



**SANAL GÖVDELİ MİNİ BİR SIKLON AYIRICININ  
TASARLANMASI VE DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Mehmet Erman  
ÇALIŞKAN**



T.C  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SANAL GÖVDELİ MİNİ BİR SİKLON AYIRICININ TASARLANMASI VE  
DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Mehmet Erman ÇALIŞKAN**

Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2017

## TEZ ONAYI

Mehmet Erman Çalışkan tarafından hazırlanan “Sanal Gövdeli Mini Bir Siklon Ayırıcının Tasarlanması Ve Deneysel İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. İrfan Karagöz

**Başkan :** Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ

İmza

Uludağ Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği  
Anabilim Dalı

**Üye :** Prof. Dr. Atakan AVCI

İmza

Uludağ Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği  
Anabilim Dalı

**Üye :** Prof. Dr. Yusuf Ali KARA

İmza

Bursa Teknik Üniversitesi  
Doğa Bilimleri, Mimarlık ve  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği  
Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Ali BAYRAM**

**Enstitü  
Müdürü**

10/1/2019

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

**27/12/2017**

**İmza**

**Mehmet Erman ÇALIŞKAN**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SANAL GÖVDELİ MİNİ BİR SINIFLAYICI SIKLON AYIRICININ TASARLANMASI VE DENEYSEL İNCELENMESİ

**MEHMET ERMAN ÇALIŞKAN**

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ

Temel olarak çok fazlı akışlarda yoğun fazın santrifüj kuvvetler etkisiyle ayrıştırılması için kullanılan siklon ayırıcılar farklı mühendislik dallarında yaygın uygulama alanı bulmaktadır. Siklon ayırıcılar enerji üretim santrallerinde, yakma sistemlerinde, kimya ve ilaç sanayindeki proseslerde, ısı ve kütle transferinin gerçekleştiği sistemlerde ön veya ana ayırıcı, örnek alıcı ve filtre olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada sanal gövdeli yeni bir mini siklon tasarımı ve 3 boyutlu yazıcı ile imalatı yapılmıştır. Performans deneyleri için bir deney sistemi tasarlanmıştır. Deney sistemi emmeli tarza çalıştırılmış, atmosferik havayı emmek için bir blower kullanılmıştır. Dijital bir debimetre ile hava debisi, siklon kayıplarını ölçmek için dijital bir fark basınçölçer kullanılmıştır. Deneyler kalsit tozu kullanılarak yapılmıştır. Kalsit tozu ile yapılan deneylerde siklona verilen ve tutulan tozların partikül dağılımları partikül analiz cihazı ile yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucu siklon toplam tutma verimi, siklon sınıflandırma performansı, fraksiyonel verimleri ve siklondaki basınç kayıpları elde edilerek debi ve değişik geometrik parametrelerin siklon performansına etkileri incelenmiştir. Çalışmada elde edilen deney sonuçlarına bakıldığında; toz siklon ayırıcıda, partikül boyutuna göre 2, 3 ve 4'e sınıflandırılabilenken, en belirgin ve tatmin edici sınıflandırma 3'lü sınıflandırmada olmuştur. Ayrıca, bir tozu istenilen partikül boyutunda sınıflandırabilmek için, deney düzeneğinde, uygun debi ve konfigürasyon ayarlamasının yapılması gerektiği de çıkarılan sonuçlardan birisidir.

**Anahtar Kelimeler:** Siklon ayırıcı, sanal gövdeli siklon, sınıflayıcı siklon, basınç kaybı, fraksiyonel verim, ayırma verimi

2017, ix + 69 sayfa.i

## ABSTRACT

MSc Thesis

### DESIGN AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF A VIRTUAL BODY MINI CLASSIFIER CYCLONE SEPARATOR

**MEHMET ERMAN ÇALIŞKAN**

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ

Cyclone separators which essentially separate dens phase by the action of centrifugal forces in two phase flows, find a wide application area in different engineering branches. Cyclone separators are used as main or pre-separator of particle in power plants, combustion systems, chemical and medical processes, systems related heat and mass transfer, etc. In this study, a new virtual body mini cyclone was designed and manufactured by using 3D printer. An experimental setup was constructed for its performance tests. The system was run in suction mode and the atmospheric air was sucked by using a blower. A digital flowmeter and a differential pressure sensor were used for measurement of the flow rate and pressure drop respectively. Calcite particles fed into incoming air was used in the experiments. Particle size distributions of the particles entering the cyclone and the collected particles were analyzed by using a particle analyzer. The particle collection efficiency, classification performance, fractional efficiencies and pressure losses were obtained from the test results. The effects of flow rate or inlet velocity and various geometrical parameters on the cyclone performances were also analyzed. Analysis of the results shows that the designed cyclone is capable of classification incoming particles into 2, 3 or 4 classes in the cyclone according to particle size. Classification performance of the configurations and influences of flow rate on this performance were also investigated. A distinct and satisfactory classification was obtained in the configuration with three collectors. The characteristics of the collected particles in the collectors depend on the flow rate, number of collectors and the space between the collectors. Therefore, it is seen that classification in desired characteristics can be achieved by using proper configuration for a certain flow rate.

**Key Words:** Cyclone separator, virtual body cyclone, cyclone classifier, pressure losses, fractional efficiency, separation efficiency

2017, ix + 69 pages.

## TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisansım ve çalışmalarım boyunca, engin bilgisi, tecrübesi ve her zaman örnek almaya çalıştığım eğitimci kişiliğiyle bana sabırla yardım edip, çalışmalarımı yürütüp, yönlendiren danışman hocam sayın Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ'e teşekkür ederim. Sonrasında deneyimi ve sahip olduğu bilgilerle çalışmalarım boyunca yardımını benden hiç esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Atakan Avcı'ya teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca her koşulda hayallerim için beni hep destekleyen, bu süreçte sabırla her zaman yanımda olup bana en çok inanan Başak HALATCI'ya teşekkür ederim. Gerçekleştirdiğim çalışmalarımda süreç boyunca bana değerli bilgileriyle yardımlarda bulunan ve destekleyen değerli ağabeyim Ali SAKİN'e de teşekkür ederim. Son olarak beni bu günlere kadar özveri ve azimle yetiştiren aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez süresince yapılan çalışmalar, TÜBİTAK tarafından desteklenen 114M591 no'lu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu kuruma da teşekkürlerimi iletirim.

Mehmet Erman ÇALIŞKAN

26/12/2017

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
1.GİRİŞ .....	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
3.MATERYAL VE YÖNTEM .....	8
3.1. Siklon 1 Tasarım .....	8
3.2. Siklon 2 Tasarım .....	10
3.3. Deney Düzenegi ve Parametreler .....	13
3.3.1 Siklon 1 Deney Parametreleri .....	16
3.3.2 Siklon 2 Deney Parametreleri .....	18
4.BULGULAR .....	20
4.1. Toplama Verimi .....	21
4.1.1. Siklon 1 Toplama Verimi Performansı .....	21
4.1.2. Siklon 2 Toplama Verimi Performansı .....	24
4.2. Sınıflandırma Verimi .....	27
4.2.1 Siklon 1 Sınıflandırma Performansı .....	30
4.2.2 Siklon 2 Sınıflandırma Performansı .....	35
4.3. Fraksiyonel Verimi .....	51
4.3.1 Siklon 1 Fraksiyonel Verimi .....	51
4.3.2 Siklon 2 Fraksiyonel Verimi .....	53
4.4. Basınç Kaybı .....	55
4.4.1 Siklon 1 Basınç Kayıpları .....	55
4.4.2 Siklon 2 Basınç Kayıpları .....	58
5.TARTIŞMA VE SONUÇ .....	63
KAYNAKLAR .....	67





## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$\mu\text{m}$	mikron
$\text{CaCO}_3$	Kalsiyum karbonat
$h_1$	Siklon 2 en üstteki tozluğun üzerindeki bilezik uzunluğu
$\rho$	Yoğunluk
$V_{\text{giriş}}$	Siklona giren havanın giriş hızı
$\Delta P$	Basınç farkı
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
mmss	Milimetre Su Sütünü
dk	Dakika
konf.	Konfigürasyon

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1. Siklon 1 başlıca ölçüleri .....	9
Şekil 3.2. Siklon 1 için toz toplayıcılarının ölçüleri .....	10
Şekil 3.3. Siklon 1 için bileziklerin ölçüleri .....	10
Şekil 3.4. Siklon 2 için başlıca ölçüler .....	11
Şekil 3.5. Siklon 2 için toz toplayıcı ölçüleri .....	12
Şekil 3.6. Siklon Ayırıcı Basit Deney Düzeneği Şeması .....	13
Şekil 3.7. Deney düzeneği elemanları: Proair 2.2 KW Blower (a), Testo 521 (a), Kalsit Tozu (c) .....	16
Şekil 3.8. Siklon 1 için kullanılan kalsit tozundan alınan numunenin partikül boyutu analizi	17
Şekil 3.9. Malvern Mastersizer 2000 .....	17
Şekil 3.10. Siklon 2 için kullanılan kalsit tozundan alınan numunenin partikül boyutu analizi .....	19
Şekil 4.1. Siklon 1 debiye bağlı olarak 3 konfigürasyonda toplama verimi değişimi.....	22
Şekil 4.2. Siklon 2 için boş haline ait debiye bağlı toplama verimi değişimi .....	25
Şekil 4.3. Siklon 2 için farklı konfigürasyonlara ait debiye göre toplama verimi değişimi.....	26
Şekil 4.4. Siklon 1 için kullanılan kalsit tozunun içerisinde barındırdığı toz partikülleri .....	28
Şekil 4.5. Siklon 2 için kullanılan kalsit tozunun içerisinde barındırdığı toz partikülleri.....	29
Şekil 4.6. Siklon 1 için sınıflandırma performansının incelenmesi için oluşturulan konfigürasyonlar .....	30
Şekil 4.7. Tablo 3.3'deki 8 m <sup>3</sup> /h için toz toplayıcılardaki tozların partikül analizleri .....	34
Şekil 4.8. Konf. 1.1 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi .....	41
Şekil 4.9. Konf. 1.2 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi .....	42
Şekil 4.10. Konf. 1.3 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi.....	43
Şekil 4.11. Konf. 1.4 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi.....	44

Şekil 4.12. Konf. 2.1 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi .....	45
Şekil 4.13. Konf. 2.2 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi .....	46
Şekil 4.14. Konf. 2.3 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi .....	47
Şekil 4.15. Debi ve konfigürasyon değişimine bağlı olarak en üstteki tozlukta toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi .....	50
Şekil 4.16. Siklon 1 için 4 ve 8 m <sup>3</sup> /h debide fraksiyonel verim eğrileri .....	52
Şekil 4.17. Siklon 2 için 14 ve 28 m <sup>3</sup> /h debide fraksiyonel verim eğrileri .....	54
Şekil 4.18. Siklon 1 için 3 konfigürasyon için debi değişimine bağlı olarak basınç kaybı değişimi .....	56
Şekil 4.19. Siklon 1 için 3 konfigürasyon için debi değişimine bağlı olarak K değeri değişimi .....	57
Şekil 4.20. Siklon 2 için farklı konfigürasyonlarda basınç kaybının incelenmesi .....	59
Şekil 4.21. Siklon 2 için farklı konfigürasyonlarda K değerinin incelenmesi .....	61

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Kalsit Tozunun Özellikleri.....	15
Çizelge 4.1. Siklon 1 için 10 m <sup>3</sup> /h debide konfigürasyona bağlı toplama verimi değişimi ....	24
Çizelge 4.2. Siklon 1 için farklı konfigürasyonlara göre yapılmış deneylerin sonuçları .....	31
Çizelge 4.3. Siklon 1 için sabit konfigürasyonda debi değişimine bağlı olarak sınıflandırma	33
Çizelge 4.4. Siklon 2 deneylerinin 1.kismina kullanılan konfigürasyonlar .....	36
Çizelge 4.5. Debi ve konfigürasyon değişikline bağlı olarak Siklon 2 deneylerinin 1.kismina ait sonuçlar .....	37
Çizelge 4.6. Siklon 2 deneylerinin 2.kismina kullanılan konfigürasyonlar .....	38
Çizelge 3.7. Debi ve konfigürasyon değişikline bağlı olarak Siklon 2 deneylerinin 2.kismina ait sonuçlar .....	39

## 1.GİRİŞ

Temel olarak çok fazlı akışlarda daha yoğun olan fazın diğer fazdan ayrıştırılmasını sağlayan siklon ayırıcılar, yaklaşık 200 yılı aşkın süredir farklı mühendislik alanlarında kullanılmaktadır. Özellikle günümüzde, kimya, tekstil, tıp endüstrisi, elektrikli süpürge endüstrisi, numune ayırma ve geri dönüşüm gibi alanlarda kendine yer bulmaktadır. Siklonların bu kadar geniş alanlarda kullanılabilmesinin sebepleri; basit bir yapıya sahip olması, düşük maliyetle üretim, bakım masraflarının az olması ve yüksek sıcaklık ve yüksek basınç gibi zor şartlarda çalışabilmesidir. Ayrıca siklon ayırıcılarının herhangi bir hareketli parçası olmadığından dolayı farklı malzemelerden üretilirler ve bakım ve onarımları da daha kolaydır. Bu da siklon ayırıcılar için geniş seçenekler ve çeşitler sunulmasına sebep olmaktadır. Kullanım yerine ve amacına göre siklon ayırıcıları farklı malzemelerle üretilmiş olarak bulmak mümkündür.

Siklon ayırıcılar, üretimlerinde kullanılan malzemelere göre çeşitlendirilebilir. Aynı zamanda diğer unsurlara bağlı olarak çeşitlerine bakacak olursak; akışkanı vakumlaması ya da basmasına göre emmeli ya da basmalı olarak ayrılabilir. Çok fazlı akışkanın siklona giriş şekline aksel ya da teğetsel olarak da ayrılabilir. Bu çalışmada kullanılan siklonlar plastik malzemeli, akışkanı vakumlayan ve daha yaygın kullanılan teğetsel siklonlardır. Teğetsel siklonların çalışma prensibi ise temek olarak şu şekilde açıklanabilir. Çok fazlı akışkanlar siklon ayırıcıların içerisine teğetsel olarak girmektedirler. Belli bir teğetsel hızda giren bu çok fazlı akışa siklonun sahip olduğu konstrüksiyon tarafından helisel bir akış formu verilir. Böylece çok fazlı akışın içerisinde bulunan daha yoğun olan parçacıklar, santrifüj kuvvetler nedeniyle siklonun cidarına doğru savrulur ve ataletlerini kaybederek siklon ayırıcının alt tarafında toplanırlar. Daha az yoğun olan gaz ya da sıvı akışkan ise siklon ayırıcının ortasında bulunan tahliye borusu ya da çıkış borusundan vakumlanarak dışarı verilir. Böylece çok fazlı akışkanın içerisinde bulunan daha yoğun faz ayrıştırılırken daha az yoğun olan faz ise yoluna devam eder. Özellikle siklon ayırıcıların büyük partikülleri tutma performansının yüksek olması nedeniyle filtrelerin önüne koyularak filtrelerin toz tutma yükünü hafifletilmesi sağlanır. Yine inşaat

sektöründe kumlu suyu sudan ayırıştırmak için de bu siklon ayırıştırmacılar kullanılarak bir ayırıştırma gerçekteşirilir.

Siklon ayırıcılarmın içerisine belli kademelerde toz toplayıcılar konulursa, daha yoğun olan fazın partikül boyutuna göre sınıflandırılması da sağlanmış olunur. Bu da bize siklon ayırıcı için başka bir performans parametresi olarak çıkar ve bu sınıflandırmanın deneysel incelemelerle optimizasyonu gerçekteşirilebilir. Siklon ayırıcılarmının bu sınıflandırma özelliği birçok alanda da kendine yer bulabilmektedir. Özellikle numune ayırma endüstrisinde, herhangi bir toz numunenin partikül boyutuna göre sınıflandırılması sağlanabilir.

Siklon ayırıcılarmın performansını belirleyen birden fazla parametre mevcuttur. Bunlar; siklon ayırıcılarmının toplam toplama verimi, basınç kaybı fraksiyonel verimleri ve bu çalışmada sınıflandırma da gerçekteşirildiği için sınıflandırma verimi olarak belirtilebilir. Bu parametreler göz önüne alınarak siklon ayırıcılarmın ile ilgili birçok çalışma yapılmışır. Bu çalışmalarda farklı siklon boyutları, farklı siklon giriş kesitleri, farklı siklon tipleri, değişik giriş açıları, faz içerisinde farklı konsantrasyonlarda partiküller, farklı gaz ya da sıvı giriş debisi, farklı ortam şartları ve deney içerisinde farklı konfigürasyonlar denenmişir.

## 2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Shepherd ve Lapple (1939) yaptıkları deneysel çalışmalarda; tozlu hava ile siklon ayırıcıda ayırıştırma gerçekleştirmişlerdir. Daha çok siklonun basınç kaybı ve toz tutma verimi üzerinde durmuşlardır ve bunlara bağlı deneysel ifadeler geliştirmişlerdir.

Kilmer ve Alexander (1949) da toplama verimliliği ve basınç kaybı üzerinde durmuşlardır. Bu parametreler üzerinde çeşitli denklemler araştırıp bunları geliştirmişlerdir.

Stairmand (1951) kendi adını taşıyan bir siklon modeli geliştirdi. Bu siklon modeli ile yaptığı deneylerdeki amacı uygun siklon çapını seçmekti. Deneysel inceleme boyunca siklon çapıyla ilgili ampirik ifadeler geliştirmiştir.

Leith ve Licht (1972) partikül toplama verimini geliştirmek için teorik olarak çalışmışlardır. Bu çalışmalarında, siklon ayırıcıda partikül toplama veriminin hesaplanabileceği bir teori de geliştirmişlerdir. Bu teoriyi geliştirirken sürüklenme katsayılarını da dikkate almışlardır. Ayrıca basınç kayıplarını da ifade edebilecek verim modelleri geliştirmişlerdir.

Dirgo ve Leith (1985) Stairmand tipi siklon ile yaptıkları çalışmada, siklonun toplama verimini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Deneylerinde 1-7 µm partikül boyutlarında ve 5-25 m/s giriş hızı aralığında gerçekleştirmişlerdir. Bu deneylerin sonucunda teğetsel girişli siklon ayırıcılarda daha fazla verim elde ettiklerini görmüşlerdir.



Mihalski ve ark. (1992) siklonun toplama verimliliğini geliştirmek açısından, çok fazlı akışın siklona giriş hızını araştırmışlardır. Deneysel incelemelerinde siklon ayırıcının toplama veriminin giriş hızına büyük ölçüde bağlı olduğunu fark etmişlerdir.

Ramachandran ve ark. (1994) siklonlar için bir matematiksel model kurmuşlardır. Bu siklon modelini yakıt olarak petrol kullanan tesisler için kullanmışlardır. Minimum basınç kaybı için en yüksek toplama verimini elde ettikleri bir model geliştirmeyi başarmışlardır.

Fei (1996) basınç kaybı ve siklon giriş geometrisi arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Üç değişik siklon giriş geometrisi kullanmıştır. Bu farklı giriş geometrilerinde yaptığı deneyde, siklon giriş geometrisinin alanı arttıkça basınç kaybının da buna paralel olarak arttığını görmüştür.

Baker ve Hughs (1998) da siklonun giriş kesit alanını değiştirerek deneysel inceleme yapmışlardır. Onlar da bu çalışmalarında siklon ayırıcının toplama veriminin giriş kesit geometrisiyle nasıl değiştiğinin farkına varmışlardır.

Zhu ve Lee (1999) mini siklon ayırıcılarla yaptıkları çalışmalarda toplama verimliliği ve basınç kayıplarını incelemişlerdir. Toplam yedi farklı siklonla yapılan deneylerde; ortalama toz partikül çapı boyutu olarak 0,026-3,6 µm arasında, farklı çıkış borusu uzunluğu ve farklı silindir uzunlukları kullanmışlardır. Yaptıkları deneylerin sonucunda; yüksek debilere çıkıldıkça ve silindirin uzunluğu arttıkça siklonun toplama veriminin arttığını, çıkış borusunun kısılmasıyla da basınç kaybının arttığının farkına varmışlardır.

Avcı ve Karagöz (2000) çok fazlı akışlar için bir siklon modeli geliştirmişlerdir. Bu modellerle siklon geometrisi, yüzey pürüzlülüğü ve partikül konsantrasyonu gibi parametreleri incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçların deneysel verilerle uygun olduğunu görmüşlerdir ve modelin kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca siklon yüksekliğinin de bir noktaya kadar toplama veriminin arttığını belirtmişlerdir.

Xiang ve ark. (2001) debinin siklon ayırıcının verimini nasıl etkilediğine dair incelemelerde bulunmuşlardır. Deneysel sonuçlarının uygunluğunu teorik yöntemlerle karşılaştırıp uygunluğunu test etmişlerdir. Debinin artışı siklonun toplama veriminin artırdığını görmüşlerdir. Ayrıca siklonun konik kısmının da etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneysel sonuçlarda konik kısmın hacminin azalmasının toplama verimini artırdığını görmüşlerdir.

Avcı ve Karagöz (2005) gaz içeren çok fazlı akışlarla yaptıkları çalışmalarda akış ve geometrik parametrelerin siklonun verimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuçları literatürdeki yarı ampirik ifadelerle karşılaştırmışlardır ve matematiksel modelin teğetsel girişli siklonlarda başarılı sonuçlar verdiğini bulmuşlardır. Yüzey sürtünmesi, vorteks uzunluğu ve akış rejimi gibi parametrelerin siklonun toplama veriminde önemli roller oynadığının farkına varmışlardır.

Faulkner ve ark. (2007) yaptığı çalışmada siklon çapının değişiminin siklon toplama veriminin üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu iki parametrenin ters orantılı olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca yine yaptıkları bir çalışmada; siklon boyutunu artırmışlar ama buna bağlı olarak kritik çapın değişmediğini gözlemlemişlerdir.

Ji ve ark. (2009) 15 cm çaplı bir siklon tasarlamışlardır. Bu siklonla yaptıkları deneylerde, havada bulunan 0,3-40 mikron büyüklüğündeki tozları toplamayı hedeflemişlerdir. Bu deneylerde siklon giriş hızının azalmasıyla birlikte toplam verimin de azaldığının farkına varmışlardır.

Kaya ve Karagöz (2009) yaptıkları nümerik çalışmada siklon uzunluğunu 40 mm'ye kadar değiştirip siklon ayırıcının toplama verimini değişimini incelemişlerdir. 40 mm'ye kadar siklon verimi artarken 40 mm'den sonra siklon veriminin değişmediği hatta düşük debilerde siklon ayırıcı toplama veriminin azaldığını görmüşlerdir.

Elsayed ve Lacor (2010) çalışmalarında Stairmand tipi bir siklon kullanmışlardır. Bu çalışmalarında minimum basınç kaybı sağlayacak siklon boyut oranlarını araştırmışlardır. Buldukları bu siklon boyut oranlarıyla toplama verimden bir kayıp sağlamadan basınç kaybını azaltmanın yollarını bulmuşlardır.

Elsayed ve Lacor (2011) basınç kaybı ve verim değerlerini kullanarak, siklon geometrisini optimize etmeye yönelik çalışmışlardır. Çalışmalarında; siklon giriş ve çıkış kesiti ve çıkış kanalının en önemli parametreleri olduğunun farkına varmışlardır.

Bingtao Zhao (2012) siklonun ayırma verimi ve fraksiyonel veriminin tahmini için matematiksel modellenmiş bir siklon geliştirdiler. Bu parametrelerin tahmini için çok fazlı akış içerisindeki parçacıkların siklonda kalış zamanlarını esas alan siklon geometrisine bağlı bir model oluşturdular.

Karagöz ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada siklon ayırıcıların performansını nümerik, deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Siklon ayırıcısının toplama veriminin optimizasyonu üzerinde durup bunun için yeni bir siklon tasarımı önermişlerdir.

Liu M. ve ark. (2015) hızlı ayırıcı bir gaz siklon üzerinde deneysel ve nümerik çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada gaz giriş debisinin artmasıyla siklonun içerisinde küçük parçacıkların toplama veriminin düştüğü görülmüştür. Genelde yapılan çalışmalarda debi ile yani giriş hızı artışı ile toplama veriminin arttığı gözlenirken, küçük partiküllerde verimin aksine düştüğünü fark etmişlerdir.

Funk. P (2015) yaptığı çalışmada klasik siklonlarda basınç kayıplarını azaltmanın yollarını araştırmıştır. Bunun için gaz çıkış kanalı üzerine farklı difüzörler koyup bunun etkilerini incelemiştir. Bu difüzörlerle basınç kaybında en çok %12'ye kadar azalmalar sağlamıştır.

Oshitari ve ark (2017) 600, 800 ve 900 L/dk debilerinde, siklon ayırıcının sınıflandırma performansını incelemişlerdir. Sınıflandırma açısından optimum karakteristik değerlerini belirlemeye çalıştıkları bu çalışmalarında, siklon ayırıcının partikül boyutuna bağlı sınıflandırma performansını da bu 3 debide incelemişlerdir.

Bu çalışmada ise sanal gövdeli mini bir siklon ayırıcı tasarlanarak, bu siklon ayırıcının yüksek toplama verimi ile partikülleri tutabilmesi ve aynı zamanda bu partikülleri boyutlarına göre sınıflandırabilmesi istenmektedir. Bu istenen performanslar farklı debilerde ve konfigürasyonlarda yapılan deneysel incelemelerle araştırılmıştır.



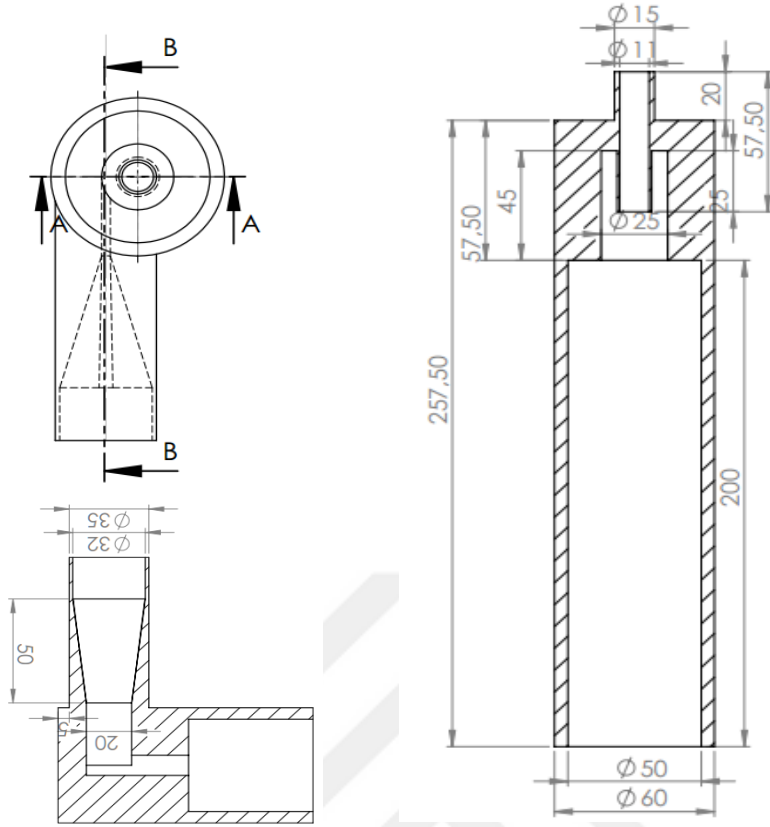
### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

Deneyler, aynı malzeme özelliklerine, aynı siklon tipine, fakat farklı ölçülere sahip iki siklon ile yapılmıştır. Karagöz ve ark.(2013) tarafından geliştirilen siklon tipi esas alınarak tasarlanan bu siklonlarda konik gövde yerine toz toplayıcıların yerleştirileceği geniş bir gövde kullanılmıştır. Bu tasarlanan siklon ayırıcılar 3 boyutlu bilgisayar programında modellenmiş ve 3 boyutlu yazıcılarla üretimleri gerçekleştirilmiştir.

Malzeme olarak özkütlesi  $1,4 \text{ gr/cm}^3$  olan kestamid malzemesinden üretilmiştir. Kestamid, döküm yoluyla üretilen bir polyamid çeşididir. Sıkı bir dokuya ve sertliğe sahiptir. Üretimde kullanıldığı ürüne sert, rijit ve kaygan bir yüzey sağlar. Darbeye, aşınmaya ve bükülmeye karşı dayanıklıdır. Ayrıca metale göre daha düşük bir yoğunluğa sahip olduğundan diğer metal siklonlara göre daha hafif ve kullanılabilir. Bu sahip olduğu özelliklerden dolayı siklon ayırıcıların üretiminde kestamid malzemesi kullanılarak; hafif, dayanıklı, yüzey pürüzlülüğü düşük, rijit ayırıcılar elde edilmeye çalışılmıştır. Üstelik siklon ayırıcıların mini boyutlarda olması nedeniyle de, kestamid malzemesi bu siklonları daha işlevsel hale getirmiştir.

#### 3.1. Siklon 1 Tasarım

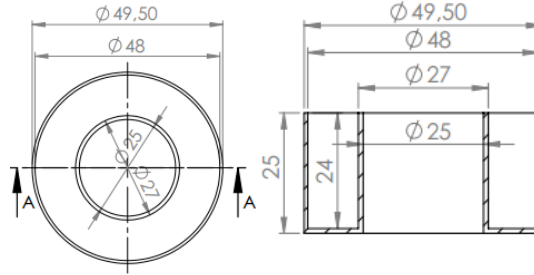
Deneylerin ilk bölümünde kullanılan Siklon 1'in başlıca ölçüleriyle birlikte teknik resmi Şekil 3.1'de verilmiştir. Bu siklon ayırıcının giriş kesiti  $3 \times 20 \text{ mm}$  ölçülerinde bir dikdörtgen olacak şekilde tasarlanmıştır. Toz hava karışımı, siklonun girişinde  $32 \text{ mm}$ 'lik dairesel bir kesitten girerek, daralan bir yapı sayesinde bu dikdörtgen alana ulaşmaktadır. Hava ve kalsit tozunun tam anlamıyla karışması bu alanda gerçekleşmektedir. Tasarımda klasik siklonlarda olan koni yerine geniş bir gövde kullanılmıştır. Bu tasarımla, siklonda oluşan girdabın bu geniş gövde içinde sanal bir cidar varmış gibi aşağıya doğru hareket etmesi amaçlanmıştır.



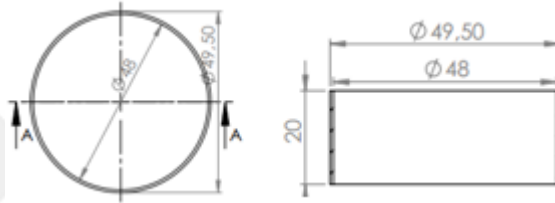
**Şekil 3.1.** Siklon 1 başlıca ölçüleri

Deneyleerde siklon ayırıcıların başka bir performans parametresi olan sınıflandırma performansını incelemek üzere, siklon ayırıcının içerisine belli kademelerde konulmak üzere siklonla aynı malzemeden toz toplayıcılar ve bilezikler üretilmiştir.(Şekil 3.2 , Şekil 3.3) Bu bilezikler ve toz toplayıcılarla siklon ayırıcı içerisinde farklı konfigürasyonlar oluşturularak siklonun belli kademelerinde değişik partikül çaplarında tozları sınıflandırmak amaçlanmıştır. Konfigürasyonlar ise toz toplayıcıların arasına sanal gövde boşluğu oluşturmak üzere konulan bilezikler vasıtasıyla oluşturulmuştur. Bir ve ya birden

fazla bileziklerin toz toplayıcıların arasına konulması, toz toplayıcılar arası istenilen sanal boşluk mesafesine bağlı olarak değişmiştir.



Şekil 3.2. Siklon 1 için toz toplayıcılarının ölçüleri

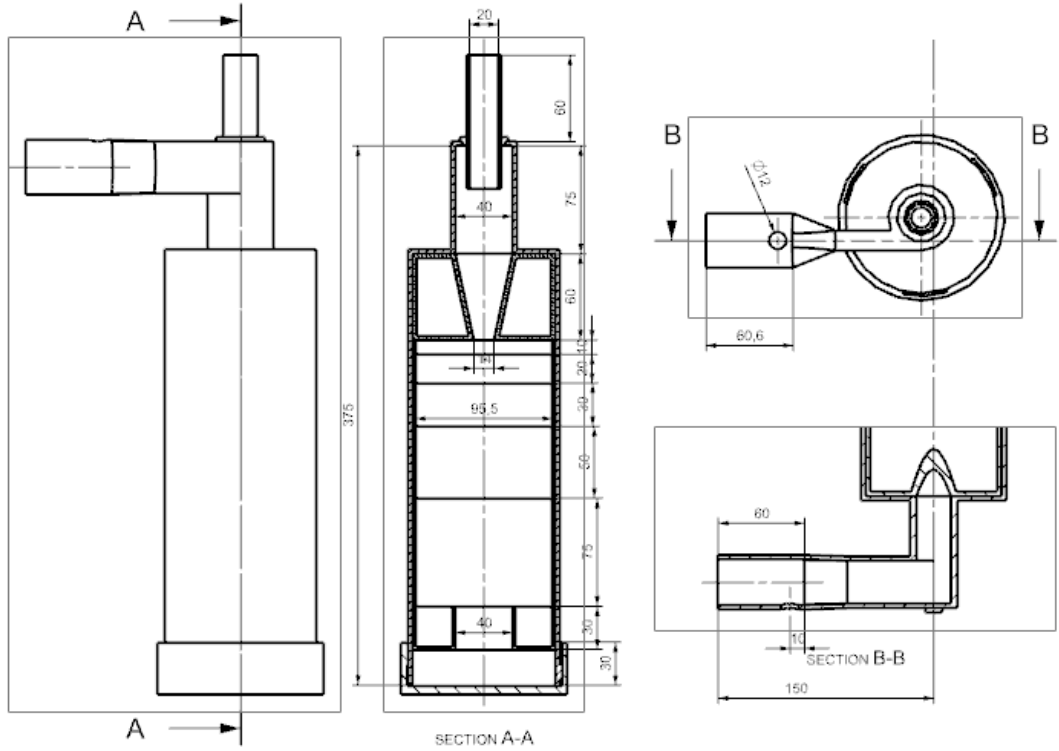


Şekil 3.3. Siklon 1 için bileziklerin ölçüleri

Siklon 1 ile yapılan deneylerde, siklon ayırıcının içerisinde oluşturulan konfigürasyonlar, bir dizi deneysel incelemeden sonra belirlenmiş olup temel amaç olarak yüksek toplama verimi ve sınıflandırma performansı göz önünde bulundurulmuştur. Bu veriler ışığında Siklon 1 için 3 tane farklı konfigürasyonda ve değişik debilerde deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu konfigürasyonlara bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

### 3.2. Siklon 2 Tasarım

Siklon 1 ile yapılan deneylerden, bu tasarımdan kaynaklanan veriler ışığında, yeni bir siklon tasarımı yapılmıştır. Bu yapılan yeni siklon olan Siklon 2 'de giriş kesiti, siklonun uzunluğu ve siklon ayırıcının çapı artırılmıştır. Bu yeni siklon olan Siklon 2'ye dair ölçüler ise Şekil 3.4'te verilmiştir.

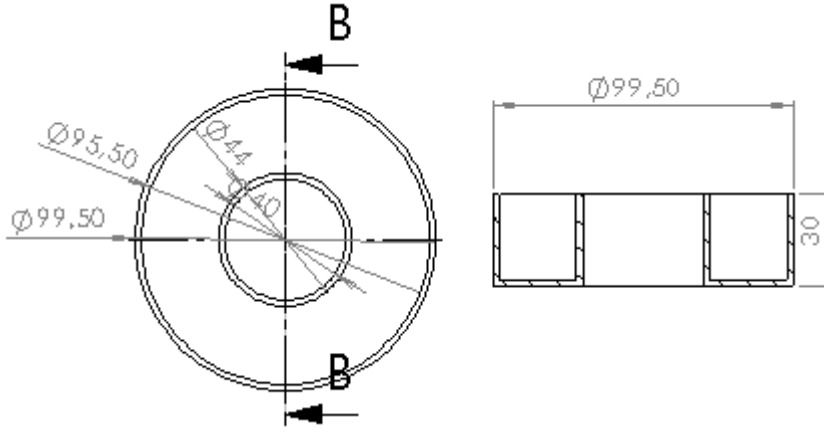


**Şekil 3.4.** Siklon 2 için başlıca ölçüler

Bu tasarımda siklon giriş kesiti 8\*30 mm'ye kadar genişletilmiştir. Siklonun sanal gövde uzunluğu ise 300 mm'ye çıkarılmıştır. Ayrıca tasarımda siklon giriş kesitine giden 150 mm'lik bir giriş yolu yapılmıştır. Bu giriş kısmında hava ile tozun karışacağı bölüm için 12 mm'lik bir toz verme deliği açılmıştır. Giriş yolunda toz ile hava karışmadan önce havanın akışının gelişmesi için hava girişinden, havanın toz ile karışacağı kısım arasında 60 mm'lik bir mesafe bırakılmıştır. Böylece hava ile tozun daha efektif bir şekilde karışım sabit konsantrasyonda siklon giriş kesitinden girmesi sağlanmıştır. Ayrıca havanın siklonu terk ettiği tahliye borusu olan çıkış borusunun iç çapı da 27 mm yapılmıştır.

Siklon 1 'de olduğu gibi bu siklonda da toplama veriminin yanı sıra tozları partikül boyutlarına göre sınıflandırmak için toz toplayıcılar ve bilezikler tasarlanmıştır. 3 tane toz toplayıcı ve farklı uzunluklarda 10 tane bileziğin ölçüleri Şekil. 3.5.'te verilmiştir.





**Şekil 3.5.** Siklon 2 için toz toplayıcı ölçüleri

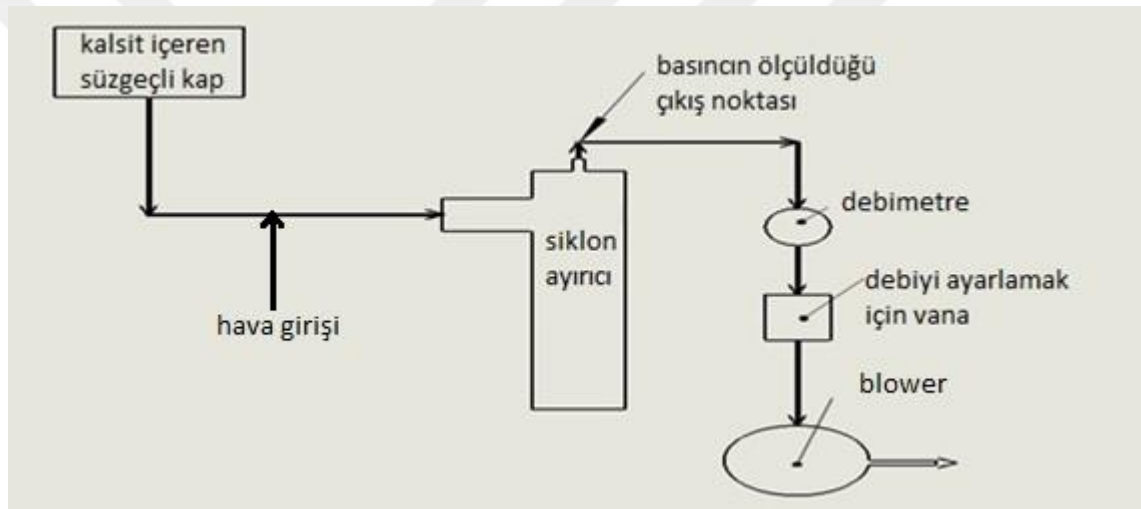
Şekil 3.5.'te gösterilen bu toz toplayıcıları, siklon ayırıcının içerisinde konumlandırmak için boyutları; 10, 20, 30, 50, 75 mm olan bilezikler kullanılıp toz toplayıcılar arasında sanal gövde boşluğu oluşturulmuştur. Toplamda 10 tane bulunan bu bilezikler, toz toplayıcıların arasında ne kadar boşluk olması isteniyorsa yeri geldiğinde üst üste konularak da kullanılmıştır.

Bilezikler sayesinde siklonun içerisinde oluşturulan boşluklar sayesinde her bir kademede tozların santirifüj kuvvetler vasıtasıyla cidarlara savrulup toz toplayıcısına düşmüştür. Siklonun ortasındaki vortex akışta kalan partiküller ise toz toplayıcının ortasındaki boşluktan aşağıya doğru geçerek, diğer bir toz toplayıcının bulunduğu diğer bir kısma geçerek işlemleri tekrarlar.

Konfigürasyonları oluştururken toz toplayıcılar arasındaki bırakılacak mesafeler için belli toz toplayıcılar arasında sabit bir mesafe alınıp, ona göre diğer bilezik boyutları değiştirilerek belli bir sistem oluşturulmuştur. Bu sistem için ortadaki ve en altın üstünde bulunan mesafeler sabit alınıp bunlara göre konfigürasyonlar oluşturulmuştur. Bu sistemdeki amaç tozları farklı partikül çaplarında toz toplayıcıların içerisinde birikmesini sağlayıp yüksek bir toplama verimi elde etmektir.

### 3.3. Deney Düzenegi ve Parametreler

Deneyler normal şartlar altında (oda sıcaklığında ve atmosfer basıncında) laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin hatasız olabilmesi için deney düzeneginin kurulduğu laboratuvar ortamında, nemden, yüksek sıcaklıktan ve değişken hava akımlarından uzak durulmuştur. Bu deney düzeneginin basit şeması Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu düzenek oluşturulurken kullanılan boru, bağlantı elamanları vana vb. gibi elemanlar sızdırmaz olacak şekilde iyileştirilmiştir.



Şekil 3.6. Siklon Ayırıcı Basit Deney Düzenegi Şeması

Her iki siklon (Siklon 1, Siklon 2) için de Şekil.3.6'da gösterilen deney şeması kullanılmıştır. Hava-toz karışımı şemada da gösterildiği üzere ok yönünde hareket etmektedir. Bu yapılan vakumlama için gerekli olan hava basıncı 'Proair 2.2 KW' blower ile sağlanmıştır. Blower giriş kısmına bağlı olan bir boruya bir debi ölçer ve bir vana bağlanmıştır. Bu debi ölçere bağlı borunun ise siklonun çıkış kısmına bağlantısı yapılmıştır. Bu sayede, debi ölçerle siklonun içinden geçen debi  $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$  hassasiyetle ölçülmüş ve istenilen debi küresel vana vasıtasıyla ayarlanmıştır. Böylece siklonlara giren tozlu hava debisi kolaylıkla istenilen değerlere ayarlanabilmiştir.

Siklon ayırıcının çıkış borusuna bağlı olan hortumun üzerinde, siklon çıkışından yaklaşık 100 mm uzağında bir delik açılmıştır. Bu delikten alınan bir hortum vasıtasıyla siklon çıkışı ve dış ortam arasındaki basınç farkı ölçülmüştür. Resim 3.7 (b)' de görülen 'Testo 521 basınç farkı ölçer' cihazın 2 farklı hava giriş deliği vardır. Bu cihaz bu iki deliğe gelen herhangi iki noktadan basma ve ya vakumlama havası sayesinde iki noktanın arasındaki statik basınç farkını vermektedir. Dolayısıyla, siklon çıkışından alınan boru Testo cihazının bir deliğine bağlanırken, diğer delik dış ortama açık olacak şekilde açık bırakıldığından dolayı, siklon ayırıcı çıkış noktasındaki basınç kaybı ölçülebilmektedir. Bu basınç farkı cihazın ayrıntılı ayar menüsü sayesinde değişik birimlerde cihaz ekranında görülebilir. Yapılan deneylerde basınç kaybı birimi olarak 'mmss' alınmıştır ve ölçümler 1 mmss hassasiyetinde gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde toz hava karışımını oluşturacak tozlar deney başlamadan önce süzgeçli bir kaba belli miktarda alınır. Bu kaba titreşim veren bir cihaz bağlanmıştır. Bu titreşim veren cihaz sayesinde tozların sabit konsantrasyonda siklon ayırıcıya düzgün bir şekilde girmesi amaçlanmıştır. Titreşim cihazı çalıştırıldığı anda, süzgeçli kabın haznesinde bulunan tozlar hareket ederek süzgeçten geçiyorlar. Böylece topaklanan ya da nemlenen tozlar birbirinden ayrılıp, sahip olduğu partikül boyutunda hava ile karışarak siklon ayırıcının giriş kesitinden girmiştir. Bunla, sabit konsantrasyonda toz beslemesi gerçekleştirilirken aynı zamanda gerçek ortam şartlarında bulunan tozların davranışlarını da taklit etmek amaçlanmıştır. Deney boyunca otomatik olarak verilen toz-hava karışımı, deney sonuçlarının daha hatasız bir şekilde elde edilmesine yardımcı olmuştur.

Deneylerin her biri, iki siklon için de, 25-35 dakika arasında gerçekleştirilmiştir. Bu süre siklonun performans değerleri olan toplama verimini ve sınıflandırma performansının kararlı sonuçlar verdiği minimum sürelerdir. Bu sürenin altında yapılan deneylerde siklonun performansı farklı sonuçlar verdiği için bu sürelerin altına düşmemesine özen gösterilmiştir. Sadece debi değerine bağlı olarak; yüksek debilerde daha uzun sürede deney gerçekleştirilirken, daha düşük debilerde daha kısa sürelerde gerçekleştirilmiştir.

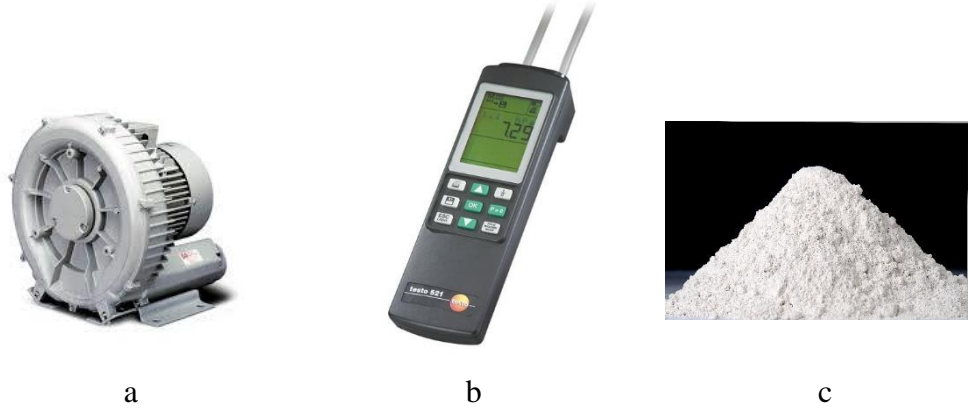
Deneyleerde siklon ayırıcıya giren toz-hava karışımı içerisinde bulunan toz olarak özkütlesi 2,7 gr/cm<sup>3</sup> olan kalsit tozu (CaCO<sub>3</sub>) kullanılmıştır. Kalsiyum Karbonat olarak isimlendirilen bu kalsit mineralinin özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Kalsit Tozunun Özellikleri

Bileşeni	CaCO <sub>3</sub>
Özkütlesi	2,7 gr/cm <sup>3</sup>
Moleküler Ağırlığı	100,08
PH	8-9 (25 °C)
Kristal Sistemi	Hegzagonal
Sertlik	3
Erime Noktası	1340 °C
Çözünürlük (g/L)	0,014 (20 °C, suda)

Kalsit, doğada bol bulunan minerallerin başında gelir. Karbonatlı sedimanter kayaların (kireçtaşları) ve metamorfik kayaların (mermerler) ana bileşenidir. Birçok cevherleşmenin gang minerali olan kalsit, hidrotermal damarların, karbonatitlerin sık rastlanan minerallerindendir. İkincil olarak, granitlerdeki piroksen ve feldspatların bozunmasıyla oluşur. Travertenlerin, sarkıt ve dikitlerin ana bileşeni olarak bulunur. Kağıt sektörü, boya sektörü, plastik sektörü (pvc boru, profil, kablo üretimi), yapıştırıcılar, inşaat sektörü (sıva macun vb.), seramik sektörü, gıda sektörü, diş macunu sektörü gibi kullanım alanları bulunur.

Deneyleerde kalsit tozunun kullanılmasının sebepleri; sahip olduğu yoğunluk sebebi ile havanın içerisinde düzgün bir şekilde karışıp orantılı bir şekilde yayılması, fazla nem tutmaması, partikül boyutu olarak geniş bir skala sunması, muhafaza şartları oda koşullarına uygun olması, düşük maliyetli oluşu sayılırken yanıcı olmaması ve toksin atık bırakmaması gibi güvenlik önlemlerine uygun oluşu da gösterilebilir.



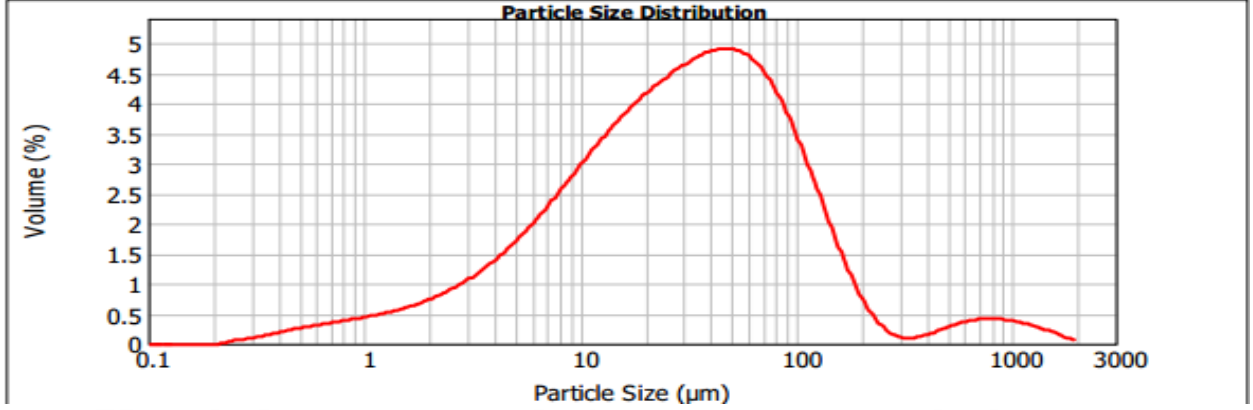
**Şekil 3.7.** Deney düzeneği elemanları: Proair 2.2 KW Blower (a), Testo 521 (a), Kalsit Tozu (c)

### 3.3.1 Siklon 1 Deney Parametreleri

3\*20 mm giriş kesitine sahip bir mini siklon olan Siklon 1 için uygun debileri görmek amacıyla deneme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde vana belli kademelerde açılıp, deneyler sırasında siklonun içerisinden geçecek olan tozlu havanın debileri belirlenmiştir. Bu denemelere göre Siklon 1 deneyleri için kullanılacak debiler(Q): 2, 4, 6, 8, 10 m<sup>3</sup>/h olarak belirlenmiştir. Bu debilere göre Siklon 1'e giren havanın hızları ise Denklem 3.1(A: Siklonun giriş kesit alanı)'e göre:  $V_{giriş}$ : 9,26, 15,52, 27,78, 37,04, 46,3 m/s olarak belirlenmiştir.

$$V_{giriş} = \frac{q}{A*3600} \quad (3.1)$$

Siklon 1 kullanılarak yapılan deneylerde; kalsit tozu her bir deneyde 50 gr kullanılmıştır ve bu kullanılan kalsitin ortalama partikül boyutu 29.7 µm olup, partikül boyut dağılımı Şekil 3.8'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Bu kalsitin ihtiva ettiği partikül boyut aralığı 4,2 - 119,2 µm'dir. Bu aralık, özellikle siklonun sınıflandırma performansını değerlendirmemiz açısından önemli olacaktır.



**Şekil 3.8.** Siklon 1 için kullanılan kalsit tozundan alınan numunenin partikül boyutu analizi

Partikül boyutlarının ölçümü ise Şekil 3.9’da gösterilen Mastersizer 2000 partikül boyutu analiz cihazı ile yapılmıştır.



**Şekil 3.9.** Malvern Mastersizer 2000

Malzemenin içerisindeki tane boyutunu ölçmeye yarayan Mastersizer 2000 cihazının çalışma prensibi: küçük taneleri vakumlayıp haznesine almasına ve küçük tanelerin boyutlarını ölçmek için Mie Teorisi kullanmasına dayanır. Mie Teorisi ışığın ortam

içerisinde tane boyu etrafındaki hem kırılmasını hem de geçirgenliğini dikkate alır. Mie modelini kullanabilmek için hem örneğin hem de ortamın kırılma İndislerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bulundurduğu ekipmanlarla hem kuru hem de sulu çözelti halindeki numunelerin boyutlarını ölçebilen Mastersizer 2000 cihazının bazı özellikleri:

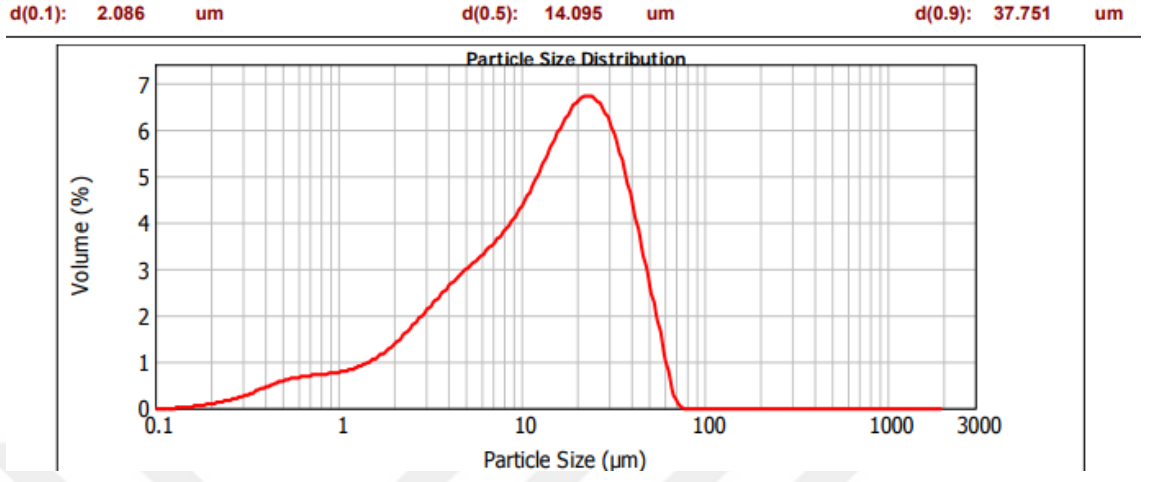
- Tane boyu aralığı: 0.02 ile 2000 mikron arası
- Ölçme prensibi : Mie saçılması
- Detektör sistemi: Kırmızı ışık: Ön saçılma, kenar saçılması, arka saçılma. Mavi ışık: Geniş açılı ön ve geri saçılma.
- Işık kaynağı: Kırmızı ışık: Helyum neon lazer. Kırmızı ışık: Katı hal ışık kaynağı

### 3.3.2 Siklon 2 Deney Parametreleri

Siklon 1 den daha büyük ölçülere sahip Siklon 2 8\*30 mm giriş kesitine sahiptir. Bu mini siklonun boyutları daha büyük olduğundan içerisinden geçen debi miktarı da artmıştır. Uygun debi değerlerini belirlemek üzerine yapılan denemelerden sonra, deneyler sırasında kullanılacak olan debiler(Q): 7, 14, 21 ve 28 m<sup>3</sup>/h olarak belirlenmiştir. Bu değerlere bağlı olarak ise Siklon 2 için tozlu hava giriş hızları(V<sub>giriş</sub>): 8,1, 16,2, 24,31, 32,41 m/s olarak bulunmuştur. Siklon 1 ve Siklon 2 için V<sub>giriş</sub> değerlerine bakıldığında, iki siklon için de seçilen debilerin, her iki siklon içinde benzer giriş hızları verdiği görülmektedir.(Siklon 1: 9,26-46,3 m/s : Siklon 2: 8,1-32,41 m/s)

Siklon 2’de siklonun boyutu ve toz toplayıcıların potansiyel toz biriktirme hacmi arttığı için toz miktarı olarak her bir deneyde 100 gr kalsit kullanılmıştır. Ayrıca bu kalsit tozunun büyüklüğü ise biraz daha küçük alınmıştır. Ortalama partikül boyutu 14 µm olan kalsit kullanılan tozun ihtiva ettiği partikül boyutu skalası ise 2,086-37,781 µm’dir.

Siklon 2 için kullanılan kalsit tozundan alınan numunenin detaylı partikül boyutu analizi ise Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10 Siklon 2 için kullanılan kalsit tozundan alınan numunenin partikül boyutu analizi



#### 4. BULGULAR

Her iki siklon ayırıcı (Siklon 1 ve Siklon 2) ile yapılan deneylerde, temel değişken parametre olarak debi yani siklona giren havanın hızı alınmıştır. Deneylere ait diğer bir değişken olan konfigürasyon, toz toplayıcıların siklon ayırıcının içindeki konumlarından oluşan diziliş, belirlenen her bir debide denenmiştir. Her bir deneyin sonucunda elde edilen sonuçlar detaylı olarak analiz edilip bulgular oluşturulmuştur. Bu bulgular iki değişken parametre olan; debi ve konfigürasyonların birbirleriyle oluşturdukları kombinasyonların sonucu olarak karşımıza çıkıyor.

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneylerde, her bir deneyde aynı konsantrasyonda kalsit tozunun hava ile karışabilmesi için yüksek debilerde deney süresi biraz daha kısa tutulurken, daha düşük debilerde daha uzun tutulmuştur. Sonuç olarak deneylerin her birisi ortalama 25-35 dk arasında sürmüştür. Her bir deneyin sonucunda, siklon ayırıcının içinde bulunan toz toplayıcıların içerisindeki kalsit tozları dikkatlice tartılmış ve daha sonra partikül boyutu analizi yapılmak üzere her birinden numune alınmıştır. Daha sonra siklon ayırıcının toplama verimi Denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{siklon toplama verimi} = \frac{\text{toz toplayıcılardaki toz miktarlarının toplamı}}{\text{deney boyunca siklona verilen toz miktarı}} * 100 \quad (4.1)$$

Deney sonuçlarından çıkarılan bulgular vasıtasıyla siklonun performansını gösteren belli parametreler elde edilmiştir. Bu parametreler: Siklon ayırıcının

- Toplama Verimi
- Sınıflandırma Performansı
- Fraksiyonel Verimi
- Basınç Kaybıdır.

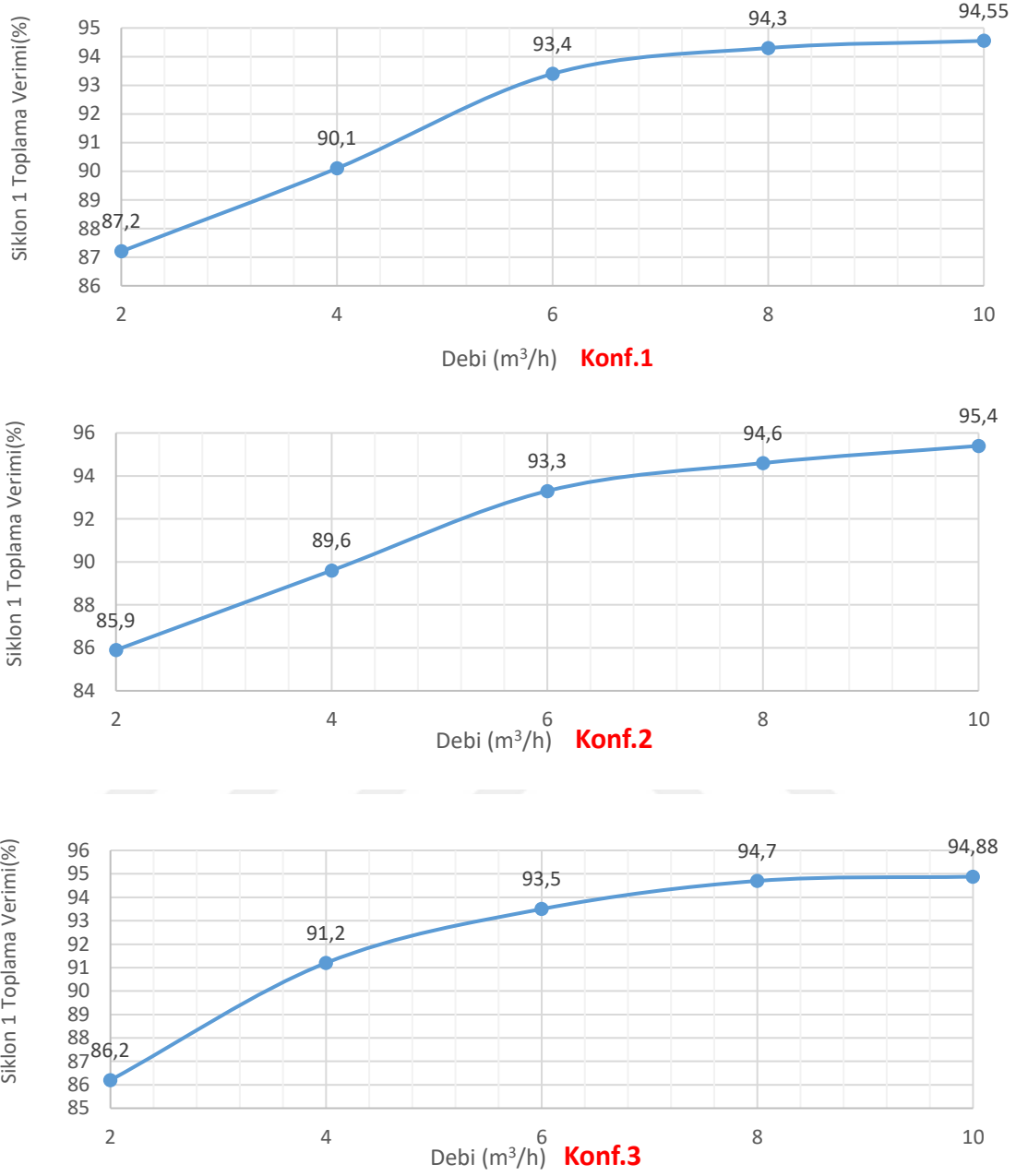
## 4.1. Toplama Verimi

Deneyley sonucunda siklon ayırıcının içerisinde kalan tozlara göre hesaplanan toplama verimi, bize siklon ayırıcının toz tutma performansı hakkında en iyi bilgiyi verir. Toplama verimine bakarak siklon ayırıcının sahip olduğu tasarımın iyiliği hakkında yorum yapılabilir. Deneyley sırasında toplama verimi, debi ve konfigürasyon değişikliğine bağlı olarak ölçülmüş ve değerlendirmeler bu iki değişkene bağlı olarak yapılmıştır. Siklon 1 ve Siklon 2 için de ayrı ayrı toplama verimi performansı ele alınmış olup debi ve konfigürasyon parametrelerinde farklı değerler kullanılmıştır.

### 4.1.1. Siklon 1 Toplama Verimi Performansı

Diğer siklona nazaran daha küçük boyutlara sahip olan Siklon 1, içerisinde konumlandırılmak üzere 4 tane toz toplayıcı ve bu toz toplayıcıların arasına konularak konfigürasyon oluşturmasını sağlayan bilezikler bulunmaktadır.

Bu siklon ayırıcı için 2, 4, 6, 8, 10 m<sup>3</sup>/h olmak üzere 5 tane debide 3 farklı konfigürasyonda yapılmıştır. Konfigürasyonlar: sırasıyla 2, 3 ve 4 tane toz toplayıcı içermesine göre Kon.1, Konf.2, Konf.3 ismini almıştır. Her bir konfigürasyonda ayrı ayrı 5 debide deneyley yapılmıştır. Bu deneyleylerde her konfigürasyonlar için aynı eğilimler elde edilmiştir. 3 ayrı konfigürasyon için 5 ayrı debide yapılan deneyleylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.1’de verilmiştir.



**Şekil 4.1.** Siklon 1 debiye bağlı olarak 3 konfigürasyonda toplama verimi değişimi

Şekil 3.1'den de görüleceği gibi siklon ayırıcının toplama veriminin debiyle beraber arttığını gösterir. Bu da siklondan giren tozlu havanın hızının ne kadar fazla olursa, siklonun içerisinde o kadar daha fazla toz tutulabileceğini gösteriyor. Yine toplama veriminin debiyle değişiminin veren grafiğe baktığımızda; düşük debilerde yapılan artışların siklonun toplama verimi artışına daha büyük katkı sağladığı görülürken, daha

yüksek debilerdeki artışta grafik eğrisi açısının tanjantının daha düşük olduğu görülmüştür. Bu da bize yüksek debilere çıkıldıkça, siklon ayırıcının maximum toplama verimi performansına yaklaşıldığını göstermektedir.

Siklon ayırıcılarda ayrıştırmayı sağlayan kuvvet, siklonun sahip olduğu konstrüksiyon sebebiyle belli bir hızda giren havaya sağladığı santrifüj kuvvetten kaynaklanmaktadır. Siklona giren tozlu havanın hızı ne kadar büyük olursa, bu santrifüj kuvvet de o kadar fazla olmaktadır. Toplama verimi grafiğinden de anlaşılacağı üzere debi yani hız artışıyla bu kuvvette de artırılmış ve daha yüksek toplama verimleri elde edilmiştir. Vortex hareketi yapan tozlu havanın sahip olduğu bu kuvvet santrifüj kuvvet, içerisinde barındırdığı toz partiküllerinin boyutlarına bağlı olarak onlara bir atalet kazandırmaktadır. Bu atalet onları siklon içi cidarına sürüklemektedir. Özellikle  $2 \text{ m}^3/\text{h}$  debide daha düşük toplama verimi elde edilmesi de bu sebepten dolayı, yani toz partiküllerine yeterince santrifüj kuvvet uygulanamamasından, daha düşük bir verim elde edilmiştir. Yüksek debilerdeki toplama verimi artış hızının düşüşü ise, her bir debi artışında havanın içerisinde bulunan toz toplayıcıların santrifüj kuvvetten etkilenme oranının artması olarak düşünülebilir.

Dirgo ve Leith (1985)'de yaptıkları çalışmada; 5'den 25 m/s giriş hızına kadar değişimde Stairmand tipi siklon ayırıcılarının toplama veriminin arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca Mihalski ve ark. (1992)'da yayınladıkları çalışmalarında debinin toplama verimi üzerindeki en büyük parametre olduğunu vurgulamışlardır. Toplama verimindeki büyük bir artışın, debi artırımıyla mümkün olabildiğini görmüşlerdir.

Siklon 1 ile yapılan deneylerde toplama verimi performansı araştırılırken debiden farklı olarak, diğer bir değişken olarak da konfigürasyon değişimi kullanılmıştır.  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  debide incelenen 3 farklı konfigürasyona bağlı toplama verimi değişimi Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Siklon 1 için 10 m<sup>3</sup>/h debide konfigürasyona bağlı toplama verimi değişimi

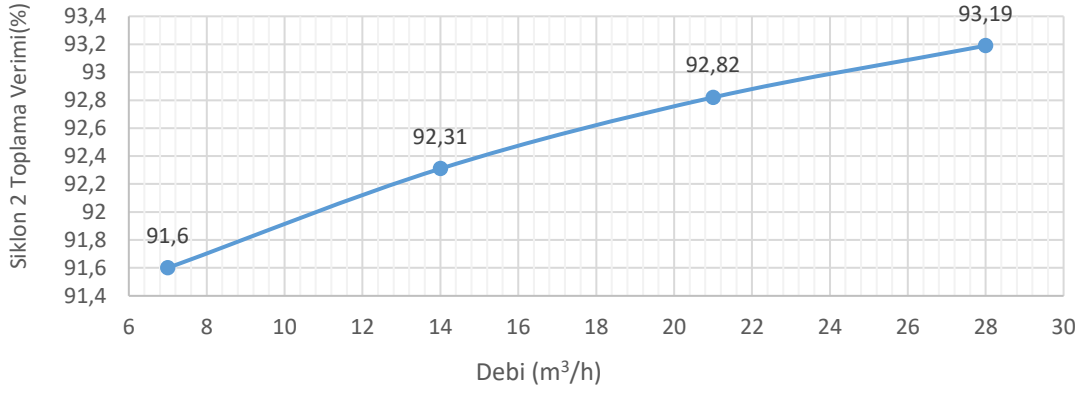
<b>Siklon içerisindeki konfigürasyonlar</b>	<b>Toplama Verimi</b>
Konf. 1 (2 toz toplayıcı içeren)	%96,5
Konf. 2 (3 toz toplayıcı içeren)	%95,4
Konf. 3 (4 toz toplayıcı içeren)	%95,1

Çizelge 4.1’de de görüleceği gibi siklonun içerisinde yapılan toz toplayıcılarının yerlerinin değişikliği, aynı debide siklon ayırıcının toplama veriminde kayda değer bir değişikliğe yol açmamaktadır. Asıl amacı sınıflandırma performansını incelemek olan konfigürasyonların, siklon ayırıcının toplama verimi üzerinde herhangi bir etkisi olduğu düşünülmemektedir.

#### **4.1.2. Siklon 2 Toplama Verimi Performansı**

Siklon 1’e göre daha büyük ölçülere sahip olan Siklon 2, kendisinden önce diğer siklonla yapılan deneylerin sonuçlara göre daha iyi bir sınıflandırma yapmak için tasarlanmıştır. Bu siklondaki veriler siklonun boyutuna göre yeniden analiz edilmiştir. Buna göre yapılan deneyler 2 kısma ayrılmış olup, konfigürasyonda yapılan değişiklikler Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.7’de belirtilen konfigürasyonlarda detaylı olarak açıklanmıştır.

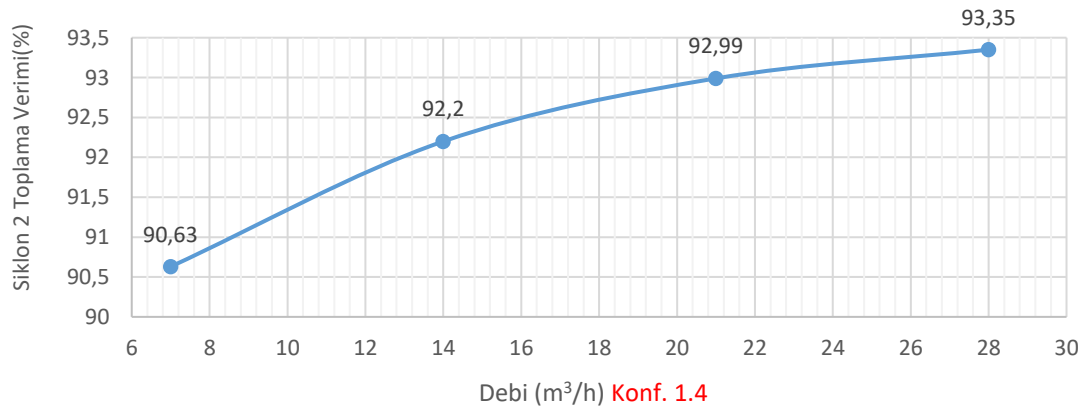
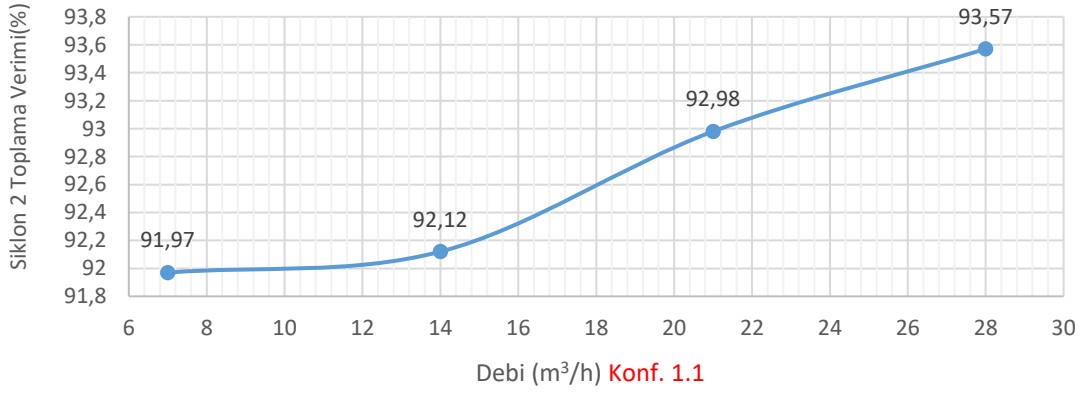
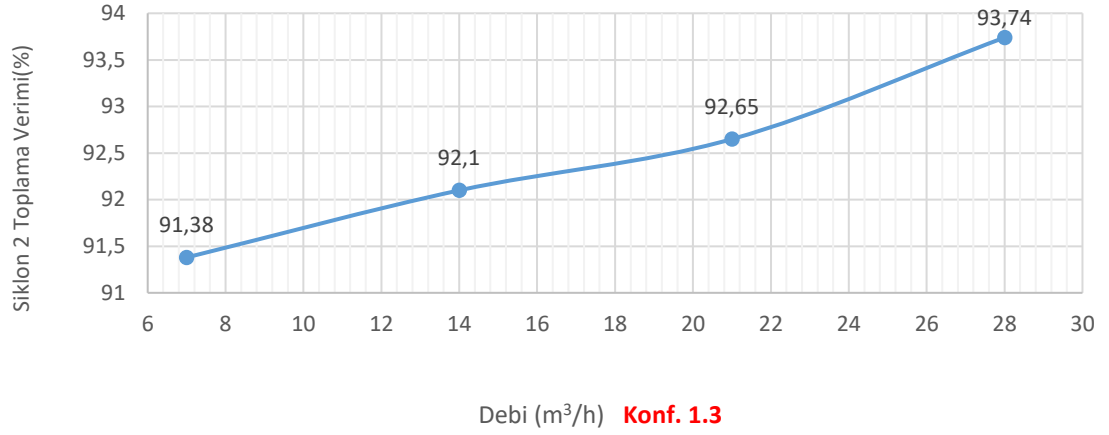
Toplama verimi performansı daha önceden belirlenen debilere göre incelenen Siklon 2 için yapılan deneylerde, ilk olarak siklon ayırıcının içi boş yani konfigürasyon bulundurmeyen hali incelenmiştir. Debi değişimine bağlı olarak yapılan Siklon 2’nin boş haline ait deney sonuçları Şekil 4.2’de verilmiştir.



**Şekil 4.2.** Siklon 2 için boş haline ait debiye bağlı toplama verimi değişimi

Bu şekilde de yine siklon toplama veriminin, siklonun boş hali için, tozlu hava giriş hızıyla arttığı görülmektedir.

Siklon 2 için kullanılan konfigürasyonlarda da yine toplama verinin incelemesi yapılmıştır. Konfigürasyon değişimine bağlı olarak değişen toplama verimini incelemek amacıyla Şekil 4.3'de 3 farklı konfigürasyona bağlı olarak toplama verimini değişimi incelenmiştir.



**Şekil 4.3.** Siklon 2 için farklı konfigürasyonlara ait debiye göre toplama verimi değişimi

Şekil 4.3 ve Şekil 4.2'deki grafikler bir arada incelendiğinde, siklonun içinin boş olmasının ya da içerisine toz toplayıcılar konularak oluşturulan konfigürasyonların siklon

ayırıcının toplama verimine önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Hatta toplama verimin debiye bağlı olarak değişim eğrisi 4 grafikte de benzer eğilimler göstermiş olup, aynı debilerde hemen hemen aynı toplama verim değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar da bize siklon ayırıcıların toplama verimlerinin değişimine en büyük etkiyi debinin yani siklona giren havanın hızının oluşturduğu söylenebilir.

Ji ve ark. (2009) tasarladıkları siklon ayırıcıda, 5-30 m/s giriş hızları arasında yaptıkları deneylerde; siklon ayırıcılarının toplama veriminin değişiminde en büyük etkinin debi artışıyla gerçekleştiğini görmüşlerdir. Yine Kaya ve Karagöz (2009) yaptıkları nümerik çalışmada da düşük siklon girişi hızlarında daha düşük toplama verimleri elde ettiklerini görmüşlerdir. Bu da bize çalışmalarımızda elde ettiğimiz sonuçların literatürdeki sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.

#### **4.2. Sınıflandırma Verimi**

Sınıflandırma; siklon ayırıcılarda, siklon içerisinde kendisinden daha az yoğun olan fazdan ayrılan yoğun fazın (bu çalışmada kalsit tozu yoğun faz olurken, hava ise daha az yoğun olan faz) partikül boyutuna göre siklon ayırıcının içerisinde belli kısımlarında ayrışmasıdır. Bu ayrışmadan elde edilen numuneler bize tozun içerisindeki farklı toz boyutlarını verir. Böylece kimyasal ve ya diğer yollarla sınıflandırılması pek mümkün olmayan toz partikülleri, bu yolla partikül boyutlarına göre sınıflandırılır.

Bu çalışmada yapılan deneylerde kullanılan kalsit tozu, farklı ortalama partikül büyüklüğünde piyasada mevcuttur. Ayrıca bu kalsit tozunun içerisinde de farklı boyutlarda toz partikülleri, farklı yüzdelerde bulunmaktadır. Deneylerde kullanılan bu farklı kalsit tozlarının içerdiği toz partikülleri detaylı olarak verilmiştir.

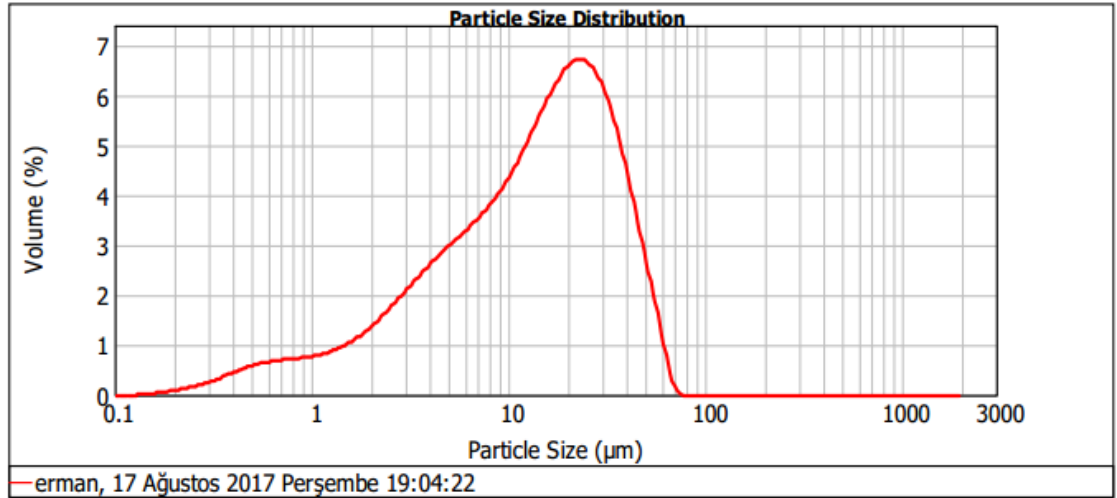




d(0.1): 2.086 um

d(0.5): 14.095 um

d(0.9): 37.751 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.75	11.482	4.54	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.83	13.183	5.00	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.94	15.136	5.45	158.489	0.00	1669.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.04	1.660	1.08	17.378	5.82	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.07	1.905	1.26	19.953	6.05	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.11	2.188	1.47	22.909	6.06	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.16	2.512	1.70	26.303	5.81	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.22	2.884	1.93	30.200	5.29	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.30	3.311	2.17	34.674	4.53	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.39	3.802	2.40	39.811	3.59	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.48	4.365	2.61	45.709	2.59	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.54	5.012	2.81	52.481	1.60	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.59	5.754	3.00	60.256	0.56	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.63	6.607	3.21	69.183	0.02	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.65	7.586	3.46	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.67	8.710	3.76	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.71	10.000	4.12	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925			

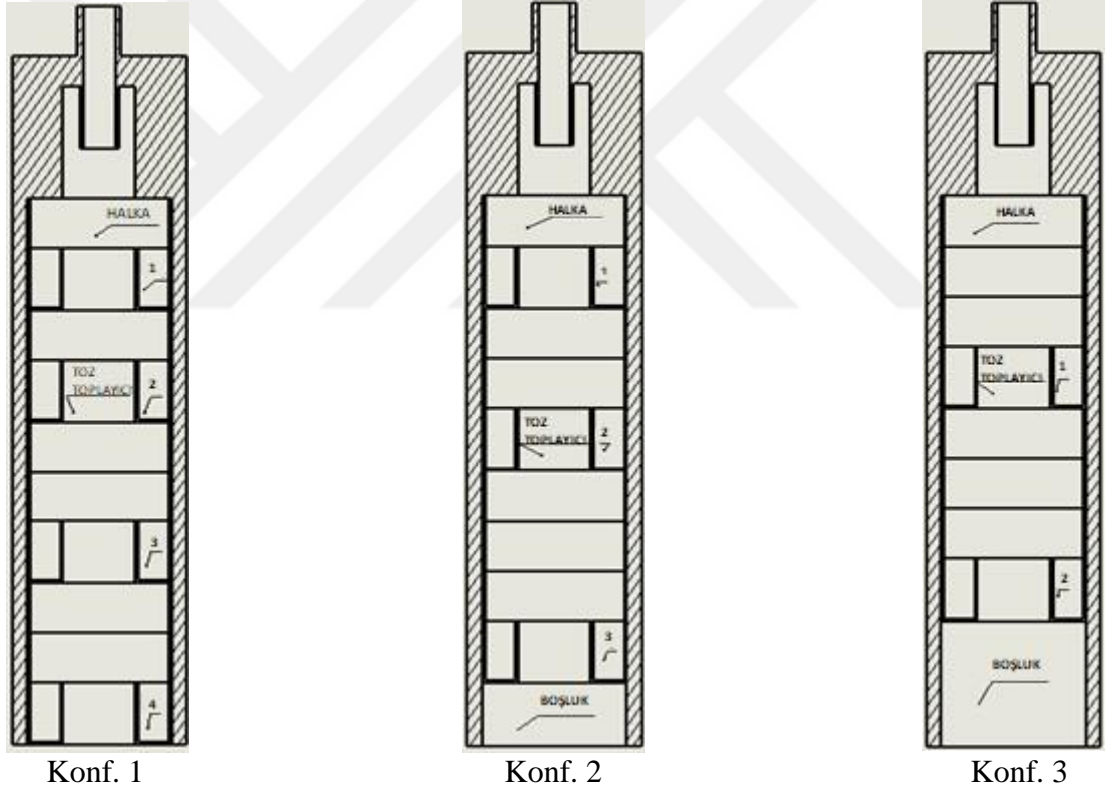
Şekil 4.5. Siklon 2 için kullanılan kalsit tozunun içerisinde barındırdığı toz partikülleri

Örneğin; Şekil 4.5 için 14 µm ortalama partikül boyutuna sahip kalsit tozunda, 1 µm ile 2 µm arasındaki toz partiküllerine sahip tozların oranı %4,31'dir.

Bu analizlere bakarak siklon ayırıcıların tozları sınıflandırma performansı daha iyi incelenebilir. Bu tozlar içerisinde çok farklı toz partikülleri barındırdığından dolayı, siklon ayırıcıların sınıflandırma performansı incelenirken çok sayıda konfigürasyon denenip dolayısıyla çok fazla deneylerin yapılması gerekmektedir. Bu sayede siklon ayırıcıların minimum ve maximum toz partikül boyutlarına kadar sınıflandırma yapabilme performansı analiz edilebilir. Özellikle yüksek sınıflandırma performansı için tasarlanan Siklon 2 deneylerinde çok sayıda konfigürasyon denenmiştir.

#### 4.2.1 Siklon 1 Sınıflandırma Performansı

Siklon 1 için yapılan deneylerde; sınıflandırma performansının incelenmesi için oluşturulan konfigürasyonlar Şekil 4.6'da verilmiştir. Bu konfigürasyonlarda oluşturulurken, siklon ayırıcının içerisinde 2, 3 ve 4 tane toz toplayıcı bulunma durumlarına göre bir inceleme yapılmıştır. Burada Siklon 1 için, deney sırasında hava ile gönderilen kalsit tozunun kaç sınıfa ayrılabilceği incelendiği gibi, aynı zamanda toz toplayıcıların siklonun içerisinde bulunma durumlarına göre de, içerisinde toplanan kalsit tozlarının miktarı ve partikül boyutu da incelenmiştir.



Şekil 4.6. Siklon 1 için sınıflandırma performansının incelenmesi için oluşturulan konfigürasyonlar

Bu oluşturulan konfigürasyonlarda; toz toplayıcıların isimleri, en üstteki toz toplayıcıdan başlayarak numaralandırılmıştır. Konf. 1’de 4 tane toz toplayıcı, Konf. 2’de 3 tane toz toplayıcı, Konf. 3’de 2 tane toz toplayıcı bulunmaktadır. Bu 3 farklı konfigürasyonda yapılan deneylerin sonuçları, toz miktarı ve boyutu açısından dağılımı verecek şekilde Çizelge 4.2’de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Siklon 1 için farklı konfigürasyonlara göre yapılmış deneylerin sonuçları

Debi: 10 m <sup>3</sup> /h Ortalama Toz Partikül Boyutu: 29,7 µm								
Konfigürasyonlar	Toz Toplayıcı 1		Toz Toplayıcı 2		Toz Toplayıcı 3		Toz Toplayıcı 4	
	Toplanan numune	Partikül boyutu	Toplanan numune	Partikül boyutu	Toplanan numune	Partikül boyutu	Toplanan numune	Partikül boyutu
<b>Konf. 1</b> (4 toz toplayıcı içeren)	24,9 gr	50,41 µm	18,1 gr	26,41 µm	2,85 gr	22,74 µm	1,7 gr	9,61 µm
<b>Konf. 2</b> (3 toz toplayıcı içeren)	20,6 gr	48,81 µm	21,9 gr	20,41 µm	4,3 gr	6,38 µm		
<b>Konf. 3</b> (2 toz toplayıcı içeren)	29,6 gr	50,16 µm	18,65 gr	12,25 µm				

Çizelge 4.2’de verilen bu sonuçlar; 10 m<sup>3</sup>/h debide ve 29,7 µm ortalama partikül boyutundaki kalsit tozu ile yapılmıştır.

Sonuçlara baktığımızda Konf. 1’de; sırasıyla 50,407-26,411-22,743-9,61 µm partikül boyutunda tozların toz toplayıcı içerisinde toplandığı görülmüştür. Buradan 4 ayrı partikül boyutunda kısmen sınıflandırma yapılabildiği görülmüştür. Ancak toz toplayıcı 2 ve toz toplayıcı 3’teki toz partikül boyutlarının birbirine yakın değerler (26,411-22,743 µm) olduğu göz önüne alındığında, daha kesin bir sınıflandırma Konf.2 ‘de daha net gerçekleşmiştir. Sonuç olarak Siklon 1 ile yapılan deneylerden çıkarılan sonuçlara

bakıldığında, Siklon 1, tozları 3 ayrı partikül boyutuna göre net olarak sınıflandırma yeteneğine sahiptir.

Konfigürasyon 2’de; siklon ayırıcıya giren tozlu havanın içerisindeki toz partikülleri(kalsit) 3 ayrı sınıflamaya net olarak ayrılmıştır. Bu 3 ayrı sınıflamada toz toplayıcılarda sırasıyla 48,814, 20,406 ve 6,383 µm büyüklüğünde toz partikülleri toplanmıştır. Sonuçlardan da görebileceğimiz gibi, büyük boyutlu partiküller, siklonun içerisinde üstteki toz toplayıcılarında toplanırken, nazaran daha küçük boyutlu partiküller daha aşağıdaki toz toplayıcılarda toplanmıştır. Bunun sebebi; siklon ayırıcıya en üstteki toz toplayıcının üstünden giren tozların içindeki büyük partiküller, orada santrifüj kuvvetlere daha fazla maruz kaldıkları için, etrafa daha fazla savrulup üstteki toz toplayıcıların haznelere düşmüşlerdir. Daha sonra kalan küçük partiküllü tozlar, siklon ayırıcı içerisinde aşağıya indikçe düşen santrifüj kuvvetle beraber, siklonun çeperlerine savrulup, aşağıda bulunan toz toplayıcıların içerisine düşmüştür

Fuping Qian ve ark. (2009)’da yaptıkları çalışmada; parçacıkların santrifüj kuvvetinden kaynaklanan yüksek aksel hız nedeniyle siklon ayırıcı duvara hareket ettiğini beyan ettiler. Aynı zamanda, siklonun iç çeperine en yakın akış hızının, siklonun ayrılma performansını daha iyi gösterdiğini fark etmişlerdir.

Siklon 1’in sınıflandırma performansı Çizelge 4.2’de verilen sonuçlarda sabit debide konfigürasyon değişikliğine bağlı olarak incelenmişti. Çizelge 4.3’teki sonuçlar için yapılan deneysel incelemelerde ise değişken olarak debi kullanılıp, 4 ve 8 m<sup>3</sup>/h debide, sabit konfigürasyon(Konf. 2) kullanılmıştır. Bu deneysel inceleme ise Siklon 1’in sınıflandırma performansına debi değişiminin yani siklona giren havanın hızının değişiminin nasıl etki ettiğini araştırmaktır.

**Çizelge 4.3.** Siklon 1 için sabit konfigürasyonda debi değişimine bağlı olarak sınıflandırma

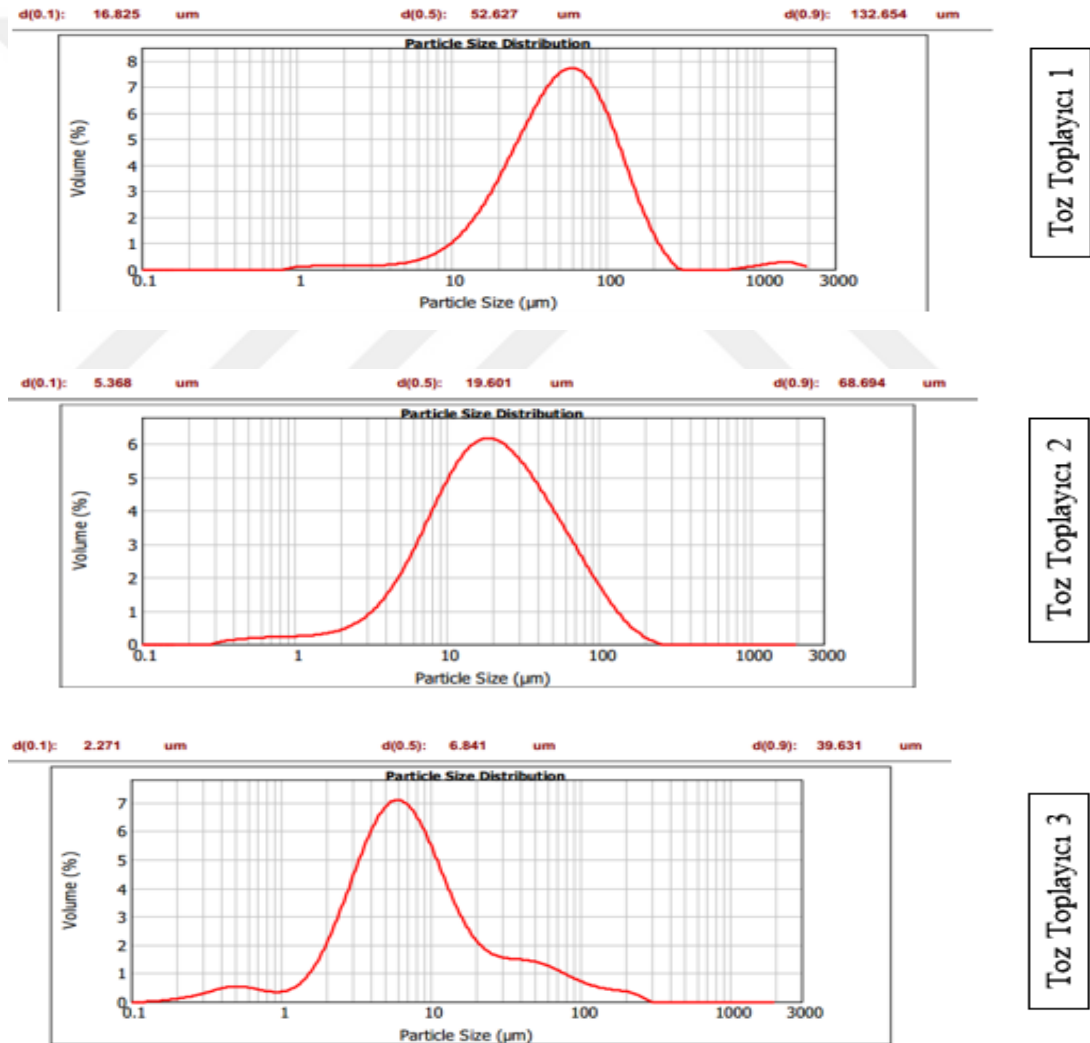
<b>Debi (Konf. 2 için)</b>	<b>Toz Toplayıcı 1</b>		<b>Toz Toplayıcı 2</b>		<b>Toz Toplayıcı 3</b>	
	<i>Toplanan Numune</i>	<i>Partikül Boyutu</i>	<i>Toplanan Numune</i>	<i>Partikül Boyutu</i>	<i>Toplanan Numune</i>	<i>Partikül Boyutu</i>
<b>4 m<sup>3</sup>/h</b>	1,7 gr	5,654 µm	14,5 gr	14,689 µm	27,9 gr	44,448 µm
<b>8 m<sup>3</sup>/h</b>	3,85 gr	6,841 µm	21,2 gr	19,601 µm	21,55 gr	52,627 µm

Çizelge 4.3'teki deneysel inceleme sonuçlarına bakılırsa; debi değişiminin Siklon 1 ayırıcının sınıflandırma performansına herhangi bir etki etmediği anlaşılmıştır. Ancak 8 m<sup>3</sup>/h debideki deney sonuçlarından elde edilen değerler; bize debi artışının oluşturduğu etkinin, toz toplayıcılarda toplanan tozların partikül boyutunun daha fazla olmasını sağladığını göstermiştir. Yine toz toplayıcılarda toplanan tozların kütleli miktarına bakıldığında; yüksek debilerde daha orantısal bir dağılımın elde edildiği görülmüştür. Bu da bize yüksek debilerin oluşturduğu daha büyük santrifüj kuvvetlerin, siklon ayırıcı içerisindeki toz toplayıcılara tozların daha orantısal bir değişimine sebep olduğunu göstermiştir.

Siklon ayırıcının en üst kısmında bulunan toz toplayıcı 1'de toplanan toz miktarlarına iki debide de bakıldığında; 8 m<sup>3</sup>/h debide, 4m<sup>3</sup>/h debiye göre daha büyük partiküllerin toplandığı belirlenmiştir. Bunun sebebinin de yine yüksek santrifüj kuvvetlerin, tozlara daha fazla atalet kuvvet kazandırıp, siklon cidarına en üst kısımda daha büyük partikül boyutlarının savrulmasına yol açtığı düşünülmektedir.

Tetsuya ve ark.(2009)'da yaptıkları çalışmada, toz parçacıklarının siklon ayırıcıda kalma süresinin düşük akış hızı nedeniyle arttığını gözlemlemişlerdir. Siklon ayırıcıda daha fazla kalan parçacıkların daha fazla santrifüj kuvvetine maruz kaldıklarını anlamışlardır.

Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilen, toz toplayıcılarda toplanan toz partiküllerinin boyutları Mastersizer 2000 parçacık boyutu ölçer ile yapılmıştır. Bu ölçümlerde numunelerden detaylı olarak partikül boyutu analizi eğrisi elde edilmiştir. Örnek olması açısından; Konf. 2 için  $8 \text{ m}^3/\text{h}$  debide gerçekleştirilen deneyde, toz toplayıcıların içerisindeki tozların partikül analizleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7 Çizelge 3.3'deki  $8 \text{ m}^3/\text{h}$  için toz toplayıcılardaki tozların partikül analizleri

#### 4.2.2 Siklon 2 Sınıflandırma Performansı

Siklon 2 için yapılacak deneylerde oluşturulacak konfigürasyonlar için 3 tane toz toplayıcısı bulunmaktadır. Ayrıca Siklon 1'in sahip olduğu gibi sabit bilezikler yerine bu siklon ayırıcıda 10, 20, 25, 30, 50 ve 75 mm'lik bilezikler kullanılmıştır. Dolayısıyla Siklon 2 için oluşturulan konfigürasyonlarda; toz toplayıcılarının üzerine boşluk oluşturacak bileziğin uzunluğu mm olarak belli değerlerde verilmiştir. Bu değerler siklonun içerisinde her bir toz toplayıcının üzerinde bulunan boş alanın dikey uzunluğunu vermektedir.

Siklon 2 ayırıştırıcıda 14 µm ortalama partikül boyutuna sahip kalsit tozu kullanılmıştır. Sınıflandırma performansı; toz toplayıcılarda olabildiğince farklı partikül boyutlarında kalsit tozu toplanmasına olanak verecek şekilde oluşturulmaya çalışılmıştır. Ayrıca bu sınıflandırmalar gerçekleştirilirken toz toplayıcılarda toplanan tozların kütleli miktarları da orantısal olarak birbirine uygun olması istenen faktörler arasındadır.

Dolayısıyla siklon 2 deneylerinde konfigürasyonların etkisinin daha net anlaşılabilmesi için deneyler 2 kısma ayrılmıştır. 1.kısımda en altta bulunan 3.bilezik uzunluğu sabit bir değerde tutulup deneyler gerçekleştirilirken, 2.kısımda siklon ayırıcının ortasında bulunan bilezik olan 2.bileziğin uzunluğu sabit tutulup deneyler gerçekleştirilmiştir. Her iki kısımda da deneyler konfigürasyon değişikliğine bağlı olarak incelenip, her konfigürasyonda 7, 14, 21 ve 28 m<sup>3</sup>/h debide deneyler gerçekleştirilmiştir.

##### 1.Kısım Deneyler

Siklon 2 için yapılan deneylerin 1.kısımında, siklon ayırıcının en altında bulunan toz toplayıcının üzerine sanal gövde oluşturan 3.bileziğin uzunluğu sabit tutulmuştur.



Burada; 1. ve 2. toz toplayıcıların üzerindeki sanal alanların değişimlerinin oluşturduğu konfigürasyonların sınıflandırma performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Konfigürasyonlar oluşturulurken; en üstteki toz toplayıcının üzerinde, sanal gövdeli bir boşluk oluşturacak olan 1.bileziğin uzunluğu sırasıyla 10, 20, 30, 50 mm olacak şekilde ve 1. ve 2. bileziğin toplam uzunluğu 80-85 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. 3. bilezik de 75 mm uzunluğunda olacak şekilde sabit tutulmuştur. Böylece deneylerde, siklon ayırıcının toplam sanal gövde uzunluğu 245-250 mm olarak sabit tutulmuştur. Siklon ayırıcının sanal gövde uzunluğu sabit tutulduğundan dolayı, siklon ayırıcı içerisindeki belirli boyutlardaki toz partiküllerinin, siklonun içerisinde hangi kademelerde cidara savrulduğunu daha iyi anlayabilmekteyiz.

Siklon 2 deneylerinin 1. Kısımında kullanılan konfigürasyonlar Çizelge 4.4'te verilmiştir. Bu konfigürasyonlarda yapılan deneylerin sonuçları ise debi değerlerine bağlı olarak Çizelge 3.5'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Siklon 2 deneylerinin 1.kısımına kullanılan konfigürasyonlar

KONFIGÜRASYON	
Konf. 1.1	<i>1.Tozluk+10mm bilezik+2.Tozluk+75mm bilezik+ 3.Tozluk+75mm bilezik</i>
Konf. 1.2	<i>1.Tozluk+20mm bilezik+2.Tozluk+60mm bilezik+ 3.Tozluk+75mm bilezik</i>
Konf. 1.3	<i>1.Tozluk+30mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+75mm bilezik</i>
Konf. 1.4	<i>1.Tozluk+50mm bilezik+2.Tozluk+30mm bilezik+ 3.Tozluk+75mm bilezik</i>

Çizelge 4.5. Debi ve konfigürasyon değişikliğine bağlı olarak Siklon 2 deneylerinin 1.kismina ait sonuçlar

Numune toz boyutu=14 mikron -1.KISIM DENEYLER (3.TOZLUK SABİT=75mm)									
DEBİ	KONFIGÜRASYON	1.TOZLUK		2.TOZLUK		3.TOZLUK		VERİM	VERİM (SİKLOK BOŞ HALI)
		Toplanan Numune	Partikül boyutu (mikron)	Toplanan Numune	Partikül boyutu (mikron)	Toplanan Numune	Partikül boyutu (mikron)		
28	1.Tozluk+10mm bilezik+2.Tozluk+75mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	13,35gr / 26,315	67,9gr / 15,012	7,2gr / 5,302				%93,57	%93,19
	1.Tozluk+20mm bilezik+2.Tozluk+60mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	18,55gr / 29,404	64,85gr / 12,816	6,4gr / 5,627				%93,32	
	1.Tozluk+30mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	30,6gr / 26,000	55,45gr / 12,913	1,9gr / 5,481				%93,35	
	1.Tozluk+50mm bilezik+2.Tozluk+30mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	54,3gr / 17,28	30,35gr / 12,972	3,95gr / 7,144				%93,35	
21	1.Tozluk+10mm bilezik+2.Tozluk+75mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	41gr / 22,052	40,95gr / 13,129	3,55gr / 6,82				%92,98	%92,82
	1.Tozluk+20mm bilezik+2.Tozluk+60mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	48,65gr / 23,249	35,8gr / 9,06	3,55gr / 3,969				%92,57	
	1.Tozluk+30mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	69,2gr / 17,687	15,3gr / 10,304	1,2gr / 6,324				%92,65	
	1.Tozluk+50mm bilezik+2.Tozluk+30mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	75,55gr / 18,295	9,95gr / 7,035	1,75gr / 5,674				%92,2	
14	1.Tozluk+10mm bilezik+2.Tozluk+75mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	75,95gr / 15,385	9,5gr / 9,648	1,7gr / 5,832				%92,12	%92,31
	1.Tozluk+20mm bilezik+2.Tozluk+60mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	78,2gr / 17,741	6,3gr / 6,624	1,2gr / 4,913				%91,51	
	1.Tozluk+30mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	70,4gr / 19,622	13,3gr / 7,938	2,4gr / 5,623				%92,1	
	1.Tozluk+50mm bilezik+2.Tozluk+30mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	74,85gr / 19,324	4,75gr / 5,877	5,85gr / 6,062				%91,38	
7	1.Tozluk+10mm bilezik+2.Tozluk+75mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	60,2gr / 16,894	21,45gr / 14,165	8,45gr / 7,205				%91,97	%91,6
	1.Tozluk+20mm bilezik+2.Tozluk+60mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	62,15gr / 16,768	9,95gr / 12,412	11,2gr / 11,2				%90,8	
	1.Tozluk+30mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	75,3 gr / 17,187	5,2gr / 9,997	5,95gr / 10,342				%91,38	
	1.Tozluk+50mm bilezik+2.Tozluk+30mm bilezik+3.Tozluk+75mm bilezik	69,55 gr / 17,548	2,8gr / 9,743	10,15gr / 11,969				%90,63	

Çizelge 4.5'te sonuçların ait olduğu konfigürasyonlarda; 3.tozluk diye tabir edilen en alttaki toz toplayıcının üzerindeki bileziğin uzunluğu sabit alınarak değişimler incelenmiştir. Sonuçlardan da görüleceği gibi; bu toz toplayıcının üzerindeki sanal gövde boşluğu sabit tutularak deneyler yapılmasına rağmen, 3.tozlukta toplanan toz miktarının ve toplanan toz partikül boyutunun değiştiği görülmüştür. Bu da bize gösteriyor ki; siklon ayırıcı içerisinde bir toz toplayıcının yeri ve üzerindeki sanal gövde uzunluğunu sabit tutulsa da, siklon ayırıcı içerisindeki diğer toz toplayıcıların yerleri ve siklon giriş hızı, toz toplayıcılarda toplanan partikül miktarı ve boyutunu etkilemektedir.

## 2.Kısım Deneyler

Siklon 2 için yapılan deneylerin 2.kısımında, siklon ayırıcının ortasında bulunan toz toplayıcının üzerine sanal gövde oluşturan 2.bileziğin uzunluğu sabit tutulmuştur. Burada; 1. ve 3. toz toplayıcıların üzerindeki sanal alanların değişimlerinin oluşturduğu konfigürasyonların sınıflandırma performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu kısımda da 1.kısımda olduğu gibi siklon ayırıcının toplam sanal gövde uzunluğu 245-250 mm olarak sabit tutulmuştur.2.kısım deneylerinde kullanılan konfigürasyonlar Çizelge 4.6'da verilmiştir. Bu konfigürasyonlarda debi değişimine bağlı olarak yapılan deneylerin sonuçları ise Çizelge 4.7'de verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Siklon 2 deneylerinin 2.kısımına kullanılan konfigürasyonlar

<b>KONFIGÜRASYON</b>	
Konf. 2.1	<i>1.Tozluk+10mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+100mm bilezik</i>
Konf. 2.2	<i>1.Tozluk+20mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+90mm bilezik</i>
Konf. 1.3	<i>1.Tozluk+30mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+75mm bilezik</i>
Konf. 2.3	<i>1.Tozluk+50mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+60mm bilezik</i>

Çizelge 4.7. Debi ve konfigürasyon değişikliğine bağlı olarak Siklon 2 deneylerinin 2.kısımına ait sonuçlar

Numune toz boyutu=14 mikron -2.KISIM DENEYLER (2.TOZLUK SABİT=50mm)									
DEBİ	KONFIGÜRASYON	1.TOZLUK		2.TOZLUK		3.TOZLUK		VERİM	VERİM (SİKLOM BOŞ HALI)
		Toplanan Numune	Partikül boyutu (mikron)	Toplanan Numune	Partikül boyutu (mikron)	Toplanan Numune	Partikül boyutu (mikron)		
28	1.Tozluk+10mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+100mm bilezik	10,85gr / 27,817	60,25gr / 15,844	14,95gr / 7,698	%93,4	%93,19			
	1.Tozluk+20mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+90mm bilezik	25,45gr / 23,554	60gr / 11,734	3,7gr / 4,226	%93,4				
	1.Tozluk+30mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+75mm bilezik	30,6gr / 26,000	55,45gr / 12,913	1,9gr / 5,481	%93,35				
	1.Tozluk+50mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+60mm bilezik	64,55gr / 19,202	21,75gr / 9,315	1,55gr / 6,356	%93,67				
21	1.Tozluk+10mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+100mm bilezik	46,05gr / 24,021	36,65gr / 9,655	4,35gr / 3,634	%92,25	%92,82			
	1.Tozluk+20mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+90mm bilezik	50,45gr / 22,668	37,3gr / 9,026	2,65gr / 4,114	%92,9				
	1.Tozluk+30mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+75mm bilezik	69,2gr / 17,687	15,3gr / 10,304	1,2gr / 6,324	%92,65				
	1.Tozluk+50mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+60mm bilezik	70,1gr / 19,586	16,1gr / 7,341	3,65gr / 5,321	%92,62				
14	1.Tozluk+10mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+100mm bilezik	62,95gr / 18,841	21,6gr / 10,986	2,25gr / 4,453	%91,07	%92,31			
	1.Tozluk+20mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+90mm bilezik	74,55gr / 20,223	13gr / 9,078	1,8gr / 4,952	%91,66				
	1.Tozluk+30mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+75mm bilezik	70,4gr / 19,622	13,3gr / 5,586	1,05gr / 5,623	%92,1				
	1.Tozluk+50mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+60mm bilezik	82,1gr / 17,437	6,05gr / 5,877	5,85gr / 5,087	%91,68				
7	1.Tozluk+10mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+100mm bilezik	34,95 gr / 19,034	25,95gr / 17,449	21,5gr / 11,230	%89,99	%91,6			
	1.Tozluk+20mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+90mm bilezik	50,5 gr / 19,929	13,55 gr / 12,845	13,3gr / 12,751	%88,67				
	1.Tozluk+30mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+75mm bilezik	75,3 gr / 17,187	5,2gr / 9,997	5,95gr / 10,342	%91,38				
	1.Tozluk+50mm bilezik+2.Tozluk+50mm bilezik+ 3.Tozluk+60mm bilezik	64,8 gr / 21,102	3,75gr / 12,554	13,75gr / 12,044	%89,38				

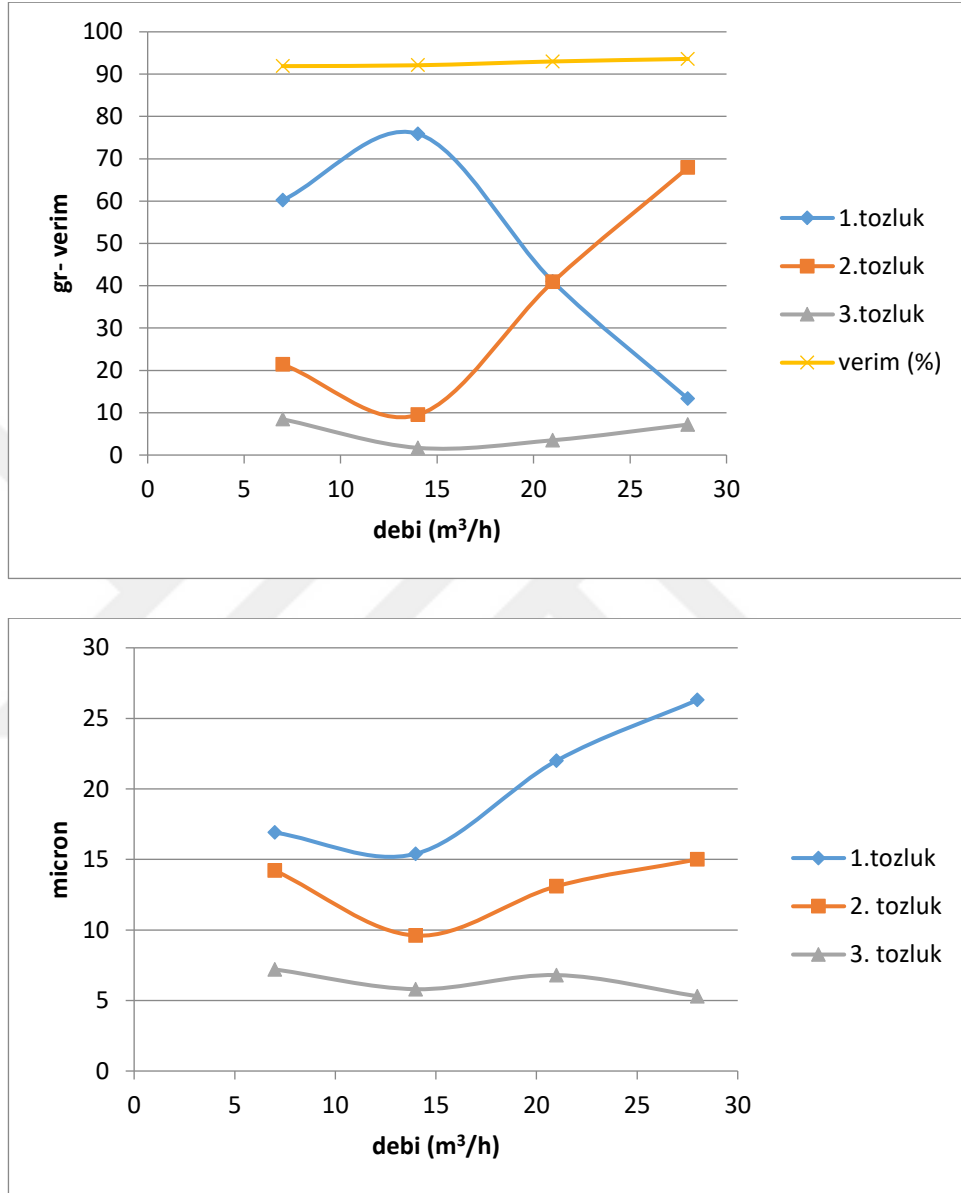
## Siklon 2 için sınıflandırma sonuçlarının incelenmesi

1.kısım ve 2.kısım deneylerinde incelenen parametrelerdeki değişimlerin amacı; siklon ayırıcının içerisinde, farklı kısımlarında, ne kadar farklı partikül boyutlarında tozların toplanabileceğini ve bu tozların ne kadar efektif bir şekilde toplanabileceğini incelemektir. Bu inceleme bize siklon ayırıcının sınıflandırma performansı hakkında bilgiler vermektedir.

Bu yapılan deneylere göre Siklon 2 ayırıcısında; 14 µm ortalama partikül boyutuna sahip kalsit tozunun sınıflandırması yapılırken, toplanabilen en küçük partikül boyutuna sahip toz 3,634 µm olurken, toplanabilen en büyük partikül boyutu ise 29,404 µm olmuştur. Verilen bu aralıklar her ne kadar 14 µm ortalama partikül boyutuna sahip bir toz için geniş aralıklarda olsa, bu toplanan tozların miktarları ve hangi konfigürasyonda elde edildiği de çok önemlidir. Bu açıdan bakıldığında Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.7'deki sonuçlar her bir konfigürasyona bağlı olarak daha detaylı olarak incelenmesi gerekir.

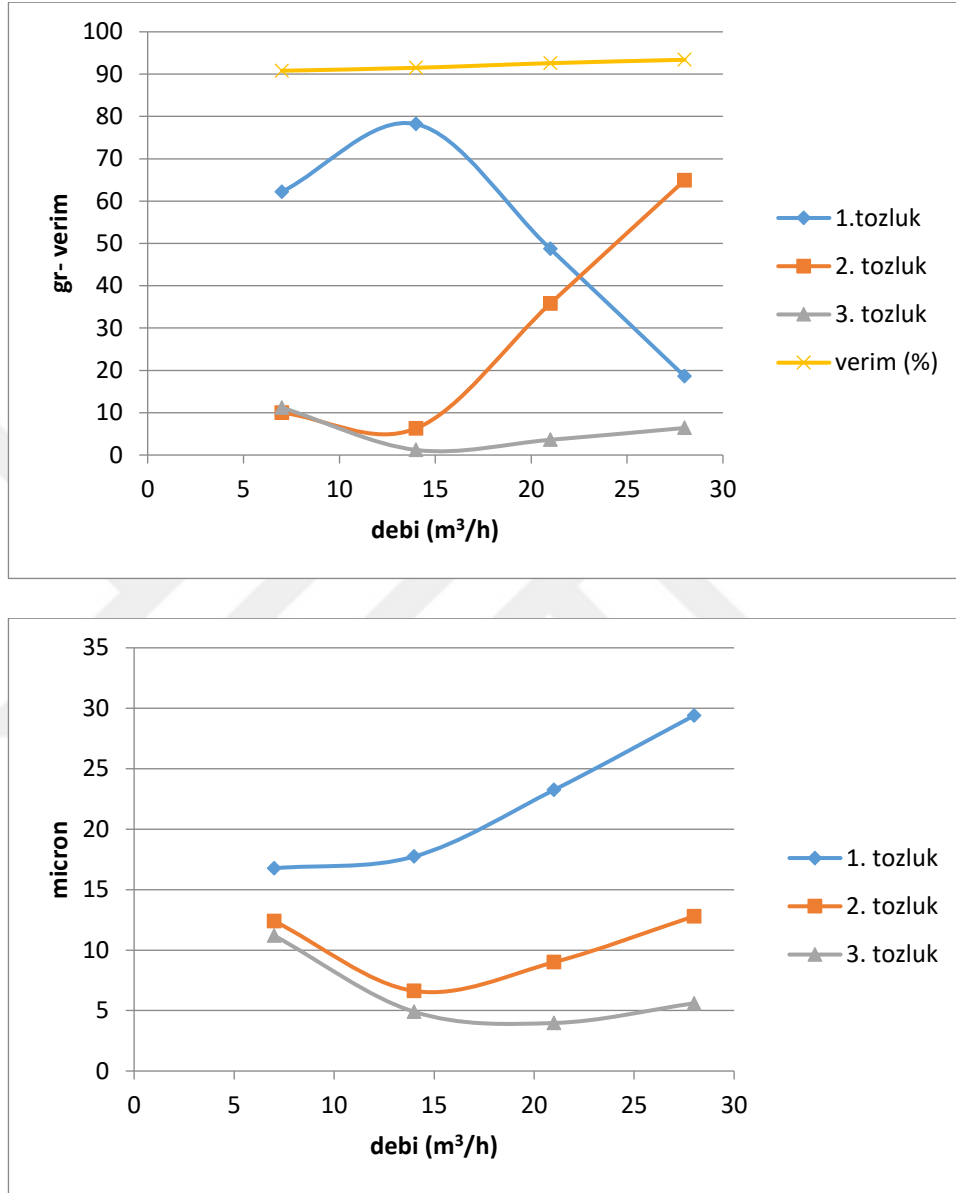
Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.6'da isimleri verilen konfigürasyonlarda yapılan deneylerin, her bir konfigürasyon için, toz toplayıcılarda toplanan tozun miktarı ve partikül boyutunun değişimi, debi değişimine göre sırasıyla verilmiştir.

Konf. 1.1 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi Şekil 4.8’de verilmiştir.



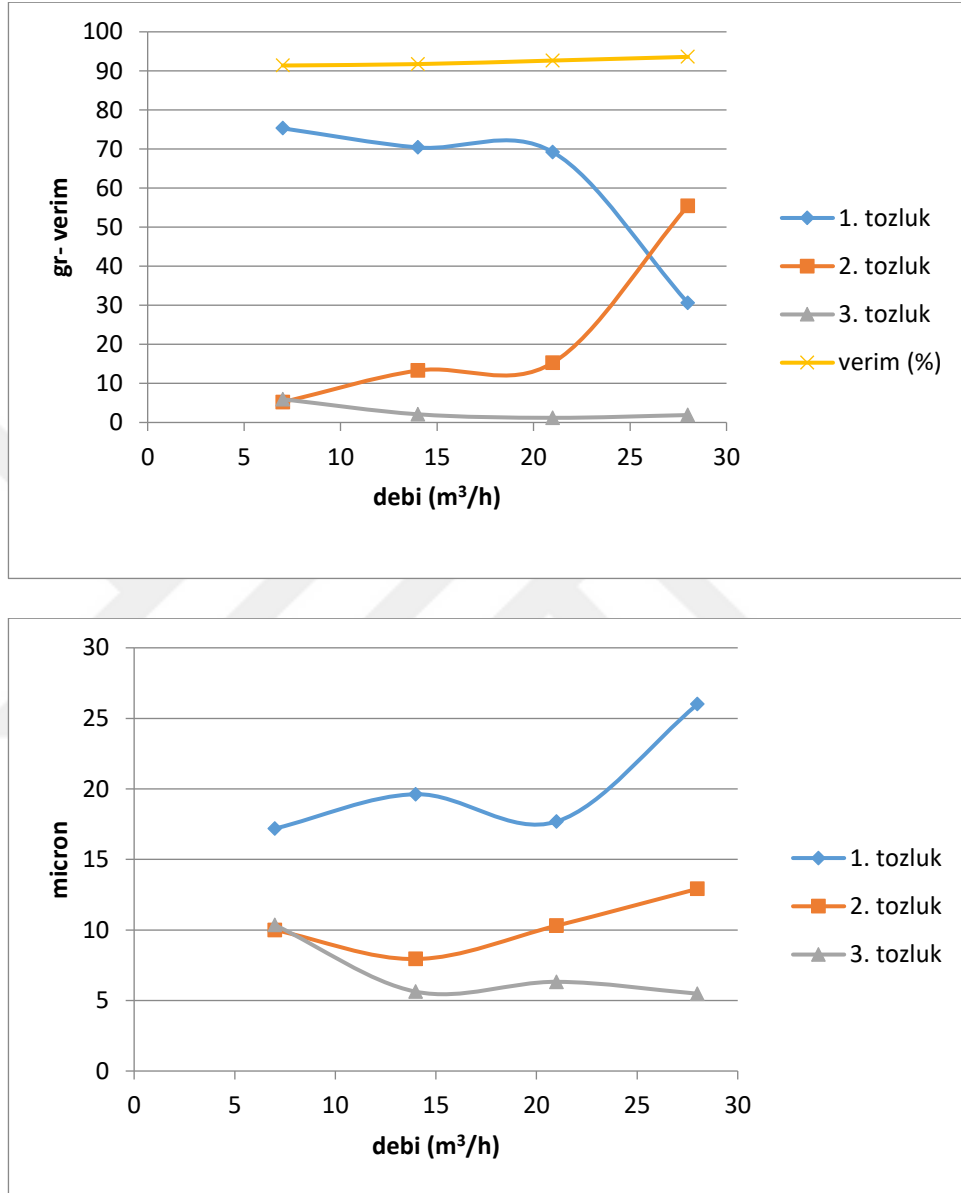
Şekil 4.8. Konf. 1.1 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi

Konf. 1.2 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 Konf. 1.2 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi

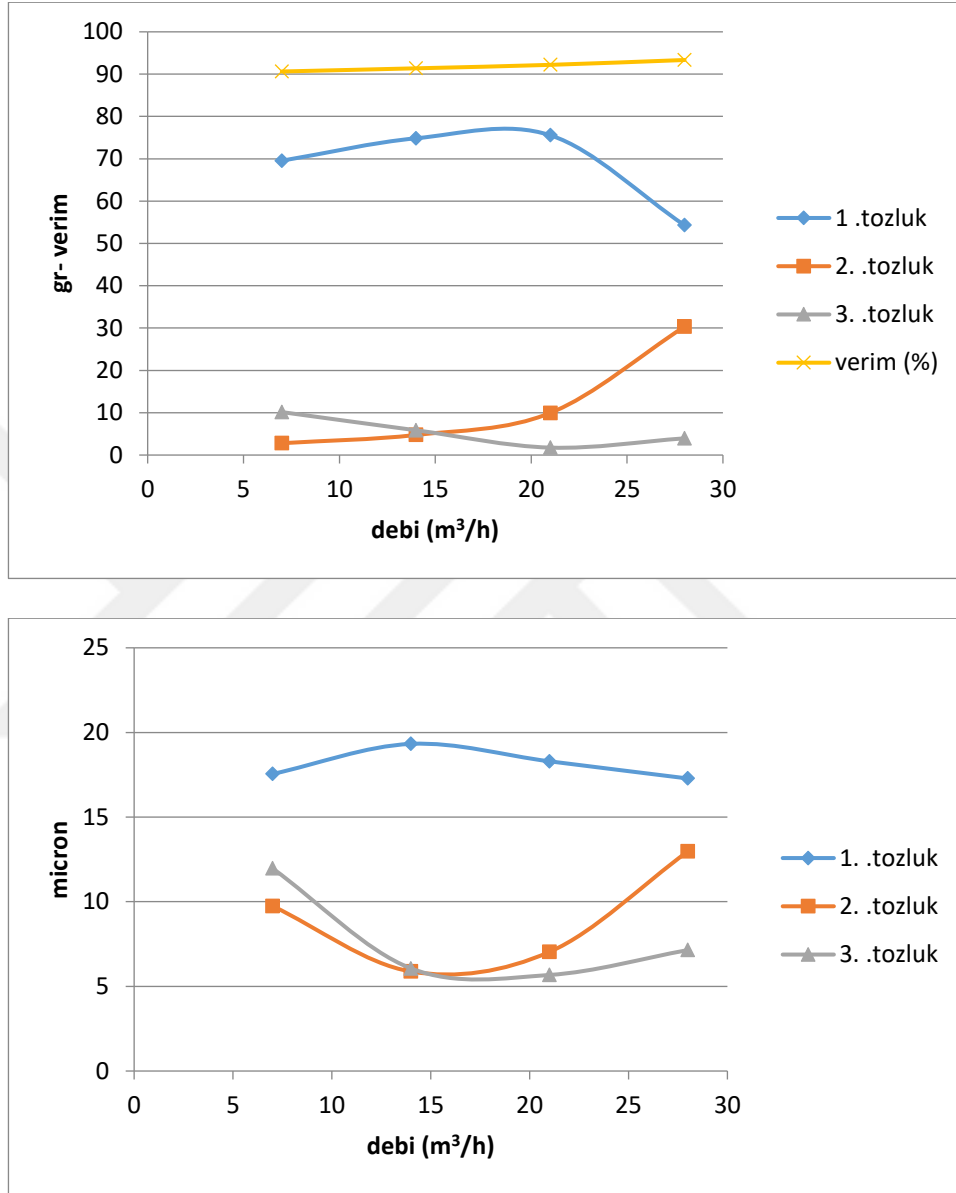
Konf. 1.3 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi Şekil 4.10'da verilmiştir.



**Şekil 4.10** Konf. 1.3 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi

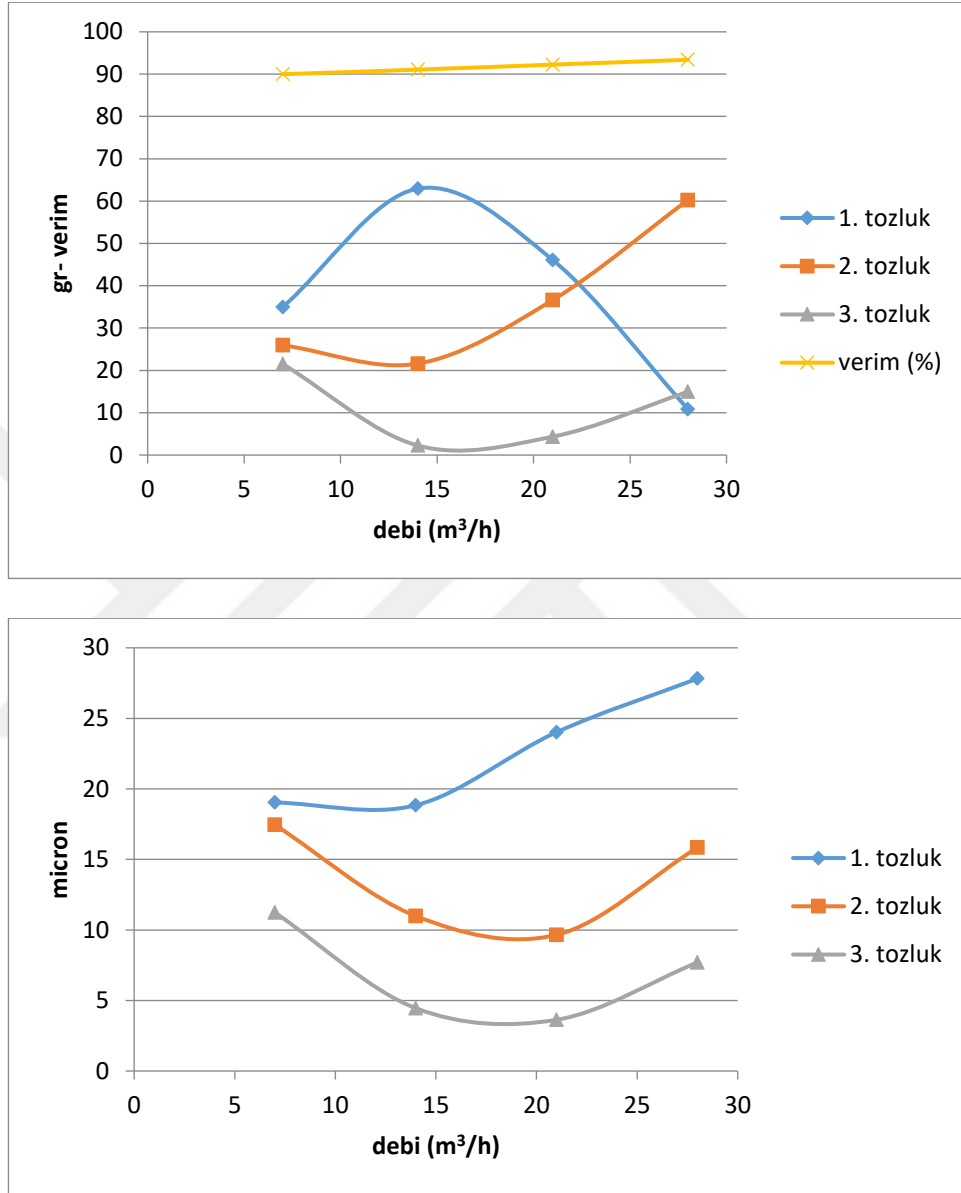


Konf. 1.4 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi Şekil 4.11’de verilmiştir.



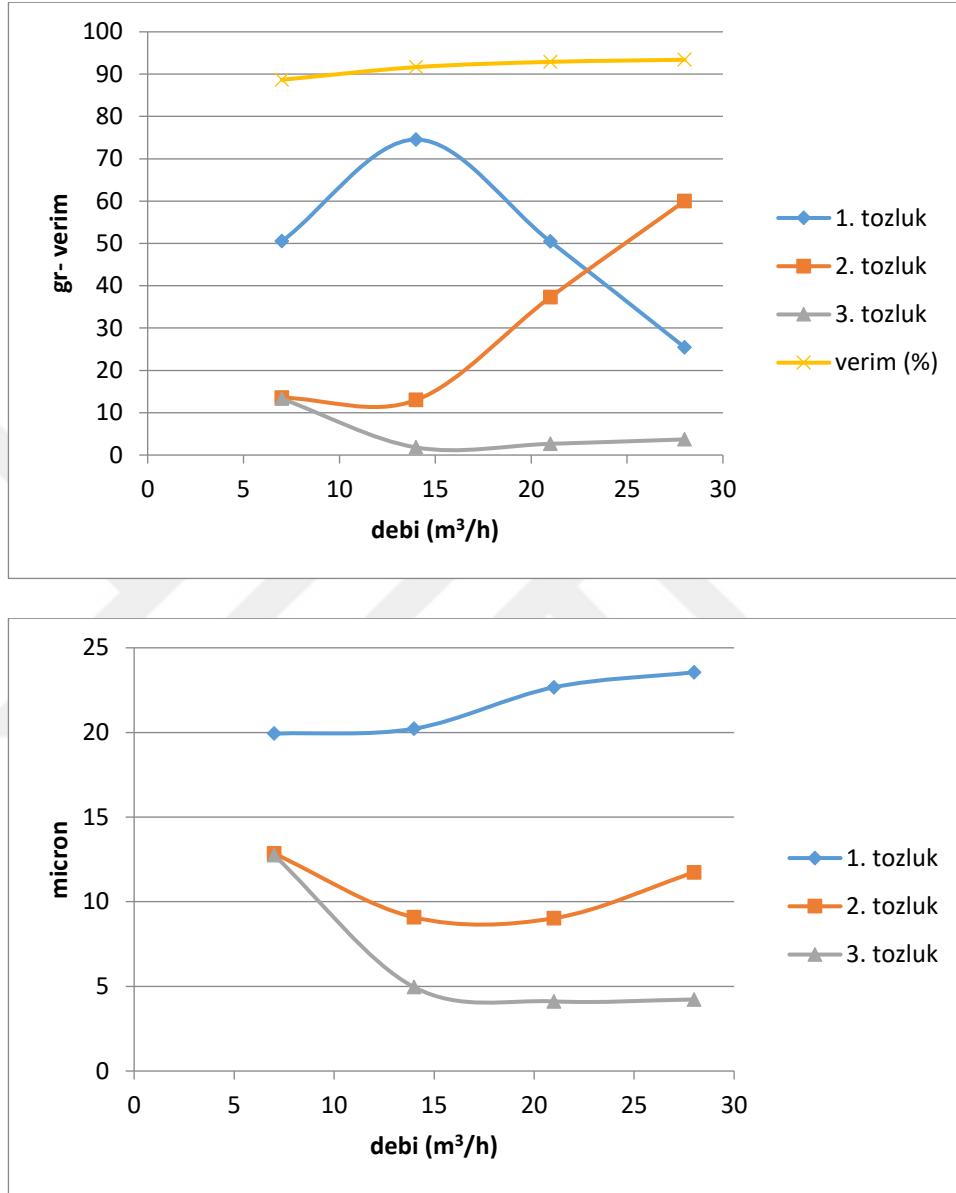
Şekil 4.11 Konf. 1.4 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi

Konf. 2.1 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi Şekil 4.12’de verilmiştir.



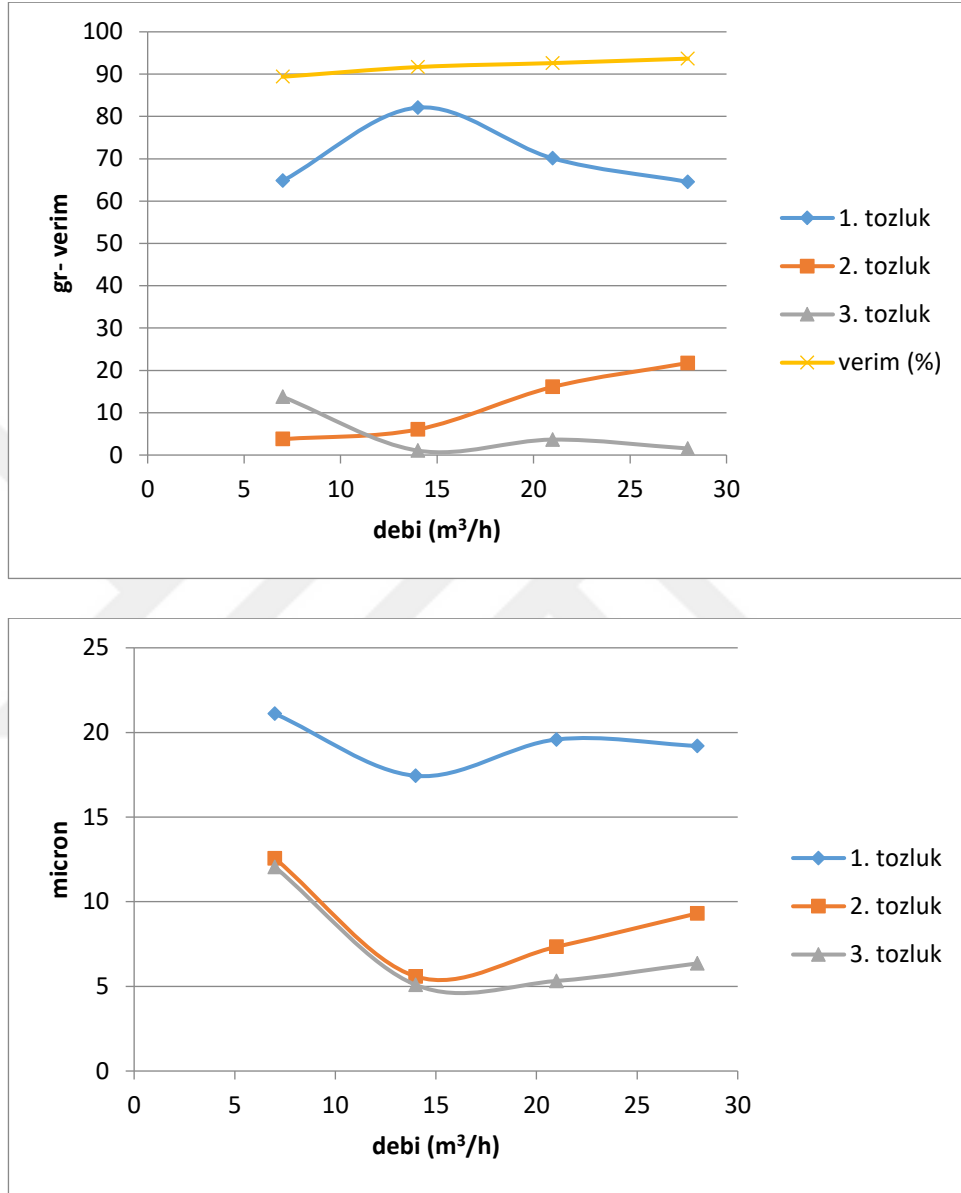
Şekil 4.12. Konf. 2.1 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi

Konf. 2.2 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Konf. 2.2 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi

Konf. 2.3 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14. Konf. 2.3 için; debi değişimine bağlı olarak, toz toplayıcılarda toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi

Tüm konfigürasyonların verdiği sonuç eğrilerine bakıldığında; genel olarak debiye bağlı değişimler tüm konfigürasyonlarda benzer, birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir. Sadece 7 m<sup>3</sup>/h debideki sonuçların verdiği eğriler konfigürasyonlara ve debilere göre kararlılık göstermemektedir. Bu debideki sonuçlar aynı zamanda diğer debilerdeki sonuç eğrilerine göre yapılacak olan tahmini sonuçları da karşılamamaktadır. Dolayısıyla; 7 m<sup>3</sup>/h debideki sonuçlar kararlı ve siklon ayırıcının performansına uygun verileri vermemektedir. Bunun sebebi olarak; Siklon 2 ayırıcının Siklon 1'e göre daha büyük ölçülerde olması sebebiyle, 7 m<sup>3</sup>/h debide siklon giriş kesitinin hızı toz hava karışımını iyi bir şekilde vakumlayamaması olarak düşünülmektedir. Bunu destekleyecek sebepler ise; 7 m<sup>3</sup>/h debide yapılan deneylerde, siklon ayırıcının giriş kanalında (toz ile havanın karıştığı kanalda) deney boyunca çok fazla toz birikmesi, siklon çıkış borusu etrafında, siklonun giriş kesitinin olduğu kısımda toz birikmesi yaşanması ve siklon cidarlarında statik elektriklenmeden dolayı tozların birikmesi. Bu belirtilerin, siklon ayırıcıya giren toz ve havanın nitelikli bir şekilde karışmamasından meydana geldiği düşünülmektedir. Yani 7 m<sup>3</sup>/h debi, siklon ayırıcıya giren tozlu havayı karıştırıp, yeterli santrifüj kuvvet oluşturamayıp yeterli bir şekilde vortex sağlayamadığı için uygun değildir. Bu yüzden sonuçlar incelenirken 7 m<sup>3</sup>/h debideki deney sonuçları göz ardı edilecektir.

7 m<sup>3</sup>/h debideki deney sonuçlarına bakılmaksızın konfigürasyonlara ait eğriler incelendiğinde; 1.tozluk diye tabir edilen toz toplayıcıdaki toplanan tozların miktarı, debinin artışıyla düzgün bir azalış göstermektedir. Bunun nedeni; düşük debilerde oluşan düşük santrifüj kuvvet, yüksek bir vortex gücü sağlayamadığından, toz partikülleri en üst toz toplayıcı olan 1.tozluğa düşmekte ve siklon ayırıcının alt kısımlarına ulaşamamaktadır. Diğer yandan yüksek debilerde oluşan güçlü vortex, toz partiküllerini siklon ayırıcının daha alt kısımlarına ulaştırıp, siklon ayırıcı içerisinde sınıflandırma açısından tozları daha orantısal olarak dağıtmaktadır.

2.tozluk olarak adlandırılan, siklon ayırıcının ortasında bulunan toz toplayıcıda toplanan toz partiküllerinin miktarı debi atışıyla birlikte artış göstermektedir. Bunun sebebi ise yine 1.tozlukta olduğu gibi, debi artışıyla artan santrifüj kuvvetlerin toz partiküllerini daha iyi döndürüp siklonun alt kısımlarına ulaştırmasıdır.

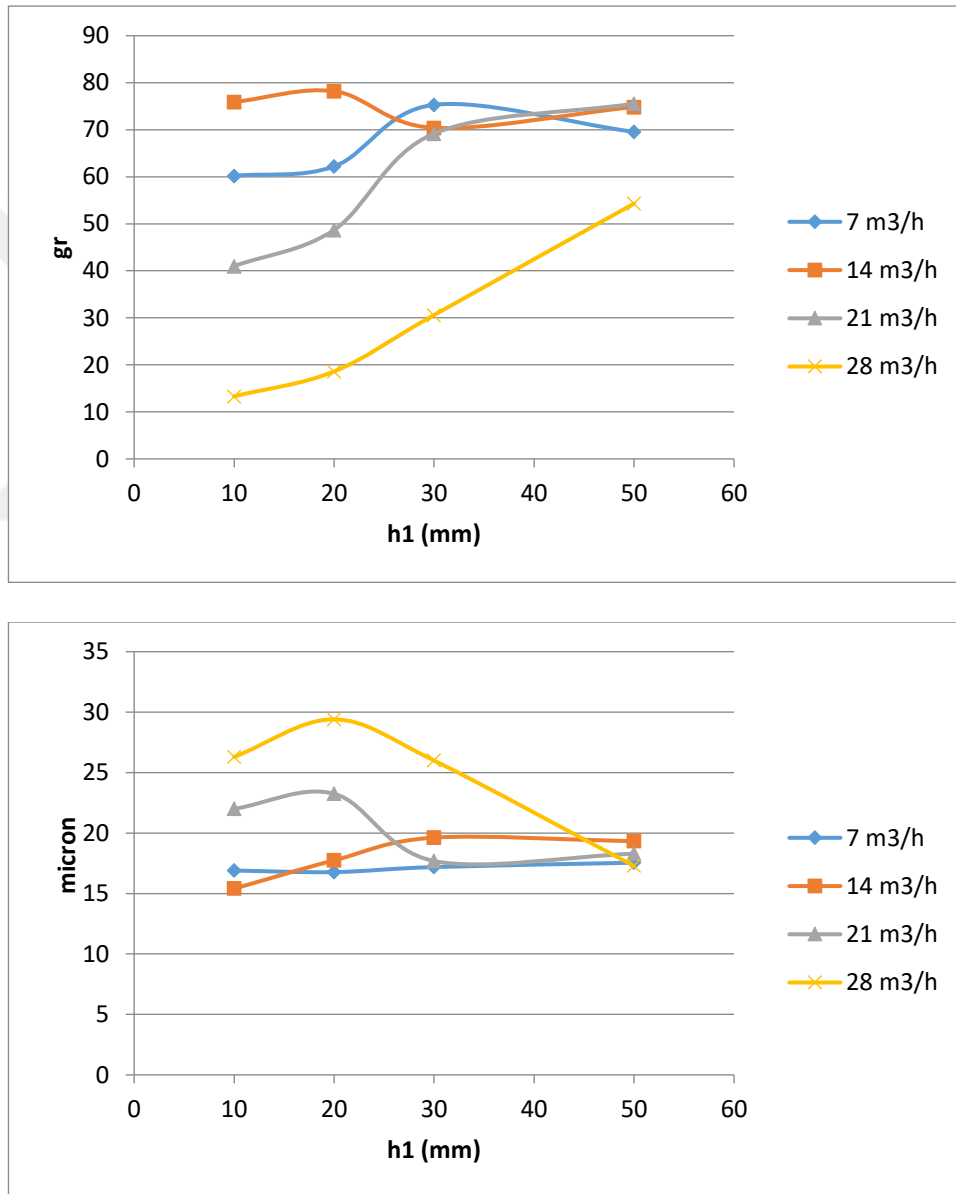
3.tozlukta toplanan toz miktarı ise debi artışıyla beraber 2.tozluaktaki kadar olmasa da küçük bir artış göstermiştir ya da değişmemiştir. Artan debiyle artan döndürme gücüne rağmen 3.tozlukta toplanan toz miktarlarında debi artışıyla kayda değer bir artış olmamasının sebebi, oluşan vortex uzunluğunun siklon ayırıcının sanal gövde uzunluğuna erişememesinden kaynaklanmaktadır. Bütün konfigürasyonlara ait sonuçlara da bakıldığında, 3.tozlukta diğer tozluklara oranla az bir toz miktarının toplanması bunu destekler niteliktedir. Yani, eğer geniş aralıklı bir sınıflandırma yapılmak istenmiyorsa, Siklon 2 için sanal gövde uzunluğu kısaltılabilir.

Toz toplayıcılarda toplanan toz partiküllerinin boyutlarına bakıldığında; siklon ayırıcının en üstünde bulunan 1.tozlukta en büyük partiküller toplanırken, siklon ayırıcının en altında bulunan 3.tozlukta ise en küçük partiküller toplanmıştır. Siklon ayırıcıya giren toz hava karışımı, siklon ayırıcının en üstünde bu tozlu hava sahip olduğu en büyük santrifüj kuvvetine sahiptir. Dolayısıyla büyük santrifüj kuvvetlerin savurduğu daha büyük toz partikülleri siklon ayırıcının en üst bölümlerinde daha fazla savrulmaktadır. Bu kısımda bulunan en üstteki toz toplayıcı olan 1.tozluğa bu büyük partiküller düşmektedir. En büyük toz partiküllerini bırakan tozlu hava, siklonun ortalarında bulunan 2.tozluğa ortalama toz partiküllerini bırakır. Daha sonra çoğu miktarını 1. ve 2.tozluklarda bırakan tozlu hava içerisindeki toz partikülleri ataletlerini kaybedip, ortası kapalı olan 3.tozluğa düşmektedir. Bu 3.toz toplayıcısına düşen toz partikülleri ise büyük partiküllerini üst kısımlarda bıraktığından dolayı, tozlu hava içerisinde bulunan en küçük çaplı partiküllerdir.

Toz toplayıcılarda toplanan toz partikülleri, debi artışıyla beraber de her bir konfigürasyonda artış göstermektedir. Bunun sebebi ise artan siklon giriş hızının oluşturduğu daha büyük santrifüj kuvvetlerin, daha büyük partikülleri cidara savurabilmesindedir.

Hem 1.kısım deneylerinde hem de 2.kısım deneylerinde konfigürasyonlar oluşturulurken, sabit tutulan bir bilezik boyu mevcuttur. Değişimi oluşturan konfigürasyon elemanı

olarak ise 2 kısımda da en üstte, 1.toz toplayıcının üzerinde bulunan bileziğin boyunun uzunluğunun sırasıyla 10, 20, 30 ve 50 mm olarak değiştirilmesi kullanılmıştır. Bu konfigürasyon çeşitliliğini oluşturan en üstteki toz toplayıcının üzerindeki bileziğin boyuna 'h1' denirse ve bu konfigürasyonlar debiye bağlı olarak incelenirse Şekil 4.15'te gösterilebilir. Burada toz miktarı ve partikül boyutu olarak 1.tozlukta toplanan kalsit tozu incelenmiştir.



**Şekil 4.15.** Debi ve konfigürasyon değişimine bağlı olarak en üstteki tozlukta toplanan toz miktarı ve partikül boyutu değişimi

### 4.3. Fraksiyonel Verimi

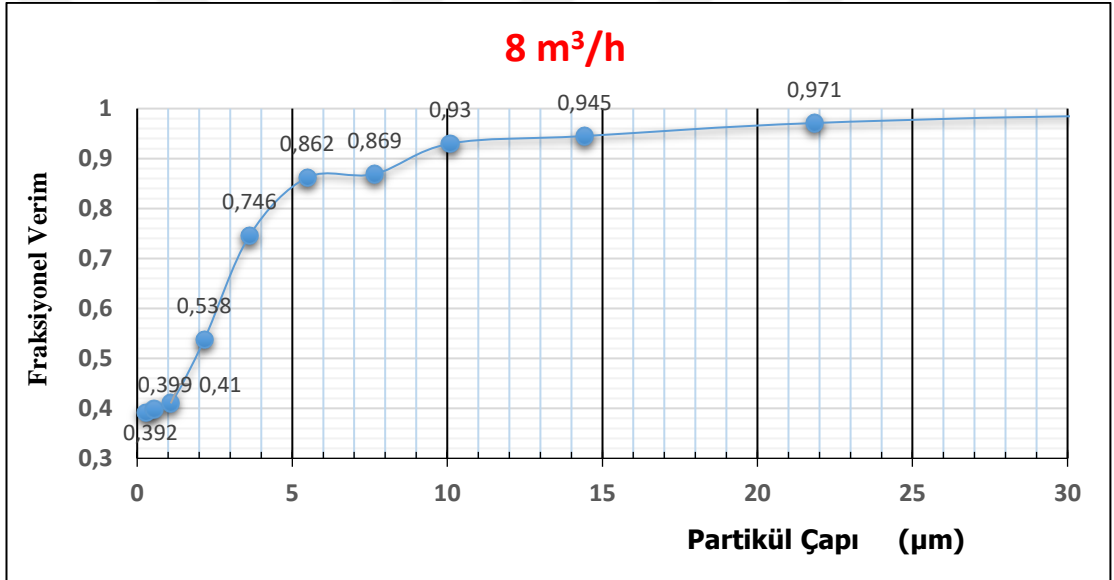
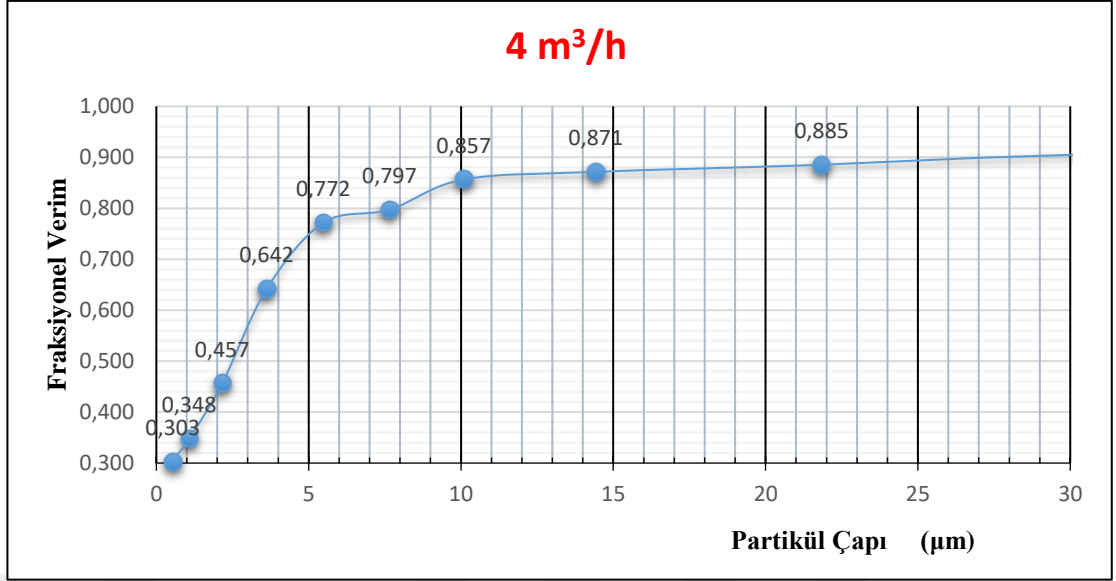
Yapılan deneylerden elde edilen partikül boyut analizlerinden; her bir partikül boyutu için toplanan tozların, siklona giren toz miktarına oranını hesaplamak mümkündür. Eğer her bir debi için yapılan deneylerde, en küçük toz boyutundan başlayarak, her bir partikül boyutu için toplama verimi hesaplanırsa siklonun o debideki fraksiyonel verimi elde edilir. Bu fraksiyonel verimlere bakarak siklonun incelenen debide, toplamayı başardığı tozların partikül boyutuna göre değişimini görmek mümkündür.

Fraksiyonel verim incelemesi de yine iki ayrı siklon tasarımı için (Siklon 1 ve Siklon 2) olarak incelenmiştir.

#### 4.3.1 Siklon 1 Fraksiyonel Verimi

Fraksiyonel verim incelemesi debi değişimine bağlı olarak, bir yüksek debi ve bir alçak debi olmak üzere incelenmiştir. Siklon 1 için yapılan deneyler 2 ve 10 m<sup>3</sup>/h debi aralığında yapıldığından dolayı, düşük debi olarak 4 m<sup>3</sup>/h, yüksek debi olarak 8 m<sup>3</sup>/h olan debideki sonuçlar ele alınmıştır. Konf. 2 için yapılan hesaplamalara göre Siklon 1'in fraksiyonel verim eğrileri, Şekil 4.16'da verilmiştir.





**Şekil 4.16.** Siklon 1 için 4 ve 8 m<sup>3</sup>/h debide fraksiyonel verim eğrileri

Fraksiyonel verim eğrilerine bakıldığında, her iki debi değerinde de çok küçük partikül boyutlarında siklonun verimi %30 civarında kalırken, partikül boyutu büyüdükçe fraksiyonel verim değeri de artarak 1'e yani %100'e yaklaşmaktadır. Bu eğrilerden de görüleceği gibi siklon ayırıcının daha büyük partikülleri, daha yüksek verimle tutabileceğini söylemek mümkündür.

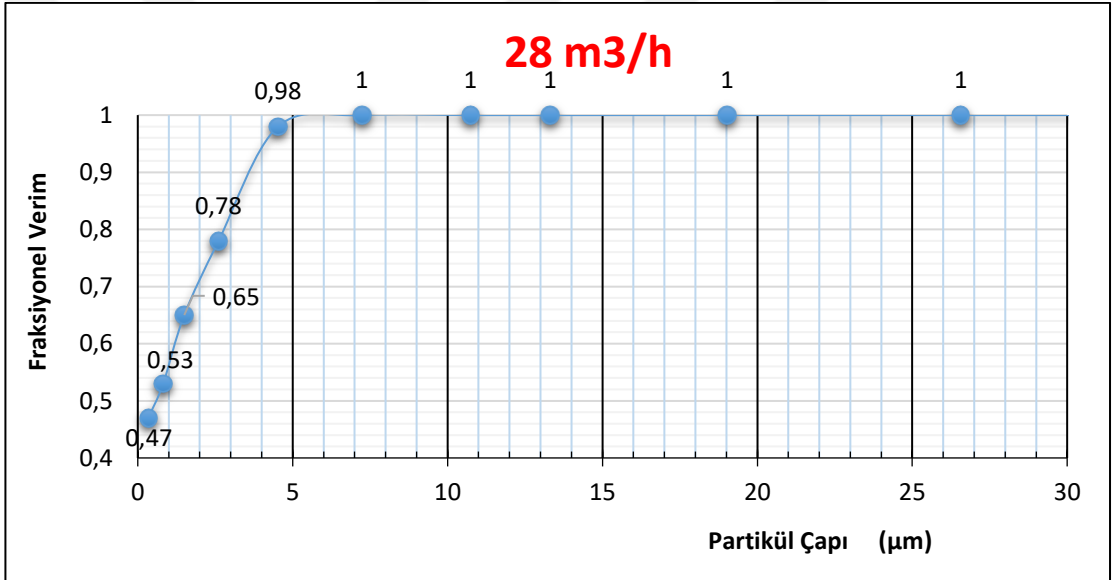
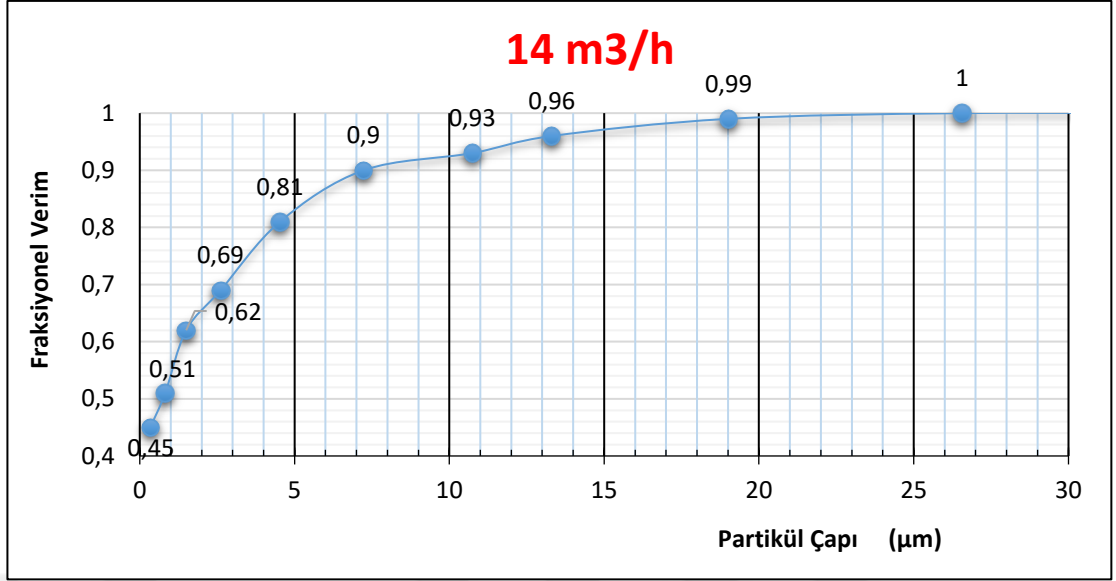
Bu eğrilerden siklonun kritik partikül çaplarını da tayin etmek mümkündür. Kritik partikül çapı denilen %50 verimle siklonun tuttuğu partikül çaplarıdır. Siklon 1 için deneylerde 4 ve 8 m<sup>3</sup>/h için sırasıyla 2.6 ve 1.95 mikron olduğu görülmektedir.

#### 4.3.2 Siklon 2 Fraksiyonel Verimi

Siklon 2 için incelenecek fraksiyonel verim eğrileri de Siklon 1’de olduğu gibi bir alçak bir yüksek debi olmuştur. Siklon 2 için yapılan deneylerde debi aralığı 7 m<sup>3</sup>/h – 28 m<sup>3</sup>/h olduğu için, 14 ve 28 m<sup>3</sup>/h debide Konf.1.3 için fraksiyonel verimler hesaplanmıştır. Bu hesaplanan değerlere göre oluşturulan fraksiyonel verim eğrileri Şekil 4.17’de verilmiştir.

Şekil 3.17’deki fraksiyonel verim eğrilerine bakıldığında, Siklon 1 için incelenen fraksiyonel verim eğrilerinde olduğu gibi, fraksiyonel verim değeri partikül boyutu arttıkça 1’e yaklaşmakta ve belli bir partikül boyutundan sonra %100’e ulaşmaktadır. Bu da yine bize siklon ayırıcıların büyük partikülleri daha yüksek verimle tuttuğunu göstermektedir.

Debi artışıyla fraksiyonel verim eğrilerine bakıldığında; fraksiyonel verim değeri 1’e yani %100’e daha küçük partikül boyutlarında ulaşmaktadır. Yani yüksek debilerde partiküllerin toplanma veriminin daha fazla olduğu buradan da anlaşılmaktadır. Çünkü artan debiyle artan santrifüj kuvvetler, daha yüksek siklon giriş hızlarında daha büyük partikülleri daha fazla siklon cidarına savurabilmektedir.



Şekil 4.17. Siklon 2 için 14 ve 28 m<sup>3</sup>/h debide fraksiyonel verim eğrileri

Siklon 2 için kritik partikül çapları ise 14 ve 28 m<sup>3</sup>/h debide sırasıyla 0,76 ve 0,58 mikron olduğu görülmektedir.

#### 4.4. Basınç Kaybı

Basınç kaybı ifadesi, siklon ayırıcılar için iki nokta arasındaki statik basınç kaybını ifade etmektedir. Bu statik basınç kaybı siklon ayırıcıların performansını etkilediğinden istenmeyen bir durumdur. Dolayısıyla siklon ayırıcılarda oluşan bu basınç düşümü istenmez.

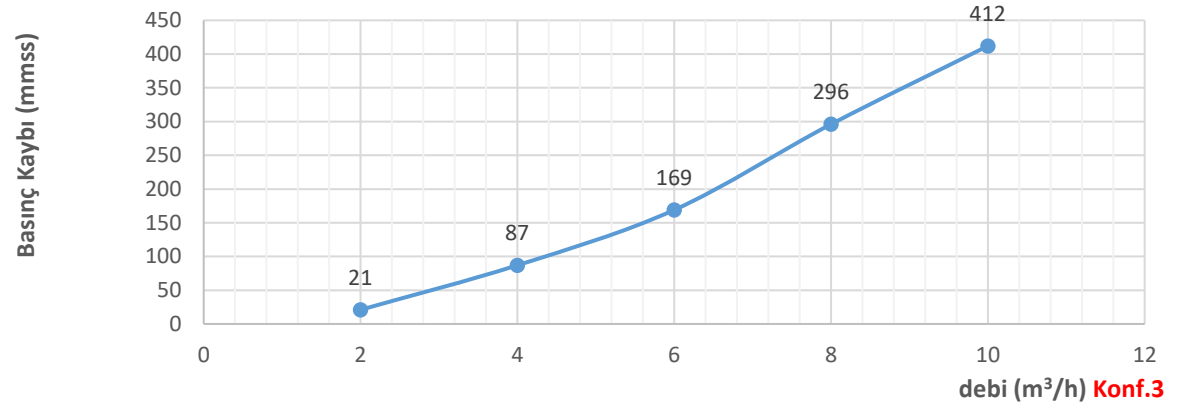
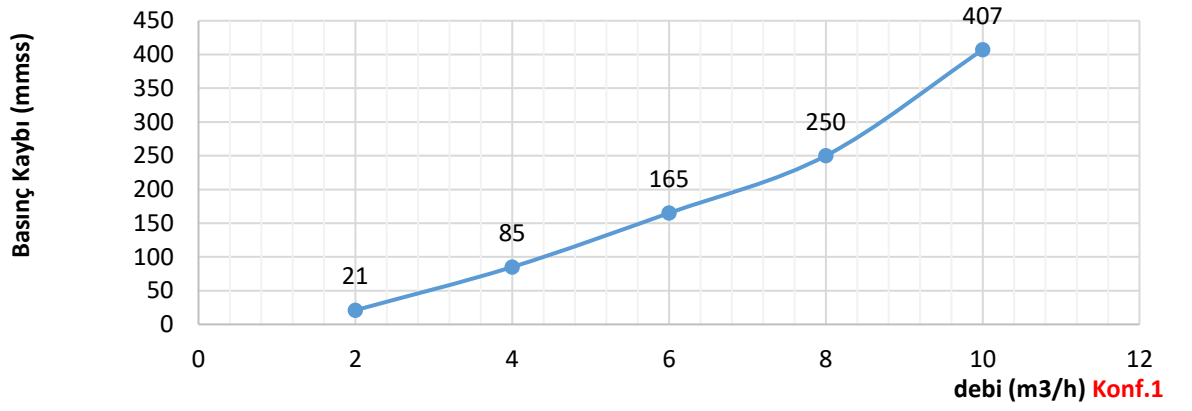
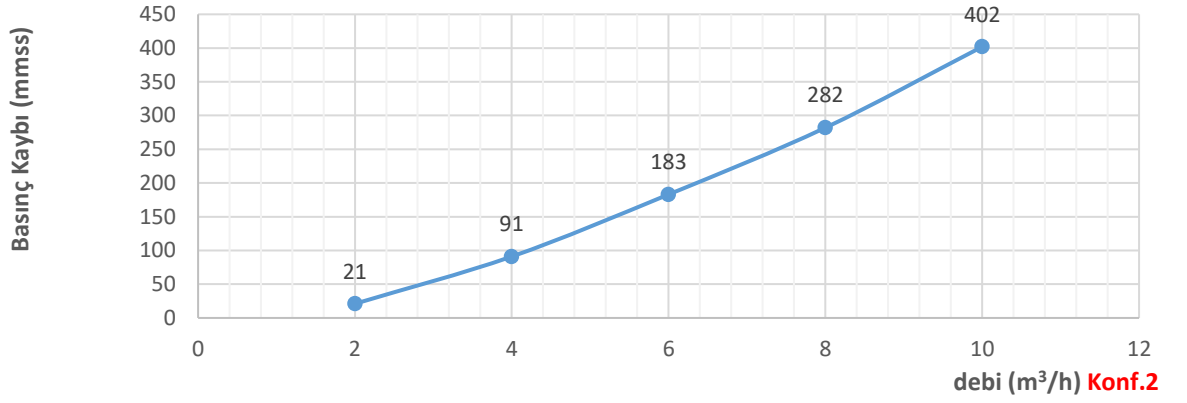
Bu çalışmada yapılan deneylerde siklon ayırıcılarda oluşan basınç kaybı; siklon çıkışı ve atmosfere açık bir alan arasında ölçülmüştür. Testo 521 basınç farkı ölçer cihaz ile ölçülen basınç kaybı, bir ucu Şekil 3.6'da gösterildiği üzere siklon çıkışına bağlı borunun, siklon çıkışından itibaren yaklaşık 100 mm ilerisinden alınırken, diğer ucu da atmosfere açık olacak şekilde bırakılmıştır. Deneyler boyunca debi değişimine bağlı olarak incelenen basınç kayıpları mmss cinsinden ölçülmüştür.

Ayrıca basınç kaybı değeri debiye bağlı olarak boyutsuz bir değer olan K katsayısı ile olan değişimi ile de incelenmiştir. Bu K katsayısı değeri denklem 3.2'de verilmiştir.

$$K = \frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot V_{giriş}^2} \quad (4.2)$$

##### 4.4.1 Siklon 1 Basınç Kayıpları

Siklon 1 için yapılan deneylerde, her bir debi için basınç kaybı ayrı ayrı ölçülmüştür. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlardan Şekil 4.6'da belirtilen 3 konfigürasyon için de debiye bağlı basınç kaybı değişimleri Şekil 4.18'de verilmiştir.

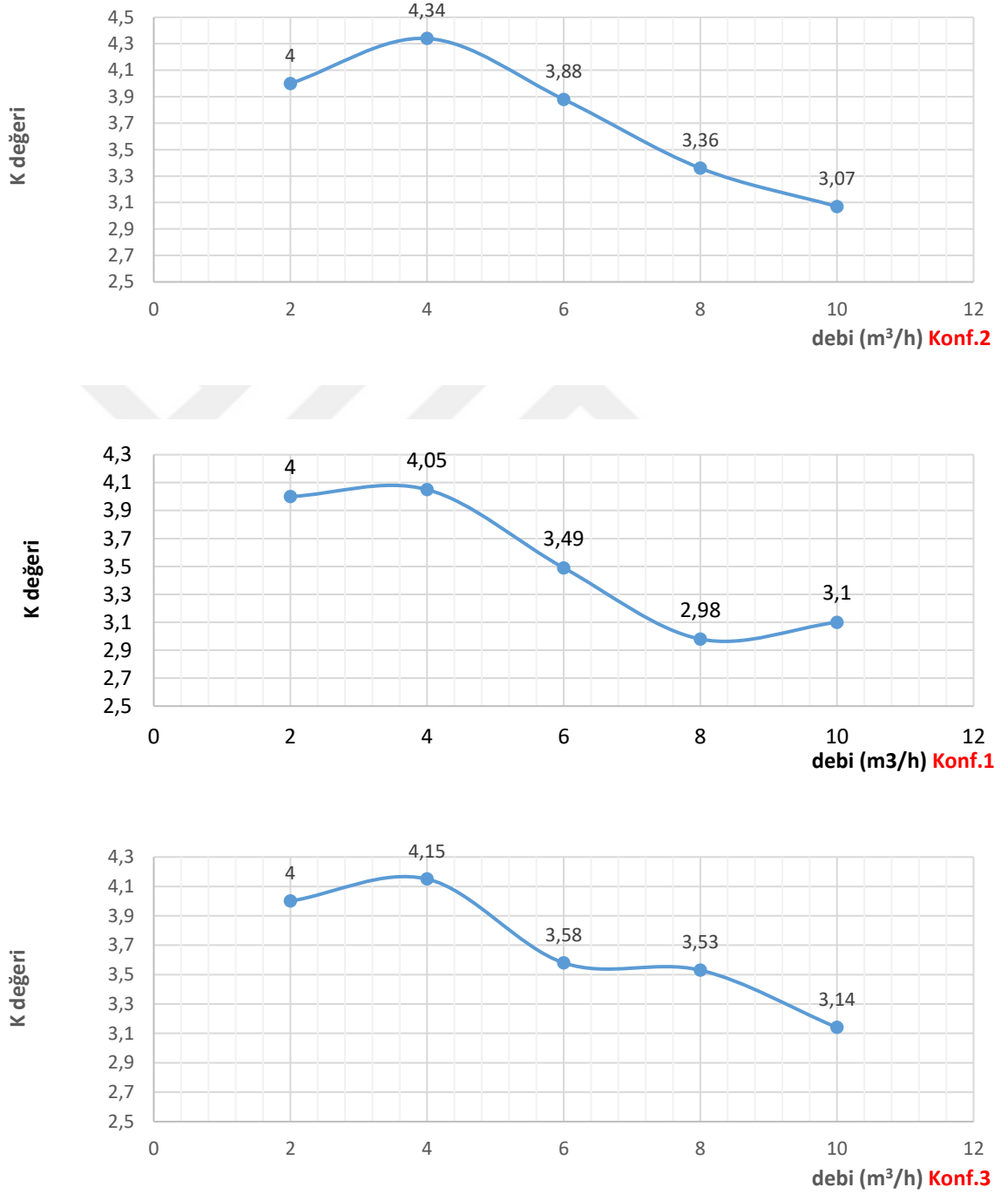


**Şekil 4.18.** Siklon 1 için 3 konfigürasyon için debi değişimine bağlı olarak basınç kaybı değişimi

Şekil 4.18'deki basınç değişimi eğrilerine bakıldığında, debi artışıyla beraber basınç kaybının da düzenli bir şekilde arttığı görülmektedir. Bu da bize artan siklon giriş hızlarının, siklon içerisindeki santrifüj kuvvetleri artırıp toplama verimini artırırken,

siklon ayırıcının performansını olumsuz yönde etkileyen basınç kaybını da artırdığını göstermektedir.

Basınç kaybını boyutsuz olarak veren K katsayısının da debi ve konfigürasyonlara bağlı değişimi Şekil 4.19'da verilmiştir.



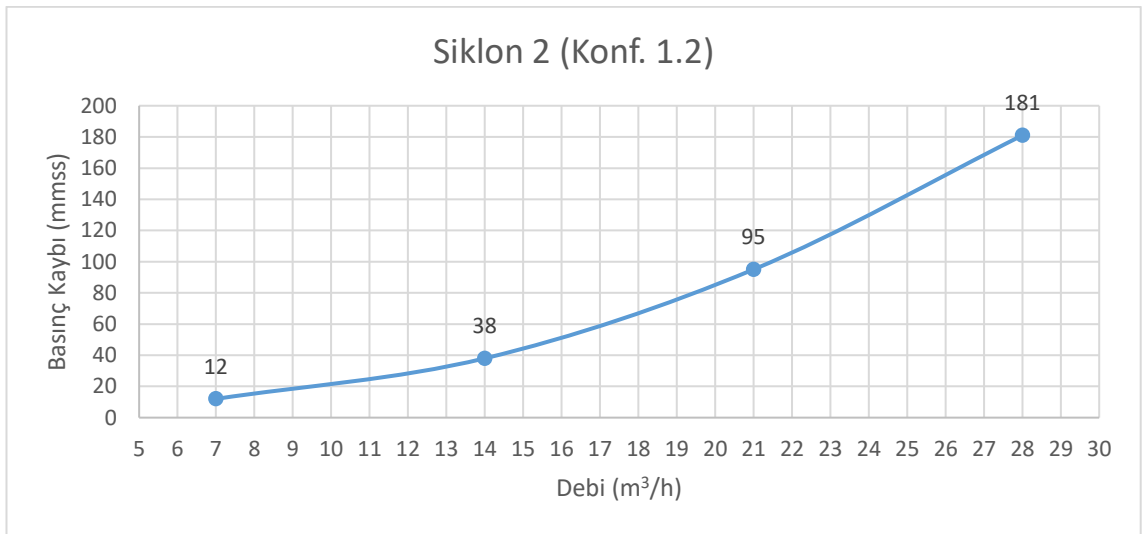
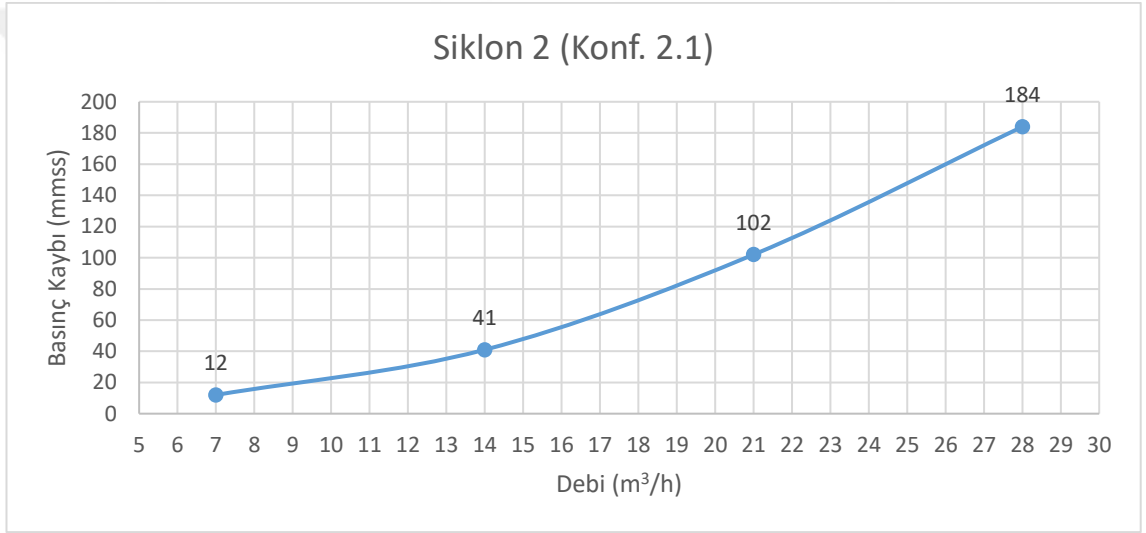
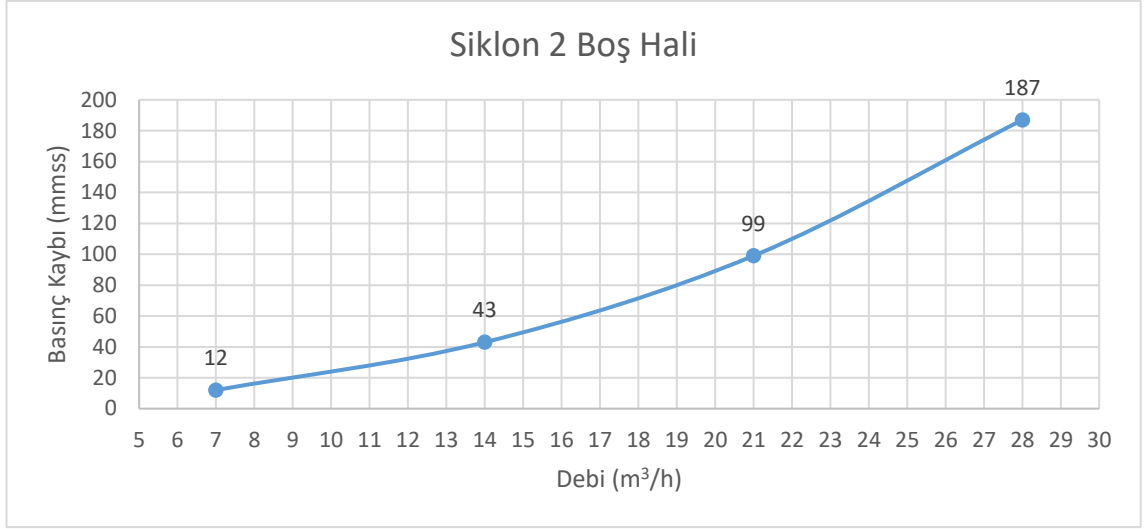
Şekil 4.19 Siklon 1 için 3 konfigürasyon için debi değişimine bağlı olarak K değeri değişimi

Elsayed ve Lacor (2010) bu çalışmadaki gibi Stairmand tipi bir siklonla yaptıkları deneylerde, siklon giriş hızına paralel olarak siklon basınç kaybının arttığı görmüşlerdir. Hız artışının siklon toplama verimini artırırken, basınç kaybının artışının toplama verimi olumsuz etkilediği için; siklon giriş hızının artırılmasında, basınç kaybını optimize edecek yollar araştırmışlardır.

#### **4.4.2 Siklon 2 Basınç Kayıpları**

Siklon 2 için yapılan deneylerde çok fazla konfigürasyon kullanıldığı için, basınç kaybının incelenmesi; siklonun boş hali, konf.2.1, ve konf. 1.2 için yapılmıştır. Bu incelemelere ait sonuçlar Şekil 4.20’de verilmiştir.

Bu basınç kaybı eğrilerine bakıldığında, Siklon 1’de yapılan inceleme gibi bu siklon için de basınç kaybının debi ile beraber arttığı görülmektedir. Bu incelemede Siklon 2 için yapılan deneylerde; siklonun boş hali ve belirlenen 2 konfigürasyonda sonuçlar verilmiştir.



**Şekil 4.20.** Siklon 2 için farklı konfigürasyonlarda basınç kaybının incelenmesi

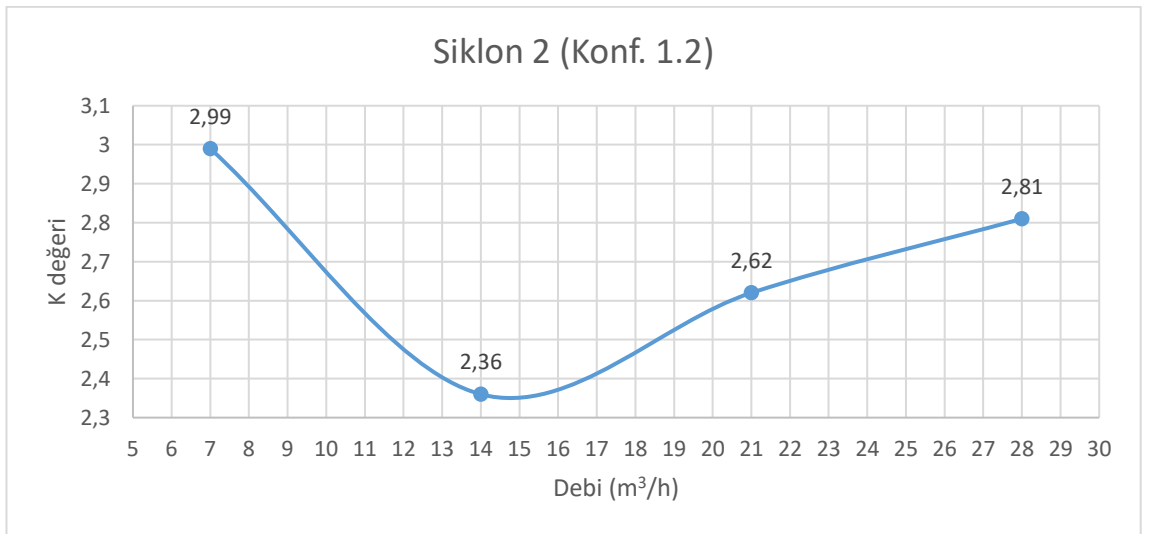
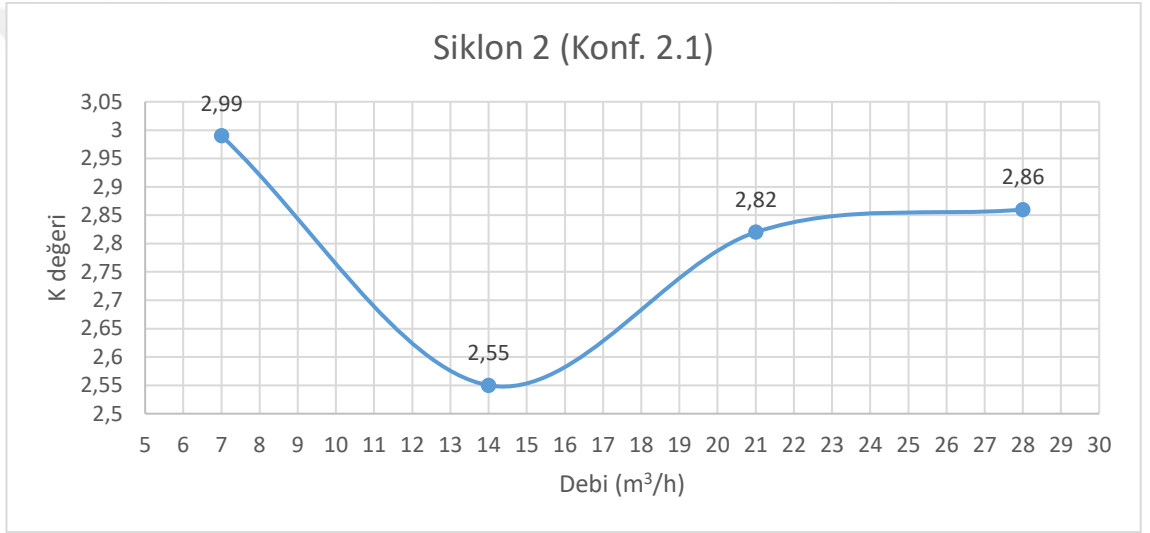
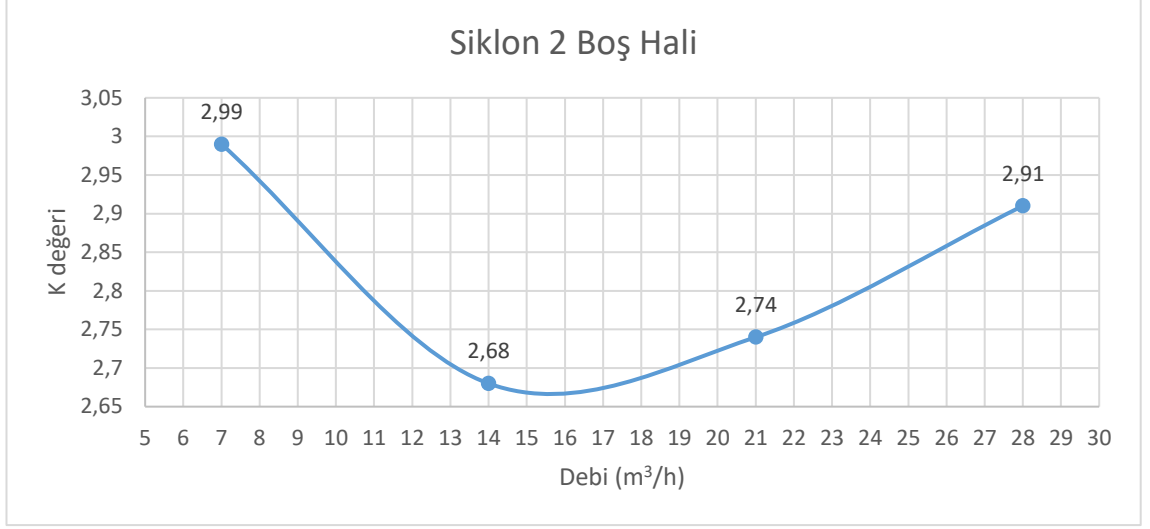


Şekil 4.20'deki sonuçlar incelendiğinde, siklonun içinin boş halinde ve verilen 2 konfigürasyonda sonuçların hemen hemen aynı olduğu görülmüştür. Bu da bize basınç değişiminin yapılan deneylerde konfigürasyondan bağımsız olduğunu göstermektedir.

Siklon 2 için yapılan deneylerde; en düşük debi olan 7 m<sup>3</sup>/h debide 12 mmss basınç kaybı varken, en yüksek debi olan 28 m<sup>3</sup>/h debide en yüksek 187 mmss basınç kaybı olmuştur. Siklon 1 için yapılan deneylerde ise 2 m<sup>3</sup>/h debide 26 mmss basınç kaybı olurken, 10 m<sup>3</sup>/h debide 402 mmss basınç kaybı yaşanmıştır.

Siklon 1 için 4 m<sup>3</sup>/h debide siklon giriş hızı 15,52 m/s'dir. Siklon 2 için ise 14 m<sup>3</sup>/h debide siklon giriş hızı 16,2 m/s'dir. Görüldüğü üzere Siklon 1 ile Siklon 2'nin eşit siklon giriş hızlarına sahip olduğu debiler sırasıyla 4 ve 14 m<sup>3</sup>/h debileridir. Her iki siklon için bu debilerdeki basınç kayıplarına bakıldığında, Siklon 1 ile Siklon 2 için sırasıyla 91 ve 43 mmss olduğu görülmektedir. Yani aynı siklon giriş hızlarında Siklon 2, Siklon 1'e göre daha az basınç kaybına sahip olmuştur. Aynı siklon giriş hızlarına sahip olduğu için Siklon 2 için yapılan deneylerde daha az basınç kaybının olmasının nedeni siklon gövdesinin Siklon 1'e göre daha büyük olmasıdır. Bu durumda siklon gövdesinin boyutunun büyümesinin basınç kaybını azaltan bir faktör olduğu anlaşılmaktadır.

Basınç kaybını boyutsuz olarak veren K katsayısının da debi ve konfigürasyonlara bağlı değişimi Şekil 4.21'de verilmiştir.



**Şekil 4.21** Siklon 2 için farklı konfigürasyonlarda K değerinin incelenmesi

Shepherd ve Lapple (1939)'da yaptıkları deneysel çalışmalarda basınç kaybı ve siklon giriş hızları arasındaki bağıntı hakkında benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Ramachandran ve ark. (1995) siklonlar için bir matematiksel model kurmuşlardır. Minimum basınç kaybı sağlamak adına bir model geliştirmişlerdir. Bu modelle aynı zamanda maximum toplama verimi de elde edebilmişlerdir.

Fei (1996) basınç kaybı ve siklon giriş geometrisi arasındaki ilişkiyi araştırdığı bir çalışma yapmıştır. Üç değişik siklon giriş geometrisi kullandığı çalışmada, bu farklı giriş geometrilerinde yaptığı deneyde, siklon giriş geometrisinin alanı arttıkça basınç kaybının da buna paralel olarak arttığını görmüştür. Buradan, siklon geometrisiyle beraber artan siklon giriş hızının basınç kaybını artırdığı anlaşılmaktadır.

## 5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada; boyutsal fark bulunan, teğetsel girişli iki Stairmand tipi siklon ile deneysel inceleme gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel incelemede; siklona içerisinde kalsit tozu bulunan tozlu hava gönderilerek, her iki siklon ayırıcının da performans parametreleri incelenmiştir. Bu parametreler; siklonun toplama verimi, sınıflandırma performansı, fraksiyonel verimleri ve basınç kayıpları olmuştur.

Bu çalışma sonunda elde edilen veriler ışığında bazı sonuçlara ulaşılmıştır:

Siklon 1 için 2 ile 10 m<sup>3</sup>/h debi aralığında, Siklon 2 için 7 ile 28 m<sup>3</sup>/h debi aralığında yapılan deneysel incelemede, debi artışıyla, yani siklon giriş hızının artışıyla beraber, siklon ayırıcının içerisinde tozlu havaya uygulanan santrifüj kuvvetlerin arttığını ve bu santrifüj kuvvetler sayesinde cidara daha fazla savrulan toz partikülleri nedeniyle daha fazla tozların siklonun içerisinde toplandığı görülmüştür. Bu da siklon ayırıcının toplama veriminin artmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden yüksek debilerde daha yüksek toplama verimleri elde edilmiştir.

Siklon ayırıcılarla yapılan deneylerde, debi değişimine bağlı incelenen toplama verimi eğrisine bakıldığında, verim daha düşük debilerde daha fazla bir artış gösterirken, daha yüksek debilere çıkıldığında toplama verimi artışı daha az olmaktadır. Bu ise bize toplama verimini debi artışıyla her ne kadar artsa da belli bir noktadan sonra siklon ayırıcının maximum toplama verimi performansına yaklaştığı için bu artışın yavaşlamaya başladığını göstermektedir.

Siklon ayırıcının toplama veriminin başka bir değişken parametre olan konfigürasyon değişikliğine bağlı incelemesi yapıldığında, toplama veriminin konfigürasyon değişikliğiyle beraber kayda değer bir değişiklik oluşturmadığı fark edilmiştir. Bu da bize

siklon ayırıcıların toplama verimlerindeki değişimine en büyük etkinin debinin, yani siklon giriş hızının sebep olduğunu göstermektedir.

Toz toplayıcıların siklon ayırıcı içerisindeki yerleri ve üzerlerindeki sanal gövde uzunluğu değiştirilerek oluşturulan konfigürasyonlarla incelenen sınıflandırma performansında:

Daha yüksek debilerde toz toplayıcılarda miktar olarak daha orantısal bir dağılım elde edilmiştir. Bu da yüksek giriş hızlarından dolayı oluşan güçlü vortexlerin, siklon ayırıcı içerisinde tozları daha iyi savurduğunu göstermektedir.

Siklon 1'e 29,7 µm ortalama partikül boyutunda giren kalsit tozu 4 farklı partikül boyutunda sınıflandırılabilmiştir. Ancak en alttaki toz toplayıcı da az bir miktarda toz birikmesi ve birbirine yakın partikül boyutlarının birbirine yakın toz toplayıcılarda toplanmasından dolayı, Siklon 1 için 3 ayrı partikül boyutunda sınıflandırma yeteneğinin olduğunu söylemek daha doğru olur.

Siklon 2 için yapılan deneylerde 7 m<sup>3</sup>/h debi tozlu havaya yeterli bir vortex kazandıramayıp aynı zamanda iyi bir vakumlama sağlayamadığından dolayı, 7 m<sup>3</sup>/h için sonuçlar diğer debi sonuçlarına uymamıştır ve sınıflandırma açısından diğer debilere göre farklı bir eğilim sergilemiştir. Dolayısıyla Siklon 2 ayırıcının düzgün bir sınıflandırma yeteneğinin olabilmesi için en az 14 m<sup>3</sup>/h debide deneylerin yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Her iki siklon için yapılan deneylerde de en büyük toz partikülleri, siklon ayırıcının en üst kısmında bulunan 1. tozlukta toplanmıştır. Orta büyüklükteki toz partikülleri siklonun ortasında bulunan toz toplayıcıda toplanırken, en küçük partiküllü tozlar siklonun en alt kısmından toplanmıştır.

Deney sırasında siklon ayırıcıya giren tozlar siklonun en üst kısmında en büyük santrifüj kuvvetine sahip olduğu kısımdadır. Bu kısımda yüksek santrifüj kuvvetlerinden dolayı en büyük partiküller siklon cidarına savrulabilmişlerdir. Daha sonra en büyük toz partiküllerinin bırakan toz hava karışımı, siklon ayırıcının her bir kısmında belli büyüklükteki toz partiküllerini ataletlerini kaybederek bırakır.

Her iki siklonda yapılan deneylerde; oluşturulan konfigürasyonlar içerisinde toz toplayıcıların üstünde sanal gövde oluşturan bileziklerin boyu artırıldığında, o toz toplayıcıda toplanan toz miktarı da artmaktadır. Ancak toz toplayıcıda toplanan tozlar arttıkça, o tozlukta toplanan toz partikülü boyutları, siklona deneyin başında verilen tozların ortalama partikül boyutuna yaklaşmaktadırlar.

Siklon 2 için yapılan deneylerde; debi artışıyla beraber en üstte bulunan 1.tozluktaki toz miktarı da azalmaya başlamıştır. Bu da siklon giriş hızının artmasının, siklona giren tozlu havaya uygulanan döndürme kuvvetinin artmasına ve vortex uzunluğunun siklon ayırıcının daha alt kısımlarına ulaşmasına olanak vermektedir. Böylece yüksek debilerde 1.tozlukta daha az toplanmıştır ve diğer tozluklara daha miktar olarak daha orantısal bir dağılım gerçekleşmiştir.

Yine Siklon 2 için yapılan deneylerde; debi artışıyla beraber özellikle 1. ve 2.tozluklardaki toplanan toz partikül boyutlarında artış meydana gelmiştir. Artan siklon giriş hızıyla beraber artan santrifüj kuvvetler daha büyük toz partiküllerini siklon cidarına savurmuştur.

Siklon ayırıcıların sınıflandırma performansı açısından bir çıkarım yapmak gerekirse; eğer bizden belli bir ortalama partikül boyutunda bir miktar toz verilirse ve bu tozdan sadece belli bir partikül boyutunda tozu belli miktarda bir toz toplayıcıda toplamamız istenirse, bunu gerçekleştirmek için belli bir debi ve belli bir konfigürasyonda deneyi gerçekleştirmemiz gerekmektedir.

Siklon 1 ve Siklon 2 için yapılan deneylerde; fraksiyonel verim incelemelerine bakıldığında, siklon ayırıcının daha küçük partikülleri düşük verimle tuttuğu görülürken, daha büyük partiküllere yaklaşıldığında, siklon toz tutma veriminin 1'e yani %100'e yaklaştığı görülmektedir. Bu da bize siklon ayırıcılarının büyük partikülleri, küçük partiküllere oranla daha yüksek, %100'e yakın verimlerle tutabildiğini göstermektedir.

Her iki siklon için yapılan fraksiyonel verim eğrilerinde de; siklon ayırıcıların daha yüksek verimlerde, %100 tutma verimi olan 1'e daha düşük partiküllerde ulaştıkları fark edilmiştir. Yani kritik partikül çapı yüksek debilerde daha küçük bir değerde olmaktadır.

Siklon ayırıcılarda yapılan deneylerde daha yüksek debilerde yapılan deneylerde siklon ayırıcılarda oluşan basınç kaybı daha yüksek olmuştur. Basınç kaybı siklon giriş hızıyla paralel olarak artış göstermektedir.

Siklon 2 için, Siklon 1 ile aynı giriş hızında sahip deneylerde, Siklon 1'e göre daha düşük bir basınç kaybı olmuştur. Bu da bize siklon gövde boyutunun artmasının siklon ayırıcıda yaşanan basınç kaybının daha az olduğunu göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- Avci, A. and I. Karagoz. 2000.** A Mathematical Model for the Determination of A Cyclone Performance. *Int. Comm. in Heat and Mass Transfer*, 27(2): 263-272.
- Baker, R., Hughs, S. 1998.** Modification for 1D3D cyclones. In National Cotton Council Beltwide Cotton Conference.
- Dirgo, J. and D. Leith. 1985.** Cyclone Collection Efficiency: Comparison of Experimental Results with Theoretical Predictions. *Aerosol Sci.Tecnol.*, 4: 401-411.
- Elsayed, K., Lacor, C. 2010.** Optimization of the cyclone separator geometry for minimum pressure drop using mathematical models and CFD simulations. *Chemical Engineering Science*, 65(22), 6048-6058.
- Elsayed, K., Lacor, C. 2011.** Numerical modeling of the flow field and performance in cyclones of different cone-tip diameters. *Computers & Fluids*, 51(1), 48-59.
- 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.
- Fei, P. 1996.** Investigation of cyclone preheaters with a cold model. *ZKG*, 12/86.
- Funk, P. A. 2015.** Reducing cyclone pressure drop with evasés. *Powder technology*, 272, 276-281.
- 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.
- Karagoz I, Avci A. 2005.** Modelling of the pressure drop in tangential inlet cyclone separators. *Aerosol Science and Technology*, 39 (9): 857-865.
- 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.
- Kaya F., Karagoz I. 2009.** Numerical investigation of performance characteristics of a cyclone prolonged with a dipleg. *Chemical Engineering Journal*, 151, 39-45.
- Kilmer, V. J., & Alexander, L. T. 1949.** Methods of making mechanical analyses of soils. *Soil Science*, 68(1), 15-24.
- Leith, D. 1972.** The collection efficiency of cyclone type particle collectors-a new theoretical approach. In AIChE Symp. Ser. 68, 196-206.
- Liu, M., Zhou, C., Xie, J., Lu, C., & Wang, Z. 2015.** Numerical investigation of performance of a fast gas–solid separator. *Powder Technology*, 275, 30-38.



- Mihalski, K., Kaspar, P., Parnell Jr, C. B. 1992.** Optimum utilization of cyclone technology. In American Society of Agricultural Engineers Meeting (USA).
- Oshitari, T., Yamamoto, K. Fukui, K., Yoshida, H. 2017.** Classification characteristics of a cyclone type classifier with improved collection boxes for separating particles near the wall surface. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 50(7):492-500.
- Qian, F., & Wu, Y. 2009.** Effects of the inlet section angle on the separation performance of a cyclone. *Chemical Engineering Research and Design*, 87(12), 1567-1572.
- Ramachandran, O., Raynor, P. C., & Leith, D. 1994.** Collection efficiency and pressure drop for a rotary-flow cyclone. *Filtration & separation*, 31(6), 631-636.
- Shepherd, C. B., & Lapple, C. E. 1939.** Flow pattern and pressure drop in cyclone dust collectors. *Industrial & Engineering Chemistry*, 31(8), 972-984.
- Stairmand, C. J. 1951.** The design and performance of cyclone separators. *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, 29, 356-383, 1951.
- Xiang, R., S.H. Park and K.W. LEE. 2001.** Effects of Cone Dimension on Cyclone Performance, *J. Aerosol Sci.* , 32: 549–561.
- Zhao, B. 2012.** Prediction of gas-particle separation efficiency for cyclones: A time-of-flight model. *Separation and purification technology*, 85, 171-177.
- Zhu, Y. And K.W. Lee. 1999.** Experimental Study on Small Cyclones Operating at High Flow Rates. *J. Aerosol Sci.*, 30: 1303–1315.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Erman ÇALIŞKAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Gaziantep 10/06/1991

Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu(Kurum ve Yıl)

Lise : Gaziantep Anadolu Lisesi (2010)

Lisans : Uludağ Üniversitesi/Makine Mühendisliği  
(2014)

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi/Makine Mühendisliği  
(2017)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : DTA Mühendislik (2014)

İletişim(e-posta) : m.ermancaliskan@gmail.com

Yayınları :

**Caliskan, M. E. Karagoz I. Avcı A. and Surmen. A. 2017.** Design and Performance Analysis of a Virtual Body Mini Cyclone. *International Journal Of Research Science & Management* 4(12): 2349–5197.