür yakıtlarının mikron ağırlıkları çizelge 5.1 ve çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Kömür elek analizi ağırlıkları.

Mikron Aralığı (µm)	Ağırlığı (gr)
38 µm'dan küçük	12.10
38 µm-45 µm	5.16
45 µm-75 µm	17.01
75 µm-500 µm	249.49
500 µm-850 µm	0.97
850 µm'dan büyük	0.089

Çizelge 5.2 : Biyokütle (mısır sapı) elek analizi ağırlıkları.

Mikron Aralığı (μm)	Ağırlığı (gr)
38 μm 'dan küçük	3.01
38 μm -45 μm	9.87
45 μm -75 μm	50.42
75 μm -500 μm	151.69
500 μm -850 μm	0.46
850 μm 'dan büyük	0.075

Kömür ve biyokütle (mısır sapı) elek analizine göre ağırlığı fazla olan numuneler 75 mikron ve 500 mikron arasındaki partikül boyutunda olmuştur. Buna bağlı olarak her iki numunede aynı boyut aralığında daha fazla partikül bulunmaktadır.

5.3 SolidWorks Programında Akış Analizi

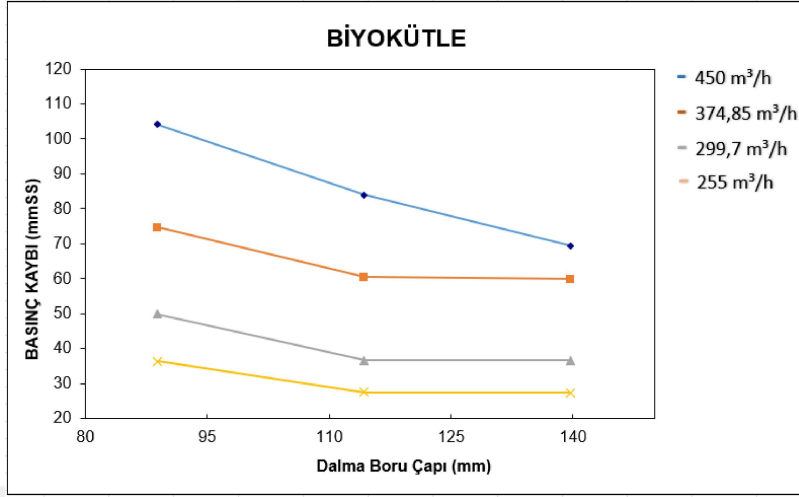
5.3.1 Basınç düşüşü

Siklon ayırıcılarda basınç düşüşü ve toz tutma verimliliği parametrelerini incelemek için öncesinde SolidWorks Flow Simulation programında akış analizi yapılmıştır. Kömür ve biyokütle (mısır sapı) yakıt için dört farklı debi ve üç farklı dalma boru çapına ait analiz çizelge 5.3'te verilmiştir.

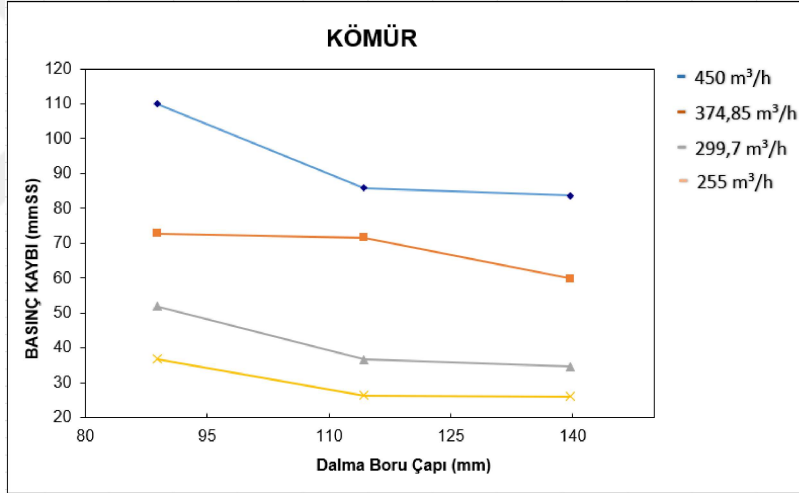
Çizelge 5.3 : Biyokütle (mısır sapı) ve kömür numunelerinin basınç düşümü analiz verileri.

Numune	Değer	Debi (m^3/h)	Dalma Boru Çapı		
			139.7 mm	114.3 mm	88.9 mm
Kömür	Basınç Düşümü (mmSS)	450	83.71	85.8	109.92
		374.85	59.9	71.7	72.75
		299.7	34.73	36.66	51.88
Biyokütle (Mısır sapı)	Basınç Düşümü (mmSS)	255	26.1	26.41	36.83
		450	69.51	83.99	104.1
		374.85	59.95	60.48	74.65
		299.7	39.69	36.75	49.9
		255	27.38	27.61	36.4

Kömür ve biyokütle (mısır sapı) numunelerinin dalma boru çapı değiştirilerek basınç düşüşü analiz grafiği şekil 5.3' ve şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.3 : SolidWorks Flow Simulation’da biyokütle (mısır sapı) için basınç düşüşü verileri.



Şekil 5.4 : SolidWorks Flow Simulation’da kömür için basınç düşüşü verileri.

Grafiklere göre kömür ve biyokütle (mısır sapı) numunelerinde, dalma boru çapı arttıkça basınç düşüşü azalmıştır.

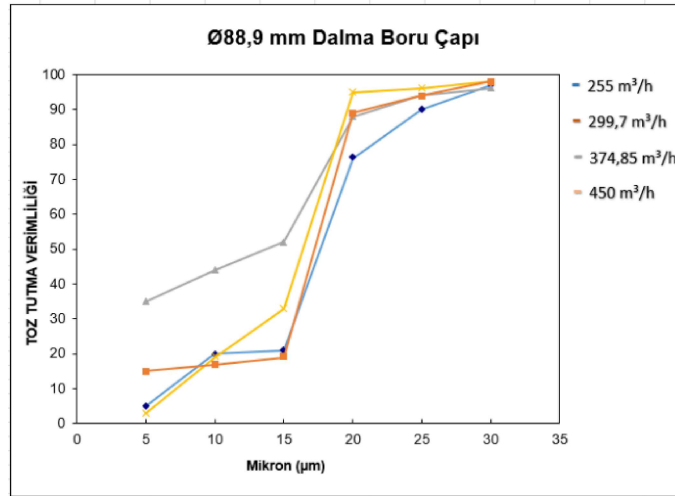
5.3.2 Toz tutma verimliliği

Toz tutma verimliliği analizinde, 5 μm ile 30 μm arasındaki değerlere göre siklon kesit girişinden, 100 parçacık siklona gönderilmiştir. Buna göre debi, numune ve dalma boru çapı değişimlerinde bacadan çıkan parçacık sayısının sonuç verileri alınmıştır. Siklon konik kısımda biriken partiküller toz tutma verimliliğini vermektedir.

Biyokütle (mısır sapı) için dört farklı debiye ait DN80 (88.9 mm) dalma boru çapının toz tutma verimliliği çizelge 5.4’te ve grafiği şekil 5.5’te verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Biyokütle (mısır sapı) numunesinin DN80 toz tutma verimliliği.

Dalma Boru Çapı	Debi (m ³ /h)	Mikron (µm)	Toz Tutma Verimliliği
DN80 (88.9 mm)	450 m ³ /h	5	5
		10	20
		15	21
		20	76
		25	90
		30	97
	374.85 m ³ /h	5	15
		10	17
		15	19
		20	89
		25	94
		30	98
	299.7 m ³ /h	5	3
		10	19
		15	33
		20	95
		25	96
		30	98
	255 m ³ /h	5	35
		10	44
15		52	
20		88	
25		94	
30		96	

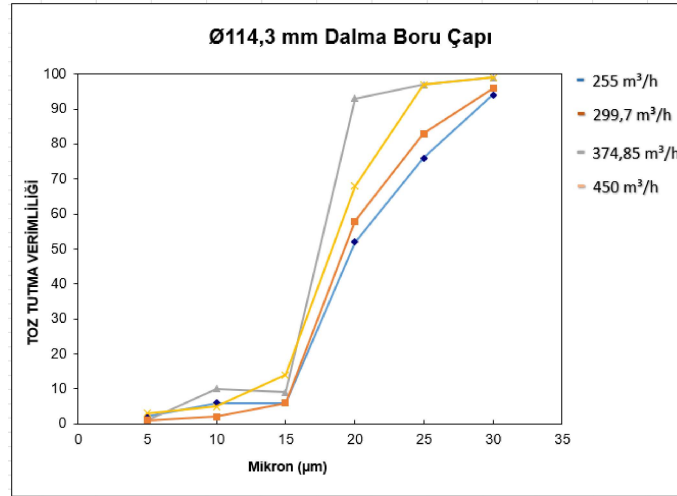


Şekil 5.5 : DN80' de biyokütle (mısır sapı) için toz tutma verimliliği.

Biyokütle (mısır sapı) için dört farklı debiye ait DN100 (114.3 mm) dalma boru çapının toz tutma verimliliği analizi çizelge 5.5'te ve grafiği şekil 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Biyokütle (mısır sapı) numunesinin DN100 toz tutma verimliliği.

Dalma Boru Çapı	Debi (m ³ /h)	Mikron (µm)	Toz Tutma Verimliliği
DN100 (114.3 mm)	450 m ³ /h	5	2
		10	6
		15	6
		20	52
		25	76
		30	94
	374.85 m ³ /h	5	1
		10	2
		15	6
		20	58
		25	83
		30	96
	299.7 m ³ /h	5	3
		10	5
		15	14
		20	68
		25	97
		30	99
	255 m ³ /h	5	1
		10	10
		15	9
		20	93
		25	97
		30	99

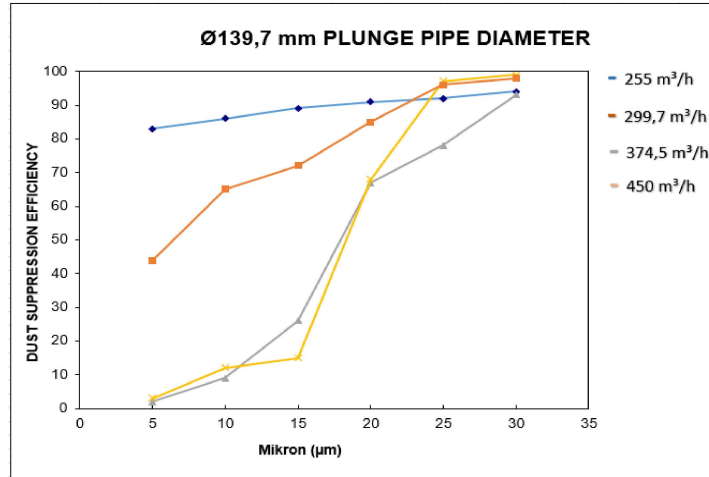


Şekil 5.6 : DN100' de biyokütle (mısır sapı) için toz tutma verimliliği.

Biyokütle (mısır sapı) için dört farklı debiyeye ait DN125 (139.7 mm) dalma boru çapının toz tutma verimliliği analizi çizelge 5.6'da ve grafiği şekil 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Biyokütle (mısır sapı) numunesinin DN125 toz tutma verimliliği.

Dalma Boru Çapı	Debi (m ³ /h)	Mikron (µm)	Toz Tutma Verimliliği
DN125 (139.7 mm)	450 m ³ /h	5	83
		10	86
		15	89
		20	91
		25	92
		30	94
	374.85 m ³ /h	5	44
		10	65
		15	72
		20	85
		25	96
		30	98
	299.7 m ³ /h	5	3
		10	12
		15	15
		20	68
		25	97
		30	99
	255 m ³ /h	5	2
		10	10
15		26	
20		67	
25		78	
30		93	



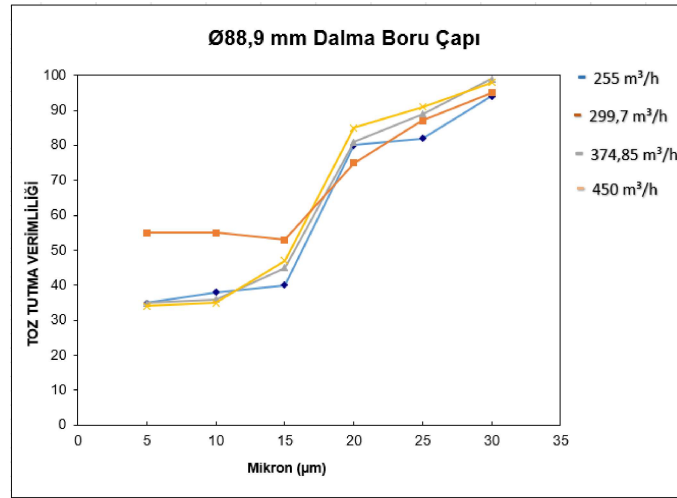
Şekil 5.7 : DN125' te biyokütle (mısır sapı) için toz tutma verimliliği.

Biyokütle (mısır sapı) analizinde, üç farklı dalma boru çapı ve dört farklı debide toz tutma verimliliği incelenmiştir. Buna göre mikron boyutu arttıkça genel olarak verimin arttığı tespit edilmiştir. En iyi toz tutma verimliliğine göre dalma boru çapı 88.9 mm debi 450 m³/h, çapı 114.3 mm debi 450 m³/h ve dalma boru çapı 139.7 mm debi 255 m³/h'de

sağlanmıştır. Üç farklı dalma boru çapındaki en iyi verim dalma boru çapının 114.3 mm ve debinin 450 m³/h olduğu veridir. Kömür için dört farklı debiye ait DN80 (88.9 mm) dalma boru çapının toz tutma verimliliği analizi çizelge 5.7’de ve grafiği şekil 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Kömür numunesinin DN80 toz tutma verimliliği.

Dalma Boru Çapı	Debi (m ³ /h)	Mikron (µm)	Toz Tutma Verimliliği
DN80 (88.9 mm)	450 m ³ /h	5	32
		10	35
		15	38
		20	80
		25	98
		30	99
	374.85 m ³ /h	5	42
		10	46
		15	91
		20	93
		25	96
		30	98
	299.7 m ³ /h	5	29
		10	31
		15	33
		20	51
		25	87
		30	97
	255 m ³ /h	5	27
		10	29
15		43	
20		45	
25		62	
30		88	

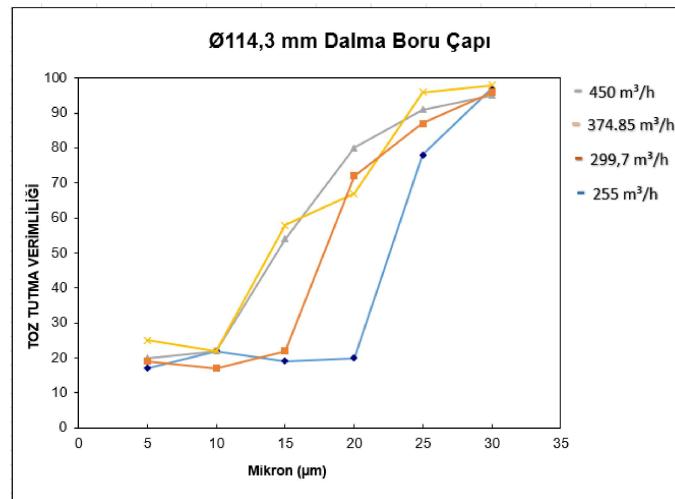


Şekil 5.8 : DN80' de kömür için toz tutma verimliliği.

Kömür için dört farklı debiye ait DN100 (114.3 mm) dalma boru çapının toz tutma verimliliği analizi çizelge 5.8’de ve grafiği şekil 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.8 : Kömür numunesinin DN100 toz tutma verimliliği.

Dalma Boru Çapı	Debi (m ³ /h)	Mikron (μm)	Toz Tutma Verimliliği
DN100 (114.3 mm)	450 m ³ /h	5	20
		10	22
		15	54
		20	80
		25	91
		30	95
	374.85 m ³ /h	5	25
		10	22
		15	58
		20	67
		25	96
		30	98
	299.7 m ³ /h	5	19
		10	17
		15	22
		20	72
		25	87
		30	96
	255 m ³ /h	5	17
		10	22
15		19	
20		20	
25		78	
30		97	

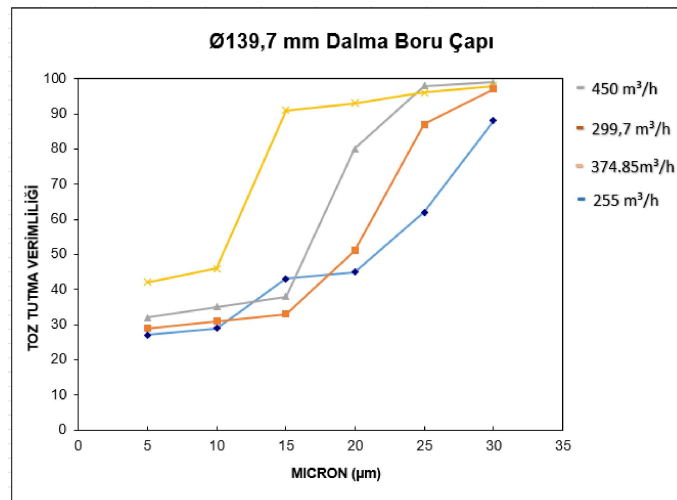


Şekil 5.9 : DN100’de kömür için toz tutma verimliliği.

Kömür için dört farklı debiye ait DN100 (114.3 mm) dalma boru çapının toz tutma verimliliği analizi çizelge 5.9'da ve grafiği şekil 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.9 : Kömür numunesinin DN125 toz tutma verimliliği.

Dalma Boru Çapı	Debi (m ³ /h)	Mikron (μm)	Toz Tutma Verimliliği
DN125 (139.7 mm)	450 m ³ /h	5	35
		10	36
		15	45
		20	81
		25	89
		30	99
	374.85 m ³ /h	5	34
		10	35
		15	47
		20	85
		25	91
		30	98
	299.7 m ³ /h	5	53
		10	55
		15	54
		20	75
		25	87
		30	85
	255 m ³ /h	5	35
		10	38
15		40	
20		80	
25		82	
30		94	



Şekil 5.10 : DN125'te kömür için toz tutma verimliliği.

Kömür numunesinde, üç farklı dalma boru çapı ve dört farklı debide, toz tutma verimliliği incelenmiştir. Buna göre mikron boyutu arttıkça genel olarak verimin arttığı tespit edilmiştir. En iyi toz tutma verimliliklerine göre dalma boru çapı 88.9 mm debi 450 m³/h, 114.3 mm debi 374.5 m³/h ve 139.7 mm debi 374.5 m³/h’de sağlanmıştır. Üç farklı dalma boru çapındaki en iyi verim 88.9 mm ve debinin 450 m³/h olduğu değerlerde sağlanmıştır.

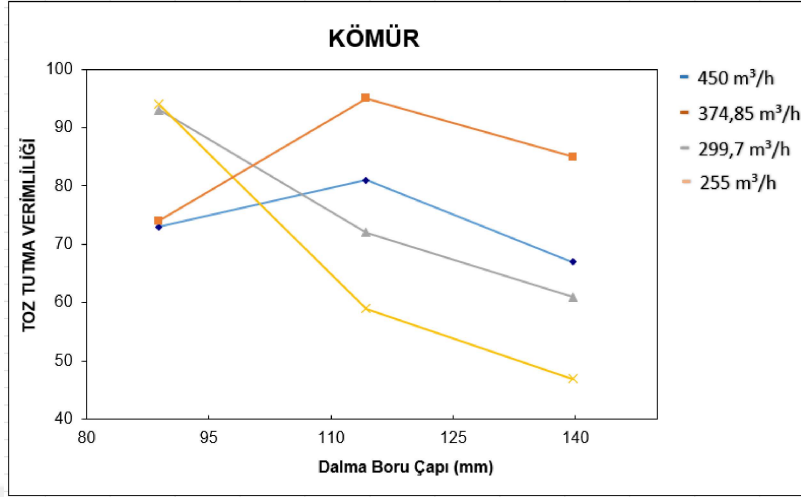
5.4 Deneysel Çalışma Verileri

5.4.1 Toz tutma verimliliği

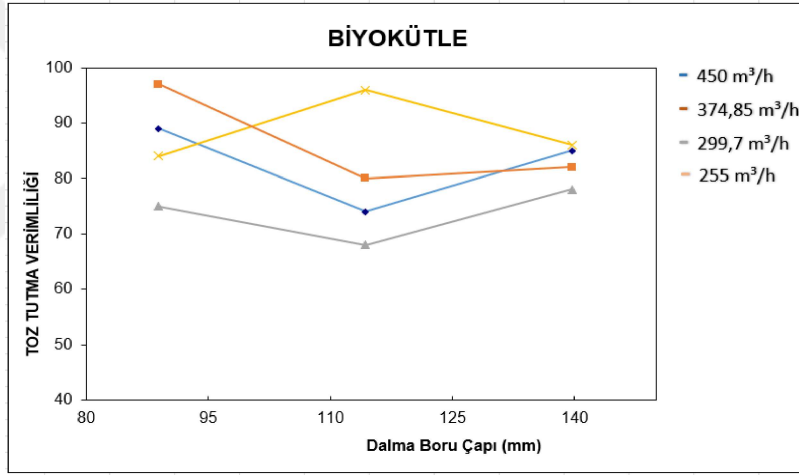
Siklon ayırıcılarda performansa etki eden basınç düşüşü ve toz tutma verimliliği parametrelerine göre analiz sonrasında deneysel çalışma yapılmıştır. Kömür ve biyokütle (mısır sapı) yakıt için dört farklı debi ve üç farklı dalma boru çapına ait deneysel çalışma çizelge 5.10’da şekil 5.11, şekil 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.10 : Kömür ve biyokütle (mısır sapı) numunesinin toz tutma verimliliği.

Numune	Değer	Debi (m ³ /h)	Dalma Boru Çapı		
			139.7 mm	114.3 mm	88.9 mm
Kömür	Toz Tutma Verimliliği	450	67	81	73
		374.85	85	95	74
		299.7	61	72	93
		255	47	59	94
Biyokütle (Mısır sapı)	Toz Tutma Verimliliği	450	85	74	89
		374.85	82	80	97
		299.7	78	68	75
		255	86	96	84



Şekil 5.11 : Deneysel çalışmada kömür için toz tutma verimliliği.

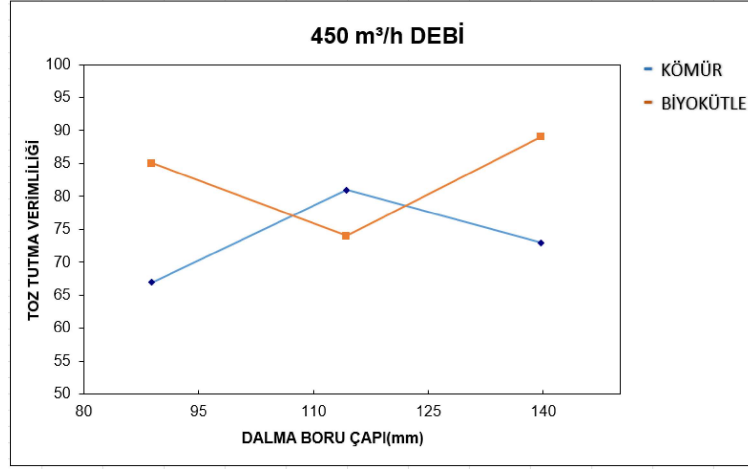


Şekil 5.12 : Deneysel çalışmada biyokütle (mısır sapı) için toz tutma verimliliği.

Toz tutma verimliliğine göre debilerde değişkenlik gösterilmiştir. Buna göre kömürde dalma boru çapı 114.3 mm de debi 374.5 m³/h ve biyokütle (mısır sapı) dalma boru çapı 88.9 mm debi de 374.5 m³/h olduğunda en iyi toz tutma verimliliği sağlanmıştır.

5.4.1.1 450 m³/h Debideki kömür ve biyokütle (mısır sapı) toz tutma verimliliği

Kömür ve Biyokütle (mısır sapı) ait yapılan deneysel çalışmaya göre her iki numune arasında toz tutma verimliliği farklı değerler almıştır. Buna bağlı olarak her iki numune de gönderilen 450 m³/h deki debinin farkı şekil 5.13'te verilmiştir.

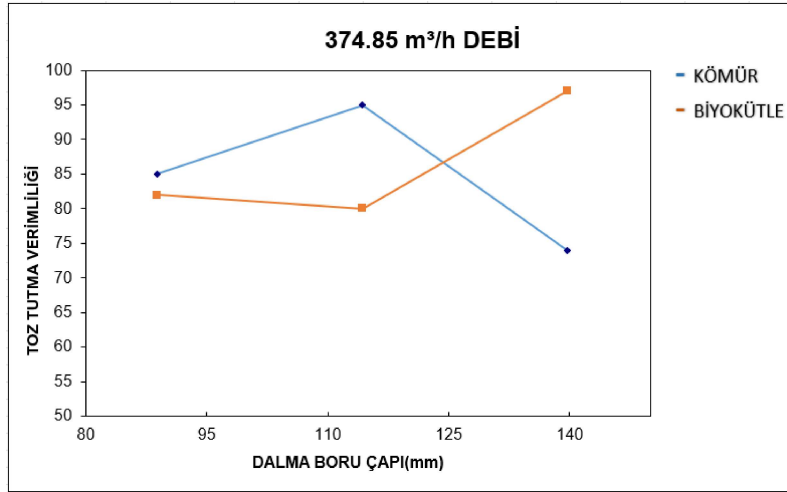


Şekil 5.13 : 450 m³/h debide toz tutma verimliliği farkı.

Aynı debide gönderilen iki farklı numuneye göre dalma boru çapı arttıkça toz tutma verimliliğinde değişkenlik meydana gelmiştir. Aynı şekilde dalma boru çapına göre biyokütle (mısır sapı) ve kömürün toz tutma verimliliğinde, artma ve azalmaya yönelik değişkenliği olduğu saptanmıştır.

5.4.1.2 374.85 m³/h Debideki kömür ve biyokütle (mısır sapı) toz tutma verimliliği

Kömür ve Biyokütle (mısır sapı) ait yapılan deneysel çalışmaya göre her iki numune arasında toz tutma verimliliği farklı değerler almıştır. Buna bağlı olarak her iki numune de gönderilen 374.85 m³/h deki toz tutma verimi farkı şekil 5.14'te verilmiştir.



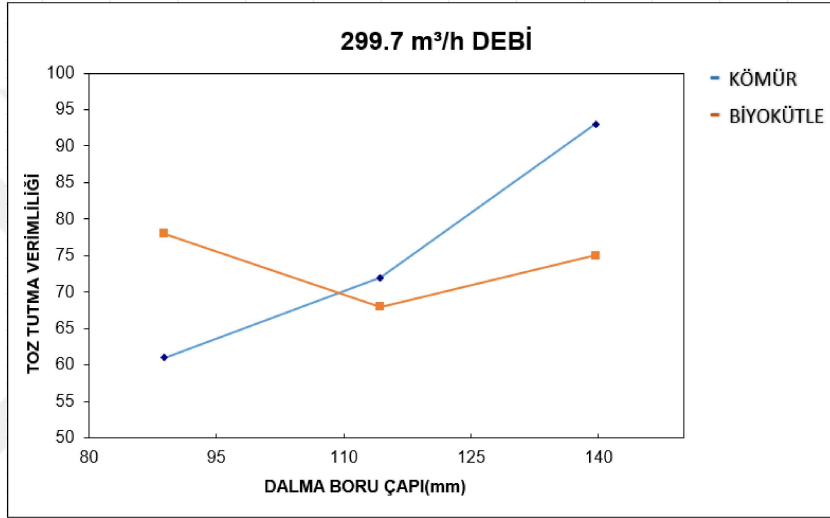
Şekil 5.14 : 374.85 m³/h debide toz tutma verimliliği farkı.

Aynı debide gönderilen iki farklı numuneye göre dalma boru çapı arttıkça toz tutma verimliliğinde değişkenlik meydana gelmiştir. Aynı şekilde dalma boru çapına göre

biyokütle (mısır sapı) ve kömürün toz tutma verimliliğinde, artma ve azalmaya yönelik değişkenliği olduğu saptanmıştır.

5.4.1.3 299.7 m³/h Debideki kömür ve biyokütle (mısır sapı) toz tutma verimliliği

Kömür ve Biyokütle (mısır sapı) ait yapılan deneysel çalışmaya göre her iki numune arasında toz tutma verimliliği farklı değerler almıştır. Buna bağlı olarak her iki numune de gönderilen 299.7 m³/h deki toz tutma verimi farkı şekil 5.15'te verilmiştir.

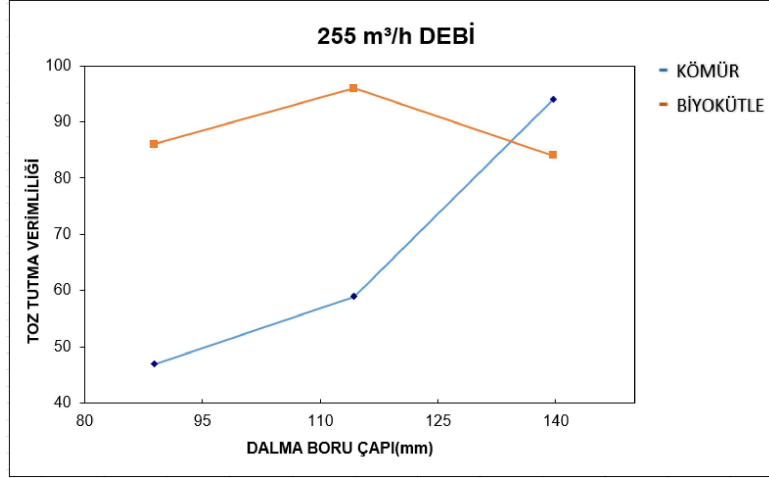


Şekil 5.15 : 299.7 m³/h debide toz tutma verimliliği farkı.

Aynı debide gönderilen iki farklı numuneye göre dalma boru çapı arttıkça toz tutma verimliliğinde değişiklik meydana gelmiştir. Aynı şekilde dalma boru çapına göre biyokütle (mısır sapı) ve kömürün toz tutma verimliliğinde, artma ve azalmaya yönelik değişkenliği olduğu saptanmıştır.

5.4.1.4 255 m³/h debideki kömür ve biyokütle (mısır sapı) toz tutma verimliliği

Kömür ve biyokütle (mısır sapı) ait yapılan deneysel çalışmaya göre her iki numune arasında toz tutma verimliliği farklı değerler almıştır. Buna bağlı olarak her iki numune de gönderilen 255 m³/h deki debinin farkı şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16 : 255 m³/h debide toz tutma verimliliği farkı.

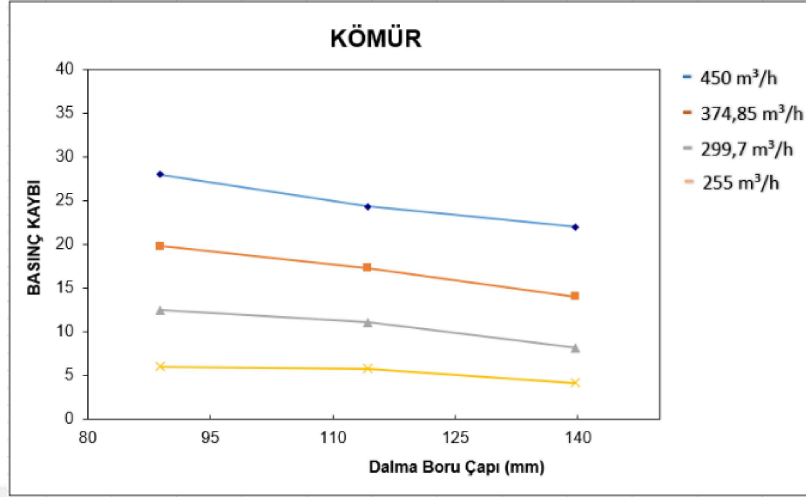
Aynı debide gönderilen iki farklı numuneye göre dalma boru çapı arttıkça toz tutma verimliliğinde değişkenlik meydana gelmiştir. Aynı şekilde dalma boru çapına göre biyokütle (mısır sapı) ve kömürün toz tutma verimliliğinde, artma ve azalmaya yönelik değişkenliği olduğu saptanmıştır.

5.4.2 Basınç düşüşü

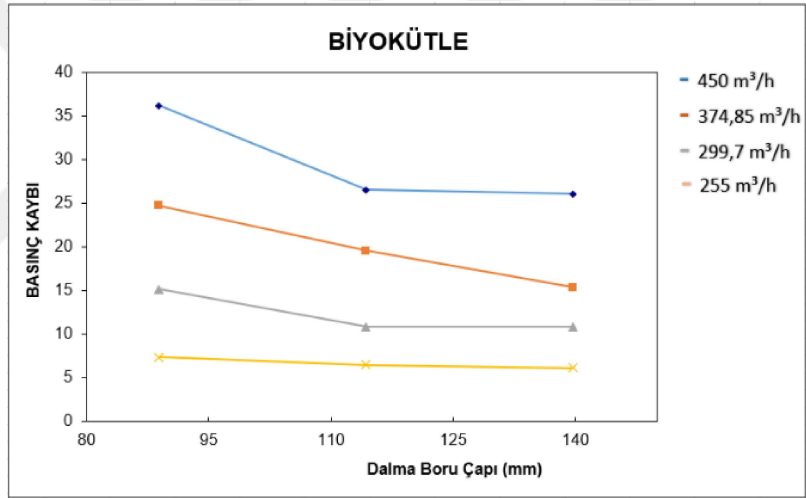
Kömür ve biyokütle (mısır sapı) için dört farklı debi ve üç farklı dalma boru çapına ait basınç düşüşü deneysel çalışması çizelge 5.11'de grafikleri şekil 5.17, şekil 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.11 : Kömür ve biyokütle (mısır sapı) numunesinin basınç düşüşü.

Numune	Değer	Debi (m ³ /h)	Dalma Boru Çapı		
			139.7 mm	114.3 mm	88.9 mm
Kömür	Basınç Düşümü (bar)	450	22.4	24.34	27.97
		374.85	14.02	19.8	27.28
		299.7	8.17	11.1	12.5
		255	4.19	5.81	6.03
Biyokütle (Mısır sapı)	Basınç Düşümü (bar)	450	26.06	26.49	36.17
		374.85	15.36	19.56	24.74
		299.7	10.84	10.88	15.14
		255	6.15	6.49	7.35



Şekil 5.17 : Deneysel çalışmada kömür basınç düşüşü.

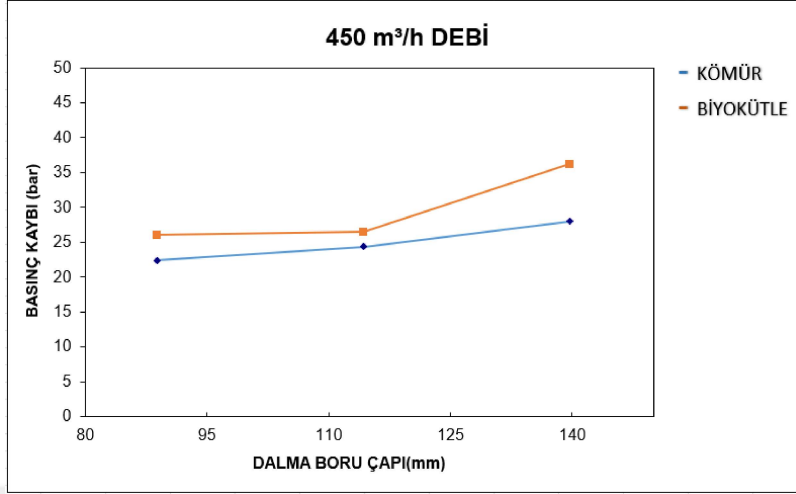


Şekil 5.18 : Deneysel çalışmada biyokütle (mısır sapı) basınç düşüşü.

Grafiklere göre kömür ve biyokütle (mısır sapı) numunelerinde, dalma boru çapı arttıkça basınç düşüşü azalmaktadır.

5.4.2.1 450 m³/h Debideki kömür ve biyokütle (mısır sapı) basınç düşümü

Kömür ve Biyokütleye (mısır sapı) ait yapılan deneysel çalışmaya göre her iki numune arasında basınç düşümünde farklı değerler saptanmıştır. Buna bağlı olarak her iki numune de gönderilen 450 m³/h deki debinin farkı şekil 5.19'da verilmiştir.

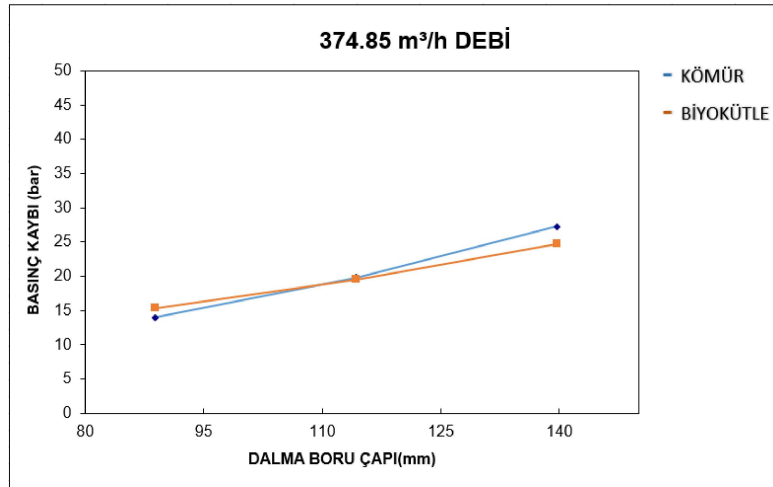


Şekil 5.19 : 450 m³/h debide basınç düşümü farkı.

Aynı debide gönderilen iki farklı numuneye göre dalma boru çapı arttıkça basınç artmıştır. Ancak iki numune arasındaki farka göre biyokütlenin (mısır sapı) basınç düşümü kömürden yüksek seviyede çıkmıştır.

5.4.2.2 374.85 m³/h Debideki kömür ve biyokütle (mısır sapı) basınç düşümü

Kömür ve Biyokütle (mısır sapı) ait yapılan deneysel çalışmaya göre her iki numune arasında basınç düşümünde farklı değerler saptanmıştır. Buna bağlı olarak her iki numune de gönderilen 374.85 m³/h deki debinin farkı şekil 5.20'de verilmiştir.

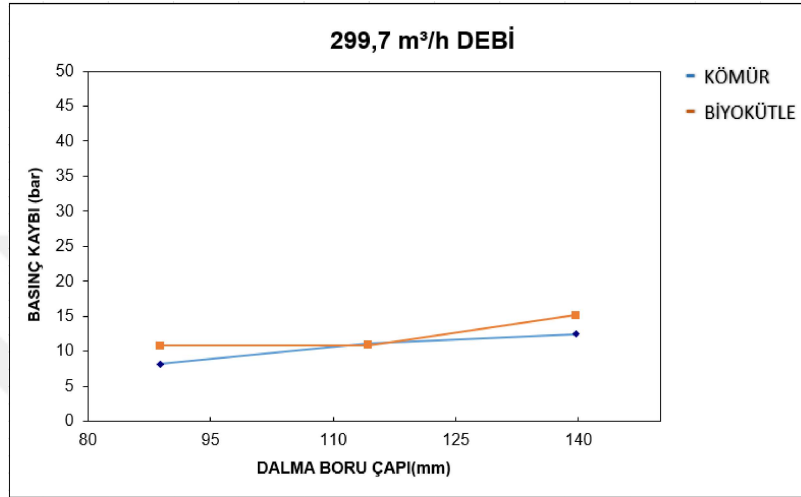


Şekil 5.20 : 374.85 m³/h debide basınç düşümü farkı.

Aynı debide gönderilen iki farklı numuneye göre dalma boru çapı arttıkça basınç artmıştır. Ancak iki numune arasındaki farka göre basınç düşümünde artma ve azalma yönünde değişkenlik olduğu saptanmıştır.

5.4.2.3 299.7 m³/h Debideki kömür ve biyokütle (mısır sapı) basınç düşümü

Kömür ve Biyokütle (mısır sapı) ait yapılan deneysel çalışmaya göre her iki numune arasında basınç düşümünde farklı değerler saptanmıştır. Buna bağlı olarak her iki numune de gönderilen 299.7 m³/h deki debinin farkı şekil 5.21’de verilmiştir.

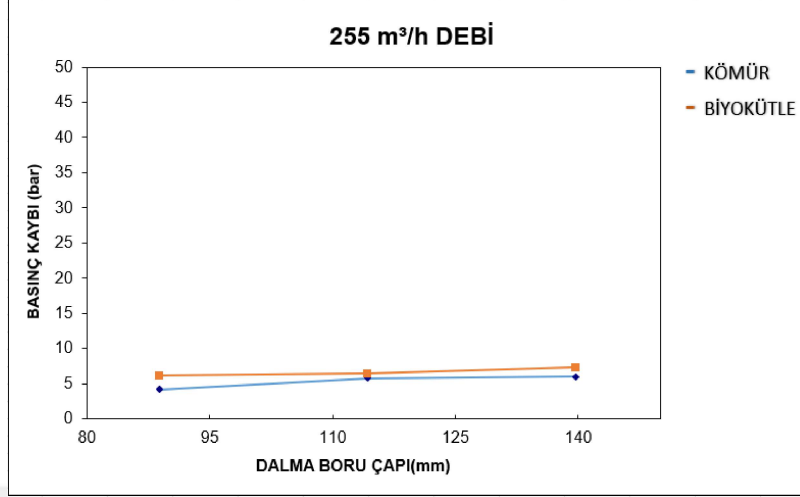


Şekil 5.21 : 299.7 m³/h debide basınç düşümü farkı.

Aynı debide gönderilen iki farklı numuneye göre dalma boru çapı arttıkça basınç artmıştır. Ancak iki numune arasındaki farka göre basınç düşümünde artma ve azalma yönünde değişkenlik olduğu saptanmıştır.

5.4.2.4 255 m³/h Debideki kömür ve biyokütle (mısır sapı) basınç düşümü

Kömür ve Biyokütle (mısır sapı) ait yapılan deneysel çalışmaya göre her iki numune arasında basınç düşümünde farklı değerler saptanmıştır. Buna bağlı olarak her iki numune de gönderilen 255 m³/h deki debinin farkı şekil 5.22’de verilmiştir.

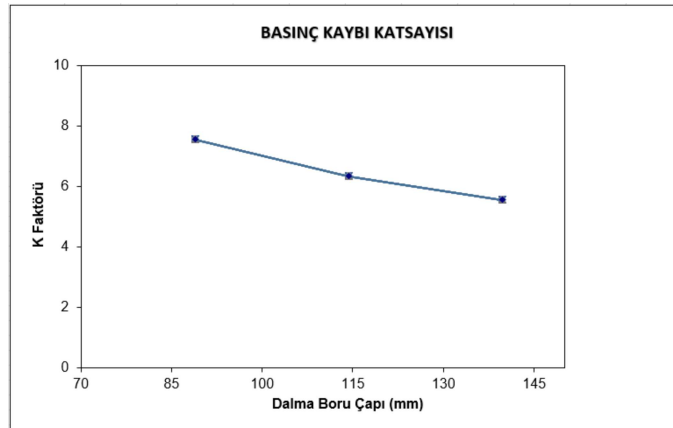


Şekil 5.22 : 255 m³/h debide basınç düşümü farkı.

Aynı debide gönderilen iki farklı numuneye göre dalma boru çapı arttıkça basınç artmış olup biyokütlenin (mısır sapı) basınç düşümü kömürden yüksek seviyede çıkmıştır.

5.5 Sayısal yöntemler ile basınç düşüşü faktörü

Siklon ayırıcılarda deneysel ve SolidWorks Flow Simulation programında akış analizi yapılan basınç düşüşü hesabının, sayısal yöntemler ile K faktörü hesabı tespit edilmiştir. Dalma boru çapının değişimi ile ortaya üç farklı K faktörü çıkmıştır. Hesaba göre 88.9 mm çapındaki dalma boru çapında K faktörü 7.56 ve 114.3 mm çapındaki dalma boru çapı için 6.35 ve 139.7 mm çapındaki dalma boru çapı için K faktörü 5.556 olarak bulunmuştur. Buna göre sayısal yöntemlere göre yapılan basınç düşüşü hesabında üç farklı dalma boru çapının K faktörü değerleri şekil 5.23' te verilmiştir.



Şekil 5.23 : Basınç düşüşü faktör hesabı.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Siklonlarda, basınç düşüşünü ve toz toplama verimliliğini etkileyen dalma boru çapı ve debinin etkisi iki farklı numune kullanılarak hem sayısal analiz yapılmış hem de deneysel olarak incelenmiştir. Siklon ayırıcıların boyutsal olarak tasarımı siklon performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Laboratuvar şartlarına göre belirlenen siklon çapı, kullanım amacına uygun olarak boyutlandırılmıştır. Aynı zamanda basınç düşüşünü bulabilmek için sürtünmeye bağlı olarak K katsayısı faktörü hesaplanmıştır. Bu çalışmada farklı debilerde deneyler yapılmıştır.

Üç farklı dalma boru çapına göre SolidWorks Flow Simulation da akış analizi yapılmıştır. Akış analizine göre kömür ve biyokütlenin (mısır sapı) kullanıldığı çalışmada dalma boru çapı arttıkça basınç düşüşü azalmıştır. İki numune arasındaki kıyaslamaya göre 450 m³/h debide kömür numunesi biyokütle (mısır sapı) numunesine göre daha yüksek basınç düşüşü göstermiştir. Debinin 374.85 m³/h, 299.7 m³/h ve 255 m³/h olduğu kömür ve biyokütle (mısır sapı) numuneler arasında basınç düşüşündeki azalma ve artma değişkenlik göstermiştir.

Üç farklı dalma boru çapında yapılan akış analizine göre 6 farklı büyüklükte (5, 10, 15, 20, 25 ve 30 µm) toz tutma verimliliği incelenmiştir. Akış analizine göre kömür ve biyokütle (mısır sapı) numunesinde, en iyi toz tutma verimliliği 88.9 mm dalma boru çapında 255 ve 374.85 m³/h debide sağlanmıştır. 114.3 mm dalma boru çapı ile yapılan çalışmada biyokütle (mısır sapı) kullanıldığında 299.7 m³/h, kömür kullanıldığında ise 374.85 m³/h debide en iyi verime ulaşılmıştır. 139.7 mm dalma boru çapı ile yapılan çalışmada ise biyokütle (mısır sapı) kullanıldığında en iyi toz tutma verimi 450 m³/h debide iken kömür numunesinde ise 374.85 m³/h debide en iyi toz tutma verimi elde edilmiştir.

Üç farklı dalma boru için analiz sonrasında deneysel çalışma yapılmıştır. Buna göre biyokütle (mısır sapı) ve kömürde dalma boru çapı arttıkça basınç düşüşü azalmaktadır. İki numune arasındaki farka göre 450 m³/h ve 255 m³/h olan debilerde biyokütlenin (mısır sapı) basınç düşümü kömürün basınç düşümüne göre yüksektir. 374.85 m³/h ve 299.7 m³/h olan debilerde biyokütle (mısır sapı) ve kömürün basınç düşümlerinde değişkenlik olduğu görülmüştür. Kömür numunesine göre, dört farklı debide yapılan deneysel çalışmada 450 m³/h ve 374.85 m³/h debide dalma boru çapı arttıkça verimde önce artma sonra azalma meydana gelmiştir. Sonuç olarak kömür numunesinde en iyi toz tutma verimliliği 374.85 m³/h debide, 114.3 mm dalma boru çapında sağlanmıştır. Biyokütle (mısır sapı) numunesine

göre, toz tutma verimliliği parametresinde değişkenlik gözlemlenmiştir. Sonuç olarak biyokütle (mısır sapı) numunesinde en iyi toz tutma verimliliğini 374.85 m³/h debide ve 88.9 mm dalma boru çapı sağlamıştır.

Sınıflandırma verimliliğine göre hem lazer cihazından hem de laboratuvar ortamında eleklerden geçirilen toz parçacıkların boyutlandırılması yapılmıştır. Deney öncesinde toz parçacıkların boyut analizi yapılmıştır. Elek analizine göre 5 farklı kademededen geçen kömür ve biyokütle (mısır sapı) numunelerinde en fazla bulunan tozun boyutu 75-500 µm arasındır.

Siklonda iç cidara çarpan toz partikülün giriş debisi basınç katsayısını etkilemektedir. Buna bağlı olarak yapılan hesaplama sonucunda dalma boru çapı arttıkça K faktöründe azalma meydana gelmiştir. Sayısal hesaplama, SolidWorks akış analizi ve deneysel çalışmaya göre dalma boru çapları arttıkça, K faktöründe azalma meydana gelmiştir.

Yapılan çalışmaya göre iki farklı numune kullanılmıştır. Üç farklı dalma boru çapına göre en yüksek debiden en düşük debiye kadar siklona hava gönderilmiştir. Böylelikle siklon performansını etkileyen dalma boru çapı tespit edilmiştir. Basınç düşüşü parametresine göre gerçekleştirilen akış analizi, deneysel çalışma ve K faktörü hesabına göre dalma boru çapı arttıkça basınç düşüşü azalmıştır. Toz tutma verimliliğine göre ise deneysel ve akış analizinde değişkenlik söz konudur. Genel olarak akış analizin de toz tutma verimliliği artsa da deneysel çalışmada debi ve dalma boru çapına göre değişkenlik olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Shepherd, C. B., & Lapple, C. E.** (1940). Flow pattern and pressure drop in cyclone dust collectors cyclone without intel vane. *Industrial & Engineering Chemistry*, 32(9), 1246-1248.
- [2] **Kilmer, V. J., & Alexander, L. T.** (1949). Methods of making mechanical analyses of soils. *Soil Science*, 68(1), 15-24.
- [3] **Schlesinger, R. B., Bohning, D. E., Chan, T. L., & Lippmann, M.** (1977). Particle deposition in a hollow cast of the human tracheobronchial tree. *Journal of Aerosol Science*, 8(6), 429-445.
- [4] **Dirgo, J., & Leith, D.** (1985). Cyclone collection efficiency: comparison of experimental results with theoretical predictions. *Aerosol science and technology*, 4(4).
- [5] **Bohnet, M.** (1995). Influence of the gas temperature on the separation efficiency of aerocyclones. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 34(3), 151-156.
- [6] **Griffiths, W. D., & Boysan, F.** (1996). Computational fluid dynamics (CFD) and empirical modelling of the performance of a number of cyclone samplers. *Journal of Aerosol Science*, 27(2), 281-304.
- [7] **Lidén, G., & Gudmundsson, A.** (1997). Semi-empirical modelling to generalise the dependence of cyclone collection efficiency on operating conditions and cyclone design. *Journal of aerosol science*, 28(5), 853-874.
- [8] **Zhu, Y., & Lee, K. W.** (1999). Experimental study on small cyclones operating at high flowrates. *Journal of Aerosol Science*, 30(10), 1303-1315.
- [9] **Avcı, A., & Karagoz, I.** (2000). A mathematical model for the determination of a cyclone performance. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 27(2), 263-272.
- [10] **Avcı, A., & Karagoz, I.** (2001). Theoretical investigation of pressure losses in cyclone separators. *International communications in heat and mass transfer*, 28(1), 107-117.
- [11] **Xiang, R., Park, S. H., & Lee, K. W.** (2001). Effects of cone dimension on cyclone performance. *Journal of Aerosol Science*, 32(4), 549-561.
- [12] **Avcı, A., & Erel, G. K.** (2003). Siklon separatörlerde uzunluğun verime etkisi ve optimizasyonu. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1), 101-109.
- [13] **Aydın, U.** (2004). Önisitıcı siklonlarda geometrinin partikül boyut dağılımına etkisi (Yüksek Lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [14] **Karagoz, I., & Avcı, A.** (2005). Modelling of the pressure drop in tangential inlet cyclone separators. *Aerosol Science and Technology*, 39(9), 857-865.
- [15] **Fıçıcı, F.** (2006). Siklonlarda dalma borusu çap değişiminin akış parametrelerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi (Yüksek Lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- [16] **Kıvanç, A.** (2006). Siklonlarda dip çıkış çapının akış parametrelerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi (Yüksek Lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [17] **Faulkner, W. B., Buser, M. D., Whitelock, D. P., & Shaw, B. W.** (2007). Effects of cyclone diameter on performance of 1D3D cyclones: collection efficiency. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 1053-1059.
- [18] **Srinivas, C. V., Venkatesan, R., Bhaskar Rao, D. V., & Hari Prasad, D.** (2007). Numerical simulation of Andhra severe cyclone (2003): Model sensitivity to the boundary layer and convection parameterization. In *Atmospheric and oceanic* (pp. 1465-1487). Birkhäuser Basel.
- [19] **Li, S. H., Zhang, H., Yang, H. R., Yang, S., Lu, J. F., & Yue, G. X.** (2007). Determining cyclone particle holdup by pressure drop for a CFB boiler. *Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry - Plant Equipment - Process Engineering - Bio*
- [20] **Martignoni, W. P., Bernardo, S., & Quintani, C. L.** (2007). Evaluation of cyclone geometry and its influence on performance parameters by computational fluid dynamics (CFD). *Brazilian journal of chemical engineering*, 24, 83-94.
- [21] **Kaya, F., & Karagoz, I.** (2008). Performance analysis of numerical schemes in highly swirling turbulent flows in cyclones. *Current science*, 1273-1278.
- [22] **Kaya, F., & Karagoz, I.** (2009). Numerical investigation of performance characteristics of a cyclone prolonged with a dipleg. *Chemical Engineering Journal*, 151(1-3), 39-45.
- [23] **Ji, Z., Xiong, Z., Wu, X., Chen, H., & Wu, H.** (2009). Experimental investigations on a cyclone separator performance at an extremely low particle concentration. *Powder Technology*, 191(3), 254-259.
- [24] **Bhasker, C.** (2010). Flow simulation in industrial cyclone separator. *Advances in Engineering software*, 41(2), 220-228.
- [25] **De Souza, J. S., Farias, F. P. M., Swarnakar, R., de Farias Neto, S. R., & de Lima, A. G. B.** (2011). Non-isothermal separation process of two-phase mixture water/ultra-viscous heavy oil by hydrocyclone. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 1(04), 271.
- [26] **Okur, T.** (2011). Siklon filtrelerde verim-basınç kaybı ve yükseklik arasındaki ilişkinin deneysel olarak araştırılması (Yüksek Lisans tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [27] **Şendoğan, Ö.** (2012). Yüksek verimli siklon tasarımı ve performansının deneysel incelenmesi (Yüksek Lisans tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [28] **Elsayed, K., & Lacor, C.** (2013). The effect of cyclone vortex finder dimensions on the flow pattern and performance using LES. *Computers & Fluids*, 71, 224-239.
- [29] **Karagoz, I., Avci, A., Surmen, A., & Sendogan, O.** (2013). Design and performance evaluation of a new cyclone separator. *Journal of Aerosol Science*, 59, 57-64.
- [30] **Funk, P. A. and Baker, K. D.** (2013). Engineering and ginning. *The Journal of Cotton Science*, 17, 40-51.

- [31] **El-Batsh, H. M.**, (2013). Improving Cyclone Performance by Proper Selection of the Exit Pipe, *Applied mathematical modelling*, 37(2013), 7, pp.5286-5303
- [32] **Demir U.**, (2011). Siklon Ayırıcılarda Performansın Tahmini ve Optimizasyonu (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa).
- [33] **Hosseini, S. M., et al.**, (2015). A CFD Simulation of the Parameters Affecting the Performance of Downhole De-Oiling Hydrocyclone. *Iranian Journal of Oil and Gas Science and Technology*, 4 (2015) 3, pp.77-93
- [34] **Brar, L. S., Sharma, R. P., & Elsayed, K.** (2015). The effect of the cyclone length on the performance of Stairmand high-efficiency cyclone. *Powder Technology*, 286, 668-677
- [35] **Hsiao, T. C., ve ark.**, (2015). Effects of the Geometric Configuration on Cyclone Performance, *Journal of Aerosol Science*, 86, pp.1-12
- [36] **Tan, F.** (2016). Siklonlarda iki fazlı ve girdaplı akışların parametrik incelenmesi ve siklon ayırıcıların geliştirilmesi (Yüksek Lisans tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [37] **Erol, H.** (2016). Siklon Çıkış Boru Çapının Siklon Verimliliğine Etkisinin Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi (Yüksek Lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [38] **Çalışkan, M. E.** (2017). Sanal Gövdeli Mini Bir Siklon Ayırıcısının Tasarlanması ve Deneysel İncelenmesi (Yüksek Lisans tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [39] **Caliskan, M. E., Karagoz, I., Avci, A., & Surmen, A.** (2019). Investigation into the effects of various parameters on the performance and classification potential of a cyclone classifier. *Powder Technology*, 356, 102-111.
- [40] **Karakaş, C.** (2020). Yüksek verimli farklı geometrideki mini siklonların performansının deneysel olarak incelenmesi (Yüksek Lisans tezi). Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [41] **Çelik, G.** (2020). Sanal gövdeli siklon ayırıcılarda gövde çapının siklon performansına etkisinin deneysel incelemesi (Master's thesis, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa).
- [42] **Caliskan, M. E., Karagoz, I., Avci, A., & Surmen, A.** (2019). An experimental investigation into the particle classification capability of a novel cyclone separator. *Separation and Purification Technology*, 209, 908-913.
- [43] **Fu, S., Zhou, F., Sun, G., Yuan, H., & Zhu, J.** (2021). Performance evaluation of industrial large-scale cyclone separator with novel vortex finder. *Advanced Powder Technology*, 32(3), 931-939.
- [44] **Uygur, N.** (2020). Yüksek Verimli Standart Siklon Performansının Sayısal Yöntemlerle Belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35 (3), 711-720.
- [45] **Kalafatoğlu, E., Örs, N., & Erencek, E.** (1994). Siklon Tasarımı ve Simülasyonu (TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Kimya Mühendisliği Araştırma Bölümü, Teknik Rapor No:t4-14, Bölüm Rapor No:260)

- [46] **Li, W., Chen, J.**, (2007). Experimental Research on Cyclone Performance at High Temperature. *Frontiers of Mechanical Engineering in China*, 2, 3, pp.310-317
- [47] **Bhaskar, K. U., et al.**, (2007). CFD Simulation and Experimental Validation Studies on Hydrocyclone, *Minerals Engineering*, 20, 1, pp.60-71
- [48] **Fıçıcı, F., & Ari, V.** (2008). Teğetsel Girişli Ters Akışlı Siklonlarda Dalma Borusu Çap Değişiminin Basınç Kaybına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 14(2).
- [49] **Swamee, P. K., Aggarwal, N., & Bhobhiya, K.** (2009). Optimum design of cyclone separator. *AIChE journal*, 55(9), 2279-2283.<
- [50] **Balgün, Y. E.** (2009). Elektrostatik Filtre Verimini Artırıcı Çözümlerin İncelenmesi (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [51] **Kurbanoglu, A.** (2017). Demir çelik sektöründe tav fırını atık ısısını ısı kaynağı olarak kullanan organik rankine çevriminin termodinamik analizi (Yüksek Lisans tezi). İskenderun Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- [52] **Özdemir, K.** (2011). Akışkan Yatak Kazanlı Bir Buhar Tesisinin Modellenmesi ve Kullanılabilir Enerji Analizi (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [53] **Yazıcı, M.** (2018). Dolaşımli bir akışkan yataklı kazanın enerji ve ekserji analizi (Master's thesis, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi).
- [54] **Özcan, O.** (2016). Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile reküperatör tasarımı ve ısı analizi (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [55] **Kurt, B.** (2016). Termik santrallerde elektrostatik filtre uygulamaları ve verim artırıcı yöntemler (Yüksek Lisans tezi). Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [56] **Düzcan, A.** (2014). Pülverize kömür santrallerinde kazan verimi ve verime etki eden parametrelerin incelenmesi. (Yüksek Lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [57] **Öztürk E.**, (2011). Akışkan Yataklı Bir Termik Santral İçin Buhar Kazanı Tasarımı (Yüksek Lisans tezi). Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [58] **Demir K.**, (2017). Baca Gazının Ekonomizere Giriş ve Çıkış Tasarımının Isı Geri Kazanımına Etkisinin İncelenmesi (Yüksek Lisans tezi). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [59] **İnternet:** Mimag-Samko Enerji Teknolojileri A.Ş. “Akışkan Yataklı Kazanlar” http://www.mimag-samko.com.tr/akiskan_yatakli_kazanlar.pdf (2011).
- [60] **Aygün H.**, (2011). Akışkan Yataklı Buhar Kazanının Yatak Sıcaklığının Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Tabanlı PID Kontrolör (PSO-PID) ile Kontrolü (Yüksek Lisans tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

- [61] **Wang, L.ze and YE,L.,**” Reducing Pressure Drop in Cyclones By a Stick” *Aerosol Science and Technology*,Volume 31,187-193.
- [62] **Leith, D. ve Mehta, D.,** (1973). Cyclone performance and desing. *Atmospheric Environment*, 7, 527-549.
- [63] **Çomaklı, K., Yüksel, B., Şahin, B., & Karagöz, Ş.** (2006). Kazan bacalarında meydana gelen enerji ve ekserji kayıpları. *Tesisat Mühendisliği Dergisi Sayı: 92*, s. 12-16, 2006.
- [64] **Oymak, O. ve Batu, A.,** “Akışkan Yataklı Kazanlar”, *MİMAG-SAMKO Enerji Teknolojileri A.Ş*
- [65] **Erkal, O.,** (2006). “Akışkan Yataklı Kazanlar”, *Teknik Yazı*, Haziran 2006, 80: 12- 13.
- [66] **Güngör, A.** Bazı Isı Değiştiricilerde Geri Kazanım Sistemleri, *Mühendis ve Makine Araştırma Makalesi*
- [67] **Abacıoğlu, M.** (2012). Mevcut Bir Termik Santralde Pülverize Kazanın Akışkan Yataklı Kazana Dönüşümünün İncelenmesi (Yüksek Lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [68] **Koç, S.** (2006). Linyitlerin Gazlaştırılmasına Minarel Madde İçeriğinin Etkisi (Yüksek Lisans tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [69] **Kopuz, D.** (2011). Kömür-biyokütle karışımlarının yanma davranımlarının incelenmesi (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [70] **Demirbas, A.** (2004). Combustion Characteristics of Different Biomass Fuels, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30, 219-230.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ayşegül BALIKCI

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölüm
- **Yüksek Lisans** : 2022, İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2019- Mimsan Endüstri Kazanları A.Ş.' de çalışıyor.

YÜKSEK LİSANS VEYA DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR

- **Balikci, A., Çeri, B. & Koca, T.** (2022). Kendinden Kanatlı (Finli) Borulu Ekonomizerlerin Termal Performansa Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (33), 400-406. DOI: 10.31590/ejosat.1051048
- **Balikci, A. & Koca, T.** (2022). Siklon Ayırıcılarda Dalma Boru Çapının Siklon Performansına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 473-478. DOI: 10.31590/ejosat.1133616
- **Balikci A.,** (2021). Analysis Of The Effect Of Party Size On Cyclone Performance In Cyclone Separations. *3rd International Congress On Applied Sciences*. (pp. 117-125) November 16-17.
- **Balikci A.,** (2022). Impact Of Output Pipe Diameter And Flow Speeds On Cylon Performance. *2. Baskent International Conference On Multidisciplinary Studies*. (pp. 222-232) February 24-25.
- **Balikci A.,** (2022). The Effect Of Diffuser Plate Plates That Provide Homogeneous Distribution Of Flue Gas In Elexostatic Filters. *3. International Cappadocia Scientific Research Congress*. (pp. 1555-1563) December 11-12.