



**YÜKSEK VERİMLİ FARKLI GEOMETRİDEKİ MİNİ  
SİKLOTLARIN PERFORMANSININ DENEYSEL  
OLARAK İNCELENMESİ**

**Ceren KARAKAŞ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK VERİMLİ FARKLI GEOMETRİDEKİ MİNİ SİKLONLARIN  
PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Ceren KARAKAŞ**  
0000-0002-9582-818X

Prof. Dr. Atakan Avcı  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Ceren KARAKAŞ tarafından hazırlanan “YÜKSEK VERİMLİ FARKLI GEOMETRİDEKİ MİNİ SIKLONLARIN PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Atakan Avcı

**Başkan** : Prof. Dr. Atakan AVCI  
0000-0002-5985-2449  
Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza  


**U.Ü. Üye** : Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ  
0000-0002-7442-2746  
Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza  


**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Kemal Furkan SÖKMEN  
0000-0001-8647-4861  
Bursa Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza  


**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksoy EREN**  
Enstitü Müdürü

  
.....

**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 yararlanılması 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.**

03.02/2020

**Ceren KARAKAŞ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### YÜKSEK VERİMLİ FARKLI GEOMETRİDEKİ MİNİ SİKLOTLARIN PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

**Ceren KARAKAŞ**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Atakan Avcı

Bu çalışmada Stairmand tipi yüksek verimli siklon esas alınarak siklon gövde çapının azaltılmasının ayırma verimine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla beş farklı büyüklükte mini siklon ayırıcı imal edilmiştir. İmal edilen siklonların basınç kayıp katsayıları ve ayırma verimleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışma sonuçlarına göre siklon gövde çapının azalması ile belli çapa kadar verim artarken daha küçük çaplarda azalma elde edilmiştir. Buna karşılık basınç kayıpları ise sürekli azalmıştır.

Siklonların ayırma verimi için kritik parçacık çapı esas alınarak teorik olarak kritik çaplar hesaplanmıştır. Hesap sonucu ile elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Giriş kesitine göre Reynolds sayısı dikkate alındığında geçiş bölgesi ve laminer bölgede sürtünme katsayısının değişmesinin sonuca etkili olduğu değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mini siklon, basınç kaybı, toplama verimi, kritik parçacık çapı, siklon filtre

**2020, ix + 79 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF MINI CYCLONS IN HIGH EFFICIENT DIFFERENT GEOMETRY**

**Ceren KARAKAŞ**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Atakan Avcı

In this study, the effect of reduction of cyclone body diameter on separation efficiency based on Stairmand type high efficiency cyclone was investigated. For this purpose, five different size mini cyclone separators have been manufactured. Pressure loss coefficients and separation efficiencies of the manufactured cyclones were investigated experimentally. According to the results of this study, with the reduction of the cyclone body diameter, the efficiency up to a certain diameter has increased while the smaller diameters have been reduced. On the other hand, pressure losses have decreased continuously.

Theoretically critical diameters were calculated based on the critical particle diameter for the separation efficiency of the cyclones. It is seen that the results obtained with the calculation result are compatible with the experimental results. Considering the Reynolds number according to the entrance section, the change of friction coefficient in the transition region and the laminar region was evaluated to be effective on the result.

**Key words:** Mini cyclone, pressure drop, collection efficiency, critical particle diameter, cyclone filter

**2020, ix + 79 pages.**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca kıymetli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, sabrını ve desteğini hiç eksik etmeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Atakan AVCI'ya teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca yüksek lisansım ve tez yazma sürecim boyunca her zaman yanımda olan ve maddi, manevi desteğini esirgemeyen değerli eőim Alaattin KARAKAŞ'a teőekkürlerimi sunarım. Son olarak da motivasyonumu yüksek tutarak desteğini esirgemeyen sevgili anneme ve babama teőekkürlerimi sunarım.

Ceren KARAKAŞ  
.../.../2020



## 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.....	7
3.1. Siklon Performansı Hesabı İçin Kuramsal Hesaplar.....	8
3.2. Siklonların Tasarımı.....	15
3.3. Deney Düzeneği ve Elemanları .....	23
3.3.1. Kalsit Tozu.....	24
3.3.2. Büyük Kapasiteli Debimetre.....	26
3.3.3. Küçük Kapasiteli Debimetre.....	27
3.3.4. Basınçölçer .....	27
3.3.5. Blower .....	28
3.3.6. Partikül Ölçüm Cihazı .....	29
3.4. Deney Siklonları ve Çalışma Şartları .....	30
3.4.1. Siklon 30 mm Deney Şartları.....	30
3.4.2. Siklon 25 mm Deney Şartları.....	30
3.2.3. Siklon 20 mm Deney Şartları.....	31
3.2.4. Siklon 15 mm Deney Şartları.....	31
3.2.5. Siklon 10 mm Deney Şartları.....	31
4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	31
4.1. Basınç Kaybı.....	32
4.1.1. Siklon 30 mm Basınç Kayıpları .....	34
4.1.2. Siklon 25 mm Basınç Kayıpları .....	37
4.1.3. Siklon 20 mm Basınç Kayıpları .....	40
4.1.4. Siklon 15 mm Basınç Kayıpları .....	43
4.1.5. Siklon 10 mm Basınç Kayıpları .....	46
4.2. Ayırma Verimi .....	48
4.2.1. Siklon 30 mm İçin Ayırma Verimi .....	49
4.2.2. Siklon 25 mm İçin Ayırma Verimi .....	50
4.2.3. Siklon 20 mm İçin Ayırma Verimi .....	52
4.2.4. Siklon 15 mm İçin Ayırma Verimi .....	53
4.2.5. Siklon 10 mm İçin Ayırma Verimi .....	55
4.3. Kritik Parçacık Çapı ve Ayırma Verimi.....	57
5. SONUÇ.....	65
KAYNAKLAR.....	68
EKLER.....	70
EK 1 Siklon 30 mm İçin Bulunan Değerler .....	71
EK 2 Siklon 25 mm İçin Bulunan Değerler .....	72
EK 3 Siklon 20 mm İçin Bulunan Değerler .....	73
EK 4 Siklon 15 mm İçin Bulunan Değerler .....	74
EK 5 Siklon 10 mm İçin Bulunan Değerler .....	75



EK 6 Yapılan Deneyle Sonucunda Hesaplanan Verim Değerleri .....	76
EK 7 Hıza Bağlı Kritik Parçacık apı Değerleri.....	77
EK 8 Kritik Parçacık apına Bağlı Hesaplanan Ayırma Verimleri .....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	79



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

### Açıklama

$\mu\text{m}$	Mikrometre
H	Vortex kısıtlayıcının konumu
a	Giriş kesiti genişliği
b	Giriş kesiti yüksekliği
c	Siklon silindir yüksekliği
L	Siklon toplam gövde yüksekliği
S	Dalma borusu yüksekliği
$D_0$	Ortalama siklon çapı
$D_1$	Siklon iç çapı
$D_2$	Dalma borusu çapı
$D_3$	Siklon koni çıkış çapı
kW	Kilowatt
$V_{\text{giriş}}$	Giriş hızı
Q	Debi
A	Siklon giriş kesit alanı
K	Basınç düşüm katsayısı
$\Delta P$	Basınç Kaybı
$\rho$	Yoğunluk
Pa	Pascal
$D_{3m}$	Ortalama çıkış çapı
$a_d$	Düzeltilen boyutsuz akış genişliği
$a_h$	Hidrolik çap
$C_c$	Cunningham düzeltme faktörü
$C_s$	Boyutsuz parametre
X	Giriş ve çıkış çaplar oranı
$d_k$	Kritik parçacık çapı
$\mu$	Dinamik viskozite
$f_0$	Ortalama sürtünme katsayısı
$m_g$	Siklona giren parçacık kütlesi
$m_b$	Siklonda tutulan parçacık kütlesi
$\eta$	Ayrırma verimi
$d_i$	Parçacık çapı
$\eta_i$	Fraksiyonel verim

### Kısaltmalar

### Açıklama

CFD	Computational Fluid Dynamics
Re	Reynolds Sayısı
LES	Large Eddy Simülasyonu
pH	Power of Hydrogen
ABS	Akrilonitril Bütadien Strien
$\text{CaCO}_3$	Kalsiyum karbonat

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Stairmand tipi yüksek verimli siklon filtrenin karakteristik boyutları .....	7
Şekil 3. 2. İmal edilen Stairmand tipi mini siklon ayırıcılar ve toz kutusu.....	16
Şekil 3. 3. Siklon 10 başlıca ölçüleri .....	18
Şekil 3. 4. Siklon 15 başlıca ölçüleri .....	19
Şekil 3.5. Siklon 20 başlıca ölçüleri .....	20
Şekil 3. 6. Siklon 25 başlıca ölçüleri .....	21
Şekil 3.7. Siklon 30 başlıca ölçüleri .....	22
Şekil 3.8. Deney düzeneği şeması .....	23
Şekil 3.9. Deneyleerde kullanılan kalsit tozu.....	24
Şekil 3.10. Deneyleerde kullanılan kalsit tozu numunesinin partikül boyutu analizi .....	26
Şekil 3.11. 1-10 m <sup>3</sup> /h aralığında çalışan büyük kapasiteli debimetre.....	26
Şekil 3.12. 1000-10 000 ml/dk aralığında çalışan küçük kapasiteli debimetre.....	27
Şekil 3.13. Dijital basınçölçer .....	27
Şekil 3.14. Proair 0.5 kW blower .....	28
Şekil 3.15. Malvern Mastersizer 2000 .....	29
Şekil 4.1. 1000-10 000 ml/dk arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı.....	34
Şekil 4.2. 1-10 m <sup>3</sup> /h arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı.....	34
Şekil 4.3. 0,55-1,851 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi.....	35
Şekil 4.4. 3,086-30,86 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi.....	35
Şekil 4.5. Siklon 30 için belirli hızlarda K değerlerinin değişimi .....	36
Şekil 4.6. 1000-10 000 ml/dk arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı.....	37
Şekil 4.7. 1-10 m <sup>3</sup> /h arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı.....	37
Şekil 4.8. 0,8-2,667 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi.....	38
Şekil 4.9. 4,444 - 44,4444 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi .....	38
Şekil 4.10. Siklon 25 için belirli hızlarda K değerlerinin değişimi .....	39
Şekil 4.11. 1000-10 000 ml/dk arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı.....	40
Şekil 4.12. 1-8 m <sup>3</sup> /h arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı.....	40
Şekil 4. 13. 1,25-4,166 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi .....	41
Şekil 4.14. 6,944 – 55,566 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi .....	41
Şekil 4.15. Siklon 20 için belirli hızlarda K değerlerinin değişimi .....	42
Şekil 4.16. 1000-10 000 ml/dk arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı.....	43
Şekil 4.17. 1-6,5 m <sup>3</sup> /h arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı.....	43
Şekil 4.18. 2,222-7,407 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi.....	44
Şekil 4.19. 12,345-80,246 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi.....	44
Şekil 4.20. Siklon 15 için belirli hızlarda K değerlerinin değişimi .....	45
Şekil 4.21. 1000-10 000 ml/dk arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı.....	46
Şekil 4.22. 1-4 m <sup>3</sup> /h arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı.....	46
Şekil 4. 23. 5-16,666 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi.....	47
Şekil 4.24. 27,77-111,111 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi .....	47
Şekil 4.25. Siklon 10 için belirli hızlarda K değerlerinin değişimi .....	48
Şekil 4. 26. Siklon 30 için hıza bağlı verim değerleri.....	49
Şekil 4.27. Siklon 30 için $f_0$ – Re grafiği.....	50
Şekil 4.28. Siklon 25 için hıza bağlı verim değerleri.....	51
Şekil 4.29. Siklon 25 için $f_0$ – Re grafiği.....	51
Şekil 4.30. Siklon 20 için hıza bağlı verim değerleri.....	52
Şekil 4.31. Siklon 20 için $f_0$ – Re grafiği.....	53

Şekil 4.32. Siklon 15 için hıza bağlı verim değerleri.....	54
Şekil 4.33. Siklon 15 için $f_0 - Re$ grafiği.....	54
Şekil 4.34. Siklon 10 için hıza bağlı verim değerleri.....	55
Şekil 4.35. Siklon 10 için $f_0 - Re$ grafiği.....	56
Şekil 4.36. Siklon 30 için hesaplanan kritik parçacık çapı değerleri.....	58
Şekil 4.37. Siklon 25 için hesaplanan kritik parçacık çapı değerleri.....	58
Şekil 4.38. Siklon 20 için hesaplanan kritik parçacık çapı değerleri.....	59
Şekil 4.39. Siklon 15 için hesaplanan kritik parçacık çapı değerleri.....	59
Şekil 4.40. Siklon 10 için hesaplanan kritik parçacık çapı değerleri.....	60
Şekil 4.41. Siklon 30 için kritik çap ve ayırma verimi eğrisi.....	61
Şekil 4.42. Siklon 25 için kritik çap ve ayırma verimi eğrisi.....	61
Şekil 4.43. Siklon 20 için kritik çap ve ayırma verimi eğrisi.....	62
Şekil 4.44. Siklon 15 için kritik çap ve ayırma verimi eğrisi.....	63
Şekil 4.45. Siklon 10 için kritik çap ve ayırma verimi eğrisi.....	63



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Fraksiyonel verimler.....	12
Çizelge 3.2. Partikül çapı ve numune yüzdesi.....	13
Çizelge 4.1. Denklem 3.16'ya göre hesaplanan K değerleri.....	33



## 1. GİRİŞ

Siklon filtre, santrifüj toplayıcılar içinde en yaygın olan türdür. Sıvı ya da gaz akışkanı içerisinde bulunan yabancı partikülleri santrifüj kuvvetinin etkisiyle birbirinden ayırmayı sağlayan ayırıcıdır. Siklon iki fazlı akış içerisinde az yoğun olanı çok yoğun olandan, filtre içinde girdap benzeri bir hareket sayesinde akışı savurarak yoğun olan parçacıkları ayırır. Siklonlar teğetsel, aksenel ve salyangoz girişli olarak çeşitlenir ancak en yaygın olanı teğetsel girişli siklondur. Günümüzde ve geçmişte birçok alanda filtreleme amacıyla farklı boyutlarda ve özelliklerde siklonlar kullanılmıştır. Elektrikli süpürge, inşaat, kimya, maden, demir-çelik, çimento, yem sanayisi, taşıtlar ve benzeri parçacık salınımı yapan bütün tesislerde parçacık filtresi olarak siklon ayırıcı kullanılır. Birçok uygulamada siklonlar tek başına yeterli olmasa dahi asıl filtrenin öncesinde çalışarak nispeten kaba partikülleri toplayabilir ve diğer filtrenin ömrünü uzatabilir. Siklon filtreler gaz ve sıvı fazlarda katı ve sıvı taneciklerin ayrılmasında, parçacık sınıflandırılmasında ayırıcı olarak kullanıldığı gibi siklonların yanma, ısıtma ve soğutma uygulamaları da bulunmaktadır.

Siklon filtrenin kendisine, farklı alanlarda bu kadar çok uygulama alanı bulmasında basit dizaynı, uygun fiyatı ve toz tutma kapasitesinin yüksek olması çok önemli etkenlerdir. Bunu örnekle açıklamak gerekirse standart bir hepa filtreyi ve siklon filtreyi kıyasladığımızda hepa filtrenin kullanım ömrü siklona göre çok daha azdır. Çünkü hepa filtre prensip olarak içi tozla dolduğunda değiştirilmeli ya da temizlenmelidir. Oysa ki bir siklon filtre parça değişimine gerek duymadan rutin bakımları yapılarak defalarca kez kullanılabilir. Siklon filtrenin avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Kullanım alanı ve ihtiyaca göre mini ya da dev boyutlarda üretilebilirler.
- Ağır şartlarda çalışabilir ve sık sık bakım gerektirmezler.
- Hareketli parçası olmadığından parça değişimi gerektirmezler.
- Maliyetleri düşüktür.
- Uygun tasarımla düşük basınç kaybı ve yüksek toplama verimi sağlarlar.
- Yüksek toz yoğunluğunda dahi çalışabilirler.
- Öncesinde kullanıldığı filtrenin iş yükünü azaltarak filtrelerin ömrünün uzamasını sağlarlar.

Klasik bir siklon ayırıcının çalışma prensibi şu şekildedir. Hava toz karışımı siklonun giriş borusunda belli bir hızla girer ve akış filtre içindeki yüzeye çarparak helisel bir hareket kazanır ve girdap hareketine başlar. Daha sonra içeride merkezkaç kuvvetinin de etkisiyle tozlu hava filtrenin cidarına doğru savrulur ve partiküller cidara çarptığında hızını kaybederek aşağı doğru dökülür. Aynı zamanda siklonun tasarımı gereği dar kanaldan geçerek hızlandırılan tozlu hava karışımı aşağı doğru indikçe aktığı ortam genişlediği için hızı azalır ve bu durumda da içerisindeki tozları bırakır. Akış alt kademedan yukarı doğru çıktıkça içerisindeki partikülleri, büyükten küçüğe doğru bırakır. Dökülen partiküller siklonun altında bulunan toz kutusunda biriktirilir. Temizlenen hava, helisel hareketine devam ederek filtrenin üzerindeki borudan dışarıya atılır. Böylece filtreleme işlemi tamamlanmış olur.

Bu çalışma prensibi göz önünde bulundurulduğunda bir siklonun ne kadar verimli olduğu topladığı partikül miktarından ve toplanan partiküllerin boyutundan anlaşılabilir. Siklon içinde bulunan akışkandaki partiküller küçüldükçe akış alanından ayrılması zorlaşır ve akış içinde kolayca varlığını sürdürebilir. Bu parçacıkların siklonla filtrelenmesi her zaman kolay değildir. Bu yüzden siklon ne kadar küçük partikül toplarsa performansı da o kadar yüksektir şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca siklonlarda basınç kaybı yüksek performans için az olmalıdır. Toplama verimi, basınç kaybı ve fraksiyonel verim gibi parametreler siklon performansını belirleyen dinamiklerdir. Siklon ayırıcılar kullanım amacına göre farklı boyutlarda ve malzemelerde üretilebilir. Toz toplama verimini artırmak amacıyla klasik siklon dizaynında değiştirmeler ya da eklentiler yapılarak günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır.

Siklonların üretimi kolay ve düşük maliyetli olsa da tasarımları karışıktır. Basınç kaybı ve toplama verimi optimizasyonu siklon tasarımının en önemli konusudur. Verimin artırılmasında siklon büyüklüğü önemli rol oynar. Siklon büyüdükçe verim artar. Bu konuyu aydınlatılmak adına bu çalışmada siklon büyüklüğünün değiştirilmesinin toplama verimi ve basınç kayıplarına etkisi, teorik ve deneysel olarak araştırılmıştır. Mini siklonlarda verim artışı ile siklon büyüklüğünün azalması arasındaki ilişkinin doğrusallığı incelenmiştir. Kuramsal yaklaşımların sonuçları ile deneysel sonuçların uyumluluğu karşılaştırılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Stairmand (1951) kendi ismini verdiği yeni bir siklon modeli geliştirmiş ve bu modeli farklı siklon çaplarında deneyerek en optimum olanını belirlemek istemiştir. Elde ettiği verilere göre siklon gövde çapıyla alakalı deneysel ifadeler geliştirmiştir.

Dirgo ve Leith (1985) siklon toplama verimi üzerine deneysel çalışma yapmış ve elde edilen bu sonuçları teorik öngörülerle karşılaştırmışlardır. Fraksiyonel verimler elde edilmiş ve sonuçlar diğer çalışmalarla karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Ancak 10  $\mu\text{m}$ 'den büyük partiküllerle elde edilen sonuçların teorik yaklaşımlara daha yakın olduğunu tespit etmişlerdir.

Avcı ve Karagöz (2000) iki fazlı akışlarda siklon performansını kolayca analiz edebilmek adına matematik model geliştirmişlerdir. Böylece siklon geometrisi, yüzey pürüzlülüğü, partikül konsantrasyonu gibi parametrelerin verimliliği etkileyeceğini ve kritik çap, fraksiyonel verim hesaplamalarında kullanılabileceğini düşünmüşlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda Stairmand siklonunun en yüksek verimle çalıştığını ve siklon yüksekliği arttıka verimliliğin de arttığını bulmuşlardır.

Wang-Li (2001) siklonda basınç kaybını minimum deneysel veri kullanarak analiz etmeyi amaçlamıştır. Basınç kaybının siklon geometrisi ve uygulama koşullarının bir fonksiyonu olduğunu göz önünde bulundurarak çeşitli hesaplamalar yapmıştır. Siklon içinde basınç kayıplarının duvar sürtünmeleri, akış yönünün değişmesi ve çıkış borusundaki enerji kayıplarından kaynaklı olduğunu söylemişlerdir.

Avcı ve Erel (2003) siklon ayırıcılarda gövde uzunluğunun verim üzerine etkisini kuramsal olarak araştırmışlardır. Buldukları sonuçları önceki çalışmalarla kıyaslayarak bir sonuca varmışlardır. Siklon ayırıcının uzunluğu arttıka verimin de artacağı genel bir inaniştir. Ancak uzunluk belli bir noktaya kadar verimi arttırır, sonrasında uzunluğu arttırmak verime negatif yönde etki eder. Bunun için siklon uzunluğu maximum verim için optimum seviyede olmalıdır. Bu optimizasyon siklon giriş hızına göre değişkenlik



gösterir. Çünkü giriş hızı arttıkça sürtünme kayıpları da artmaktadır ve bu da vortex boyunu kısaltarak verimi azaltmaktadır.

Avcı ve Karagöz (2003) siklon ayırıcıların fraksiyonel verimini hesaplamak için yeni bir matematik model geliştirmişlerdir. Bu model ile aksenal girişli siklon ayırıcıların performansını başarılı bir şekilde belirlemeyi hedeflemişlerdir. Geliştirdikleri bu modeli yedi farklı siklon modelinde farklı boyutlarda ve farklı debilerde test etmişlerdir. Bu değerlendirmeleri yaparken yüzeyi pürüzsüz kabul etmişlerdir. Siklon geometrisi, ortalama giriş hızı, siklon yüksekliği ve viskozite gibi parametrelerin siklon performansına etkisini araştırmışlardır. Bunun sonucunda büyük siklonlarda akışın genellikle türbülanslı olduğunu ve akış parametrelerinin etkisinin Reynolds sayısı ile birlikte azaldığını söylemişlerdir. Küçük siklonlarda ve düşük hızlarda ise akış laminerdir. Akış parametrelerinin etkisi belli bir değere kadar verimin artıp ondan sonra azalacağını belirtmişlerdir.

Karagöz ve Avcı (2005) siklon filtre tasarımının mihenk taşı olan basınç kayıplarını teğetsel girişli siklonda hesaplamak için matematik model geliştirmişlerdir. Çalışmalarında basınç kaybının yerel kayıplardan ve sürtünme kayıplarından kaynaklandığı üzerinde durarak bunları modele dahil etmişlerdir. Aynı zamanda hidrolik çap, Reynolds sayısı ve sürtünme katsayısı gibi birçok değişkeni de hesaplamışlardır. Bunun sonucunda basınç kayıplarının siklon geometrisinin ve uygulama koşullarının bir sonucu olduğu yargısına varmışlardır.

Fıçıcı ve Arı (2008) siklonlarda dalma borusu çapının ve derinliğinin basınç kaybı üzerine etkisini araştırmıştır. Basınç kaybı siklonda giriş kesiti, iç duvarlar ve siklonun çıkışı olan dalma borusunda meydana gelmekte olduğunu açıklamış ve bunun üzerinden nümerik hesaplar yapmışlardır. Sonrasında ise farklı boylarda ve çaplarda dalma borusu ile çeşitli deneyler yapmışlardır. Buldukları sonuca göre dalma borusunun boyunu uzatmak kritik bir değere kadar basınç kaybını arttırmaktadır. Kritik değerden sonra ise basınç kayıplarını azaltmaktadır. Ancak dalma borusu uzunluğunu arttırmak toplama verimini de düşürmektedir sonucuna varmışlardır.

Funk (2014) siklon ayırıcının çıkış ağızına çeşitli yapılarda genişleyen bir difüzör koymanın verimliliği etkilemeden basınç kaybının azalacağını savunmuştur. Bunun için Evase olarak adlandırdığı üç dikdörtgensel ve bir radyal difüzörü iki farklı siklonda test etmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda radyal Evase'in dikdörtgensel Evase'e göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Radyal evase sayesinde iki farklı siklonda %8,7 ve %11,9 oranında basınç kaybı azalmıştır.

Souza ve Salvo (2014) küçük siklon gövdelerinde herhangi bir değişim yapmadan ayırıcının verimini arttırmak için iletim siklonu ve çift akışlı kanal kullanarak iki farklı yaklaşımla bir çalışma yapmıştır. CFD analizleri ile elde ettiği bulgular sonucunda; küçük siklon ayırıcılarda iletim siklonu kullanmanın verimi arttıracığı hatta 2 mikrometreden küçük partikülleri dahi yakalayabileceğini bulmuştur ancak dairesel çıkış kanalı kullanmak beklentiyi karşılamamıştır. Böylece ayırma işleminin doğrudan akış oranı ile ilişkili olduğu bulunmuştur.

Salvo ve ark. (2014) küçük siklon ayırıcılarda çıkış borusunun uzunluğunun ve şeklinin basınç kaybı ve verim üzerine etkisini LES ile araştırmışlardır. Eğimli çıkış borusunun 16 farklı konfigürasyonu ile çalışma yapmışlardır. Buldukları sonuca göre basınç kaybı siklon çıkış borusunun kısalması ile bir noktaya kadar azalmıştır ve o noktadan sonra ise artmaya başlamıştır.

Liu, Zhou, Xie, Lu ve Wang (2015) yaptıkları çalışmada düşük basınç kaybı ve yüksek toplama verimi elde etmek için farklı bir siklon modelinde çalışmışlardır ve bu siklonun klasik siklonlardan daha avantajlı olduğu üzerinde durmuşlardır. Hızlı gaz-katı ayırıcı olarak isimlendirdikleri bu ayırıcının CFD analizlerini ve sayısal araştırmalarını yapmışlardır.

Rao K. ve ark. (2015) geometrik konfigürasyonların doğru akım siklonun performansına etkileri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Deney düzeneğinde siklonun giriş hızını değiştirmek için siklon giriş borusuna kanatçık takmışlardır. Bu kanatçığın açısı 30°, 45° ve 60 ° olacak şekilde deneyler yapmışlardır. Bu deneyler sonucunda kanatçık açısı arttıkça ve dolayısıyla giriş hızı arttıkça basınç kaybının da arttığı sonucuna varmışlardır.

Chang ve Hsiao (2015) deneysel çalışmalar yaparak geometrik konfigürasyonların bir siklon filtre üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçları siklonun dört geometrik bileşenine göre analiz edilmiştir. Bunlar; bütün siklon gövdesi, daralma konisi, vortex aracı ve giriş borusudur. Bu analizler geleneksel Stairmand dizaynı ve literatür araştırmalarıyla kıyaslanmıştır. Deney aşamasında potasyum sodyum tetrahidrat (Rochelle tuzu) parçacıkları kullanılmıştır. Tekrarlanan deneyler sonucunda elde edilen bulgularla penetrasyon eğrisi ve basınç kaybı eğrisi verilmiştir.

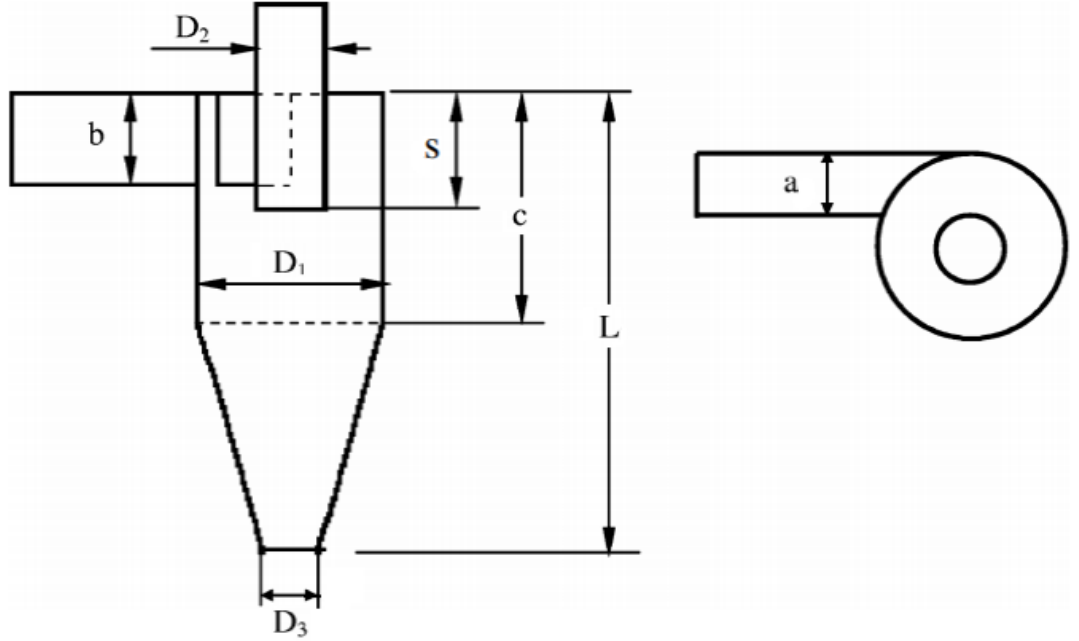
Batrenas ve Chlebnikovas (2015) çok kanallı ve iki silindirik aşamalı siklon ayırıcının aerodinamik parametrelerini araştırmıştır. Çok kanallı olan bu siklon ayırıcı ile toz tutma verimi %95' e kadar ulaşmıştır.

Sakin, Karagöz ve Avcı (2017) eksenel ve ters akışlı yeni nesil siklon ayırıcının performanslarını farklı konfigürasyonlarda karşılaştırmışlardır. Bu yeni geliştirilen siklon ayırıcıların içinde vortex kısıtlayıcı bulunmaktadır ve konfigürasyonlar bu kısıtlayıcının konumunun değiştirilmesiyle elde edilmektedir. CFD analizleri ile bulunan sonuca göre, eksenel akışlı siklonda vortex kısıtlayıcının konumu ve yüzey sürtünme uzunluğu arttıkça basınç kaybı azalmıştır. Aynı durum ters akışlı siklon içinde geçerlidir ancak ters akışlı siklonda geometrik konfigürasyonlar eksenel akışlı siklonda olduğu kadar önemli değildir. Eksenel akışlı siklon için vortex kısıtlayıcının konumu ve yüzey sürtünme uzunluğu arttıkça toplama verimi azalmıştır. Aynı durum ters akışlı siklon içinde geçerlidir. Ancak vortex kısıtlayıcının H=580 mm konumu için bu durum farklıdır. Bu pozisyonda ters akışlı siklonda verimliliğin değişimi eksenel akışlıda olduğu kadar önemli değildir. Sonuç olarak ters akışlı siklonun ayırma prosesi eksenel akışlı siklondan daha verimlidir.

Çalışkan, Karagöz, Avcı ve Sürmen (2019) yeni geliştirdikleri bir siklon modelinin partikül sınıflama yeteneğini araştırmışlardır. Bu siklon modeli klasik siklon modelinden farklı olarak konik gövdeye sahip değildir. Tüm gövdesi silindirik olan bu modelde belirli aralıklarla kollektörler yerleştirmiş ve farklı konfigürasyon ve farklı debilerde aynı siklon içinde partikül sınıflama kapasitesini araştırmıştır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Siklon filtrelerin en yaygın kullanım amaçlarından biri parçacık filtresi olarak kullanılmasıdır. Sıvı akışkanlarda kullanılanlar hidrosiklon olarak isimlendirilirken gazlarda veya hava için kullanılanlar gaz siklonu veya çoğunlukla sadece siklon olarak isimlendirilir. Değişik konstrüksiyonlar olmakla birlikte en yaygın kullanım ters akışlı teğetsel girişli siklonlardır. Bu şekilde bir siklona ait karakteristik geometrik boyutlar Şekil 1’de verilmiştir. Siklon filtrelerde performansı iyileştirmek adına bu boyutlar değiştirilerek farklı karakteristiklere sahip siklonlar elde edilir. Çok sayıda farklı siklon tasarımı olmakla birlikte, bunlarda en çok bilinen siklon geometrisi yüksek verimli Stairmand (1951) siklonudur.



**Şekil 3.1.** Stairmand tipi yüksek verimli siklon filtrenin karakteristik boyutları

Siklonlarda geometrik olarak benzerlik oluştuğunda performans karakteristiklerinin de benzer olacağı kabul edilerek prosese uygun tasarımlar yapılır. Bilinen siklonların boyutsuz verim eğrileri ve basınç kayıp katsayıları bilindiğinden uygun teorik bağıntılar kullanılarak siklonlar boyutlandırılır. Siklonlarda en önemli geometrik büyüklükler olarak giriş ve çıkış kesitleri olup bunun yanında ikinci derecede siklon boyu, koni ucu çapı ve diğer büyüklükler sayılabilir. Bunların yanında yüzey pürüzlülüğü, siklon büyüklüğü, akışkan özellikleri, parçacık özellikleri dağılımı ve şekli önemlidir. Bu şekilde çok parametrenin bulunduğu çok fazlı bir akışın gerek deneysel ve gerekse kuramsal incelemesi oldukça zordur. Sürekli olarak bu alanda çalışmalar yapılmaktadır.

Siklon filtrelerde genel olarak basınç kaybını artıran geometrik değişiklikler verimi de iyileştirmektedir. Giriş kesitinin ve çıkış kesitinin azalması verimi iyileştirmekleyen giriş kesitinin azalması basınç kaybını azaltırken çıkış kesitinin azalması basınç kayıplarını artırmaktadır. Siklon büyüklüğünün azalması verimi artırırken basınç kayıplarını az etkilemektedir. Giriş hızı dolayısıyla giriş debisi artması verimi ve basınç kayıplarını artırmaktadır. Bu genel kabullere rağmen bazı özel durumlarda bu eğilimlerde değişiklik olabilmektedir. Bu çalışmada bu özel durumlardan biri olarak siklon büyüklüğünün azaltılmasının benzer giriş hızları ve çalışma şartları için sınır olup olmadığının veya siklon büyüklüğünün azaltılmasının nereye kadar avantaj olduğunun araştırılmasıdır. Bu kapsamda uygun siklon geometrisi ve büyüklüklerin belirlenmesi ve deneysel olarak doğrulanması gerekmektedir. Bu amaca uygun incelemeye imkan verecek bir model olarak modifiye edilmiş Avcı ve Karagöz (2003) modeli ve yüksek verimli Stairmand siklonu temel alınarak çalışma yapılmıştır.

### **3.1. Siklon Performansı Hesabı İçin Kuramsal Hesaplar**

Siklon ayırıcılarda performans değerlendirmesinde parçacık ayırma verimi ve basınç kayıpları önemli yer tutar. Yüksek debi taşınması da birim maliyet ve hacim açısından önemlidir. Verim değerlendirmede deneysel ve kuramsal yaklaşımlarda uyumluluk noktası olarak %50 verim sağlayan parçacık çapı yaygın olarak kullanılır. Bu çap kesme çapı veya kritik çap olarak isimlendirilir. Bu çap referans alınarak boyutsuz verim eğrisi tanımlanır. Kritik çap  $d_{50}$  olarak gösterilir. Verimle ilgili kuramsal yaklaşımların

çoğunluğu bunun hesabına yöneliktir. Bunun hesabına yönelik çok sayıda matematik model bulunmaktadır. Bu çalışmada bunlardan sadece Avcı ve Karagöz (2003) modeli göz önüne alınmıştır. Tercih nedeni olarak geometrik ve çalışma parametrelerinin büyük kısmını içeriyor olması, tahminlerin uyumluluğu ve uygulama kolaylığı söylenebilir.

### Siklonlarda verim

$$\text{toplama verimi } (\eta) = \frac{\text{toz kutusunda biriken toz}}{\text{deney esnasında sisteme verilen toz}} \quad (3.1)$$

Bir siklona giren parçacık kütlesi( $m_g$ ) ve siklonda tutulan parçacık kütlesi( $m_b$ ) belli ise ayırma verimi ( $\eta$ ),

$$\eta = \frac{m_b}{m_g} \quad (3.1a)$$

veya giren toz konsantrasyonu ( $C_g$ ) ve çıkan toz konsantrasyonu ( $C_{ck}$ ) belli ise,

$$\eta = 1 - \frac{C_{ck}}{C_g} \quad (3.1b)$$

olarak elde edilir. Eğer bu değerler parçacık çapı ( $d_i$ ) için elde edilecek olursa bu durumda fraksiyonel verim ( $\eta_i$ ) elde edilmiş olur. Fraksiyonel verimler belli ise bu durumda fraksiyonel verimlerden genel verim ( $\eta$ ),

$$\eta = \frac{1}{m} \sum \eta_i m_i \quad (3.1c)$$

şeklinde elde edilir. Fraksiyonel verim eğrisi ve giriş toz analizi belli ise bu ilişkiden verim tahmin edilebilir.

Siklonlarda verim hesabı için en çok kullanılan yaklaşım kritik çap hesabı olup bir siklonun geometrisi ve çalışma şartlarına bağlı olarak hesaplanabilir. Bunun analitik

hesabına yönelik çok sayıda bağıntı bulunmaktadır. Bu bağıntılar içerdiği parametre sayısı ve eğimine göre parametrelerin etkisini tahmin etmeye imkan verir. Bu çalışmada incelemeye konu çalışma parametresi için uygun bağıntı olarak Avcı ve Karagöz ( 2003) modeli seçilmiştir. Bunun modifiye edilmiş hali,

$$d_k = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot a_d \cdot D_S \cdot D_0 \cdot \sqrt{D_{3m}} \cdot a_h \cdot D_1}{(\rho_p - \rho_h) \cdot C_C \cdot L_b \cdot V_0}} \cdot x^{C_s} \quad (3.2)$$

şeklindedir. Burada verilen parametrelerin tanımı sırasıyla aşağıda verilmiştir;

Ortalama siklon çapı;

$$D_0 = \frac{C}{L} + \left(1 - \frac{C}{L}\right) \frac{D_1 + D_3}{2D_1} \quad (3.3)$$

Sürtünme yüzey ortalama çapı;

$$D_S = D_0 + \frac{(2SD_2 + D_2^2 + D_3^2)}{LD_1} \quad (3.4)$$

Ortalama çıkış çapı;

$$D_{3m} = \frac{2D_2 + D_3}{3D_1} \quad (3.5)$$

Düzeltilen boyutsuz akış genişliği;

$$a_d = 0,5 + \frac{4ab}{(D_1 + D_2)(D_0 + a + b + s)} \quad (3.6)$$

Boyutsuz hidrolik çap;

$$a_{h1} = \frac{\sqrt{ab}}{D_1} \quad (3.7a)$$

Cunningham düzeltme faktörü;

$$C_c = 1 + \frac{0,165}{d_k} \quad (3.8)$$

Giriş ve çıkış çaplar oranı;

$$x = \frac{10a_h}{D_{3m}} \quad (3.9)$$

Boyutsuz siklon uzunluğu;

$$L_b = \frac{L}{D_1} \quad (3.10)$$

Reynolds sayısı;

$$Re = \frac{D_0 V_0 a_h}{\nu} D_1 \quad (3.11)$$

Ortalama sürtünme katsayısı;

$$f_0 = f(Re) \quad (3.12)$$

Laminer akış için;  $Re < 2100$

$$f_0 = \frac{64}{Re} \quad (3.12a)$$

$$f_0(2100) = 0,0305$$

Türbülanslı akış için pürüzsüz ( $Re \geq 3000$ );

$$f_0 = \frac{0,316}{Re^{1/4}} \quad (3.12b)$$

Boyutsuz parametre;

$$C_s = 0,75 \frac{a_d D_s}{D_0} \frac{L_b f_0}{a_h - 0,1 D_{3m}} \quad (3.13)$$



Bu bağıntıdan kritik çap hesaplandığında kullanılan veya tutulması düşünülen tozların dağılımı dikkate alınarak bu tozların parçacık dağılımından parçacık grupları ve bu grup ortalama çapı ve parçacık yüzdesi bulunur. Buradan  $d_i/d_k$  oranları elde edilir. Seçilen siklon için fraksiyonel verimler Çizelge 3.1’de verilmiştir. Ayrıca  $d_i/d_k$  oranın bulmak için gerekli olan  $d_i$  çapları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Fraksiyonel verimler

$d_i/d_k$	$\eta_i$
0,1	0,02
0,2	0,04
0,3	0,10
0,5	0,20
0,7	0,39
1	0,50
1,5	0,69
2	0,80
3	0,90
5	0,96
7	0,98
10	0,99
10>	1,00

**Çizelge 3.2.** Partikül çapı ve numune yüzdesi

<b>d<sub>i</sub></b>	<b>%numune</b>
0,23	0,82
0,44	2,35
0,70	4,02
1,31	4,94
2,10	4,50
3,15	6,28
4,80	10,23
7,20	16,13
10,94	20,30
16,6	18,13
25,60	10,00
38	2,30

Oranları belli olduğundan seçilen siklon için beklenen verim elde edilmiş olur.

### **Siklonlarda basınç kayıpları**

Siklonlarda sürtünme ve yerel elemanlardan oluşan ve basınç düşümüne neden olan kayıplar olmaktadır. Bu kayıplar değişik yaklaşımlarla modellenmektedir. Basitten karmaşığa çok sayıda matematik model mevcuttur. Burada üstte verilen verim parametrelerini kullanan Avcı ve Karagöz (2005) modeli kullanılmıştır. Siklonlarda basınç kayıpları,

$$\Delta P = K\rho \frac{V^2}{2} \quad (3.14)$$

şeklinde tanımlanır. Burada V (m/s) giriş hızı olup, Q (m<sup>3</sup>/s) hacimsel debi olmak üzere,

$$V = \frac{Q}{a.b} \quad (3.15)$$

şeklinde hesaplanır. Akışkanın siklona girişte yoğunluğu  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ) ve basınç kayıp katsayısı  $K$  olarak alınır.  $K$  katsayısı siklon geometrisi ve çalışma parametrelerine bağlı olarak hesaplanır. Bu parametrenin hesabı Avcı ve Karagöz (2005) modeline göre;

$$K = \frac{cs}{cs - 1} (x^{2(1-cs)} - 1) \quad (3.16)$$

şeklinde verilmiştir. Deneysel çalışmalarda ise basınç kaybı ( Pa veya mmss olarak ) ölçüldüğünden bu ölçülen statik basınç farkından hareketle

$$K = \frac{2\Delta P}{\rho V^2} \quad (3.17)$$

ilişkisiyle hesaplanır.

Bu çalışmada da imalatı yapılan beş farklı siklonun ayırma verimi ve basınç kayıpları deneysel olarak incelenmek istenmiştir. Anlaşılacak istenilen temel konu siklon gövdesi küçüldükçe bu değişimin basınç kaybı ve toplama verimine etkisini görmektir. Siklon modeli olarak yüksek verimli Stairmand tipi siklon seçilmiştir. Siklon gövde çapları 30,25,20,15 ve 10 mm olarak belirlenip diğer boyutları Stairmand (1951) modeline göre hesaplanmıştır. Parçalar klasik siklon dizaynına uygun olarak giriş borusu, silindir gövde, konik gövde ve çıkış borusundan oluşmaktadır.

### 3.2. Siklonların Tasarımı

Siklonlarda birçok parametre bulunmakta olup bu parametreler siklon performansına az veya çok etki etmektedir. Bazen etkisi ihmal edilebilir mertebede olabilmektedir. Bu parametrelerden biri siklon büyüklüğüdür. Genel olarak geometrik benzerlik korunarak küçültülen siklonlarda kritik çap küçülmekte ve verim artmaktadır. Basınç kaybı katsayısının da benzer olması beklenmektedir. Kuramsal yaklaşımlarda ve yaygın kullanılan birçok modelde bu eğilim göze çarpmaktadır. Bununla birlikte Avcı ve Karagöz (2003) modeli bu eğilim dışında olup bir siklonun benzer olarak küçülmesinin belli bir sınırı olacağını işaret etmektedir. Bu yaklaşımın geçerliliği ancak deneysel olarak araştırılabilir. Bu çalışmanın temel amacı bu durumun deneysel olarak incelenmesidir.

Bu amacı gerçekleştirmek üzere yüksek verimli Stairmand siklonu referans alınarak 5 farklı büyüklükte teğetsel girişli yüksek verimli Stairmand siklonu tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan bu mini siklon filtrelerin her biri üç parçadan oluşacak şekilde üç boyutlu yazıcıda imal edilmiştir (Şekil 3.2). Daha sonra montajlanacak bütün parçalar saf aseton buharına maruz bırakılarak siklonun iç ve dış pürüzlülüğünün azaltılması sağlanmıştır. Bu işlemlerin ardından parçalar yine saf aseton kullanılarak birbirine yapıştırılmış ve imalat tamamlanmıştır. Ayrıca bütün siklonlara uyumlu bir adet toz kutusu imal edilmiştir. Temiz havanın atılacağı siklonun üst borusu her filtre için aynı çapta üretilmiş böylece deney düzeneğinin hortum çapı değiştirilmeden bütün deneyler yapılabilmektedir. Üç boyutlu yazıcıda iplik olarak ABS kullanılmıştır. ABS bu tip imalatlarda yaygın olarak kullanılan petrol türevli bir termoplastiktir. Yüksek dayanıklılığı ve sertliği sayesinde darbelere karşı dayanımlı olan bu malzemenin esnekliği düşük ve özkütlesi  $1,1 \text{ gr / cm}^3$  tür.



**Şekil 3. 2.** İmal edilen Stairmand tipi mini siklon ayırıcılar ve toz kutusu

İmalatın ardından deney sistemi hazırlanmıştır. Deneylerde debi ölçümü için iki farklı kapasitede rotametre kullanılmıştır. Siklon negatif basınç altında çalıştırılmıştır. Hortumlar yardımıyla emiş yapacak olan fan öncelikli olarak büyük kapasiteli debimetreye ardından küçük kapasiteli debimetreye son olarak da siklon filtreye bağlanmıştır. Fan çalıştırıldığında havayı emmeye başlayarak deney sistemi boyunca ilerlemektedir. Çevre havası bir giriş lülesi ile doğrudan siklona girmekte ve siklon çıkış borusundan siklonu terk etmektedir. Siklon çıkış borusunun yakın bir mesafeden ufak bir delik açılarak prob yardımıyla basınçölçer (Testo 521) bağlanmıştır. Bu sayede siklon çalışırken siklon çıkışındaki basınç ölçülmüştür. Ölçülen basınç ile basınç kayıpları

bulunmuş ardından basınç düşüm katsayısı olan K katsayısı Denklem 3.17'ye göre hesaplanmıştır.

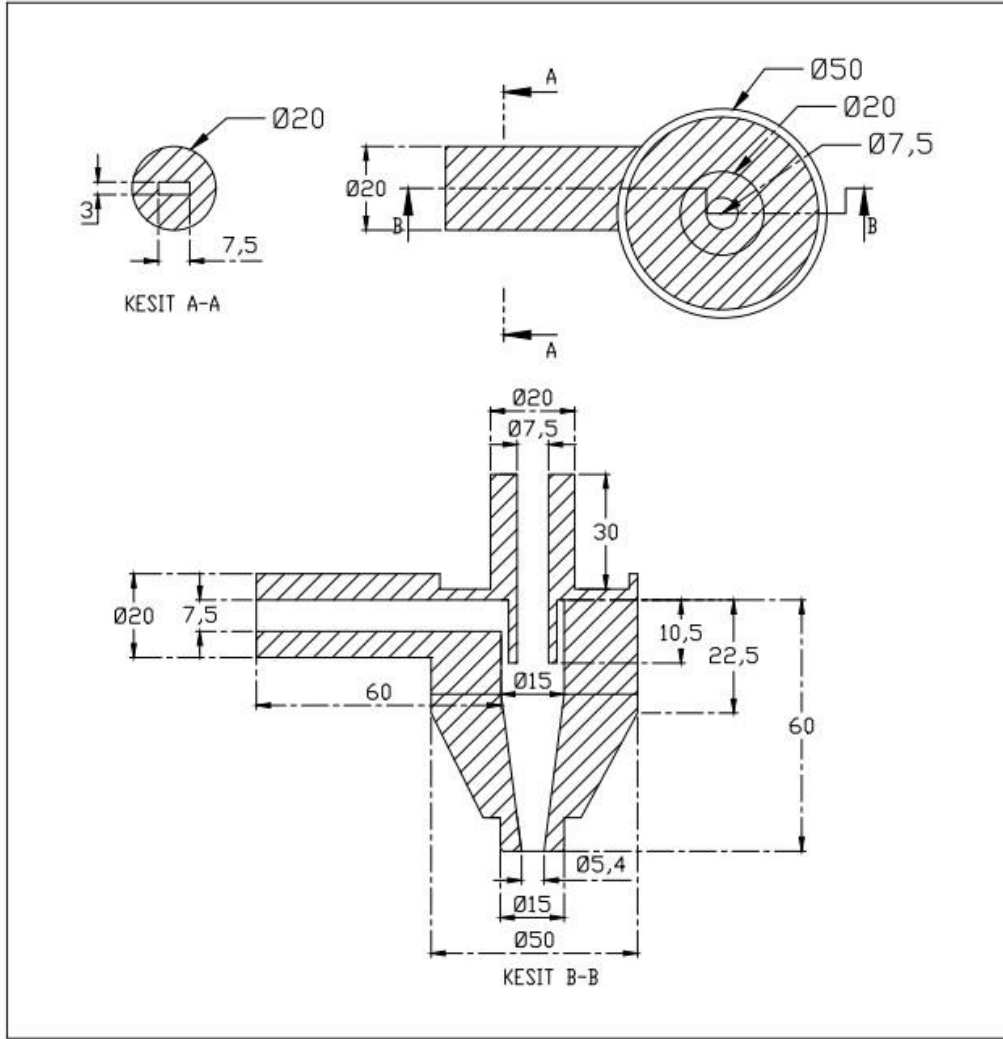
Tozlu deney için tüm mini siklonların giriş kesitinden 14 mm uzaklıkta 3 mm çapında küçük delikler açılmıştır. Buradan süzgeçten geçirilen kalsit tozu filtrenin içine atılarak tozlu hava karışımının oluşması sağlanmıştır. Yapılan her deney için kullanılacak toz miktarı hassas terazide ölçülmüştür. Tartılarak siklon içine atılan tozların bir kısmı toz kutusunda birikmiştir kalan kısmı ise çıkış borusundan hava ile birlikte çıkmıştır. Toz kutusunda toplanan toz ile siklona verilen toz miktarından toz ayırma verimi Denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda havanın dinamik viskozitesi  $\mu=1.82 \cdot 10^{-5}$  kg/m.s, toz yoğunluğu  $\rho_p = 2700$  kg/m<sup>3</sup>, havanın yoğunluğu  $\rho_h = 1,2$  kg/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Cunningham düzeltme faktörü önce 1 olarak kabul edilmiştir. Kritik çap hesaplandıktan sonra  $C_C$  değeri bulunmuştur. Bulunan değer ile düzeltilmiş kritik çap değeri hesaplanmıştır.

### **Siklonların boyutlandırılması**

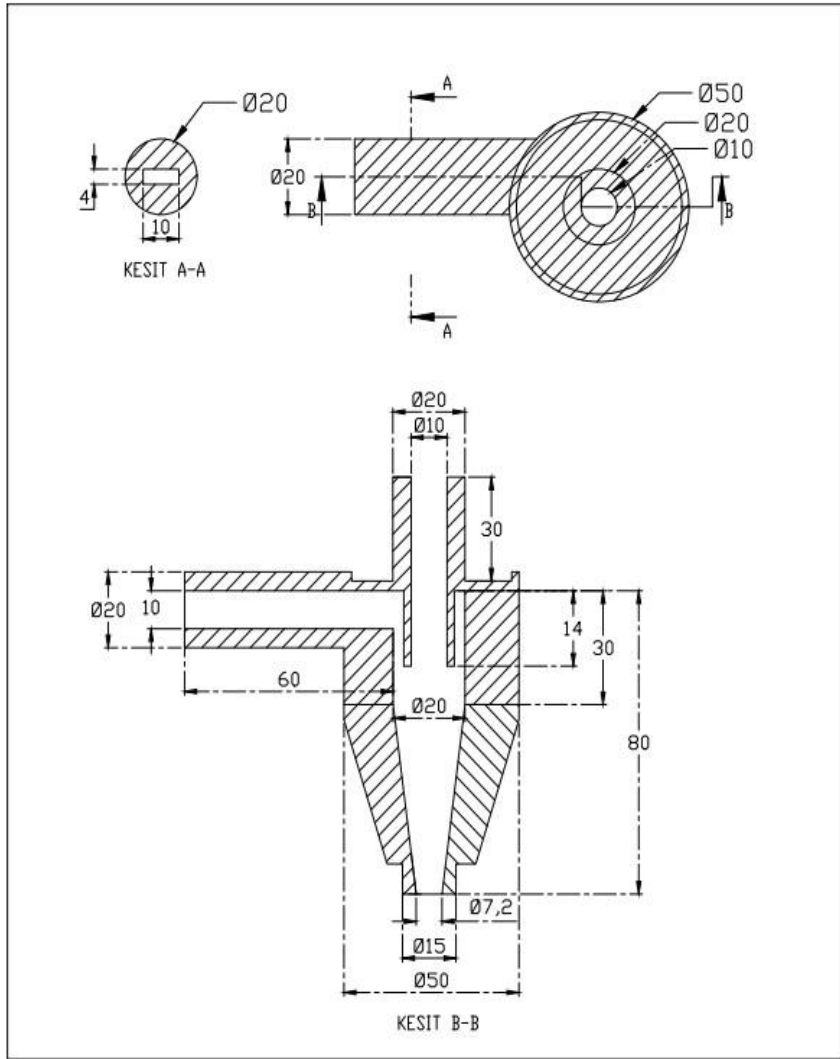
Siklonların boyutlandırılmasında Denklem 3.15 kullanılarak beklenen değişimin gözlenebileceği siklon büyüklükleri ve çalışma hızları belirlenmiştir. İmal edilen siklonların kolay ve daha doğru sonuçlar verebilecek tesisat uyarlaması yapılmıştır. Siklonların girişinde havanın daha az kayıpla siklona girişini sağlamak amacıyla giriş ağzı gittikçe daralan ve sonrasında giriş kesiti dikdörtgen olan bir kanal olarak dizayn edilmiştir. Bu düzgün ilerleyen kanala ufak bir delik açılmış ve oradan kalsit tozlarının siklon içine aktarılması hava ile tozun bu kısımda karışması sağlanmıştır. Ana gövde çapı 30 mm, 25 mm, 20 mm, 15 mm ve 10 mm olan beş adet Stairmand tipi yüksek verimli mini siklon imal edilmiştir. Siklon çıkış borusu dalma yüksekliğinin et kalınlığı 2 mm olarak imal edilmiştir. Siklonların diğer boyutları da Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



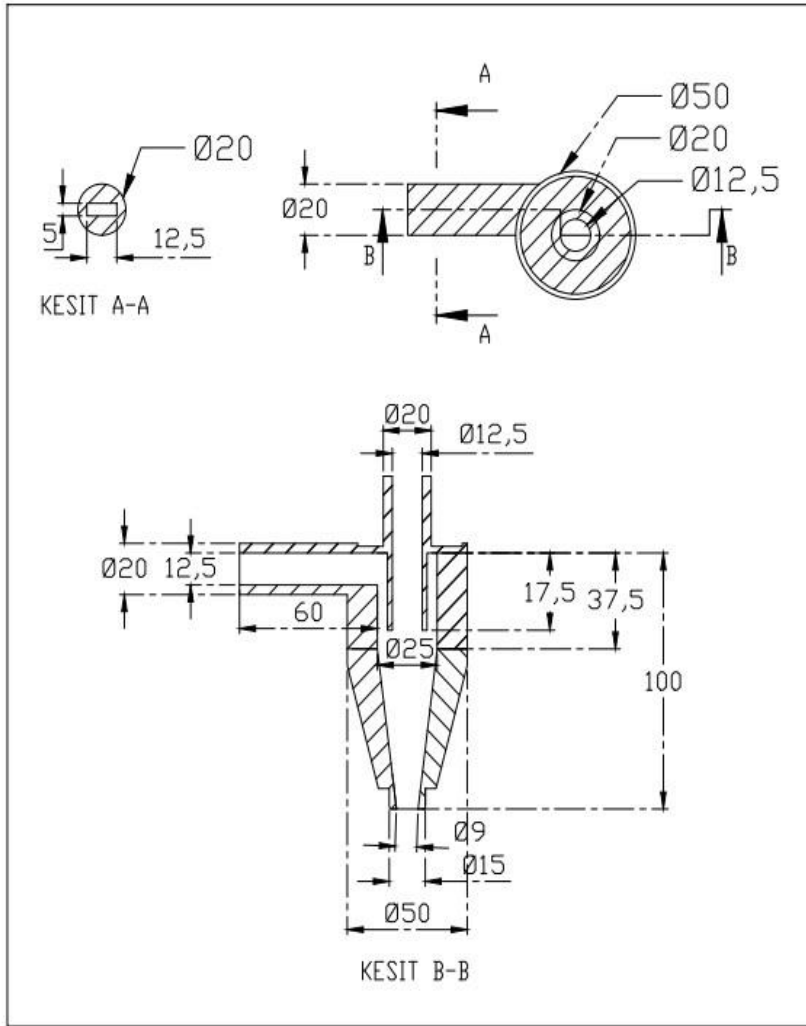


Şekil 3. 4. Siklon 15 başlıca ölçüleri

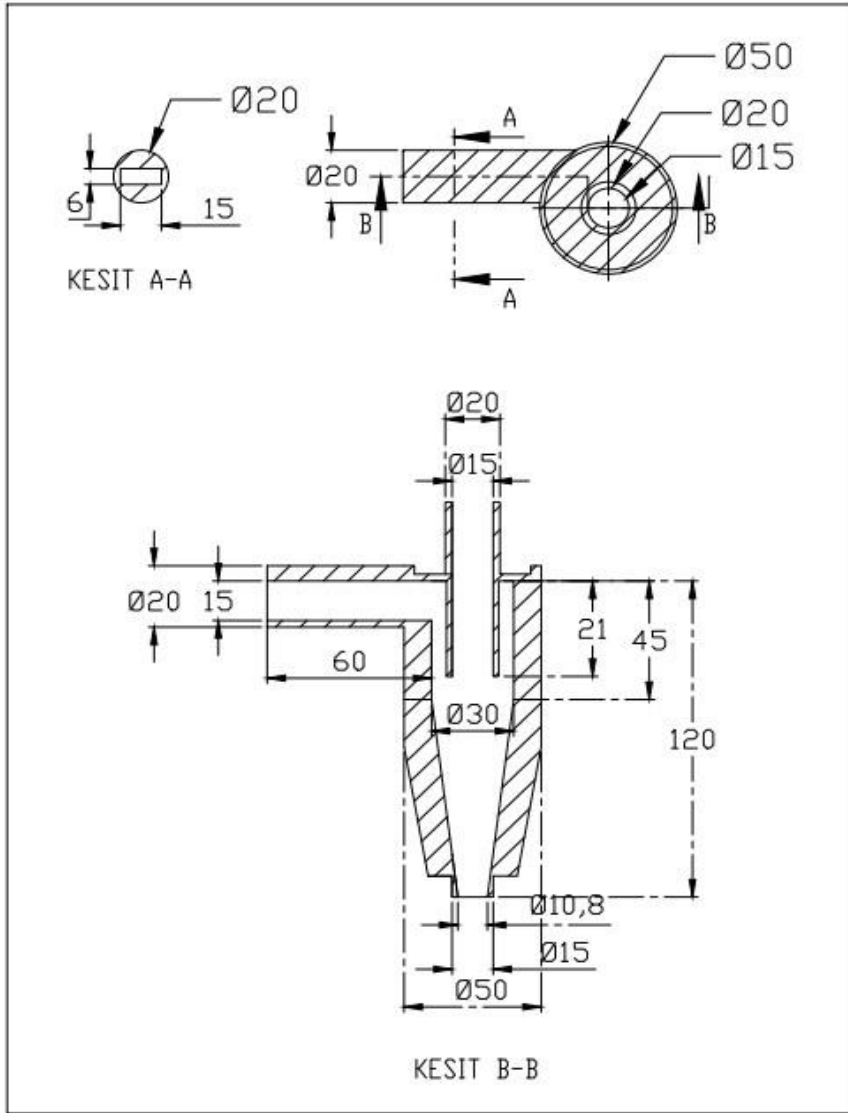




Şekil 3.5. Siklon 20 başlıca ölçüleri



Şekil 3. 6. Siklon 25 başlıca ölçüleri



Şekil 3.7. Siklon 30 başlıca ölçüleri



Sistemin çalışma prensibi şu şekildedir. Siklondan havanın dışarı sızması ve toz beslemenin kolay olması açısından vakum altında yani emme yapılarak çalışılmıştır. Emme fanı sırasıyla önce büyük debimetreye sonrasında küçük debimetreye ve en son olarak siklon ayırıcıya bağlanmıştır. İki farklı debimetre kullanarak beş farklı mini siklon için çeşitli debilerde ölçüm yapılabilmektedir. Büyük debilerde çalışırken küçük debimetrenin direnç göstermemesi için bir bypass hattı kurulmuştur. Bu hat ile küçük debimetrenin altına ve üstüne vanalar konulmuştur ve vanalar açılıp debimetrenin kendi vanası kapatılarak akış direkt olarak borulardan geçmesi sağlanmıştır.

Deneilerin her birinde havanın benzer toz konsantrasyonlarda olmasını sağlamak adına deneyler yaklaşık 20-45 dakika sürecek şekilde yapılmıştır. Düşük debilerde hava hızına bağlı olarak deneyler daha uzun, yüksek debilerde ise daha kısa sürmüştür. Her bir siklonun giriş ağzından 14 mm uzaklıkta toz besleme amacıyla 3 mm çapında delik delinmiştir. Buradan süzgeçli bir kap ve titreşim cihazı yardımıyla tozlar siklonun içine düzenli olarak aktarılmıştır. Süzgeçli kap kullanılmasının amacı tozların birbirine yapışmasını önleyerek hem siklonun tıkanmasını engellemek hem de mümkün olduğunca en uygun ve benzer konsantrasyonlarda besleme elde etmektir.

### 3.3.1. Kalsit Tozu

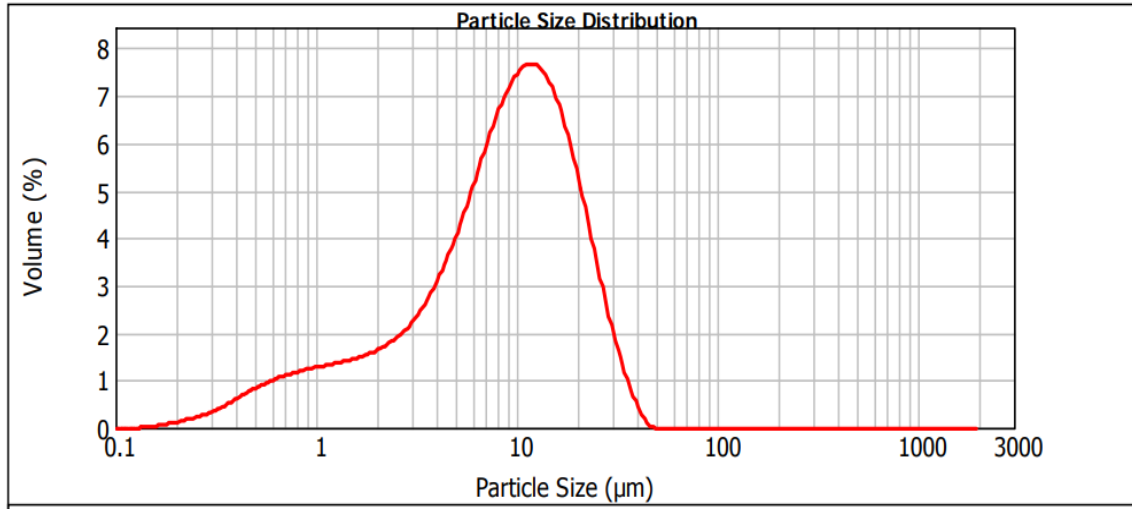


**Şekil 3.9.** Deneilerde kullanılan kalsit tozu

Kimyasal formülü  $\text{CaCO}_3$  olan kalsiyum karbonat olarak da bilinen bir mineraldir. Kireçtaşı, jips, mermer, kalker, tebeşir gibi karbonatlı kayaçların yapıtaşıdır. Doğada kristal olarak bulunur, sertliği az olduğundan kolay öğütülür ve öğütüldüğünde beyaz rengini alır. Ülkemizde de bolca rezervi bulunan kalsitin birçok alanda kullanımı mevcuttur. Kağıt, boya, seramik, su arıtma, ilaç, inşaat, plastik ve kömür santrallerinde; kirleticileri ayırmak, suyun sertliği azaltmak, boyada pigment sağlamak gibi çeşitli amaçlarda kullanılır. Şekil 3.9'da gösterilen kalsit tozunun özellikleri şu şekildedir;

- Mohr sertlik çizelgesine göre sertliği 3'dür
- Çözünürlüğü  $25\text{ }^\circ\text{C}$ 'da  $0,015\text{ gr/cm}^3$ 'tür
- Özgül ağırlığı  $20\text{ }^\circ\text{C}$ 'da  $2,7\text{ gr/cm}^3$ 'tür
- Moleküler ağırlığı  $100,08$ 'dir
- $25\text{ }^\circ\text{C}$ 'da doymuş çözeltisi içinde pH değeri 8-9 aralığındadır
- Erime noktası  $1340^\circ\text{C}$ 'tır
- Yanıcı, patlayıcı ya da uçucu değildir.

Son maddede belirtilen yanıcı, patlayıcı ya da uçucu olamama özelliği kalsit tozunun güvenli bir şekilde deneylerde kullanılmasını sağlamıştır. Kalsit partiküllerinin değişken boyutlardadır. Kalsit tozunun havaya göre yoğunluğunun oldukça yüksektir. Bu havanın içine homojen olarak karışmasına ve deneylerde sağlıklı sonuçlara ulaşmaya yardımcı olur. Deneylerde kullandığımız kalsit tozunun partikül boyut aralığı  $0,138\text{ }\mu\text{m} - 39,811\text{ }\mu\text{m}$ 'dir ve bu boyutlar Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.10.** Deneylerde kullanılan kalsit tozu numunesinin partikül boyutu analizi

### 3.3.2. Büyük Kapasiteli Debimetre



**Şekil 3.11.** 1-10 m<sup>3</sup>/h aralığında çalışan büyük kapasiteli debimetre

Yüksek debilerde ölçüm yapmak için kullanılan Şekil 3.11’de gösterilen debimetre 0.5 m<sup>3</sup>/h hassasiyetinde ve 1-10 m<sup>3</sup>/h aralığında çalışmaktadır. Gaz akışkanlar için kullanılan bu debimetre şamandıralı tiptedir. Şamandırası paslanmaz çelik, gövdesi ise polipropilendir. Aynı zamanda ayar vanası debimetrenin üzerinde bulunduğu için sisteme ekstra vana eklemeye gerek kalmamıştır.

### 3.3.3. Küçük Kapasiteli Debimetre



**Şekil 3.12.** 1000-10 000 ml/dk aralığında çalışan küçük kapasiteli debimetre

Düşük debilerde ölçüm yapmak için kullanılan Şekil 3.12’de gösterilen debimetre 1000 ml/dk hassasiyetinde ve 1000-10 000 ml/dk aralığında çalışmaktadır. Tıpkı diğer debimetre gibi gaz akışkanları için kullanılır. Şamandırası diğerinden farklı olup plastiktir ama gövde bu debimetrede de polipropilendir. Ayar vanası debimetre üzerinde bulunmayıp küresel vana ile debi ayarı yapılmaktadır.

### 3.3.4. Basınçölçer



**Şekil 3.13.** Dijital basınçölçer



Basınç ölçmek için Şekil 3.13'te gösterilen Testo 521 cihazı kullanılmıştır. Cihaz, basıncı istenilen birimlerle ölçme imkanı vermektedir. Bu çalışmada basınç pascal cinsinden ölçülmüştür. Bu cihaz iki ayrı hava girişi sayesinde noktalar arasındaki statik basınç farkını ölçer. Yapılan deneylerde siklon ayırıcının çıkışına delik açılarak cihaz Testo 521'in bir probu sisteme bağlanmış, diğer hava girişi ise atmosfer ortamına açık bırakılmıştır. Ölçüme başlamadan önce atmosfer basıncı sıfırlanarak ölçüm esnasında siklonda oluşan basınç kaybı net olarak ölçülmüştür.

### 3.3.5. Blower



**Şekil 3.14.** Proair 0.5 kW blower

Şekil 3.14'te gösterilen blower, bağlı bulunduğu motor gücüyle havanın basılması ya da vakumlanması için kullanılır. Blower'ın her bir devrinde, cihazın içerisindeki fan emdiği havayı çıkış kısmına doğru iter. Böylece deneyler için ihtiyaç duyulan vakumlama kuvveti 0.5 kW gücündeki bu blower ile sağlanmıştır.

### 3.3.6. Partikül Ölçüm Cihazı



**Şekil 3.15.** Malvern Mastersizer 2000

Siklon ayırıcıların topladığı tozların partikül boyutlarının ölçümü Şekil 3.15'te gösterilen Mastersizer 2000 analiz cihazı ile yapılmıştır. Bu cihaz parçacıkların boyutunu lazer kırınım yöntemi ile ölçer. Partiküllerin üzerine ışın gönderilir, bu ışınlar belli bir açıyla kırılır, kırılma açısı parçacık boyutuyla ters orantılıdır. Kırılan ışınlar mercekten geçerek dedektörün üzerine düşer. Böylece parçacıkların boyutu ve numune içerisindeki yüzdesi hesaplanmış olur. Lazer kırınım yönteminde Fraunhofer ve Mie kuramı kullanılır. Bu çalışmada Mie Teorisi kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Mie Teorisine göre parçacıklar şeffaf ve küresel kabul edilir buna göre boyut analizleri yapılır ve 50 mikrondan küçük parçacıkların ölçümünde daha başarılıdır. Bu çalışmada da kullanılan kalsit tozunun boyutları 50 mikrondan küçük olduğu için Mie Teorisi en optimum çözümdür.

### 3.4. Deney Siklonları ve Çalışma Şartları

Isı tekniği laboratuvarında, deney sistemi özenli bir şekilde kurulduktan sonra deneyler yapılmıştır. Yapılan bu deneylerde temel parametre siklon gövde çapları ve buna bağlı değişen siklon geometrisidir. Siklon gövde çapları 30 mm, 25 mm, 20 mm, 15 mm ve 10 mm'dir. Bu çaplar küçüldükçe giriş kesitleri küçülmüştür. Bunun sonucunda giriş hızlarını belirlenen aralıkta tutmak için kullanılan debimetreler sayesinde siklondan birim zamanda geçirilen hava miktarı (debi) ayarlanmıştır.

#### 3.4.1. Siklon 30 mm Deney Şartları

Tüm siklon ayırıcılar için giriş hızları (V) : 4, 6, 8 ve 10 m/s olarak belirlenip bu hızlara en çok yaklaşabileceğimiz debilerde çalışılmıştır. Siklon giriş hızı debiyle doğru, giriş kesitiyle ters orantılıdır. Siklon 30'un giriş kesiti 6\*15 mm'dir. Buna bağlı olarak Siklon 30 mm için yapılan deneylerde debiler (Q): 1,5, 2, 2,5 ve 3,5 m<sup>3</sup>/h olarak gerçekleşmiştir. Bu debilerde bu siklon için hesaplanan nihai hız değerleri (V): 4,62 m/s, 6,172 m/s, 7,715 m/s, 10,80 m/s olarak hesaplanmıştır.

Siklon 30 deneylerinde her bir deney için yeterli toz ve uygun konsantrasyonlarda çalışmak için 1,5 ve 2 m<sup>3</sup>/h debide 15 gram, 2,5 m<sup>3</sup>/h debide 20,2 gram, 3,5 m<sup>3</sup>/h debide 25,1 gram kalsit tozu kullanılmıştır.

#### 3.4.2. Siklon 25 mm Deney Şartları

Siklon 30'da olduğu gibi Siklon 25 içinde giriş hızları (V): 4, 6, 8 ve 10 m/s olarak belirlenip bu değerlere en çok yaklaşabileceğimiz debiler hesaplanmıştır. Giriş kesit alanı 5\*12,5 mm olan bu mini siklon için (Q): 1, 1,5, 2 ve 2,25 m<sup>3</sup>/h debilerde deneyler yapılmıştır. 1 ve 1,5 m<sup>3</sup>/h debilerinde 15,15 gram kalsit tozu, 2 m<sup>3</sup>/h debide 20 gram kalsit tozu, 2,25 m<sup>3</sup>/h debide ise 25 gram kalsit tozu kullanılmıştır. Seçilen debilerde hesaplanan nihai hızlar ise (V): 4,444 m/s, 6,666 m/s, 8,888 m/s ve 9,999 m/s olarak belirlenmiştir.

### 3.2.3. Siklon 20 mm Deney Şartları

Siklon 20 içinde hızlar diğer siklonlarda olduğu gibi belirlenmiştir. Giriş kesiti 4\*10 mm olan bu mini siklonda debiler (Q): 10 000 ml/dk, 1 m<sup>3</sup>/h, 1,25 m<sup>3</sup>/h ve 1,5 m<sup>3</sup>/h olarak hesaplanmıştır. 10 000 ml/dk debide 15,2 gram, 1 m<sup>3</sup>/h debide 16,6 gram 1,25 m<sup>3</sup>/h debide 25,1 gram ve 1,5 m<sup>3</sup>/h debide ise 30,5 gram kalsit tozu kullanılmıştır. Seçilen debilere göre belirlenen nihai hızlar (V): 4,166, 6,944, 8,68, 10,416 m/s olarak hesaplanmıştır.

### 3.2.4. Siklon 15 mm Deney Şartları

Siklon 15 mm içinde hızlar diğer siklonlarda olduğu gibi belirlenmiştir. Giriş kesiti 3\*7.5 mm olan bu mini siklonda (Q): 6000 ml/dk, 9000 ml/dk, 10 000 ml/dk, ve 0,75 m<sup>3</sup>/h debilerde çalışılmıştır. 6000 ve 9000 ml/dk debilerinde 15,2 gram, 10 000 ml/dk debide 20,2 gram ve 0,75 m<sup>3</sup>/h debide ise 25,2 gram kalsit tozu kullanılmıştır. Seçilen debilere göre belirlenen nihai hızlar (V): 4,444 m/s, 6,666 m/s, 7,407 m/s ve 9,258 m/s olarak belirlenmiştir.

### 3.2.5. Siklon 10 mm Deney Şartları

Siklon 10 mm içinde hızlar diğer siklonlarda olduğu gibi belirlenmiştir. Giriş kesiti 2\*5 mm olan bu mini siklonda (Q): 2000 ml/dk, 4000 ml/dk, 5000 ml/dk ve 6000 ml/dk, debilerde çalışılmıştır. . Bu siklonda boyutların küçük olduğundan deney süreleri uzamıştır. Bu yüzden bütün debilerde 15,1 gram kalsit tozu kullanılmıştır. Seçilen debilere göre belirlenen nihai hızlar (V): 3,338 m/s, 6,666 m/s, 8,333 m/s ve 10 m/s m/s olarak belirlenmiştir.

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bütün mini siklonlar farklı debilerde deneye tabi tutulmuştur. Her bir siklon için basınç kayıpları ölçülmüş, tozlu deneyler yapılmış ve toplanan tozlar hassas terazide tartılarak verimler hesaplanmıştır. Bu sayede farklı boyutlardaki beş mini siklonun belirli hızlarda toplama verimi ve basınç kaybı ayrıntılı olarak incelenebilmiştir.

Hız, debi, basınç kaybı, toplama verimi gibi değerler yapılan deneylerle toz özelliklerine bağlı olarak elde edilmiş ve siklon performans parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca bu siklonların verilen çalışma şartlarında beklenen kritik çaplar hesaplanmıştır.

### 4.1. Basınç Kaybı

Basınç kaybı siklon içinde en çok türbülanslı girdap akışında enerjinin dağılmasından kaynaklı oluşur. Bir kısmı ise siklonun iç duvarlarında meydana gelen sürtünme kayıplarından, siklon girişinde akışın genişlemesinden ve çıkış borusunda da daralmaya zorlanmasından oluşur. Siklon tasarımında basınç kaybının bulunması çok önemlidir çünkü basınç kaybı fanın çalışma gücünü ve buna bağlı olarak da maliyeti etkiler. İki nokta arasında ölçülen statik basınç farkı basınç kaybını vermektedir. Bu çalışmada basınç kaybını ölçmek için Testo 521 kullanılmıştır. Siklonun çıkış borusundan biraz uzakta açılan delikten bir prob yardımıyla cihaz bağlanır ve cihazın diğer ucu da atmosfere açık bırakılır. Ölçümden önce atmosfer basıncı sıfırlanır böylece siklondaki net basınç kaybı ölçülmüş olunur. Yöntemlerden biri de siklonun giriş ve çıkışı arasındaki statik basınç kaybını ölçmektir ancak bu çalışmada sadece siklon çıkışındaki basınç ölçülerek bulunmuştur. Basınç değerleri pascal cinsinden ölçülmüş hesaplamalar da buna göre yapılmıştır. Bu ölçümler bütün siklonlarda farklı debilerde ölçülmüş ve bütün hızlarda boyutsuz olan K basınç düşüm katsayısı Denklem 3.17'ye göre hesaplanmıştır. Ayrıca Denklem 3.16'ya göre K değerleri hesaplanmıştır ve bulgular Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Denklem 3.16'ya göre hesaplanan K değerleri

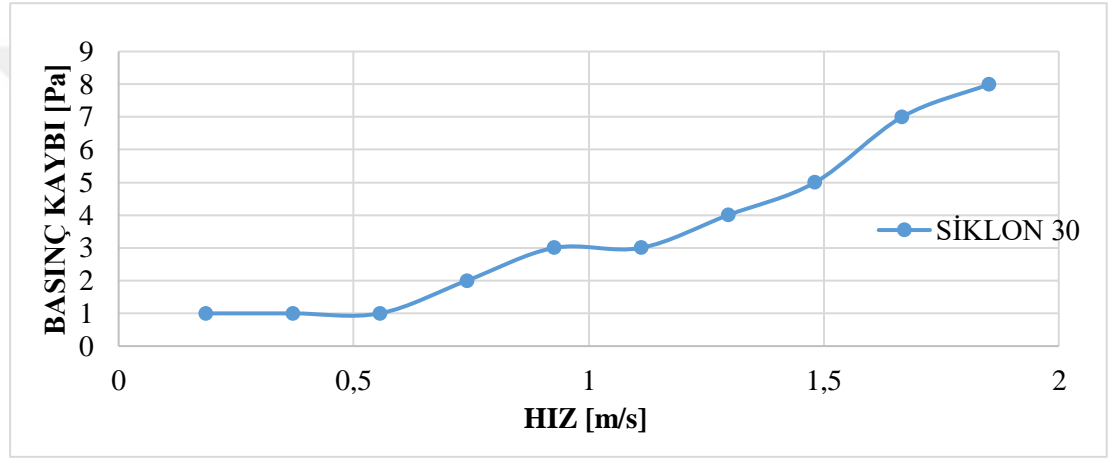
D30	
Hız (m/s)	Basınç Katsayısı Düşümü (K)
4	4,701
6	5,276
8	5,195
10	5,12
D25	
Hız (m/s)	Basınç Katsayısı Düşümü (K)
4	5,135
6	5,088
8	5,249
10	5,182
D20	
Hız (m/s)	Basınç Katsayısı Düşümü (K)
4	5,363
6	4,836
8	4,236
10	5,246
D15	
Hız (m/s)	Basınç Katsayısı Düşümü (K)
4	5,35
6	5,266
8	4,836
10	5,088
D10	
Hız (m/s)	Basınç Katsayısı Düşümü (K)
4	1,949
6	1,949
8	1,949
10	1,949

Bu değerler boyutsuz parametre olan Cs ve giriş çıkış çaplar oranı olan X'e göre hesaplanmıştır. Bulgular incelendiğinde basınç düşüm katsayısının 4-5 aralığında değiştiği gözlenmektedir. Siklon 10 mm'nin geometrik ölçülerinden kaynaklı olarak Cs değeri olması gerekenden büyük çıkmıştır. Bu yüzden Siklon 10 mm için Cs değeri tüm

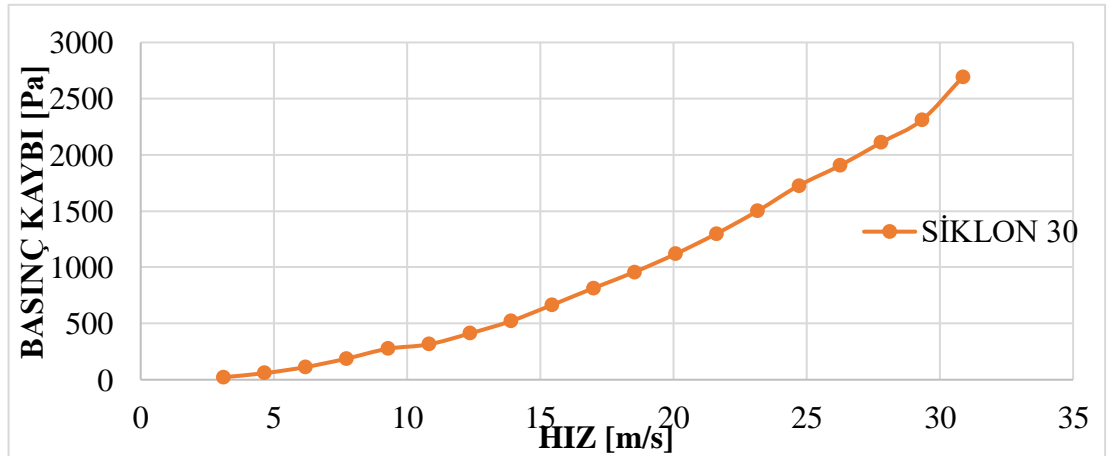
hızlar için 2 kabul edilerek hesap yapılmıştır. Sonuç olarak Siklon 10 mm için bütün hızlarda K değeri aynı bulunmuştur.

#### 4.1.1. Siklon 30 mm Basınç Kayıpları

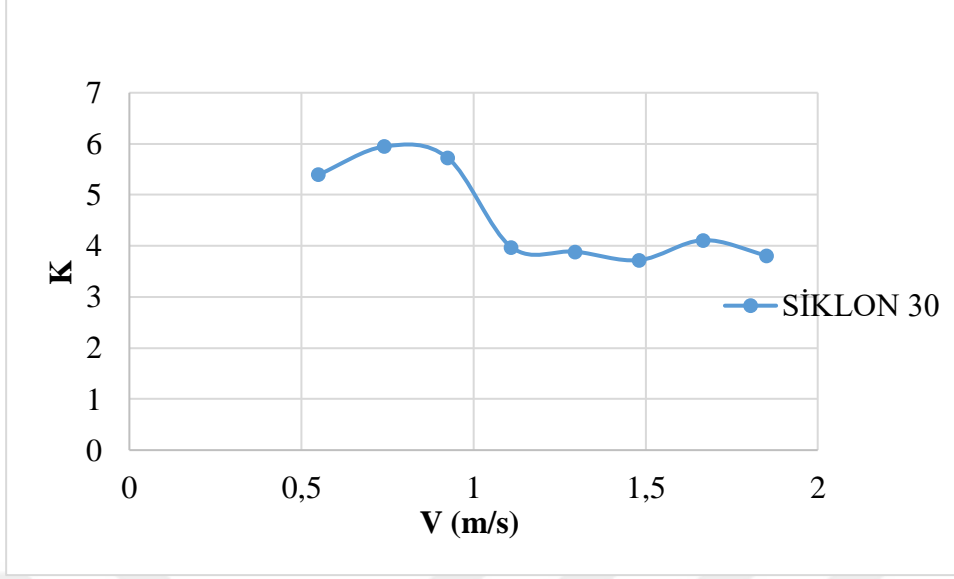
Gövde çapı 30 mm olan Siklon 30 için farklı debilerde basınç kayıpları ölçülmüş ve K değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de hıza bağlı basınç kayıpları, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de hıza bağlı K katsayısının değişimi verilmiştir.



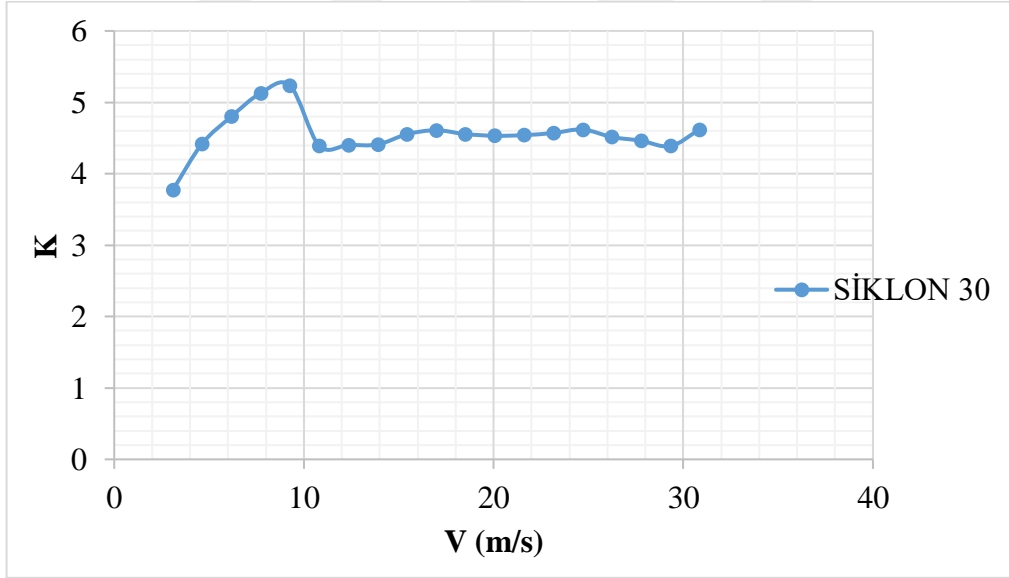
Şekil 4.1. 1000-10 000 ml/dk arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı



Şekil 4.2. 1-10 m<sup>3</sup>/h arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı



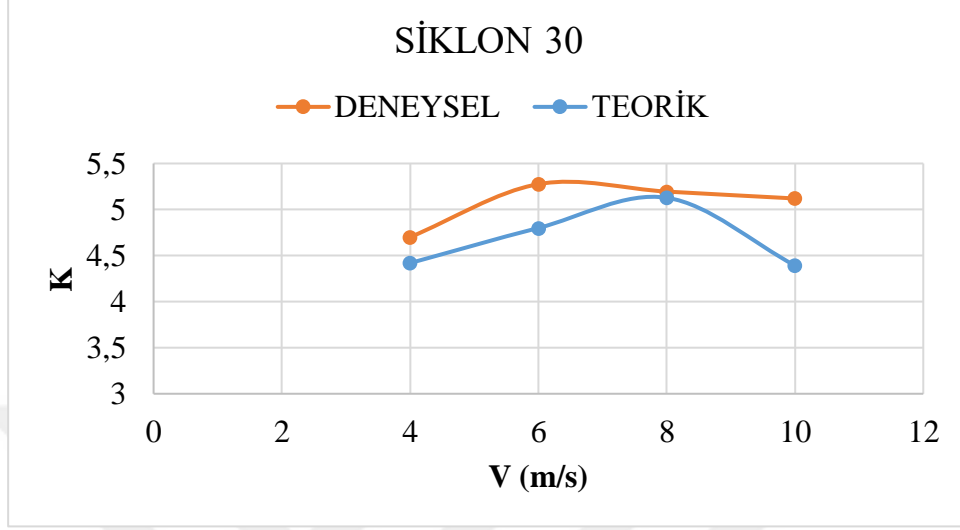
Şekil 4.3. 0,55-1,851 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi



Şekil 4.4. 3,086-30,86 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi



Ayrıca Şekil 4.5'te Siklon 30 için teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak bulunan K değerlerinin grafiği verilmiştir.

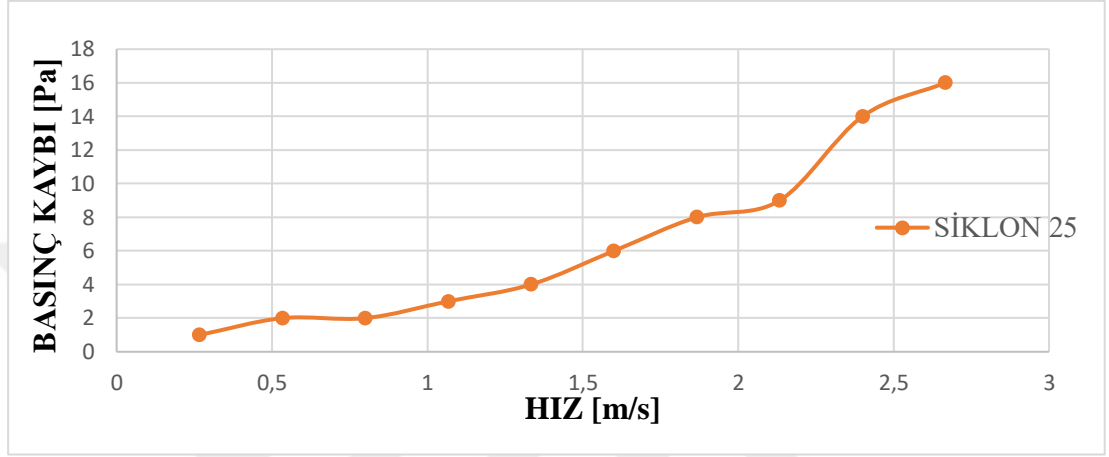


Şekil 4.5. Siklon 30 için belirli hızlarda K değerlerinin değişimi

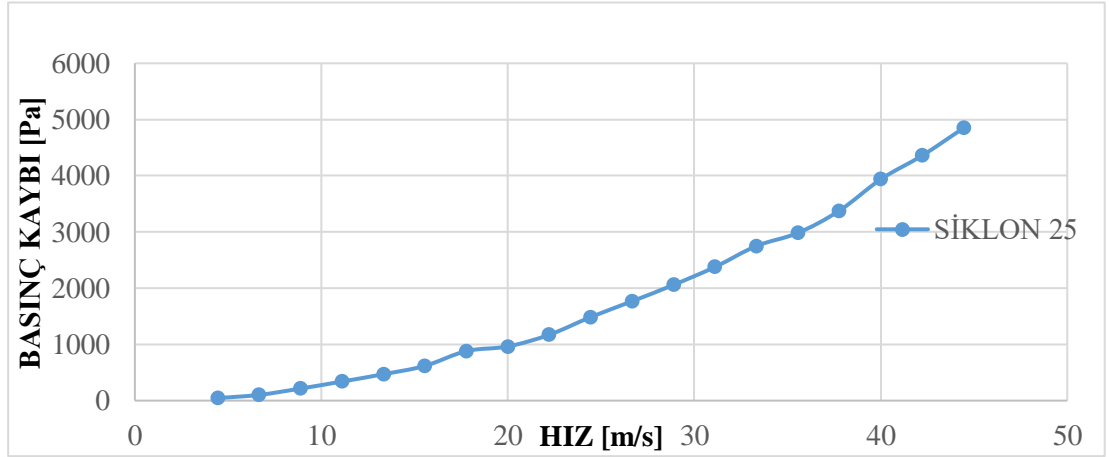
Siklon 30 mm için elde edilen değerlerde iki bölge dikkat çekmektedir. Birinci bölgede hızlar düşük olup basınç kayıpları da küçüktür. Bu 1 m/s altındaki hızlar cihaz hassasiyeti açısından güvenilir değildir. Daha büyük hızlarda ise basınç kayıp katsayısı 4 civarında kalmaktadır. 10 m/s üzerinde hızlarda ise basınç kayıp katsayısı 4.5 civarında değerler almaktadır. Arada 4-4.5 arası geçiş bölgesi bulunmaktadır.

#### 4.1.2. Siklon 25 mm Basınç Kayıpları

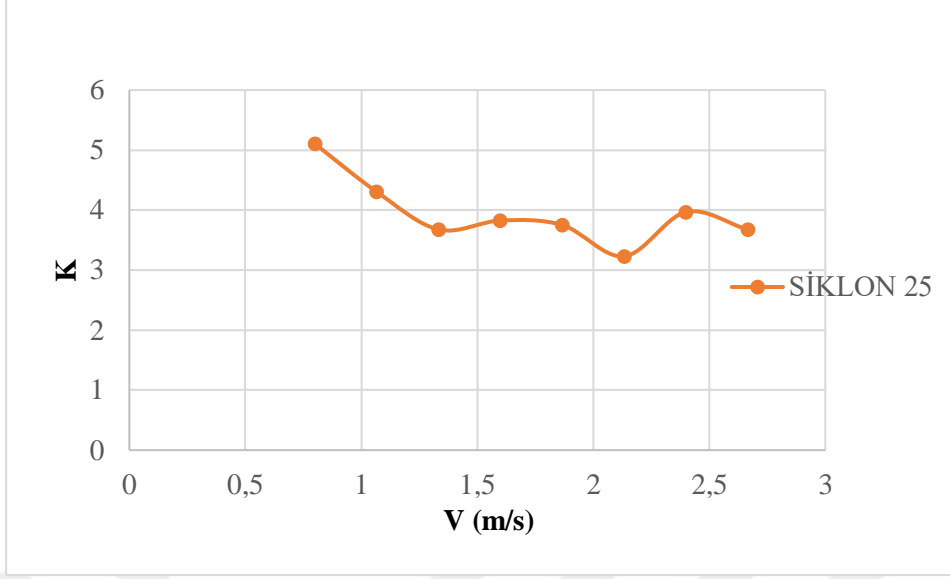
Gövde çapı 25 mm olan siklon için farklı debilerde basınç kayıpları ölçülmüş ve K değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de hıza bağlı basınç kayıpları, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da hıza bağlı K katsayısının değişimi verilmiştir.



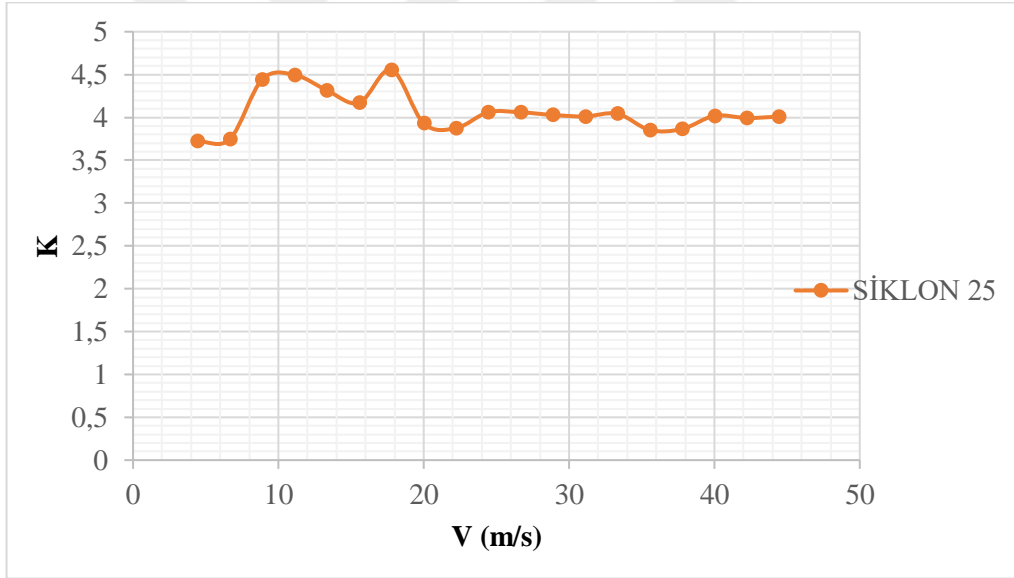
Şekil 4.6. 1000-10 000 ml/dk arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı



Şekil 4.7. 1-10 m<sup>3</sup>/h arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı

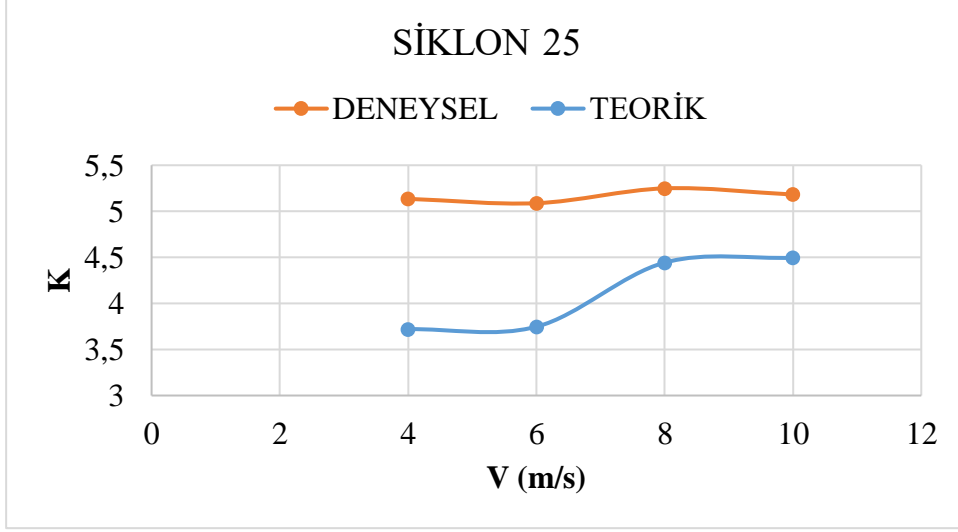


**Şekil 4.8.** 0,8-2,667 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi



**Şekil 4.9.** 4,444 - 44,4444 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi

Ayrıca Şekil 4.10'da Siklon 25 için teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak bulunan K değerlerinin grafiği verilmiştir.

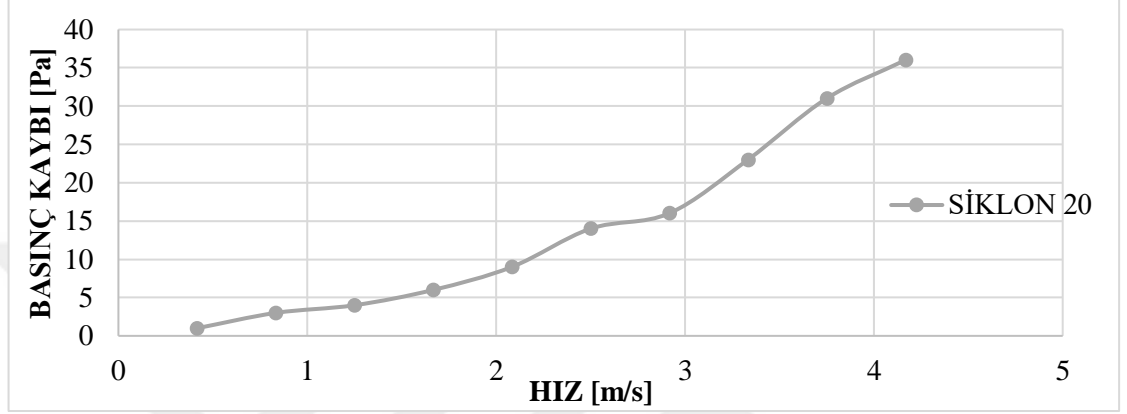


**Şekil 4.10.** Siklon 25 için belirli hızlarda K değerlerinin değişimi

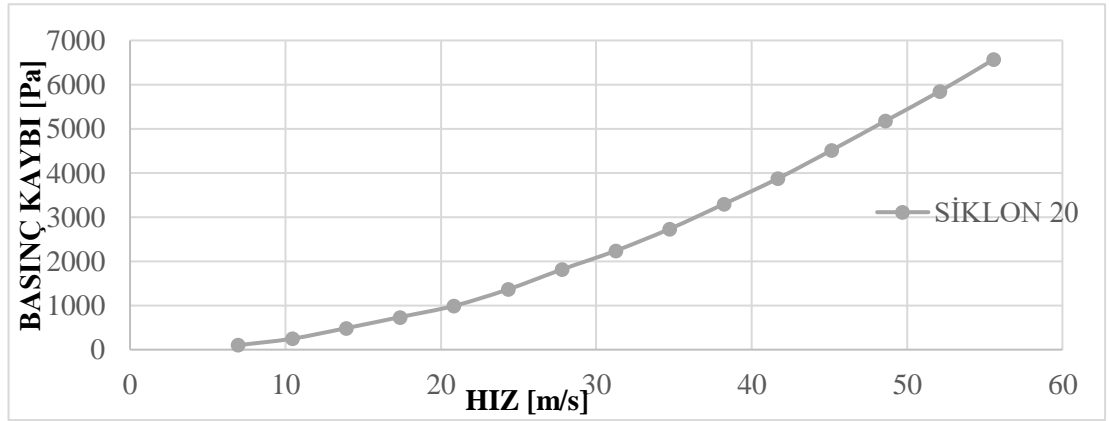
Siklon 25 mm için elde edilen değerlerde üç bölge dikkat çekmektedir. Birinci bölgede hızlar düşük olup basınç kayıpları da küçüktür. Bu 1 m/s altındaki hızlar cihaz hassasiyeti açısından güvenilir değildir. Daha büyük hızlarda ise basınç kayıp katsayısı 3-4 aralığında değişkenlik göstermektedir. Ortalama 3.5 civarında kabul edilebilir. 5-20 m/s aralığında 4.5 değerine kadar yükselirken ara bölgede değişkenlik göstermektedir. 20 m/s üzerinde hızlarda ise basınç kayıp katsayısı 4.0 civarında değerler almaktadır.

### 4.1.3. Siklon 20 mm Basınç Kayıpları

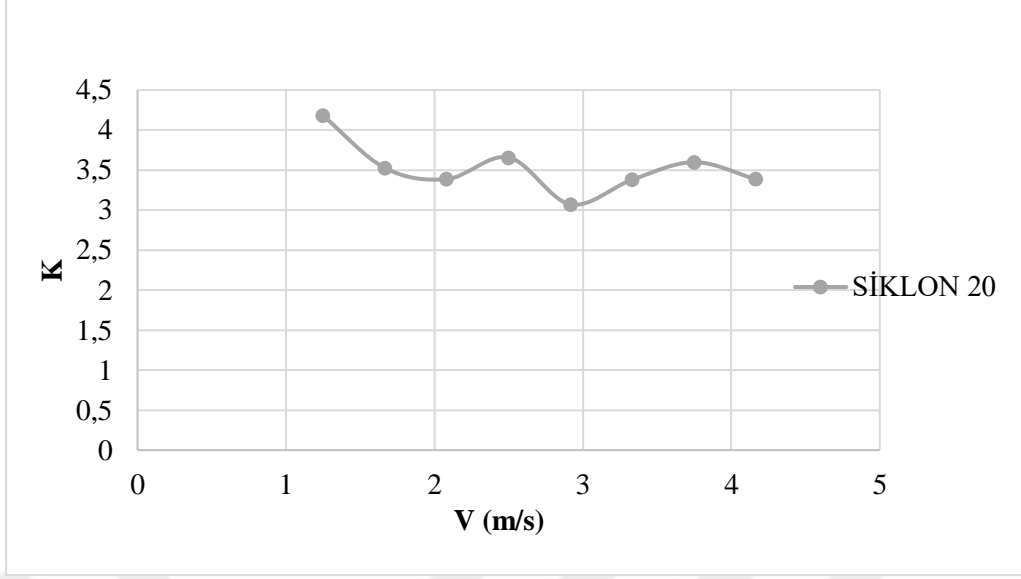
Gövde çapı 20 mm olan Siklon 20 için farklı debilerde basınç kayıpları ölçülmüş ve K değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de hıza bağlı basınç kayıpları, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te hıza bağlı K katsayısının değişimi verilmiştir.



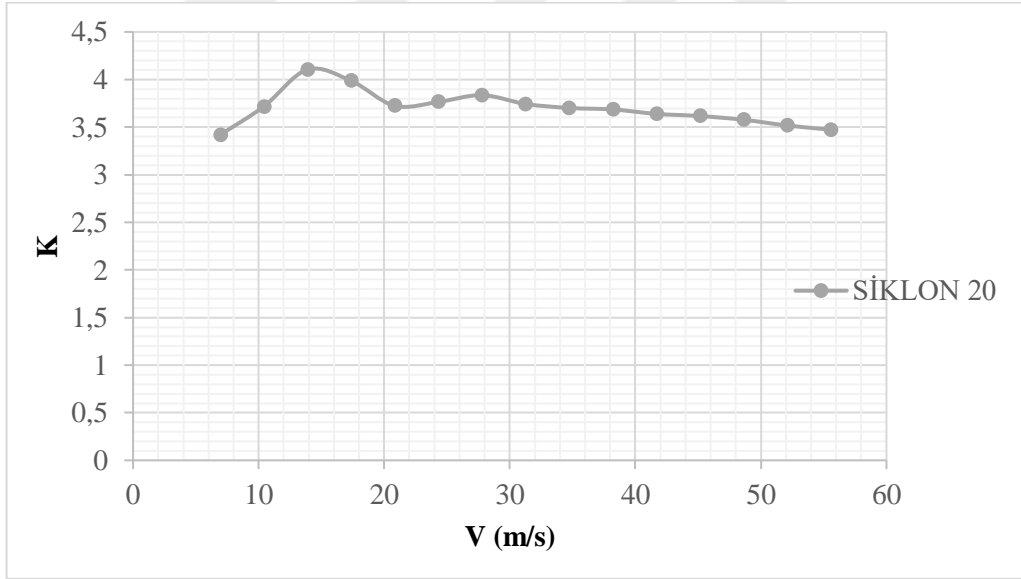
Şekil 4.11. 1000-10 000 ml/dk arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı



Şekil 4.12. 1-8 m<sup>3</sup>/h arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı

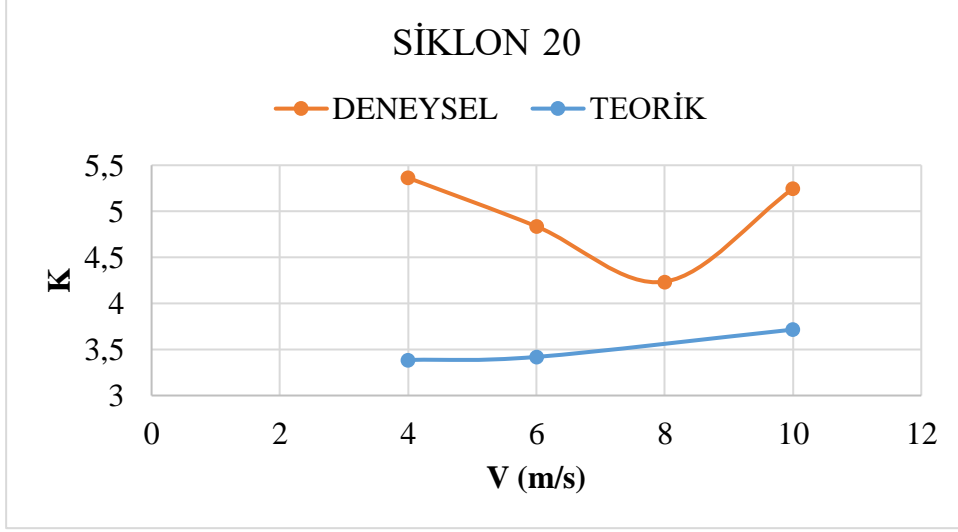


Şekil 4. 13. 1,25-4,166 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi



Şekil 4.14. 6,944 – 55,566 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi

Ayrıca Şekil 4.15'te Siklon 20 için teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak bulunan K değerlerinin grafiği verilmiştir.

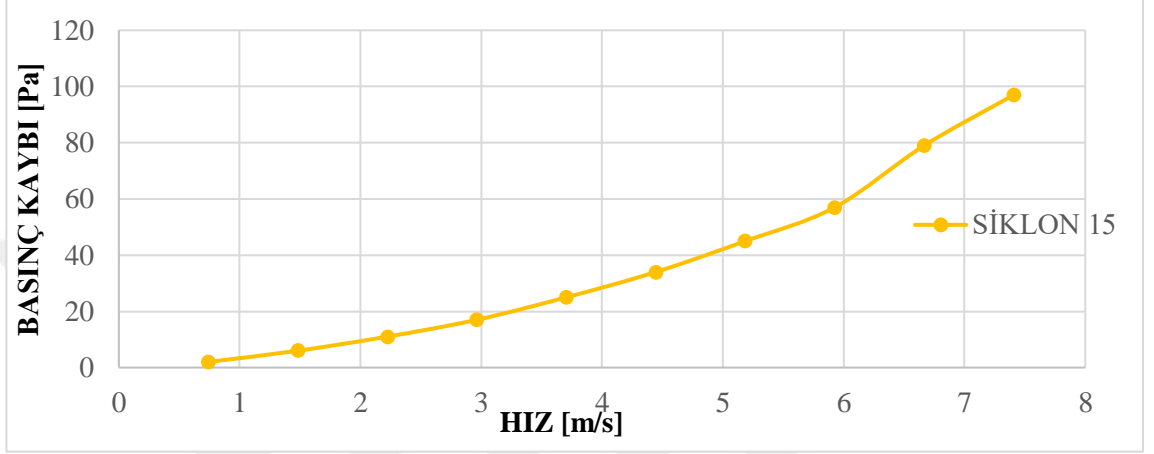


**Şekil 4.15.** Siklon 20 için belirli hızlarda K değerlerinin değişimi

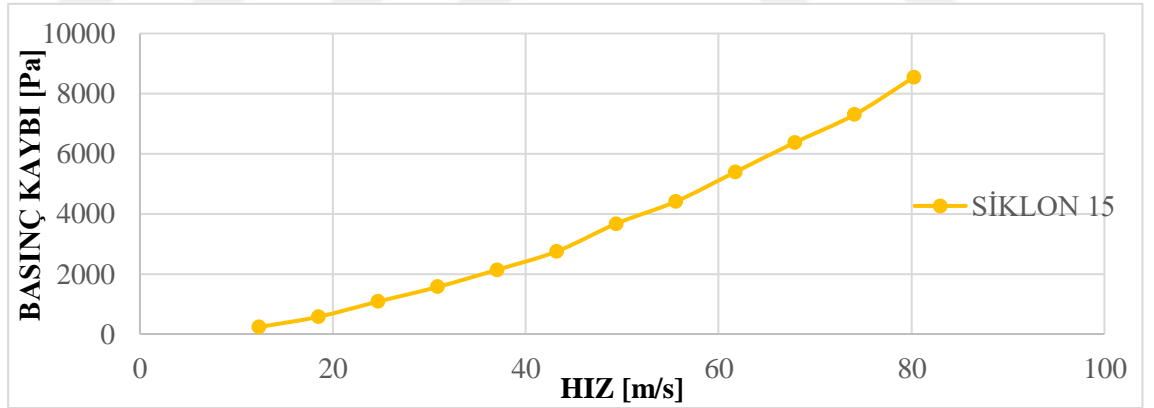
Siklon 20 mm için elde edilen değerlerde üç bölge dikkat çekmektedir. Birinci bölgede hızlar düşük olup basınç kayıpları da küçüktür. Bu 1 m/s altındaki hızlar cihaz hassasiyeti açısından güvenilir değildir. Daha büyük hızlarda ise basınç kayıp katsayısı 3-3,5 aralığında değişkenlik göstermektedir. Ortalama 3.25 civarında kabul edilebilir. 5-20 m/s aralığında 4.2 ye kadar yükselmekte ancak 3.5-4.2 aralığında değişkenlik göstermektedir. 20 m/s üzerinde hızlarda ise basınç kayıp katsayısı 3.8-3.5 aralığında düzgün azalma göstermektedir.

#### 4.1.4. Siklon 15 mm Basınç Kayıpları

Gövde çapı 15 mm olan Siklon 15 için farklı debilerde basınç kayıpları ölçülmüş ve K değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de hıza bağlı basınç kayıpları, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da hıza bağlı K katsayısının değişimi verilmiştir.

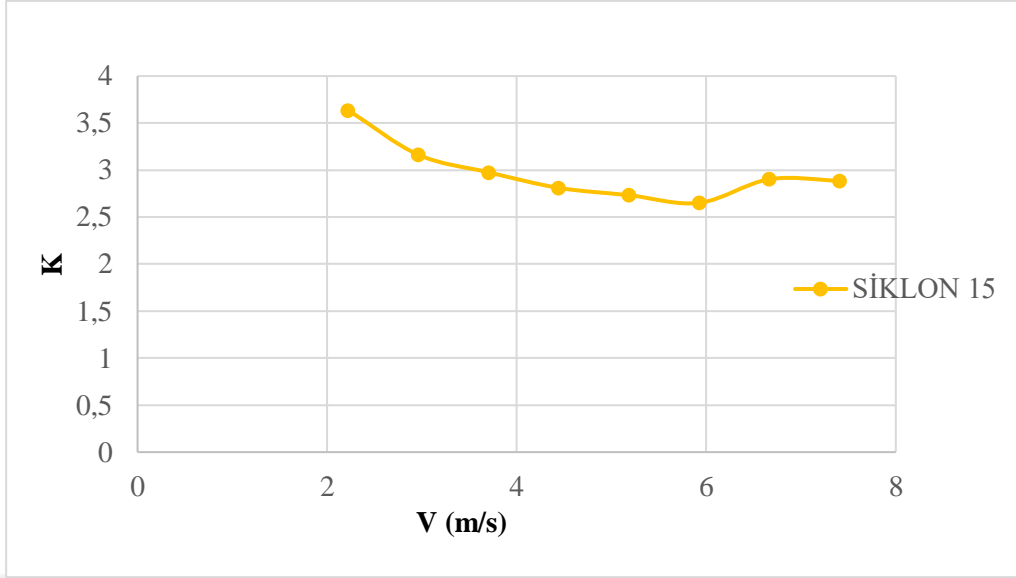


Şekil 4.16. 1000-10 000 ml/dk arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı

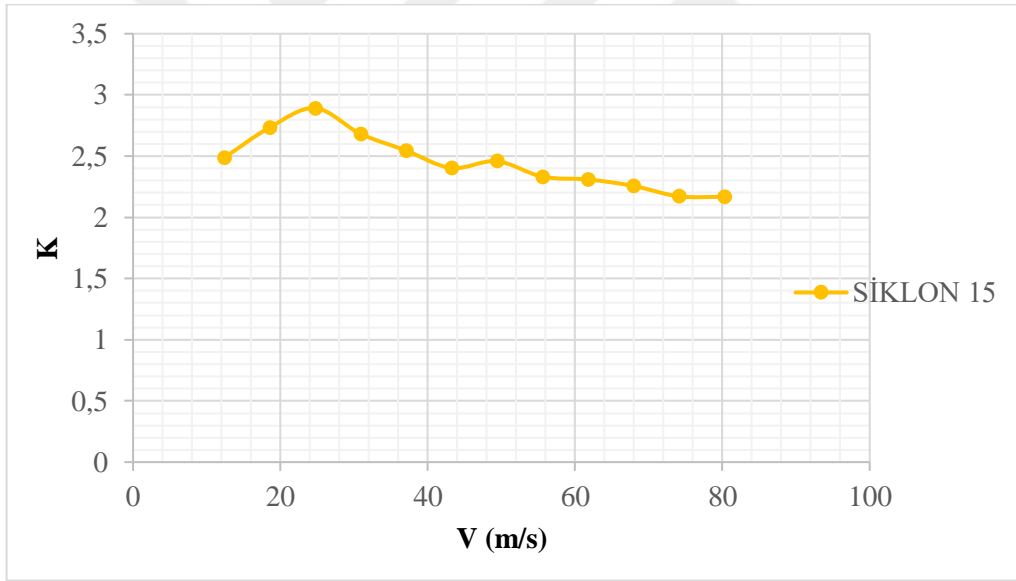


Şekil 4.17. 1-6,5 m<sup>3</sup>/h arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı



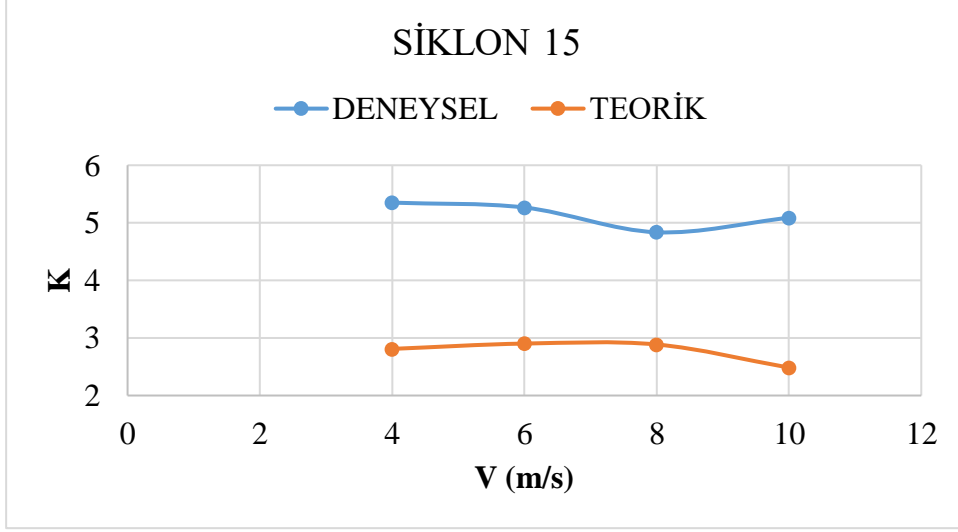


**Şekil 4.18.** 2,222-7,407 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi



**Şekil 4.19.** 12,345-80,246 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi

Ayrıca Şekil 4.20’de Siklon 15 için teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak bulunan K değerlerinin grafiği verilmiştir.

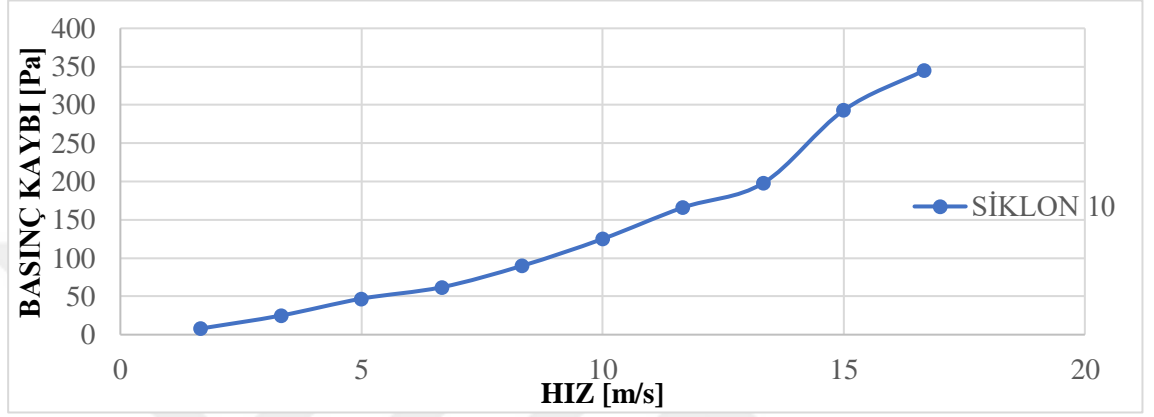


**Şekil 4.20.** Siklon 15 için belirli hızlarda K değerlerinin değişimi

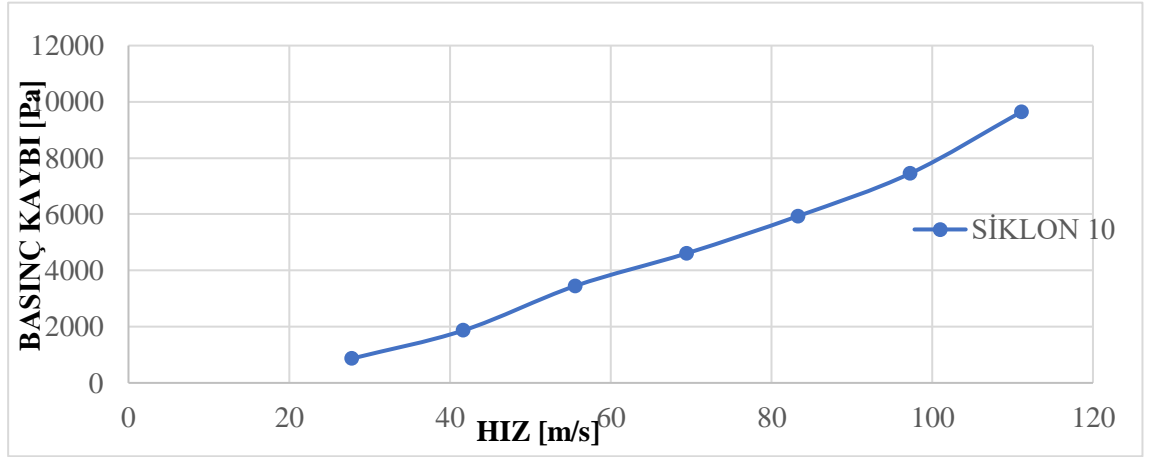
Siklon 15 mm için elde edilen değerlerde üç bölge dikkat çekmektedir. 2-6 m/s aralığında basınç kayıp katsayısı 3,6-2,6 aralığında düzgün azalma eğilimi gösterirken 6-25 m/s aralığında ise 2.8 değerine kadar artmakta ve daha sonra üçüncü bölgede düzgün olarak 2.2 değerine kadar azalmaktadır. Genel olarak 4 m/s üzerindeki hızlarda ortalama 2.5 civarında değerler almaktadır.

#### 4.1.5. Siklon 10 mm Basınç Kayıpları

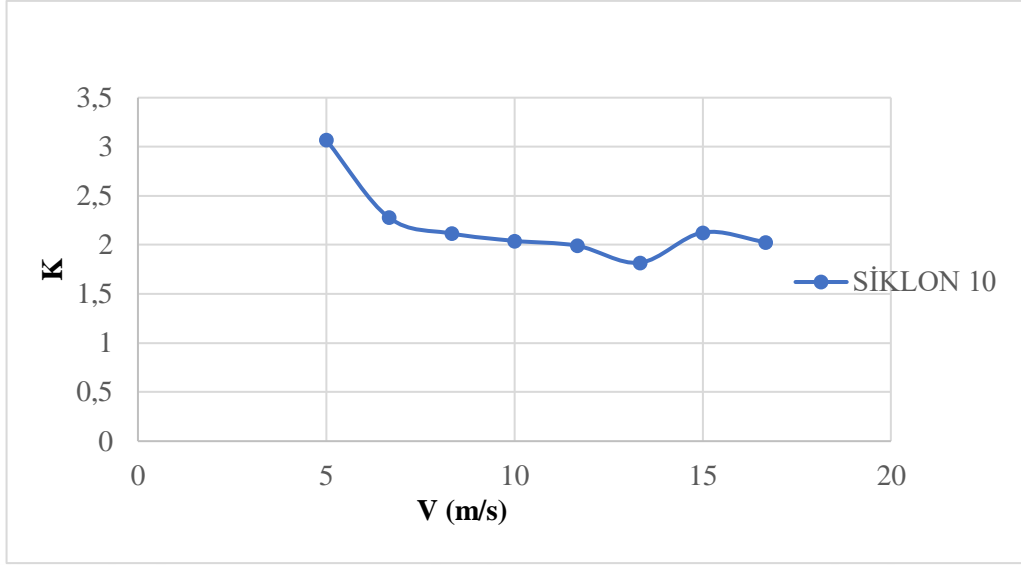
Gövde çapı 10 mm olan Siklon 10 için farklı debilerde basınç kayıpları ölçülmüş ve K değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de hıza bağlı basınç kayıpları, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’te hıza bağlı K katsayısının değişimi verilmiştir.



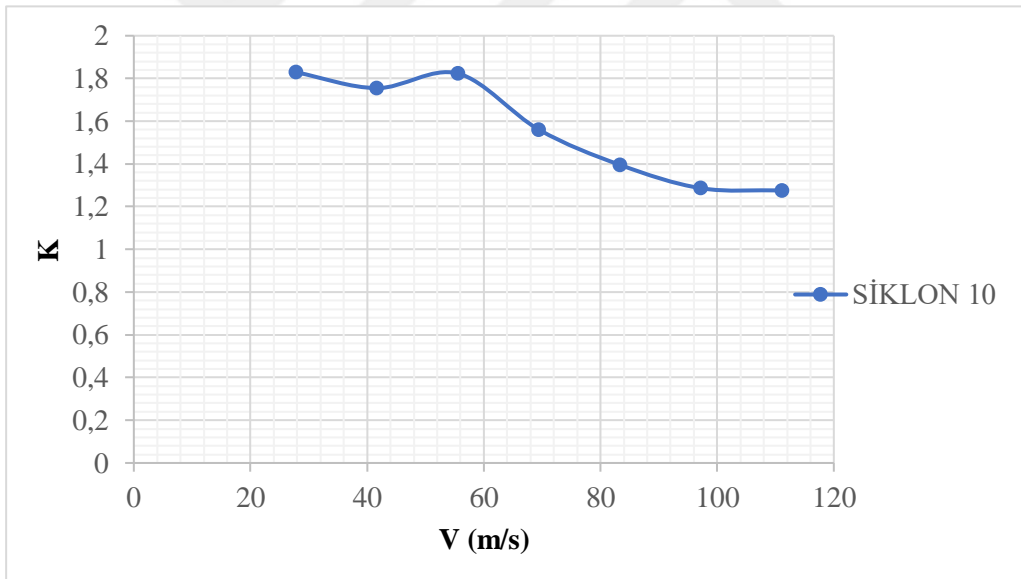
Şekil 4.21. 1000-10 000 ml/dk arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı



Şekil 4.22. 1-4 m<sup>3</sup>/h arasındaki debilerde ölçülen basınç kaybı

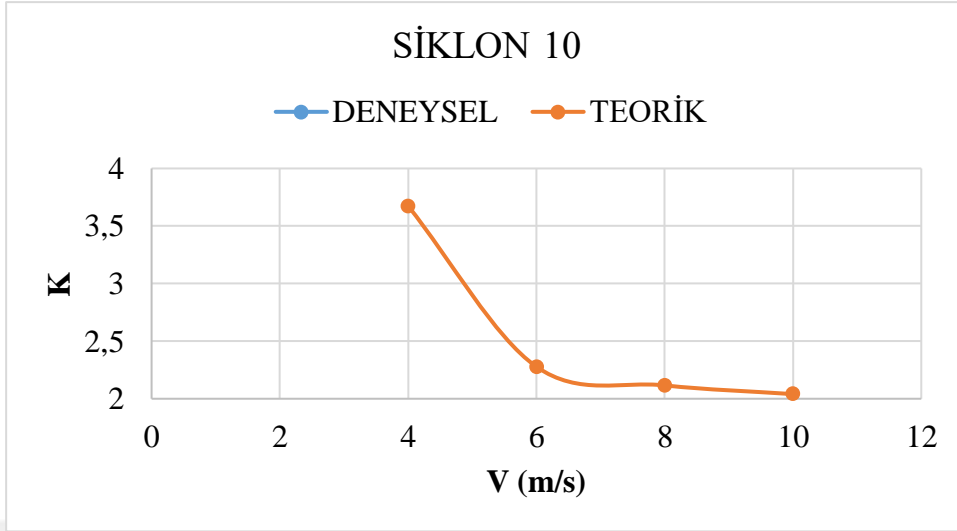


**Şekil 4. 23.** 5-16,666 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi



**Şekil 4.24.** 27,77-111,111 m/s aralığındaki K değerlerinin değişimi

Ayrıca Şekil 4.25'te Siklon 10 için teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak bulunan K değerlerinin grafiği verilmiştir.



**Şekil 4.25.** Siklon 10 için belirli hızlarda K değerlerinin değişimi

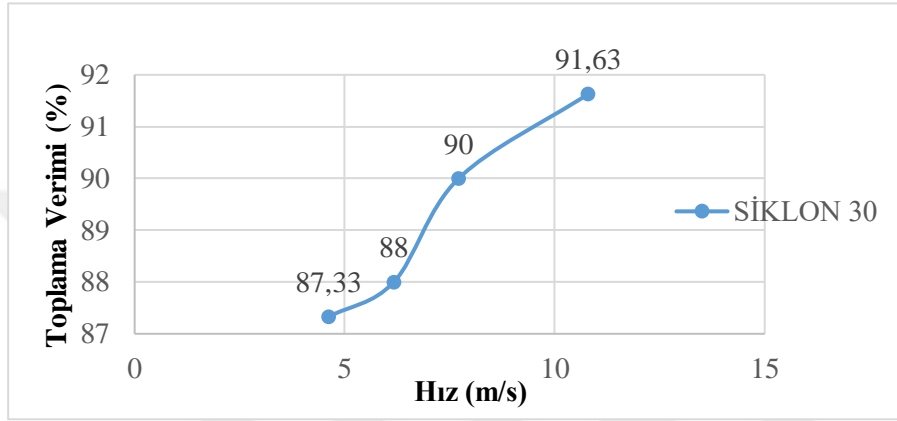
Siklon 10 mm için elde edilen değerlerde üç bölge dikkat çekmektedir. Birinci bölgede 13 m/s hıza kadar basınç kaybı katsayısı 3-1.8 arasında hız arttıkça azalmaktadır. İkinci bölge ise 50 m/s hıza kadar olan bölgede 1.8-2 arasında değişkenlik göstermekte iken daha büyük hızlarda düzgün bir azalma ile 1.25 değerine kadar düşmektedir. Bütün siklonlarda farklı bölgeler ve bu bölgelere uygun değerler olmakla birlikte genel eğilim olarak siklon çapı küçüldükçe ortalama basınç kaybı katsayısı 4.5-2 aralığında azalma eğilimindedir. 10 mm'lik küçük siklonda çıkış borusu et kalınlığı ve şekil bozukluğu ve düzensizliklerin önemli etki yaptığı değerlendirilmiştir. Geometrik benzerlik açısından ciddi sapma olduğundan bu siklon davranışı diğerlerinden ayırmak daha uygundur.

#### 4.2. Ayırma Verimi

Siklonların ayırma verimini elde etmek için ince kalsit tozu kullanılmıştır. Havanın siklona girişte toz konsantrasyonunu belli aralıkta tutmak için giriş debisine uygun olarak toz yükleme miktarı ve süresi belirlenmiş ve buna göre toz verilmiştir. Siklon ayırma verimi olarak siklon toz kutusunda toplanan toz ile siklona beslenen toz oranı kullanılarak Denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır. Deneyler tüm siklonlarda belirlenen hız aralığına karşılık gelen dört farklı debide yapılmıştır.

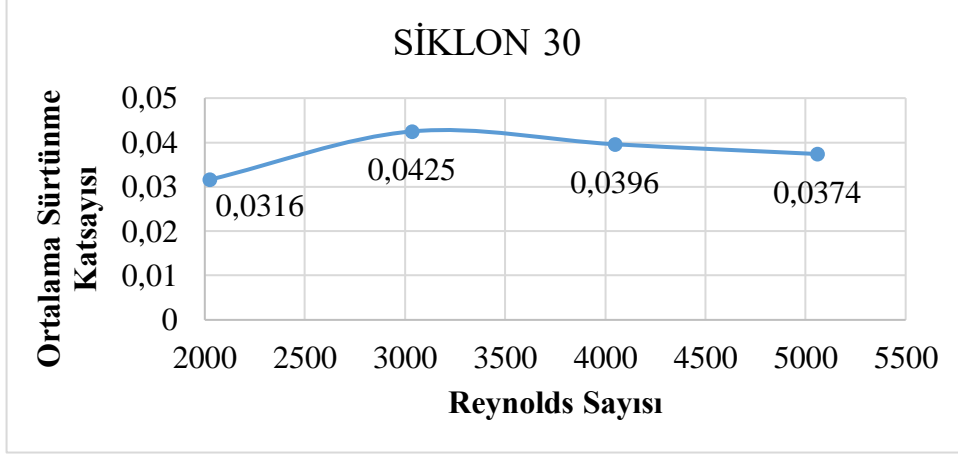
#### 4.2.1. Siklon 30 mm İçin Ayırma Verimi

Siklonların içerisinde en büyük boyutlara sahip olan Siklon 30 için 1,5, 2, 2,5 ve 3,5 m<sup>3</sup>/h debilerinde ölçümler yapılmıştır. Deney süresi ortalama yarım saat tutulmak istenmiştir ve bunun için debi artışına göre daha çok toz kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre hesaplanan ayırma verimleri Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4. 26. Siklon 30 için hıza bağlı verim değerleri

Şekil 4.21'dan da anlaşılacağı üzere siklonda giriş debisi dolayısıyla hızı arttıkça ayırma verimi de artmaktadır. Bu beklenen bir durumdur. Hız 4 m/s'den 10 m/s değerine çıkarken verimde %87'den %92 değerine çıkmıştır. 2 m<sup>3</sup>/h debisi civarında verim artışı sınırlı kalırken diğer debilerde daha belirgin artış vardır. Bu siklonda akış rejimine bakıldığında önce laminer başlamakta sonra geçiş bölgesinden geçerek türbülanslı bölgeye geçmektedir. Hız artmasına rağmen verimin sınırlı artması geçiş bölgesinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

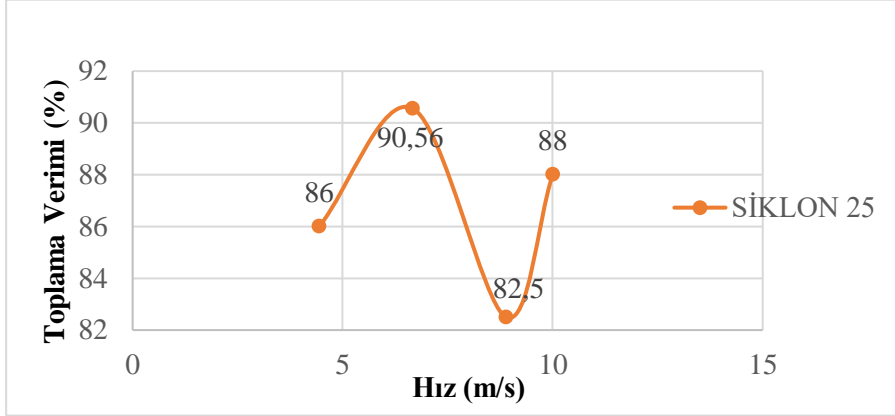


**Şekil 4.27.** Siklon 30 için  $f_0$ – Re grafiği

Şekil 4.27’de boru içi akışta Reynolds sayısına göre ortalama sürtünme katsayısının değişimi gösterilmiştir. Ortalama sürtünme katsayısı, kritik parçacık çapını ve siklon toplama verimini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Akış  $Re=2100$  değerinden sonra türbülansa girmektedir. Ancak yine de verim artmaya devam etmiştir.

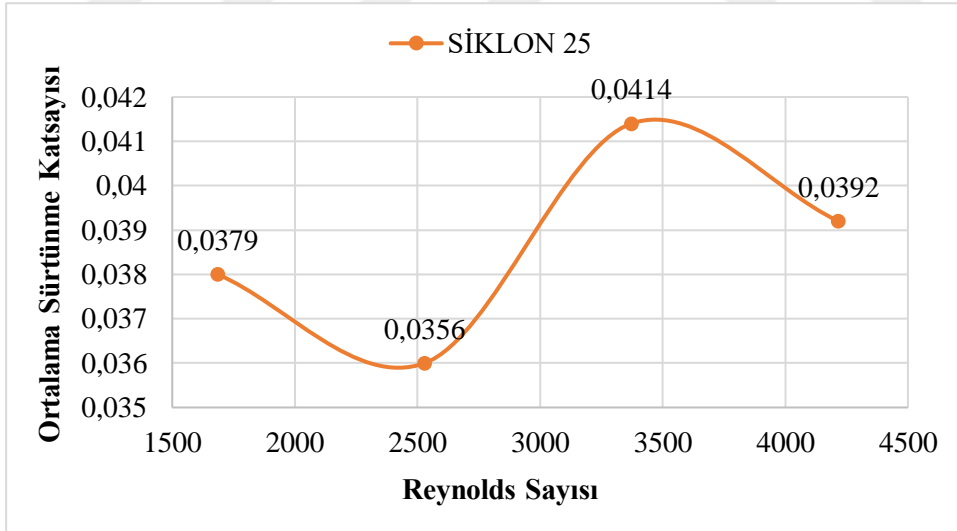
#### 4.2.2. Siklon 25 mm İçin Ayırma Verimi

Siklon gövde çapı 25 mm olan siklonda ayırma verimi için 1, 1,5, 2 ve 2,25 m<sup>3</sup>/h debilerinde ölçümler yapılmıştır. Deney süresi ortalama yarım saat tutulmak istenmiştir ve bunun için debi artışına göre daha çok toz kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.28’de verilmiştir.



**Şekil 4.28.** Siklon 25 için hıza bağlı verim değerleri

Siklon 25 mm için deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.28’te verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında verimlerde önce artma sonra azalma ve daha sonra tekrar artma eğilimindedir. Genel olarak ayırma verimleri %%82.5 -%%90.6 arasında değişmektedir. 30 mm çaplı siklondan daha düşük verimlere sahiptir. Bununla birlikte benzer hızlarda karşılaştırıldığında bazı hızlarda daha iyi bazılarında daha kötü olduğu söylenebilir.



**Şekil 4.29.** Siklon 25 için  $f_0$ – Re grafiği

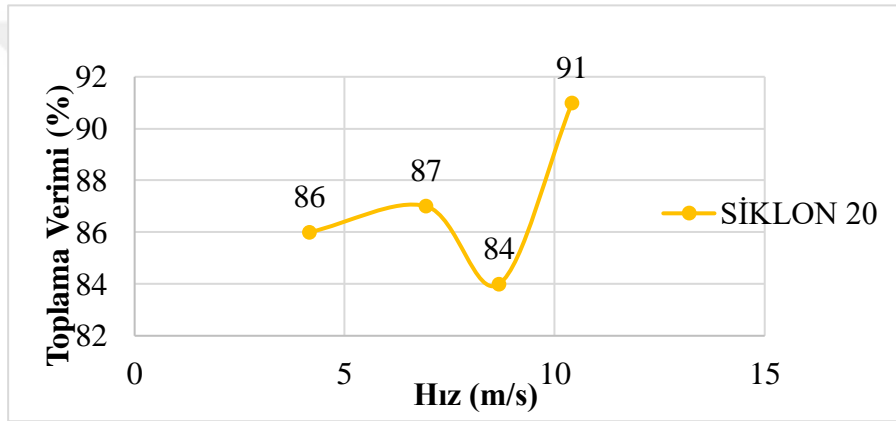
Şekil 4.29’da Siklon 25 için Reynolds sayısına göre ortalama sürtünme katsayısı verilmiştir. Şekil 4.28’de verilen grafik ile karşılaştırıldığında açıkça görülmektedir ki; ortalama sürtünme katsayısının azaldığı noktada toplama veriminde artış, ortalama



sürtünme katsayısının arttığı noktada ise toplama veriminde azalma olmuştur. Bu durum deneylerle teorik hesaplamaların uygunluğu göstermiştir.

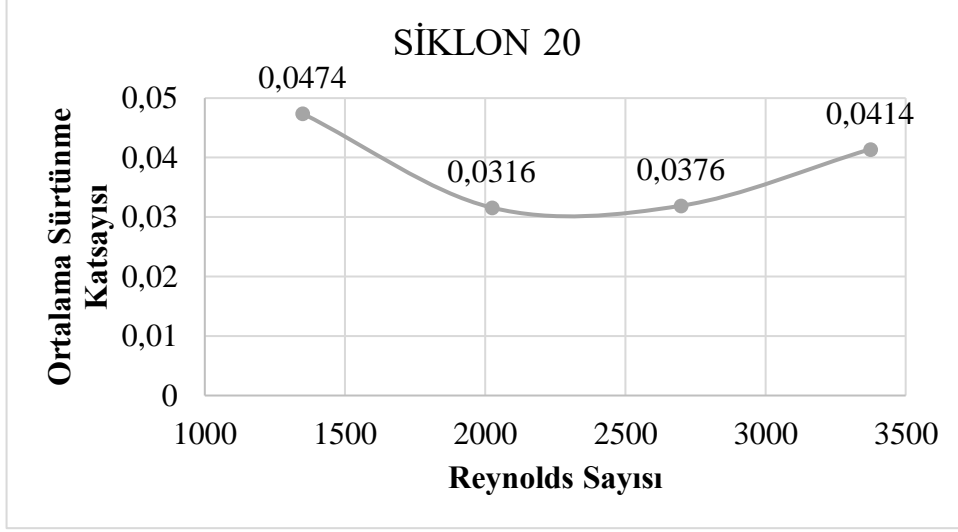
#### 4.2.3. Siklon 20 mm İçin Ayırma Verimi

Siklon gövde çapı 20 mm olan siklonda ayırma verimi için 10 000 ml/dk, 1, 1,25 ve 1,5 m<sup>3</sup>/h debilerinde ölçümler yapılmıştır. Deney süresi ortalama yarım saat tutulmak istenmiştir ve bunun için debi artışına göre daha çok toz kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.30. Siklon 20 için hıza bağlı verim değerleri

Siklon 20 mm için deneylerden elde edilen sonuçlar şekil 4.30'da verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında verimlerde önce az artma sonra azalma ve daha sonra tekrar artma eğilimindedir. 25 mm çaplı siklona benzer eğilim göstermektedir. Genel olarak ayırma verimleri %%84 -%%91 arasında değişmektedir. 25 mm çaplı siklondan daha yüksek verimlere sahiptir. Bununla birlikte benzer hızlarda karşılaştırıldığında bazı hızlarda daha iyi bazılarında daha kötü olduğu söylenebilir.



Şekil 4.31. Siklon 20 için  $f_0$ – Re grafiği

Şekil 4.31’den de anlaşılacağı üzere ortalama sürtünme katsayısı Reynolds sayısının artmasına göre değişiklik göstermiştir. Bu durum ilk noktada giriş hızının düşük olmasından kaynaklı Reynolds sayısının da düşük olmasıdır. Laminer akış bölgesindeyken Denklem 3.11a’dan anlaşılacağı üzere ortalama sürtünme katsayısı Reynolds sayısı ile ters orantılıdır. Bu yüzden türbülanslı akış bölgesine kadar hız arttıkça  $f_0$  azalmıştır. Akış türbülansa girdikten sonra  $f_0$  artışa geçmiştir. Buna bağlı olarak verim değerlerinin değişimi ilk üç noktada orantılı olarak değişmiştir. Ancak son noktada  $f_0$ ’ın artmasına rağmen verim değeri de artmıştır. Bu durum da deney esnasında gözlemlenemeyen ya da hesaba katılmayan farklı bir parametreye bağlı olabilir.

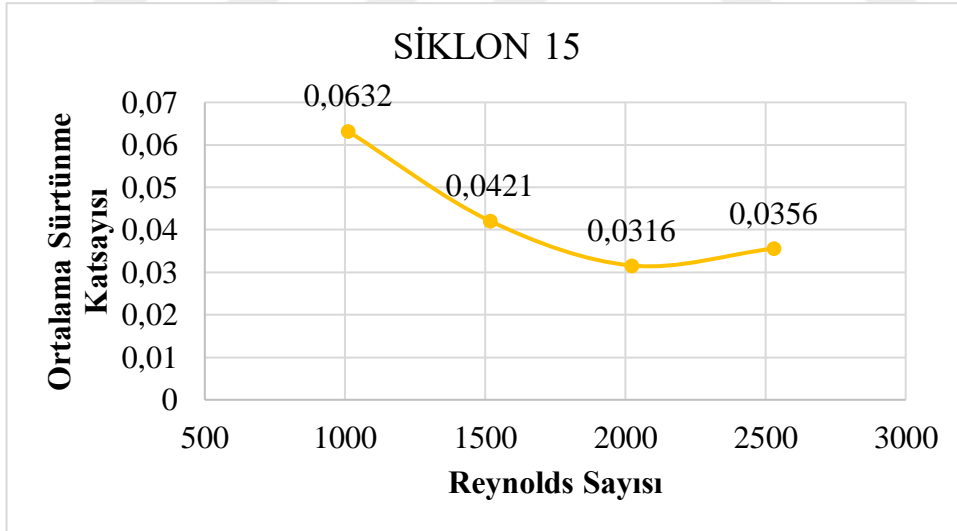
#### 4.2.4. Siklon 15 mm İçin Ayırma Verimi

Siklon gövde çapı 15 mm olan siklonda ayırma verimi için 6000, 9000, 10 000 ml/dk ve 0,75 m<sup>3</sup>/h debilerinde ölçümler yapılmıştır. Deney süresi ortalama yarım saat tutulmak istenmiştir ve bunun için debi artışına göre daha çok toz kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32. Siklon 15 için hıza bağlı verim değerleri

Siklon 15 mm için deneylerden elde edilen sonuçlar şekil 4.32’de verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında verimlerde önce ciddi artma sonra az azalma eğilimindedir. Genel olarak ayırma verimleri %%75 -%86 arasında değişmektedir. Diğer büyük çaplı siklondan daha düşük verimlere sahiptir. Bununla birlikte benzer hızlarda karşılaştırıldığında bazı hızlarda daha iyi olduğu bölgelerde gözlenmektedir.

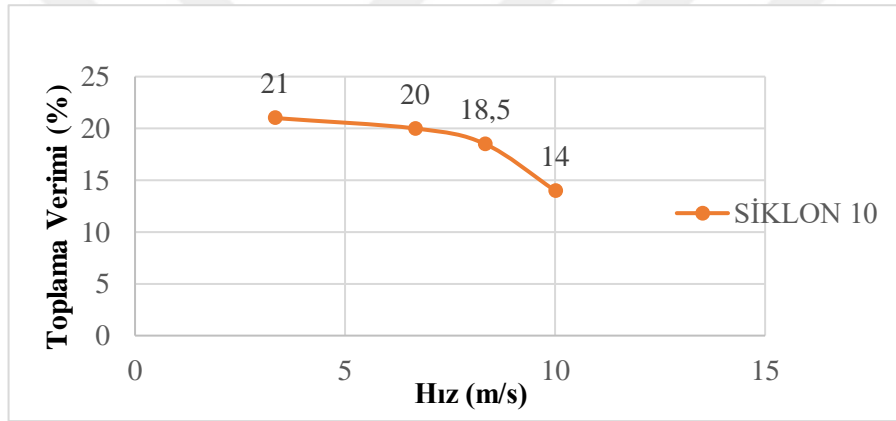


Şekil 4.33. Siklon 15 için  $f_0$ – Re grafiği

Şekil 4.33'te gösterildiği gibi geçiş bölgesine kadar hızın artışına bağlı olarak  $f_0$  azalmıştır. Akış geçiş bölgesine girdikten sonra sürtünme kayıpları arttığı için  $f_0$  artmıştır. Toplama verimi sürtünme kayıplarına bağlı olarak orantılı şekilde artmış ya da azalmıştır. Ancak üçüncü noktada verimin artması beklenirken azaldığı gözlenmiştir.

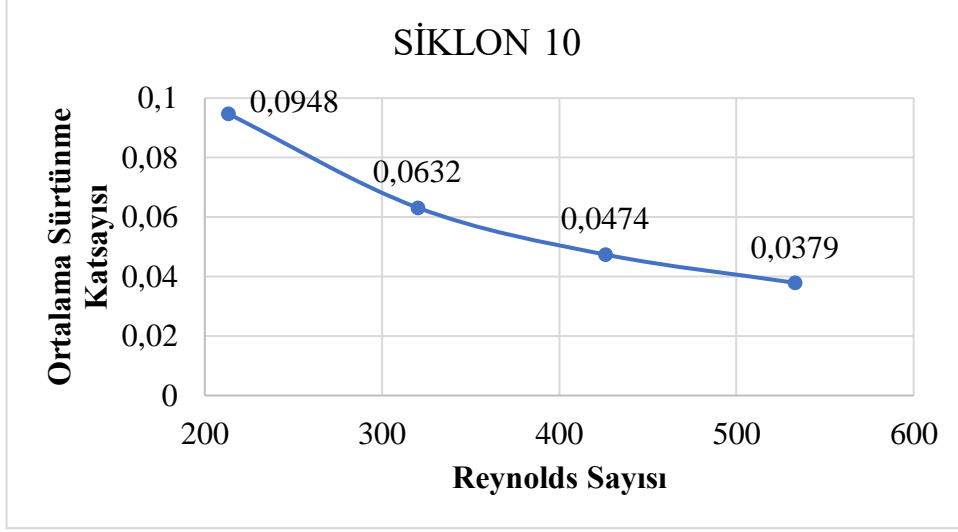
#### 4.2.5. Siklon 10 mm İçin Ayırma Verimi

Siklon gövde çapı 10 mm olan siklonda ayırma verimi için 2000, 4000, 5000 ve 6000 ml/dk debilerinde ölçümler yapılmıştır. Deney süresi ortalama yarım saat tutulmak istenmiştir ve bunun için debi artışına göre daha çok toz kullanılmıştır.



Şekil 4.34. Siklon 10 için hıza bağlı verim değerleri

Siklon 10 mm için deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.34'te verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında verimler oldukça küçük çıkmış ve hız arttıkça azalma eğiliminde olmuştur. Genel olarak ayırma verimleri %14 -%21 arasında değişmektedir. Diğer büyük çaplı siklondan çok daha düşük verimlere sahiptir. Beklentilerin oldukça altında görülmektedir. Bu durumun çıkış borusunun et kalınlığının büyük olmasından dolayı giriş genişliğinde oluşan aşırı daralma etkisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, geometrik benzerlik açısından ciddi sapma olduğundan bu siklon davranışı diğerlerinden ayırmak daha uygundur.



Şekil 4. 35. Siklon 10 için  $f_0$ – Re grafiği

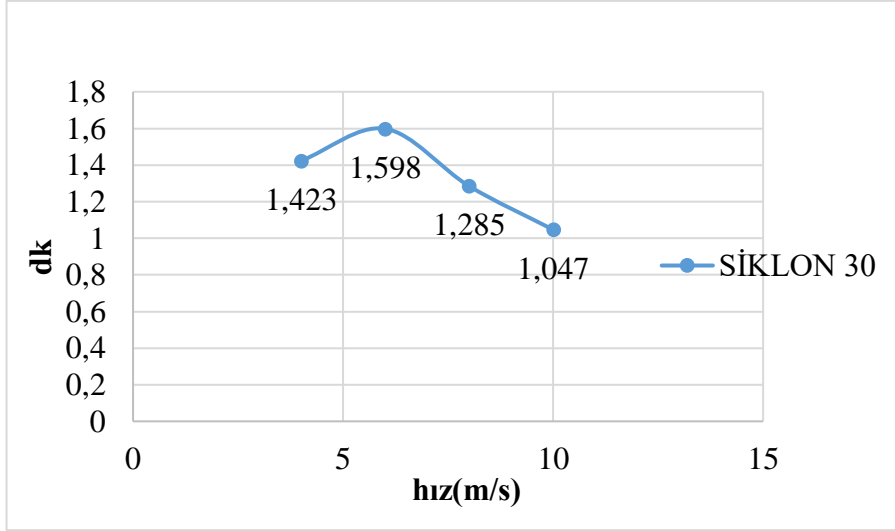
Şekil 4.35'te görüleceği üzere Siklon 10 için akış belirlenen hızlarda sürekli olarak laminer bölgede kalmış, geçiş bölgesi ve türbülans bölgesine hiç girmemiştir. Buna bağlı olarak ortalama sürtünme katsayısı, Reynolds sayısının artışına bağlı olarak düzenli bir şekilde azalmıştır. Bu durumda da toplama veriminin düzenli olarak artması beklenir. Ancak Siklon 10 hız artışına bağlı olarak toplama veriminde artış göstermemiştir. Bu durumun açık bir izahı gözükmemektedir. Bununla birlikte siklon geometrisi ve ölçme şartlarından kaynaklanan belirsizliklerin etkili olabileceği düşünülmektedir.

### 4.3. Kritik Parçacık Çapı ve Ayırma Verimi

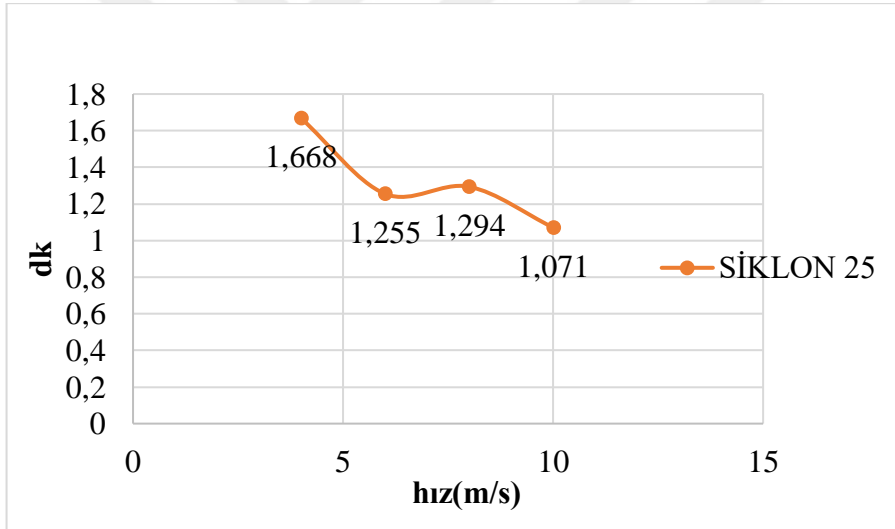
#### Kritik Parçacık Çapı

Siklonlarda parçacık ayırma veriminin tahmininde kullanılan en önemli karakteristik büyüklük kritik parçacık çapıdır. Bir siklonun tanımlanan çalışma şartları altında %50 verimle ayırabileceği parçacık çapı olarak tanımlanır. Bu çapın hesabı için birçok matematik model geliştirilmiştir. Bu çalışmada Denklem 3.2 ile verilen model kullanılmıştır. Geometrik boyutları ve çalışma şartları verilen siklonlar için kritik çaplar hesaplanmıştır. Kritik çaplar ile ayırma verimleri benzer eğilime sahiptir. Verime etki oranı dağılıma, konsantrasyona ve benzeri parametrelere bağlı olarak değişiklik gösterebilir ancak eğilim aynı yönde olacaktır. Deney siklonları için hesaplanan kritik çaplar ve yüksek verimli Stairmand siklonu için verilen fraksiyonel verim eğrisi kullanılarak hesaplanan ayırma verimleri aşağıda verilmiştir.

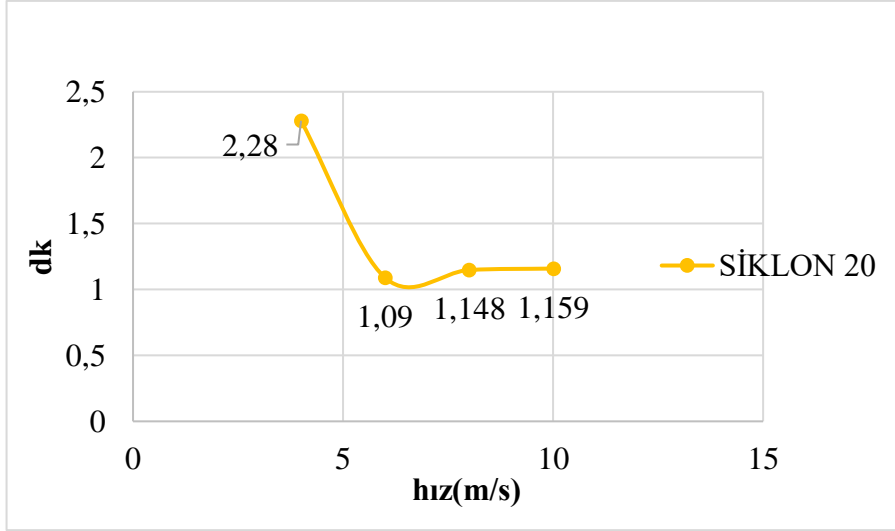
Denklem 3.2'ye göre her bir siklonda farklı hızlarda kritik çaplar hesaplanmıştır. Hidrolik çap hesabı için Denklem 3.7a ve 3.7b kullanılarak iki farklı kritik parçacık çapı hesaplanmıştır. Genel olarak hızın artması verimi artırmakta kritik çapı küçültmektedir. Bununla birlikte geçiş bölgesinde durum ters orantılı olmaktadır. Burada çalışılan hızlarda bazısında geçiş bölgesi civarında çalışıldığından bu durum açık olarak gözlenebilmektedir. Toplam ayırma verimleri de fraksiyonel verim eğrisi ve parçacık dağılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar benzerlik göstermektedir. Aşağıda beş siklon için hesaplanan kritik çap değerleri verilmiştir.



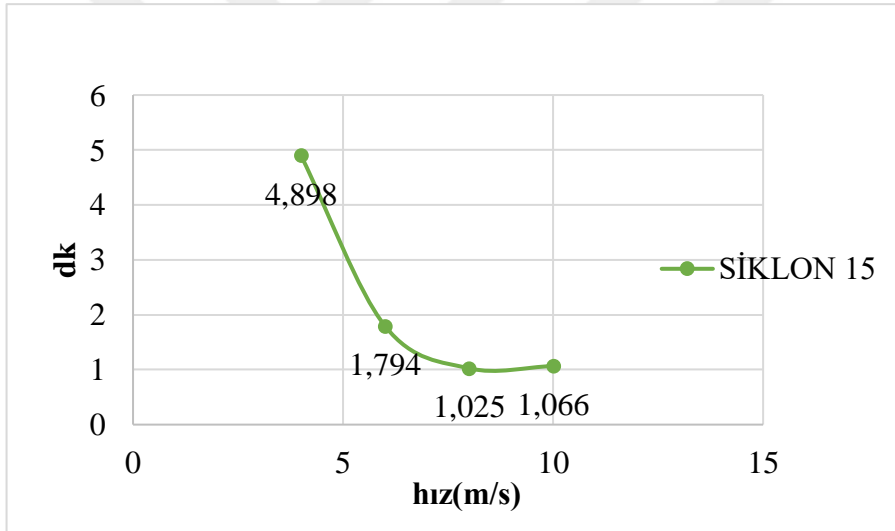
Şekil 4.36. Siklon 30 için hesaplanan kritik parçacık çapı değerleri



Şekil 4.37. Siklon 25 için hesaplanan kritik parçacık çapı değerleri

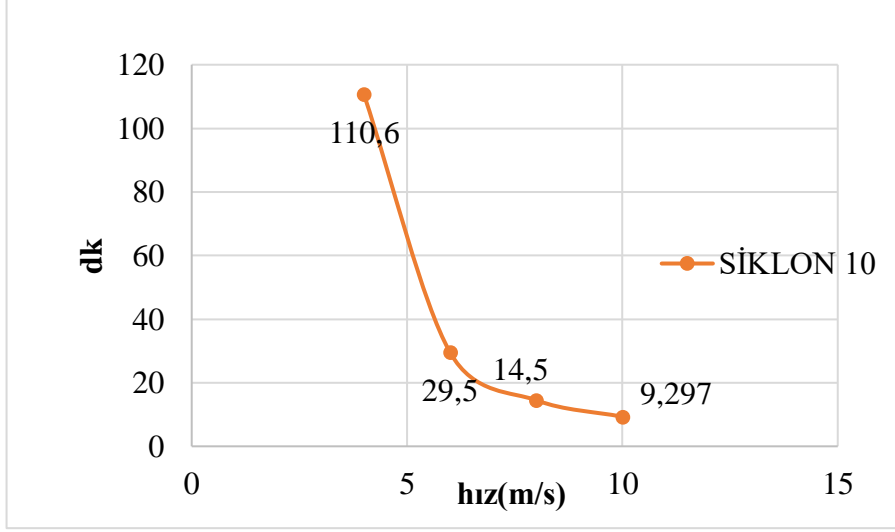


Şekil 4. 38. Siklon 20 için hesaplanan kritik parçacık çapı değerleri



Şekil 4. 39. Siklon 15 için hesaplanan kritik parçacık çapı değerleri



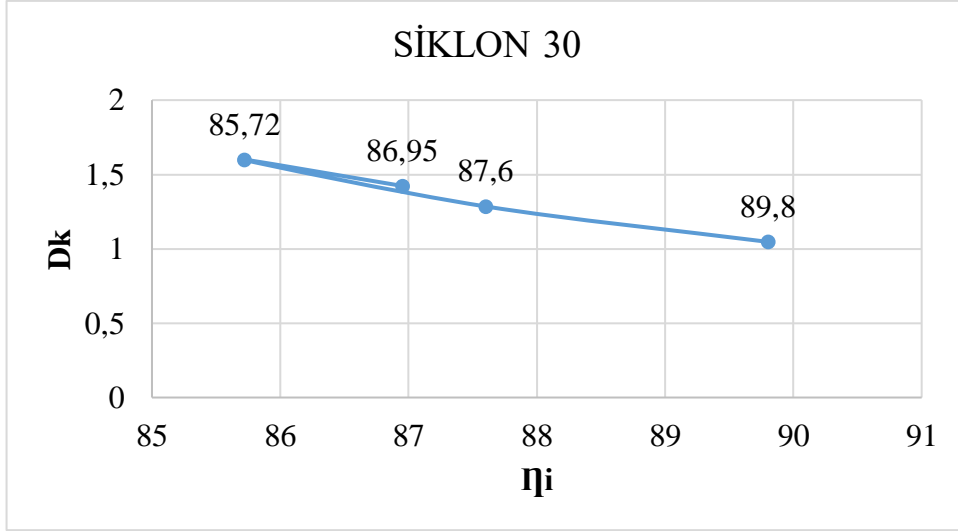


**Şekil 4. 40.** Siklon 10 için hesaplanan kritik parçacık çapı değerleri

Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'tan anlaşılacağı üzere, yapılan hesaplamalara göre aynı hızlar için kritik parçacık çapı değerleri karşılaştırıldığında, siklon büyüklüğüne bağlı olarak kritik parçacık çapları değişmektedir. Siklon 10 mm hariç tutulursa diğer siklonlarda 4 m/s ve 10 m/s hızlarında en küçük kritik çap siklon 30 mm de elde edilmektedir. Verimlerde de benzer durum gözlenmektedir. 6 m/s hızda ise siklon 20 mm için en küçük kritik çap elde edilirken 8 m/s hız için siklon 15 mm için elde edilmektedir. Deneylerde ise en yüksek verim 6 m/s için siklon 25 mm için 8 m/s de ise 30 mm siklonunda elde edilmektedir. Bu hızlarda tahmin değerlerinde sapma gözlenmektedir.

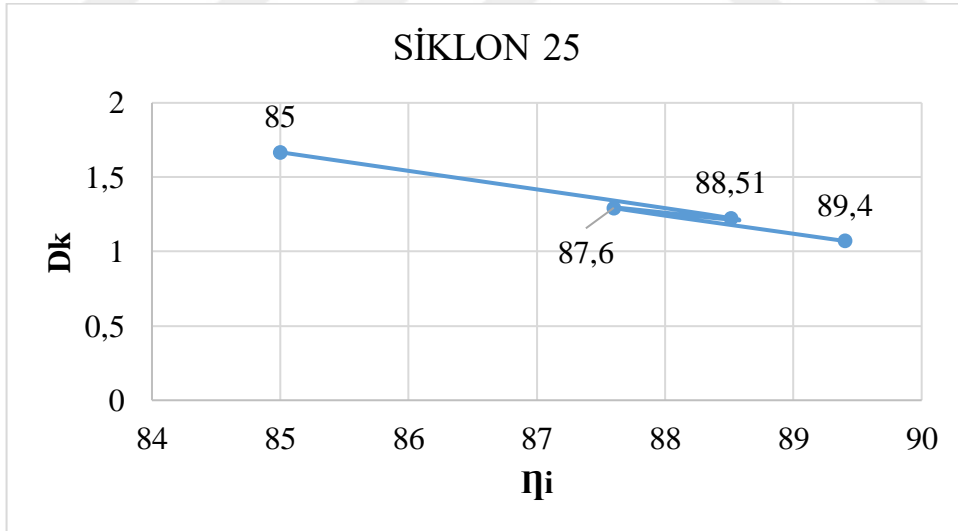
### **Ayrırma Verimi**

Bu bölümde kritik çapı hesaplanan siklonların ilgili hızları için yüksek verimli Stairmand siklonu için kullanılan boyutsuz fraksiyonel verim eğrisi kullanılarak hesaplar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar her bir siklon için şekil olarak aşağıda verilmiştir. Hesaplamalar bütün mini siklonlar için deneye tabi tutulduğu hızlar için yapılmıştır. Bulunan bu ayırma verimi ve kritik çap eğrileri Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'te gösterilmiştir.



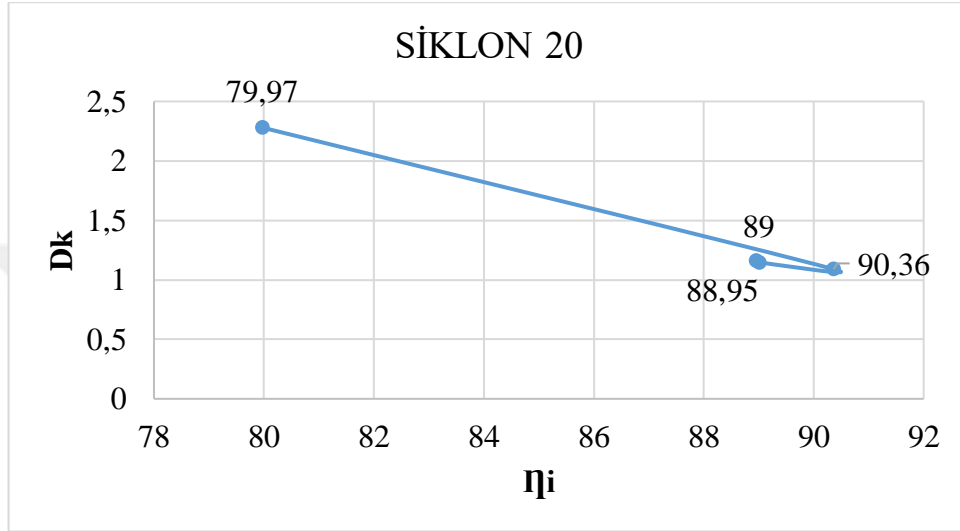
Şekil 4.41. Siklon 30 için kritik çap ve ayırma verimi eğrisi

Grafikten de anlaşılacağı üzere kritik çap küçüldükçe ayırma verimi artmaktadır. Siklon 30 için bu artış tozlu deneylerden elde edilen bulgulara benzerdir. Deney sonuçları %2 civarında daha yüksektir. Bu sonuç kabul edilebilir mertebededir.



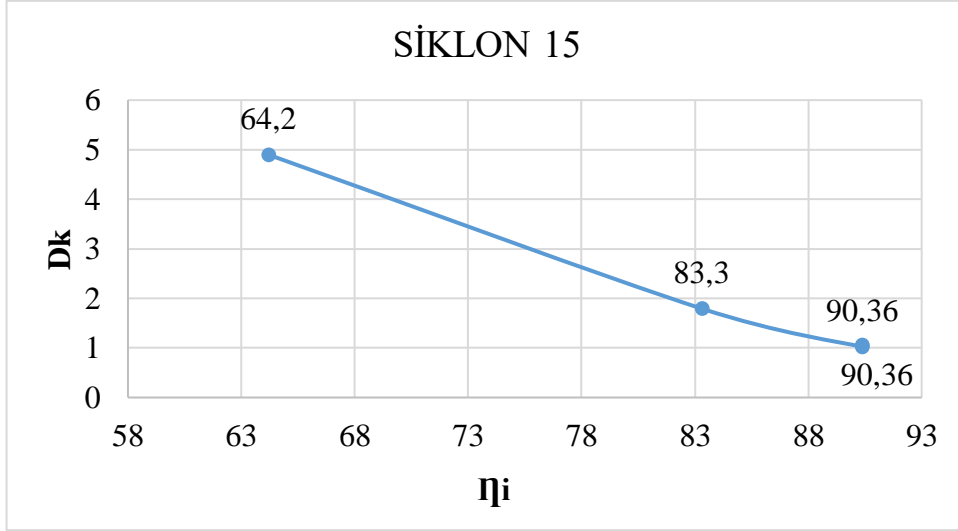
Şekil 4.42. Siklon 25 için kritik çap ve ayırma verimi eğrisi

Siklon 25 mm için hesaplanan değerler de deneysel sonuçlara benzer dalgalanma vardır. Bununla birlikte deneylerde 8 m/s hızda ani ve önemli bir azalma varken hesaplarda azalma küçük kalmaktadır. Diğer hızlarda % 2 civarında sapma gözlenmektedir. Bu sapmanın geçiş bölgesi ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Hız değerlerinde görülecek küçük değişiklikler veya ölçüm hataları sonuca etkili olacaktır.



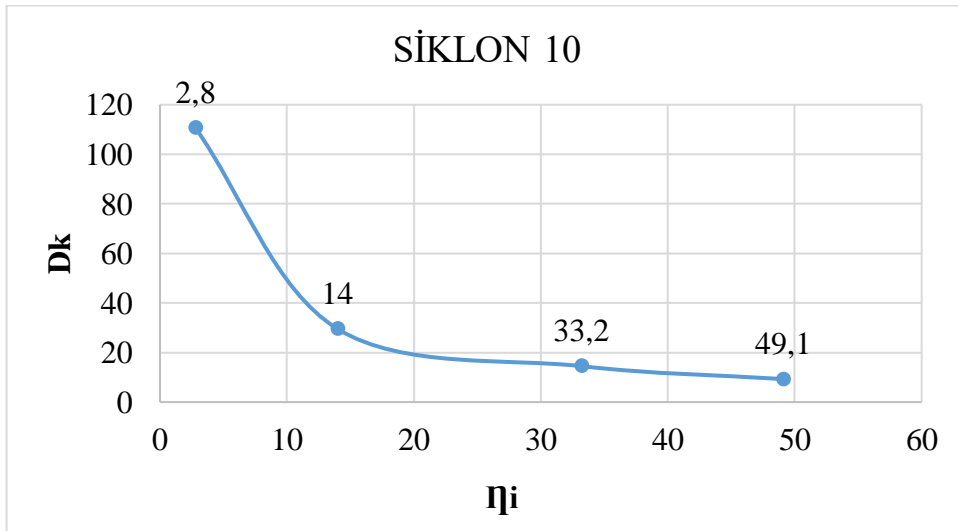
Şekil 4.43. Siklon 20 için kritik çap ve ayırma verimi eğrisi

Siklon 20 mm için 4 m/s hızda beklenenden daha küçük verim elde edilirken diğer verimler daha yüksektir. Genel karakter benzerdir. Verim daha dar bir aralıkta değişim göstermektedir. 8 m/s hızda verimde azalma gözlenirken 10 m/s hızda ani artış görülmektedir. Hesapla elde edilen sonuçlarda değişim daha küçüktür. Genel olarak uyumlu olarak değerlendirilebilir.



**Şekil 4.44.** Siklon 15 için kritik çap ve ayırma verimi eğrisi

Siklon 15'te 4 m/s hızda kritik parçacık çapı büyük olup diğer hızlarda daha küçük kritik çap değerlerinden dolayı benzer olarak 4 m/s hızda en düşük ayırma verimi elde edilirken diğer hızlarda daha yüksek verimler elde edilmektedir. 8- 10 m/s hızlarda hesaplanan verimler deneysel olarak elde edilenden daha yüksek elde edilmektedir. Maksimum verim deneylerde 6 m/s'de elde edilirken hesaplarda 8 m/s'de elde edilmiştir. Akış bölgesi laminar ve geçiş bölgesinde görülmektedir. Bu bölgede küçük kaymalar sonuçlar üzerinde de önemli etkiye sahip olmaktadır.



**Şekil 4.45.** Siklon 10 için kritik çap ve ayırma verimi eğrisi

Siklon 10 mm için yapılan hesaplamalar sonucu kritik çaplar diğer siklonlardan oldukça büyük çıkmıştır. Bunun başlıca sebeplerinden biri Reynolds sayısının küçük olması ve akışın sürekli olarak laminer bölgede kalmasıdır. Hızın artmasıyla birlikte kritik çaplar küçülmüştür. Buna bağlı olarak teorik hesaplamalarda ayırma veriminde artış göstermiştir. Ancak bu durum deneysel verilerle hiç uyuşmamaktadır. Çünkü Siklon 10'un ayırma verimi hız arttıkça azalma eğilimi göstermiştir.



## 5. SONUÇ

Bu çalışmada temel olarak siklon büyüklüğünün ayırma verimine etkisi deneysel ve kuramsal olarak incelenmiştir. Pratikte ve kuramsal yaklaşımlarda siklon büyüklüğünün küçültülmesi ayırma verimi artırmanın bir yoludur. Ancak bu yöntem hangi büyüklüğe kadar uygulanabilir sorusuna cevap elde etmek üzere bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Siklon büyüklüğünün azalması siklondaki akışın laminar bölgeye kaymasına neden olmaktadır. Bu durumda sürtünme direnci hızla orantılı olarak değişmekte ve büyük değerler almaktadır. Bu çalışmada mini siklonlarda amaca uygun gözlem yapabileceğimiz hızlarda çalışılmıştır. Çalışma sonucu elde edilen ana sonuçlar aşağıda verilmiştir;

Beş mini siklonda aynı tozlarla yapılan deneylerde en yüksek ortalama verim 30 mm siklonda en düşük verim sırasıyla 10 mm ve 15 mm siklonlarında elde edilmiştir. 25 mm ve 20 mm çaplı siklonlarda verimler birbirine yakındır. İzafe olarak 20 mm siklonu biraz daha iyi görünmektedir. Buna göre siklonların daha fazla küçültülmesi verim artışı sağlamayacaktır.

Beş mini siklon hızlara göre değerlendirildiğinde deneysel sonuçlara göre 4 m/s hız için en iyi verim 30 mm siklonunda, 6 m/s hızda 25 mm siklonunda, 8 m/s hızda 30 mm siklonunda ve 10 m/s hızda da 30 mm siklonunda en yüksek verimler elde edilmektedir. Her durumda en düşük verimli siklon 10 mm siklonu olarak elde edilmiştir.

Hesaplama için kullanılan bağıntıya göre yine en verimli siklon 30 mm siklonu olarak elde edilmiştir. Daha sonra sırasıyla 25 mm, 20 mm ve 15 mm siklonu olarak bulunmuştur. 10 mm siklonu çok düşük verime sahip olmakla birlikte deneysel değerlere göre yüksek bulunmuştur. 30 mm ve 25 mm siklonlarının verimi birbirine çok yakın bulunmuştur. Buna karşılık hız esasına göre en yüksek verimler ise 4 m/s ve 10 m/s için 30 mm siklonunda, 6 m/s için 20 mm siklonunda ve 8 m/s için 15 mm çaplı siklonda elde edilmiştir. Siklonların ortalama verimlerine göre değerlendirildiğinde model tahminleri uygundur. Her hız için dikkate alındığında ise bazı hızlarda sapma göstermektedir.

Hesaplamaya etki eden ana faktörlerden biri sürtünme kayıp katsayısı olup bunun değeri de Reynolds sayısına ve bunun tanımına bağlıdır. Özellikle laminer ve geçiş rejimini kapsayan bölgede çalışıldığında sürtünme kayıp katsayısı hız değişimlerinden orantılı olarak etkilenmekte olup model yaklaşımına göre etki seviyesi değişmektedir. Bu çalışmada kullanılan model tahminleri genel olarak iyi olmakla birlikte çalışılan bölge için Reynolds sayısı tanımında iyileştirme yapmak gerektiği söylenebilir. Çünkü Reynolds sayısında olacak küçük değişimler verimlerde değişimlere neden olacak ve maksimum verim hızlarında değişiklik olacaktır.

Diğer bir karşılaştırma ise basınç kayıp katsayıları ile ilgilidir. Düşük hızlarda basınç kayıpları küçük olup cihaz hassasiyetleri dikkate alındığında anlamlı değerlendirilemez. Ancak hızlar arttıkça daha kararlı hale gelmektedir. Çalışılan minimum hız esas alınarak değerlendirildiğinde 30 mm siklonda 4,4 değerinden başlayarak 5.2 değerine kadar artmakta sonra azalarak 4.5 seviyelerinde değerler almaktadır. 25 mm siklonunda ise 4 değerinden başlayarak 4.5 değerine çıktıktan sonra 4 civarında değerler almaktadır. 20 mm siklonunda ise 3.4 değerinden başlayarak 4 değerine çıktıktan sonra 3.5 değerleri civarına kadar düşmektedir. 15 mm siklonda ise 2.7 değerinden başlayarak 2.9 değerine yükselmekte sonra 2.5 değerine düşmekte ve daha yüksek hızlarda azalmaya devam etmektedir. 10 mm siklonda ise 3 değerinden 3.3 değerine çıktıktan sonra hızla azalarak 1.8 değerlerine kadar azalmaktadır. Buna göre basınç kayıp katsayıları siklonlarda benzer davranış göstermekte ancak siklon küçüldükçe azalmaktadır.

Hesaplama sonuçlarına bakıldığında siklon çapı küçüldükçe basınç kayıp katsayısı küçülmekte ancak 5-5.5 arasında değerler almaktadır. Basınç kayıp katsayısının hızla değişimi de benzer olmakla birlikte siklon küçüldükçe hesaplanan değerlerde sapma artmaktadır.

Sonuç olarak deneysel çalışmanın toleransları da dikkate alınarak özellikle çalışmada kullanılan matematik model tahminleri ile deney sonuçları uyumlu bulunmuştur. Siklon büyüklüklerinin verim üzerinde etkisi açık olup benzer olarak siklonun belli bir değere kadar küçültülmesinin verimi artıracakları daha fazla küçülmesinin ise verimi azaltacağı dolayısıyla her siklon için maksimum verim sağlayan büyüklüğünün olduğu sonucuna

varılmıştır. Basınç kayıp katsayılarının da siklon küçüldükçe ve hız arttıkça azalacağı sonucu elde edilmiştir. Özellikle küçük siklonlarda Reynolds sayısı tanımı ve sürtünme kayıp katsayısı hesabının önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir.





## KAYNAKLAR

- Avci, A. and Erel, G.K. 2003.** Siklon separatörlerde uzunluğun verime etkisi ve optimizasyonu. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1): 101-109.
- Avci, A. and Karagoz, I. 2000.** A mathematical model for the determination of a cyclone performance. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 27(2): 263-272.
- Avci, A. and Karagoz, I. 2003.** Effects of flow and geometrical parameters on the collection efficiency in cyclone separators. *Journal of Aerosol Science*, 34: 937-955.
- Baltrenas, P. and Chlebnikovas, A. 2015.** Investigation into the aerodynamic parameters of the recently designed two-level cylindrical multi-channel cyclone-separator. *Separation Science and Technology*, 50(8): 1257-1269.
- Caliskan, M.E., Karagoz, I., Avci, A., Surmen, A. 2019.** An experimental investigation into the particle classification capability of a novel cyclone separator. *Separation and Purification Technology*, 209: 908-913.
- Dirgo, J. and Leith, D. 1985.** Cyclone collection efficiency: comparison of experimental results with theoretical predictions. *Aerosol Science and Technology*, 4(4): 401-415.
- Fıçıcı, F. and Arı, V. 2008.** Teğetsel girişli ters akışlı siklonlarda dalma borusu çap değişiminin basınç kaybına etkisinin deneysel olarak incelenmesi. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2): 205-211.
- Funk, P.A. 2014.** Reducing cyclone pressure drop with evases. *Powder of Technology*, 272: 276-281.
- Hsiao, T.C., Huang, S.H., Hsu, C.W., Chen, C.C., Chang, P.K. 2015.** Effects of the geometrical configuration on cyclone performance. *Journal of Aerosol Science*, 86: 1-12
- Karagoz, I. and Avci, A. 2007.** Modelling of the pressure drop in tangential inlet cyclone separators. *Aerosol Science and Technology*, 39(9): 857-865.
- Liu, M., Zhou, C., Xie, J., Lu, C., Wang, Z. 2015.** Numerical investigation of performance of a gas-solid separator. *Powder Technology*, 275: 30-38.
- Sakin, A., Karagoz, I., Avci, A. 2017.** A computational comparison of flow and pressure fields in axial and reverse flow cyclone separators. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 3(2): 20-25.
- Souza, F.J., Salvo, R.V., Martins, D.M. 2014.** Effects of the gas outlet duct length and shape on the performance of cyclone separators. *Separation and Purification Technology*, 142: 90-100.

**Souza, F.J., Salvo, R.V., Martins, D.M. 2014.** Simulation of the performance of small cyclone separators through the use of Post Cyclones (PoC) and annular overflow ducts. *Separation and Purification Technology*, 142: 71-82.

**Stairmand, C.J. 1951.** The design and performance of cyclone separators. *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, 29, 356-383.

**Vighneswara, R.K., Rao, K., Balanarsaiah, T., Pitchumani, B. 2015.** Effect of geometric configuration on performance of uniflow cyclone. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(01): 63-69.

**Wang, L., Parnel, C.B., Shaw, B.W. 2001.** Analysis of cyclone pressure drop. [https://www.researchgate.net/profile/Lingjuan\\_Wang-Li/publication/237357935\\_Analysis\\_of\\_Cyclone\\_Pressure\\_Drop/links/02e7e52975ef9be2c6000000/Analysis-of-Cyclone-Pressure-Drop.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Lingjuan_Wang-Li/publication/237357935_Analysis_of_Cyclone_Pressure_Drop/links/02e7e52975ef9be2c6000000/Analysis-of-Cyclone-Pressure-Drop.pdf) ( Erişim tarihi: 15.06.2001).

## **EKLER**

- |             |  |
|-------------|--|
| <b>EK 1</b> | Siklon 30 mm için bulunan değerler                       |
| <b>EK 2</b> | Siklon 25 mm için bulunan değerler                       |
| <b>EK 3</b> | Siklon 20 mm için bulunan değerler                       |
| <b>EK 4</b> | Siklon 15 mm için bulunan değerler                       |
| <b>EK 5</b> | Siklon 10 mm için bulunan değerler                       |
| <b>EK 6</b> | Yapılan deneyler sonucunda hesaplanan verim değerleri    |
| <b>EK 7</b> | Hıza bağlı kritik parçacık çapı değerleri                |
| <b>EK 8</b> | Kritik parçacık çapına bağlı hesaplanan ayırma verimleri |

### EK 1 Siklon 30 mm İçin Bulunan Değerler

Debi (m3/h)	Basınç (Pa)	Hız (m/s)	K
1	22	3,086	3,771
1,5	58	4,629	4,419
2	112	6,172	4,8
2,5	187	7,716	5,128
3	275	9,259	5,237
3,5	314	10,802	4,393
4	411	12,345	4,403
4,5	521	13,889	4,409
5	664	15,43	4,533
5,5	813	16,97	4,609
6	956	18,51	4,555
6,5	1117	20,06	4,531
7	1298	21,604	4,54
7,5	1500	23,148	4,57
8	1725	24,691	4,619
8,5	1903	26,234	4,514
9	2108	27,77	4,462
9,5	2310	29,32	4,387
10	2694	30,86	4,618

## EK 2 Siklon 25 mm İçin Bulunan Değerler

Debi (m3/h)	Basınç (Pa)	Hız (m/s)	K
1	45	4,444	3,72
1,5	102	6,666	3,747
2	215	8,888	4,443
2,5	340	11,111	4,496
3	470	13,333	4,316
3,5	618	15,556	4,169
4	882	17,778	4,556
4,5	963	20	3,93
5	1172	22,222	3,874
5,5	1486	24,444	4,06
6	1768	26,667	4,059
6,5	2059	28,889	4,027
7	2378	31,111	4,011
7,5	2751	33,333	4,042
8	2983	35,556	3,852
8,5	3378	37,778	3,864
9	3938	40	4,018
9,5	4360	42,222	3,993
10	4850	44,444	4,008

### EK 3 Siklon 20 mm İçin Bulunan Değerler

Debi (ml/dk)	Basınç (Pa)	Hız (m/s)	K
8000	23	3,333	3,38
9000	31	3,75	3,599
1000	36	4,166	3,386
Debi (m3/h )			
1	101	6,944	3,419
1,5	247	10,416	3,716
2	485	13,889	4,104
2,5	736	17,361	3,986
3	990	20,833	3,724
3,5	1362	24,305	3,764
4	1813	27,778	3,836
4,5	2239	31,25	3,743
5	2733	34,72	3,701
5,5	3293	38,194	3,685
6	3870	41,667	3,639
6,5	4513	45,138	3,616
7	5178	48,611	3,577
7,5	5844	52,083	3,517
8	6566	55,556	3,473

#### EK 4 Siklon 15 mm İçin Bulunan Değerler

Debi (ml/dk)	Basınç (Pa)	Hız (m/s)	K
5000	25	3,703	2,976
6000	34	4,444	2,81
7000	45	5,185	2,732
8000	57	5,925	2,65
9000	79	6,666	2,902
1000	97	7,407	2,886
Debi (m3/h )			
1	232	12,345	2,485
1,5	574	18,518	2,732
2	1080	24,691	2,892
2,5	1565	30,86	2,682
3	2139	37,037	2,545
3,5	2748	43,209	2,403
4	3672	49,382	2,458
4,5	4408	55,556	2,331
5	5390	61,728	2,309
5,5	6373	67,901	2,256
6	7298	74,074	2,171
6,5	8547	80,246	2,167

### EK 5 Siklon 10 mm İçin Bulunan Değerler

Debi (ml/dk)	Basınç (Pa)	Hız (m/s)	K
3000	47	5	3,069
4000	62	6,666	3,278
5000	90	8,333	2,116
6000	125	10	2,04
7000	166	11,666	1,991
8000	198	13,333	1,818
9000	293	15	2,126
1000	345	16,666	2,027
Debi (m3/h )			
1	864	27,77	1,829
1,5	1866	41,667	1,754
2	3446	55,55	1,823
2,5	4608	69,44	1,56
3	5936	83,333	1,395
3,5	7446	97,222	1,286
4	9647	111,111	1,275



**EK 6 Yapılan Deneyler Sonucunda Hesaplanan Verim Değerleri**

D30		
DEBİ (m <sup>3</sup> /h)	HIZ (m/s)	TOPLAMA VERİMİ (%)
1,5	4,62	87,33
2	6,172	88
2,5	7,715	90
3,5	10,8	91,63
D25		
DEBİ (m <sup>3</sup> /h)	HIZ (m/s)	TOPLAMA VERİMİ
1	4,444	86
1,5	6,666	90,56
2	8,888	82,5
2,25	9,999	88
D20		
DEBİ	HIZ (m/s)	TOPLAMA VERİMİ
100000 ml/dk	4,166	86
1 m <sup>3</sup> /h	6,944	87
1,25 m <sup>3</sup> /h	8,68	84
1,5 m <sup>3</sup> /h	10,416	91
D15		
DEBİ	HIZ (m/s)	TOPLAMA VERİMİ
6000 ml/dk	4,444	84
9000 ml/dk	6,666	85
10 000 ml/dk	7,407	86
0,75 m <sup>3</sup> /h	9,258	75
D10		
DEBİ (ml/dk)	HIZ (m/s)	TOPLAMA VERİMİ
2000	3,338	21
4000	6,666	20
5000	8,333	18,5
6000	10	14

## EK 7 Hıza Bağlı Kritik Parçacık apı Değerleri

D30	
HIZ (m/s)	KRİTİK PARÇACIK ÇAPI (μm)
4	1,423
6	1,598
8	1,285
10	1,047

D25	
HIZ (m/s)	KRİTİK PARÇACIK ÇAPI (μm)
4	1,668
6	1,255
8	1,294
10	1,071

D20	
HIZ (m/s)	KRİTİK PARÇACIK ÇAPI (μm)
4	2,28
6	1,09
8	1,148
10	1,159

D15	
HIZ (m/s)	KRİTİK PARÇACIK ÇAPI (μm)
4	4,898
6	1,794
8	1,025
10	1,066

D10	
HIZ (m/s)	KRİTİK PARÇACIK ÇAPI (μm)
4	110,6
6	29,5
8	14,5
10	9,297

## EK 8 Kritik Parçacık Çapına Bağlı Hesaplanan Ayırma Verimleri

D30	
Dk	Ayırma Verimi
1,423	86,95
1,598	85,72
1,285	87,6
1,047	89,8

D25	
Dk	Ayırma Verimi
1,668	85
1,225	88,51
1,294	87,6
1,071	89,4

D20	
Dk	Ayırma Verimi
2,28	79,97
1,09	90,36
1,148	89
1,159	88,95

D15	
Dk	Ayırma Verimi
4,898	64,2
1,794	83,3
1,025	90,36
1,066	90,36

D10	
Dk	Ayırma Verimi
110,6	2,8
29,5	14
14,5	33,2
9,297	49,1

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ceren KARAKAŞ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara 29.09.1991  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Ömer Seyfettin Anadolu Lisesi (2009)  
Lisans : Kırıkkale Üniversitesi / Makine Mühendisliği (2013)  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi / Makine Mühendisliği (2020)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : MAKBED İnşaat (2013-2015)

İletişim (e-posta) : [cerencilikkarakas@gmail.com](mailto:cerencilikkarakas@gmail.com)

Yayımları