

**SİKLONLARDA İKİ FAZLI VE GİRDAPLI  
AKIŞLARIN PARAMETRİK İNCELENMESİ VE  
SİKLON AYIRICILARIN GELİŞTİRİLMESİ**

**FUAT TAN**



TC  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİKLONLARDA İKİ FAZLI VE GİRDAPLI AKIŞLARIN PARAMETRİK  
İNCELENMESİ VE SİKLON AYIRICILARIN GELİŞTİRİLMESİ**

**Fuat TAN**

Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ  
(Danışman)

DOKTORA TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2016

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Fuat TAN tarafından hazırlanan "Siklonlarda İki Fazlı ve Girdaplı Akışların Parametrik İncelenmesi ve Siklon Ayırıcıların Geliştirilmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ

**Başkan:** Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ  
UÜ Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye:** Prof. Dr. Atakan AVCI  
UÜ Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye:** Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR  
UÜ Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye:** Prof. Dr. Bedri Yüksel  
BAÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye:** Doç. Dr. Ali Rıza Yıldız  
BTÜ Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Müh. Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım  
Prof. Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitü Müdürü  
4 / 02 / 2016

**UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

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

**beyan ederim.**

08 / 02 / 2016

**Fuat TAN**



## ÖZET

Doktora Tezi

### SİKLONLARDA İKİ FAZLI VE GİRDAPLI AKIŞLARIN PARAMETRİK İNCELENMESİ VE SİKLON AYIRICILARIN GELİŞTİRİLMESİ

**Fuat TAN**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ

Bu çalışmada; konvensiyonel siklonlardan farklı olarak konik kısmı çıkarılan ve yerine bir girdap durdurucunun konulduğu yeni bir siklon tasarımı incelenmiştir. Bu yeni tasarımlı siklon ile geometrik özelliklerin basınç kayıplarına ve toz tutma verimine etkileri incelenmiştir. Ayrıca belirli siklon giriş hızları için siklonun doğal vorteks uzunluğu tespit edilerek geometrik özelliklerdeki değişimlerin bu uzunluğa etkileri araştırılmıştır.

Siklon deney düzeneğinde siklon giriş kesiti ve hava kısılma vanası yardımıyla belirli siklon giriş hızları elde edilmiştir. Modüler yapıda olan siklonun geometrik özelliklerinden; katı gövde yüksekliği, girdap durdurucu yüksekliği, baca çıkış çapı ve baca dalma derinliği değiştirilerek belirli giriş hızlarına karşılık gelen basınç kayıp değerleri ölçülmüştür. Bu basınç kayıp değerleri, siklonun giriş ve çıkışındaki iki noktadan çıkan dijital basınç ölçme cihazı ile elde edilmiştir. Toz tutma verimi ise siklona verilen toz ağırlığı ile deneyden sonra toz kutusunda tutulan toz ağırlığının oranı ile hesaplanmıştır. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün genel verime etkisi de incelenmiştir. Lazer difraksiyon metoduna göre çalışan partikül analiz cihazından elde edilen toz analiz sonuçlarına göre fraksiyonel verim eğrileri de ortaya konmuştur.

Doğal vorteks uzunluğunun belirlenmesinde ise, siklon silindirik kısmından belirli uzaklıktaki mesafede bulunan ve girdap durdurucunun üzerine yapılandırılmış haldeki liflerin hareketi kullanılmıştır.

Deneylerden elde edilen basınç kaybı ve toz tutma verim değerleri incelenmiş ve klasik siklonun sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca doğal vorteks uzunluğu ile geometrik özellikler ve basınç kaybı değerleri grafiklerle ilişkilendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Siklon, basınç kaybı, toplama verimi, fraksiyonel verim, vorteks uzunluğu

**2016, xii + 161 sayfa**

## **ABSTRACT**

PhD Thesis

### **PARAMETRIC INVESTIGATION OF TWO PHASE SWIRLING FLOWS AND DEVELOPMENT OF CYCLONE SEPARATORS**

**Fuat TAN**

Uludag University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

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

In this study, unlike conventional cyclones, a new cyclone design was investigated which has a vortex stopper instead of a conical part. In this new designed cyclone, the effects of geometrical characteristics to the pressure loss and efficiency were examined. In addition, by determining the cyclone natural vortex length for certain cyclone inlet velocities, the effects of changes in the geometrical properties to this length were investigated.

In the experimental setup, certain cyclone inlet velocities were obtained with the help of the cyclone inlet section and the air throttling valves. By changing the geometrical characteristics of the cyclone with a modular structure: solid body height, vortex stopper height, outlet diameter and the depth of immersion; the pressure losses were measured for a certain inlet velocity. This pressure loss values were obtained by a digital measuring instrument from two-points in the cyclone inlet and outlet. The overall efficiency is calculated by the ratio of the dust weight given to the cyclone before the experiment and the weight of dust after the experiment in the dust bin. Moreover, the effect of surface roughness on the overall efficiency were investigated. Fractional efficiency curves were also revealed according to the particle analysis results obtained from a particle analyzer which is working with a laser diffraction method.

In determining the length of the natural vortex, the motion of fiber that is already located to the vortex stopper which has a distance from the cylindrical portion is used.

The pressure drop and overall efficiency values were examined which are obtained from the experiments and their results were compared with the conventional cyclone results. In addition, natural vortex length are associated with graphics to the geometric properties and pressure loss values .

**Keywords:** Cyclone separator, pressure loss, collection efficiency, fractional efficiency, vortex length

**2016, xii + 161 pages**

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Deneyleler Makine Mühendisliği Isı Tekniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bursa ve Orhangazi sanayisinde bulunan malzeme ve teknik donanım ile de gerekli destek sağlanmıştır.

Öncelikle moral ve teknik desteğinden dolayı her zaman yanımda hissettiğim değerli danışman hocam Prof. Dr. İrfan Karagöz'e; ayrıca, benimle bilgi ve tecrübelerini paylaşarak yakından ilgilenen ve bana vakit ayıran değerli hocam Prof. Dr. Atakan Avcı'ya ve izleme komitesindeki hocam Prof. Dr. Yücel Taşdemir'e; ayrıca sürekli yanımda olarak çalışma temposunda sorumluluklar anlamında eksik bıraktığım yanları hoş gören eşim Nurhan ve kızım Zeynep'e teşekkürü borç bilirim.

Sonuç olarak, bu çalışmanın ortaya çıkmasına vesile olan, burada ismi geçen veya sehven geçmeyen; maddi desteğin dışında, insanî alakalarını hediye eden, daha ötesini öğreneceklerine dair özgüvene ve ayrıca paylaşma arzusuna sahip olarak bilgi ve tecrübelerini saklamayan tüm değerli dostlarıma ve yakınlarıma teşekkür etmek benim için bir vazife-dir.

Bu tez alışması, Tübitak tarafından desteklenen **119M161** nolu proje ile başlamış ve yine Tübitak tarafından desteklenen **114M591** nolu proje kapsamında tamamlanmıştır.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER VE TABLOLAR DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Siklonda Akış Davranışı.....	16
2.2. Siklonda Basınç Kayıpları.....	18
2.2.1 Basınç kaybı modelleri.....	20
2.3. Siklonda Toplama Verimi.....	22
2.3.1. Kesirsel verimlilik ve toplama verimliliği.....	22
2.3.2. Toplama verimi modelleri.....	24
2.3.2.a. Basitleştirilmiş analitik model.....	24
2.3.2.b. Toplama verimliliği için diğer modeller.....	29
2.4. Siklon boyunun etkisi.....	32
2.4.1. Siklonlarda doğal vorteks uzunluğu.....	33
2.5. Siklon optimizasyonu.....	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
3.1. Deney Düzeneği.....	39
3.2. Fan ve Blower.....	42
3.3. Ventürimetre.....	43
3.4. Toz besleme sistemi.....	44
3.5. Dijital ölçüm cihazı.....	44
3.6. Partikül analiz cihazı.....	45
3.7. Siklonun tanıtımı ve boyutlandırılması.....	47
3.2. Deney Yöntemi.....	50
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	52
4.1. Deneysel Hesaplamalar.....	52
4.2. Hata Hesabı.....	53
4.3. Pozitif Basınçlı Sistem için Basınç Kayıp Deneyleri.....	55
4.3.1. Basınç Kaybı için Yapılan Deneyler ( 17 x 42 ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> ).....	55
4.3.1.1. Çıkış Baca Çapının Basınç Kayıp Katsayısına Etkisi.....	56
4.3.1.2. Katı Gövde Yüksekliğinin Basınç Kayıp Katsayısına Etkisi.....	61
4.3.1.3. Koni Dip Çapının Basınç Kayıp Katsayısına Etkisi.....	67
4.3.1.4. Siklona Giriş Hızının Basınç Kayıp Katsayısına Etkisi.....	71
4.4. Doğal Vorteks Uzunluğu İle İlgili Deneyler.....	78
4.4.1. Katı Gövde Yüksekliğinin Doğal Vorteks Uzunluğuna Etkisi.....	78



4.4.2. Çıkış Baca Çapının Doğal Vorteks Uzunluğuna Etkisi .....	80
4.4.3. Çıkış Bacası Dalma Derinliğinin Vorteks Uzunluğuna Etkisi .....	85
4.4.4. Basınç Kaybı – Vorteks Uzunluğu Grafiği .....	88
4.5. Verim Deneyleri.....	90
4.5.1. Girdap Durdurucu Yüksekliğinin Siklon Toplama Verimine Etkisi.....	91
4.5.2. Katı Gövde Yüksekliğinin Siklon Toplama Verimine Etkisi .....	95
4.5.3. Basınç Kayıplarının İncelenmesi .....	97
4.5.4. Kritik Partikül Çapı ve Maksimum Verimde Siklon Yüksekliği Analizi ...	99
4.5.5. Fraksiyonel Verim Eğrilerinin Hesaplanması.....	105
4.5.5.a. Boyutsuz Fraksiyonel Verim Eğrileri.....	109
4.5.5.b. Boyutlu Fraksiyonel Verim Eğrileri.....	125
4.6. Fish Hook noktaları.....	142
4.6.a. Fish Hook maksimum noktalardan oluşan grafikler .....	142
4.6.b. Fish Hook minimum noktalardan oluşan grafikler .....	145
5. YORUMLAR.....	149
KAYNAKLAR .....	151
EKLER.....	158
EK-1 .....	159
EK-2 .....	160
ÖZGEÇMİŞ .....	161

## SİMGELER DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$a$	Giriş kesit genişliği, m
$a_d$	Düzeltilen boyutsuz akış genişliği
$A_s$	İç siklon sürtünme yüzey alanı, m <sup>2</sup>
$b$	Giriş kesit yüksekliği, m
$C_d$	Boyutsuz parametre
$cs$	Boyutsuz parametre
$C_{CU}$	Cunningham düzeltme faktörü
$d_{50}$	Kritik partikül çapı, m
$D_1$	Siklon iç çapı, m
$D_2$	Dalma borusu çapı, m
$D_3$	Siklon koni çıkış çapı, m
$D_d$	Boyutsuz ortalama siklon çapı
$D_s$	Boyutsuz sürtünme yüzeyleri çapı
$D_h$	Hidrolik çap, m
$f_g$	Alexander basınç düşümü parametresi
$f_0$	Ortalama sürtünme katsayısı
$g$	Yerçekimi ivmesi, m/s <sup>2</sup>
$H_g$	Siklon katı gövde yüksekliği, m
$H$	Siklon silindir yüksekliği, m
$K$	Basınç düşümü katsayısı
$L$	Silindirik artı konik kısım toplam uzunluk, m
$L_{max}$	Maksimum verimdeki siklon yüksekliği, m
$n$	Vorteks sayısı
$N'_c$	Boyutsuz parametre
$Re$	Reynold Sayısı
$s$	Dalma borusu yüksekliği, m
$T$	Sıcaklık, K
$V_g$	Giriş gaz hızı, m/s
$V_{te}$	İç vorteksdeki teğetsel gaz hızı, m/s
$V_{ze}$	Çıkış borusundaki aksenal gaz hızı, m/s
$Q$	Hava giriş debisi, m <sup>3</sup> /h
$\nu$	Kinematik viskozite, m <sup>2</sup> /s
$\mu_g$	Dinamik gaz viskozitesi, Pas
$\eta$	Toplama verimi
$\lambda$	Sürtünme faktörü
$\rho_g$	Gaz yoğunluğu, kg/m <sup>3</sup>

$\rho_{i,p}$	Partikül yoğunluğu, kg/m <sup>3</sup>
$\rho_s$	Katı yoğunluğu, kg/m <sup>3</sup>
$\Delta h_s$	Siklondaki basınç kaybı (mmSS)
$\Delta h_v$	Ventürimetredeki basınç kaybı (mmSS)
$\beta$	Ventürimetre çap oranı



## ŞEKİLLER VE TABLOLAR DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1. Siklon içerisindeki akış davranışı.....	16
Şekil 2. Barth teorisindeki hayali silindir .....	17
Şekil 3. Ters akışlı siklonlarda hız bileşenlerinin ölçülmüş profilleri: .....	18
Şekil 4. Siklon giriş tipleri (a: Teğetsel, b: Dönel, c: Helisel, d: Eksenel).....	19
Şekil 5. Siklonun tipik kesirsel verim eğrisi.....	22
Şekil 6. Siklonda karakteristik boyutlar .....	32
Şekil 7. Klasik ve yeni tasarımlı siklonun boyutlandırılması .....	38
Şekil 8. Deney Tesisatının Bölümleri.....	40
Şekil 9. Deney düzeneğinin resmi .....	41
Şekil 10. Deneyde Kullanılan Fan ve Blower resimleri .....	42
Şekil 11. Ventürimetre.....	43
Şekil 12. Pitot tüpü .....	43
Şekil 13. Toz besleme ünitesi .....	44
Şekil 14. Toz besleme için rotametre .....	44
Şekil 15. Dijital Ölçüm Cihazı .....	45
Şekil 16. Partikül Analiz Cihazı .....	46
Şekil 17. Kuru (SCIROCO 2000) ve ıslak (HYDRO 2000MU) üniteler.....	47
Şekil 18. Siklon Boyutları .....	48
Şekil 19. Farklı Katı Gövde Boylarının Resmi.....	49
Şekil 20. Deneylerde Kullanılan Çıkış Bacaları.....	49
Şekil 21. Tozlu Deney Sonrası Girdap Durdurucunun Görünümü.....	91
Tablo 1. Siklonların verimlilik dağılımı .....	23
Tablo 2. Siklon Ölçüleri (Basınç deneyleri için).....	55
Tablo 3. Siklon Ölçüleri (Doğal vorteks deneyleri için) .....	78
Tablo 4. Siklon Ölçüleri (Tozlu deneyler için).....	90
Tablo 5. H2L1P(40) Partiküllerin Analiz Sonucunun Karşılaştırması.....	107
Tablo 6. Kesirsel Aralık ve Verim Değerleri.....	108

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Siklonlarda basınç düşüşünün cebirsel modelleri.....	20
Çizelge 2.2. Siklonlarda toplama veriminin cebirsel modelleri.....	31
Çizelge 2.1. Siklonlarda basınç düşüşünün cebirsel modelleri.....	21
Çizelge 2.2. Toplam verimliliğin hesabına bir örnek.....	19
Grafik 4.1. K-V Grafiği ( 17 x 42 mm <sup>2</sup> ve D <sub>3</sub> = 0 mm).....	56
Grafik 4.2. K-Re Grafiği ( 24 x 42 mm <sup>2</sup> ve D <sub>3</sub> = 0 mm).....	57
Grafik 4.3. H= 283 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği.....	57
Grafik 4.4. H= 283 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-Re Grafiği.....	58
Grafik 4.5. H= 283 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği.....	58
Grafik 4.6. H= 283 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-Re Grafiği.....	59
Grafik 4.7. H= 500 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği.....	59
Grafik 4.8. H= 500 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-Re Grafiği.....	60
Grafik 4.9. H= 500 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği.....	60
Grafik 4.10. H= 500 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği.....	61
Grafik 4.11. 17 x 42 mm <sup>2</sup> için D <sub>2</sub> -K ilişkisine H etkisi (V: 8 m/s).....	61
Grafik 4.12. 24 x 42 mm <sup>2</sup> için D <sub>2</sub> -K ilişkisine H etkisi (V: 8 m/s).....	62
Grafik 4.13. 17 x 42 mm <sup>2</sup> için D <sub>2</sub> -K ilişkisine H etkisi (V: 8 m/s).....	62
Grafik 4.14. 24 x 42 mm <sup>2</sup> için D <sub>2</sub> -K ilişkisine H etkisi (V: 8 m/s).....	63
Grafik 4.15. 17 x 42 mm <sup>2</sup> için D <sub>2</sub> -K ilişkisine H etkisi (V: 10 m/s).....	63
Grafik 4.16. 24 x 42 mm <sup>2</sup> için D <sub>2</sub> -K ilişkisine H etkisi (V: 10 m/s).....	64
Grafik 4.17. 17 x 42 mm <sup>2</sup> için D <sub>2</sub> -K ilişkisine H etkisi (V: 10 m/s).....	64
Grafik 4.18. 24 x 42 mm <sup>2</sup> için D <sub>2</sub> -K ilişkisine H etkisi (V: 10 m/s).....	65
Grafik 4.19. 17 x 42 mm <sup>2</sup> için D <sub>2</sub> -K ilişkisine H etkisi (V: 12 m/s).....	65
Grafik 4.20. 24 x 42 mm <sup>2</sup> için D <sub>2</sub> -K ilişkisine H etkisi (V: 12 m/s).....	66
Grafik 4.21. 17 x 42 mm <sup>2</sup> için D <sub>2</sub> -K ilişkisine H etkisi (V: 12 m/s).....	66
Grafik 4.22. 24 x 42 mm <sup>2</sup> için D <sub>2</sub> -K ilişkisine H etkisi (V: 12 m/s).....	67
Grafik 4.23. H= 283 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-D <sub>3</sub> Grafiği.....	67
Grafik 4.24. H= 283 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-D <sub>3</sub> Grafiği.....	68
Grafik 4.25. H= 283 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-D <sub>3</sub> Grafiği.....	68
Grafik 4.26. H= 283 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-D <sub>3</sub> Grafiği.....	69
Grafik 4.27. H= 500 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-D <sub>3</sub> Grafiği.....	69
Grafik 4.28. H= 500 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-D <sub>3</sub> Grafiği.....	70
Grafik 4.29. H= 500 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-D <sub>3</sub> Grafiği.....	70
Grafik 4.30. H= 500 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-D <sub>3</sub> Grafiği.....	71

Grafik 4.31. H= 135 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-Q Grafiği ( D2 = 30 mm) ....	71
Grafik 4.32. H= 135 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-Q Grafiği ( D2 = 30 mm) ...	72
Grafik 4.33. H= 283 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 30 mm) ..	72
Grafik 4.34. H= 283 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 30 mm) ..	72
Grafik 4.35. H= 500 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 30 mm) ..	73
Grafik 4.36. H= 500 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 30 mm) ..	73
Grafik 4.37. H= 135 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-Q Grafiği ( D2 = 40 mm) ..	73
Grafik 4.38. H= 135 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-Q Grafiği ( D2 = 40 mm) ..	74
Grafik 4.39. H= 283 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 40 mm) ..	74
Grafik 4.40. H= 283 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 40 mm) ..	74
Grafik 4.41. H= 500 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 40 mm) ..	75
Grafik 4.42. H= 500 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 40 mm) ..	75
Grafik 4.43. H= 135 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-Q Grafiği ( D2 = 50 mm) ..	75
Grafik 4.44. H= 135 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-Q Grafiği ( D2 = 50 mm) ..	76
Grafik 4.45. H= 283 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 50 mm) ..	76
Grafik 4.46. H= 283 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 50 mm) ..	76
Grafik 4.47. H= 500 mm ve 17 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 50 mm) ..	77
Grafik 4.48. H= 500 mm ve 24 x 42 mm <sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 50 mm) ..	77
Grafik 4.49. Lv – Q ilişkisine H’in etkisi ( D2=20 mm, s=90 mm) .....	79
Grafik 4.50. Lv – Q ilişkisine H’in etkisi ( D2=20 mm, s=90 mm) .....	79
Grafik 4.51. Lv – Q ilişkisine H’in etkisi ( D2=20 mm, s=90 mm) .....	80
Grafik 4.52. Lv – D2 grafiği ( H=250 mm, s=50 mm) .....	81
Grafik 4.53. Lv – D2 grafiği ( H=250 mm, s=74 mm) .....	82
Grafik 4.54. Lv – D2 grafiği ( H=250 mm, s=90 mm) .....	82
Grafik 4.55. Lv – D2 grafiği ( H=350 mm, s=50 mm) .....	83
Grafik 4.56. Lv – D2 grafiği ( H=350 mm, s=74 mm) .....	83
Grafik 4.57. Lv – D2 grafiği ( H=350 mm, s=90 mm) .....	84
Grafik 4.58. Lv – D2 grafiği ( H=450 mm, s=90 mm) .....	84
Grafik 4.59. Lv – Q grafiği ( H=250 mm, D2=30 mm) .....	85
Grafik 4.60. Lv – Q grafiği ( H=350 mm, D2=20 mm) .....	86
Grafik 4.61. Lv – Q grafiği ( H=350 mm, D2=30 mm) .....	86
Grafik 4.62. Lv – Q grafiği ( H=350 mm, D2=40 mm) .....	87
Grafik 4.63. Lv – Q grafiği ( H=350 mm, D2=50 mm) .....	87
Grafik 4.64. ΔP - Lv grafiği ( H=250 mm, D2=30 mm) .....	88
Grafik 4.65. ΔP - Lv grafiği ( H=350 mm, D2=30 mm) .....	89
Grafik 4.66. ΔP - S grafiği ( H=250 mm, D2=30 mm) .....	89
Grafik 4.67. H1 için Lb – Verim grafiği ( Pürüzsüz Yüzey) .....	92
Grafik 4.68. H2 için Lb – Verim grafiği ( Pürüzsüz Yüzey) .....	92
Grafik 4.69. H3 için Lb – Verim grafiği ( Pürüzsüz Yüzey) .....	93
Grafik 4.70. Toplu Lb – Verim grafikleri ( Pürüzsüz Yüzey) .....	94
Grafik 4.71. Toplu Lb – Verim grafiği ( Yüksek Pürüzlü Yüzey) .....	94

Grafik 4.72. Toplu Lb – Verim grafikleri ( Orta Pürüzlü Yüzey).....	95
Grafik 4.73. L1= 100 mm için toplu H - % verim eğrileri.....	96
Grafik 4.74. L1= 200 mm için H - % verim eğrileri.....	97
Grafik 4.75. H1= 290 mm için Giriş hızı – Basınç Kaybı eğrileri.....	97
Grafik 4.76. H2= 435 mm için Giriş hızı – Basınç Kaybı eğrileri.....	98
Grafik 4.77. Pürüzlülük, H ve L yüksekliğinin basınç kaybına etkisi .....	98
Grafik 4.78. H1= 290 mm için pürüzlülüğün Dkrt - L eğrisine etkisi .....	101
Grafik 4.79. H2= 435 mm için pürüzlülüğün Dkrt - L eğrisine etkisi .....	102
Grafik 4.80. H3= 580 mm için pürüzlülüğün Dkrt - L eğrisine etkisi .....	103
Grafik 4.81. Pürüzsüz yüzey için H yüksekliğinin Dkrt - L eğrisine etkisi .....	103
Grafik 4.82. Orta Pürüzlü yüzey için H yüksek. Dkrt - L eğrisine etkisi .....	104
Grafik 4.83. Yüksek Pürüzlü yüzey için H yüksek. Dkrt - L eğrisine etkisi ..	105
Grafik 4.84. H1 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Pürüzsüz yüzey) .....	109
Grafik 4.85. H2 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Pürüzsüz yüzey) .....	109
Grafik 4.86. H3 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Pürüzsüz yüzey) .....	110
Grafik 4.87. L1 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Pürüzsüz yüzey) .....	110
Grafik 4.88. L2 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Pürüzsüz yüzey) .....	111
Grafik 4.89. L3 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Pürüzsüz yüzey) .....	111
Grafik 4.90. L4 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Pürüzsüz yüzey) .....	112
Grafik 4.91. H1 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Yüksek Pürüzlü).....	112
Grafik 4.92. H2 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Yüksek Pürüzlü).....	113
Grafik 4.93. H3 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Yüksek Pürüzlü).....	113
Grafik 4.94. L1 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Yüksek Pürüzlü).....	114
Grafik 4.95. L2 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Yüksek Pürüzlü).....	114
Grafik 4.96. L3 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Yüksek Pürüzlü).....	115
Grafik 4.97. L4 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Yüksek Pürüzlü).....	115
Grafik 4.98. H1 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Orta Pürüzlü).....	116
Grafik 4.99. H2 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Orta Pürüzlü).....	116
Grafik 4.100. H3 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Orta Pürüzlü).....	117
Grafik 4.101. L1 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Orta Pürüzlü).....	117
Grafik 4.102. L2 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Orta Pürüzlü).....	118
Grafik 4.103. L3 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Orta Pürüzlü).....	118
Grafik 4.104. L4 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri (Orta Pürüzlü).....	119
Grafik 4.105. H1L1 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri .....	119
Grafik 4.106. H1L2 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri .....	120
Grafik 4.107. H1L3 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri .....	120
Grafik 4.108. H1L4 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri .....	121
Grafik 4.109. H1L5 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri .....	121
Grafik 4.110. H1L6 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri .....	122
Grafik 4.111. H2L1 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri .....	122
Grafik 4.112. H2L2 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri .....	123

Grafik 4.113. H2L3 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri .....	123
Grafik 4.114. H2L4 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri .....	124
Grafik 4.115. H3L1 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri .....	124
Grafik 4.116. H3L2 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri .....	125
Grafik 4.117. H1 için Verim – Dort eğrileri (Pürüzsüz yüzey) .....	125
Grafik 4.118. H2 için Verim – Dort eğrisi (Pürüzsüz yüzey) .....	126
Grafik 4.119. H3 için Verim – Dort eğrileri (Pürüzsüz yüzey) .....	126
Grafik 4.120. L1 için Verim – Dort eğrileri (Pürüzsüz yüzey) .....	127
Grafik 4.121. L2 için Verim – Dort eğrileri (Pürüzsüz yüzey) .....	127
Grafik 4.122. L3 için Verim – Dort eğrileri (Pürüzsüz yüzey) .....	128
Grafik 4.123. L4 için Verim – Dort eğrileri (Pürüzsüz yüzey) .....	128
Grafik 4.124. H1 için Verim – Dort eğrileri (Yüksek Pürüzlü) .....	129
Grafik 4.125. H2 için Verim – Dort eğrileri (Yüksek Pürüzlü) .....	129
Grafik 4.126. H3 için Verim – Dort eğrileri (Yüksek Pürüzlü) .....	130
Grafik 4.127. L1 için Verim – Dort eğrileri (Yüksek Pürüzlü) .....	130
Grafik 4.128. L2 için Verim – Dort eğrileri (Yüksek Pürüzlü) .....	131
Grafik 4.129. L3 için Verim – Dort eğrileri (Yüksek Pürüzlü) .....	131
Grafik 4.130. L4 için Verim – Dort eğrileri (Yüksek Pürüzlü) .....	132
Grafik 4.131. H1 için Verim – Dort eğrileri (Orta Pürüzlü) .....	132
Grafik 4.132. H2 için Verim – Dort eğrileri (Orta Pürüzlü) .....	133
Grafik 4.133. H3 için Verim – Dort eğrileri (Orta Pürüzlü) .....	133
Grafik 4.134. L1 için Verim – Dort eğrileri (Orta Pürüzlü) .....	134
Grafik 4.135. L2 için Verim – Dort eğrileri (Orta Pürüzlü) .....	134
Grafik 4.136. L3 için Verim – Dort eğrileri (Orta Pürüzlü) .....	135
Grafik 4.137. L4 için Verim – Dort eğrileri (Orta Pürüzlü) .....	135
Grafik 4.138. H1L1 için Verim – Dort eğrileri .....	136
Grafik 4.139. H1L2 için Verim – Dort eğrileri .....	136
Grafik 4.140. H1L3 için Verim – Dort eğrileri .....	137
Grafik 4.141. H1L4 için Verim – Dort eğrileri .....	137
Grafik 4.142. H1L5 için Verim – Dort eğrileri .....	138
Grafik 4.143. H1L6 için Verim – Dort eğrileri .....	138
Grafik 4.144. H2L1 için Verim – Dort eğrileri .....	139
Grafik 4.145. H2L2 için Verim – Dort eğrileri .....	139
Grafik 4.146. H2L3 için Verim – Dort eğrileri .....	140
Grafik 4.147. H2L4 için Verim – Dort eğrileri .....	140
Grafik 4.148. H3L1 için Verim – Dort eğrileri .....	141
Grafik 4.149. H3L2 için Verim – Dort eğrileri .....	141
Grafik 4.150. Fish Hook maksimum noktaları (Pürüzsüz yüzey durumu) .....	142
Grafik 4.151. Fish Hook maksimum noktaları (Yüksek pürüzlü yüzey durumu) .....	143
Grafik 4.152. Fish Hook maksimum noktaları (Orta pürüzlü yüzey durumu) .....	143
Grafik 4.153. Fish Hook maksimum noktaları (H1 sabit) .....	144



Grafik 4.154. Fish Hook maksimum noktaları (H2 sabit) .....	144
Grafik 4.155. Fish Hook maksimum noktaları (H3 sabit) .....	145
Grafik 4.156. Fish Hook minimum noktaları (Pürüzsüz yüzey durumu) .....	145
Grafik 4.157. Fish Hook minimum noktaları (Yüksek pürüzlü yüzey durumu)..	146
Grafik 4.158. Fish Hook minimum noktaları (Orta pürüzlü yüzey durumu).....	146
Grafik 4.159. Fish Hook minimum noktaları (H1 sabit).....	147
Grafik 4.160. Fish Hook minimum noktaları (H2 sabit).....	147
Grafik 4.161. Fish Hook minimum noktaları (H3 sabit).....	148



## 1. GİRİŞ

Siklonlar, çok fazlı akışlarda yoğun fazın ana akıştan ayrılmasında, örneğin içinde katı taneler bulunan bir gaz akımında, teğetsel giriş etkisi ve taneler üzerine etkiyen santrifüj kuvveti yardımıyla katı taneleri gazdan ayıran, sabit parçalı cihazlardır. Siklona giren akışkan teğetsel giriş etkisi ile dönel bir hareket kazanır. Bu şekilde oluşan girdap etkisinde, akışkan içerisindeki farklı yoğunluklara sahip fazlara gelen farklı atalet kuvvetleri ile radyal yönde izafi bir hareket oluşur. Oluşan bu merkezkaç kuvvetinin etkisiyle yoğun fazın bir kısmı akış alanından uzaklaştırılır. Temel prensip olarak izah edilirse, merkezkaç kuvvetler ile savrulan akışkanın ortasında oluşan boşluktan temiz havanın yukarı çıkmasıdır.

Siklonların hareketli parçaları yoktur ve vorteksi oluşturan gaz girişine ek olarak siklonlarda gaz çıkışı ve partikül toplama yerleri de olmalıdır. Bu üç bölgenin farklı tasarımları için çeşitli siklon tipleri mevcuttur. Uygulamada çok çeşitli geometrilere sahip siklonlar mevcuttur. Ancak genelde en yaygın olarak kullanılan siklonlarda bir teğetsel gaz girişi ve eksenel çıkış vardır ve bunlar ters akışlı siklon olarak adlandırılır. En yaygın kullanılan siklon tipinde bir ana silindirik gövde, konik kısmın ucunda toz tutucu, gaz girişinin sağlandığı dikdörtgen kesitli kanal ve gaz çıkışının sağlandığı silindirik bir boru mevcuttur.

Siklonların en önemli performans karakteristikleri siklonun partikül tutma verimi, fraksiyonel verimleri ve basınç kayıplarıdır. Bu karakteristikleri doğru olarak tayin etmek çok zordur. Çünkü teğetsel olarak siklona giren akışkan spiral bir hareketle cidar boyunca belli bir konuma kadar gider ve bir iç girdap oluşturarak geri döner ancak bunun yanı sıra siklonda ikincil akımlar ve sirkülasyon bölgeleri oluşur. Oluşan akışın bu karmaşık yapısı yanında, olay üzerine etki eden parametrelerin çokluğu da akış alanının çözümünü ve siklon performansının tayinini güçleştirir.

Geometrisi ve çalışma parametreleri, siklonun performans karakteristiklerini etkiler. Çalışma şartları, ilk debiyi ve girişteki partikül boyut dağılımını içermektedir. Bunlardan siklonun verimine, temel olarak, giriş kesiti, gövde uzunluğu, tahliye borusu

çapı, akışkanın debisi, sıcaklığı, yoğunluğu ve basıncı ile kullanılan parçacıkların çapı, kimyasal özellikleri vb. etki etmektedir. Bu parametrelerdeki küçük değişim bile performansı etkilemektedir. Dolayısıyla bu parametrelerin birbiriyle en uygun şekilde çalışmasını sağlamak için değerlerinin optimum şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bununla ilgili ilk çalışma Stairmand tarafından yapılmıştır. (Stairmand, 1951). Son yıllarda siklon kullanımının artmasıyla, verim tahminine yönelik model oluşturma çalışmaları da hızlanmıştır. Bu oluşturulan modellerin çoğu daha çok parçacıkların %50 verimle tutulabildiği çapın (kritik çap) tahminine yöneliktir. Bazılarıysa fraksiyonel verimlerin hesabını içermektedir.

Siklon ayırıcılar ilk olarak yüzyıl önce özel amaçla tasarlanmış iken bugün yakıcı, kurutucu, çok fazlı akışta faz veya emisyon kontrolünde partikül ayırıcı olarak; ayrıca elektrik süpürgelerinden, fabrika baca filtrelerine, iklim değişimini ve hava kirliliğini kontrole çalışan dev siklonlara kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda kullanımının artmasının sebepleri arasında sabit parçalardan oluşması, bakım masrafi gerektirmemesi, imalat kolaylığı ve ucuzluğu, yüksek verim gibi özellikleri etkili olduğu söylenebilir. Uygun bir imalat malzemesi kullanıldığı takdirde siklonlar her türlü gaz sıcaklığı, basıncı ya da aşındırması için yapılabilirler. Örneğin, siklonlar ayırıcı olarak petrol rafinerilerinde tipik 500-600 °C sıcaklıklarda ve 10 kg/m<sup>3</sup> e kadar konsantrasyonlarda kullanılmaktadırlar. Siklonlar ayırıcı olarak, gıda endüstrisinde de sıklıkla kullanılmaktadır.

Enerji üretim santrallerinde, yakma sistemlerinde, kimya ve ilaç sanayinde, ısı ve kütle transferinin gerçekleştiği sistemlerde ön ayırıcı, ana ayırıcı, örnek alıcı olarak kullanılan siklonların avantajları şu şekilde özetlenebilir ;

- ✓ Bakım gerektirmez.
- ✓ Yüksek toplama verimi sağlar.
- ✓ İlave Temizlemeye ihtiyacı yoktur.
- ✓ Yüksek Toz konsantrasyonlarında çalışmaya engel teşkil etmez.
- ✓ Paralel bağlamak suretiyle çeşitli kapasite kombinasyonları elde edilebilir.
- ✓ Yüksek parçacık yoğunluğu olan hava ve gazların temizlenmesinde kullanılır.

- ✓ Optimum basınç kayıpları ile ince taneli malzemelerin ayrılması ve toplanması amacıyla kullanılır.
- ✓ Endüstriyel toz toplama sistemlerinde 1 mikron dan büyük taneciklere kadar parçacıkların tutulmasında 50 m<sup>3</sup>/h 'ten 90.000 m<sup>3</sup>/h kadar üretilmektedir.
- ✓ Filtrelerin öncesinde kullanıldığında, filtre ömrünün uzamasını sağlar. İsteğe bağlı olarak hava kilidi sayesinde sürekli olarak otomatik boşaltma yapılabilir.
- ✓ Nispeten küçük alan gerektirir.

Bu çalışmada; konvensiyonel siklonlardan farklı olarak konik kısmı çıkarılan ve yerine bir girdap durdurucunun konulduğu yeni bir siklon tasarımı incelenmiştir. Bu yeni tasarımlı siklon ile geometrik özelliklerin ve yüzey pürüzlülüğünün basınç kayıplarına ve toz tutma verimine etkileri incelenmiştir. Ayrıca belirli siklon giriş hızları için siklonun doğal vorteks uzunluğu tespit edilerek geometrik özelliklerdeki değişimlerin bu uzunluğa etkileri araştırılmıştır.

Siklon deney düzeneğinde siklon giriş kesiti ve hava kısımla vanası yardımıyla belirli siklon giriş hızları elde edilmiştir. Modüler yapıda olan siklonun geometrik özelliklerinden; katı gövde yüksekliği, girdap durdurucu ve silindir arasındaki hava boşluk mesafesi, çıkış bacası çapı ve derinliği değiştirilerek belirli giriş hızlarına karşılık gelen basınç kayıp değerleri ölçülmüştür. Bu basınç kayıp değerleri, siklonun giriş ve çıkışındaki iki noktadan TESTO521 marka dijital basınç ölçme cihazı ile elde edilmiştir. Toz tutma verimi ise siklona verilen toz ağırlığı ile deneyden sonra toz kutusunda tutulan toz ağırlığının oranı ile hesaplanmıştır. Deneyler farklı pürüzlülük yüzey değerleri için tekrarlanarak, pürüzlülüğün toz tutma verimi ve basınç kayıplarına etkisi ortaya konulmuştur. Ayrıca değerlendirmelerde genel verimin yanısıra MASTER SIZER2000 modelli partikül analiz cihazından elde edilen toz analiz sonuçlarına göre fraksiyonel verim eğrileri de elde edilmiştir.

Doğal vorteks uzunluğunun belirlenmesinde ise, siklon silindirik kısmından belirli uzaklıktaki mesafede bulunan ve girdap durdurucunun üzerine yapıştırılmış haldeki liflerin hareketi kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen basınç kaybı ve toz tutma verim

değerleri incelenmiş ve klasik siklonun sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca doğal vorteks uzunluğu ile geometrik özellikler ve basınç kaybı değerleri grafiklerle ilişkilendirilmiştir.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çok farklı ve yaygın kullanım alanı olan siklon ayırıcıların hava kirliliği kontrolünde 200 yılı aşkın süredir kullanıldığı bilinmektedir. Günümüzde ise enerji üretim santrallerinde, maden, tekstil, kimya ve ilaç sanayiinde, petrol endüstrisinde, yiyecek imalatında, çevresel temizlikte ve yakma sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca emisyon kontrolü (Gimbun ve ark., 2005b), ürün geri kazanma (Bernardo ve ark., 2006), proses / yanma geliştirme (Parker ve ark., 1981), ısıtma, (Vegini ve ark., 2008), püskürtme kurutma (Koch ve Licht, 1977), numune örnekleme ve izleme (Hsiao ve ark., 2009) ve elektrik süpürgeleri olarak ta kullanım alanları vardır (Dyson Teknolojisi, 2012, Hong ve Lee, 2011, Smith, 2010). Bu kadar yaygın kullanılma sebepleri arasında ağır çalışma şartlarında ve yüksek sıcaklık ve basınç şartlarında çalışabilmesi, yapısının basit, imalat ve işletme maliyetinin düşük olması, hareketli parçaları olmaması, uzun ömürlü olması gibi avantajları sayılabilir. Bu avantajları sebebiyle siklonların performansını iyileştirmeye, değişik parametrelerin etkisini ortaya çıkarmaya, optimizasyon yapıp uygun konstrüksiyonlar elde etmeğe yönelik çok sayıda teorik ve deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca enerji maliyetlerinin her geçen gün artmasından dolayı işletme maliyetlerinin azaltılması gerekliliği doğmuştur. Bu yüzden özellikle basınç kayıplarının azaltılmasına yönelik çalışmalara ihtiyaç vardır.

Ancak siklon performansını birçok parametre etkilemektedir. Siklonun geometrik yapısı, malzeme özellikleri, boyutsal oranları ve işletme parametrelerinin yanı sıra deneysel çalışmada gaz debisi, gaz giriş/çıkış sıcaklıkları, gaz yoğunluğu, siklondaki basınç düşümü, hammadde konsantrasyonu ve gaz akımının siklondaki hız dağılımı gibi performans parametreleri kaydedilmiştir. Siklon optimizasyonu için siklondaki bu akış ve geometrik parametrelerinin iyi hesaplanması gerekmektedir. Ancak siklonlar basit bir yapıda olmalarına rağmen içerisindeki akış oldukça karmaşıktır. Ayrıca parçacık karakteristikleri, dağılımları, büyüklüklerine bağlı olarak gelen ilave etkiler analizi daha da güçleştirir. Bazı parametrelerin etkisini bazı modellerde görmemek veya gerçeğin tersini tahmin etmek mümkün olabilmektedir

Siklonların performans karakteristikleri siklonun ayırma verimi, fraksiyonel verimleri ve basınç kayıplarıdır. Bu değerlerin tahmini veya hesabı oldukça zor olması nedeniyle bu konuyla ilgili çok sayıda çalışma yürütülmektedir. Bu çalışmalarda geliştirilen teoriler, işletme ve geometrik parametrelerin dar bir bölgesinde tatminkar tahmin yapabilmekte olduğundan, bu modellerden hareketle daha çok yapılacak deneysel ve teorik çalışmalarla yeni verimli siklon tasarımları yapmak gerekmektedir. Siklonlarda verim tahmini için oluşturulan modellerin çoğu daha çok parçacıkların %50 verimde tutulabildiği çapın (kritik çap) tahminine yöneliktir. Bununla birlikte bir kısmı fraksiyonel verimlerin hesabını da içermektedir. Bu modellerin çoğu ampirik veya yarı ampiriktir. Bu şekilde elde edilmiş ve kullanılan siklonlardan bazıları Stairmand siklonu (1951), Lapple siklonu (1951), Southern Research Institute (SRI) siklonu (Smith ve ark.,1979), German Z siklonu (König ve ark.,1991), Aerojet siklonu (Upton ve ark., 1994), Kim ve Lee siklonu (1990) vb. olarak sayılabilir. Siklonlardaki performans değerleri 2D2D siklon tasarımı çıkana kadar pek değişmemiştir (Shepherd ve Lapple, 1939).

Genelde yapılan çalışmalar siklondaki boyut oranları üzerinde yoğunlaşmıştır. Çünkü bu oranlardaki küçük bir değişimin performansta büyük etkiler oluşturduğu gözlenmiştir. Örneğin, konik alt çıkış çapının artmasıyla basınç kaybının azaldığı ( Xiang ve ark., 2001) ve tutma verimliliğinin de arttığı gözlenmiştir. ( Baker ve Hughs, 1999). Toz kutusuna genişleme haznesi konmasıyla da toplama veriminin arttığı çalışmalar da vardır ( Baker ve arkadaşları, 1997; Holt ve arkadaşları, 1999. ; Obermair ve Staudinger , 2001).

Baker ve Hughs (1998) yaptıkları çalışmada giriş kesitindeki değişimin verimliliği arttırabileceğini ve Funk ve ark. (2001) ise bunun ancak giriş kesiti alt genişliği ile vortex bulucunun alt hizasının aynı hizada olmasıyla mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Faulkner ve ark. (2007) siklon çapındaki değişimin toplama verimliliğini ters yönde etkilediğini ve bir sonraki yılda yaptıkları çalışmalarda ise siklon boyutunun artmasıyla

kritik çapın değişmediğini ancak fraksiyonel verim eğrisinin eğiminin arttığını incelemişlerdir.

Whitelock ve Buser (2007), aynı boyutlu ve aynı çalışma parametrelerindeki seri bağlı siklonlarda verimin giderek azaldığını aynı zamanda kritik çapın dūřtūęünü ( kayıp ve partikūl boyutunun azalmasıyla) incelemişler, bu alışmaları, Ray ve ark. (2000) yarı ampirik modeliyle doğrulamışlardır.

Bir bařka deney Peng ve ark. (2005) tarafından yapılmıřtır. Girdap gōruntūřu için flař ışık kullanmıřlar ve yūksək zaman ōzūnūrlūklū basınç oēlūmleri ile de girdap ilerlemesi ve ucunu incelemiřlerdir.

Hu ve ark. (2005) siklondaki ve toz hunisindeki girdap yapısını incelemek için Laser Doppler metodunu kullanmıřlar ve Obermair ve ark. (2005) ise ōzellikle toz hunisini inceleyerek siklon verimlilięinde partikūl aglomerasyonunun ōnemli olduęunu iřaret etmiřlerdir.

Salcedo ve Candido (2001), yeni bir siklon tasarımı yaparak onu geliřtirmek için bir model kullanmıřlar ve ōngōrdükleri sonuçları Portekizli bir kimya fabrikasında būyūk (pilot oēekli) siklon üzerine yıęın ōrnekleme testleri ile teyit etmiřlerdir.

Vegini ve ark. (2008) gaz ve partikūl arasındaki etkileřime duyarlı CFD alıřmaları yūrūtmūřler ve iki farklı siklon boyutlarında ū farklı sıcaklık deęerinde (430-860 C ) yūrūttükleri analiz sonuçlarını Brezilya'da bir imento fabrikasında doęrulamıřlardır.

Shi ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada hidrosiklon performansı ūzerinde yoğunluk ve viskozitesinin etkilerinin gōsterilmesi için CFD modeli kullanmışlar ve sonuçta basınç kaybının yoğunluktan ōnemli oēūde etkilendiğini, viskozitenin ise etkilemediği sonucuna varmışlardır. Toplama verimliliği teğet hızının karesi ile orantılı idi. Aynı giriş hızı için basıncın artmasıyla verimliliğin arttığını ūnkū gaz teğetsel hızının yūksək yoğunluk ve hızlarda farklı dağıtıldığını gōzlemlemiřlerdir. Toplama verimi aynı hız



değeri için sıcaklık artışları ile azalmıştır (400-800 °C). Bunu ise teğetsel hızın azalmasına bağlamışlardır.

Mihalski ve ark. (1992) deneysel olarak yaptıkları çalışmalarda 1D3D ve 2D2D siklonlar için en uygun giriş hızını bulmaya çalışmışlardır. Toplama veriminin hava kütle akışından ziyade partikül hızına daha duyarlı olduğundan en uygun hızın bulunması gerektiğine inanmışlardır.

Gleb ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada siklonlarda girdap boyunun davranışı ve performansa etkileri teorik ve deneysel incelenmiştir. Düşük hızlarda girdap ucu koni cidarına yapışarak geri dönmekte iken yüksek hızlarda girdap ucu aksel olarak koni ucunu geçinceye kadar devam ettiği deneysel ve teorik olarak gösterilmiştir. Kısa girdap oluşumunda basınç kayıpları ve verimin önemli ölçüde azaldığı gözlenirken siklon yüzeylerinde de daha hızlı aşınma ve yıpranma olduğu sonucuna varılmıştır.

Bingtao Zhao (2012) çalışmasında ise siklonlarda ayırma veriminin ve fraksiyonel verimlerin tahmini için parçacıkların siklonda kalış zamanlarını esas alan ve siklon geometrisine ve çalışma parametrelerine bağlı matematik model geliştirilmiştir. Sonuçlar deneysel sonuçlarla ve diğer matematik modellerle karşılaştırılmıştır.

Gutierrez ve ark. (2012) ise yaptıkları çalışmada siklonlarda verim ve fraksiyonel verim tahmininde kullanılan matematik modeller dikkate alınarak bu modellerde parçacık şeklinin etkisi incelenmiştir. Sonuçta modellerde direnç sayısının değişimine bağlı olarak model tahminlerinin de önemli ölçüde değişebileceği ve iyileşme sağlanabileceği gösterilmiştir. Bu açıdan efektif geometrinin tanımlanmasının önemi ortaya konmuştur.

Nurhayati ve ark. (2011) çalışmalarında yüksek basınçlı doğal gaz sistemleri için kullanılacak gaz sıvı ayırıcı silindirik tip siklon ayırıcının verimi incelenmiştir. Bu çalışmada gaz basıncı arttıkça verimin arttığı gözlenmiştir. 40 bar'da minimum iken basınç ve gaz hızının artmasıyla %99 seviyelerinde verimlere ulaşılmıştır.

Guangcai ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada aksel akışlı bir siklonda helis açısının ve gaz giriş yüksekliğinin verim ve basınç kaybı üzerine etkileri CFD yaklaşımı ile incelenmiştir. Sonuçta helis açısının azalmasının basınç kaybını artırırken verimi iyileştirdiği, buna karşılık gaz giriş yüksekliğinin ciddi etkisinin olmadığı, akışın aksel simetriye uygun olarak geliştiği sonucuna varılmıştır.

Su ve ark.(2011) ile Safikhani ve ark . (2011b) kare kesitli bir siklonlardaki akışı CFD yoluyla detaylı incelemişlerdir. Bu siklonlarda bir ve iki giriş olması halinde verim ve basınç kayıpları incelenmiş ve bir giriş halinde daha yüksek verim ve basınç kaybı gözlenirken iki girişlide daha az verim ve basınç kaybı elde edilmiştir.

Safikhani ve ark. (2011a) teğetsel girişli bir siklonda gaz çıkış borusu çapı ve yüksekliği, siklonun silindirik ve konik kısım yükseklikleri değiştirilerek 81 farklı durum için CFD çözümleri yapılmış ve basınç düşümü ve verim dikkate alınarak optimal geometri belirlenmeye çalışılmıştır. Tasarım için katsayıları siklon parametrelerine bağlı polinom şeklinde bir bağıntı tanımlanmıştır.

Fukui ve ark. (2011) normal konili siklon ile poroz koni yüzeyli siklonun temiz hava ilave oranına göre verimi ve yüzey toz birikim davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Belli hızlardan sonra yüzeyde toz birikmesinin azaldığı gözlenmiştir.

Xuezhi ve ark. (2011) hava içindeki katı konsantrasyonunun basınç düşümüne etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde 7.5 kg/kg hava yüküne kadar basınç kayıplarının hızla azaldığı ve sonra sabit kaldığı bulunmuştur. Deneysel sonuçlar uygun bir bağıntı ile verilmiştir.

Zhao (2010) çalışmasında siklonlarda ayırma verimini tahmin etmek için regresyon analizini kullanarak yarı ampirik bir bağıntı geliştirilmiştir. Bağıntı geometrik oran, Reynolds sayısı ve Stokes sayısını içermektedir. Sonuçlar diğer model yaklaşımları ile karşılaştırılmıştır. Yoshida ve ark. (2010) ise siklon konisi ve çapının etkisi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. En uygun veya verimli koni açısı 70 derece olarak bulunmuştur. Elsayed ve ark. (2010) çalışmalarında yüksek verimli Stairmand siklonu

esas alınarak minimum basınç kaybı sağlayacak boyut oranları araştırılmıştır. Sonuçta Stairmand siklonu üzerinde küçük değişiklikler yapılmış ve verim fazla azalmadan kayıpları %50 oranında azaltacak konstrüksiyon elde edilmiştir.

Chu ve ark. (2011) çalışmasında nümerik olarak siklonda katı yükün basınç kayıpları, verim ve akış alanı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçlara göre katı yükün artması verimi artırmaktadır. Basınç kayıpları ve teğetsel hızlar azalmaktadır. Girdap sayıları azalırken eksenel hızlar artmaktadır.

Wang ve ark. (2011) ise kömür endüstrisinde kullanılan yoğun ortam siklonlarında siklon koni çapı, uzunluğu, silindir uzunluğu ve giriş kesitinin verim ve basınç kayıplarına etkisi nümerik olarak incelemiştir.

Chen ve Liu (2010) nun yaptığı çalışmada çıkış borusunun alt ucuna değişik açılarda eğim verilerek deneysel analizler yapılmıştır. Yapılan deneyler, eğimin doğrultusu ve dalma uzunlukları değiştirilerek tekrarlanmıştır. Yapılan deneyler basınç kayıplarının ve tutma veriminin eğim açısı ve yönlendirmeden etkilendiği ve uygun açı olması halinde verimin %8'e kadar arttırılabileceği ifade edilmiştir.

Siklonların performansını etkileyen geometrik ve çalışma parametrelerin fazlalığı son yıllarda optimizasyonda sinir ağları yönteminin kullanımına yönelik çalışmalarda artış sağlamıştır (Safikani ve ark. 2010).

Shi ve ark. (2009) geçici rejim yaklaşımı ile siklonlarda basınç düşümü üzerine analitik ve deneysel olarak olarak çalışmışlardır. Ta Chih ve ark. (2009) hava içerisinde bulunan 0.3 ve 1 mikron üzerindeki parçacıkları tutmak için minyatür siklonlar üzerinde çalışarak değişik şartlarda yeni tür siklonun verim ve basınç kaybını araştırmışlardır. Kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Sung ve ark. (2009) içerisinde bir veya daha fazla girdap oluşturan ve şiddetlendiren kanatçıklı levha içeren yeni tür siklonlarda verimin artırılması üzerine deneysel olarak çalışmışlardır. Sonuçları farklı siklonların verileri ile karşılaştırmışlardır.

Hideto ve ark. (2009) ise bir siklonda ikinci bir giriş ile düşük oranda akış sağlayarak akış alanını etkilemenin verime etkisi nümerik ve deneysel olarak incelemiş ve bu akışın verimi artırdığını göstermişlerdir

Siklonlarda verim ve kritik partikül çapının hesabı (Avcı ve Karagöz 2000, 2001 ve 2003) ve basınç düşümü hesabı için (Karagöz ve Avcı, 2005) sürtünme etkisini de içeren daha fazla parametreye bağlı, daha genel bir model geliştirilmiş, model sonuçları literatürdeki yarı-ampirik modellerle ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ancak bu modelin doğrulanması ve geliştirilmesi için daha geniş bir hız aralığında ilave deneylere ihtiyaç duyulmaktadır.

Siklonların performansının araştırılmasına yönelik farklı fazların birlikte bulunması durumu için örneğin gaz-sıvı, gaz-katı, gaz-sıvı-katı, sıvı-katı ve aynı fazda farklı yoğunlukta karışımların olması gibi durumlarda farklı çözümler ve bunlara bağlı analizler gerekli olmaktadır. Sıvı-katı fazlı akışlar ve bunlara ilave fazlar hidrosiklon olarak diğerleri ise gaz siklonları olarak bilinmektedir. Son yıllarda farklı siklon konstrüksiyonları üzerine çalışmalar ve sınıflayıcı olarak adlandırılan siklonların kullanılması da dikkat çekmektedir.

Misiulia D. ve ark. (2015) endüstriyel siklonlarda helisel giriş hali için akış, basınç düşümü, verim, parçacık yörüngesi nümerik yöntemle incelenmiş olup sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Liu, Y. ve ark. (2014) çalışmalarında değişik üç fazlı akışlarda kullanılabilir, ağırlıklı olarak hidrosiklonlar olmak üzere, siklonlar ve bunların performans değerlendirme yapmışlardır. Hasiao Ta-C. ve ark. (2015) minyatür gaz siklonu üzerinde konikliğinin, giriş ve çıkış kesitlerinin, uzunluk ve dalma yüksekliğinin sabit giriş debisinde performans üzerinde etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Birçok parametrenin etkisi içinde önemli parametreler olarak giriş ve çıkış kesitleri görülmektedir. Önceki çalışmalarla uyumludur. Farklı olarak yüksekliğin ciddi etkisi dikkat çekicidir.

Siklon filtrelerle torba filtrelerin birlikte kombine kullanılarak gerek filtre yüzeyi ve gerek hacimden kazanıldığı hibrid uygulamaları Emmrich J. ve ark. (2015) ele almış ve

farklı bir tasarımın performansı deneysel olarak incelenmiştir. Baltrenas P. ve ark. (2015) hava siklonlarında yeni bir yaklaşım olarak çok kanallı tasarımda farklı kanal halkaları kullanarak iki farklı giriş hızında siklonda akış olayı deneysel olarak incelenmiştir. Farklı halka ve kanal durumlarının akış ve performansa etkisi değerlendirilmiştir. Bir ön çalışma niteliğinde olup daha küçük parçacıkları daha yüksek verimde tutabileceği vurgulanmıştır. Liu M. ve ark. (2015) ise hızlı ayırıcı gaz siklon tasarımı üzerinde deneysel ve nümerik çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada klasik siklon davranışının aksine gaz hızının artması ile ince parçacıklarda ayırma veriminin azaldığı gözlenmiştir. Ayırıcının kompakt ve basit yapısı dikkat çekici görünmektedir. Oh J. ve ark. (2015) eş akımlı bir siklonun akış alanına çalışma parametreleri ve geometrinin etkileri nümerik olarak araştırılmış ve önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Sonuçta eş akımlı siklonun karakteristiklerinin klasik siklonla benzer bulunmuştur.

Souza F.J. ve ark. (2015) küçük siklonlarda verimi artırmak için siklon çıkış geometrisinde değişiklik önermiş ve iki farklı geometriden çıkış kanalına ilave silindir ve gövde ilave ederek değişik durumlarda nümerik olarak incelemiştir. Kanal arası akış durumuna göre verimlerde ilave iyileşmeler elde edilmiştir. Souza F.J. ve ark. (2015) klasik siklonda çıkış kanalı uzunluğu ve eğriliği ile ilgili 37 farklı durumu göz önüne alıp nümerik olarak performansa etkisini incelemiştir. Buna göre kanal uzunluğu artarken basınç kayıpları bir minimum noktaya kadar azalır sonra artarken verim azalma eğilimindedir. Elsayed K. (2015) yüksek verimli stairmand siklonu üzerinde gaz çıkış kanalında değişiklikler yaparak nümerik olarak optimizasyon çalışması yapmış ve sonuçta basınç kayıplarında azalma sağlarken kesme çapında da önemli iyileşme sağlayabileceğini göstermiştir.

Fan P. ve ark. (2015) yoğun ortam siklonlarında eksenel manyetik alan uygulamasının performansa etkisini araştırmışlardır. Farklı elektrik akımlarında yapılan testlerden ayırma veriminde artma sağladığını ve elektrik alanının varlığı merkezci kuvveti zayıflatmakta olduğunu gözlemişlerdir. Funk P.A. (2015) tarafından klasik siklonlarda basınç kayıplarını azaltmak üzere gaz çıkış kanalı üzerinde farklı difüzörlerin kullanımının etkisi araştırılmıştır. Sadece difüzör ilavesi ile radyal difüzörlerde basınç

kayıplarında %12 değerine kadar azaltma sağlanmıştır. Li Q. ve ark. (2015) eksenel akışlı iki farklı çıkış kanallı gaz siklonlarında deneysel olarak çalışmışlardır. Düz ve konik girişe sahip çıkış kanallarındaki düz girişli olanda daha fazla basınç kaybı ve daha fazla verim elde edilmiştir. Junca E.ve ark. (2015) granit kesimi sırasında üretilen atıklardan demir kazanımı için siklon kullanımının etkisini incelemek üzere tesiste klasik gaz siklonu kullanarak demir kazanımına çalışmışlardır. Bu çalışmada demir kazanımı için kullanılan metotlara göre siklon kullanımı daha az etkili bulunmuştur.

Luan Y. ve Sun H. (2015) eksenel akışlı bir siklonda hızla basınç kayıplarının değişimi deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Eksenel girişte 8 kanat kullanılmıştır. Çözüm ve deney sonuçları uyumlu bulunmuştur. Elsayed K. (2015) çalışmasında co-kriging metodunu kullanarak minimum basınç düşümü sağlayacak siklon tasarımı için optimizasyon çalışması yapmıştır. Bu amaçla yüksek verimli stairmand siklonu kullanılmış ve sonuçta optimum siklon boyutlarının aynı giriş debisi için stairmand siklonu buyutlarına yakın olduğu bulunmuştur. Basınç kayıplarında % 22 iyileşme sağlanmıştır.

Zarrouk S. ve ark. (2015) siklonların farklı uygulama alanlarından biri jeotermal tesislerde kuru buhar elde etmek için buhardan suyu ayırmak üzere kullanılan siklonlar ve bunların tasarımı ele alınmış ve uygulamalar tartışılmıştır. Silva D.O. ve ark. (2015) hidrosiklonlar üzerine optimizasyon çalışması yapmışlardır. Bu çalışmalarında deneysel, nümerik ve optimizasyon tekniği kullanılarak çalışmışlardır. Üç farklı yöntem sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Demir S. (2014) siklonlarda silindir ve koni yükseklikleri ile gaz çıkış boru yüksekliğinin basınç kayıplarına etkisi deneysel olarak incelenmiş ve kayıp tahmini için model çalışması yapılmıştır. Mikulcic H. ve ark. (2014) çimento sanayinde kullanılan yüksek konsantrasyon ve girdaplı akışta reaksiyon ve ısı transferi de dikkate alınarak gerçek bir tesiste kullanılan siklon boyutları için nümerik çözüm yapılmıştır. Bu şekilde reaksiyon ve ısı transferi mekanizmasına etkiyen önemli parametreler belirlenmeye çalışılmıştır.

Liu F. ve ark. (2014) tek ve paralel siklon kullanımının verim ve basınç düşümüne etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Sonuçta yaygın bilinenin aksine paralel siklon kullanımının tek siklona göre verimi ve basınç kayıplarını artırdığını bulmuşlardır. Guizani R. ve ark. (2014) Fish-Hook etkisi olarak bilinen olayın nümerik yolla araştırılması üzerine yoğunlaşmış olup özellikle bubble tip girdap dağılması durumlarında oluştuğu kanaatine varmışlardır. Çözümde türbülans için RSM ve DPM modellerini kullanmışlardır.

Abdul-Wahap S. A. ve ark. (2014) matematik programlama metodunu kullanarak gübre tesisinde kullanılan siklonlarda maliyet optimizasyonu yoluyla siklonların seri ve paralel bağlantı durumu ve sayılarının tahmini üzerine çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlarla benzer tesislerde kullanım için veri oluşturulmuştur. Wu J. Ve ark. (2014) siklonlarda akışta akışın serbest vortex halinden sapmayı gösteren değerin anlaşılması üzerine nümerik çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada değerin radyal yönde ve debi ile değişmediğini, aksenel yönde değiştiği, siklon çapı ve çıkış çapının artması ile artarken dalma yüksekliğinin artması ile azaldığını bulmuşlardır.

Lee H. Ve ark. (2014) havlu ve pamuk esaslı kumaş üretiminden çıkan liflerin tutulmasında kullanılan siklonlardan tek ve paralel girişli iki siklonlu uygulamada ilave olarak ayırıcı levha uzunluğunun etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma için uygun kumaşlardan üretilen lifler kullanılmıştır. Sonuçta paralel siklon yapısının daha uygun ve verimli olduğu sonucu elde edilmiştir. Ayırıcı plaka uzunluğunun belli bir değerden daha uzun olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu yolla % 95 verimlere ulaşılmıştır.

Funk P.A. ve ark. (2014) çalışmalarında emisyon kontrolü için kullanılan siklonlarda önemli maliyet fan giderleri olup bu ise basınç kayıpları ile ilgilidir. Basınç kayıplarını azaltmak üzere geliştirilen yeni boyutlara sahip siklon ile yaygın kullanımı olan siklon değişik şartlarda deneysel olarak incelenmiş ve benzer çalışma şartlarında basınç kayıplarında % 30 azalma elde edilmiştir. Ma L. ve ark. (2014) hidrojen üretim sisteminde sıvı gaz faz ayırıcı olarak siklon kullanımında verimliliği ve sistem enerji tüketimindeki azalmayı deneysel olarak endüstriyel olarak incelemişlerdir. Enerji

maliyetinde azalma sağladığını ve sıvıların yüksek verimde ayrıştığını gözlemlemişlerdir.

Vekteris V. ve ark. (2014) akustik etki üzerinde deneysel olarak çalışmışlardır. Klasik ve akustik etkili iki siklonda vortex yapısı incelenmiş ve akustik etkide ikincil akımlar gözlenmiştir. Akustik etki ile oluş gürültü seviyesi ve ayırma verimi ölçülmüştür. Gao X. ve ark. (2014) gaz-yağ akışında yağ ayırıcı olarak kullanılan ve özellikle kompresörlerde yaygın kullanımı olan siklonlarda gaz çıkış kanalı çapı ve yüksekliğinin akış ve akış alanı üzerine etkileri nümerik olarak incelenmiştir. Gazın siklon içinde maksimum hızları belirlenmiştir.

Oh J. ve ark. (2014) kömür gazlaştırma sistemlerinde kullanılan düz akışlı siklonlarda çıkış kanalı yüksekliği ve çalışma şartlarının verim ve basınç kayıplarına etkisini incelemişler ve çıkış kanalı yüksekliği için belli bir değerinde maksimum verime ulaşmışlardır. Diğer parametrelerin etkisi sonuçları da geniş bir aralıkta verilmiştir.

Xiong Z. ve ark. (2014) tarafından aksel akışlı siklonlarda çıkış kanalı girişine değişik boyutlarda koni ilavesi ve giriş kanatçıkların eğim açısı ve yönünü değiştirerek klasik uygulamaya göre basınç düşümü ve verimde iyileşme sağlanması amaçlı optimizasyon çalışması yapılmış ve sonuçta değişik hız ve konsantrasyonlarda elde edilen verilerden, basınç kayıplarında önemli oranda ve verimde kısmen iyileşme sağlayan tasarım elde etmişlerdir.

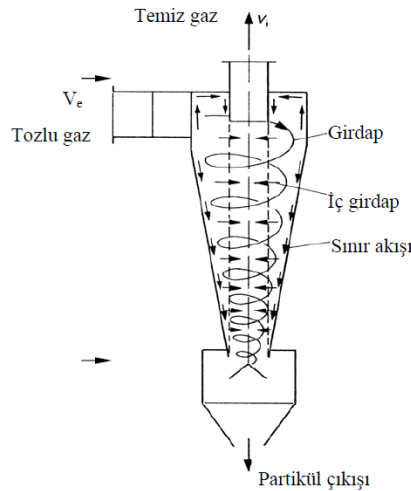
Hreiz R. ve ark. (2014) sıvı-gaz akışlı sistemlerde özellikle sıvı olarak yağın bulunduğu iki fazlı akış olan sanayi uygulamalarına yönelik olarak giriş nozulu tasarımında değişiklik yapmanın etkisi incelenmiştir. Bu amaçla üç farklı nozul kullanılmış ve akış deneysel olarak incelenmiştir. Nozul dizaynının akış yapısı ve rejimi üzerine önemli etkisi olduğu belirlenmiştir.



## 2.1. Siklonda Akış Davranışı

Basınç kaybı ve toz tutma verimliliği siklon performansını etkileyen en önemli parametrelerdir. Performansı etkileyen bu parametrelerin tayin edilebilmesi için siklondaki akış olayı iyice anlaşılmalıdır. Siklon içerisindeki hareket teğetsel, radyal ve dikey hız bileşenleri ile ifade edilebilir. Şekil 1.'den görüleceği üzere genelde teğetsel olarak giren akışkan, temiz gazların aksel olarak tahliye edildiği çıkış bacası ve siklonun gövde duvarı arasında girdap akımı oluşturur. Bu girdap akımı alta doğru toz çıkışına kadar devam eder ve koninin altında sonlanır. Girdap akımı kendi hareketini devam ettirir fakat siklonun merkezinden aksel olarak ters yönde yukarı doğru hareket eder ve sistemde tutulamayan ince partiküllü temiz gazlar siklonu çıkış bacasından terk eder. Ağır partiküller giriş akımı tarafından taşınır ve santrifüj kuvvetiyle gazlardan ayrılır. Santrifüj kuvveti partikülleri siklonun duvarlarına sürükler ve ağır tanecikleri duvara yakın hareket etmesini sağlar. Yerçekiminin yardımıyla ağır tanecikler siklonun alt kısmında toplanır.

Görüldüğü gibi siklondaki iç akış iki girdap akımından oluşur. Bunlardan biri dış girdap akımı (dış vorteks) olarak adlandırılır ve yükleyicinin altına doğru hareket eder. Diğeri iç girdap akımı (iç vorteks) olarak adlandırılır ve siklonun üst kısmında bulunan temiz gaz çıkışına doğru yukarı hareket eder. İç vorteksin dönüş yönü dış vorteksle aynı olmasına rağmen hareket yönü aşağıdan yukarıya doğrudur. Bu tip siklonların ters akışlı siklon olarak adlandırılmasının nedeni de budur.



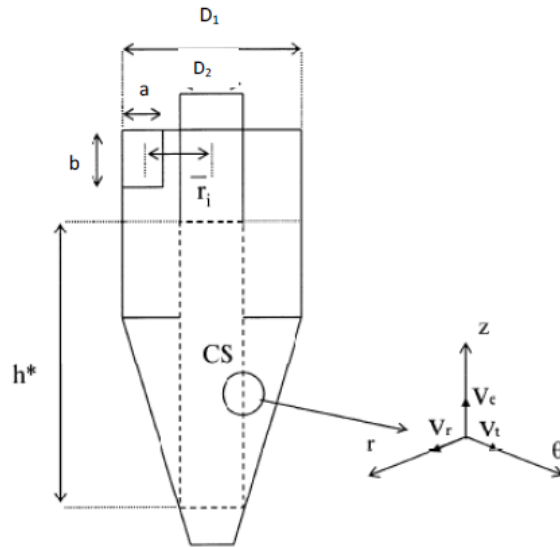
Şekil 1. Siklon içerisindeki akış davranışı

Siklonlardaki akış profili, basit bir yaklaşıma göre akış profili serbest ve zorlanmış vorteks kombinasyonu şeklindeki Rankine vorteksi şeklinde düşünülür. Radyal doğrultudaki teğetsel hız dağılımının  $v_t$ , aşağıdaki denkleme uyduğu farz edilir.

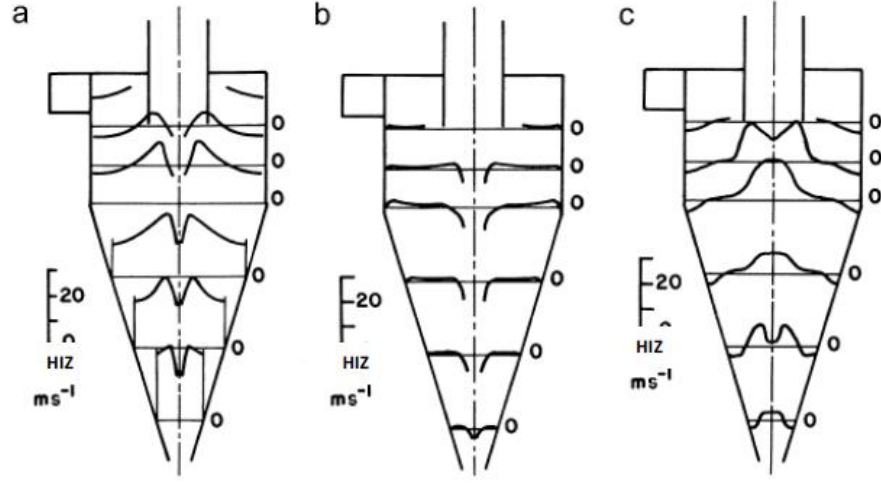
$$v_t r^n = C$$

Birçok cebirsel model 'n' in uygun korelasyonlarına dayanır, fakat bu yaklaşımda iki önemli parametre hesaba katılamaz; bunlar duvar sürtünmesi ve akıştaki katı konsantrasyonudur. Her ikisi de vorteksin gücünü doğrudan etkiler ve böylece n katsayısı onlarla birlikte değişir. Bu açıdan, akış alanı için daha ayrıntılı modeller gereklidir [ Cortes C. ve Gil A. 2007].

Diğer iki hız bileşeni de ayrı öneme sahiplerdir. Eksenel hız, siklondaki parçacıkların taşınması için yer çekimine göre daha önemlidir [Ter Linden A.J. 1949]. Basit bir sayısal modelde çift vorteks yapısı gözönüne alınır ve dış vorteks ile iç vorteks bölgeleri için radyal sabit değerler tanımlanır. Vorteks bitimindeki eksenel pozisyonda her iki bölgedeki hız değerleri sıfır olmalıdır. Çözüm için tüm akış yapısıyla alakalı bazı kabuller gerekmektedir, bu varsayımlardan biri Şekil 2.'de gösterildiği gibi çıkış borusunun konik kısmını kesen hayali silindir uzunluğudur [Cortes C. ve Gil A. 2007].



Şekil 2. Barth teorisindeki hayali silindir



**Şekil 3.** Ters akışlı siklonlarda hız bileşenlerinin ölçülmüş profilleri:

(a) teğetsel

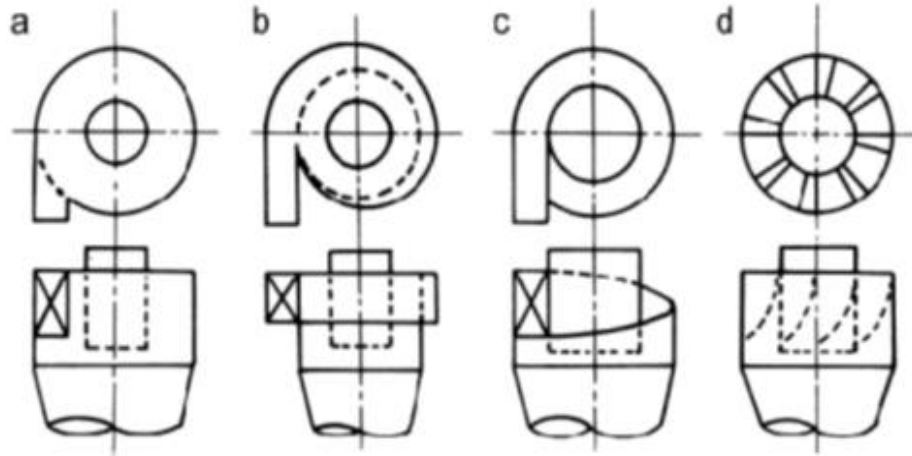
(b) radyal

(c) eksenel

Bazı toplama verimi modellerinde radyal hız çok önemlidir. Çünkü verim kayıpları ve by-pass' ı analiz ederken devamlı bir faktör olarak karşımıza çıkar. Çoğunlukla, diğer bileşenlerden daha az öneme sahip olduğu farz edilir, fakat bu dış vorteksle ilgili bir gerçektir. Radyal hız, iç kısımları özellikle çıkış borusu civarını hedefleyerek vorteksin merkezine doğru aşırı şekilde büyür [Ogawa A. 1997].

## 2.2. Siklonda basınç kayıpları

Basınç düşümünden kaynaklanan enerji sarfiyatı siklon ayırıcılar için ana işletme masrafını oluşturmaktadır. Siklon performansını etkileyen en önemli parametreler olan basınç kaybı ve toz tutma verimliliği genelde birbiriyle ters orantılı davranış sergilerler. Bu yüzden bir yandan basınç kaybının düşürülmesine yönelik çalışmalar yapılırken diğer yandan toz tutma verimliliğini artırma çalışmaları yapılmalıdır. Bu durum optimizasyon çalışmaları kapsamında tanımlanır. Bu çalışmalar kapsamında birçok farklı siklon giriş tipleri geliştirilmiştir (Şekil 4).



**Şekil 4.** Siklon giriş tipleri (a: Teğetsel, b: Dönel, c: Helisel, d: Eksenel)

Basınç kaybına katkıda bulunan faktörler Dirgo ve Leith (1985) tarafından alttaki maddeler halinde sıralanmıştır:

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

Bu faktörlerden dönme enerjisi kaybı, basınç düşmesinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Doğrultucu kanatçıklar ya da bozucular kullanılarak dıştaki gaz akışında dönme enerjisi geri kazanılmaya çalışılır. Basınç düşümünü toz toplama verimliliğine zarar vermeden % 5-10 arasında azaltırlar (Caplan 1984). Bununla birlikte, Dirgo ve Leith (1985) bu cihazların gaz akışının ağzına yakın yerlerde bulunmasının siklondaki vorteksi olumsuz yönde etkilediğini ve performansını düşürdüğünü belirtmişlerdir.

### 2.2.1. Basınç kaybı modelleri

Basınç düşmesi teorik olarak debinin karesi ile yani iç hızın karesi ile değiştiğinden alttaki ifade ile tanımlanır (Zisselmar 1984).

$$\Delta P = (p_g v_i^2 \xi_g) / (2 g p_i) \quad (2.1)$$

Burada  $\xi_g$  geometrinin etkisini ifade etmektedir.  $\xi_g$ 'ın hesabı için birçok metot Çizelge 2.1.'de gösterilmiştir. ( Cortes C. Ve Gil A. 2007 )

**Çizelge 2.1.** Siklonlarda basınç düşüşünün cebirsel modelleri

Model	Eşitlik	Açıklamalar
<b>Shepherd ve Lapple(1939)</b>	$\xi_g = \frac{16 ab}{D_2^2}$	Teğetsel giriş (2.2)

$$\text{Alexander(1949)} \quad \xi_g = 4,62 \left( \frac{ab}{D_1 D_2} \right) \left[ \left( \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{2\pi} - 1 \right) \left( \frac{1-n}{n} \right) + f_g \frac{D_1^{2n}}{D_2} \right] \quad (2.3)$$

$$f_g = 0,8 \left[ \frac{n}{n(1-n)} \left( \frac{4-2^{2n}}{3} \right) - \left( \frac{1-n}{n} \right) \right] + 0,2 \left[ (2^{2n} - 1) \left( \frac{1-n}{n} \right) + 1,5(2^{2n}) \right] \quad (2.4)$$

$$n = 1 - (0,67 D_1^{0,14}) \left( \frac{T}{283} \right)^{0,8} \quad (2.5)$$

$$\text{Barth (1956)} \quad \xi (\lambda = \lambda_g) = \left( \frac{ab}{\pi D_2^2} \right)^2 (\xi_b + \xi_e) \quad (2.6)$$

Siklon gövdesindeki kayıp ;

$$\xi_b = \frac{D_2}{D_1} \left( \frac{1}{\left( \frac{Vze}{Vte} - \left( \frac{L-s}{0,5 D_2} \right) \lambda \right)^2} \right) - \frac{Vte^2}{Vze} \quad 3,41 < K < 4,4 \quad (2.7)$$

Dalma borusundaki kayıp ;

$$\xi_e = K \left( \frac{Vte^{4/3}}{Vze} \right) + \left( \frac{Vte}{Vze} \right)^2 \quad (2.8)$$

Model	Eşitlik	Açıklamalar
-------	---------	-------------

**Muschelknautz ve**

**Kambrock (1970)**  $\xi (\lambda=\lambda_g) = \left( \frac{ab}{\pi D^2} (\xi_b + \xi_e) \right)$  Teğetsel ve döner giriş (2.9)

$\xi_b = \lambda \frac{A_s \rho g}{0,9V} \frac{\rho g}{2} (V_{tw} V_{te})^{1,5}$  Barth model akış alanı (2.10)

$\xi_b = 2 + 3 \left( \frac{V_{te}^{4/3}}{V_{ze}} \right) + \left( \frac{V_{te}}{V_{ze}} \right)^2$  Ortam P,T şartları (2.11)

**Casal ve diğ. (1989)**  $\xi_g = 11,3 \left( \frac{ab}{D^2} \right)^2 + 2,33$  Altı korelasyonun kıyaslanm. (2.12)

Böylelikle, bu formüllerin yardımıyla iç hızın ve siklon boyutlarının bilinmesi durumunda siklondaki basınç düşümü hesaplanabilir. Ancak bu hesaplar kaba tahmin olup, deneysel çalışmalar ile ilk dizayn optimize edilmelidir. Buradaki en kompleks formülasyon Barth'ın denklemdir. Eşitlik 7, teorik olarak siklon gövdesindeki kayıpları ifade eder. Eşitlik 8. ise tamamen deneysel olan dalma borusundaki kayıpları ifade eder.

Siklonda basınç düşüşü; siklon geometrisine, yüzey pürüzlülüğüne, gaz sıcaklığı, giriş hızı ve katı yüklemesi gibi parametrelere bağlıdır. Avcı ve Karagöz (2005) yaklaşımına göre siklon içindeki akışı spiral akış borusu olarak incelersek, dış vorteksin girişindeki l uzunluğundan türetilen akış borusu diferansiyel elemanı dl deki sürtünmeye bağlı basınç düşüşü;

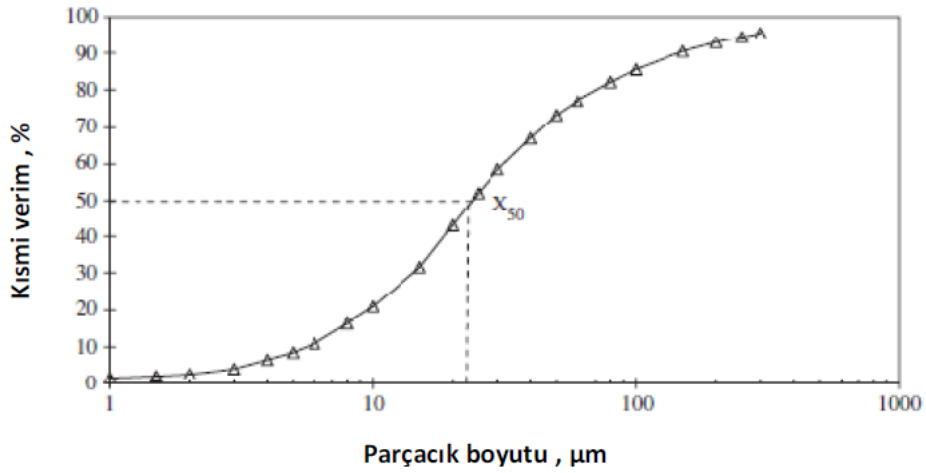
$$dp = \rho \frac{f}{D_{hl}} \frac{V^2}{2} dl \quad (2.13)$$

Burada f,  $D_{hl}$  ve V sırasıyla sürtünme katsayısı, hidrolik çap ve bu elemandaki akış hızıdır. Başlangıçta a x b olan bu akış borusunun kesit alanı, akış yoluyla deformasyona uğrar. Bu yüzden, f,  $D_{hl}$  ve V nin hepsi l uzunluğunun fonksiyonlarıdır.

## 2.3. Siklonda Toplama Verimi

### 2.3.1. Kesirsel verimlilik ve toplama verimliliği

Siklonun toplama verimliliği “ $\eta$ ”, siklona verilen her boyuttaki partiküllerin tutulan kesirleri cinsinden ifade edilir. “ $\eta$ ” partikül boyutuna göre çizilerek, kesirsel (fraksiyonel) verimlilik eğrisi elde edilmiş olur. Şekil 5.’te örnek bir çizim verilmiştir.



Şekil 5. Siklonun tipik kesirsel verim eğrisi

Kesirsel (fraksiyonel) verimlilik eğrisi belirli bir boyuttaki partiküllerin verimini belirtse de, tek başına toplam verim için bir tahminde bulunulmasına yeterli olmaz. Pratik uygulamalarda, partiküllerin boyut dağılımına sahip olduğu toplam verimlilik öncelikle ilgilenilen husustur. Toplam verimlilik kesirsel verimlilik eğrisi ile kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$\dot{\eta} = \sum_{i=1}^n \eta_i \Delta d_i \quad (2.14)$$

Burada toz n boyut aralığına bölünmüş olup  $\Delta d_i$ ' inci aralıktaki toz partiküllerinin kesrini göstermektedir.

Varolan siklon teorileri herhangi bir siklon dizaynı ve herhangi boyuttaki bir partikül için ayırma verimliliğinin direkt olarak hesaplanmasını mümkün kılmaktadır. Bu nedenle; siklon ayırıcı imali için projenin dizayn adımı kesirsel eğrinin tamamı hesaplanabilir. Genel olarak ters akışlı siklonların 5 µm ‘den küçük parçacıklar için düşük ayırma verimliliğine sahip olduğu bilinmektedir. Siklonların verimlilik dağılımı Tablo 1.’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Siklonların verimlilik dağılımı

Partikül Boyut Aralığı (µm)	Verimlilik aralığı	
	Konvansiyonel	Yüksek Verimli
5’den küçük	50’den az	50–80
5–20	50–80	80–95
15–40	80–95	95–99
40’den büyük	95–99	95–99

Yüksek verimli siklonların tasarım amacı yüksek toplama verimliliği elde etmektir. Ancak ortaya çıkan yüksek basınç kayıpları maliyetleri oldukça yükseltmektedir. Bu yüzden siklon optimizasyonu çok önem kazanmaktadır. Yapılan çalışmaların çokluğu da bundan kaynaklanmaktadır.

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

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



## 2.3.2. Toplama verim modelleri

### 2.3.2.a Basitleştirilmiş Analitik Model

Şekil 1’de temsili karakteristik bölümleri verilen siklona giren tozlu hava teğetsel giriş nedeniyle spiral bir yol izleyerek cidarlara yakın bir girdap oluşturup (dış girdap) koni ucuna doğru inmekte ve yön değiştirerek iç girdap oluşturarak çıkış borusuna doğru akmaktadır. Bu akışı, izlediği spiral yol boyunca tek boyutlu ve sürekli rejimde kabul ederek aşağıda verilen yaklaşımlar altında siklonun partikül tutma verimi ve siklondaki basınç kayıplarını bulmak üzere bağıntılar elde edilebilir. Parçacığın akışkan içinde bulunma süresi cidara ulaşma zamanına eşitse % 50 verimlilikle toplandığı anlamına gelir, ve böylelikle parçacığın boyutu  $d_{50}$ ’dir.

Siklona giren akışkan içindeki partikül konsantrasyonu  $C_0$  ortalama hız ise  $V_0$  dir. Siklona giren akışkanın bu şekilde oluşturduğu iç içe iki girdabın yapısı ve boyu giriş ve siklon geometrisinden etkilenmektedir. Siklon gövdesi silindirik veya eliptik olabileceğinden eşdeğer siklon çapı olarak tanımlanan çap,  $D_{10}$ ,

$$\frac{2}{D_{10}} = \frac{1}{D_{01}} + \frac{1}{D_{02}} \quad (2.15)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada  $D_{01}$  ve  $D_{02}$  elipse ait çaplardır. Silindirik halde bu çaplar sadece  $D_1$ ’dir. Siklonun gövde çapı konik kısım nedeniyle değiştiği için ortalama siklon çapı  $D_L$ , eşdeğer siklon çapı ve konik ucun çapı,  $D_3$  ‘e bağlı olarak ;

$$D_L = D_d \sqrt{D_{10} D_3} \quad (2.16)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada  $D_d$  yüksekliği  $L_0$  ve yüzeyi siklonun sürtünme yüzeyine eşit olan siklon çapının  $D_{10}$ , ‘a oranı olarak tanımlanmış olup

$$D_d = \frac{c}{L_0} + 0.5 \left(1 + \frac{D_3}{D_1}\right) \sqrt{0.25 \left(1 - \frac{D_3}{D_1}\right)^2 \left(\frac{D_1}{L_0}\right)^2 + \left(1 - \frac{c}{L_0}\right)^2} \quad (2.17)$$

şeklinde hesaplanabilir.

Öte yandan giriş kesitinin yüksekliği  $b$  ve genişliği  $a_0$  'dır. Giriş geometrisine ve çıkış borusu dalma yüksekliğine bağlı olarak giren akışkanın oluşturduğu akım tüpünün yüksekliği değişecektir. Buna göre boyutsuz giriş genişliği aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$a_d = \left[ 1 + 0.5 \left( \frac{1.25}{D_d} \beta \sqrt[3]{\frac{b}{h}} - 1 \right) \right] \quad (2.18)$$

Burada  $\beta = 2a_0 / (D_{10} - D_2)$ , (Avcı ve Karagoz, 2000).

İvmelenme esnasında akışkanın genişliği  $a$  değişmektedir. Bu değişim Avcı and Karagoz (2001) tarafından

$$a = a_0 \left[ 1 + \left( \frac{0.1D_3 - a_0}{a_0 L_0} \right) L \right] \quad (2.19)$$

şeklinde modellenmiştir. Burada  $L$  vorteks boyunca alınan yoldur.

Akış esnasında sürtünmelere giden enerjinin akışkandan çekildiği ve akışkanın kinetik enerjisini azalttığı kabul edilirse, akış içinde alınacak bir diferansiyel eleman için,

$$-\frac{V^2}{2} dm = \dot{m} \frac{f_0 V^2}{2a} dL \quad (2.20)$$

yazılabilir. Burada  $f_0$  ortalama sürtünme katsayısı olup Reynolds sayısı için

$$\text{Re}_0 = \frac{V_0 a_0 a_d}{\nu} \quad (2.21)$$

bağıntısı kullanılabilir (Avcı ve Karagoz, 2003). Eşitlik 6. girişten koni ucuna kadar integre edilirse ve koni ucunda;

$V = V_3$  ,  $Q = Q_3$  ,  $a = 0.1D_3$  and  $L = L_{vs}$  , alınırsa debiler oranı

$$\frac{Q_3}{Q_0} = \left[ 0.1 \frac{D_3}{a_0} \right]^{\left( \frac{f_0 L_{vs}}{a_0 - 0.1D_3} \right)} \quad (2.22)$$

elde edilir. Süreklilik denkleminde,

$$V_3 = \left(\frac{Q_3}{Q_0}\right) \left(10 V_0 \frac{a_0}{D_3}\right) \quad (2.23)$$

yazılır ve yukarıdaki denklemde kullanılırsa;

$$\ln\left(\frac{Re_3}{Re_0}\right) = \left(\frac{f_0 L_{vs}}{a_0 - 0.1D_3}\right) \ln\left(\frac{0.1D_3}{a_0}\right) \quad (2.24)$$

elde edilir. Çıkış borusu sürtünme yüzeylerini göz önüne almak üzere boyutsuz bir parametre olarak,

$$D_s = D_d + \frac{D_2}{D_{10}} \frac{h}{L_0} \quad (2.25)$$

yazılabilir. Ayrıca girdap dönme sayısı  $n$  olmak üzere vorteks uzunluğu

$$L_{vs} = \pi D_{10} D_d^2 n \quad (2.26)$$

yazılabilir. Siklondaki spiral akış içindeki partiküllere bir takım kuvvetler etkimektedir. Teğetsel hız ( $V_t$ ) radial hız bileşeni ( $V_r$ ) ve direnç katsayısı ( $C_D$ ) olmak üzere kuvvetlerin dengesinden (Avcı ve Karagoz, 2000)

$$m_p \frac{V^2}{r} = C_D A_p \rho \frac{V_r^2}{2} + m \frac{V^2}{r} \quad (2.27)$$

yazılabilir. Burada  $m_p$  partikül kütesidir. Akışkanın girişten koni ucuna kadar ortalama ivmesi

$$B_n = \frac{V_3^2 - V_0^2}{2L_{vs}} \quad (2.28)$$

ve akıştan ayrılıp santrifüj kuvvetler etkisinde cidara ulaşan partikül kütleli debisi, kütleli korunumu denkleminde

$$-\frac{dm}{\dot{m}} = \frac{V_r}{a} dt \quad (2.29)$$

yazılıp yukarda kullanılırsa

$$-\frac{dm}{\dot{m}} = \left( \frac{4d}{3rC_D} \left( \frac{\rho_p}{\rho} - 1 \right) \right)^{0.5} \frac{V dV}{a B_n} \quad (2.30)$$

elde edilir. Buna göre partikül toplama verimi,

$$\eta = 1 - \frac{\dot{m}_0}{\dot{m}_e} = 1 - \frac{C_0}{C_e} \quad (2.31)$$

şeklinde tanımlanır ve yukarda kullanılırsa, integrasyon sonucu

$$\eta = 1 - \exp \left( - \left[ \frac{4d}{3r_{0r} C_D} \left( \frac{\rho_p}{\rho} - 1 \right) \right]^{0.5} \frac{L_{vs}}{a_{0r}} \right) \quad (2.32)$$

denklemini elde edilir. Burada,

$r_{0r} = D_L/2$  ve ortalama akış genişliği  $a_{0r} = a_d D_s a_0$  şeklinde kabul edilir.

Burada direç katsayısının hesabı önemlidir. Küresel partiküller için  $C_D = 0.44$  değeri  $1000 < Re_r < 300000$  aralığında;  $C_D = 0.1$   $Re_r > 300000$  için kullanılabilir. Bununla beraber partikül Reynolds sayısı genel olarak 1000'den küçüktür ve aşağıdaki bağıntı kullanılabilir:

$$C_D = \frac{24}{Re_r} \left( 1 + 0.15 Re_r^{0.687} \right) \quad (2.33)$$

Akış içinde girişten  $l$  kadar uzakta alınacak  $dl$  uzunluğundaki diferansiyel elemanda oluşacak basınç düşümü :

$$dp = \rho \frac{f}{D_h} \frac{V^2}{2} dl \quad (2.34)$$

olup burada  $(f)$  sürtünme katsayısı,  $(D_h)$  hidrolik çap ve  $(V)$  akış hızıdır ve bunlar en genel halde  $l$ 'nin fonksiyonudur. Burada  $D_h = a$  ve sabit kabul edilebileceğinden (Karagoz ve Avcı, 2005)

$\alpha = (a_3 - a_0)/a_0$  ve  $l_n = l / L_v$ , kısaltmalarıyla

$$dp = \rho R_0 \frac{a_0}{a} \frac{V^2}{2} dl_n \quad (2.35)$$

olur. Burada  $R_0 = f_0 L_v / a_0$  dir.

Debi ifadesinde giriş debisi,  $Q_0 = a_0 b V_0$  ve

$Q = a b V$  olduğundan, basınç kaybı ;

$$dp = \rho R_0 \frac{V_0^2}{2} (1 + \alpha l_n)^{-(3+2R_0/\alpha)} dl_n \quad (2.36)$$

yazılabilir. Bu ifadenin vorteks yolu boyunca integre edilmesinden girişten siklon ucuna kadar basınç kaybı

$$\begin{aligned} \Delta p &= \rho R_0 \frac{V_0^2}{2} \int_{l_n=0}^1 (1 + \alpha l_n)^{-(3+2R_0/\alpha)} dl_n \\ &= \rho R_0 \frac{V_0^2}{2} \left( \frac{1 - (1 + \alpha)^{-2(1+R_0/\alpha)}}{2\alpha + 2R_0} \right) \end{aligned} \quad (2.37)$$

olarak elde edilir. Koni ucundan çıkışa kadar da aynı miktarda basınç kaybı olduğu kabul edilirse basınç kayıp katsayısı

$$K = \frac{2\Delta p}{0.5\rho V_0^2} = R_0 \left( \frac{1 - (1 + \alpha)^{-2(1+R_0/\alpha)}}{\alpha + R_0} \right) \quad (2.38)$$

şeklinde elde edilir.

Basit ve pratik hesaplamalarda kullanılabilir bu modellerin literatürdeki mevcut deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğu görülmüş ve bu sonuçlar saygın SCI dergilerde yayınlanmıştır. Ancak bu bağıntıların, literatürde olmayan durumlar ve çalışma şartları

için test edilmesi ve gerekirse geliştirilmesi için daha geniş aralıkta deneylere ihtiyaç vardır.

### 2.3.2.b. Toplama verimi için diğer modeller

Basınç düşüşüyle birlikte, siklon verimliliği ilk kez seyreltilmiş akışta modellenmiş, daha sonra yüksek toz yoğunluğu için düzeltilmiştir ve ‘katı yükleme etkileri’ şeklinde adlandırılmıştır. İlk sınıf modellerde, ideal parçacık hızı ve kuvvetlerine göre teorik bir yapı kurmak geleneksel olmuştur. Türbülans dalgalanmaları, dağılımı ve vorteks yapılarındaki doğal değişkenliğin sebep olduğu kaos sebebiyle bu yapıdan vazgeçilmiştir. Buna rağmen, bazı modeller şaşırtıcı biçimde başarılıdır.

En popüler varsayımlar: (1) yerçekimsel alan, santrifüj kuvvetlerle karşılaştırılmasında ihmal edilebilir, (2) gaz yoğunluğu parçacık yoğunluğu yanında ihmal edilebilir, (3) parçacıklar küreseldir, boyutları küçüktür ve bağıl hız Stokes kuralını uygulamak için yeterli ölçüde küçüktür. [ Cortes C. Ve Gil A. 2007 ]

Verilen parçacığın toplanıp toplanmadığına karar vermek için bazı kavramlar (basitleştirilmiş olan) uygulanmalıdır. Hesaplanan parametre genellikle  $d_{50}$  dir; Parçacığın siklon içindeki akışkan içinde bulunma süresi cidara ulaşma zamanına eşitse %50 verimlilikle toplandığı anlamına gelir ve böylelikle parçacığın boyutu  $d_{50}$  dir. Eğrinin diğer kısmı, genellikle ampirik olarak düzeltilir. Örneğin, çok kullanılan bir eğri formu bu şekildedir ;

$$\eta_i = \frac{1}{1 + (d_{50}/d_i)^m} \quad (2.39)$$

Burada farklı boyutlar  $d_i$  ve kısmi verim  $\eta_i$  dir. m üssü eğrinin eğimidir. Cebirsel verim modelleri her iki sınıfa da uygundur. Prensip olarak, girişte Eşitlik (2.39) u integre etmek ve parçacığın cidara ulaşması için yeterli zaman olup olmadığını görmek için bir

fikir oluşturulabilir. Bunu tam olarak yapacak bir model ‘uçuş-zamanı’ (time of flight) diye adlandırılır. Başarılı çalışmalardan biri, ilk defa Barth tarafından yayınlanmıştır. (Cortes ve Gil 2007 )

#### **Lapple (1950) :**

Bu model, uçuş zamanı fikirlerinin en basiti olan çökelme odasında boyut belirleme metoduna benzerdir. İlk radyal pozisyon toz girişinin orta noktasıdır ( $b/2$ ), giriş kesitindeki parçacık dağılımının homojen olduğu kabul edilir ve sabit bir teğetsel hız kullanılır. Bütün bu formülasyon, verilen boyuttaki bir parçacığın cidara ulaşma zamanını hesaplamaya yarar. Parçacığın akışkan içinde bulunma süresi cidara ulaşma zamanı eşitse %50 verimlilikle toplandığı anlamına gelir ve böylelikle parçacığın boyutu  $d_{50}$  dir.

#### **Barth (1956) :**

Barth kavramı göreceli bir şekilde ortaya koyar; kontrol yüzeyinde radyal kuvvetler eşitliği etkisi altındaki bir parçacık, uygun şartlar olduğu sürece cidara ulaşma zamanının yarısında toplanır. Barth kontrol yüzeyinde kendi teğetsel hız formülasyonunu kullanmıştır. Bu metodu önemli bir parametre olan vorteks giriş çapına göre tanımlanmıştır; geometrik özellik siklon verimliliğini çok etkiler. Tam tersi, Lapple modelinde olduğu gibi genellikle uçuş-zamanı modellerinde sadece giriş hızı kullanılır; dolayısıyla bu önemli kapasiteden yoksunlardır.

#### **Leith ve Licht (1972) :**

Bu model, verim oranı eğrisinin tamamını hesaplamaya izin veren uçuş-zamanı modelinin üzerinde durulmuş halidir. Buna göre, araştırmacılar tek parçacıklar yerine sürekli bir toz akışı üzerinde çalışmışlardır. Diğer önemli kabuller ihmal edilebilir

radyal gaz hızı ve çap boyunca sabit parçacık konsantrasyonudur. Verimden ziyade  $d_{50}$  çap hesabı yaygındır. Bu üç modelin bağıntıları aşağıdaki gibidir ;

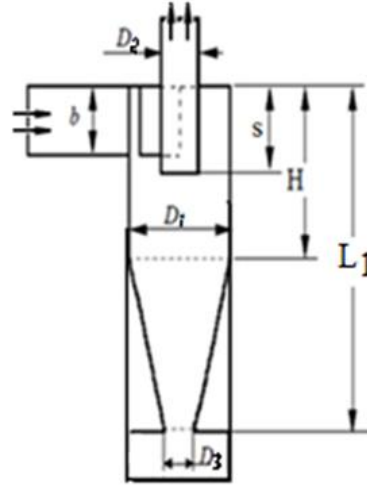
**Çizelge 2. 2.** Siklonlarda toplama veriminin cebirsel modelleri

Model	Eşitlik
Lapple (1950)	$d_{50} = \sqrt{\frac{9\mu_g b}{N_c 2\pi\rho_s v_i}} \quad N_{c = \frac{H+(L-H)/2}{b}} \quad (2.40)$
Barth (1956)	$d_{50} = \sqrt{\frac{9\mu_g D_2 v_{re}}{v_{tw}^2 \rho_s}} \quad (2.41)$
Leith ve Licht (1972) ,	$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{\rho_s}{9\mu_g} \left(\frac{2xv_i}{D_1}\right)^2 t_{res}\right] \quad (2.42)$
Clift ve diğ. tarafından düzeltilmiştir.	$t_{res} = \frac{V}{V'} \quad (2.43)$
Sürmen ve ark. (2010)	$d_{50} = 0,791 \left(\frac{\rho v}{(\rho_p - \rho) C_{CU}}\right)^{0,5} \left(\frac{\sqrt{D_1 D_3 a}}{V_0 L_{vs}}\right)^{0,5} \left(\frac{10a}{D_3}\right)^{cs} D_d a_d D_s \quad (2.44)$
	$D_d = \frac{H}{L} + \frac{D_1 + D_3}{2D_1} \sqrt{\left(\frac{(D_1 - D_3)}{L}\right)^2 / 4 + \left(1 - \frac{H}{L}\right)^2} \quad (2.45)$
	$D_s = D_d + 2 \frac{sD_2 + D_3^2}{D_1 \cdot L} \quad (2.46)$
	$a_d = 0,5 + \frac{a \cdot b}{(sD_d)(D_1 - D_2)} \quad (2.47)$
	$L_{vs} = 1,5 a_d D_s L / D_d \quad (2.48)$
	$cs = 0,5 \left(\frac{f_0 L_{vs}}{a - 0,1 D_3}\right) \quad (2.49)$



## 2.4. Siklon Boyunun Etkisi

Siklon uzunluğunun etkisini inceleyen çalışmalar, doğal girdap uzunluğunun tahminine ve siklon boyunun performansa etkisine yönelik çalışmalar olarak düşünülebilir. Bu çalışmalar neticesinde siklon uzunluğunun sınırlı olması gerektiği ve uzunluğun siklon performansını olumlu yönde etkilediği sonucuna ulaşılabılır. Ancak Zhu ve Lee (1999) tarafından boyu değiştirilen ve diğer boyutları yüksek verimli Stairmand siklonu ile benzer olan siklonlarda yapılan deneysel çalışma sonuçlarına göre doğal girdap sınırları içinde kalmakla birlikte verimin en yüksek olduğu bir optimum uzunluğun bulunduğu anlaşılmaktadır. Diğer bir deneysel çalışmada Hoffmann ve ark. (2001) tarafından yapılmış ve benzer sonuçlar gözlenmiştir. Tam açık görünmese de benzer eğilimi başka çalışmalarda da görmek mümkündür (Avcı ve Erel 2003).



Şekil 6. Siklonda karakteristik boyutlar

Yapılan araştırmalarda siklonun fiziksel parametreleri üzerinde çok sayıda çalışma halen devam etmektedir. Mevcut deneysel sistemlerde yapılan çalışmalarla, genelleştirilebilir sonuçlar elde edebilmek için bilim adamları sabit parametreler üzerinde diğer parametreleri incelemektedirler. Özellikle siklon boyunun etkisinde teorik yaklaşımların yanı sıra deneysel çalışmalar da önem kazanmıştır.

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre siklon boyunun sürekli artmasının verimde devamlı artış göstermeyeceği ve bir noktadan sonra azalacağı düşünülmektedir. Bu teorininin kanıtlanabilmesi için teorik ve deneysel çalışmaların uyum içerisinde yapılması çok önemlidir.

Teorik modellerde ihmal edilen parametreler deneysel sistemde önemli farklılıklara yol açmaktadır, bu da siklon boyunun etkisinin tam olarak görülememesi anlamına gelir. Bu yüzden yapılan deneysel çalışmalarda deney ortamı çok iyi hazırlanmalıdır, çevresel faktörler yeterince hassas bir şekilde tayin edilip hesaplamalar çok hassas şekilde yapılmalıdır.

#### **2.4.1. Siklonlarda doğal vorteks uzunluğu**

Siklonlarda oluşan girdabın akışkan debisi, konsantrasyon, yüzey pürüzlülüğü, nem, sıcaklık gibi parametrelere bağlı olarak belirli bir uzunluğa kadar ilerleyebileceği genel olarak bilinmektedir. Bu uzunluk doğal girdap boyu olarak tanımlanmaktadır. Siklon boyunun bu uzunluktan daha uzun olmasının siklon performansı açısından olumlu bir etkisi olmayacaktır. Buna karşılık bu girdap uzunluğunun belirlenmesi türbülanslı akış olması ve girdap boyuna bir çok parametre etki etmesi ve bu parametrelerin sürekli değişmesi sebebiyle kolay değildir. Bu alanda yapılan çalışmalarda genelde geometrik parametreler ön plana çıkmaktadır. Doğal girdap uzunluğu için yapılan ilk çalışmalardan biri Alexander (1949) tarafından yapılan çalışmadır. Bu çalışma sonucuna göre girdap uzunluğu;

$$L_v = 2,3D_2 \left( \frac{D_1^2}{A_g} \right)^{0,333} \quad (2.50)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada girdap uzunluğu  $L_v$ , giriş kesit alanı  $A_g$ , çıkış borusu kesit alanı  $A_2$  ve diğerleri şekilde verildiği gibidir. Sonuçta siklon boyunu belirleyici faktör olarak giriş, çıkış kesitleri ve siklon çapı belirleyici görünmektedir. Bu sonuç tahminlerinin yeterli olmadığı birçok araştırmacı tarafından gözlenmiş ve yeni araştırmalar yapılmıştır. Bu kapsamda Bryant ve diğ. (1983) tarafından;

$$L_v = 2,0D_1 \left(\frac{A_g}{A_2}\right)^{0,5} \quad (2.51)$$

bağıntısı önerilmiştir. Bu bağıntıda da yine benzer geometrik parametreler ön plana çıkmış görünmektedir. Diğer bir çalışmada Ji ve ark. (1991) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucuna göre girdap uzunluğu;

$$L_v = 2,2D_1 \left(\frac{A_g}{A_1}\right)^{0,36} \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{2,25} \quad (2.52)$$

şeklinde hesaplanabilir. Sürmen ve arkadaşlarının çalışmasına göre maksimum verim veren siklon uzunluğu ifadesi tanımlanmıştır;

$$L_{max} = \frac{(a-0,1D_3)\left(1+\frac{2\alpha D_1}{L_{max}D_s}\right)}{1,5a_d f_0 \ln\left(\frac{10a}{D_3}\right)} \quad (2.53)$$

$$\alpha = \frac{(D_2 s + D_3^2)}{D_1^2} \quad (2.54)$$

Burada  $L_{max}/D_1$  ifadesi boyutsuz parametrelerin fonksiyonu olarak hesaplanırsa;

$A = (a - 0,1D_3) / (3D_1 a_d f_0 \ln(10a / D_3))$  ve  $B = 2\alpha / D_d$  hesaplanır. Daha önce yapılan model hesaplamalarında  $L_{max}/D_1$ ,  $2A+B/2$  civarında olduğuna göre;

$$\frac{L_{max}}{D_1} = \frac{2(a-0,1D_3)}{3D_1 a_d f_0 \ln(10a/D_3)} + \frac{\alpha}{D_d} \quad (2.55)$$

ifadesi elde edilir. Bütün yaklaşımlarda aynı parametrelerin farklı şiddette ve farklı yönlerde etki ettiği görülmektedir. Bu durum çalışma şartlarından, kullanılan geometrilerden ve geometri aralığından kaynaklanan bir durum olup her birinin olumlu sonuç verebildiği şartlar olabilecektir.

Siklonlarda toplam verim veya kritik çap genel kanaat olarak siklon boyunun uzaması ile artmakta ve basınç kayıpları azalmaktadır. Bununla birlikte Alexander (1949) ve Zhu ve Lee (1999) gibi bazı araştırmacılar tarafından yapılan deneysel çalışmalardan durumun böyle olmadığı, siklonlarda verimin siklon uzunluğu ile artışının sınırlı

olabileceği anlaşılmaktadır. Siklonlarda verim azalışı doğal girdap uzunluğundan daha uzun boydaki siklon olmasından kaynaklanabileceği gibi siklon boyunca ortalama hızın azalmasından da kaynaklanabilir.

Siklonlarda doğal girdap uzunluğunun etkisi siklondaki ortalama hızın azalmasından sonra olması durumu daha öncelikli ve önemli olabilir. Sonuçta siklonların doğal girdap uzunluğundan daha kısa yapılması gerekir. Bu durumda öncelik verimin yüksek olduğu uzunluğun veya aralığın belirlenmesi şeklinde ortaya çıkar. Ancak bu durumda basınç kayıpları yüksek olabilir. Böyle bir sonuç ortaya çıktığında verim ve basınç kayıplarının optimizasyonu üzerinde çalışma yapmak gerekir (Avcı ve Erel 2003).

## 2.5. Siklon Optimizasyonu

Siklon tasarımında siklon boyutlarını karakterize eden önemli parametre siklon çapı ( $D_1$ )' dir. Siklondaki tüm boyutlar ile bu değer arasında belirli oranlar oluşturulmuştur. Bu nedenle gerekli siklon çapı belirlendiği takdirde diğer boyutlar, seçilen siklon tipi için kolaylıkla hesaplanabilecektir (Elcuman 1993).

Siklon dizaynında birden fazla parametre etkili olmaktadır. Bunlar ;

- ✓ Toz boyut dağılımı, partikül yoğunluğu, partikül şekli gibi fiziksel ve kimyasal özellikler
- ✓ Gaz akımının sıcaklığı, basıncı, yoğunluğu, nemi
- ✓ Toz konsantrasyonu, müsaade edilebilir basınç kaybı, gaz akımı gibi süreç değişkenleri
- ✓ Sıcaklık, basınç, siklon malzemesi ve alan gibi yapısal sınırlandırmalar siklon dizaynında göz önüne alınması gereken parametrelerdir.

Siklonlardaki tutma verimi sıcaklık ve basınç ile değişmektedir. Bu parametrelerin artırılması özellikle  $10 \mu\text{m}$ ' den küçük partiküllerin tutma verimini etkilemektedir. Basınç arttıkça tutma verimi artarken, sıcaklığın artması ile verim azalmaktadır.

Sıcaklığın artması, viskozite ve yoğunluğun azalması dolayısıyla sürüklenme kuvvetini etkilediğinden dolayı verim düşer.

Siklon verimi üzerine etki eden parametrelerin araştırılması amacı ile yapılan bazı çalışmalarda giriş hızı ve vorteks incelenmiştir. Giriş hızının artırılması ile verimin arttığı görülmüş ve vorteks uzunluğundaki değişimin, verimi çok düşük oranda etkilediği fakat vorteks çapı değişiminin verime önemli etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Siklon dizaynında performansı arttırmak için sınır şartları düzeltilmiş, vanalar ya da sabit pervaneler vasıtasıyla harici enjeksiyon kullanılmış, vorteks oluşturucu ve ek döndürücü sistemler kullanılmış ayrıca birçok ufak siklon bir araya getirilerek multisiklon denilen bir ünite oluşturulmuştur.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmalarda, klasik siklonlardan farklı olarak tasarlanan siklonda konik kısım bulunmamaktadır. Konik kısım çıkarılarak, yerine siklon gövdesinden daha büyük çaplı silindirik bir gövde konulmuştur (Şekil 7). Bu yeni tasarımda amaç, konik kısmı kaldırarak sürtünme etkisinin azaltılması ve havanın girdap şeklindeki akışıyla oluşan doğal konikliğin serbestçe yayılmasını sağlayarak havanın yavaşlatılması ve bu sayede hava içerisindeki parçacıkların serbest düşme yapmasını sağlayarak siklonun toplama verimini arttırmaktır.

Yeni tasarımlı siklona hava beslemesi iki farklı sistemle gerçekleştirilmektedir:

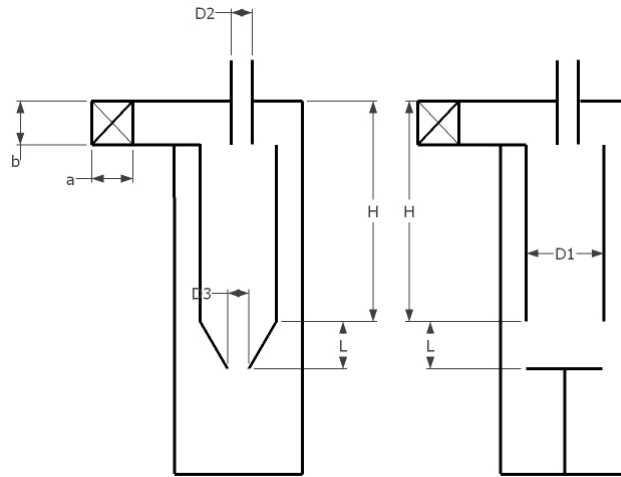
- a) Pozitif basınçlı sistem
- b) Negatif basınçlı sistem

Deneysel sonuçlar, bu iki sistemdeki başlıklara göre ayrı ayrı incelenmiştir. İlk gerçekleştirilen deneyler tozsuz şekilde basınç kayıplarını ve doğal vorteks uzunluk deneylerini içermektedir. Bu yüzden toz besleme sisteminin önemli olmadığı bu durum için pozitif basınçlı sistem tercih edilmiştir. Ancak verim deneylerine geçildiğinde negatif basınçlı sistemin avantajı kullanılarak deneyler yapılmıştır. Böylece toz besleme sırasında, kompresörden gelen besleme havasındaki dalgalanmaların önüne geçilmiş ve daha yüksek güçteki blower kullanılarak ortam havası ile toz besleme için gerekli hava debisinin aynı cihaz tarafından emilmesi sağlanmıştır. Böylece yürütülen deneylerde daha yüksek akış hızlarında deneyler yapma imkanları sağlanmıştır.

Fan veya blower kullanılarak oluşturulan tozlu veya tozsuz hava, siklona teğetsel olarak giriş yapmakta ve siklonu aksenal yönde ters olarak merkezden terketmektedir. Teğetsel giriş sonucu, dış girdap oluşmakta ve belirli uzunluktan sonra iç girdap olarak çıkış bacasından sistemi terketmektedir. Bu esnada havada yoğun olarak bulunan toz partikülleri, santrifüj kuvvetler yardımıyla savrulurken dış vorteksten ayrılmakta ve cidara yakın bölgede yerçekimi kuvveti etkisiyle toz kutusunda doğru hareket ederek orada toplanmaktadır. Siklonda girdaptan ayrılamayan tozlar ise iç girdaba yeniden karışarak çıkış bacasından siklonu terketmektedir. Toz kutusunun dişli yapıda olup

sökülebilmesi ile sistemde toplanan tozun tartılması mümkün olabilmektedir. Siklona verilen akışkan miktarı bir vana yardımıyla kontrol edilmektedir. Hava debisi, hat üzerindeki bir ventürimetre yardımıyla ölçülmektedir. Ventürimetredeki basınç farkı ise TESTO 521 modelli bir dijital cihazla kaydedilmektedir. Aynı cihaz yardımıyla, siklondaki basınç farkı da siklonun giriş ve çıkış bölmelerine yerleştirilmiş olan basınç algılayıcılar sayesinde gerçekleştirilmektedir.

Toz beslemede ise titreşimli motorlar kullanılarak, ince delikli ve çok katmanlı eleklerden tozun sabit besleme hızında (gr/dk) beslenmesi sağlanmış ve homojen konsantrasyonlu, çift fazlı akışkan elde edilmiştir. Sisteme verilen toz ile sistem tarafından tutulan tozlar, MASTER SIZER2000 modelli partikül analiz cihazı kullanılarak analizi yapılmış ve o deneye ait kritik çap ve ilgili fraksiyonel verimlerin elde edilmesi, bu cihazdan elde edilen bulgular ışığında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, ince partiküllü olması ve akıcılığından dolayı kalsit ( $\text{CaCO}_3$ -kalsiyum karbonat) minerali tercih edilmiştir. Bursa Orhangazi ilçesinde faaliyet gösteren özel bir maden şirketinden temin edilen bu mineraller nemden etkilenmemesi için özel olarak kaplatılmıştır.



**Şekil 7.** Klasik ve yeni tasarımı siklonun boyutlandırılması

Pozitif basınçlı sistemde sadece basınç kaybı ve doğal vorteks deneyleri gerçekleştirilmiştir. ( Tozlu deneyler sadece emmeli sistemde yapılmıştır ) Basınç kaybı deneyleri,  $17 \times 42$  ve  $24 \times 42$  mm<sup>2</sup> şeklinde iki farklı giriş kesitlerinde yapılmıştır. Bu

deneylerde belirli ve farklı giriş hızlarında; siklon katı gövde boyu (H), girdap durdurucu mesafesi (L), çıkış baca çapı (D2), koni şekilli girdap durdurucu uç çapı (D3) ve giriş kesit (a x b) değerleri değiştirilerek farklı konfigürasyonlardaki siklonun basınç kaybı değerleri ölçülmüş ve grafikler halinde verilmiştir.

Doğal vorteks deneylerinde ise belirli ve farklı giriş hızlarında; tek bir giriş kesiti için (24x74 mm<sup>2</sup>), siklon katı gövde boyu (H), çıkış baca çapı (D2), çıkış bacası dalma derinliği (S) değiştirilerek doğal vorteks uzunluğu hesaplanmış ve basınç kayıplarıyla ilişkisi incelenmiştir.

Negatif basınçlı sistemde ise tek bir kesit için (16 x 74 mm<sup>2</sup>), basınç kayıp değerleri ve aynı zamanda siklonun toz tutma verimlilik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde belirli ve farklı giriş hızlarında; siklon katı gövde boyu (H), girdap durdurucu mesafesi (L) ve çıkış baca çapı (D2) değiştirilerek basınç kaybı ve toz verimlilik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçların doğrulanması için deneyler en az 3 kez tekrarlanmıştır.

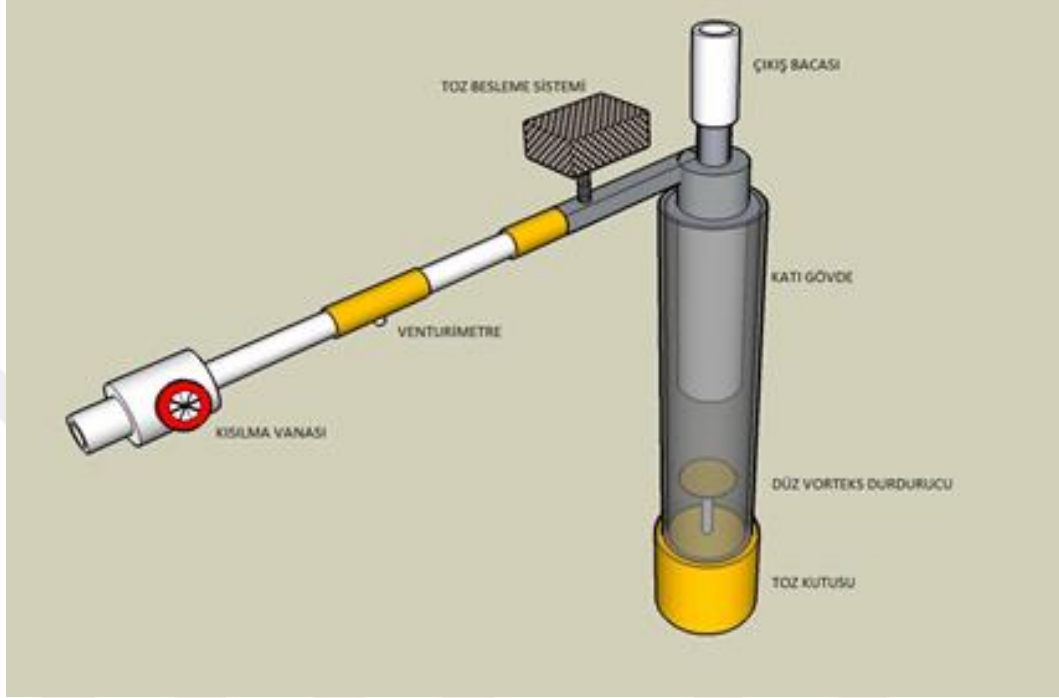
### **3.1. Deney Düzenegi**

Teğetsel girişli yeni tasarıma sahip siklonların performansının incelenmesi, klasik siklonlarla mukayese edilmesi ve optimizasyonu amacıyla bir deney düzenegi tasarlanmış ve imal edilmiştir (şekil 8). Üretimi tamamlanan sisteme ait resim şekil 9'da görülmektedir.

Deneye hazır hale getirilen teçhizatta, ilgili parçalar geniş çalışma aralığı için üretilmiştir. Bu bağlamda parçalar fonksiyonel olup, parametreler çok küçük değişimlerle izlenebilmektedir. Malzemelerin hafif ve işlenebilir olması için giriş kesiti, katı gövde bölümü, çıkış bacası ve girdap durdurucu ayağında alüminyum metali tercih edilmiştir. Girdap durdurucu ayağı dişli ayarlı olup sonsuz hareket kabiliyetindedir. Girdap durdurucu çeşitleri ise düz, konveks ve konkav olmak üzere farklı şekillerdedir. Katı gövdede ise her bir parça monteli olup, toplamda 85 cm yüksekliğe kadar



çıkılabilmektedir. Temiz hava çıkış bacasında ise üst gövdeye monte edilebilecek şekilde, 5 farklı baca çıkış çaplarında (20,30,40,50 mm) kapak üretimi yapılmıştır.



Şekil 8. Deney Tesisatının Bölümleri

Şekil 8.'de görülen deney düzeneğindeki siklonda hava akışı; pozitif basınçlı sistemde bir fan yardımıyla, negatif basınçlı sistemde ise çıkış bacası hattına yerleştirilen bir blower sayesinde gerçekleştirilmektedir. Giriş borusundaki hava debisini ölçmek için pitot tüpü ile kalibrasyonu yapılmış ventürimetre kullanılmaktadır. Toz verme ise ventürimetredeki ölçümün etkilenmemesi için ventürimetrenin bitiminden sonra blower ile oluşturulan vakum sayesinde yapılmaktadır. Tozlu hava siklona giriş yaptıktan sonra santrifüj kuvvetlerin etkisiyle, tozlar toplama kutusunda tutulur, temiz hava ise çıkış borusundan dışarı verilir. Deney teçhizatının resmi ise Şekil 9.'da görülmektedir.



Şekil 9. Deney düzeneğinin resmi

### 3.2. Fan ve Blower

4,1kW gücünde 1600d/d yapan fan, hat üzerindeki kısılma vanası sayesinde farklı debilerde hava basmaktadır. Fanın çıkışına yerleştirilen metalik adaptör vasıtasıyla hava bir boru içine aktarılır buradan da siklona gönderilir. Fanın hava basma gücünü siklonda oluşan basınç kayıpları etkilemektedir. Özellikle; yapılan geometrik değişiklikler basınç kayıplarını önemli ölçüde değiştirdiği için fanın tükettiği güç değerleri ve akışkan havanın debi değerleri önemli şekilde değişmektedir. Siklon çıkış borusunun çapı, fanın üfleme kapasitesine etki eden önemli faktörlerden bir tanesidir. Kullanılan siklonun optimizasyonu, kullanılan fanın seçimi için de önemlidir. Basınç kayıpları fazla olan bir siklon tasarlandığında ve çıkış borusu da gereğinden küçük çapta seçildiği takdirde bu kayıpları yenmek için daha güçlü bir fana ihtiyaç duyulacaktır. Bu ihtiyaç beraberinde yüksek kurulum ve işletme maliyeti getirecektir. Bu durum, enerji tüketimini artırarak hem öz kaynakların kullanılması hem de küresel rekabet ortamında olumsuz sonuçlara neden olacaktır.



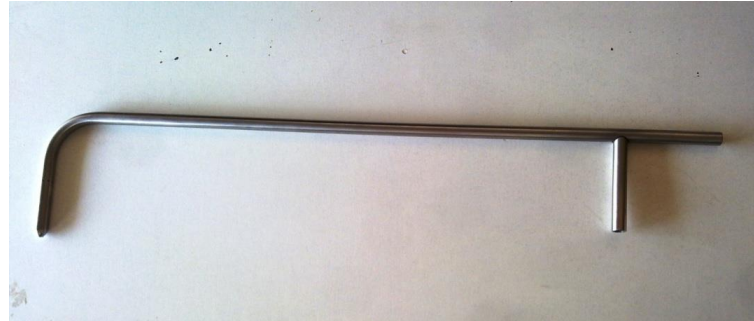
Şekil 10. Deneyde Kullanılan Fan ve Blower resimleri

### 3.3. Ventürimetre

Deneyleer süresince Şekil 11’de görülen ventürimetre yardımıyla debi ölçümü yapılmıştır. Kullanılan ventürimetrenin Şekil 12’deki pitot tüpü ve dijital debi ölçüm cihazı ile kalibrasyonu yapılmış, yapılan çalışmalar sonucunda %1’ in altında farklılık gözlenmiştir. İşlem kolaylığı ve deney tesisatının boyutlarının küçültülmesi amacıyla deneylere ventürimetre ile devam edilmiştir. Kullanılan ventürimetre boğazları 28 mm ve 69 mm’ dir. Bu boğazlara yerleştirilen basınç algılayıcı prizleri yardımıyla ventürimetre boğazındaki daralmadan dolayı oluşan basınç kaybı Testo521 cihazı ile ölçülmüş ve bu basınç kaybından debi hesabına geçiş yapılmıştır.



Şekil 11. Ventürimetre



Şekil 12. Pitot tüpü

### 3.4. Toz Besleme Sistemi

Yapılan çalışmalarda partikül boyutları daha küçük olduğu için kalsit minerali ile çalışmaya karar verilmiştir. Yapılan uzun çalışmalar ve farklı denemeler sonucunda toz besleme sistemi imal edilmiştir. Dozajlamanın düzgün olması için toz besleme haznesi bir kapakla kapatılmış ve ortasına, (blowerın emme kuvvetiyle vakum etkisinin olduğu) içinden geçen hava debisinin ölçülebildiği bir delik açılmıştır. Bu delikten geçen debi değeri, küçük bir rotametre yardımıyla ml/dk birimiyle okunmaktadır. Ayrıca toz besleme kabının dışına titreşim motoru ilave edilerek tozların ince bir elekten sabit besleme hızında akması sağlanarak siklondaki akışkan konsantrasyonunun sabit tutulması sağlanmıştır (Şekil 13,14).



Şekil 13. Toz besleme ünitesi



Şekil 14. Toz besleme için rotametre

### 3.5. Dijital Ölçüm Cihazı

Ventürimetre ve Siklon içerisinde oluşan basınçlar Şekil 15'te görülen Testo521 marka dijital ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Bu cihazla basınç, hız, debi ve nem ölçülebilmektedir. Basınçlar mm su sütunu cinsinden ölçülmektedir. Cihaz 1mm su sütunu hassasiyetinde ölçüm yapmaktadır, ancak hassas ölçümler için özel bir prob

vardır (Şekil 15). Bu prob sayesinde 0,1 mm su sütunu hassasiyetinde ölçüm yapılmaktadır. Ayrıca cihaz bilgisayara bağlanmakta ve yapılan ölçümler grafik olarak bilgisayara aktarılmakta, belirli süreler için maksimum, minimum ve ortalama değerler alınabilmektedir. Aynı zamanda yapılan ölçümler cihaza kaydedilebilmekte ve istenirse çıktı alınabilmektedir.



**Şekil 15.** Dijital Ölçüm Cihazı

### **3.6. Partikül Analiz Cihazı**

Kuru ve ıslak tip numunelerle ölçüm yapabilen Partikül Analiz Cihazı ve yardımcı üniteleri Şekil 16 ve Şekil 17’de görülmektedir. Mastersizer 2000 modeli MALVERN marka analiz cihazı 0,02  $\mu\text{m}$  ile 2000  $\mu\text{m}$  arasındaki partiküllerin boyutlarını ölçebilmektedir. Ölçümleri lazer ışını yardımıyla yapmaktadır. Cihaz ölçümde, iki farklı dalga boyuna sahip mavi ve kırmızı lazer ışını kullanmaktadır. Partiküllere çarparak saçılan lazer ışınları detektörlerle algılanmaktadır. Ölçümleri iki farklı teoriye

göre yapabilmek mümkündür. Bunlar MIA ve Fraunhofer teorileridir ; MIA teorisinde ölçüm yapılan malzemenin kırılma indisleri girilmelidir ve her malzeme için bu değer farklıdır. Fraunhofer teorisine göre ise ölçümde malzemelerin kırılma indisine ihtiyaç yoktur. Cihaz her iki teoriye göre de ölçüm yapabilmekte ve sonuçlar karşılaştırılabilmektedir.



**Şekil 16.** Partikül Analiz Cihazı

Cihaz beş üniteden meydana gelmektedir;

- 1) Lazer Ünitesi
- 2) Kuru Ünite (SCIROCO 2000)
- 3) Islak Ünite (HYDRO 2000MU)
- 4) Kompresör ve Vakum (toz toplayıcı) ünitesi
- 5) Bilgisayar Ünitesi

Kuru ünite besleme haznesine konulan numunenin titreşim sonucu istenilen miktarda akması ve hava yardımıyla merceklein içinden geçirilerek ölçüm yapılmasını sağlar. Taşıyıcı hava olduğu için her malzeme rahatlıkla bu ünite de ölçülebilir. Tozun topaklaşmasını önlemek veya tozu dağıtmak için gerekli basınçlı hava bir kompresör yardımıyla sağlanmakta ölçülen toz, bir toz süpürgesiyle çekilmektedir.

Islak ünite ise su, alkol vb. sıvıyla dolu, içinde karıştırıcı bulunan kabın içine konan toz numunenin karıştırıcı yardımıyla sıvının içinde homojen olarak karıştırılan parçacıkların merceklerden geçirilmesi sonucu ölçüm yapılmaktadır. Islak üniteye yapılacak ölçümde kullanılacak numunenin sıvı içerisinde çözünmemesi gerekmektedir. Bu nedenle malzemeye göre uygun sıvı bulmak gerekmektedir. Fakat bu metotla daha küçük parçacıklar ölçülebilmekte ve bu üniteye bulunan ultrasonic parçalayıcı vasıtasıyla birbirine yapışan çok küçük partiküller dahi birbirinden ayrılabilir.

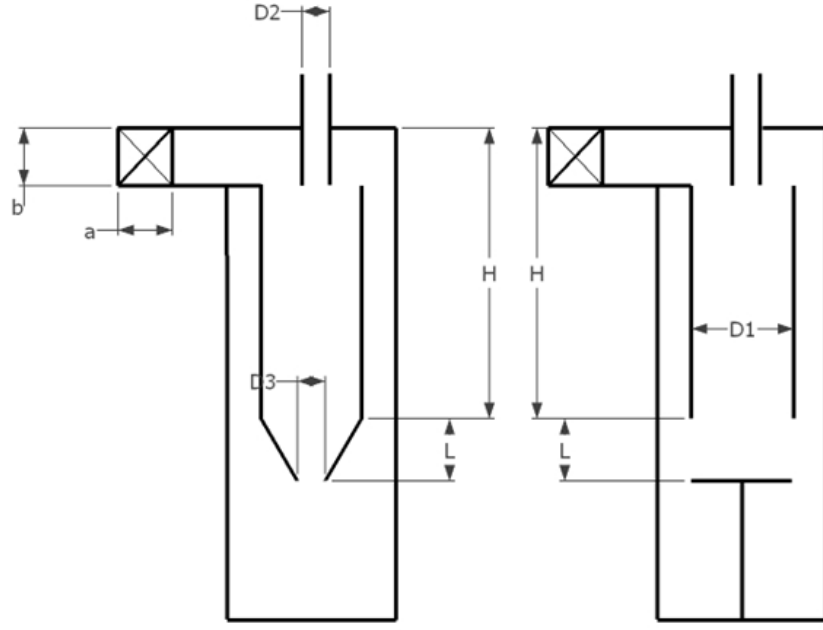


**Şekil 17.** Kuru (SCIROCO 2000) ve ıslak (HYDRO 2000MU) üniteler

### **3.7. Siklonun Tanıtımı ve Boyutlandırılması**

Gerçekleştirilen tüm deneylerde şekil 18.'deki temsili boyutlandırma kullanılmıştır. Siklon boyları girdap durdurucu yüksekliğinin (L) veya siklon gövdesini oluşturan katı gövde boylarının (H) değiştirilmesiyle elde edilmiştir. Siklon gövdesi oluşan vorteksin incelenmesi için pleksiglass borudan yapılmıştır. Bu malzeme tercihinin başlıca sebebi, yapılan deneylerde girdap uzunluğu ve sayısının tespit edilmesi, yüzeydeki birikmelerin görülmesi, girdabın bittiği noktanın gözlenmesi ve konsantrasyonun kontrolü için şeffaf malzeme kullanma gereksinimidir. Alt kısım ise sökülebilir toz kutusudur ve tornada işlenmiş kestamit malzemedan imal edilmiştir (Şekil 19).





**Şekil 18.** Siklon Boyutları

Deney sistemi hem klasik hem de yeni tasarıma dönüşebilmektedir. Yeni sistemde düz girdap durdurucu, gelen havanın geri döndürülerek dışarı çıkmasını sağlamak için konulmuştur. Girdap durdurucunun çapı ( $D1$ ) gövde çapı ile eşittir. Klasik sistemde ise koni ucu çapları ( $D3$ ) farklı olan koniler monte edilerek klasik sistemle çalışmak mümkündür.



**Şekil 19.** Farklı Katı Gövde Boylarının Resmi



**Şekil 20.** Deneylede Kullanılan Çıkış Bacaları ve Kesit Kalınlıkları

Şekil 20' de görülen çıkış bacaları siklona giren tozlu havadaki tozların, merkezkaç kuvvetleri yardımıyla tutulduktan sonra kalan temiz havanın siklondan tahliye edildiği kısımlardır. Siklondaki basınç kayıplarına doğrudan etkisi olduğu için çıkış borusunun çapının (D2) seçimi optimum değerlerde yapılmalıdır. Ayrıca çıkış borusunun dalma mesafesi de (s) siklondaki basınç kayıpları ve toplama verimi ile doğrudan ilgisi olduğu için bu mesafede dikkatli seçilmesi gerekir. Literatürde dalma mesafesi için birçok çalışma mevcuttur. Bu deneylerde dalma mesafesi giriş kesitinin yüksekliğiyle eşit alınmıştır.

### **3.8. Deney Yöntemi**

Toz içeren hava ile ve sadece hava ile yapılan deneyler, laboratuvar ortamında mümkün olduğunca hassas şekilde yapılmıştır. Yapılacak ölçümlere başlamadan önce deney yapılan sistemin kararlı hale gelmesi beklenmiş ve ölçümler sırasında çevre koşullarının aynı olması sağlanmıştır. Ayrıca tekrarlı deneylerde, bir önce yapılan deneyin etkileri tamamen ortadan kalktıktan sonra tekrar yeni deney ve ölçümlere geçilmiştir. Siklon parametrelerinin etkisini daha net görebilmek için tanecik boyutu daha ince olan kalsit mineralleri ( $\text{CaCO}_3$ ) kullanılmıştır. Bu kalsit taneciklerinin %5' inin boyutu 1 mikronun altındadır. Partikül dağılımını gösteren örnek bir grafik Ek-1'de gösterilmiştir. Parametreleri daha doğru şekilde mukayese edebilmek için siklona giriş debi değeri olarak  $51 \text{ m}^3/\text{h}$  belirlenmiş ve her bir parametrede bu değerde ölçüm alınmıştır.

Tozlu hava ile yapılan deneylerde 250' şer gram kalsit kullanılmıştır. Kalsitin nemden etkilenmemesi için tanecikler özel bir işlemle kaplatılmış ve kullanılacak numuneler 250' şer gram halinde naylon poşetlere konulmuştur. Siklona toz vermeden basınç kayıpları ölçülmüş toz verme işlemine başlanırken ölçüm devam ettirilmiştir. Tozlu halde ölçümün devam ettirilmesinin sebebi konsantrasyonun derecesini ayarlamak ve konsantrasyondan kaynaklanan basınç kayıplarının önüne geçmektir. Sabit bir konsantrasyona gelindikten sonra ölçüm bitirilip toz verme işlemine devam edilmiştir. Sabit besleme hızı için 250 gr kalsit 25 dk süreyle verilmektedir.

Tozlu hava ile yapılan deneylerde her bir silindir yüksekliğinde (H), farklı girdap durdurucu yüksekliklerinde sabit debide deneyler yapılmıştır. Girdap durdurucunun değiştirilmesiyle farklı siklon yüksekliği (L) elde edilmiştir. Bu işlemler bittikten sonra diğer silindir boylarına geçiş yapılmıştır. Tüm silindir boyları ve farklı girdap durdurucu yükseklikleri ile deneyler tamamlandıktan sonra, siklonun akışkan ile temas eden yüzeyi iki farklı pürüzlülükteki (orta ve yüksek pürüzlülük değerinde) zımpara kağıdı ile kaplanarak deneyler iki farklı yüzey için de ayrı ayrı tekrarlanmıştır.

Toz verme işlemi tamamlandıktan sonra siklon bir süre daha çalıştırılmaya devam edilip farklı noktalarda oluşacak toz birikintilerinin önüne geçilmiştir. Siklonun toplama verimini hesaplamak için toz kutusunda biriken tozlar blowerın tamamen durmasından sonra boşaltılarak hassas terazi ile tartılmış sisteme girişteki ağırlığı ile karşılaştırılarak siklonun genel verimi hesaplanmıştır. Ayrıca toplanan tozdan numuneler alarak partikül analizleri yapılmış ve girişteki numune ile karşılaştırarak fraksiyonel verim eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu eğriler sayesinde hangi partikül çapının yüzde kaç verimle tutulduğu hesaplanmıştır. Daha sonra fraksiyonel verim eğrilerinden o siklonun kritik çapı hesaplanarak, tasarlanan yeni siklonun karakteristik eğrileri oluşturulmuştur. Bu işlemler her parametre için ayrı ayrı 3 kez tekrarlanmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Doğal vorteks uzunluğuyla ilgili yapılan deneylerde belirli ve farklı giriş hızlarında; tek bir giriş kesiti için (  $24 \times 74 \text{ mm}^2$ ), siklon katı gövde boyu (H), çıkış baca çapı (D2), çıkış bacası dalma derinliği (S) değiştirilerek doğal vorteks uzunluğu hesaplanmış ve basınç kayıplarıyla ilişkisi incelenmiştir. Pozitif basınçlı sistem ile elde edilen sonuçlarda giriş debisinin arttırıldığında, doğal vorteks uzunluklarının da arttığı gözlenmiştir.

Toz hava ile yapılan deneylerde ise negatif basınçlı sistem kullanılmıştır ve basınç kaybı değeri klasik siklona göre oldukça yüksek değerlerde çıkmamasına karşın verimde önemli bir artış sağlanmıştır. Bu deneylerde farklı siklon boylarının verime etkisi görülmüştür. Ayrıca sonuçlar klasik siklon geometrileriyle karşılaştırılmış ve daha yüksek verim sağladığı görülmüştür. Ancak bununla beraber basınç kayıplarında da bir miktar artış olmuştur.

### 4.1. Deneysel Hesaplamalar

Deneylerde ventürimetrede ölçülen basınç kaybı  $\Delta h_v$  (mmSS) , kanaldaki akışkan debisini bulmamızı sağlar, hesaplanan bu debi değerine ortam havasından emilen rotametrede okunan debi değeri de eklenerek siklon girişindeki toplam debi hesaplanır. Giriş kesitindeki debi değerinden ise girişteki hıza geçiş yapılır.

Bernoulli ilkesinden faydalanılarak debi Q;

$$Q = A_0 C_d \sqrt{\frac{2gh_p/1000}{1-\beta^4}} 3600 \quad (4.1)$$

$$A_0 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(28 \times 10^{-3})^2}{4} = 0,616 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (4.2)$$

$$\beta = \frac{d}{D} = \frac{28}{69} = 0,405 \quad (4.3)$$

$$C_d = 0,95 \quad (4.4)$$

$$h_p = \Delta h_v \left( \frac{\rho_{su}}{\rho_{hava}} \right) \quad (4.5)$$

Bu değerler formülde yerine yazılarak m<sup>3</sup>/h cinsinden debi değerine ulaşılmıştır ve böylece giriş hızı da kesite bağlı olarak bulunmuştur.

V<sub>g</sub> değeri;

$$V_g = \frac{Q}{A \cdot 3600} \quad (\text{m/s}) \quad (4.6)$$

K (basınç dűřüm katsayısı) deęeri;

$$K = \frac{\Delta P}{\rho h \frac{V_g^2}{2}} \quad (4.7)$$

Denkleminde kullandığımız  $\Delta P$  değerleri, deney esnasında siklondaki toz karıştırılmış hava ile yapılan deneylerdeki basınç kaybıdır.

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h_s \quad (4.8)$$

Verim ( $\eta$ ) ise ;

$$\eta = \frac{\text{Siklonda tutulan toz miktarı}}{\text{Siklona gönderilen toz miktarı}} \quad (4.9)$$

## 4.2. Hata Hesabı

Deney sisteminde yapılan ölçümler, venturimetrenin tornalama ve yüzey işleminde kaynaklanan hata ile debi ve hız ölçümünün belirlenmesi için kullandığımız TESTO cihazının belirli hassasiyette çalışmasından kaynaklanan sapmalardan dolayı belirli bir hataya sahiptir. Dolayısıyla basınç kayıpları ile ilgili özellikle basınç kayıp katsayılarında belirli bir hata oranı oluşacağından venturimetredeki ve basınç kayıp katsayısındaki hata hesabı yapılarak deneylere geçilmiştir. Yapılan hata hesapları

aşağıdaki denklemlere göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ihmal edilebilir bir tolerans değerleri arasında gerçekleşmiştir.

*Venturimetre için;*

$$U_2 = U = \frac{1}{1 - \frac{d_2^4}{d_1^4}} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} = \frac{d_1^4}{d_1^4 - d_2^4} \sqrt{2gh}$$

$$\Delta U = \left( \frac{4 d_1^3}{d_1^4 - d_2^4} \sqrt{2gh} \right) \Delta d_1 + \left( \frac{4 d_2^3 d_1^4}{d_1^4 - d_2^4} \sqrt{2gh} \right) \Delta d_2 + \left( \frac{d_1^4}{d_1^4 - d_2^4} \sqrt{2g} \frac{1}{2\sqrt{h}} \right) \Delta h$$

Deney sisteminde  $d_1 = 28 \pm 1$  mm ve  $d_2 = 69 \pm 1$  mm ile ;

$$\Delta U = 0.0596 \sqrt{2gh} \Delta d_1 + 0.004 \sqrt{2gh} \Delta d_2 + 0.514 \sqrt{\frac{2g}{h}} \Delta h$$

$$Q = C_d U_2 A_2 = C_d \left( \frac{\pi d_2^2}{4} \right) U_2 \quad ; \quad Q_T = U_2 A_2$$

$$dQ = \left( \frac{\pi d_2^2}{4} \right) U_2 d(C_d) + C_d \left( \frac{\pi d_2^2}{4} \right) d(U_2) + C_d U_2 \frac{\pi}{2} d_2 d(d_2)$$

$$dQ = Q_T d(C_d) + C_d Q_T \frac{1}{U_2} d(U_2) + C_d Q_T \left( \frac{2}{d_2} \right) d(d_2)$$

$$Q = U_{in} A_{in}$$

$$U_{in} = \frac{Q}{a b} = \frac{1}{a b} d(Q) - \frac{1}{a^2} \frac{Q}{b} d(Q) - \frac{1}{b^2} \frac{Q}{a} d(b)$$

*Siklon Kayıp Katsayısı için;*

$$K = \frac{2 \Delta P}{\rho U^2}$$

$$\Delta K = \frac{2}{\rho U^2} d(\Delta P) - 4 \Delta P \frac{1}{\rho U^3} d(U)$$

### 4.3. POZİTİF BASINÇLI SİSTEM İÇİN BASINÇ KAYIP DENEYLERİ

Siklondaki basınç kayıplarını farklı geometrik ve çalışma parametreleri altında mukayese ederken, basınç kayıp katsayısı K ile ifade edilmesi daha anlamlı olacaktır.

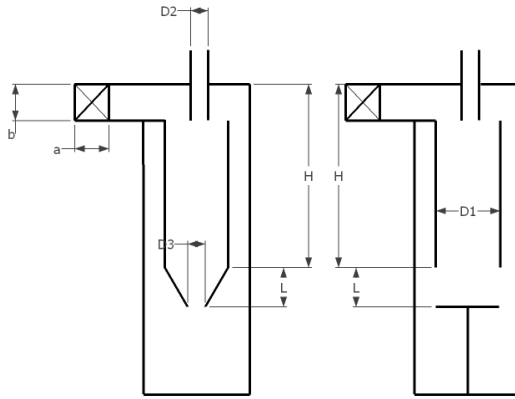
#### 4.3.1. Basınç Kaybı için Yapılan Deneyler ( 17 x 42 ve 24 x 42 mm<sup>2</sup>)

Aşağıda ölçüleri verilen deney teçhizatında gerçekleştirilen deneyler; belirli ve farklı giriş hızlarında, geometrilerde yukarıda verilen konfigürasyonlar kullanılarak tekrarlanmıştır. Herbir geometrik etki farklı başlık altında incelenerek sonuçlar grafikler halinde sunulmuş ve yorumlanmıştır. Grafik başlıklarında görülen  $D3=0$  ifadesi, siklonda düz girdap durdurucu kullanıldığını yani siklonun yeni tasarımında olduğunu ifade etmektedir.

Ayrıca siklon yüksekliği ise,

$$\text{Siklon Yüksekliği (L)} = H_x + L_x \text{ şeklinde ifade edilmektedir.}$$

**Tablo 2.** Siklon Ölçüleri (Basınç deneyleri için)



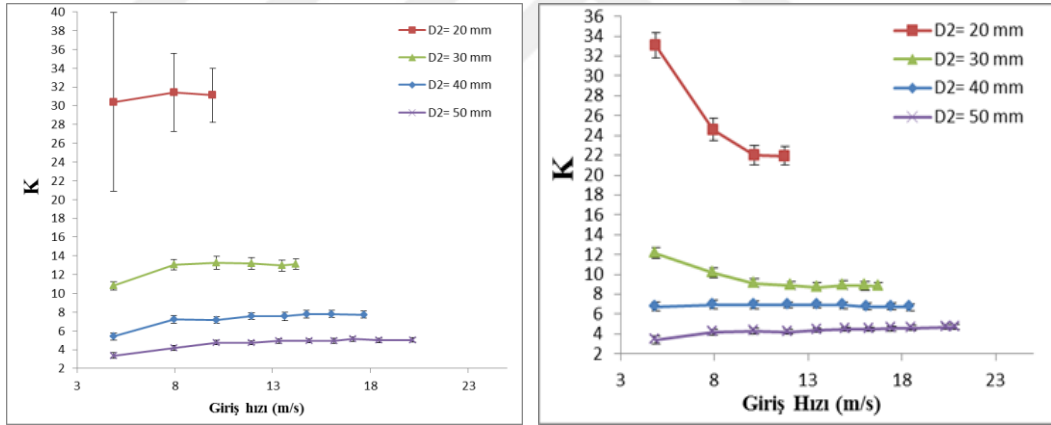
Siklon Ölçüleri	Boyut (mm)
Gövde Çapları	$D_1 = 80, D = 150.$
Çıkış Baca Çapı, $D_2$	20, 30, 40, 50
Giriş Kesiti ( $a_0 \times b$ )	17 x 42, 24 X 42
Silindir yüksekliği, $H_x$	135, 283, 500
Durdurucu/Koni yüksekliği, $L_x$	100, 200
Dalma Yüksekliği, S	S = 50



#### 4.3.1.1. Çıkış Baca Çapının Basınç Kayıp Katsayısına Etkisi

Deneysel olarak 4 farklı çıkış çapı kullanılmıştır (20, 30, 40 and 50 mm). Grafiklerdeki dikey çubuklar, basınç kaybı katsayısı olan K değerindeki mutlak hataları ifade etmektedir. K katsayısındaki değişimler klasik ve yeni tasarımlı siklonun her ikisinde de benzer davranışlar sergilemektedir.

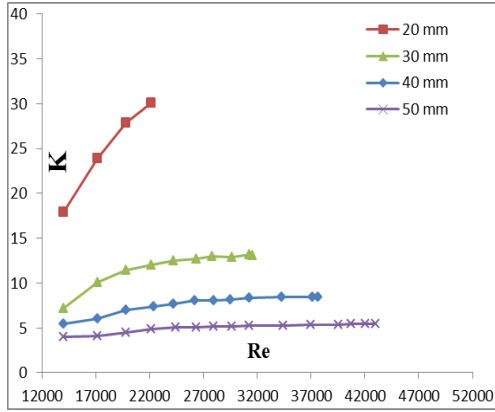
Her iki tip siklonda da genel olarak vorteks çapı azaldıkça, K katsayısı da büyümüşür. Küçük D2 çaplarında iken K katsayısının giriş hızından etkilenmesi çok daha fazladır. Ayrıca bu küçük çaplarda daha büyük basınç kayıpları gözlenmiştir. Bu yüzden, değişken koşullar için küçük D2 çaplarında çalışmak çok uygun görülmemektedir. Her iki siklon tipinde de K katsayısı artan giriş hızıyla birlikte belirli bir değere yakınsamaktadır.



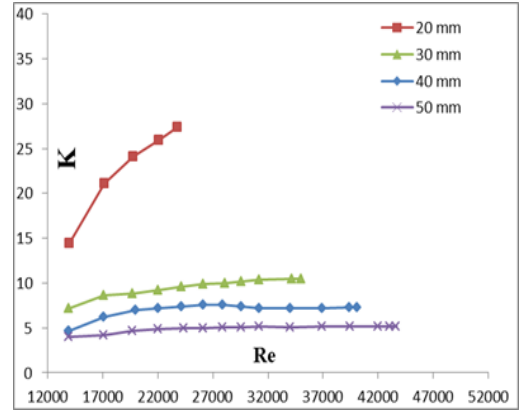
**Grafik 4.1.** Değişik çıkış çaplarına göre K-V değerlerinin değişimi  
( $17 \times 42 \text{ mm}^2$  ve  $D3 = 0 \text{ mm}$ )

(a) H= 283 mm

(b) H= 500 mm

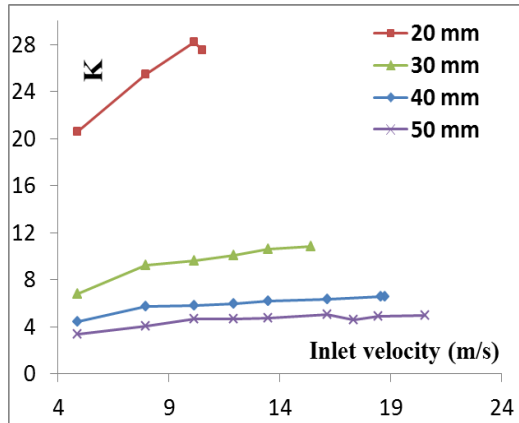


(a)

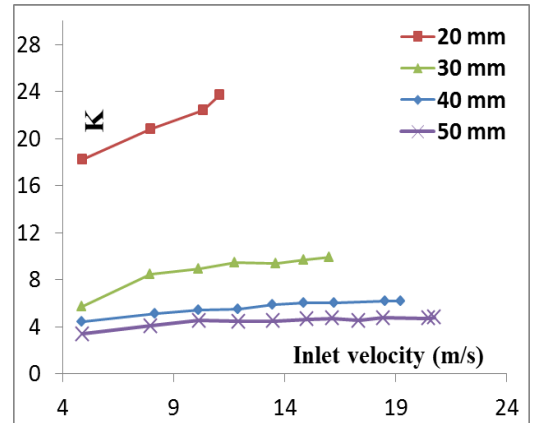


(b)

**Grafik 4.2.** Değişik çıkış çaplarına göre K-Re değerlerinin değişimi  
( $24 \times 42 \text{ mm}^2$  ve  $D3 = 0 \text{ mm}$ )

(a)  $H = 283 \text{ mm}$ (b)  $H = 500 \text{ mm}$ 

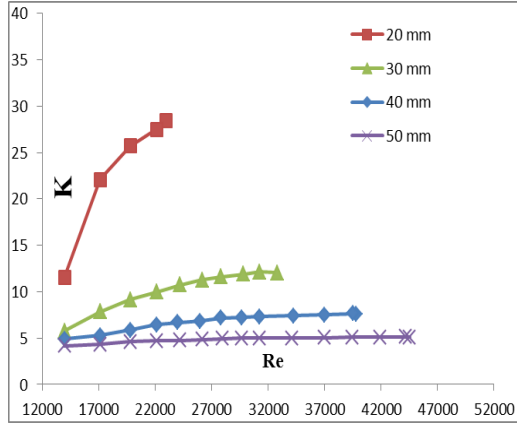
(a)



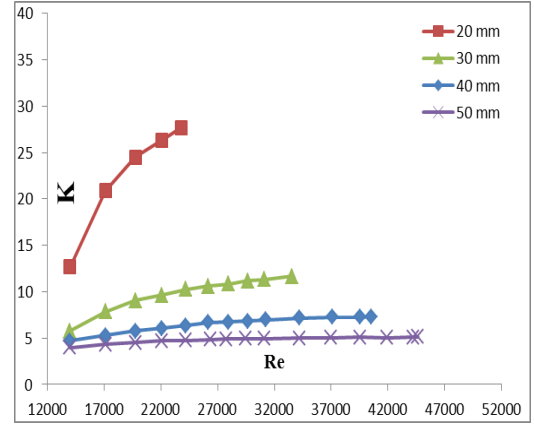
(b)

**Grafik 4.3.** Değişik çıkış çaplarına göre K-V değerlerinin değişimi  
( $H = 283 \text{ mm}$  ve  $17 \times 42 \text{ mm}^2$  için)

(a)  $D3 = 19 \text{ mm}$ ,(b)  $D3 = 28 \text{ mm}$



(a)

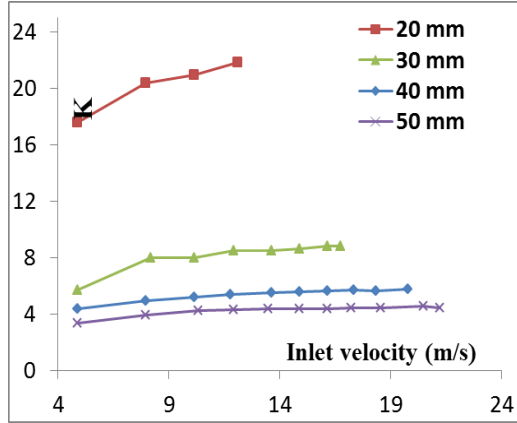


(b)

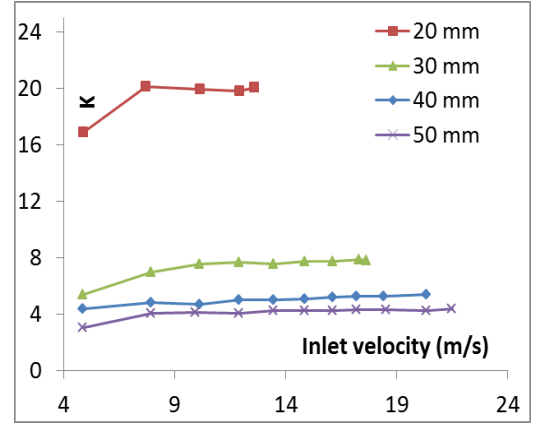
**Grafik 4.4.** Değişik çıkış çaplarına göre K-Re değerlerinin değişimi  
(H= 283 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için)

(a) D3 = 19 mm,

(b) D3 = 28 mm



(a)

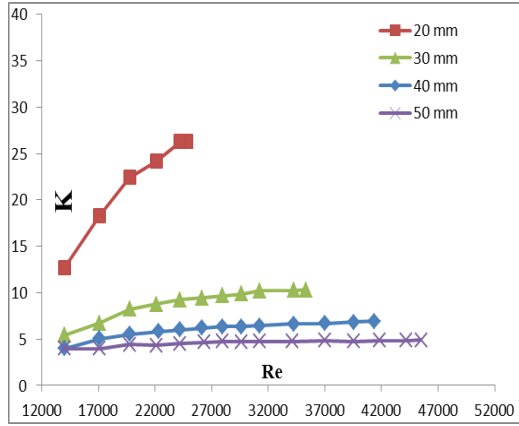


(b)

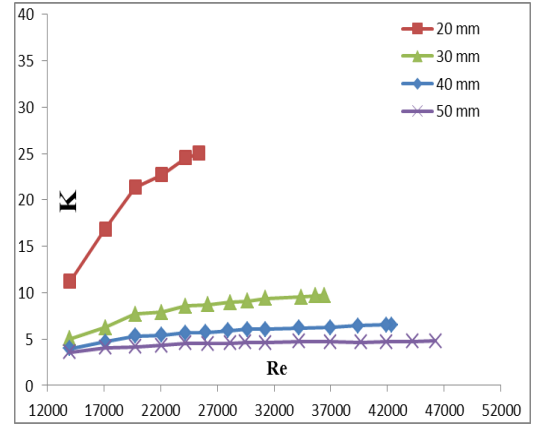
**Grafik 4.5.** Değişik çıkış çaplarına göre K-V değerlerinin değişimi  
(H= 283 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için)

(a) D3 = 34 mm,

(b) D3 = 42 mm



(a)

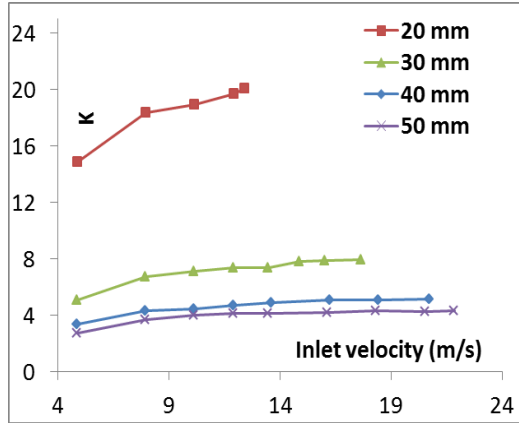


(b)

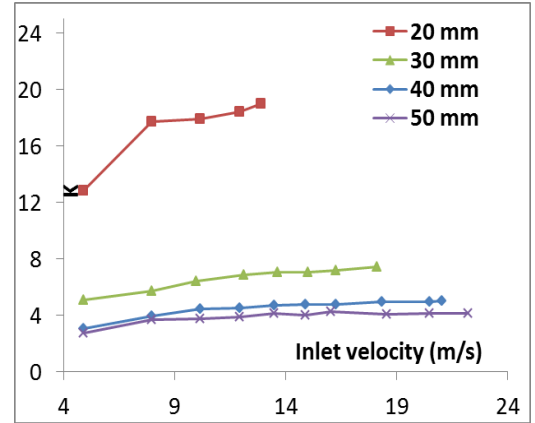
**Grafik 4.6.** Değişik çıkış çaplarına göre K-Re değerlerinin değişimi  
(H= 283 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için)

(a) D3 = 34 mm,

(b) D3= 42 mm



(a)

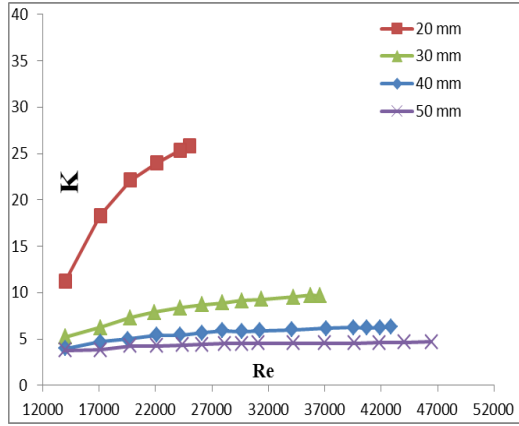


(b)

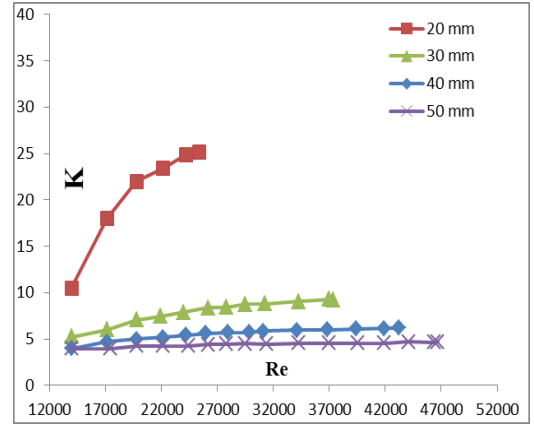
**Grafik 4.7.** Değişik çıkış çaplarına göre K-V değerlerinin değişimi  
(H= 500 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için)

(a) D3 = 19 mm,

(b) D3= 28 mm



(a)

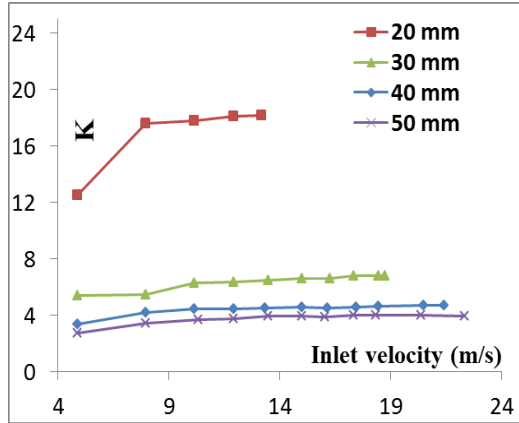


(b)

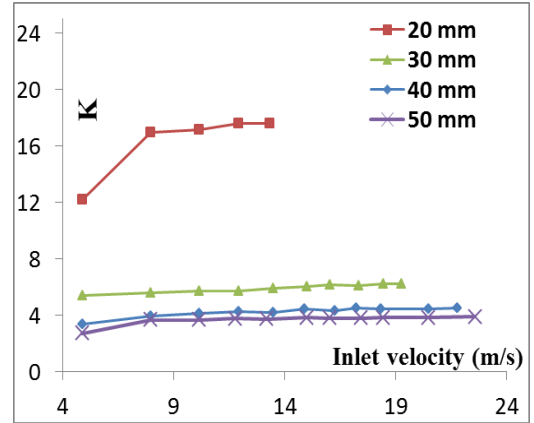
**Grafik 4.8.** Değişik çıkış çaplarına göre K-Re değerlerinin değişimi  
(H= 500 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için)

(a) D3 = 19 mm,

(b) D3= 28 mm



(a)

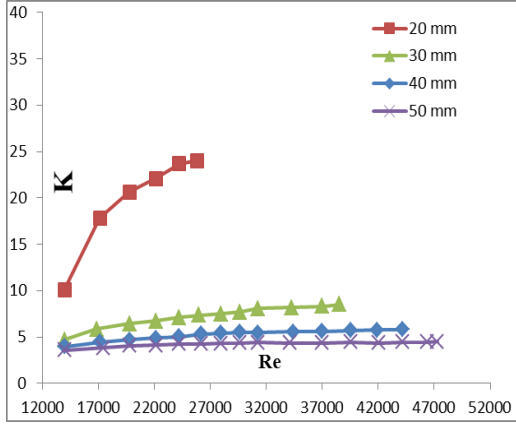


(b)

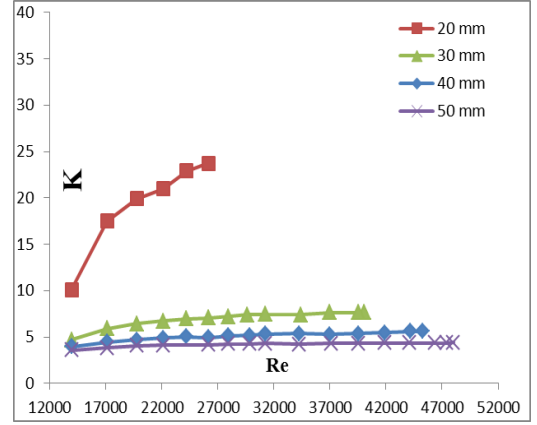
**Grafik 4.9.** Değişik çıkış çaplarına göre K-V değerlerinin değişimi  
(H= 500 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için)

(a) D3 = 34 mm,

(b) D3= 42 mm



(a)  $D_3 = 34$  mm,

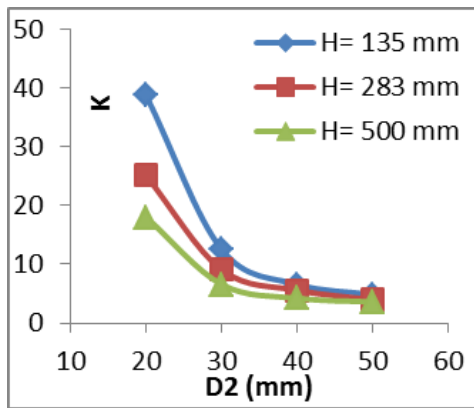


(b)  $D_3 = 42$  mm

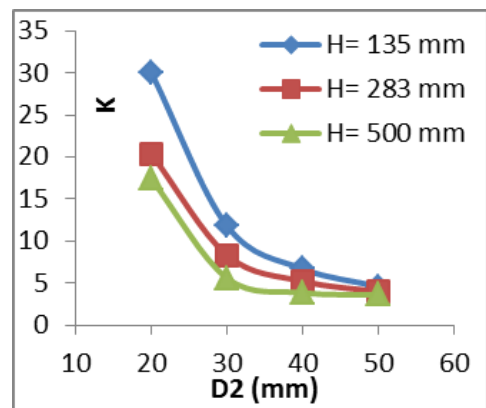
**Grafik 4.10.** Değişik çıkış çaplarına göre K-Re değerlerinin değişimi  
( $H = 500$  mm ve  $24 \times 42$  mm<sup>2</sup> için)

#### 4.3.1.2. Katı Gövde Yüksekliğinin Basınç Kayıp Katsayısına Etkisi

Deneysel sonuçlara göre katı gövde yüksekliğinin artmasıyla her iki tip siklonda da basınç kayıpları azalmaktadır. Yeni tasarımı siklonda K katsayısı klasik siklona göre biraz daha yüksektir. Bu durumun, koni kısmın çıkarılmasıyla oradaki sürtünmenin azalarak vorteks teğetsel hızının artmasıyla oluştuğu tahmin edilmektedir. Geometrik kısıtlamalardan dolayı,  $H = 135$  mm için klasik siklon tasarımında ve  $H = 283$  ve  $H = 500$  mm içinse yeni tasarımda deneyler gerçekleştirilebilmiştir.



(a)

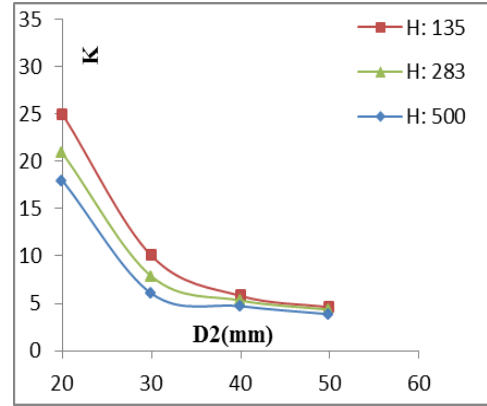
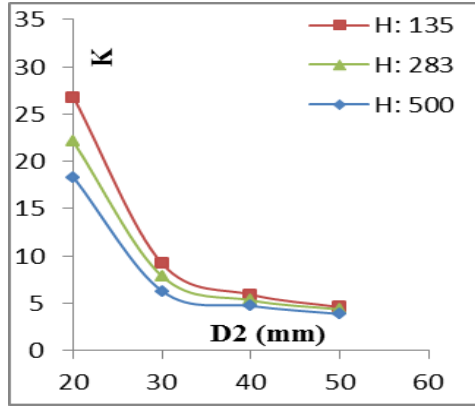


(b)

**Grafik 4.11.**  $17 \times 42$  mm<sup>2</sup> için  $D_2$ -K ilişkisine H etkisi ( $V = 8$  m/s)

(a)  $D_3 = 19$  mm,

(b)  $D_3 = 28$  mm



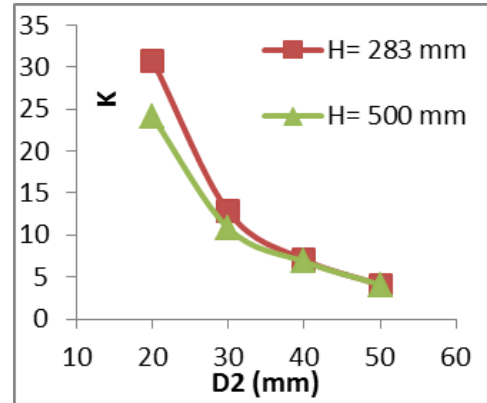
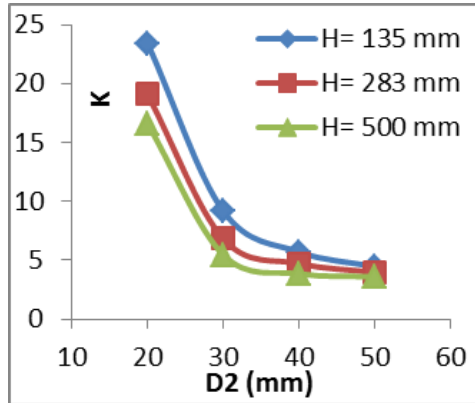
(a)

(b)

**Grafik 4.12.** 24 x 42 mm<sup>2</sup> için D2-K ilişkisine H etkisi (V: 8 m/s)

(a) D3 : 19 mm,

(b) D3= 28 mm



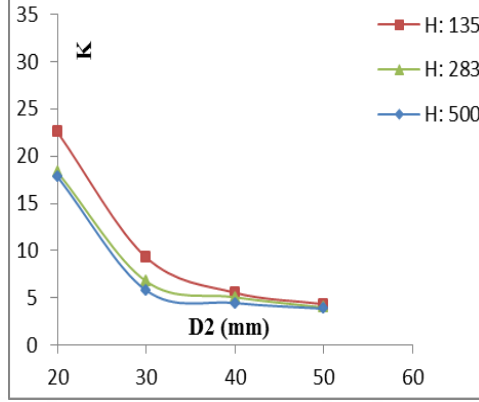
(a)

(b)

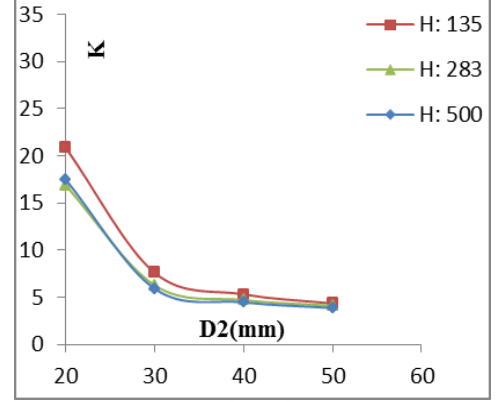
**Grafik 4.13.** 17 x 42 mm<sup>2</sup> için D2-K ilişkisine H etkisi (V: 8 m/s)

(a) D3 : 34 mm,

(b) D3= 42 mm

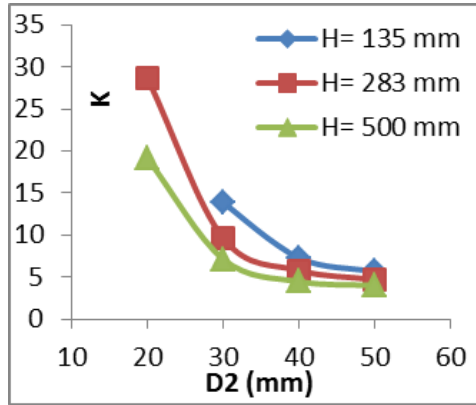


(a)

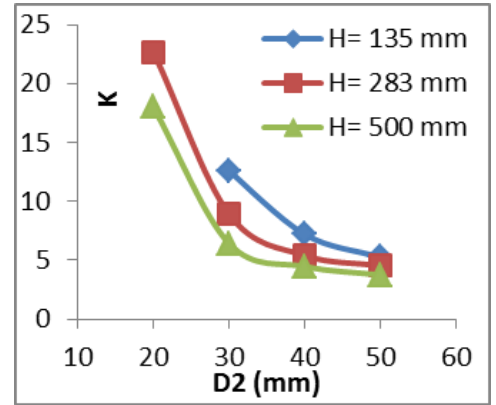


(b)

**Grafik 4.14.** 24 x 42 mm<sup>2</sup> için D2-K ilişkisine H etkisi (V: 8 m/s)  
 (a) D3 : 34 mm, (b) D3= 42 mm



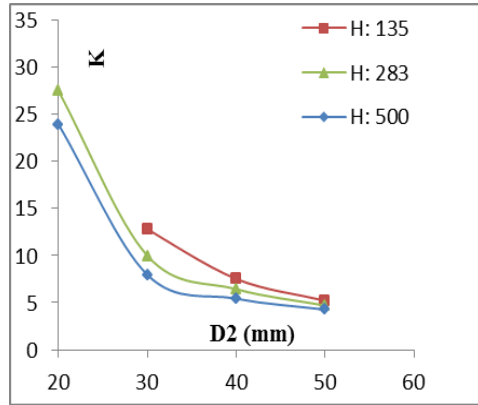
(a)



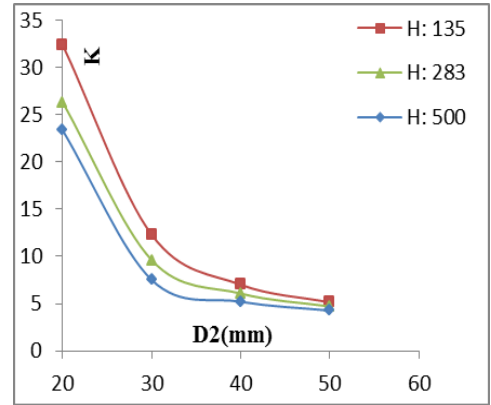
(b)

**Grafik 4.15.** 17 x 42 mm<sup>2</sup> için D2-K ilişkisine H etkisi (V: 10 m/s)  
 (a) D3 : 19 mm, (b) D3= 28 mm





(a)

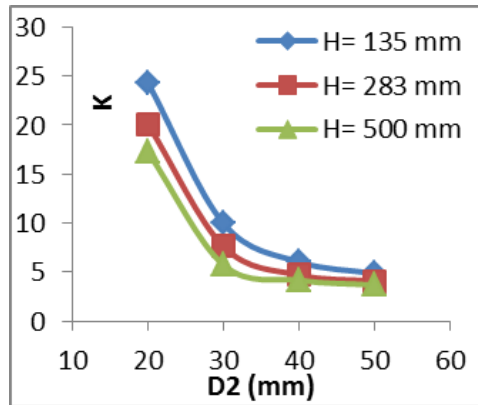


(b)

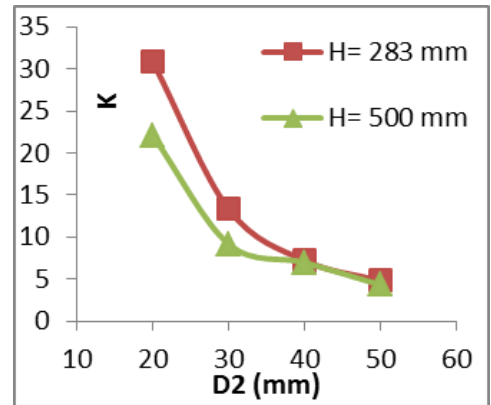
**Grafik 4.16.** 24 x 42 mm<sup>2</sup> için D2-K ilişkisine H etkisi (V: 10 m/s)

(a) D3 : 19 mm

(b) D3= 28 mm



(a)

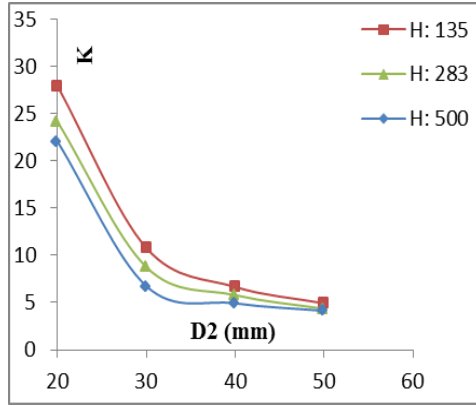


(b)

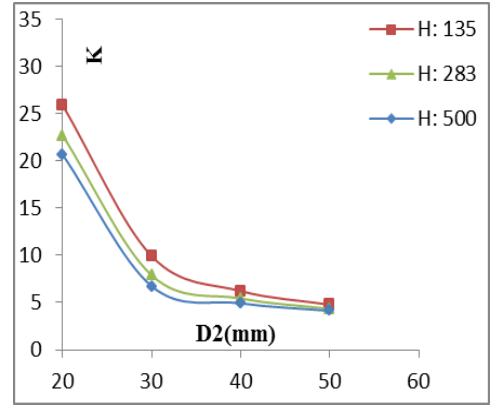
**Grafik 4.17.** 17 x 42 mm<sup>2</sup> için D2-K ilişkisine H etkisi (V: 10 m/s)

(a) D3 : 34 mm

(b) D3= 42 mm



(a)

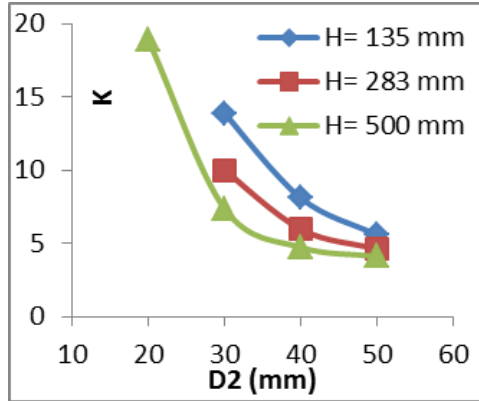


(b)

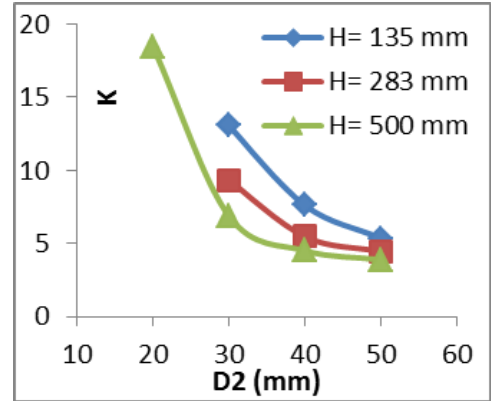
**Grafik 4.18.** 24 x 42 mm<sup>2</sup> için D2-K ilişkisine H etkisi (V: 10 m/s)

(a) D3 : 34 mm,

(b) D3= 42 mm



(a)

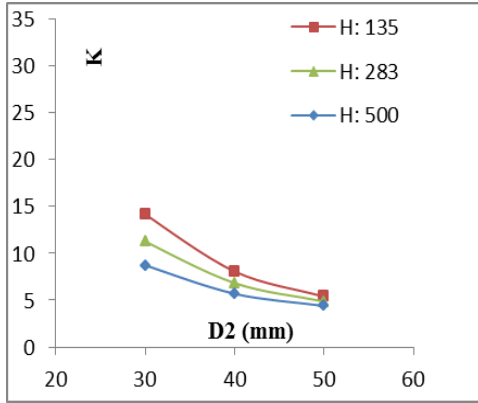


(b)

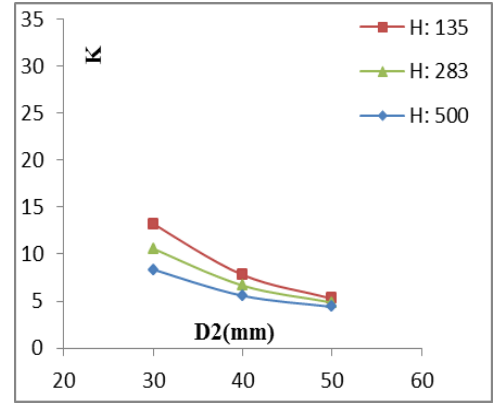
**Grafik 4.19.** 17 x 42 mm<sup>2</sup> için D2-K ilişkisine H etkisi (V: 12 m/s)

(a) D3 : 19 mm

(b) D3= 28 mm



(a)

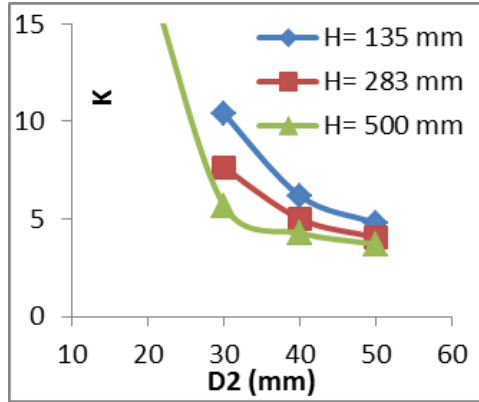


(b)

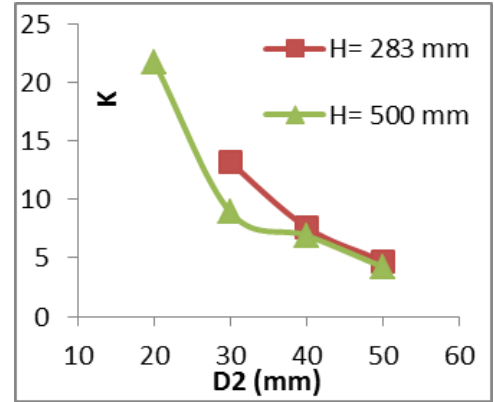
**Grafik 4.20.** 24 x 42 mm<sup>2</sup> için D2-K ilişkisine H etkisi (V: 12 m/s)

(a) D3 : 19 mm

(b) D3= 28 mm



(a)

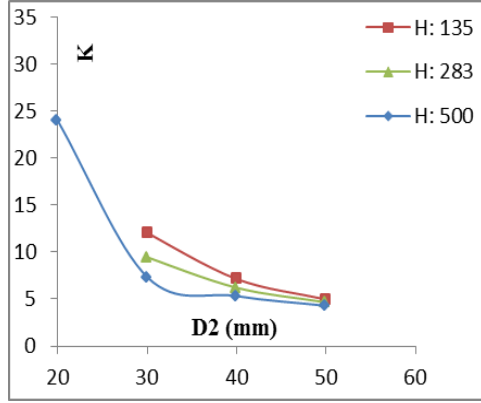


(b)

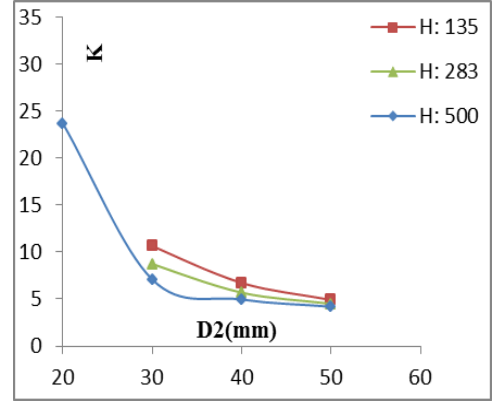
**Grafik 4.21.** 17 x 42 mm<sup>2</sup> için D2-K ilişkisine H etkisi (V: 12 m/s)

(a) D3 : 34 mm

(b) D3= 42 mm



(a)



(b)

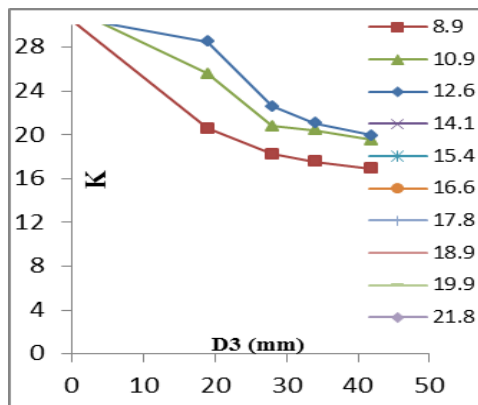
**Grafik 4.22.** 24 x 42 mm<sup>2</sup> için D2-K ilişkisine H etkisi (V: 12 m/s)

(a) D3 : 34 mm

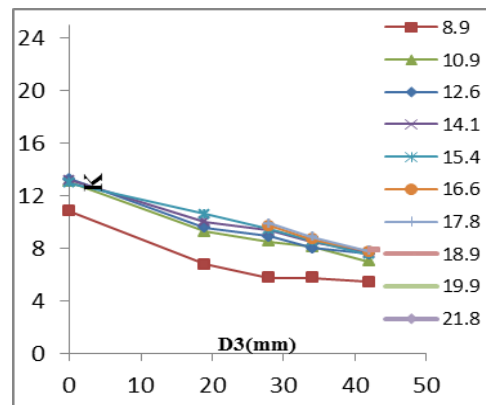
(b) D3= 42 mm

#### 4.3.1.3. Koni Dip Çapının Basınç Kayıp Katsayısına Etkisi

Her iki siklon tipinde de D2 çapının artmasıyla K katsayısı düşmüştür ve bu azalma, küçük D2 çaplarında daha belirgindir. Ayrıca küçük D2 çaplarında, katı gövdedeki artmayla K katsayısındaki azalma yine daha belirgindir. D2= 50 mm için bu azalma oldukça azdır. Düşük hızlarda, yüksek D2 çaplarında ve uzun katı gövde yüksekliklerinde; D3 çapının basınç kaybına etkisi azalmaktadır.



(a)

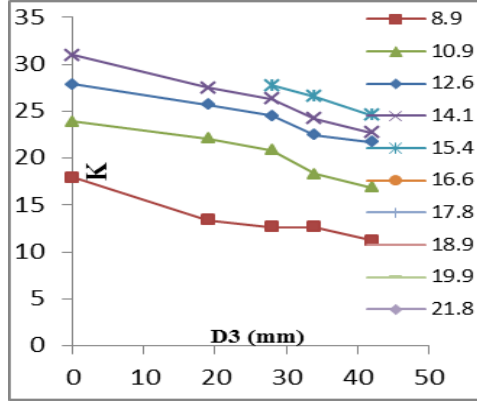


(b)

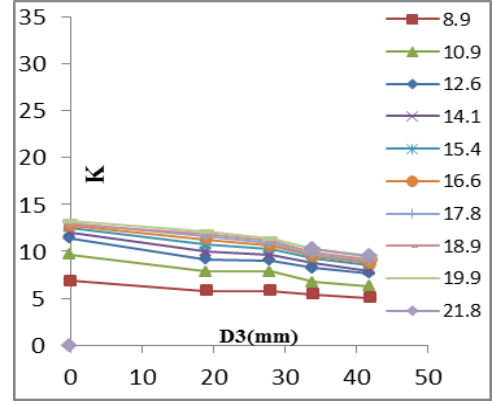
**Grafik 4.23.** H= 283 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için K-D3 Grafiği

(a) D2 = 20 mm

(b) D2= 30 mm



(a)

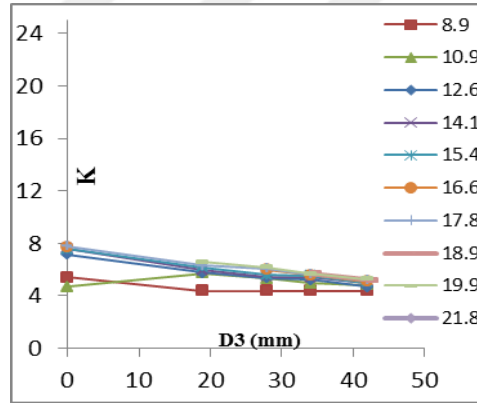


(b)

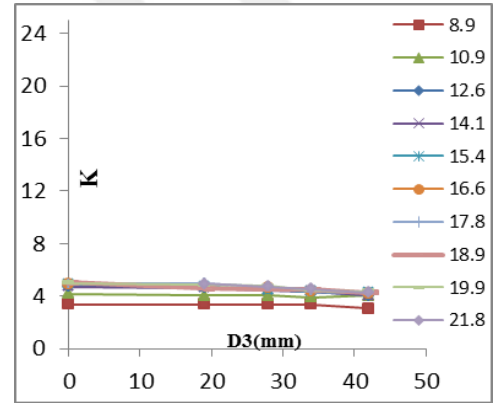
**Grafik 4.24.** H= 283 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için K-D3 Grafiği

(a) D2 = 20 mm

(b) D2= 30 mm



(a)

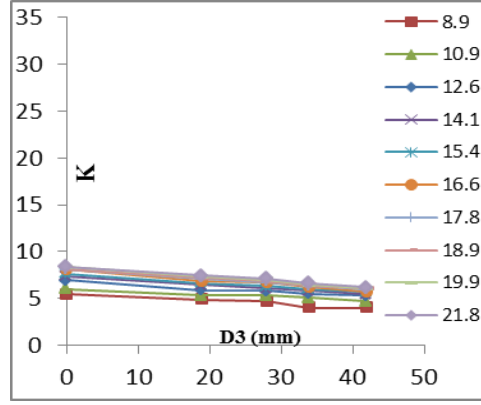


(b)

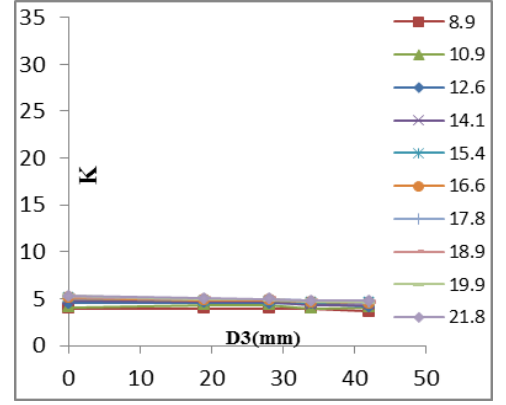
**Grafik 4.25.** H= 283 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için K-D3 Grafiği

(a) D2 = 40 mm

(b) D2= 50 mm



(a)

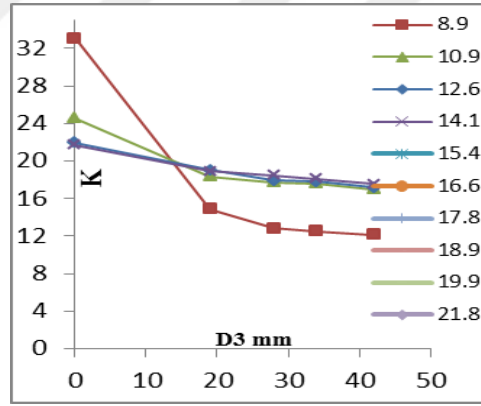


(b)

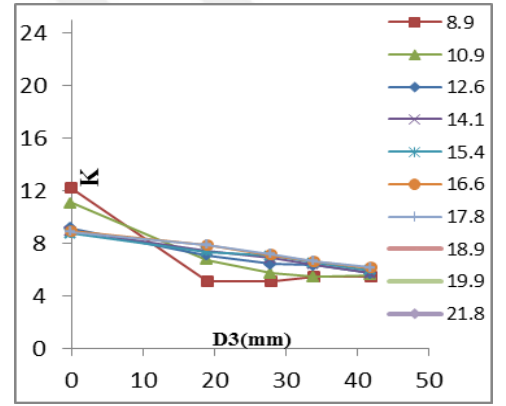
**Grafik 4.26.** H= 283 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için K-D3 Grafiği

(a) D2 = 40 mm

(b) D2= 50 mm



(a)

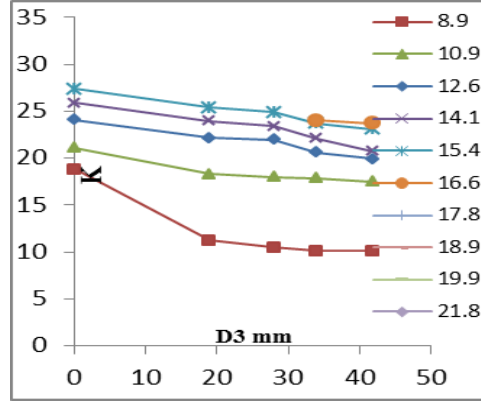


(b)

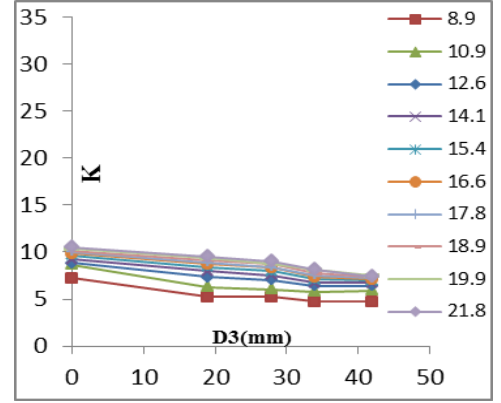
**Grafik 4.27.** H= 500 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için K-D3 Grafiği

(a) D2 = 20 mm

(b) D2= 30 mm



(a)

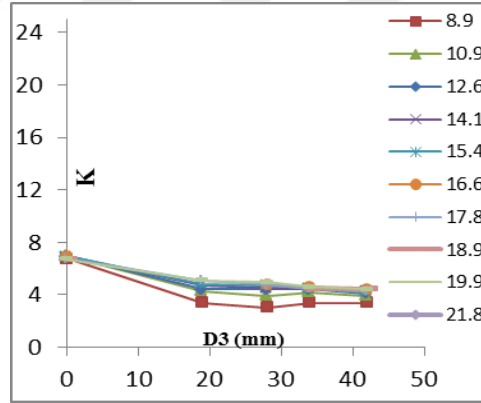


(b)

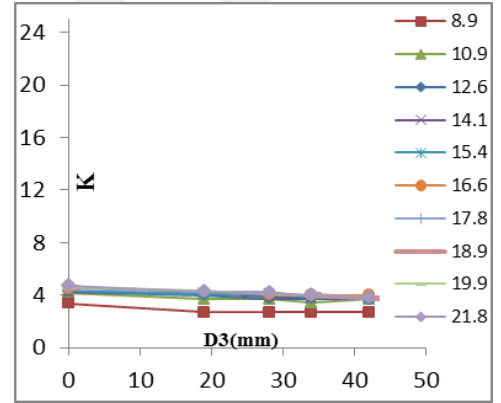
**Grafik 4.28.** H= 500 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için K-D3 Grafiği

(a) D2 = 20 mm,

(b) D2= 30 mm



(a)

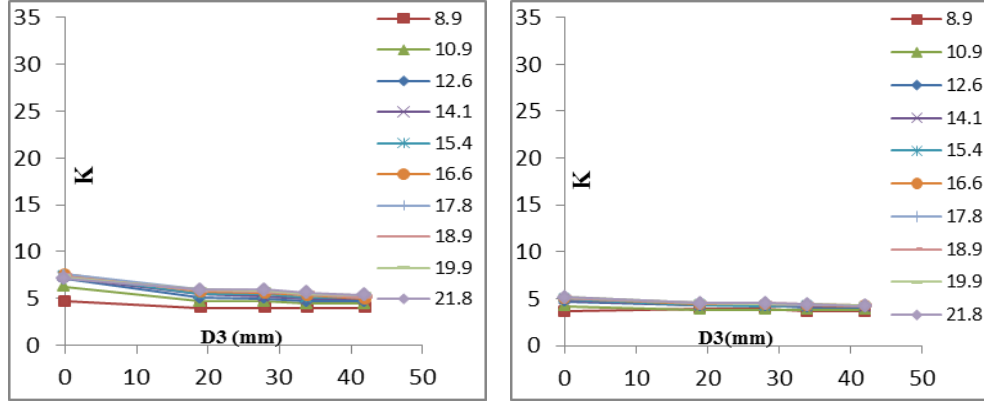


(b)

**Grafik 4.29.** H= 500 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için K-D3 Grafiği

(a) D2 = 40 mm

(b) D2= 50 mm



(a)

(b)

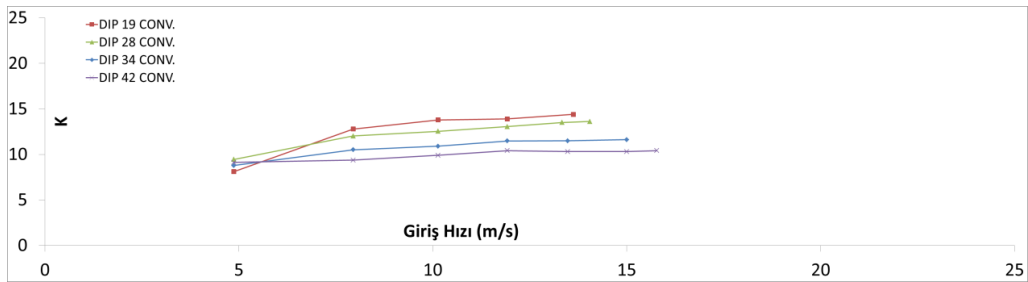
**Grafik 4.30.** H= 500 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için K-D3 Grafiği

(a) D2 = 40 mm,

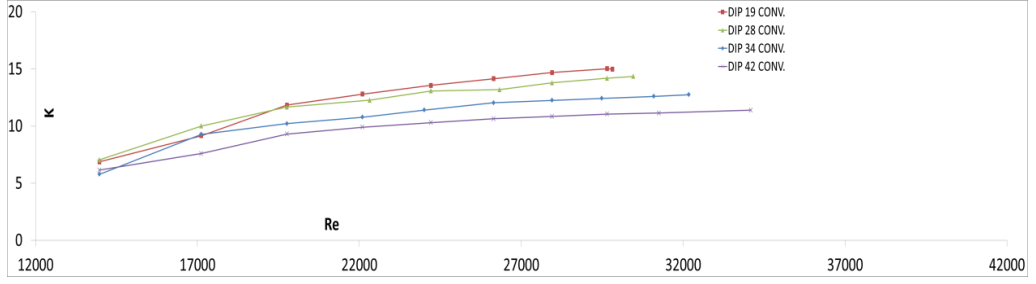
(b) D2= 50 mm

#### 4.3.1.4. Siklona Giriş Hızının Basınç Kayıp Katsayısına Etkisi

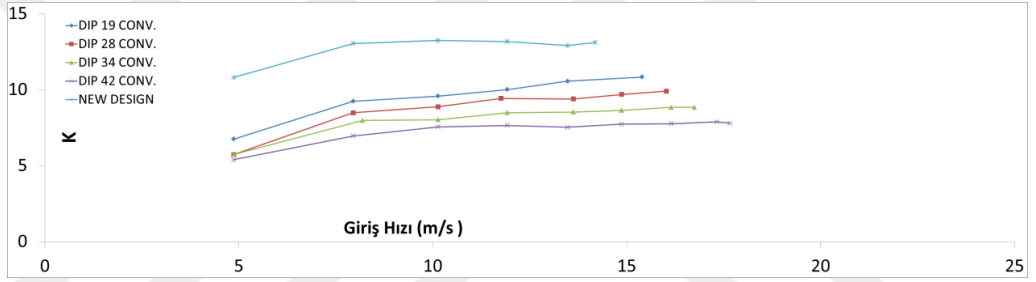
Her iki tip siklonda da giriş hızının artmasıyla K katsayısı belirli bir değere doğru asimptotik olarak artarak yakınsamıştır. Bu artış oranı küçük D2 çapları için daha fazladır. Yüksek D2 çaplarında, özellikle D2= 50 mm için, her iki siklon tipinde de (klasik ve yeni tasarımlı siklonlar) K katsayıları birbirine oldukça yaklaşmaktadır.

**Grafik 4.31.** H= 135 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 30 mm)

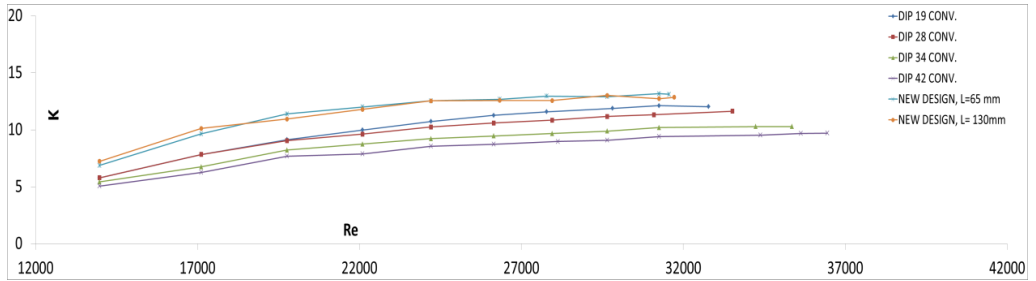




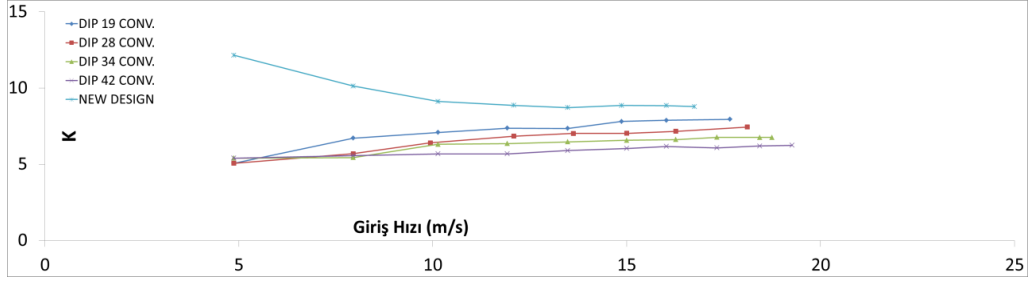
**Grafik 4.32.** H= 135 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için K-Re Grafiği ( D2 = 30 mm)



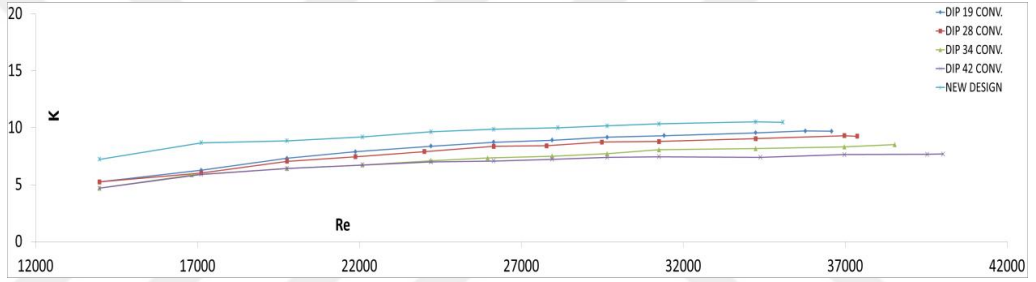
**Grafik 4.33.** H= 283 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 30 mm)



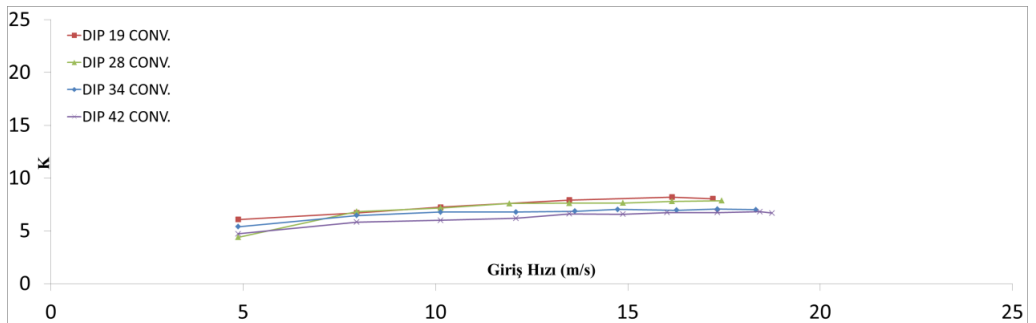
**Grafik 4.34.** H= 283 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için K-Re Grafiği ( D2 = 30 mm)



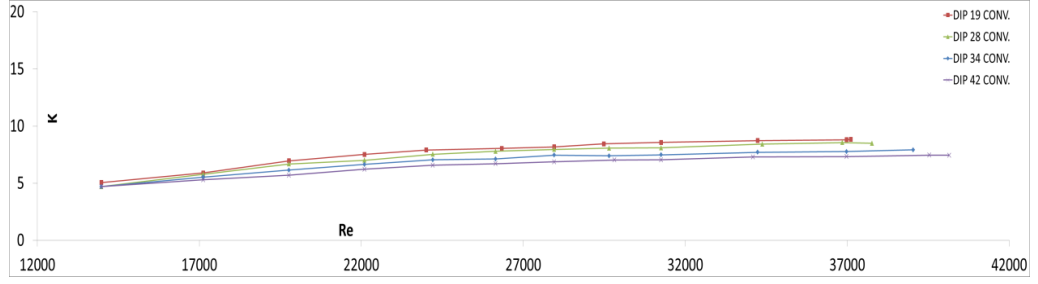
**Grafik 4.35.** H= 500 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 30 mm)



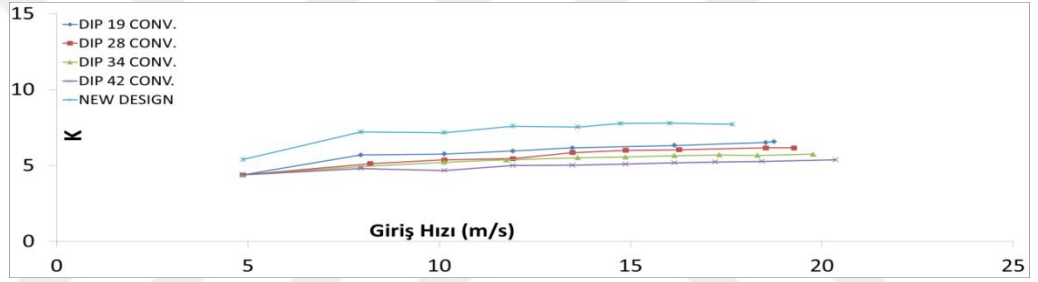
**Grafik 4.36.** H= 500 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için K-Re Grafiği ( D2 = 30 mm)



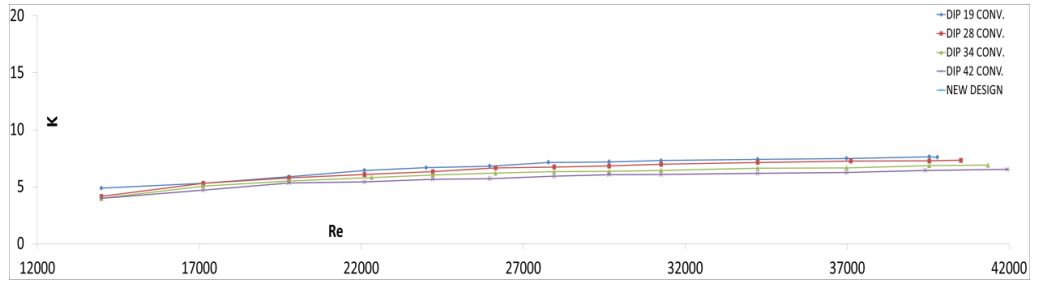
**Grafik 4.37.** H= 135 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 40 mm)



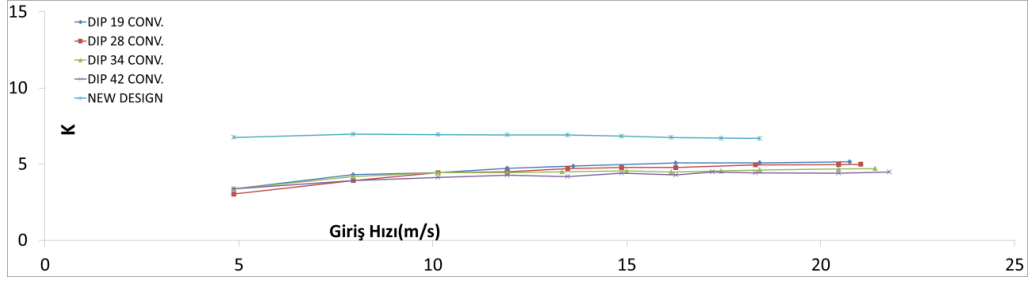
**Grafik 4.38.** H= 135 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için K-Re Grafiği ( D2 = 40 mm)



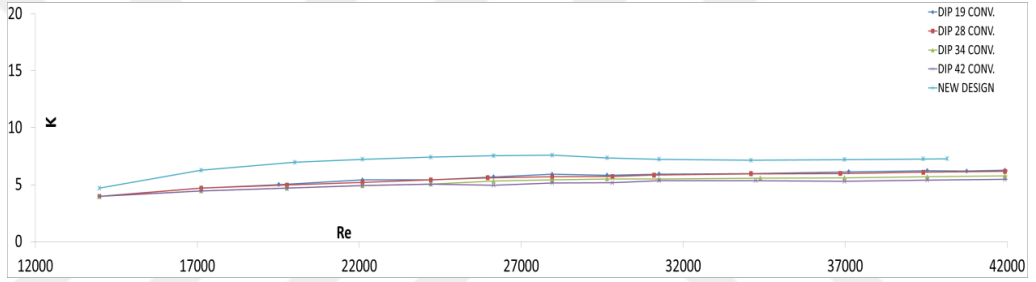
**Grafik 4.39.** H= 283 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 40 mm)



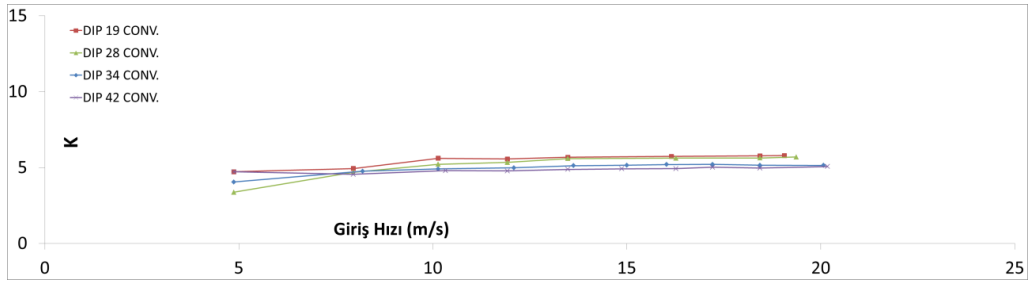
**Grafik 4.40.** H= 283 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için K-Re Grafiği ( D2 = 40 mm)



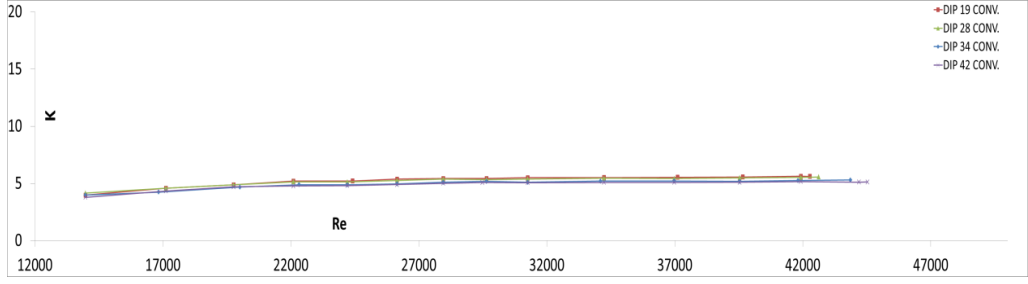
**Grafik 4.41.** H= 500 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 40 mm)



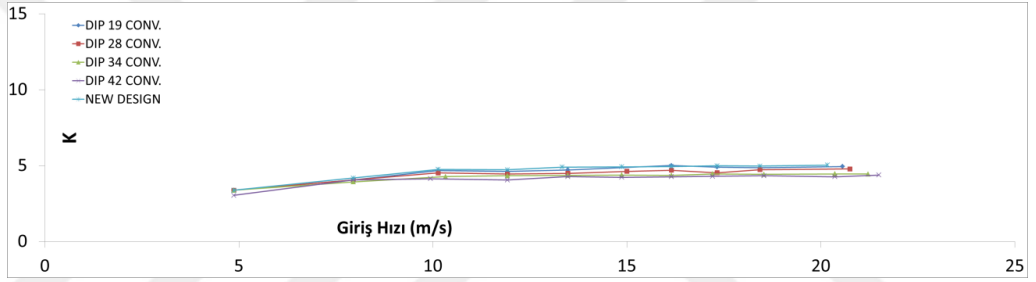
**Grafik 4.42.** H= 500 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için K-Re Grafiği ( D2 = 40 mm)



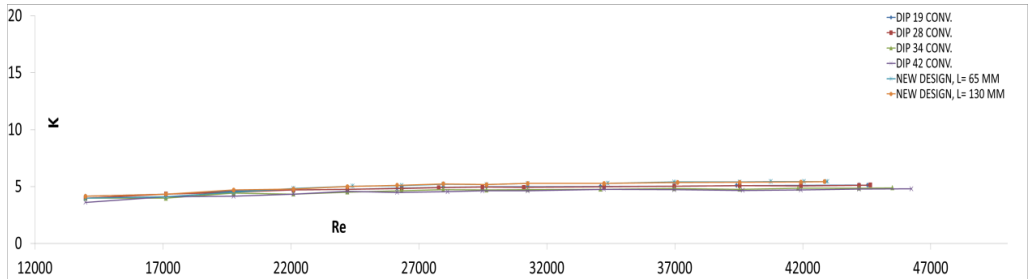
**Grafik 4.43.** H= 135 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için K-Q Grafiği ( D2 = 50 mm)



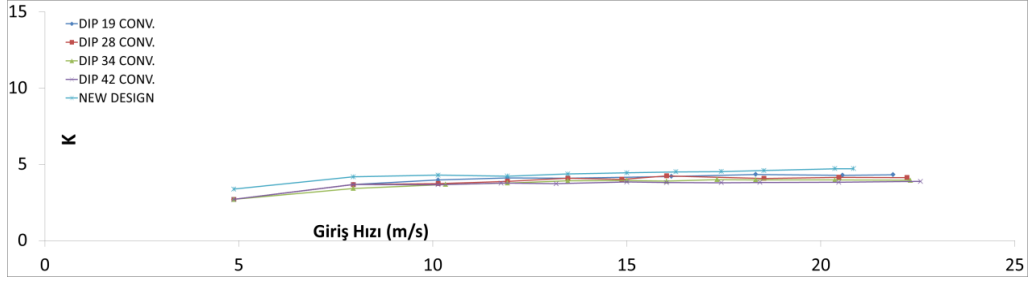
**Grafik 4.44.** H= 135 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için K-Re Grafiği ( D2 = 50 mm)



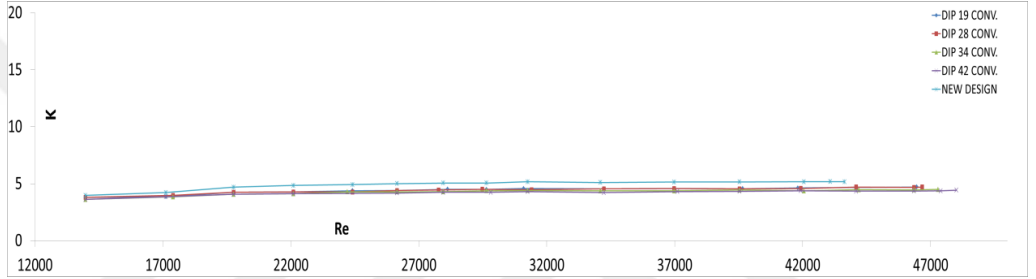
**Grafik 4.45.** H= 283 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 50 mm)



**Grafik 4.46.** H= 283 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için K-Re Grafiği ( D2 = 50 mm)



**Grafik 4.47.** H= 500 mm ve 17 x 42 mm<sup>2</sup> için K-V Grafiği ( D2 = 50 mm)

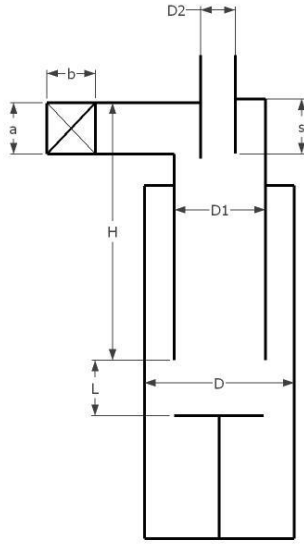


**Grafik 4.48.** H= 500 mm ve 24 x 42 mm<sup>2</sup> için K-Re Grafiği ( D2 = 50 mm)

#### 4.4. DOĞAL VORTEKS UZUNLUĞU İLE İLGİLİ DENEYLER

Fan yardımıyla siklona gönderilen hava, kısılma vanası yardımıyla aşağıda verilen konfigürasyonlar için 22,9 ve 223 m<sup>3</sup>/h debi aralığında ayarlanabilmektedir. Deneyle sabit giriş kesitinde (24x74 mm<sup>2</sup>) yapılmıştır. Herbir katı gövde uzunluğu için (250, 350, 450 mm), 4 farklı çıkış baca çapında (20, 30, 40, 50 mm) ve 4 farklı baca çıkışı dalma derinliğinde (50,74,90 mm) basınç kayıpları kaydedilmiş ve doğal vorteks uzunlukları incelenmiştir. Doğal vorteks uzunluğu (H + L), girdap durdurucu üzerindeki liflerin harekete geçmesi ile tespit edilmiştir. Ayrıca herbir geometrik konfigürasyon farklı giriş hızlarında deneyerek sonuçlar grafikler halinde incelenmiştir.

**Tablo 3.** Siklon Ölçüleri (Doğal vorteks deneyleri için)

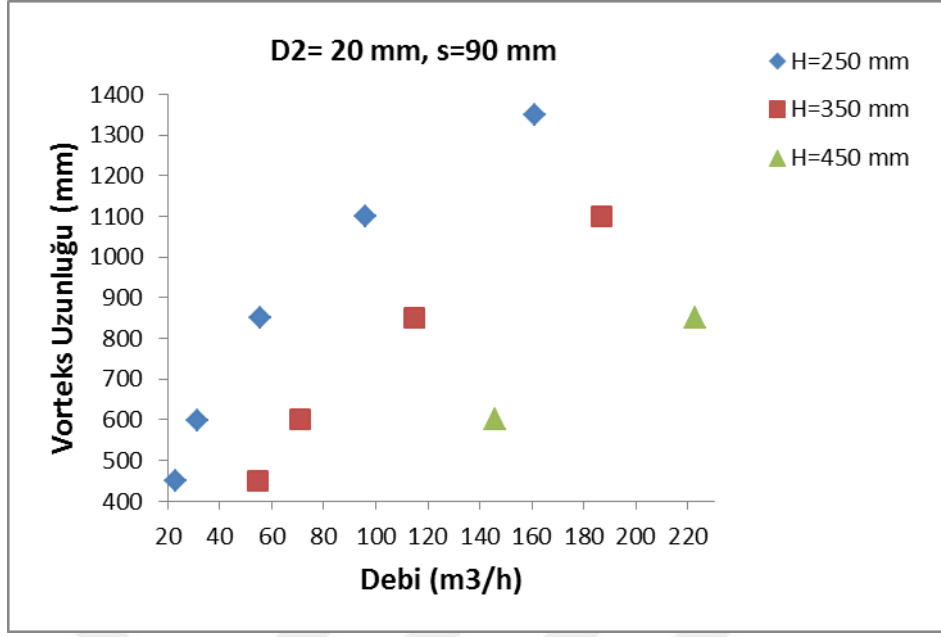


Siklon Ölçüleri	Boyut (mm)
Gövde çapı, D1	80
Çıkış bacası çapları, D2	20,30,40,50
Giriş Kesiti, b x a	24x74
Katı gövde uzunluğu, H	250, 350,450
Çıkış bacası dalma der., S	50, 74, 90

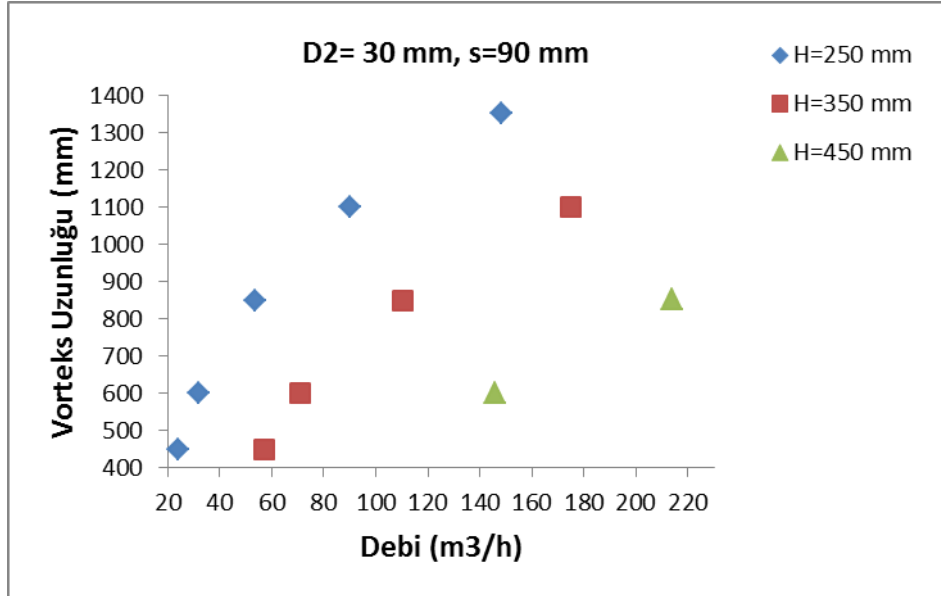
#### 4.4.1 Katı Gövde Yüksekliğinin Doğal Vorteks Uzunluğuna Etkisi

Üç farklı katı gövde yüksekliğinde deneyler yapılmıştır ( $H=250,350,450$  mm). Geometrik kısıtlamadan ve debi çalışma aralığından dolayı katı gövde ve girdap durdurucu arası minimum mesafe yaklaşık 200 mm'dir. Grafik 49'dan görüldüğü gibi aynı debi değerlerinde katı gövde yüksekliği arttıkça vorteks uzunluğu azalmıştır. Tüm deneylerde debi arttıkça vorteks uzunluğu da artmıştır.  $H = 250$  mm ve  $D2 = 20$  mm için vorteks uzunluğu en yüksek değerine yaklaşık  $161 \text{ m}^3/\text{h}$  debi değerinde ulaşmıştır.  $H = 350$  ve  $450$  mm için yüksek basınç kaybı ve yüzey sürtünme etkisinden dolayı, aynı vorteks uzunluğuna ulaşacak yüksek debiye çıkılamamıştır.

$D2 = 30$  mm için 850 mm vorteks uzunluğu;  $H = 250$  mm için  $55,8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 350$  mm için  $115 \text{ m}^3/\text{h}$  ve  $H = 450$  mm içinse  $223 \text{ m}^3/\text{h}$  debi değerinde elde edilmiştir. Bu sonuçlardan görüldüğü üzere, katı gövde uzunluğunun artmasıyla sürtünme kuvveti de artmakta ve aynı vorteks uzunluğunu elde etmek için daha yüksek debi değerleri gerekmektedir.

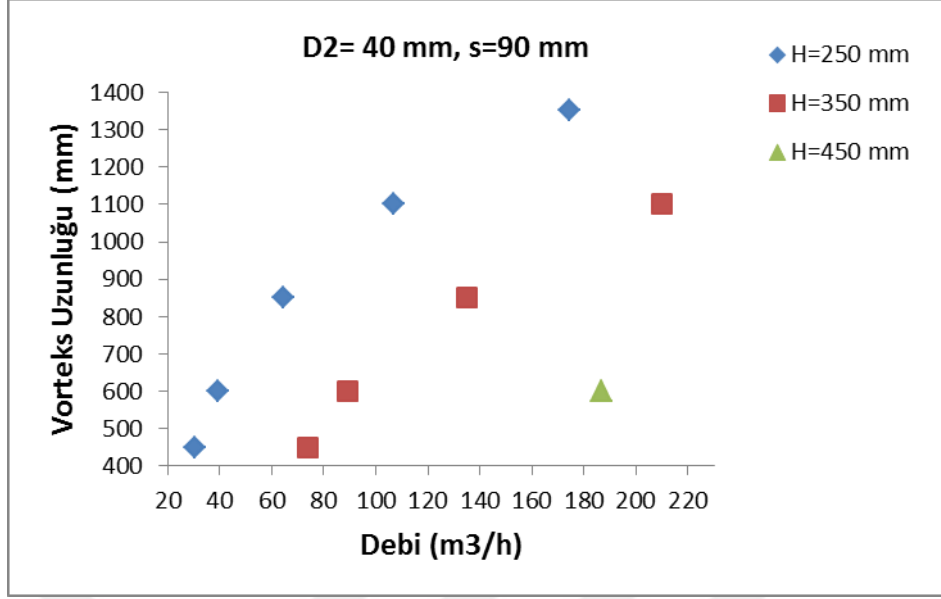


**Grafik 4.49.**  $L_v - Q$  ilişkisine H etkisi (  $D_2=20$  mm,  $s=90$  mm)



**Grafik 4.50.**  $L_v - Q$  ilişkisine H etkisi (  $D_2=20$  mm,  $s=90$  mm)





**Grafik 4.51.**  $L_v - Q$  ilişkisine H etkisi (  $D_2=20$  mm,  $s=90$  mm)

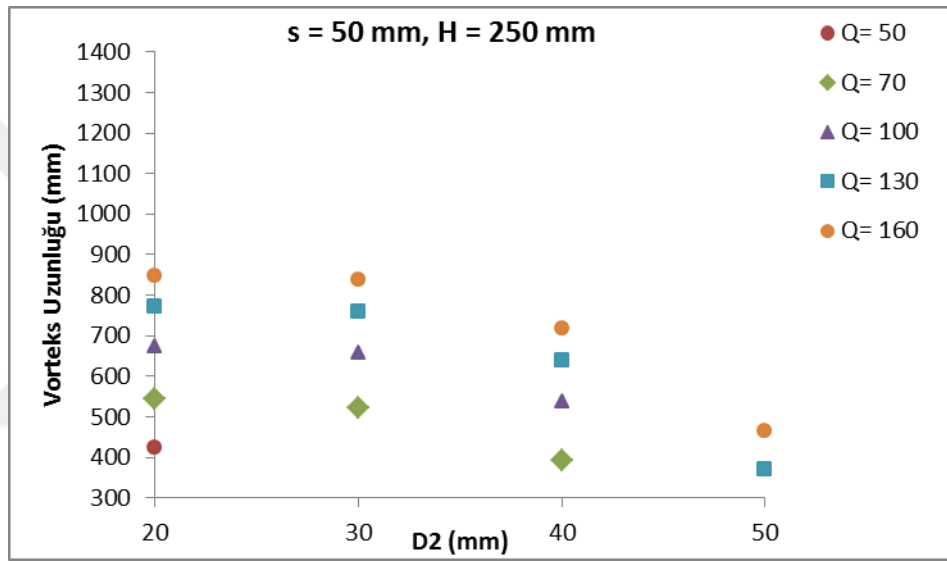
#### 4.4.2. Çıkış Baca Çapının Doğal Vorteks Uzunluğuna Etkisi

Deneylerde 4 farklı çıkış baca çapı kullanılmıştır ( $D_2= 20,30,40,50$  mm). Grafiklerden de görüldüğü üzere çıkış baca çapı azaldıkça vorteks uzunluğu beklenildiği gibi genellikle artmıştır.

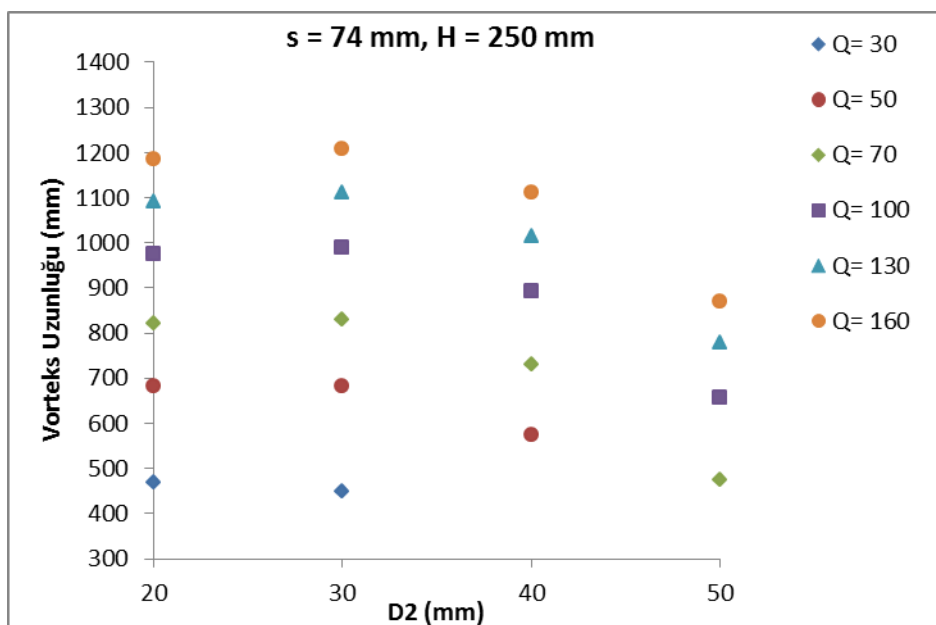
Yüksek debilerde,  $H=250$  mm ve  $s= 50$  mm yüksekliğinde iken 20 mm ve 30 mm çıkış çaplarında elde edilen vorteks uzunlukları yaklaşık aynı değerlerdedir. Çıkış çapı 30 mm değerini geçtikten sonra vorteks uzunluğu azalma eğilimindedir. Ancak  $H=250$  mm için  $s=74$  ve  $s=90$  mm değerlerinin her ikisinde de baca çıkışı 30 mm'den 40 mm'ye değiştiğinde, vorteks uzunluğunda gözle görülür bir azalma vardır. Bu azalma eğilimi yüksek debi değerlerinde daha belirgindir. Ayrıca, bu artış oranı  $s=90$ 'da,  $s= 74$ 'e göre daha fazladır (Grafik 4.52).

Yine  $s=74$  ve 90 mm dalma derinliğinin her ikisinde de  $D_2$  çapı 30 mm'yi aştığında vorteks uzunluğu azalmaya başlamıştır. Bu azalma oranı, büyük  $D_2$  çaplarında daha belirgindir. (Grafik 4.53 ve 4.54).

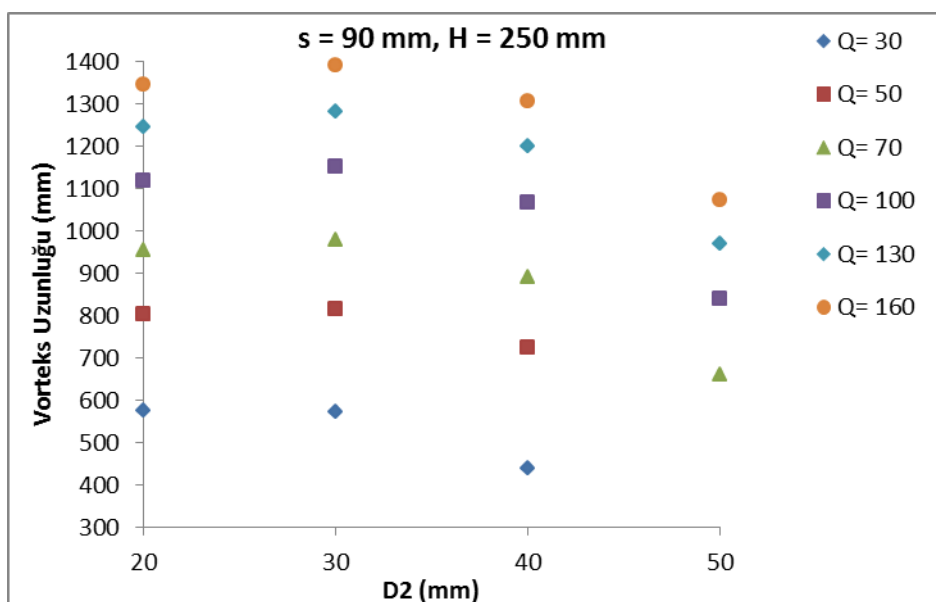
H= 350 mm için durum H=250'ye göre bir farklılık vardır. Şöyle ki, s=50 mm değerinde iken vorteks uzunluğu D2= 20 mm'den 30 mm'ye geçişte iken azalmaktadır. H= 350 mm için s= 74 ve 90 mm durumu H=250 mm ile benzer artma eğilimi göstermektedir. Ancak bu artış oranı H=250 mm'de H=350 mm'ye göre daha fazladır. Ayrıca D2'nin 30 mm'den büyük olduğu durumlarda, vorteks uzunluğunun azalma eğilimi ise H= 350 mm için H=250 mm'ye göre daha fazladır (Grafik 4.55 ve 4.56).



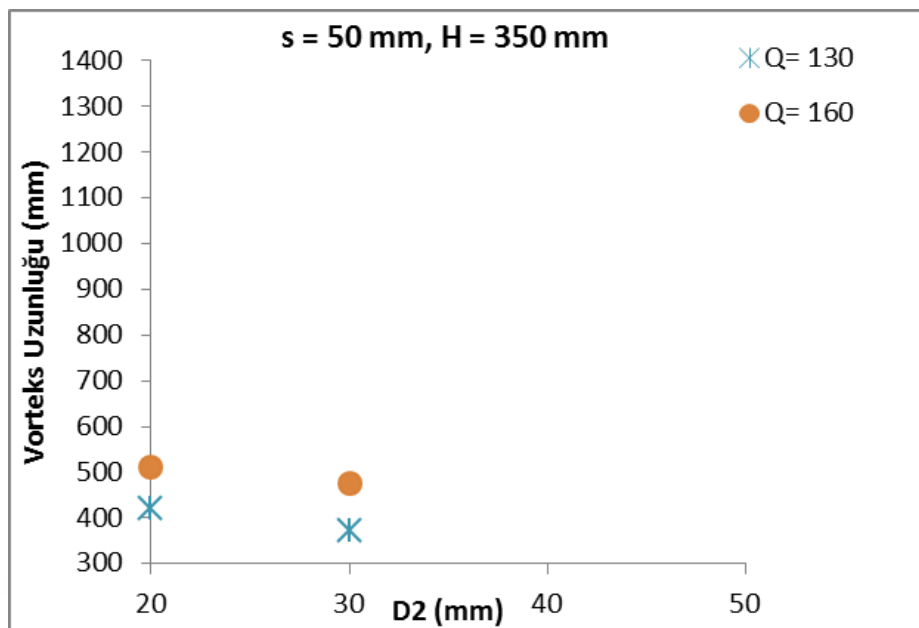
**Grafik 4.52.**  $L_v - D_2$  grafiği (  $H=250$  mm,  $s=50$  mm)



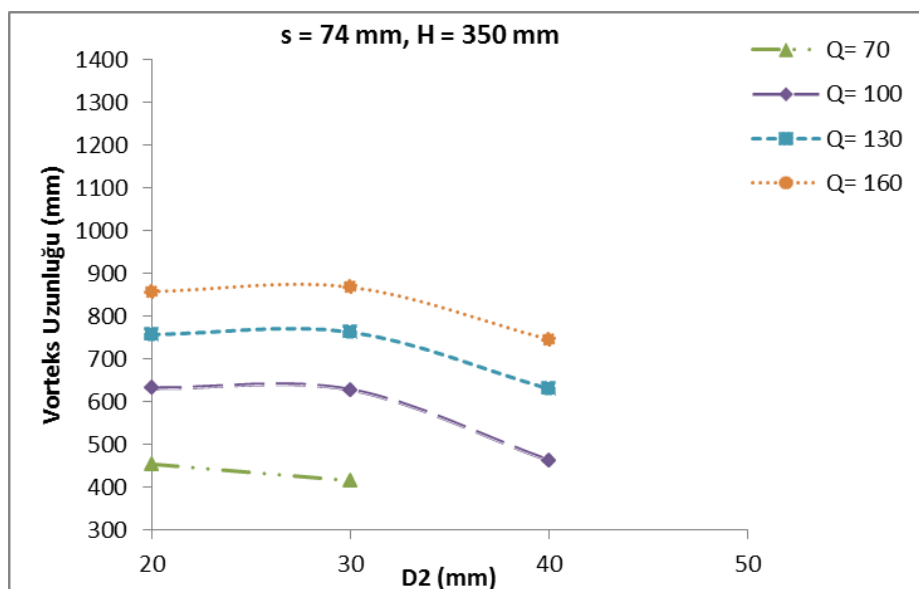
**Grafik 4.53.**  $L_v$  – D2 grafiği ( H=250 mm, s=74 mm)



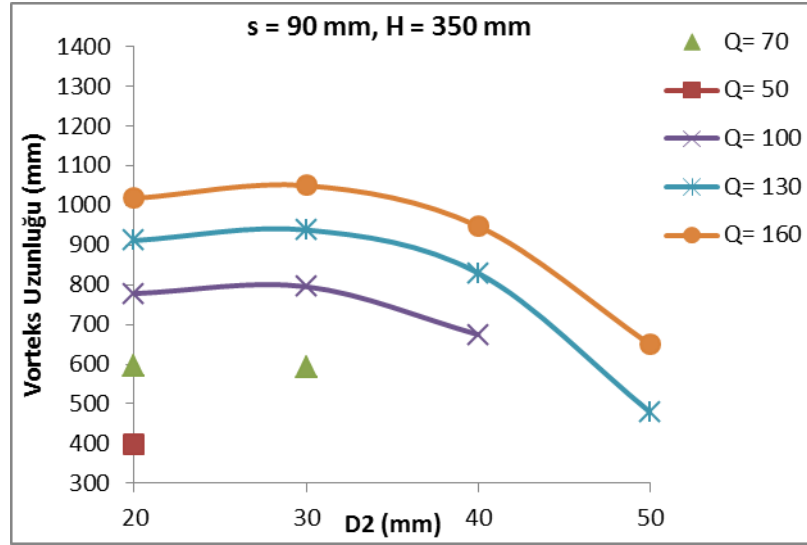
**Grafik 4.54.**  $L_v$  – D2 grafiği ( H=250 mm, s=90 mm)



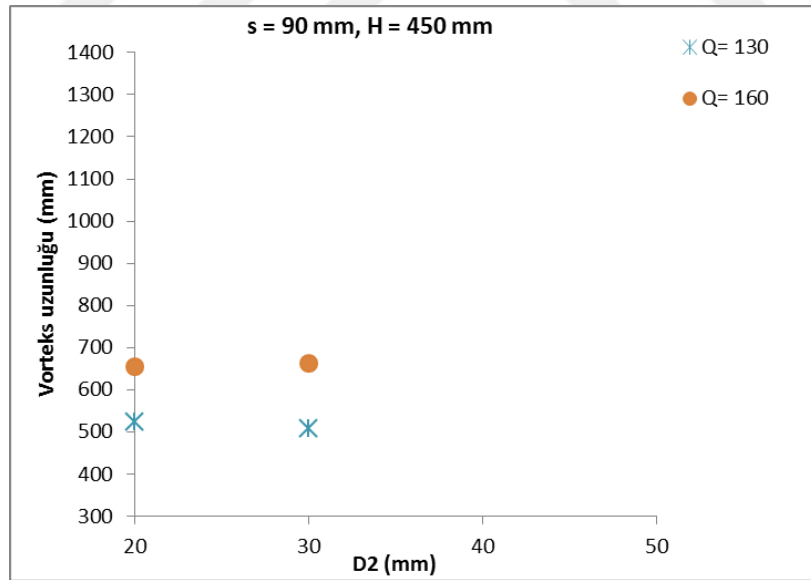
**Grafik 4.55.**  $L_v - D_2$  grafiği (  $H=350$  mm,  $s=50$  mm)



**Grafik 4.56.**  $L_v - D_2$  grafiği (  $H=350$  mm,  $s=74$  mm)



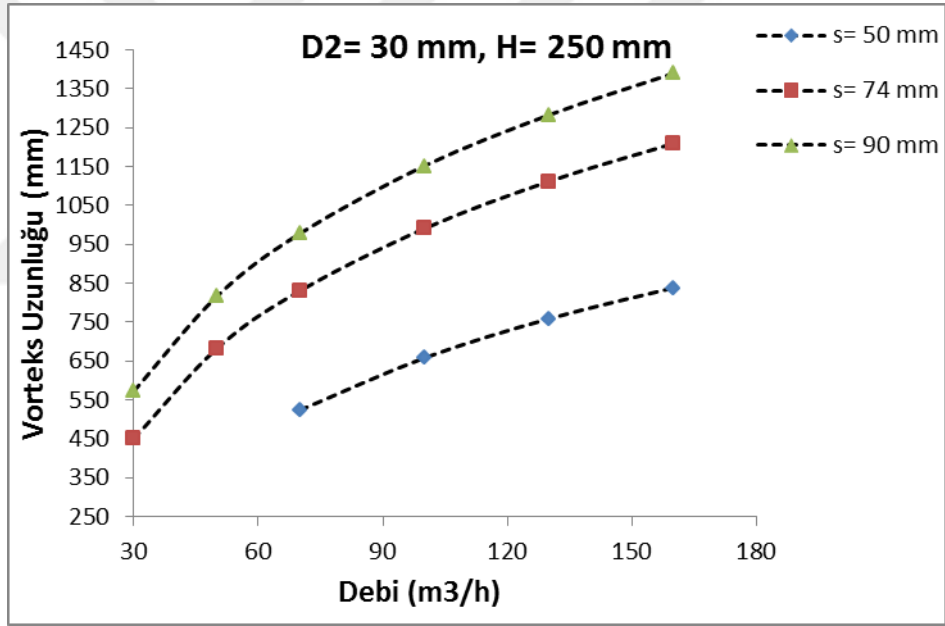
**Grafik 4.57.**  $L_v - D_2$  grafiği (  $H=350$  mm,  $s=90$  mm)



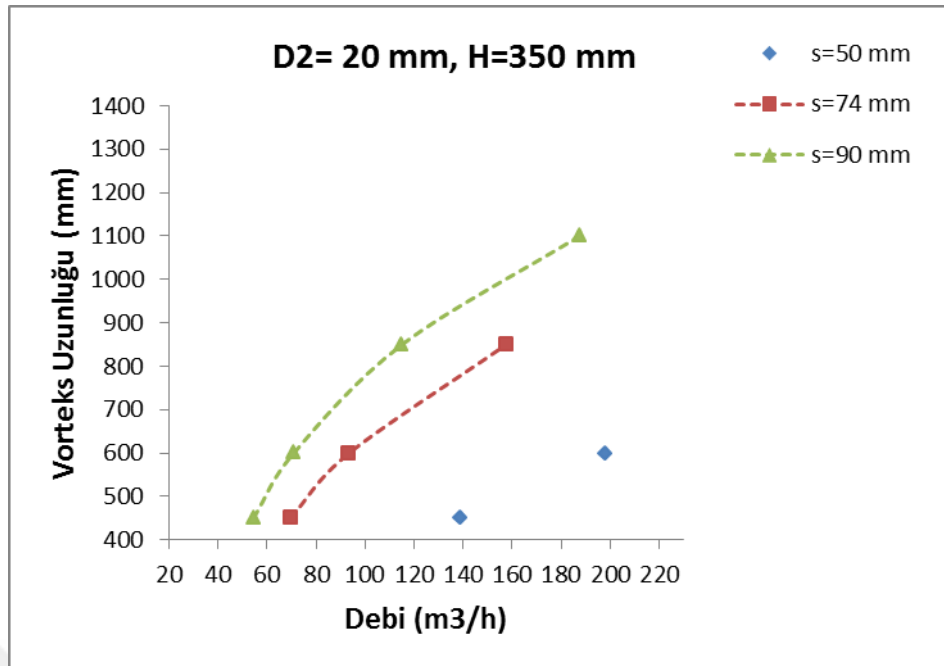
**Grafik 4.58.**  $L_v - D_2$  grafiği (  $H=450$  mm,  $s=90$  mm)

#### 4.4.3. Çıkış Bacası Dalma Derinliğinin Vorteks Uzunluğuna Etkisi

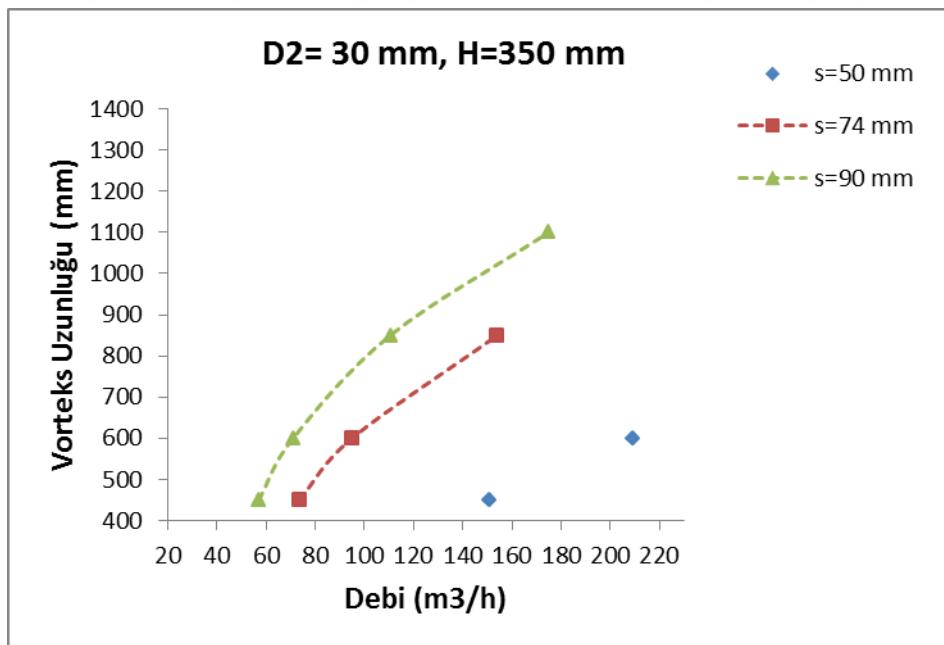
Grafik 4.59'dan da görüldüğü gibi çıkış bacası dalma derinliği arttıkça, vorteks uzunluğu da artmaktadır. Bu artış eğilimi yüksek debi değerlerinde daha belirgindir. Aynı vorteks uzunluğunu elde etmek için aynı şartlar söz konusu olduğunda, yüksek dalma derinliği için daha düşük debi gerekli olmaktadır. Fakat bu gerekli debi oranı çıkış bacası çapına göre farklılık arz etmektedir. Sonuçlar aşağıda grafikler halinde verilmiştir.



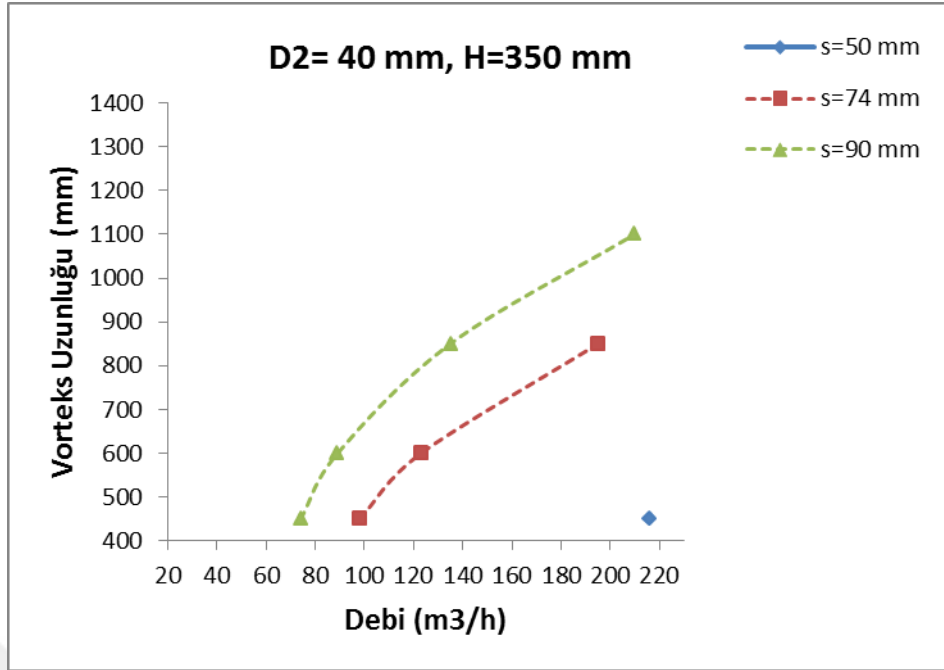
Grafik 4.59.  $L_v - Q$  grafiği (  $H=250$  mm,  $D_2=30$  mm)



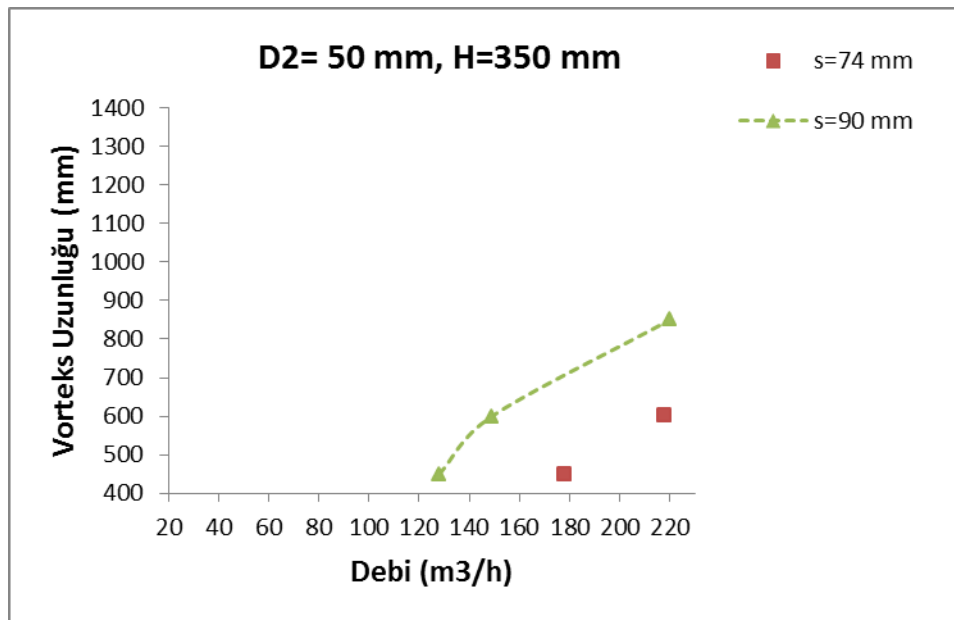
**Grafik 4.60.**  $L_v - Q$  grafiği (  $H=350$  mm,  $D2=20$  mm)



**Grafik 4.61.**  $L_v - Q$  grafiği (  $H=350$  mm,  $D2=30$  mm)



**Grafik 4.62.**  $L_v - Q$  grafiği ( H=350 mm, D2=40 mm)

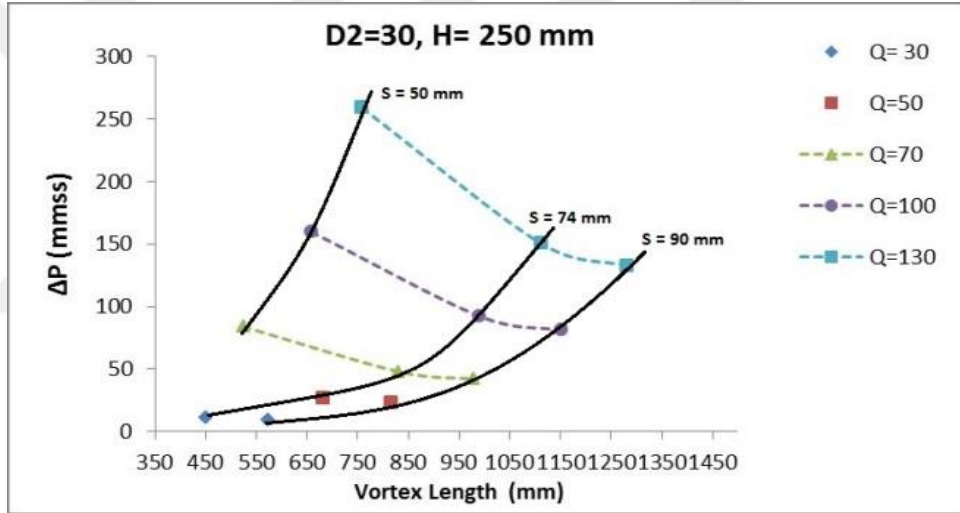


**Grafik 4.63.**  $L_v - Q$  grafiği ( H=350 mm, D2=50 mm)

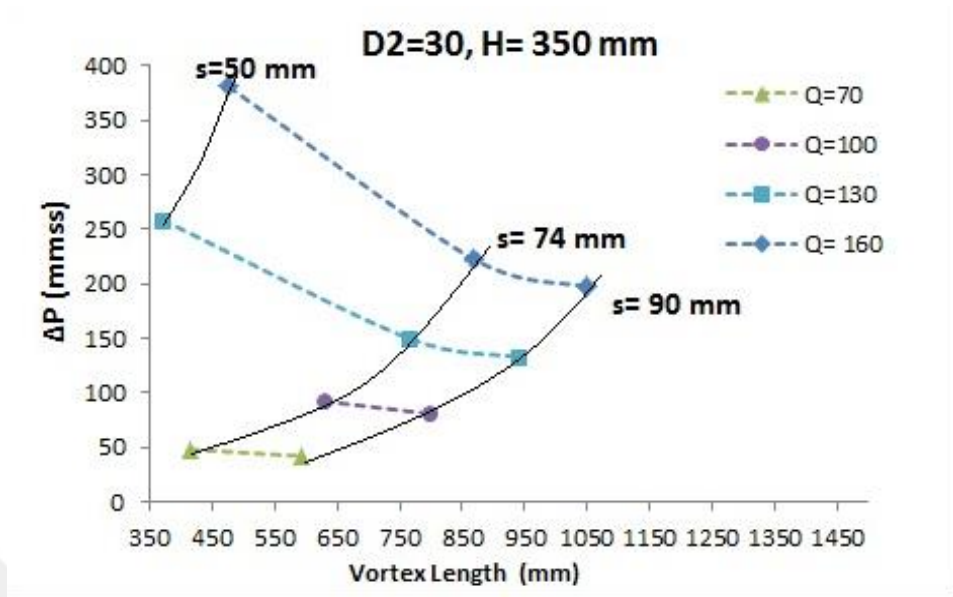


#### 4.4.4. Basınç Kaybı – Vorteks Uzunluğu Grafiği

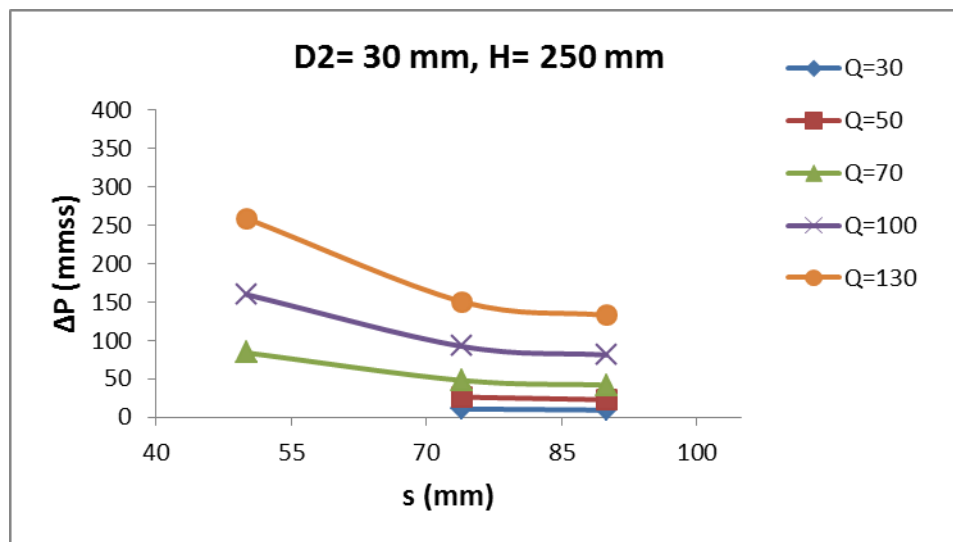
Grafik 4.64'den de görüldüğü üzere belirli bir debi ve katı gövde yükseklik değeri için, çıkış bacası dalma derinliği arttıkça siklondaki basınç kaybı azalmıştır. Bu azalma oranı yüksek debilerde daha büyük değerlerdedir. Çıkış bacası dalma derinliğinin basınç kaybı üzerindeki etkisi ise düşük debilerde daha azdır. Ayrıca belirli bir dalma derinliği için debi değeri arttıkça siklondaki basınç kayıp değeri de artmaktadır. Bu basınç artış oranı, çıkış bacası dalma derinliği azaldıkça daha yüksektir.



Grafik 4.64.  $\Delta P - L_v$  grafiği ( H=250 mm, D2=30 mm)



**Grafik 4.65.**  $\Delta P - L_v$  grafiği ( H=350 mm, D2=30 mm)



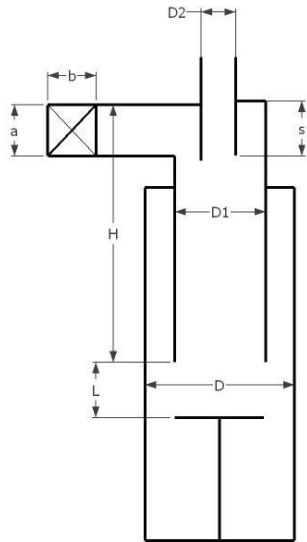
**Grafik 4.66.**  $\Delta P - S$  grafiği ( H=250 mm, D2=30 mm)

#### 4.5. VERİM DENEYLERİ

Belirli bir baca çıkışı için ( $D_2=30$  mm) , üç farklı yüzey pürüzlülük durumunda (pürüzsüz, orta pürüzlü, yüksek pürüzlü) ve belirli giriş hızında ayrıca 3 farklı katı gövde boylarında ( $H_1 : 290$ ,  $H_2 : 435$ ,  $H_3 : 580$  mm) deneyler yapılmıştır. Her bir katı gövde için girdap durdurucu mesafesi ( $L$ ), 100'er mm aşağıya indirilerek deneyler tekrarlanmıştır ( $L_1=100$ ,  $L_2=200$ ,  $L_3=300$ ,  $L_4= 400$ ,  $L_5=500$ ,  $L_6=600$  mm). Pürüzlülük için piyasada yaygın halde bulunan zımpara kağıtları kullanılmıştır. Öyle ki orta pürüzlülük için P100 numara ve yüksek pürüzlülük içinse P40 numaralı kağıtlarla yüzeyler kaplanmıştır.

Toz tutma verimi için siklona verilen kalsit tozunun ağırlığı ile deneyden sonra toz kutusunda tutulan kalsit tozunun ağırlık oranı kullanılmıştır. Ayrıca bu genel verimin yanısıra, MASTER SIZER2000 modellenli partikül analiz cihazından elde edilen deneylerdeki toz analiz sonuçlarına göre fraksiyonel verim eğrileri de ortaya konarak her partikül için o çalışma şartları ve geometrik özelliklerdeki verim değerleri de ortaya konmuştur. Yine analiz sonuçlarından ve genel verimden faydalanarak kesirsel verim aralıkları ile kritik partikül çapları da elde edilmiştir.

**Tablo 4.** Siklon Ölçüleri (Tozlu deneyler için)



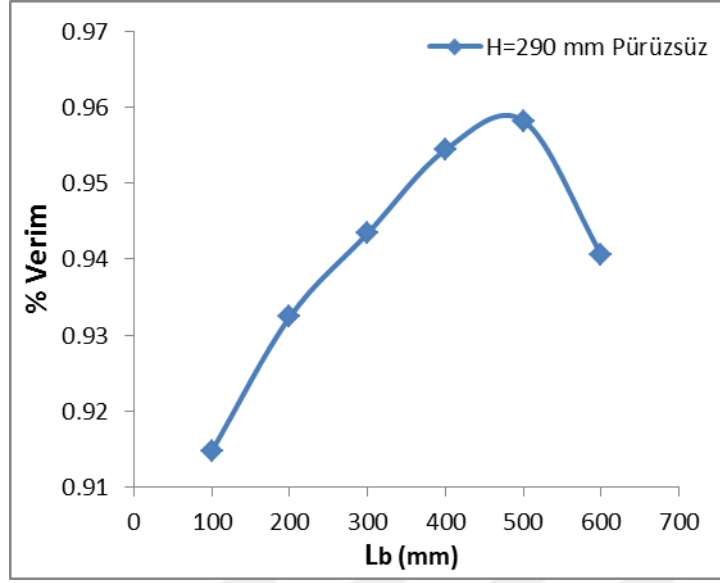
Siklon Ölçüleri	Boyut (mm)
Gövde çapı, $D_1$	80
Çıkış bacası çapı , $D_2$	30
Giriş Kesiti, $b \times a$	16x74
Katı gövde uzunluğu, $H$	290,435, 580
Çıkış bacası dalma der., $S$	80



**Şekil 21.** Tozlu Deney Sonrası Girdap Durdurucunun Görünümleri

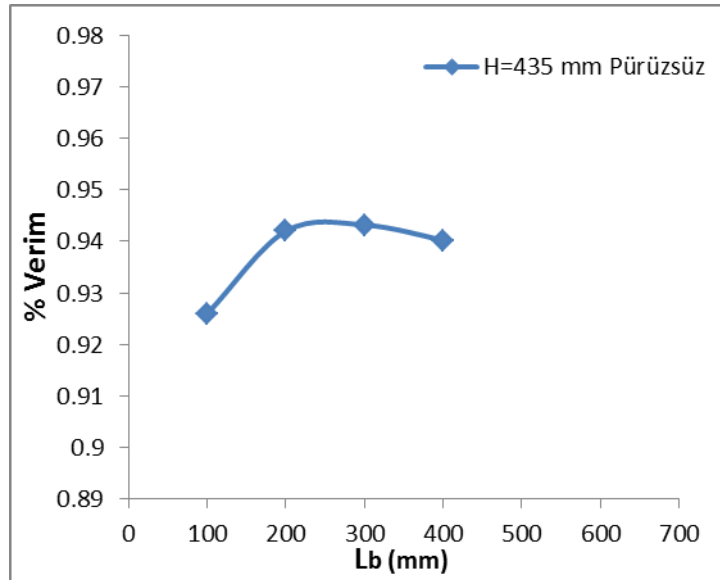
#### **4.5.1. Girdap Durdurucu Yüksekliğinin Siklon Toplama Verimine Etkisi**

H= 290 mm için pürüzsüz yüzeyle deneylerde, L1 den L5'e kadar verimde sürekli bir artış olmakta fakat L6 ya geçildiğinde girdap siklon boyunu tamamlamadan geri döndüğü için verim düşmektedir (Grafik 4.67). Aynı katı gövde yüksekliğinde (H= 290 mm) vorteksin temas ettiği yüzey pürüzlülüğü arttıkça verimde maksimum değere ulaşma daha erken gerçekleşmektedir. Orta pürüzlülük değerinde L4 e kadar verimde artış devam ederken, yüksek pürüzlülük değeriyle yapılan deneylerde bu artış ancak L2'ye kadar devam etmektedir. Bu değerlerden sonra verimde yeniden azalma eğilimi meydana gelmektedir.



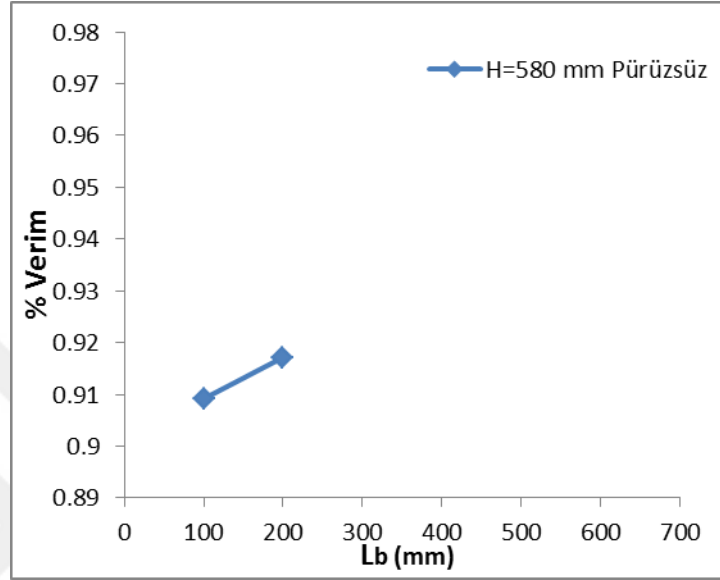
**Grafik 4.67.** H1 için  $L_b$  – Verim grafiği ( Pürüzsüz Yüzey)

H= 435 mm için orta pürüzlülükteki deneylerde verimdeki yükseliş L2 ye kadar devam ederken, yüksek pürüzlülüğe geçildiğinde L1 den sonra sürekli bir azalma meydana gelmektedir.



**Grafik 4.68.** H2 için  $L_b$  – Verim grafiği ( Pürüzsüz Yüzey)

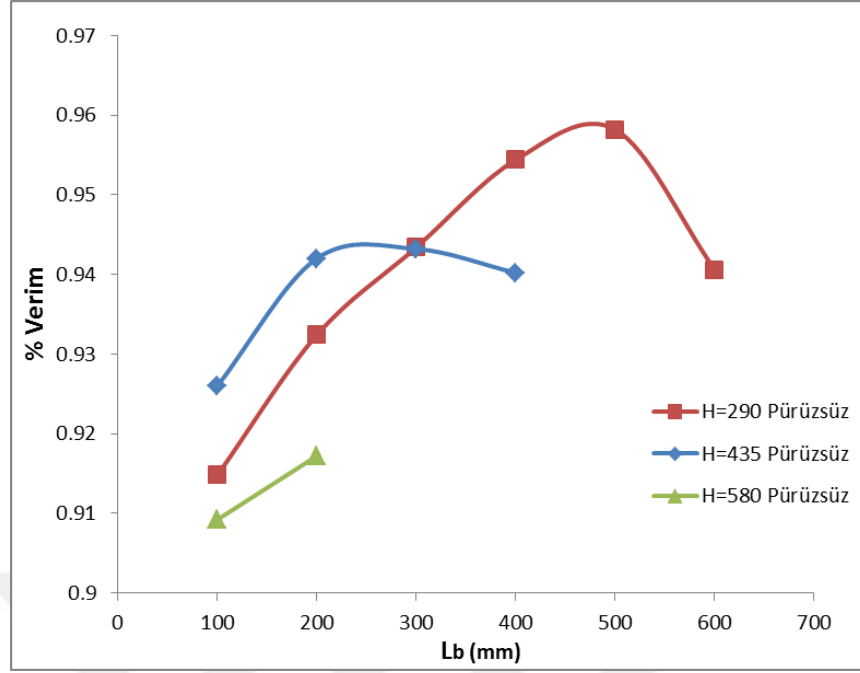
H= 580 mm için pürüzsüz yüzeyle deneylerde L1 den L2 ye geçerken verimde artış olurken, hem orta hem de yüksek pürüzlülükteki deneylerde verimde azalma gözlenmiştir. Yüksek pürüzlülükteki deneylerde verimdeki azalma daha belirgindir.



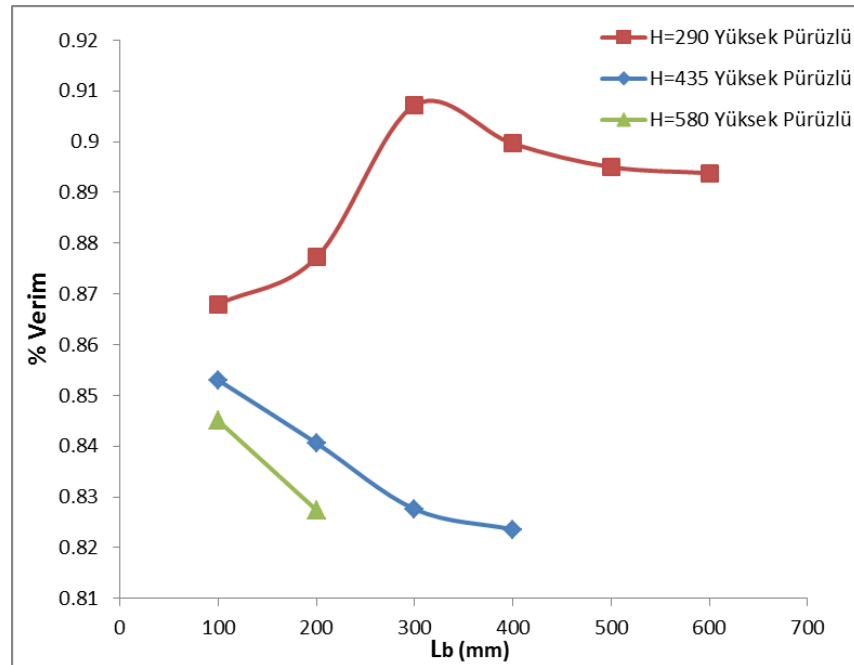
**Grafik 4.69.** H3 için  $L_b$  – Verim grafiği ( Pürüzsüz Yüzey)

Deney sonuçlarından da görüleceği üzere verim için belirli bir maksimum değer vardır. Belirli bir katı gövde yüksekliği için girdap durdurucunun konumuna göre bu değere ulaşılabilir. Uzun katı gövde boylarında bu değere daha kısa girdap durdurucu mesafelerinde ulaşılmaktadır. Deney sonuçlarına göre siklon boyunu çok fazla uzatmak değil en verimli şekilde kullanmak gerektiği görülmüştür. Bu da siklonda optimizasyon ile mümkündür.

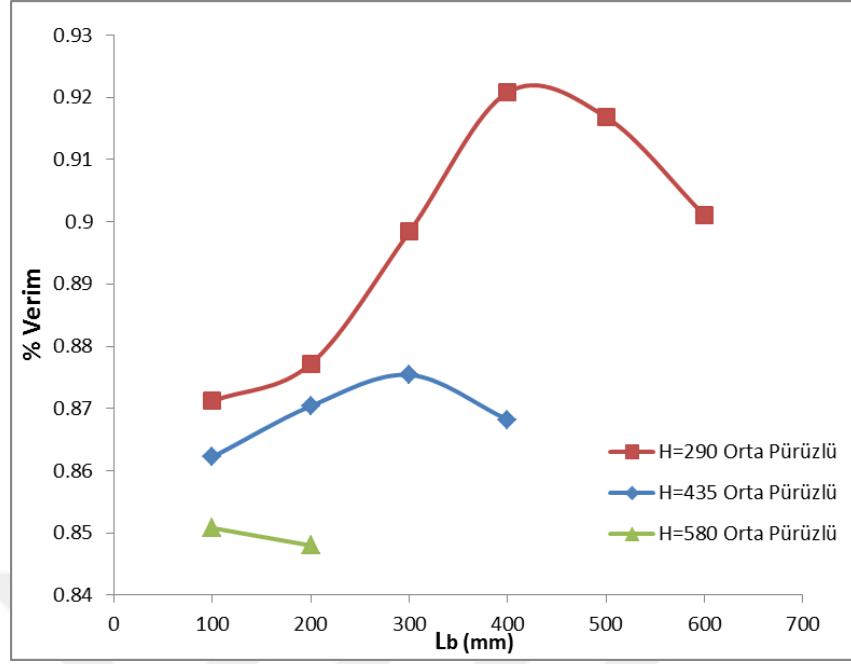
Grafik 4.70'te de görüldüğü gibi pürüzsüz yüzeyle deneylerde verim değeri en yüksek H= 290 mm ve L5 de gerçekleşmektedir. Ayrıca L3 den sonra katı gövde yüksekliğini artırmak uygun gözükmemektedir.



**Grafik 4.70.** Toplu  $L_b$  – Verim grafikleri ( Pürüzsüz Yüzey)



**Grafik 4.71.** Toplu  $L_b$  – Verim grafikleri ( Yüksek Pürüzlü Yüzey)



**Grafik 4.72.** Toplu  $L_b$  – Verim grafikleri ( Orta Pürüzlü Yüzey)

#### 4.5.2. Katı Gövde Yüksekliğinin Siklon Toplama Verimine Etkisi

Aşağıdaki grafiklerden görüleceği gibi pürüzsüz yüzeyli deneylerde katı gövde boyunun artması ile verimde bir miktar artış sağlanmış, katı gövdenin daha da arttırılması ile verimde düşme olduğu gözlenmiştir. Bu durum katı gövdenin yani sürtünme yüzeyinin arttırılması ile girdaptaki teğetsel hızın düşmesine bağlı olarak girdabın siklon uzunluğuna kadar ulaşıp ulaşmaması ile izah edilebilir.

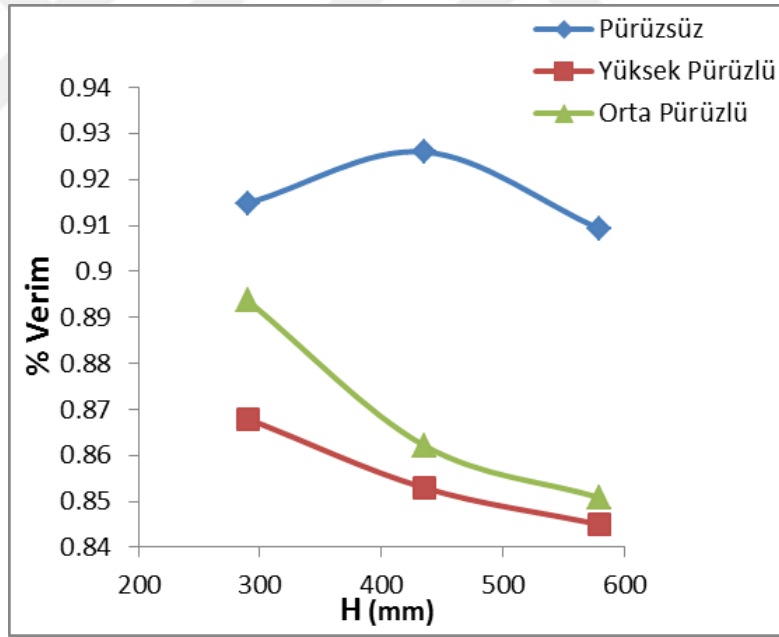
Pürüzlü yüzeyli deneylerin tamamında ise katı gövdenin artması ile verimde azalma gözlenmiştir. Bu azalma miktarı orta pürüzlü yüzeyli deneylerde daha fazladır. Grafiklere dikkat edildiğinde sabit katı gövde yüksekliğinde L1 ve L2 için benzer davranış sergilendiği görülse de L1 deki verimlerin L2 ye göre daha düşük kaldığı gözlenmektedir.

Grafiklere bakıldığında pürüzlü yüzeyli deneyler için H1 den H2 ye geçerken verimdeki azalma miktarının daha fazla olduğu söylenebilir. H2 den H3 e geçerken bu azalma miktarı daha azdır.

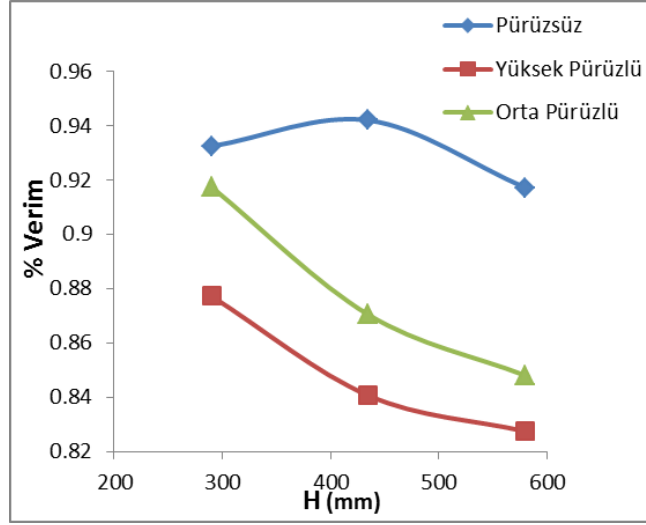


Girdap durdurucu mesafesi arttığında ( L1 den L2 ye artırıldığında) verimdeki artma ve azalma oranının da daha kararlı bir hal aldığı söyleyebiliriz. Yani bu artma ve azalma oranı L2 için L1 e göre daha düşüktür. Bunu girdap durdurucunun siklon girdabına çarptığı haller için, girdabın yapısını bozma eğiliminde olması ile izah edebiliriz. Veya girdap durdurucu mesafesinin uzun olmasıyla sürtünme yüzeyine bağlı olarak teğetsel hızdaki azalma neticesinde girdabın durdurucuya kadar ulaşamaması ile ilgili olduğu düşünülebilir.

Aşağıdaki grafiklerde sadece L1 ve L2 ye ait deney sonuçları gösterilmiştir. Belirli H değeri için sadece belirli L boylarında çalışılabilmiştir. Bunun sebebi geometrik kısıtlamalardır. Bu sebeple H1 için 6, H2 için 4 ve H3 için sadece 2 girdap durdurucu mesafesiyle deneyler yapılabilmektedir.



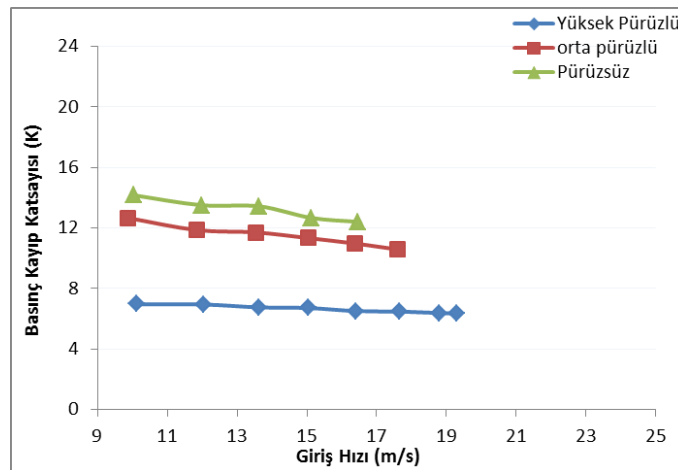
**Grafik 4.73.** L1= 100 mm için toplu H - % verim eğrileri



**Grafik 4.74.** L1= 200 mm için H - % verim eğrileri

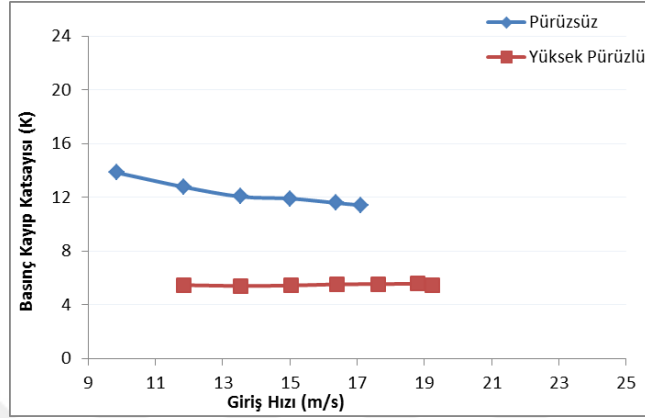
#### 4.5.3. Basınç Kayıplarının İncelenmesi

Aşağıdaki grafiklerde de görüleceği üzere siklona giriş hızının artması ile her durum için basınç kaybı da artmaktadır. Ne var ki bu artış oranı katı gövde yüksekliğine ve pürüzlülüğe göre farklılık göstermektedir. Katı gövde yüksekliği arttığında hızın artmasına bağlı olarak basınç kaybındaki artış oranı azalmaktadır. Yani katı gövde yüksekliği arttığında hızın basınç kaybına olan etkisi de düşmektedir.



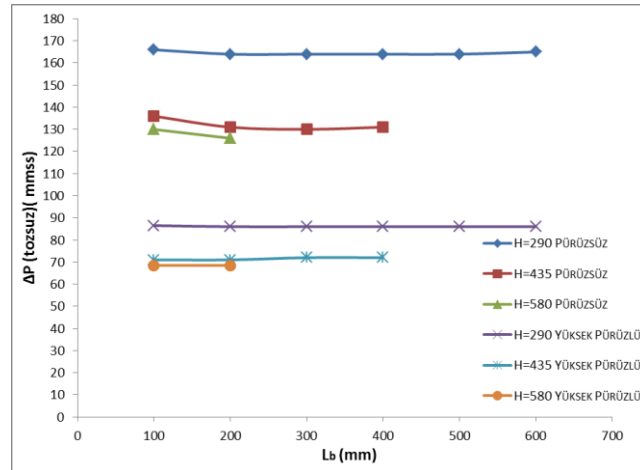
**Grafik 4.75.** H1= 290 mm için Giriş hızı – Basınç Kayıp Katsayısı eğrileri

Aynı katı gövde yüksekliği için siklon yüzeyindeki pürüzlülük miktarı arttığında basınç kaybında düşüş meydana gelmektedir. Bu düşüş miktarı yüksek hızlarda daha belirgindir. Yani yüksek hızlarda basınç kaybındaki azalma oranı daha fazladır. Siklona giriş hızı azaldıkça pürüzlülüğün basınç kaybına etkisinin de azaldığını söyleyebiliriz.



**Grafik 4.76.** H2= 435 mm için Giriş hızı – Basınç Kaybı eğrileri

Diğer önemli bir nokta ise aynı katı gövde yüksekliği ve giriş hızı için girdap durdurucu yüksekliğinin artması ile basınç kaybında önemli bir değişim meydana gelmemiştir. Siklon geometrisinden dolayı katı gövde ve girdap durdurucu yüksekliğinin sınırlı olmasından dolayı daha geniş bir aralıkta deneyler tekrarlanmalıdır. Böylece ancak Re sayısının etkili olduğu bölge için daha geniş bir yorum yapılabilecektir.



**Grafik 4.77.** Pürüzlülük, H ve L yüksekliğinin basınç kaybına etkisi

#### 4.5.4. Kritik Partikül Çapı ve Maksimum Verimde Siklon Yüksekliği Analizi

Yapılan deneylerde alınan sonuçların herhangi bir modelle karşılaştırması deney verilerinin veya kullanılan model içerisindeki parametre etkisinin açıklanmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada Sürmen ve ark. (2010)' nin teğetsel girişli siklonda maksimum verim veren siklon uzunluğu tahmini çalışmasından faydalanılmaktadır.

Geometrik faktörler dışında hız, sıcaklık, viskozite, toz yoğunluğu ve gaz yoğunluğuna bağlı olarak geliştirilmiş modelde deneysel veriler girilerek kritik partikül çapı  $d_{50}$  ve maksimum verimde siklon yüksekliği  $L_{max}$  hesaplanmıştır. Yeni tasarım siklon için  $L_1$  silindir yüksekliği  $L_2$  girdap durdurucu yüksekliği olarak tanımlanmıştır.

$$d_{50} = 0,791 \left( \frac{\rho_v}{(\rho_p - \rho) C_{CU}} \right)^{0,5} \left( \frac{\sqrt{D_1 D_{ort} a}}{V_0 L_{vs}} \right)^{0,5} \left( \frac{10a}{D_3} \right)^{cs} D_d a_d D_s \quad (4.10)$$

Bu kritik çap ifadesinde  $C_{CU}$ ,  $cs$ ,  $D_d$ ,  $a_d$  ve  $D_s$  boyutsuz parametrelerdir. Hesaplamalarda Cunningham düzeltme faktörü 1 olarak alınmıştır. Diğer parametrelerin hesabı işe şu şekildedir;

$$D_d = \frac{H}{L} + \frac{D_1 + D_3}{2D_1} \sqrt{\left( (D_1 - D_{ort}) / L \right)^2 / 4 + \left( 1 - \frac{H}{L} \right)^2} \quad (4.11)$$

$$D_s = D_d + 2 \frac{s D_2 + D_{ort}^2}{D_1 \cdot L} \quad (4.12)$$

$$a_d = 0,5 + \frac{a \cdot b}{(s D_d)(D_1 - D_2)} \quad (4.13)$$

$$L_{vs} = 1,5 a_d D_s L / D_d \quad (4.14)$$

$$cs = 0,5 \left( \frac{f_{ort} L_{vs}}{a - 0,1 D_3} \right) \quad (4.15)$$

Burada ortalama sürtünme katsayısı  $f_0$  da yüzey pürüzlülüğü ihmal edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Bu durumda türbülanslı akışta pürüzsüz yüzeyler için ifade;

$$f_0 = \frac{6,4}{[\ln Re]^{2,4}} \quad (4.16)$$

şeklinde hesaplanır.

$$Re = \frac{V_0 D_h}{\nu} \quad (4.17)$$

Giriş kesiti için tanımlanan parametrelerden hidrolik çap ;

$$D_h = \frac{2ab}{a+b} \quad (4.18)$$

Girdap durduruculu siklon için;

$$f_{ort} = \frac{L_1 f_0}{L_1 + L_2} + 0,25 f_0 \frac{L_2}{L_1 + L_2} \quad (4.19)$$

Kinematik viskozite laboratuvar ortalama sıcaklığı 20°C ve 1 atm basınç altında  $1,52 \times 10^{-5} m^2 / sn$  alınarak modelde kullanılmaktadır.

Maksimum verimdeki siklon yüksekliği ifadesi ;

$$L_{max} = \frac{(a - 0,1 D_{ort}) \left( 1 + \frac{2\alpha D_1}{L_{max} D_s} \right)}{1,5 a_d f_{ort} \ln \left( \frac{10a}{D_{ort}} \right)} \quad (4.20)$$

$$\alpha = \frac{(D_2 s + D_{ort}^2)}{D_1^2} \quad (4.21)$$

formülüyle hesaplanır. Burada  $L_{max} / D_1$  ifadesi boyutsuz parametrelerin fonksiyonu olarak

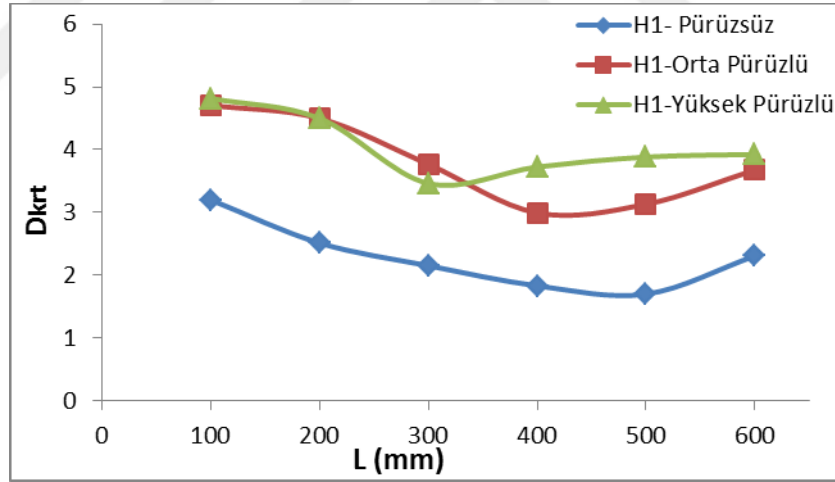
$A = (a - 0,1 D_{ort}) / (3 D_1 a_d f_{ort} \ln(10a / D_{ort}))$  ve  $B = 2\alpha / D_d$  hesaplanır.

Daha önce yapılan model hesaplamalarında maksimum siklon yüksekliği değerleri  $2A + B/2$  ye çok yakın çıkmıştır. Buna göre  $L_{max} / D_1$  ifadesi düzenlenirse ;

$$\frac{L_{max}}{D_1} = \frac{2(a-0,1D_{ort})}{3D_1 a_d f_{ort} \ln(10a/D_{ort})} + \frac{\alpha}{D_d} \quad (4.22)$$

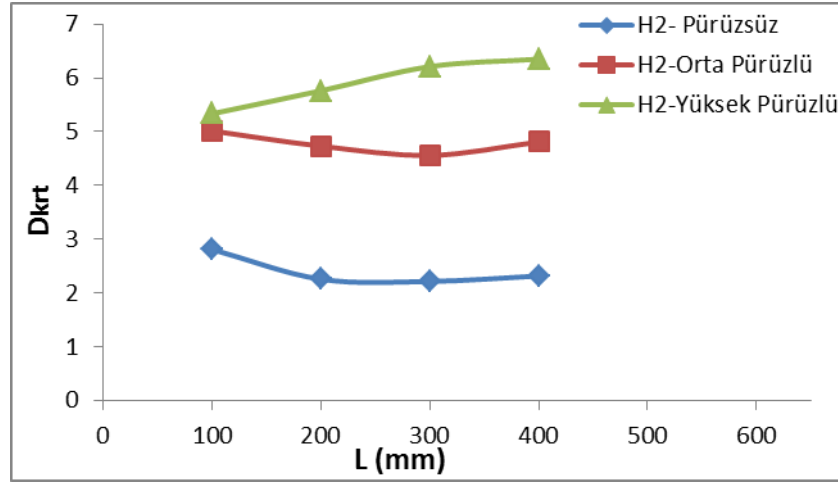
elde edilir. Deneyleri gerçekleştirdiğimiz düzenekte,  $D_1=80$  mm,  $D_2=30$  mm ve  $D_{ort} = 75$  mm olan çap değerleri sabittir. Yukarıdaki modelle ilgili kritik çapa ilişkin örnek bir hesaplama yapıldığında,  $a= 16$  mm,  $b = 74$  mm,  $s=80$  mm,  $H= 290$  mm,  $L = 690$  mm ve giriş hızı da  $13.6$  m/sn için kritik çap değerinin yaklaşık  $1.92$  mikron olarak çıktığını görürüz. Bu da bizim değerimiz olan  $1.83$  mikron değerine yakın bir değer olarak kabul edilebilir.

Aşağıdaki grafiklerde (sabit giriş hızlı) deney sonuçlarına göre elde edilen kritik çap değerlerinin girdap durdurucu ve katı gövde yüksekliği ile pürüzlülük durumuna göre karşılaştırması verilmiştir. Elde edilen grafikler verim sonuçlarıyla örtüşmektedir. Bu da yapılan deneylerin güvenilirliğini pekiştirmektedir.



**Grafik 4.78.** H1= 290 mm için pürüzlülüğün Dkrt - L eğrisine etkisi

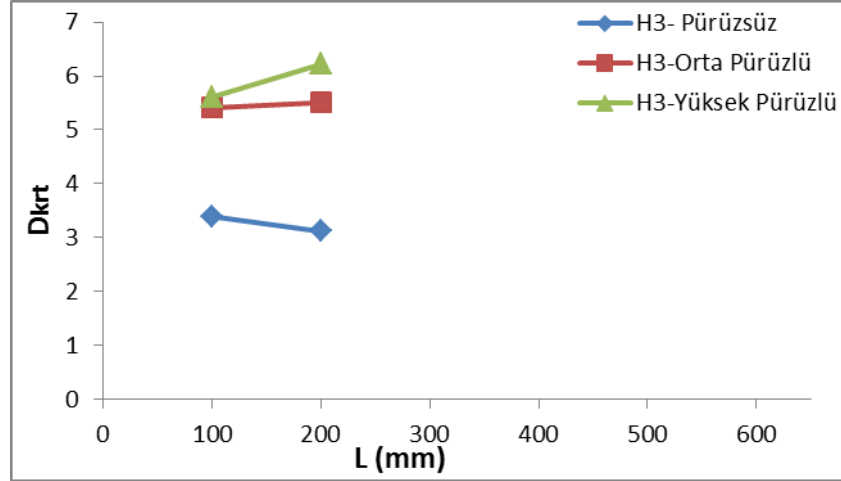
Grafik 4.78'te görüleceği üzere H1 için pürüzsüz yüzeyde kritik çap en küçük değere sahiptir. L5 te minimum değere ulaşıp tekrar yükselişe geçmektedir. Orta ve yüksek pürüzlü yüzeyde ise özellikle L2 den sonra ayrışma meydana gelmektedir. L3 te yüksek pürüzlü daha düşük kritik çapta iken L4 ve L5 te tam tersi davranış sergilemektedirler. L6 da ise yine birbirine yaklaşmaktadırlar.



**Grafik 4.79.** H2= 435 mm için pürüzlülüğün Dkrt - L eğrisine etkisi

Grafik 4.79’da ise H2 için pürüzsüz yüzey tüm L yüksekliklerinde düşük diğer yüzeylere göre daha düşük kritik çap değerindedir. Özellikle L1 den L2 ye geçerken bir azalma olduğu oldukça belirgindir.

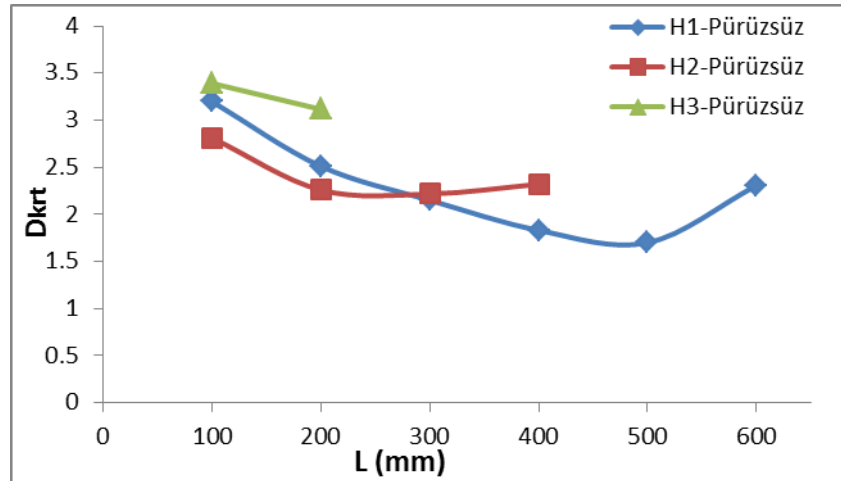
Orta ve yüksek pürüzlü yüzeyler L1 den L2 ye geçerken birbirinden ayrışmaktadırlar. L3 e kadar orta pürüzlü yüzeyde kritik çap düzenli olarak azalırken, yüksek pürüzlü yüzeyde ise artmaktadır. L5 ten sonra ise orta pürüzlüde yeniden bir artış oluşurken yüksek pürüzlüdeki artış çok belirgin değildir.



**Grafik 4.80.** H3= 580 mm için pürüzlülüğün Dkrt - L eğrisine etkisi

Grafik 4.80’de görüleceği üzere L1 değerinde pürüzsüz yüzeyde diğerlerine göre oldukça düşük bir kritik çap değeri vardır. Diğer yüzeyler için kendi aralarında belirgin bir farklılık yoktur.

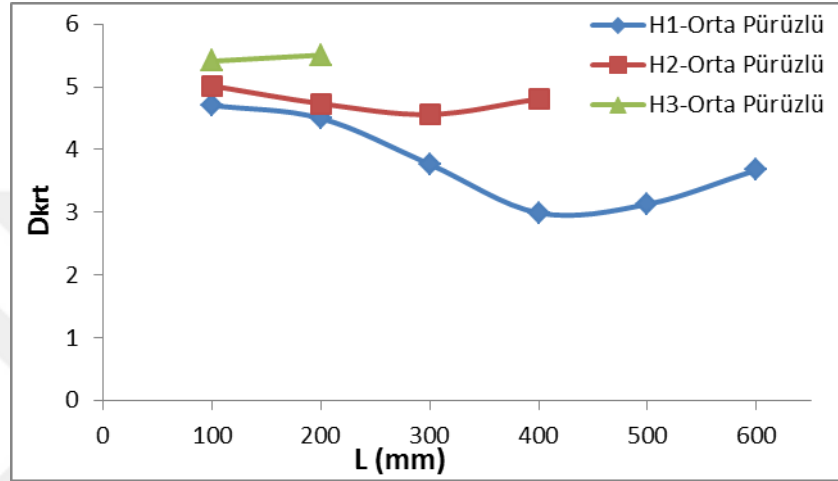
L2 değerine geçildiğinde ise yüksek pürüzlüde belirgin bir kritik çap artışı vardır. Aynı şekilde pürüzsüz yüzeyde de kritik çaptaki azalma oldukça dikkat çekmektedir.



**Grafik 4.81.** Pürüzsüz yüzey için H yüksekliğinin Dkrt - L eğrisine etkisi



Grafik 4.81’de tüm H boyları için L1 den L2 ye geçildiğinde kritik çap değerinde belirgin bir azalma vardır. L2 den L4 e kadar H1 ve H2 birbiriyle ters davranış sergileyerek birbirinden ayrılmaktadırlar. L3 yüksekliğinde ise H1 ve H2 birbirine oldukça yaklaşmaktadır. H1 değeri en düşük değerine L5 te ulaşmaktadır. L5 ten sonra yine azalışa geçmektedir.



**Grafik 4.82.** Orta Pürüzlü yüzey için H yüksekliğinin Dkrt - L eğrisine etkisi

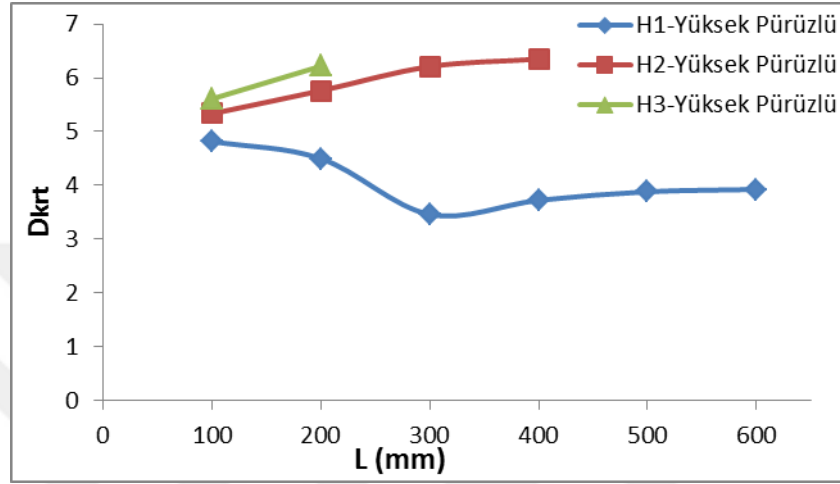
Grafik 4.82 ye bakıldığında L1 den L2 ye geçerken H1 ve H2 nin azalarak birbiriyle benzer davranış sergilediği görülmektedir. H3 te ise kritik çap değeri artmaktadır.

L2 den L3’e geçerken H1 ve H2 deki azalma devam etse de H1 deki azalma miktarı daha fazla olmaktadır. L3 ten L4 e geçildiğinde ise H1 ve H2 birbiriyle ters davranış sergilemektedir öyle ki H2 artarken H1 azalmaya devam etmektedir.

H1 yüksekliği L4 değerinde minimum değerine ulaşarak tekrar artmaya devam etmektedir. L1 yüksekliklerinde H1 ve H2 yukarıdaki şekilde de görüleceği üzere maksimum değere sahiptir. H3 ise maksimum değerine L2 de ulaşmaktadır.

Aşağıdaki şekilde yüksek pürüzlü yüzeyli deneyler için L1 den L2 ye geçilirken H2 ve H3 benzer davranış sergileyerek artmaktadır. H1 de ise azalma meydana gelmektedir.

H2 değerinde L3 e kadar belirgin bir artış devam etmektedir. L3 ten sonra çok belirgin bir artış olmamaktadır. H1 de ise L3 e kadar azalma devam eder ancak L2 den L3 geçerken azalma miktarı daha fazladır. L3 değerinde minimum değere ulaşarak tekrar artma eğimindedir.



**Grafik 4.83.** Yüksek Pürüzlü yüzey için H yüksekliğinin Dkrt - L eğrisine etkisi

#### 4.5.5. Fraksiyonel Verim Eğrilerinin Hesaplanması

Fraksiyonel verim eğrileri her bir tane boyutuna ait tutma verimini gösteren eğrilerdir. Kütlesel ölçüm yapılarak siklonun toplama verimi hesaplandığı gibi deneyde kullanılan numune ile deney sonucunda elde edilen tozun partikül analizi yapılarak elde edilen dağılımların aynı aralıklarda karşılaştırılması sonucu fraksiyonel verim eğrileri elde edilmektedir. Bu eğriler sayesinde siklon boyları için karakteristik eğriler elde edilmesi mümkün olup bu eğriler sayesinde kullanım amacına uygun optimum değerlerde siklon seçmek mümkün olmaktadır. Yapılan deneylerin tamamında partikül analizi yapılmış ve bu sonuçlara göre fraksiyonel verim eğrileri oluşturulmuştur. Ayrıntılı dağılım ve bu dağılımların oluşturduğu grafiklerin ise bir kısmı ekler içerisinde bulunmaktadır. Bu bölümde fraksiyonel verim grafiklerinin tamamı verilecek örnek olması için bir tane eğrinin hazırlanışı ayrıntılı şekilde anlatılacaktır.

Örnek olarak H<sub>2</sub> silindir boyunda L<sub>1</sub> girdap durdurucu yüksekliğindeki yüksek yüzey pürüzlülüğündeki sonuç alınmıştır. Deneyde toz olarak kalsit tozu kullanılmıştır. Yapılan partikül analizlerinin sonuçları eklere konulmuştur. Numunenin yani deneyden önceki kalsitin partikül analiz sonucu Ek-1'de, deney sonucu tutulan kalsitin partikül analiz sonucu ise Ek-2'de verilmiştir. Partikül analiz sonuçları tabloya dönüştürülmüş ve bu tablodan elde edilen değerler ile fraksiyonel verim eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen tablo aşağıda verilmiştir.



**Tablo 5. H2L1P(40) Partikül Analiz Sonucunun Karşılaştırması**

						$\eta=0.853$
aralık	%numune	Dort	%sonuç	fraksiyone	Dort/Dkrt	
0.138						
0.158	0.01	0.148		0	0.026958	
0.182	0.02	0.170		0	0.030965	
0.209	0.04	0.196		0	0.03561	
0.240	0.06	0.225		0	0.040893	
0.275	0.08	0.258		0	0.046903	
0.316	0.11	0.296		0	0.053825	
0.363	0.15	0.340		0	0.06184	
0.417	0.2	0.390		0	0.071038	
0.479	0.26	0.448		0	0.081603	
0.550	0.31	0.515		0	0.093716	
0.631	0.36	0.591	0.06	0.14216667	0.107559	
0.724	0.4	0.678	0.13	0.277225	0.123406	
0.832	0.45	0.778	0.19	0.36015556	0.141712	
0.955	0.49	0.894	0.22	0.38297959	0.16275	
1.096	0.54	1.026	0.25	0.39490741	0.186794	
1.259	0.59	1.178	0.25	0.36144068	0.214481	
1.445	0.65	1.352	0.25	0.32807692	0.246266	
1.660	0.72	1.553	0.24	0.28433333	0.282787	
1.905	0.8	1.783	0.24	0.2559	0.324681	
2.188	0.89	2.047	0.24	0.23002247	0.372769	
2.512	1	2.350	0.26	0.22178	0.428051	
2.884	1.12	2.698	0.3	0.22848214	0.491439	
3.311	1.25	3.098	0.38	0.259312	0.564208	
3.802	1.4	3.557	0.49	0.29855	0.647814	
4.365	1.56	4.084	0.65	0.35541667	0.743807	
5.012	1.75	4.689	0.86	0.41918857	0.854007	
5.754	1.95	5.383	1.12	0.48992821	0.98051	
6.607	2.17	6.181	1.44	0.56604608	1.125774	
7.586	2.4	7.097	1.8	0.63975	1.292623	
8.710	2.65	8.148	2.2	0.70815094	1.484153	
10.000	2.89	9.355	2.63	0.77625952	1.704007	
11.482	3.14	10.741	3.06	0.83126752	1.956466	
13.183	3.37	12.333	3.48	0.88084273	2.246357	
15.136	3.59	14.160	3.87	0.91952925	2.579144	
17.378	3.78	16.257	4.2	0.94777778	2.961202	
19.953	3.96	18.666	4.47	0.96285606	3.399909	
22.909	4.11	21.431	4.67	0.96922384	3.903643	
26.303	4.23	24.606	4.82	0.971	4.481967	
30.200	4.33	28.252	4.92	0.972	5.145993	
34.674	4.4	32.437	4.99	0.973	5.908379	
39.811	4.43	37.243	5.03	0.974	6.783698	
45.709	4.43	42.760	5.03	0.9741	7.788707	
52.481	4.36	49.095	4.98	0.97429817	8.942623	
60.256	4.22	56.369	4.88	0.98640758	10.26749	
69.183	3.99	64.720	4.69	1	11.78862	
79.433	3.67	74.308	4.43	1	13.53515	
91.201	3.27	85.317	4.06	1	15.54044	
104.713	2.82	97.957	3.62	1	17.84281	
120.226	2.32	112.470	3.1	1	20.48625	
138.038	1.83	129.132	2.55	1	23.52131	
158.489	1.33	148.264	1.99	1	27.0061	
181.970	0.84	170.230	1.46	1	31.00719	
208.930	0.32	195.450	0.99	1	35.60109	

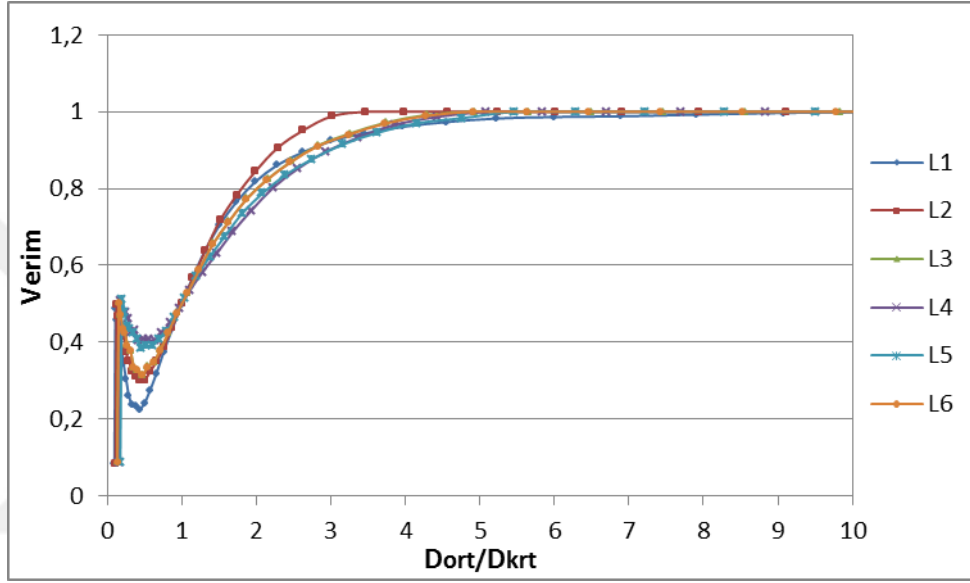
Birinci sütunda partikül dağılımı aralıkları belirtilmiştir. 0 ile 0,158 mikron arasında boyutları ölçülen toz partikül numunenin % 0,01 bulunmaktadır, 0,158 ile 0,182 mikron arasında ise % 0,02 si bulunmaktadır. İkinci sütunda ise deneyde kullanılmadan önce ölçümü yapılan kalsitin birinci sütunda belirtilen partikül çapı aralığına numunenin yüzde kaç girdiği belirtilmiştir. Üçüncü sütunda ortalama çap değerleri alınmıştır. Birinci sütuna yazılan çap değerlerinin ortalaması alınarak bu sütuna yazılmaktadır.  $D_{krt}$  çapları bu ortalama çap değerlerine karşılık gelen noktalardan tespit edilmektedir. Dördüncü sütuna deneyden sonra toplanan tozun analizi sonucunda elde edilen değerler yine birinci sütundaki aralık içerisinde kalan miktarı yazılmıştır. Beşinci sütunda ise dördüncü sütuna yazılan yani deney sonucu elde edilen tozun partikül çapı ile siklonun genel toplama verimi ile çarpılıp deneyden önceki numunenin aynı aralıktaki değerine bölünerek o ortalama çap değerinin yüzde kaç verimle tutulduğu hesaplanarak yazılmaktadır. % 50 verimle tutulan ortalama partikül çapı bu deney sonucu için kritik çapı ifade etmektedir. Yapılan bu deneyde %50 verimle tutulan partikül çapı 5,39 mikron olarak iterasyon sonucunda tespit edilmiştir. Elde edilen  $d_{krt}$  çapları sabit  $d_{ort}/d_{krt}$  oranları ile çarpılarak o  $d_{ort}$  çap değerine ait verim değeri karşısına yazılır ve bu değerler ile fraksiyonel verim eğrileri oluşturulur. Kabul edilen kesirsel aralık ve verim değerleri tablo 6' da verilmiştir.

**Tablo 6.** Kesirsel Aralık ve Verim Değerleri

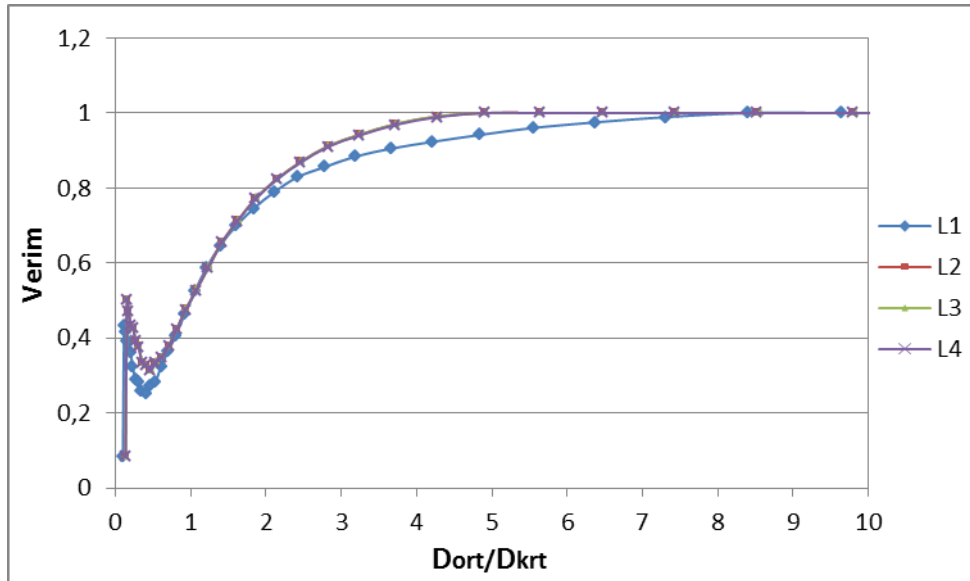
$D_{ort}/D_{krt}$	Verim
0,1	0,14
0,14	0,36
0,18	0,39
0,42	0,22
0,56	0,26
0,74	0,35
1,95	0,83
2,96	0,95
3,9	0,97
10,26	0,986
11,78	1
35,6	1

#### 4.5.5.a. Boyutsuz Fraksiyonel Verim Eğrileri

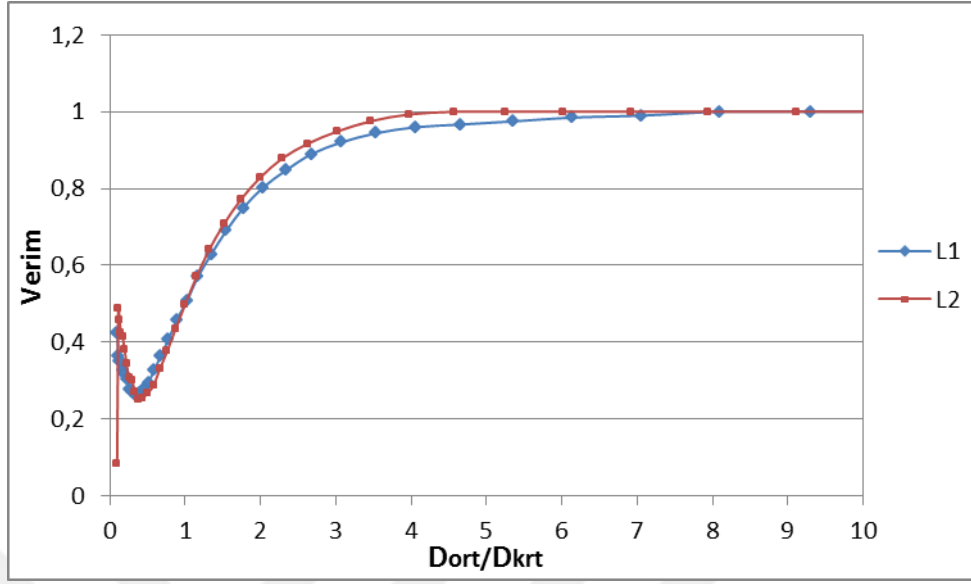
Boyutsuz fraksiyonel verim eğrileri yatay ekseninde ortalama çap değeri ile o çap değerinin (o deney şartı için) kritik çap değerine bölünmesiyle elde edilir. (Tablo 5' te görülebilir) Aşağıda verilen bu grafikler yatayda boyutsuz olduğu için genel anlam ifade etmektedir ve özellikle tasarım aşamasında dikkate alınmaktadır.



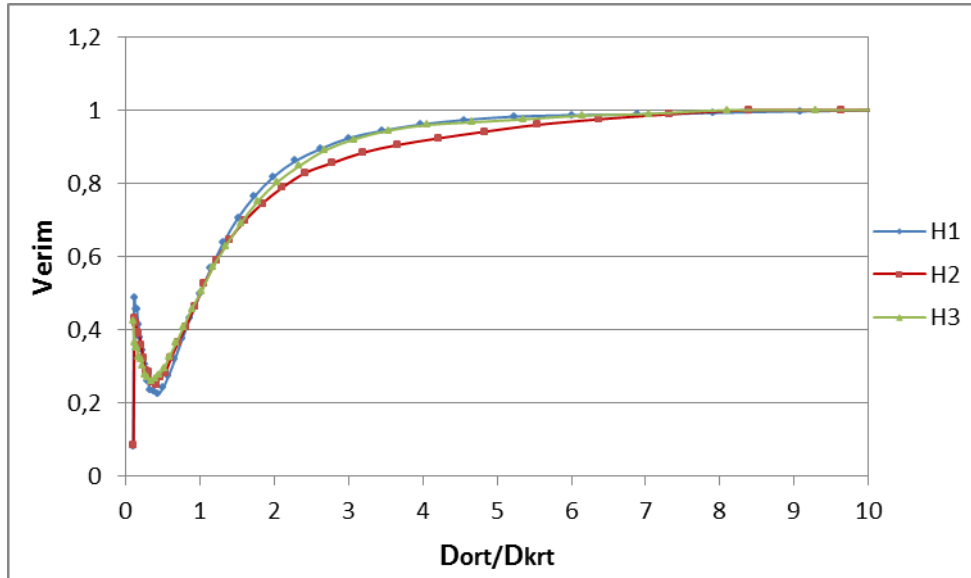
**Grafik 4.84.** H1 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Pürüzsüz yüzey)



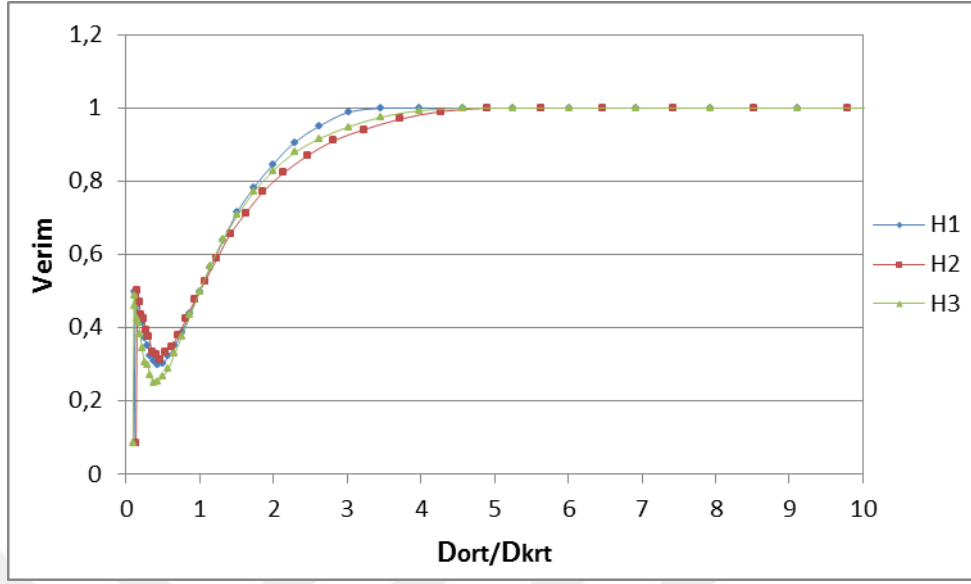
**Grafik 4.85.** H2 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrisi (Pürüzsüz yüzey)



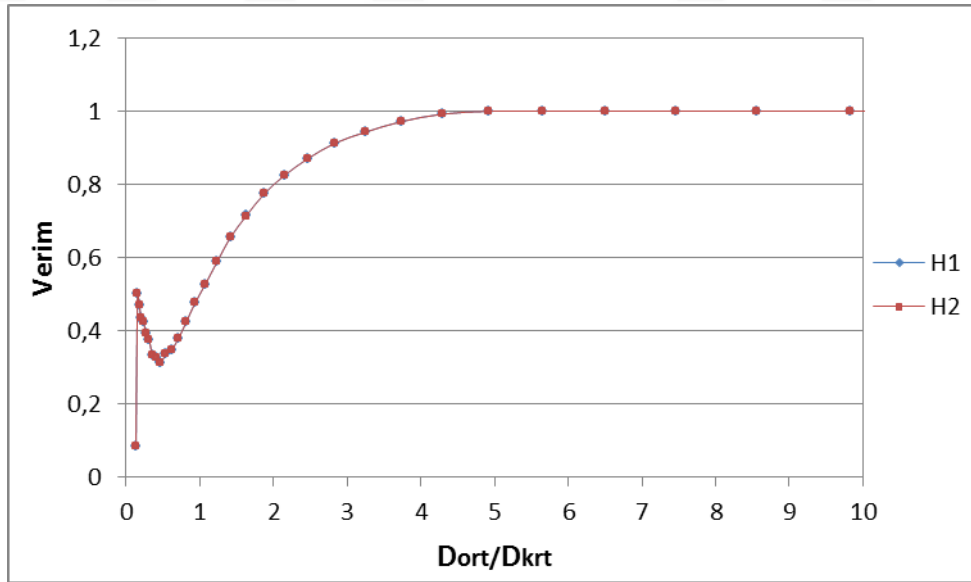
**Grafik 4.86.** H3 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Pürüzsüz yüzey)



**Grafik 4.87.** L1 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Pürüzsüz yüzey)

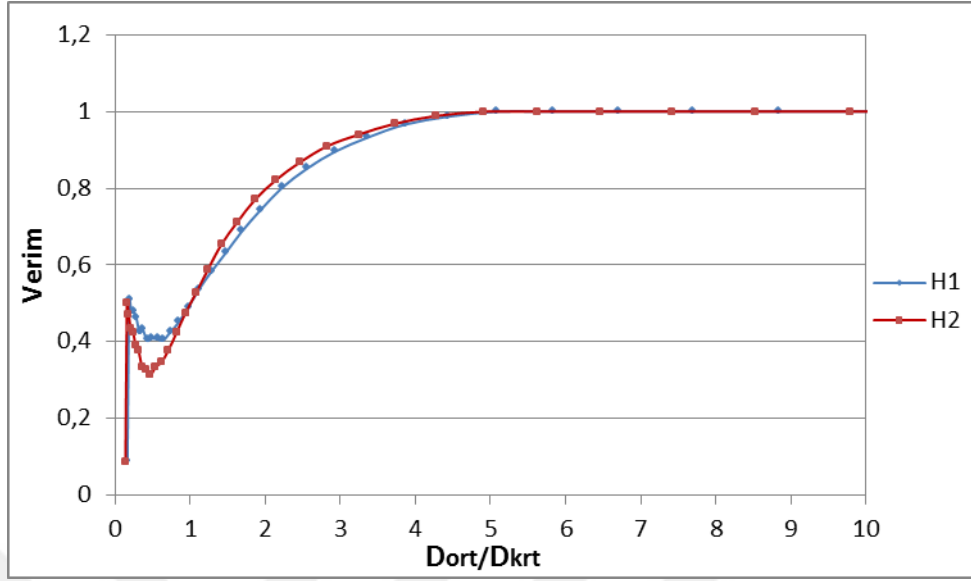


**Grafik 4.88.** L2 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Pürüzsüz yüzey)

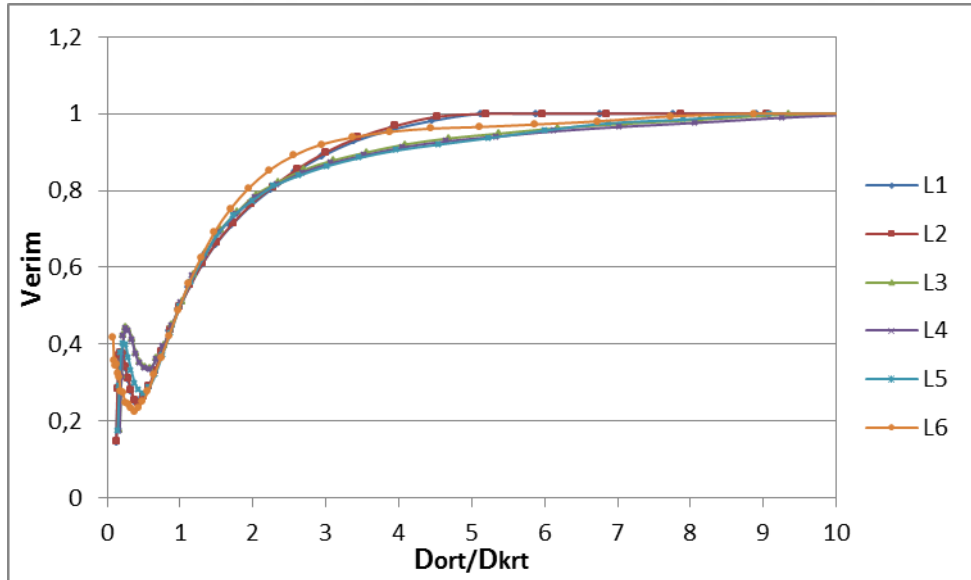


**Grafik 4.89.** L3 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Pürüzsüz yüzey)

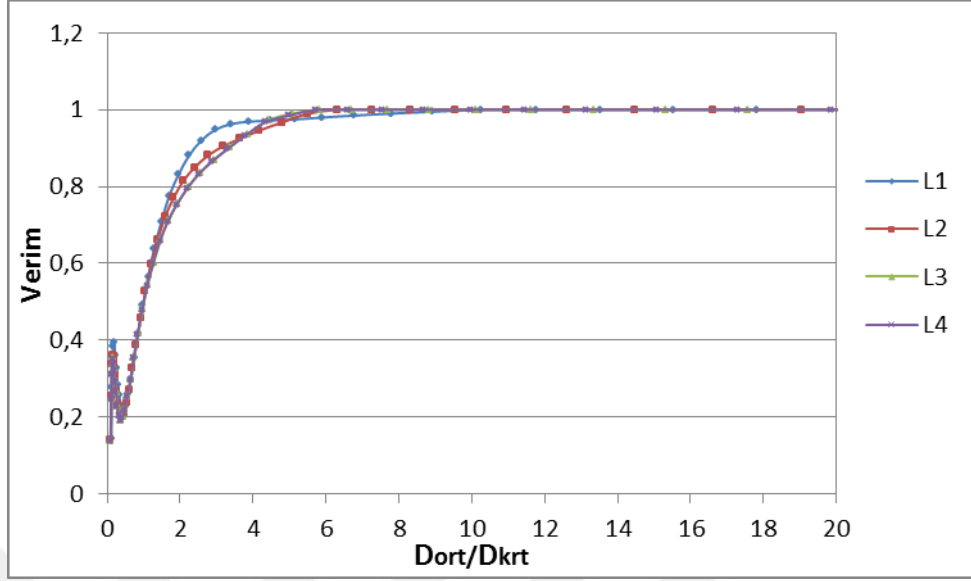




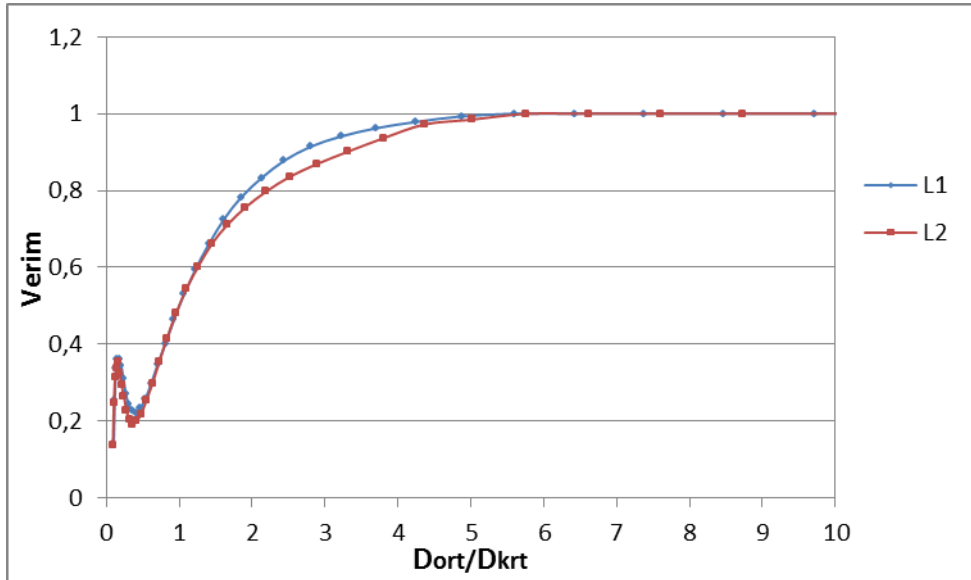
**Grafik 4.90.** L4 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Pürüzsüz yüzey)



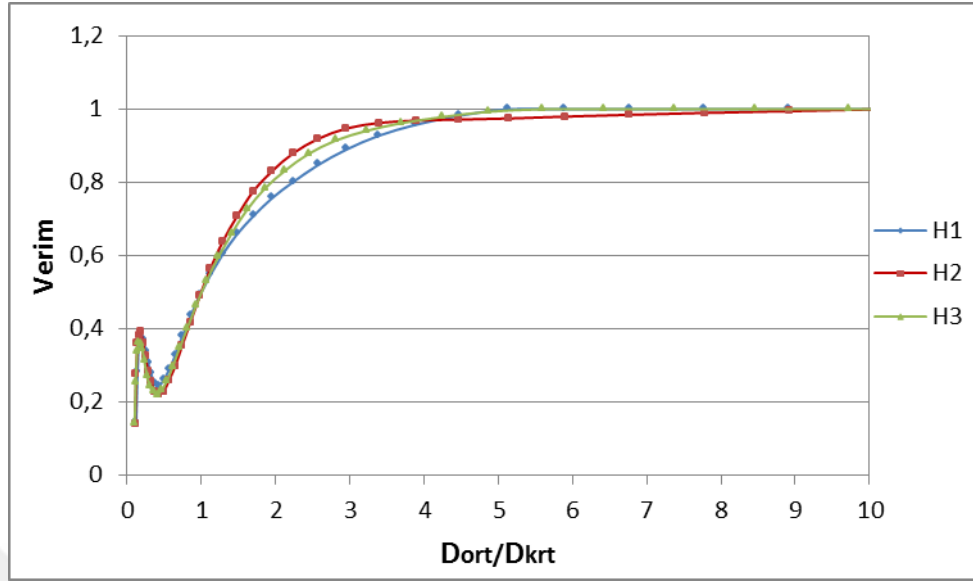
**Grafik 4.91.** H1 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Yüksek Pürüzlü)



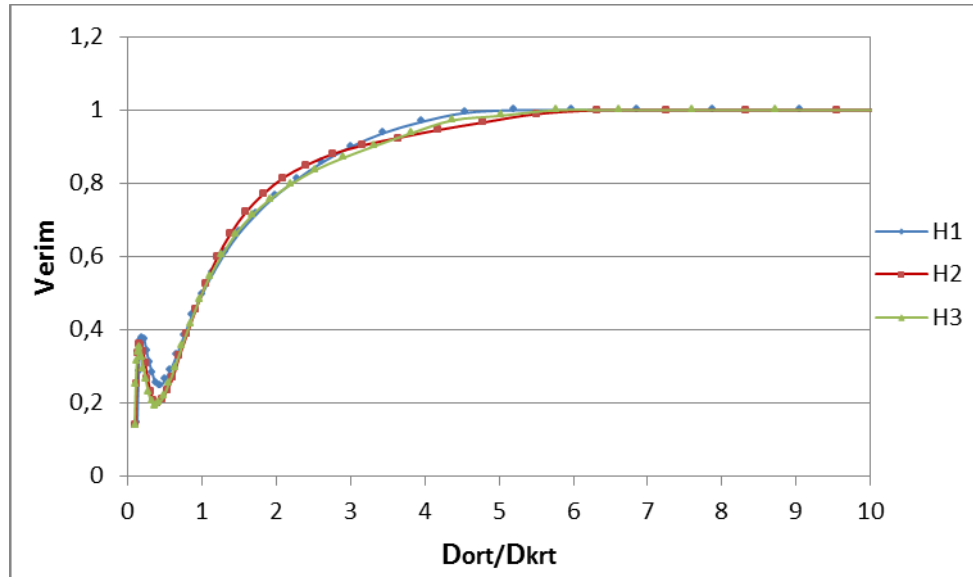
**Grafik 4.92.** H2 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Yüksek Pürüzlü)



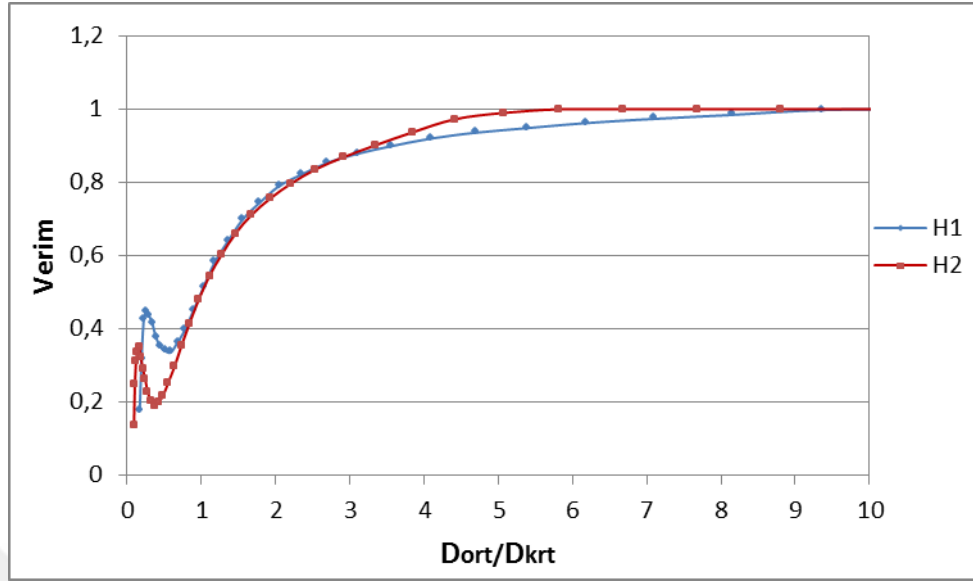
**Grafik 4.93.** H3 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Yüksek Pürüzlü)



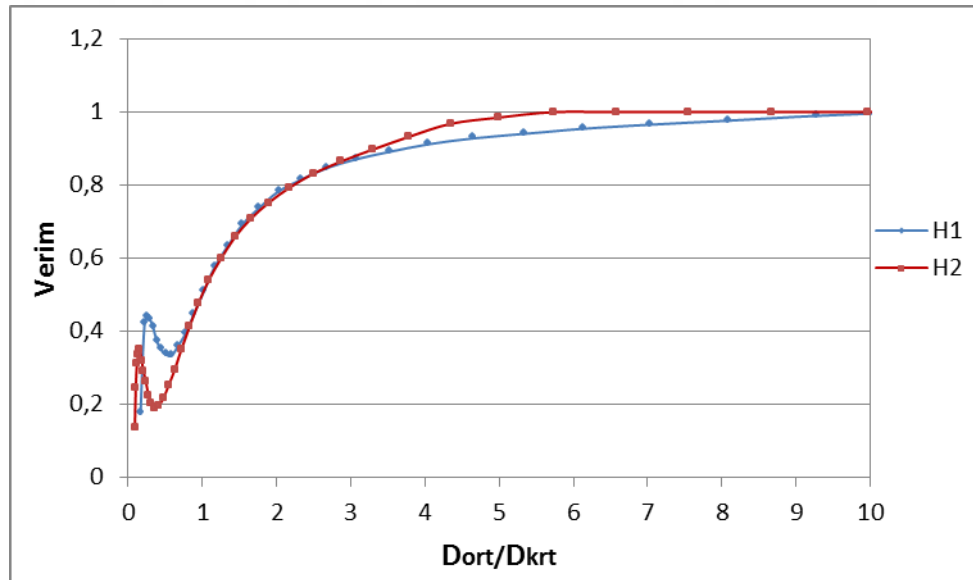
**Grafik 4.94.** L1 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Yüksek Pürüzlü)



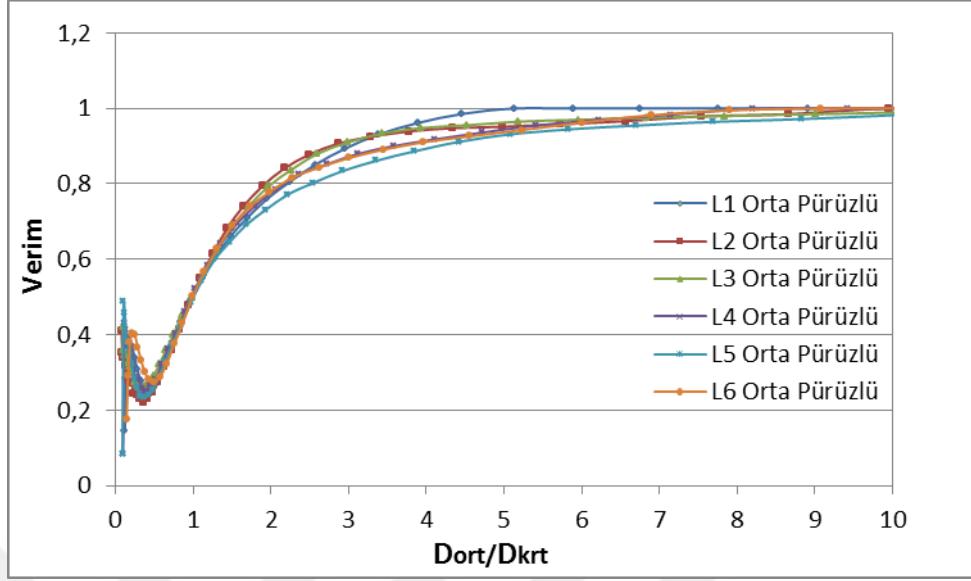
**Grafik 4.95.** L2 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Yüksek Pürüzlü)



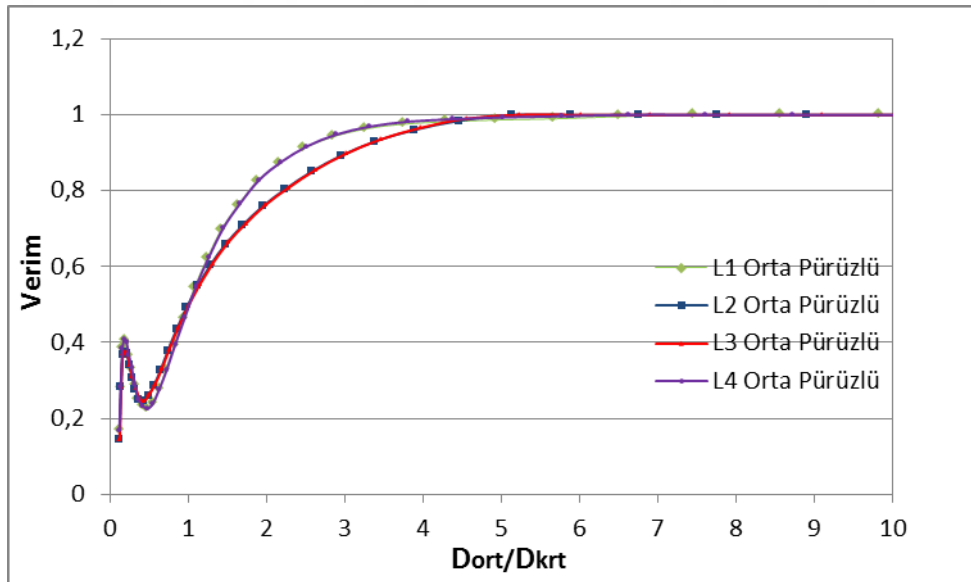
**Grafik 4.96.** L3 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Yüksek Pürüzlü)



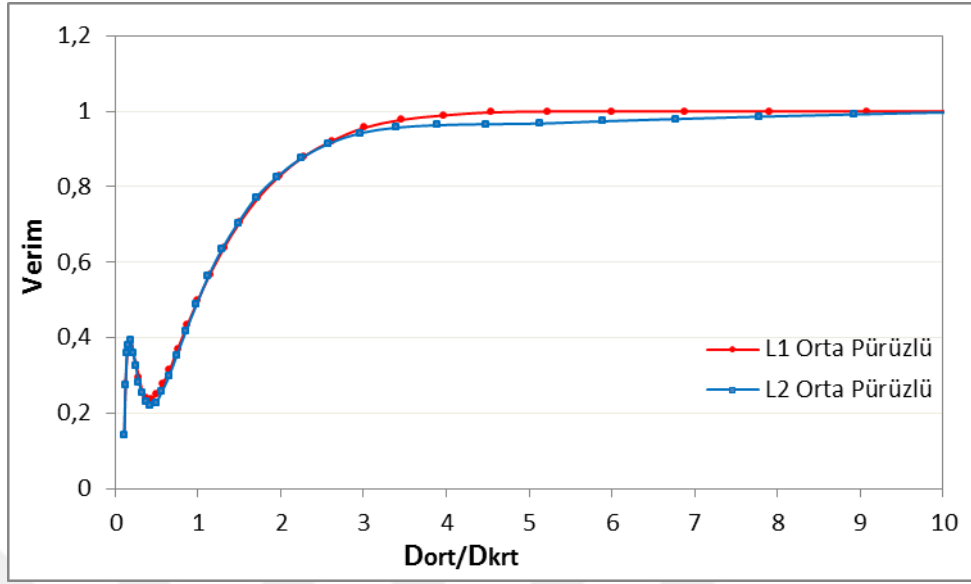
**Grafik 4.97.** L4 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Yüksek Pürüzlü)



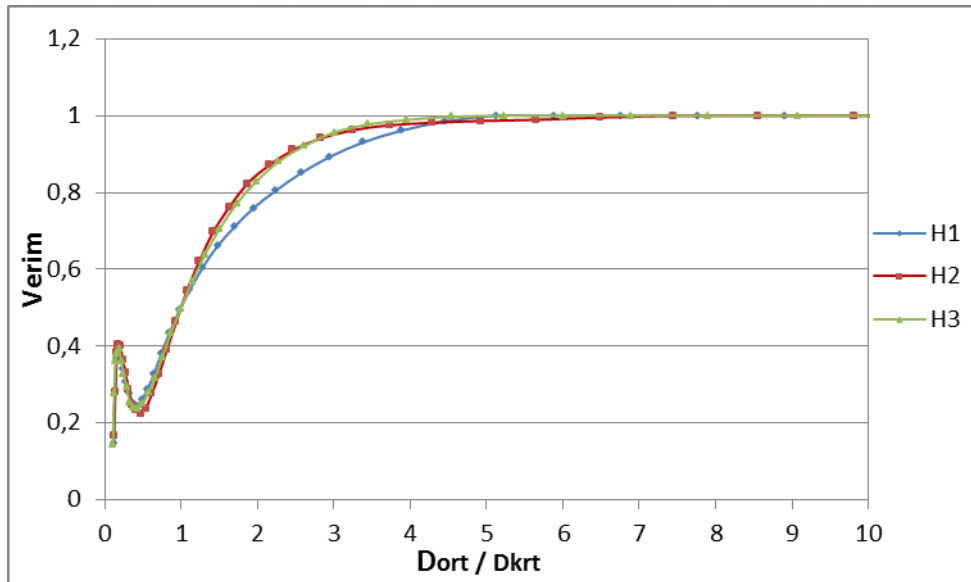
**Grafik 4.98.** H1 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Orta Pürüzlü)



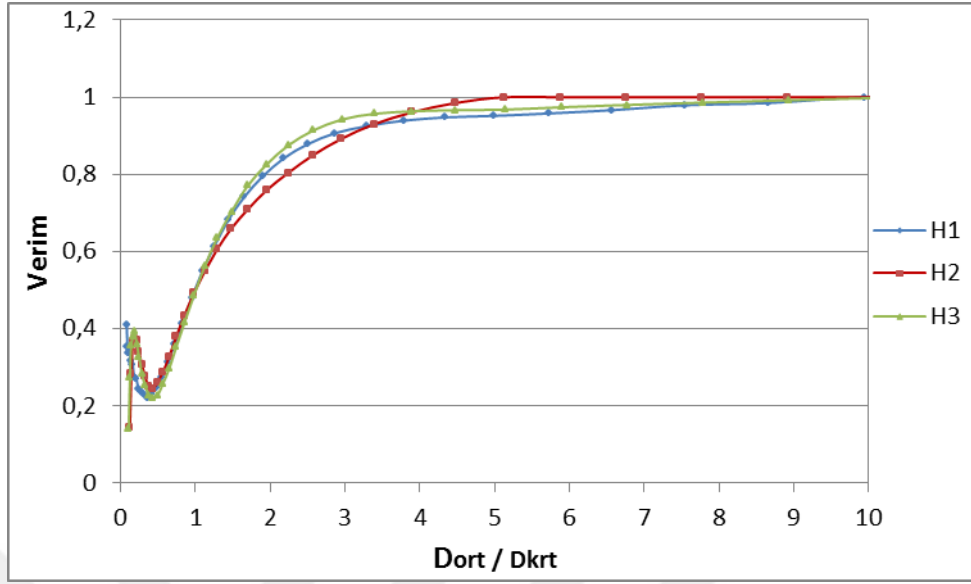
**Grafik 4.99.** H2 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Orta Pürüzlü)



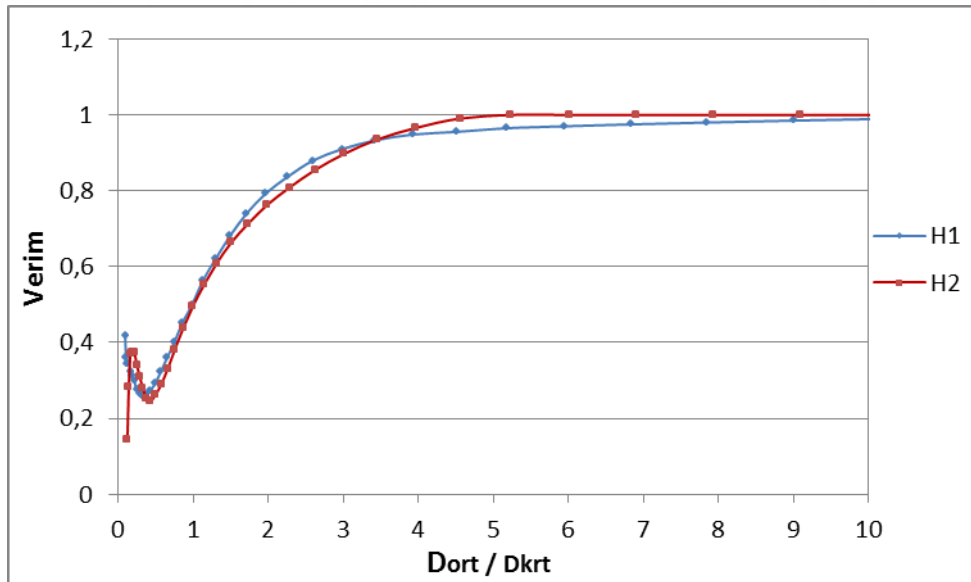
**Grafik 4.100.** H3 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Orta Pürüzlü)



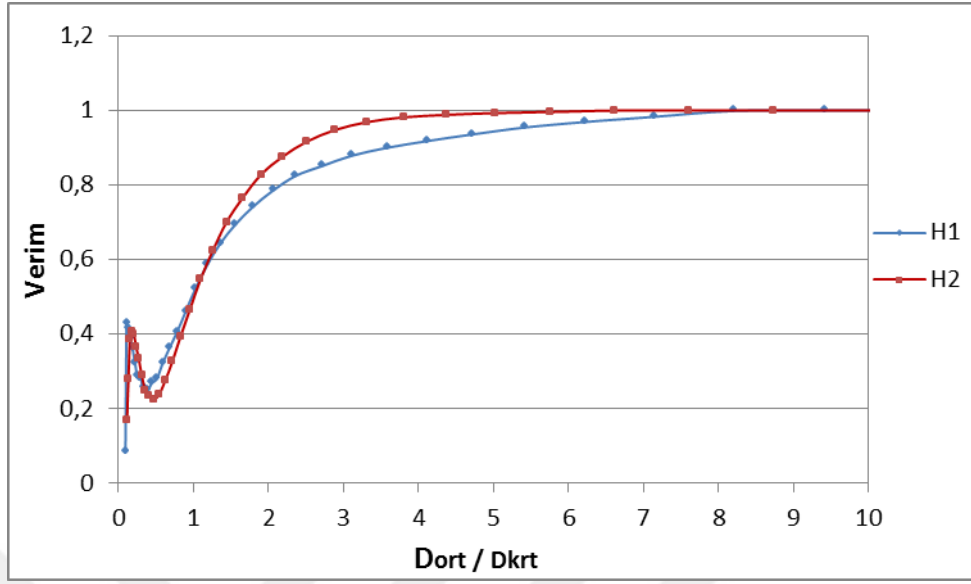
**Grafik 4.101.** L1 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Orta Pürüzlü)



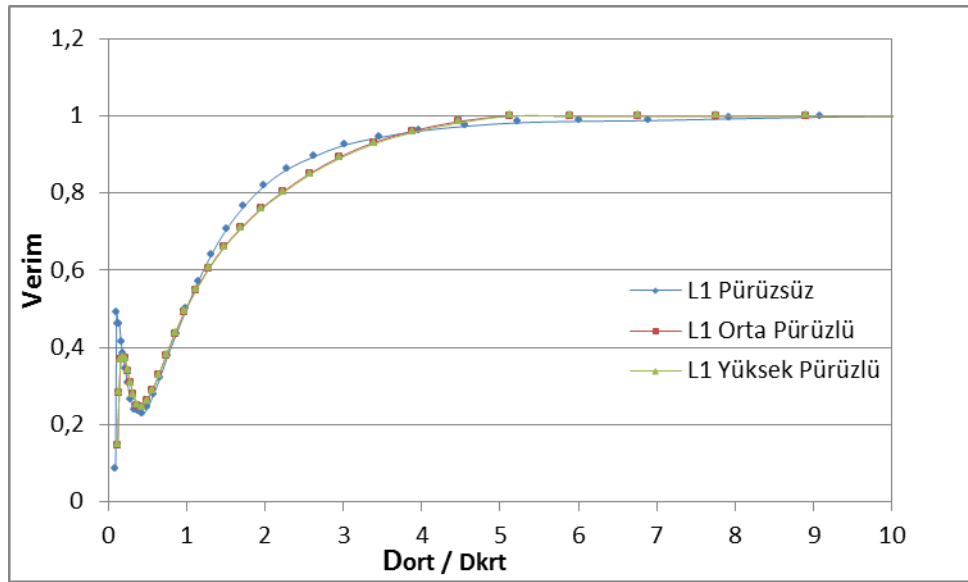
**Grafik 4.102.** L2 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Orta Pürüzlü)



**Grafik 4.103.** L3 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Orta Pürüzlü)

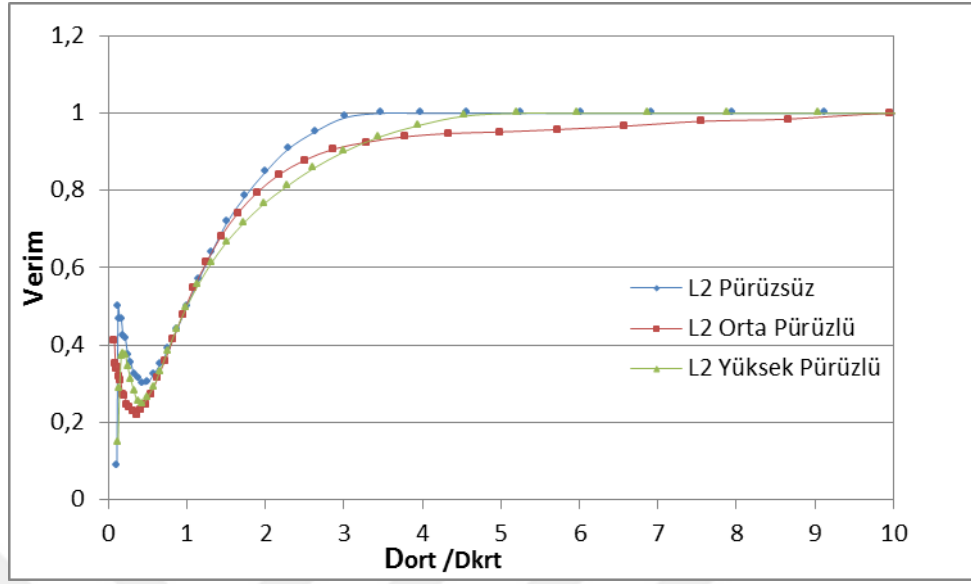


**Grafik 4.104.** L4 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri (Orta Pürüzlü)

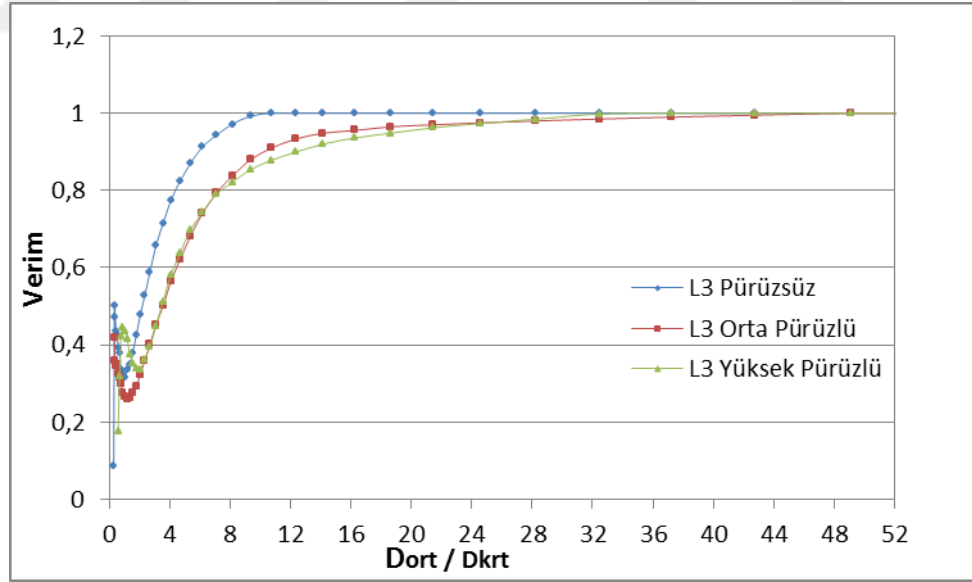


**Grafik 4.105.** H1L1 için Verim –  $D_{ort}/D_{krt}$  eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)

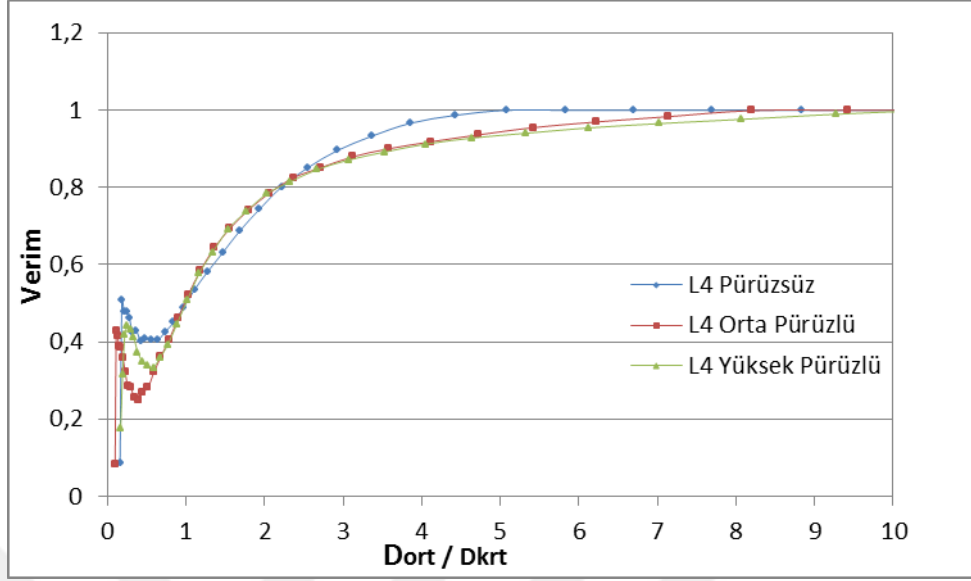




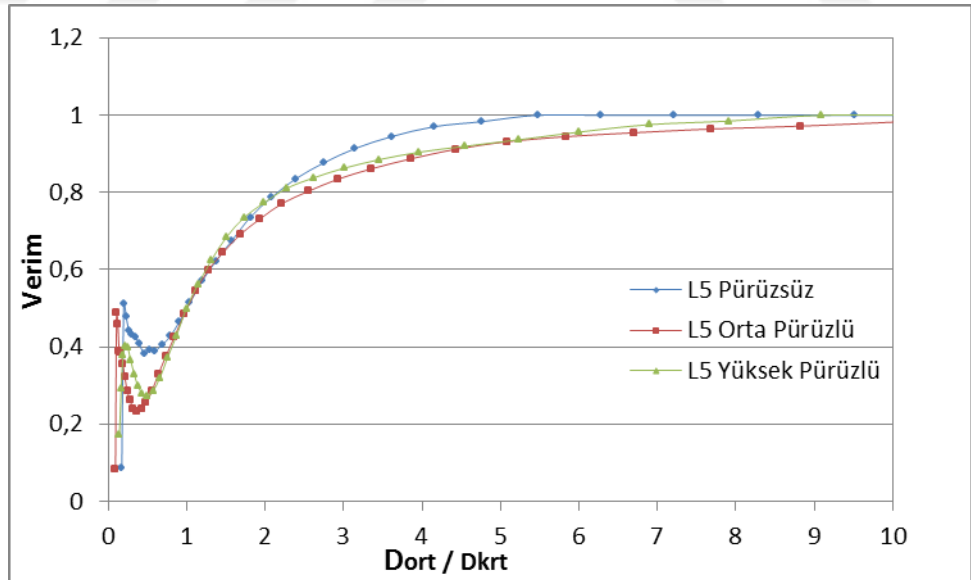
**Grafik 4.106.** H1L2 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



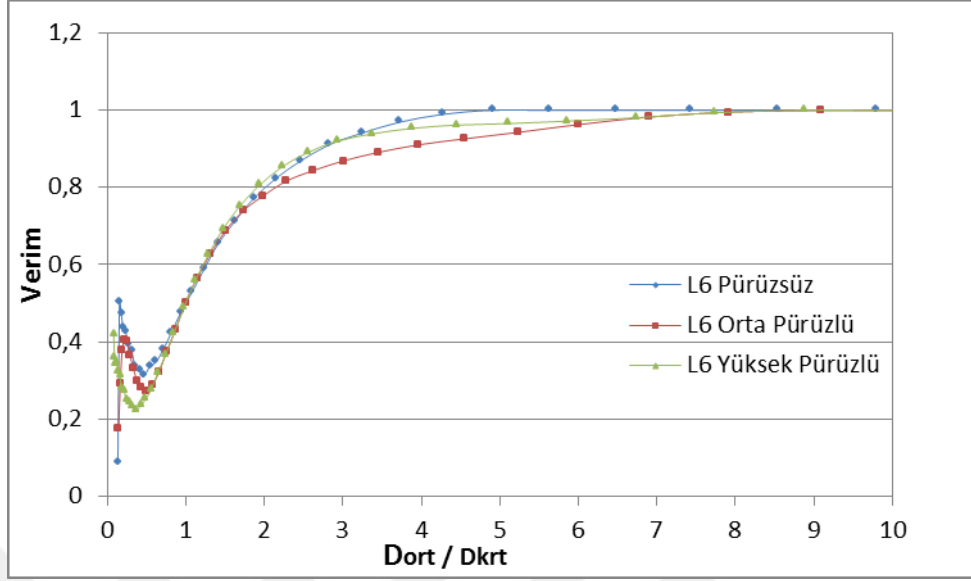
**Grafik 4.107.** H1L3 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



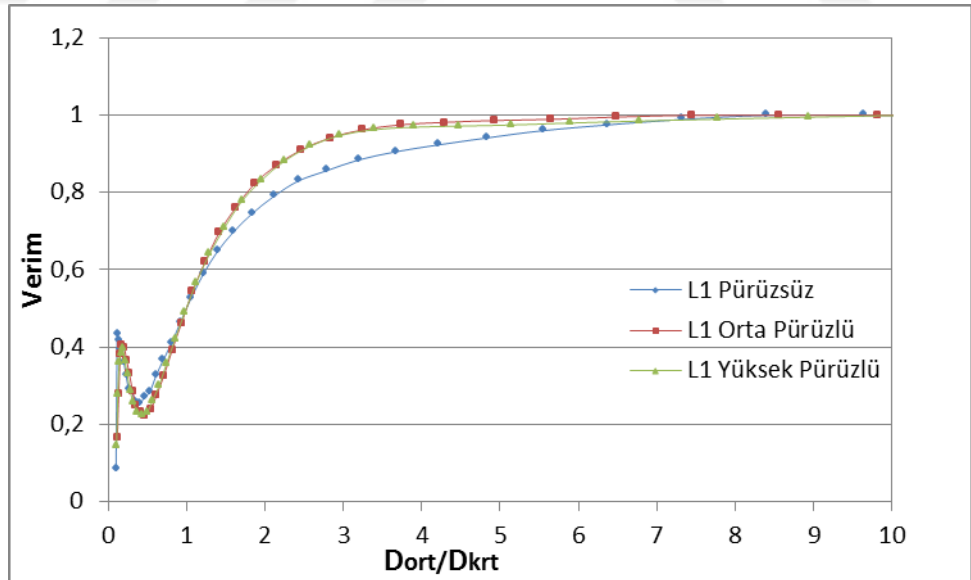
**Grafik 4.108.** H1L4 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



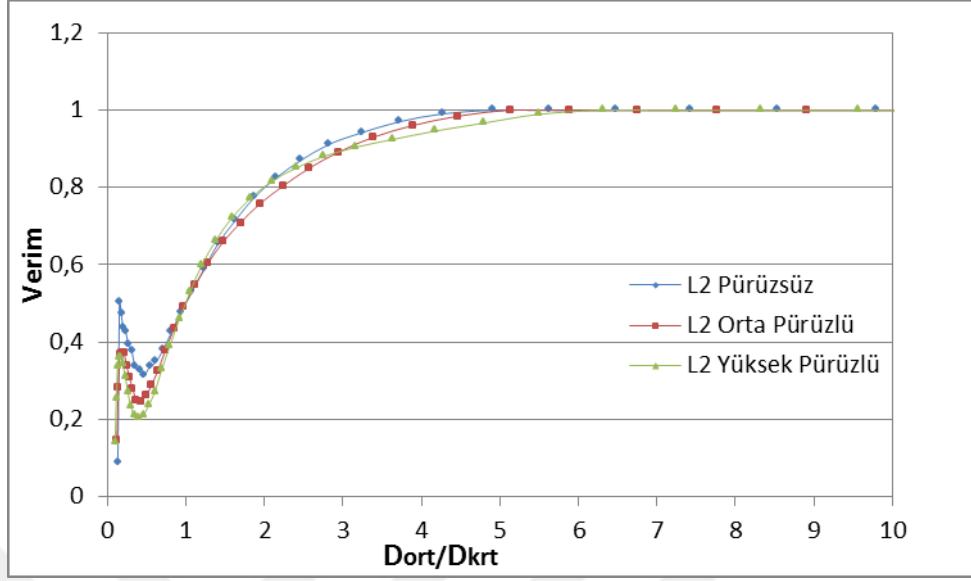
**Grafik 4.109.** H1L5 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



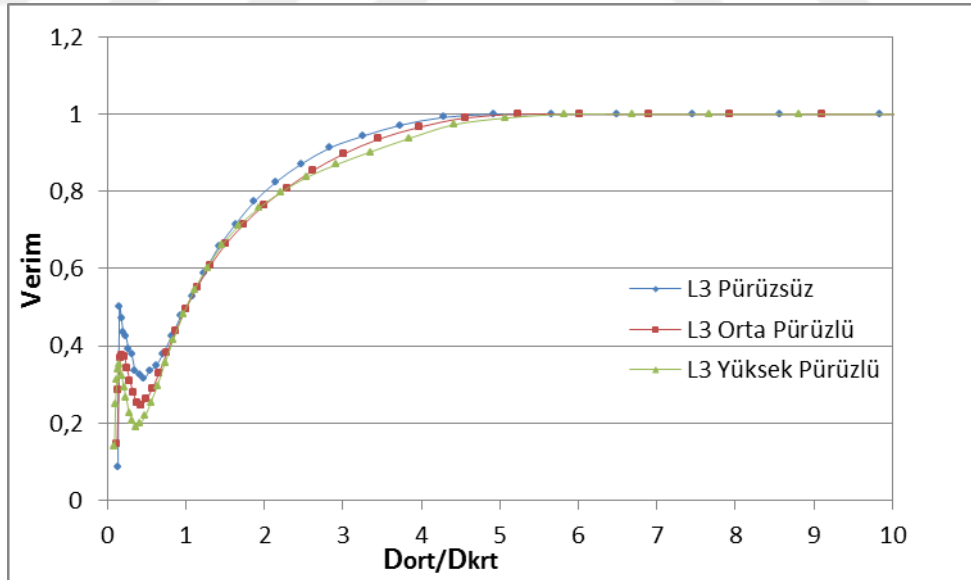
**Grafik 4.110.** H1L6 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



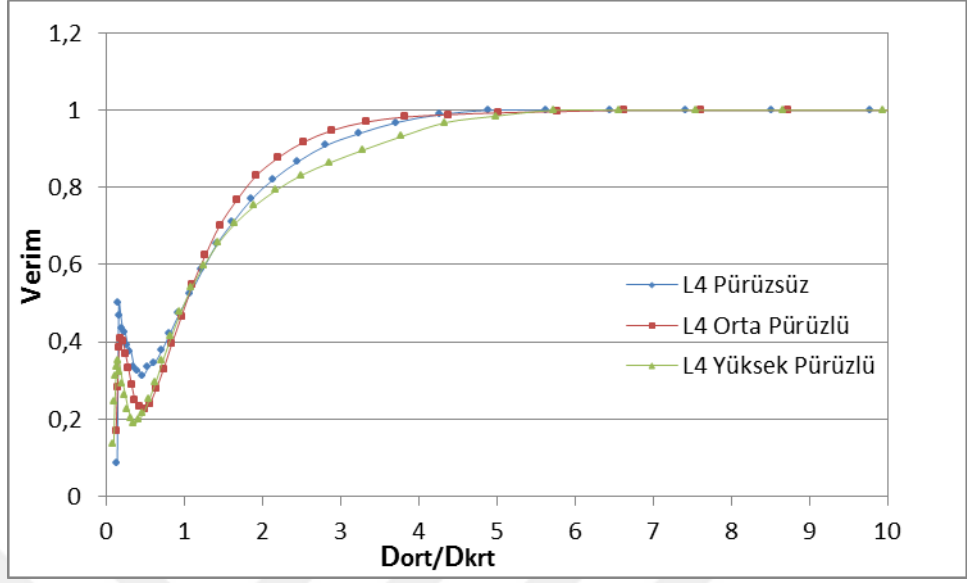
**Grafik 4.111.** H2L1 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



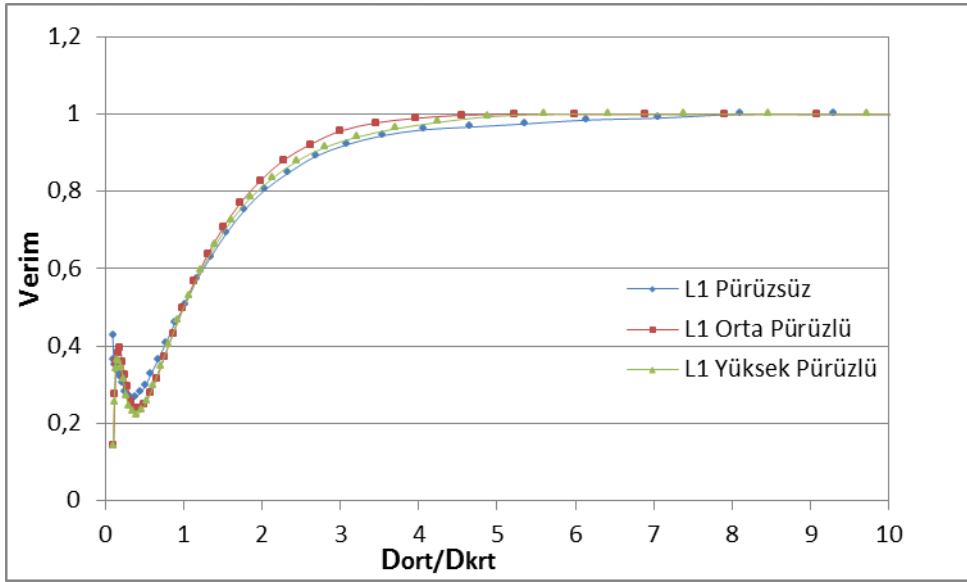
**Grafik 4.112.** H2L2 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



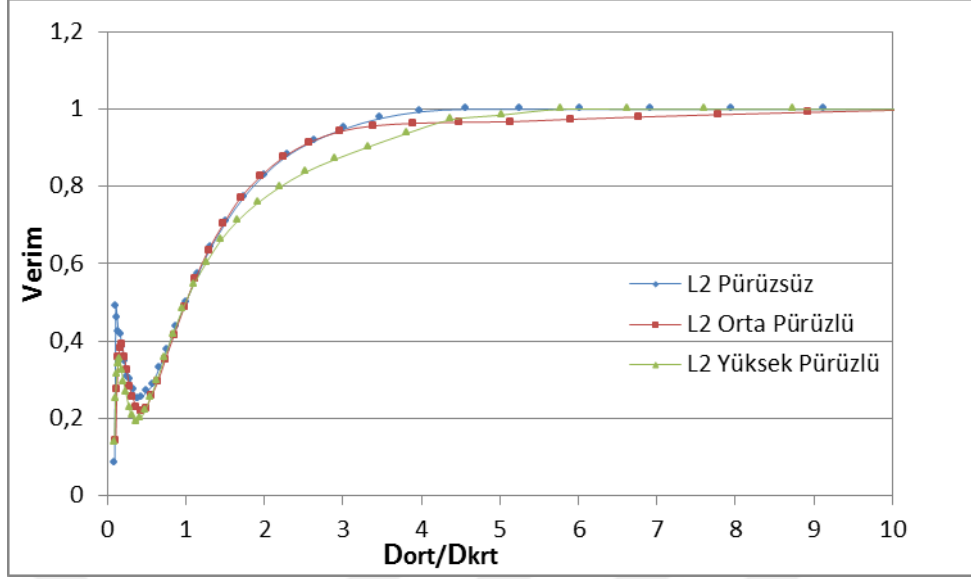
**Grafik 4.113.** H2L3 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



**Grafik 4.114.** H2L4 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



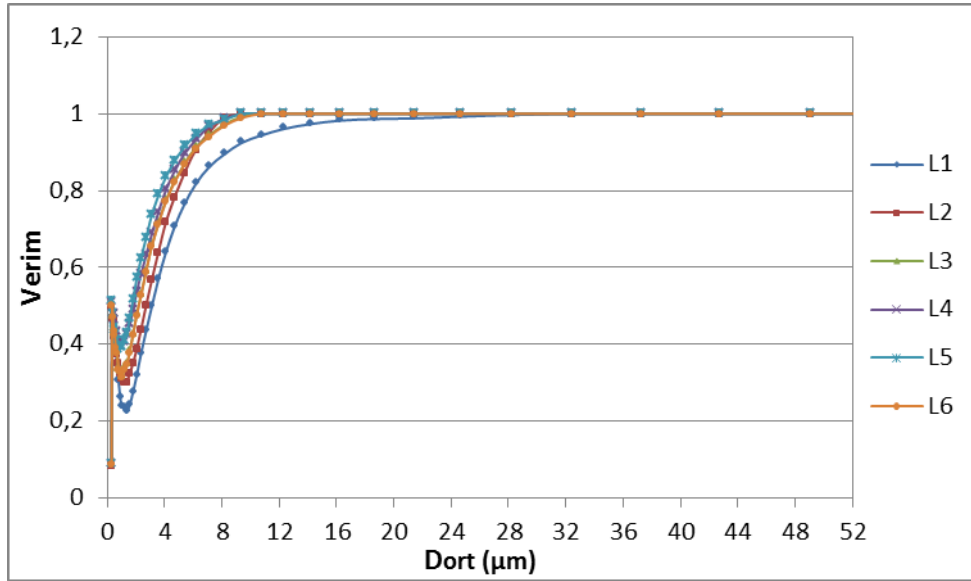
**Grafik 4.115.** H3L1 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



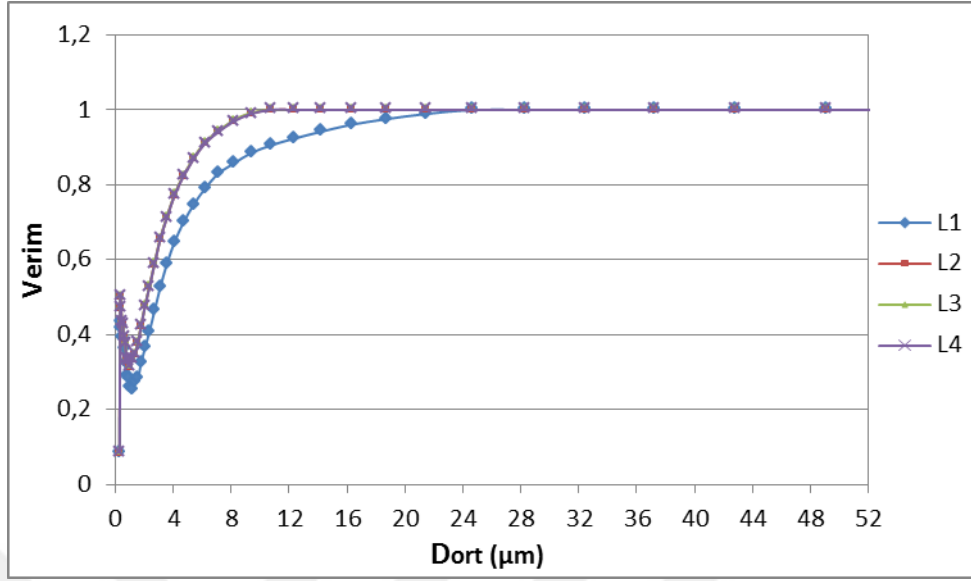
**Grafik 4.116.** H3L2 için Verim – Dort/Dkrt eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)

#### 4.5.5.b. Boyutlu Fraksiyonel Verim Eğrileri

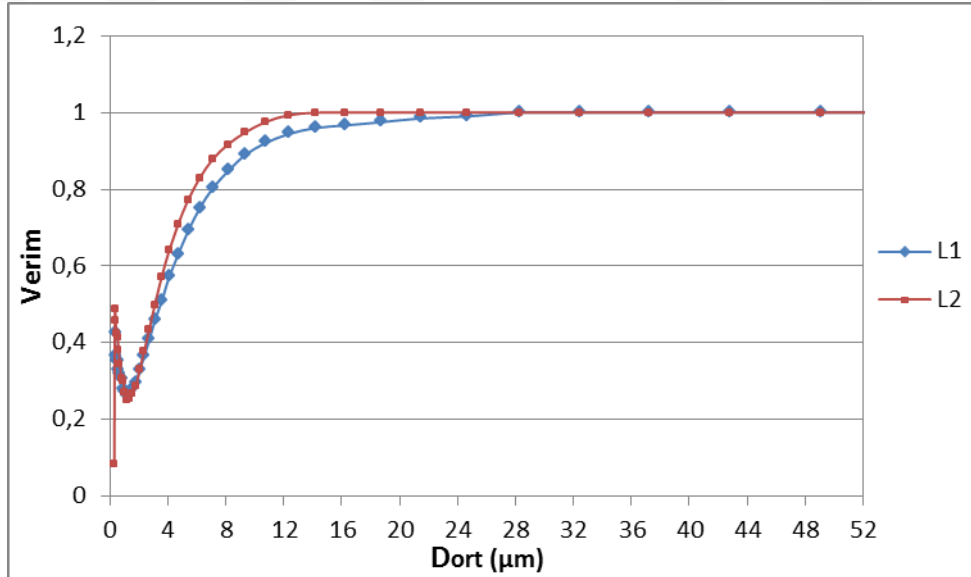
Yatay ekseninde ortalama  $\phi$ ın ifade edildiği eğrilerdir. Tez konusuna teşkil eden verim deneyleri için geçerli olan sınır şartlarında ortalama  $\phi$  değerlerinin kısmi verimlerini göstermektedirler.



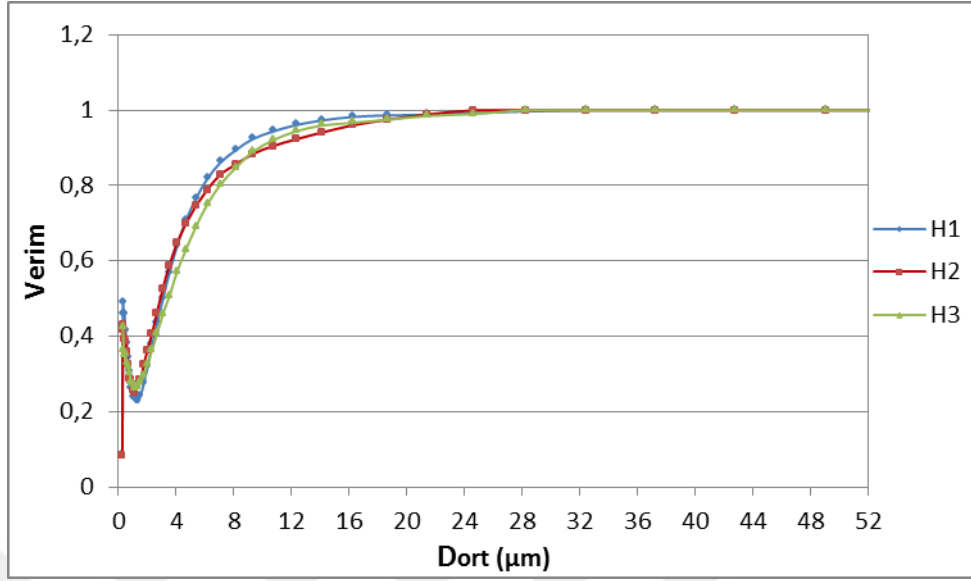
**Grafik 4.117.** H1 için Verim –  $D_{ort}$  eğrileri (Pürüzsüz yüzey)



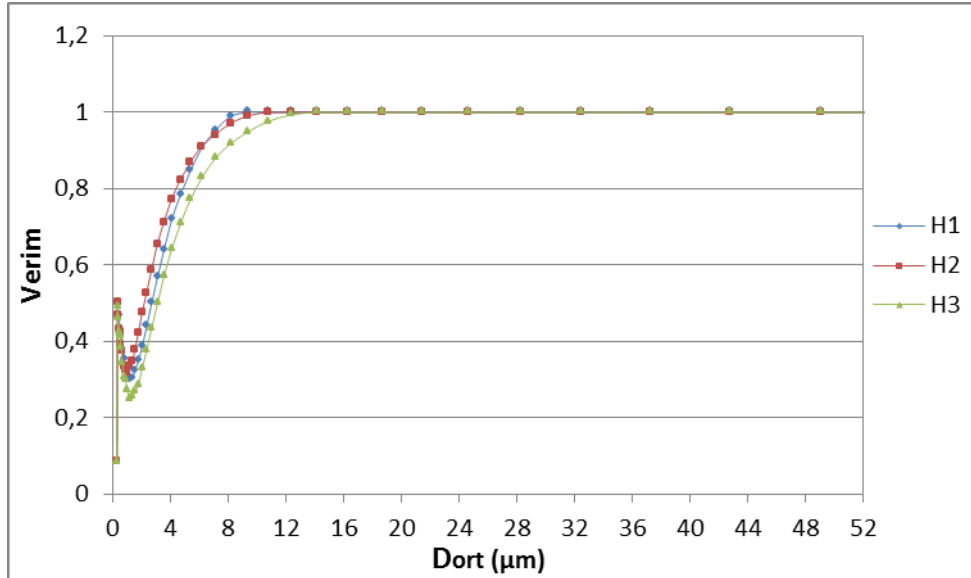
**Grafik 4.118.** H2 için Verim –  $D_{ort}$  eğrisi (Pürüzsüz yüzey)



**Grafik 4.119.** H3 için Verim –  $D_{ort}$  eğrileri (Pürüzsüz yüzey)

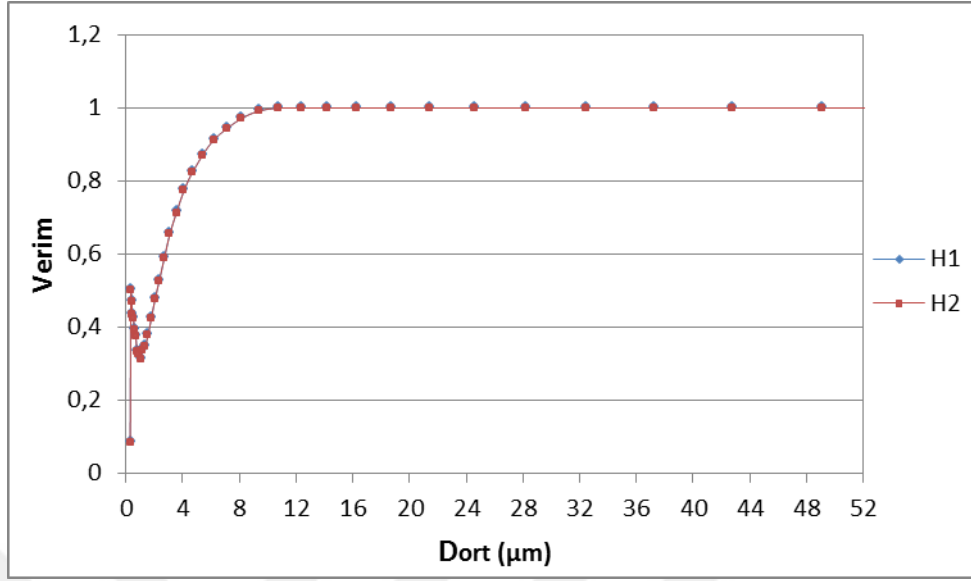


**Grafik 4.120.** L1 için Verim –  $D_{ort}$  eğrileri (Pürüzsüz yüzey)

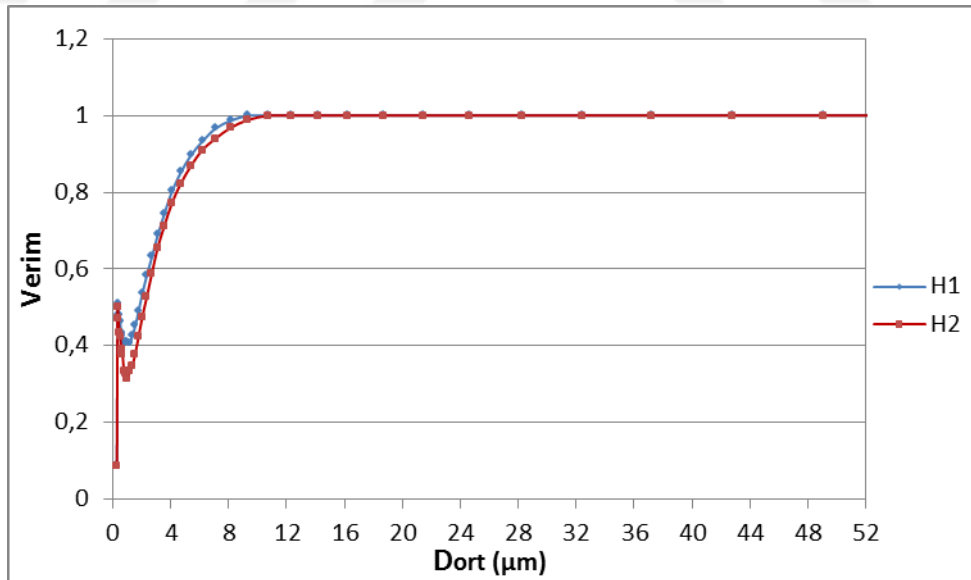


**Grafik 4.121.** L2 için Verim –  $D_{ort}$  eğrileri (Pürüzsüz yüzey)

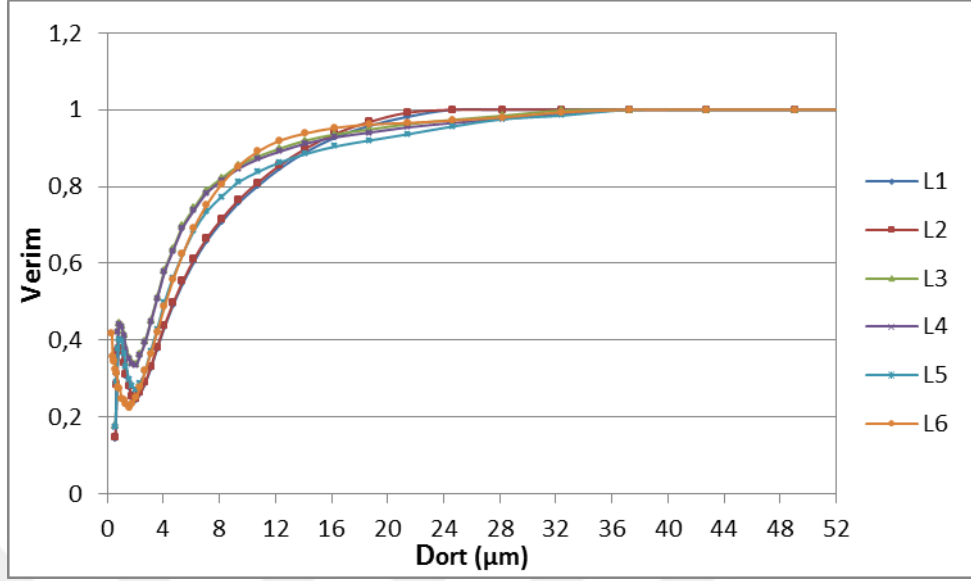




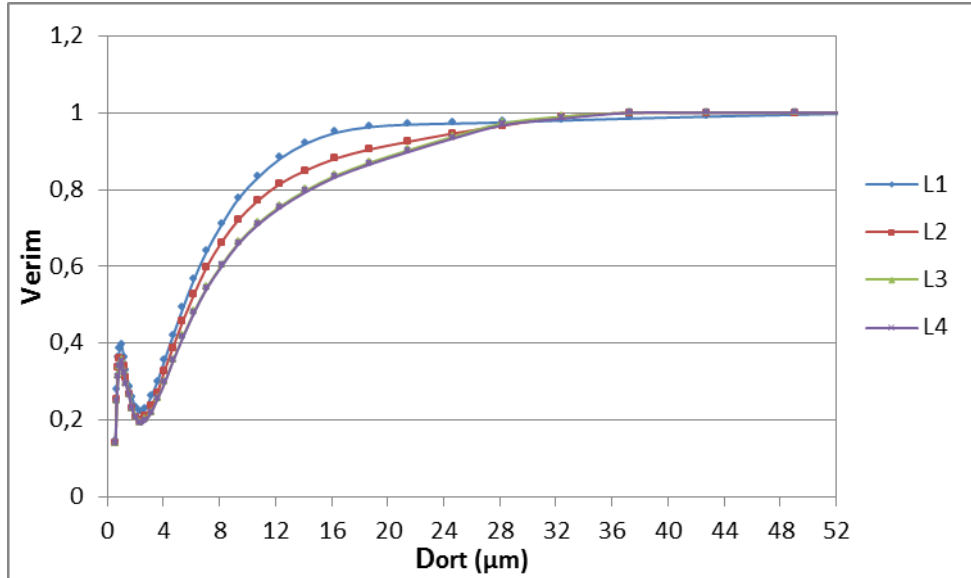
**Grafik 4.122.** L3 için Verim –  $D_{ort}$  eğrileri (Pürüzsüz yüzey)



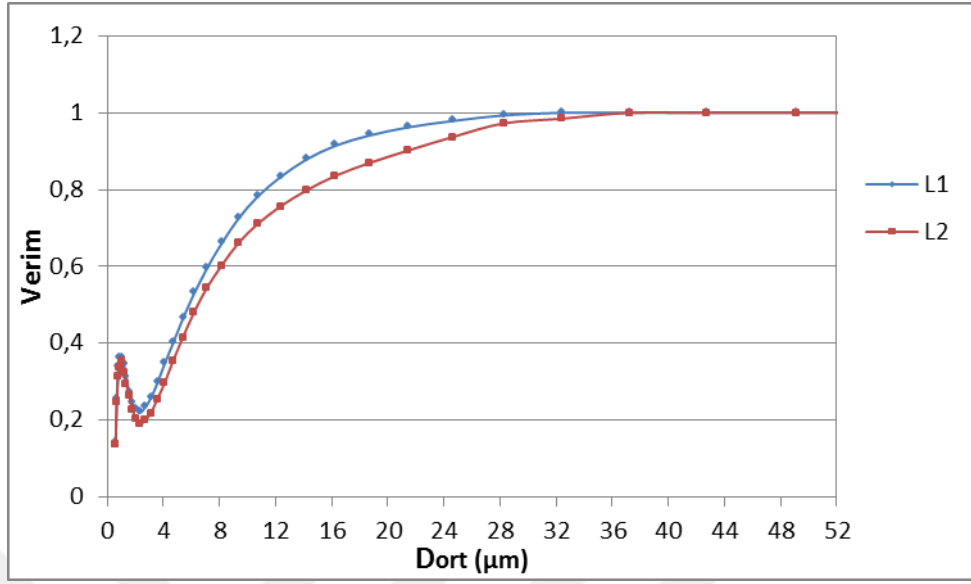
**Grafik 4.123.** L4 için Verim –  $D_{ort}$  eğrileri (Pürüzsüz yüzey)



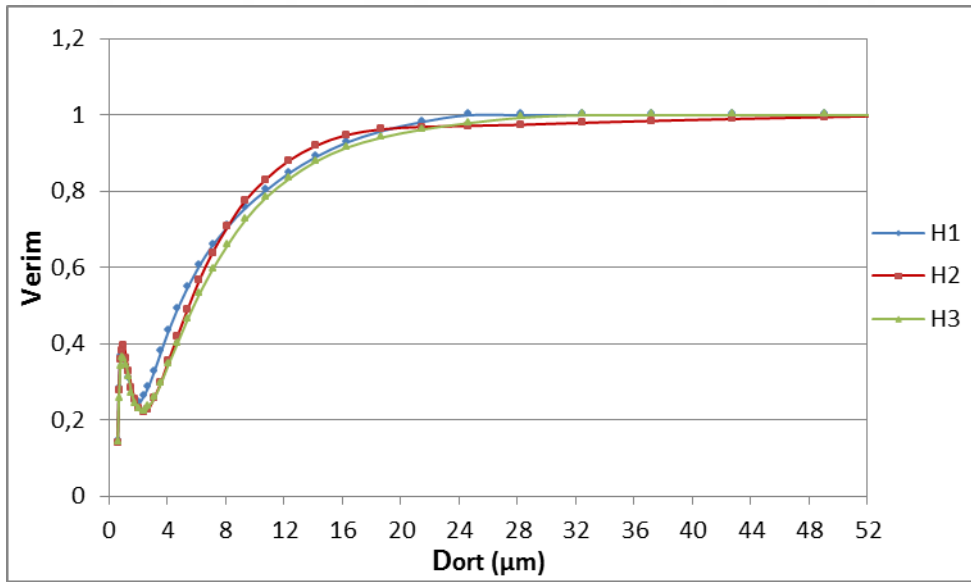
**Grafik 4.124.** H1 için Verim – D<sub>ort</sub> eğrileri (Yüksek Pürüzlü)



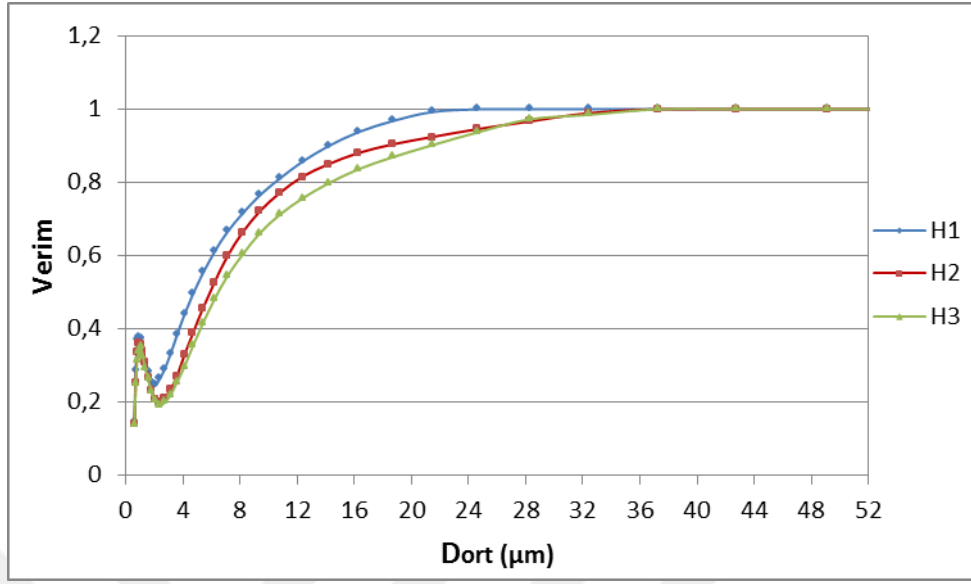
**Grafik 4.125.** H2 için Verim – D<sub>ort</sub> eğrileri (Yüksek Pürüzlü)



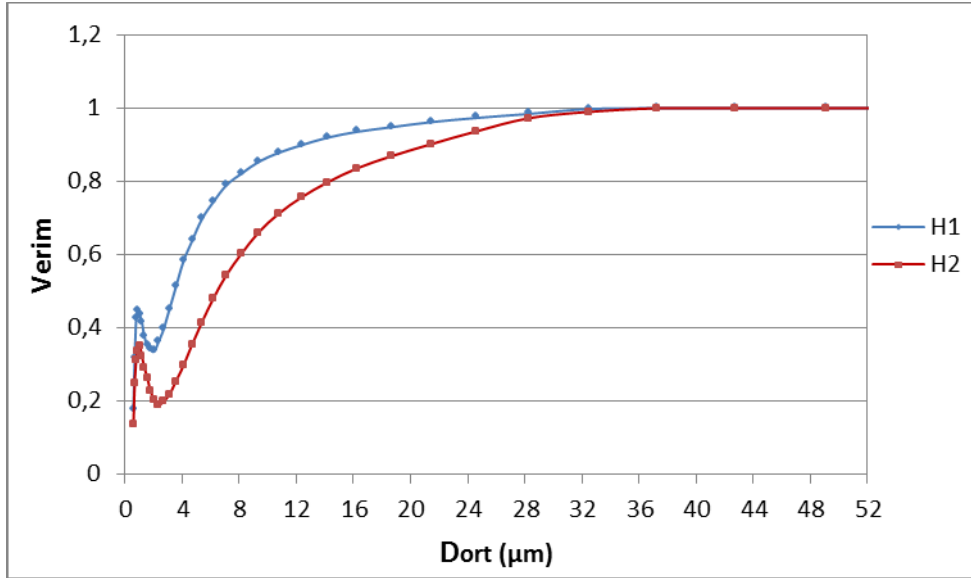
**Grafik 4.126.** H3 için Verim –  $D_{ort}$  eğrileri (Yüksek Pürüzlü)



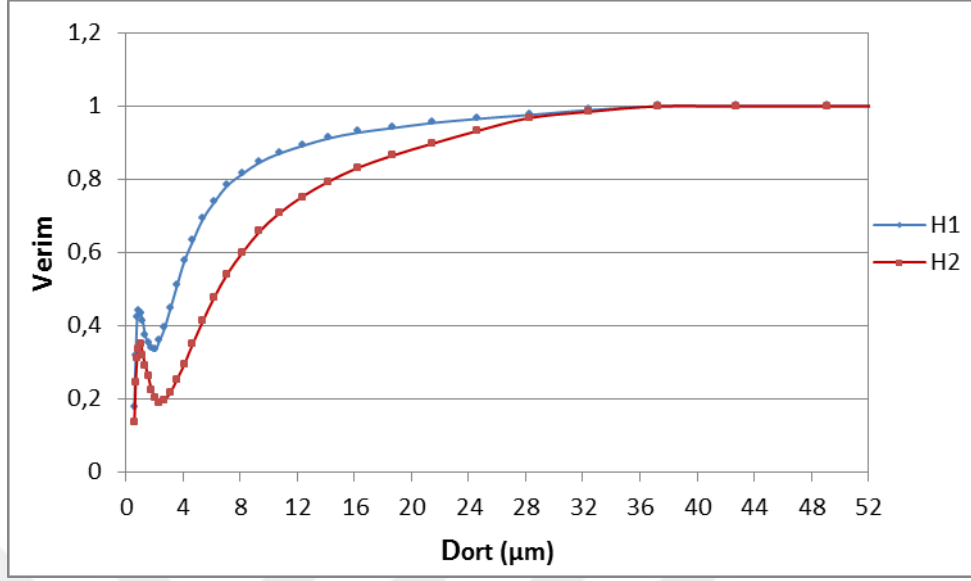
**Grafik 4.127.** L1 için Verim –  $D_{ort}$  eğrileri (Yüksek Pürüzlü)



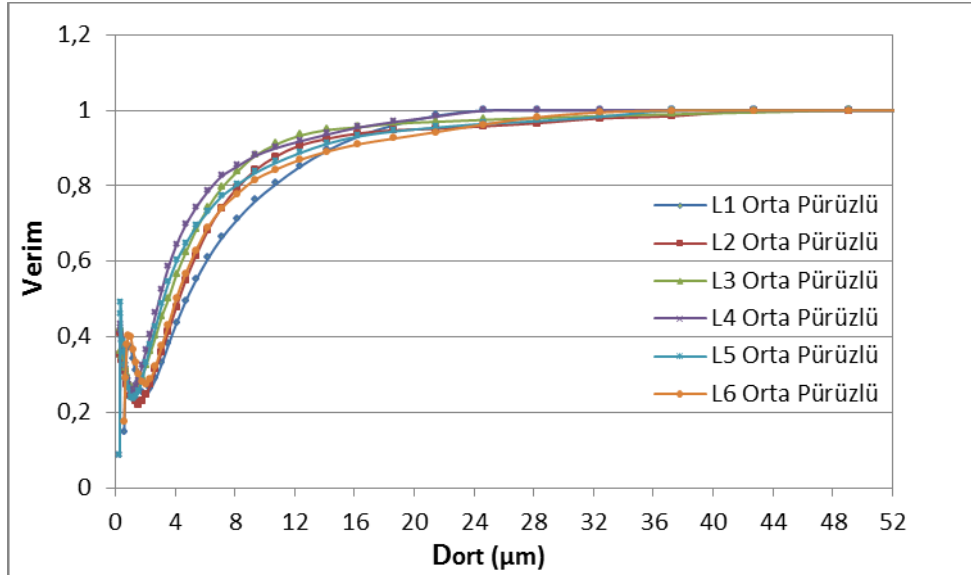
**Grafik 4.128.** L2 için Verim –  $D_{ort}$  eğrileri (Yüksek Pürüzlü)



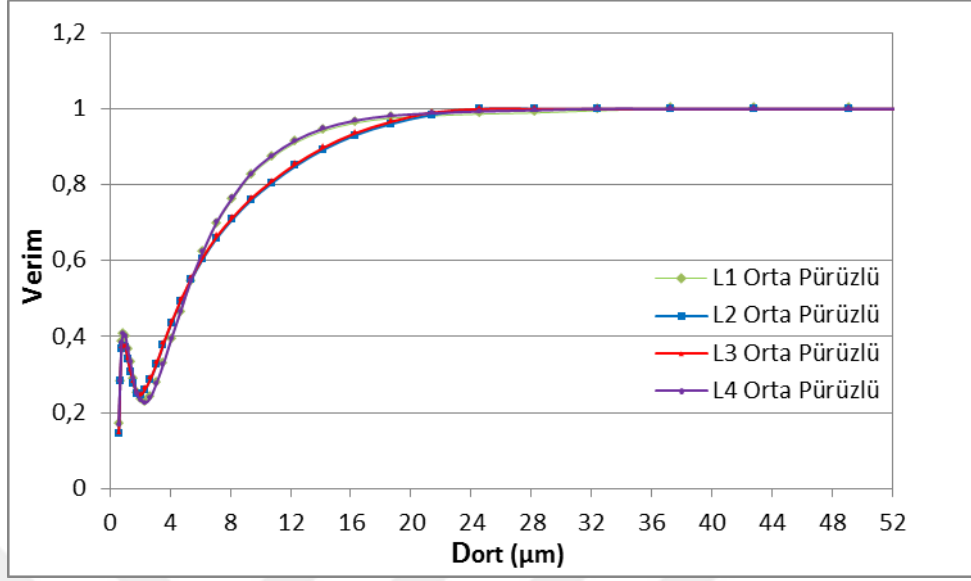
**Grafik 4.129.** L3 için Verim –  $D_{ort}$  eğrileri (Yüksek Pürüzlü)



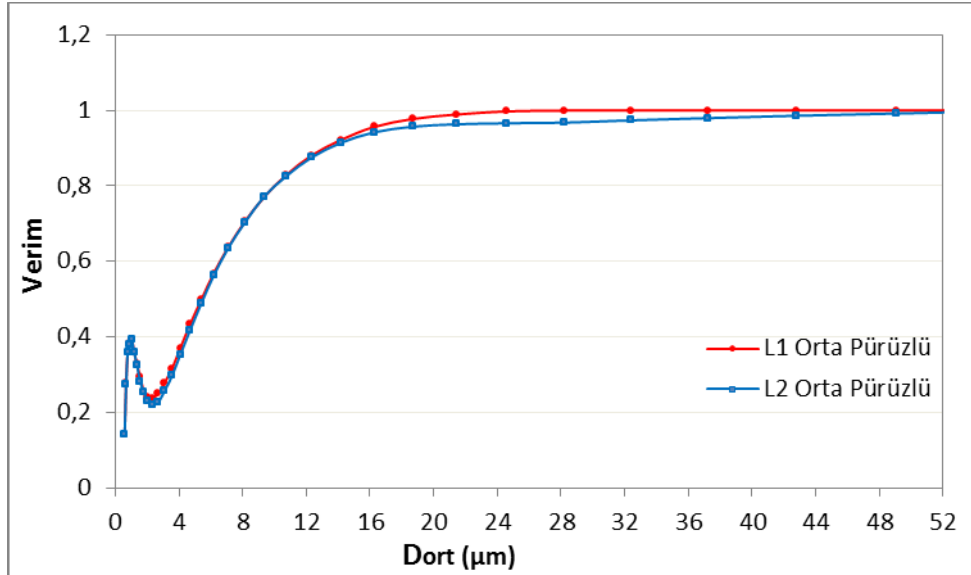
**Grafik 4.130.** L4 için Verim –  $D_{ort}$  eğrileri (Yüksek Pürüzlü)



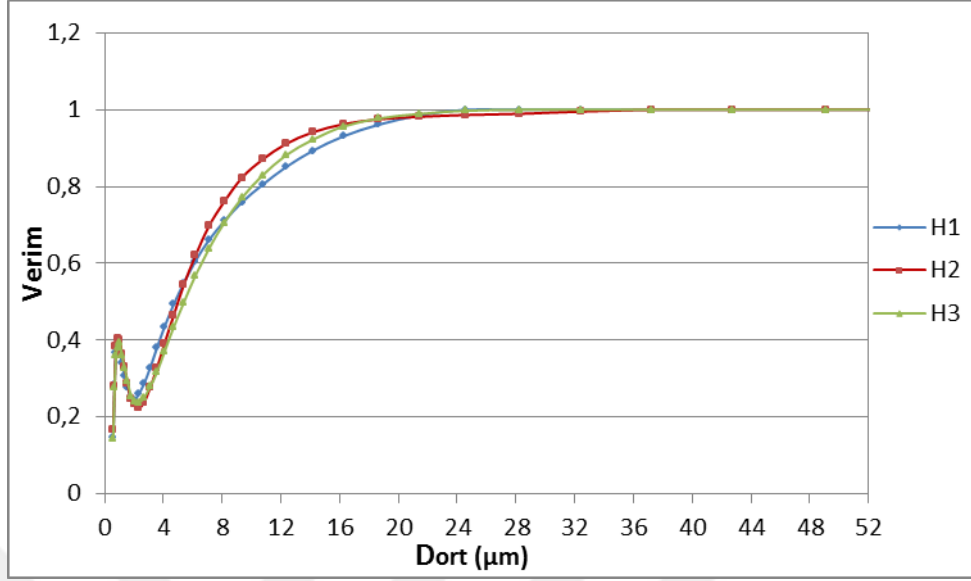
**Grafik 4.131.** H1 için Verim –  $D_{ort}$  eğrileri (Orta Pürüzlü)



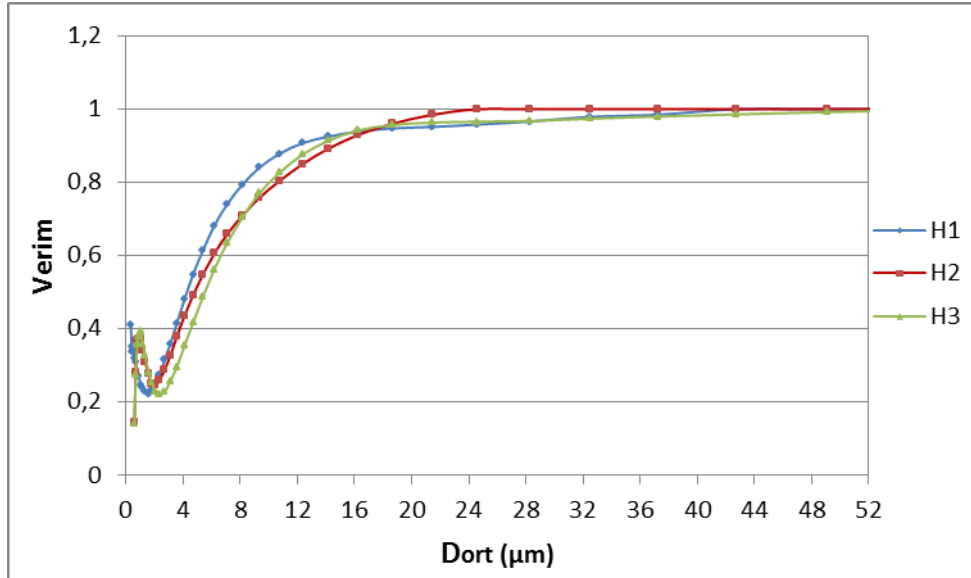
**Grafik 4.132.** H2 için Verim – D<sub>ort</sub> eğrileri (Orta Pürüzlü)



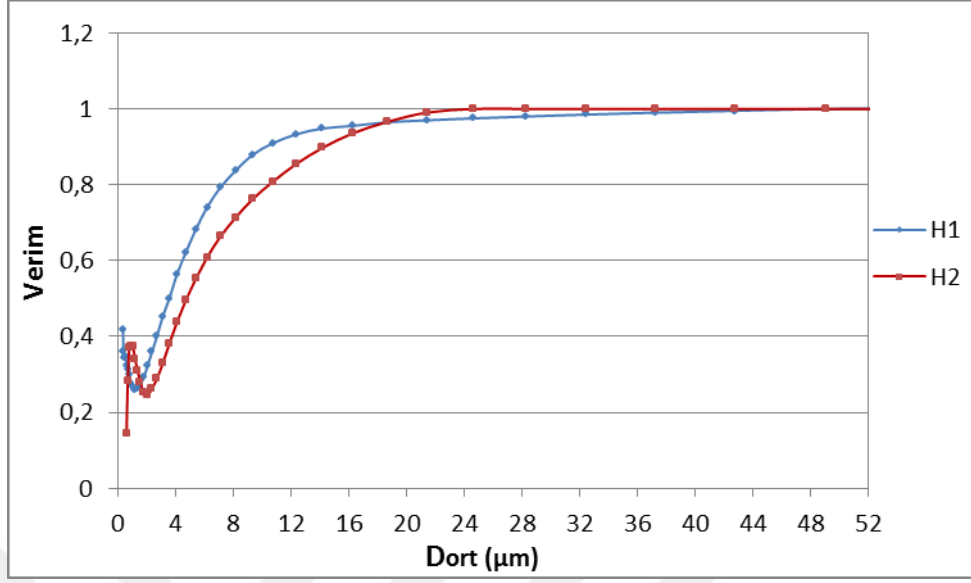
**Grafik 4.133.** H3 için Verim – D<sub>ort</sub> eğrileri (Orta Pürüzlü)



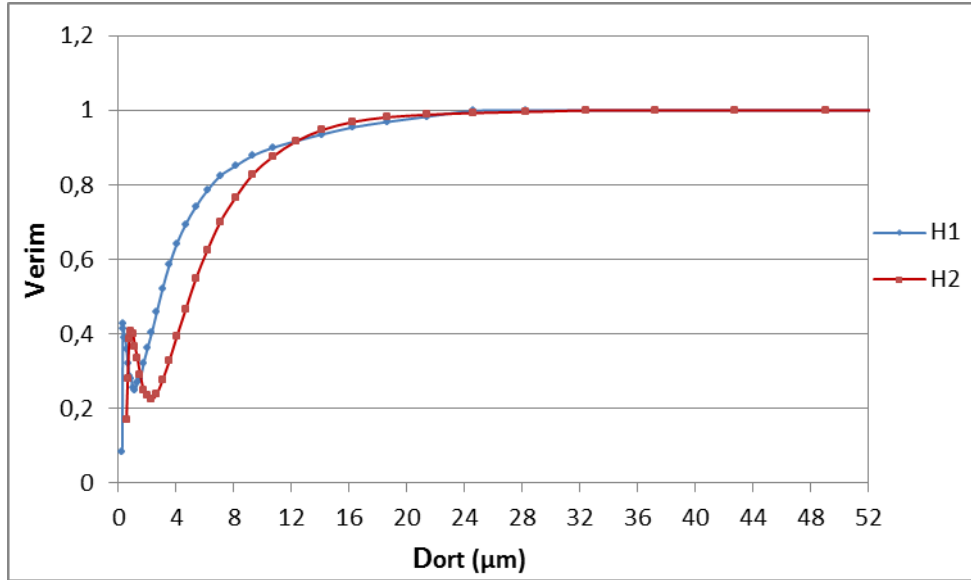
**Grafik 4.134.** L1 için Verim – D<sub>ort</sub> eğrileri (Orta Pürüzlü)



**Grafik 4.135.** L2 için Verim – D<sub>ort</sub> eğrileri (Orta Pürüzlü)

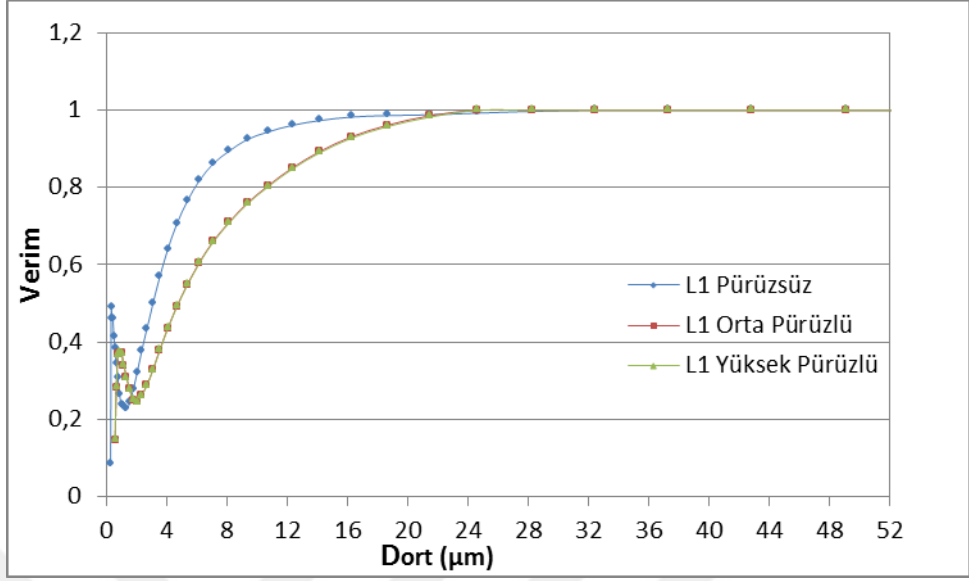


**Grafik 4.136.** L3 için Verim –  $D_{ort}$  eğrileri (Orta Pürüzlü)

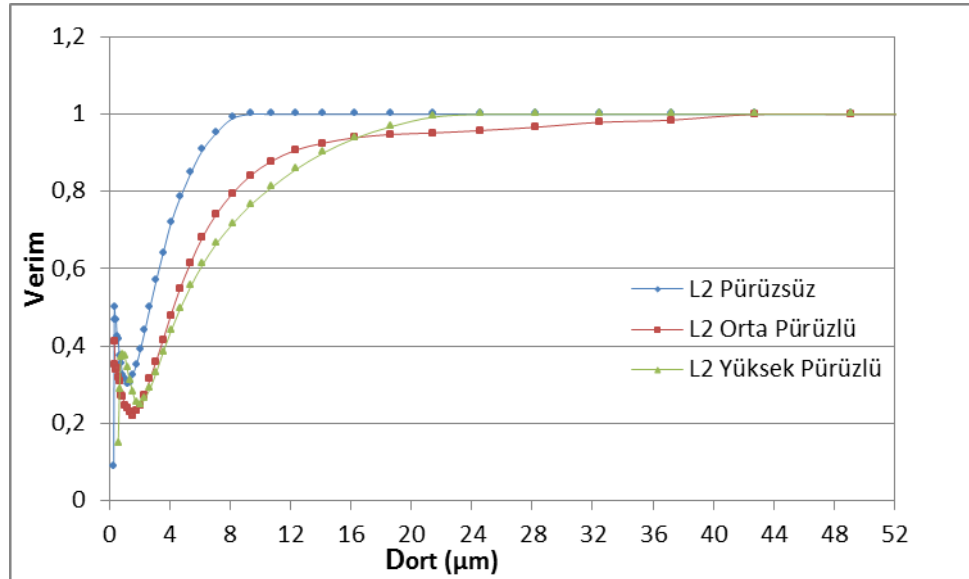


**Grafik 4.137.** L4 için Verim –  $D_{ort}$  eğrileri (Orta Pürüzlü)

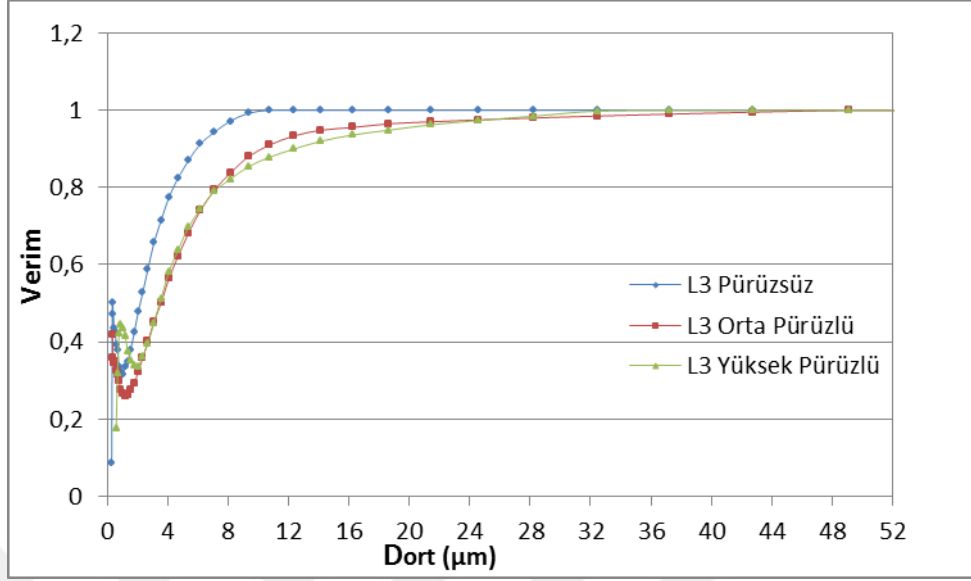




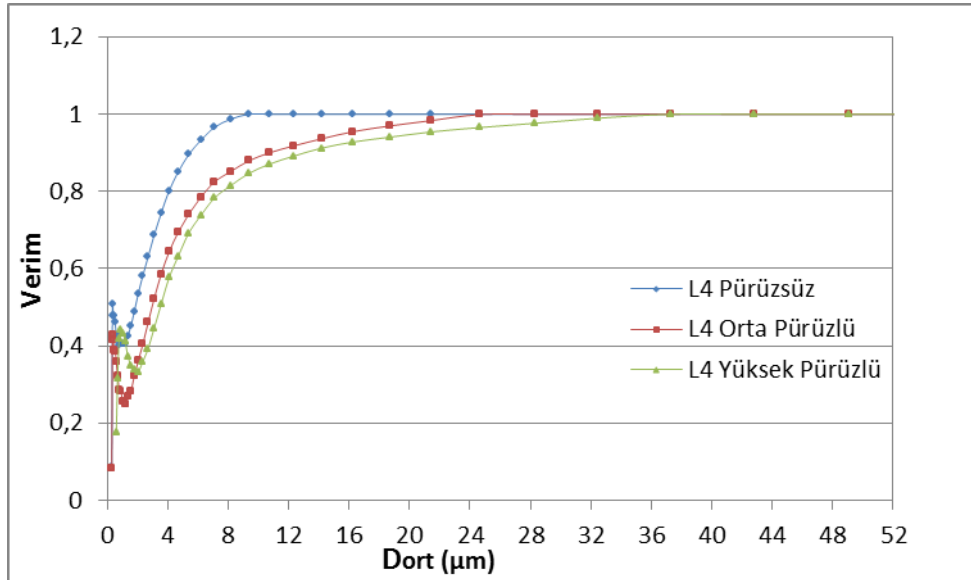
**Grafik 4.138.** H1L1 için Verim – D<sub>ort</sub> eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



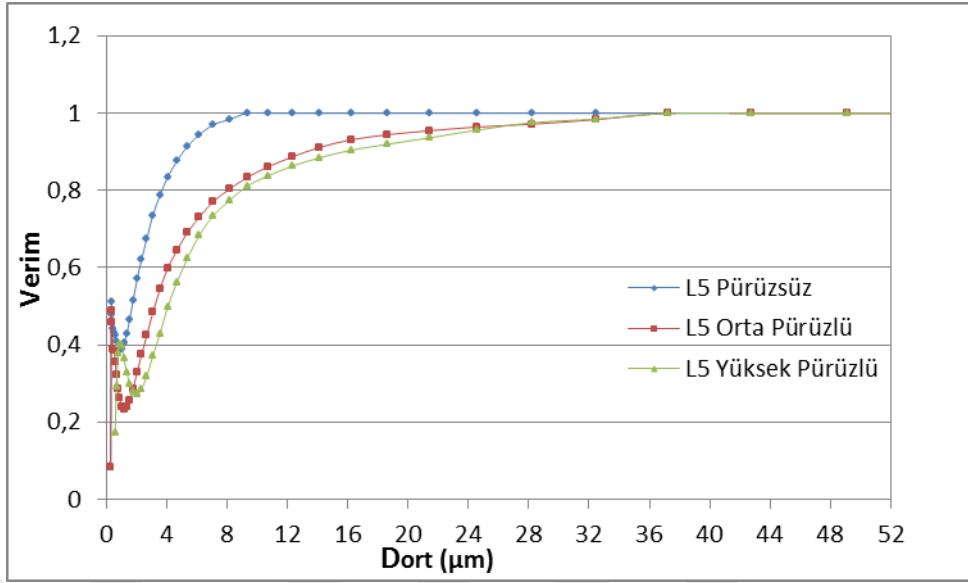
**Grafik 4.139.** H1L2 için Verim – D<sub>ort</sub> eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



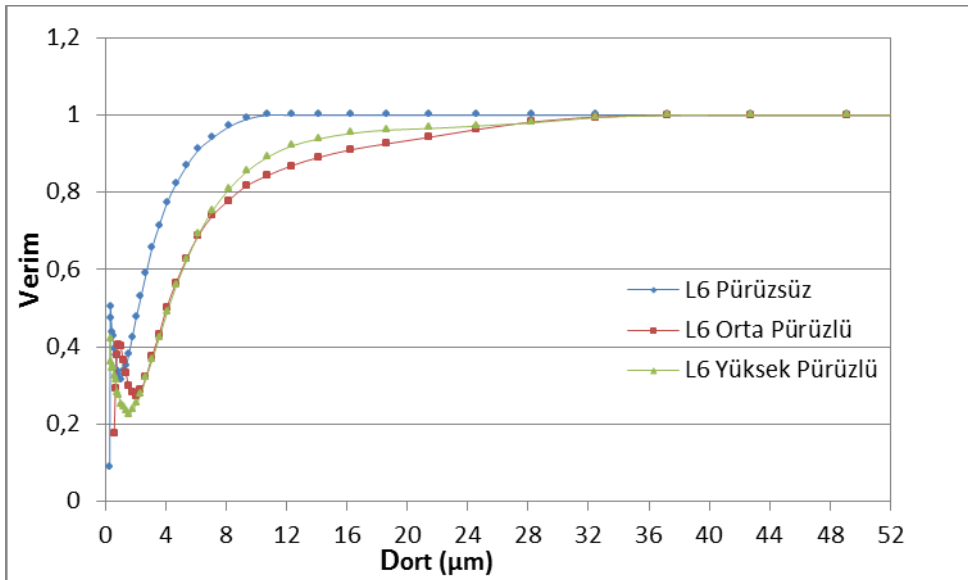
**Grafik 4.140.** H1L3 için Verim – Dort eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



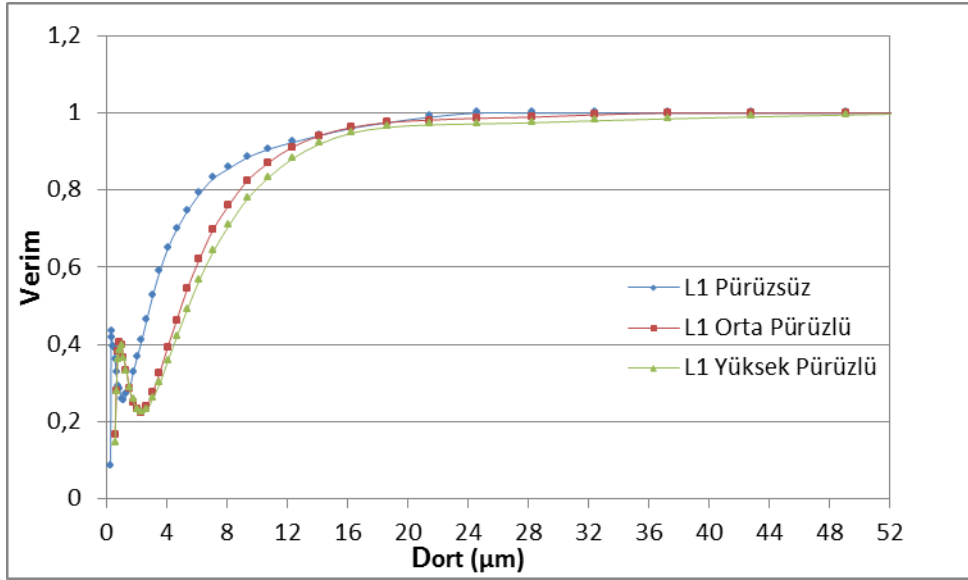
**Grafik 4.141.** H1L4 için Verim – Dort eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



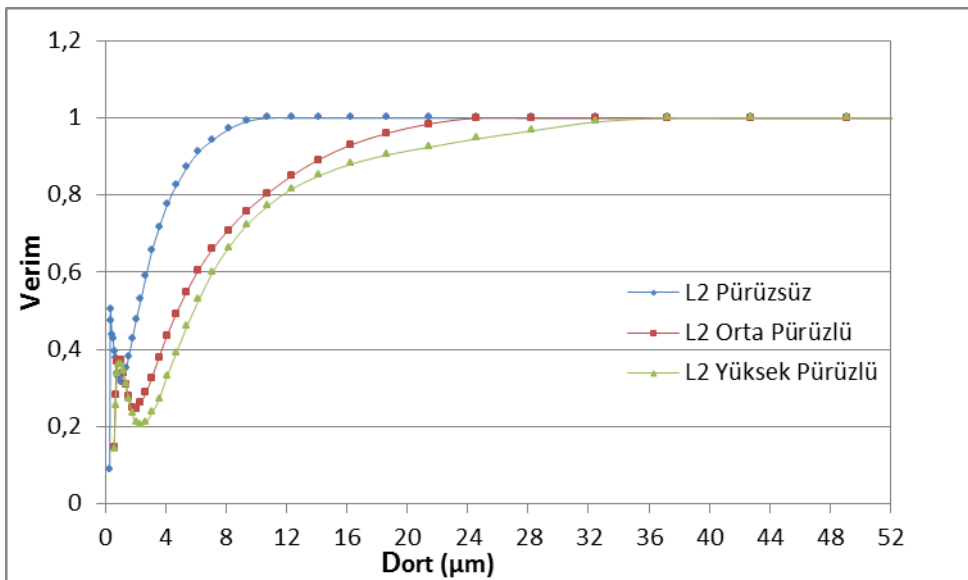
**Grafik 4.142.** H1L5 için Verim – Dort eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



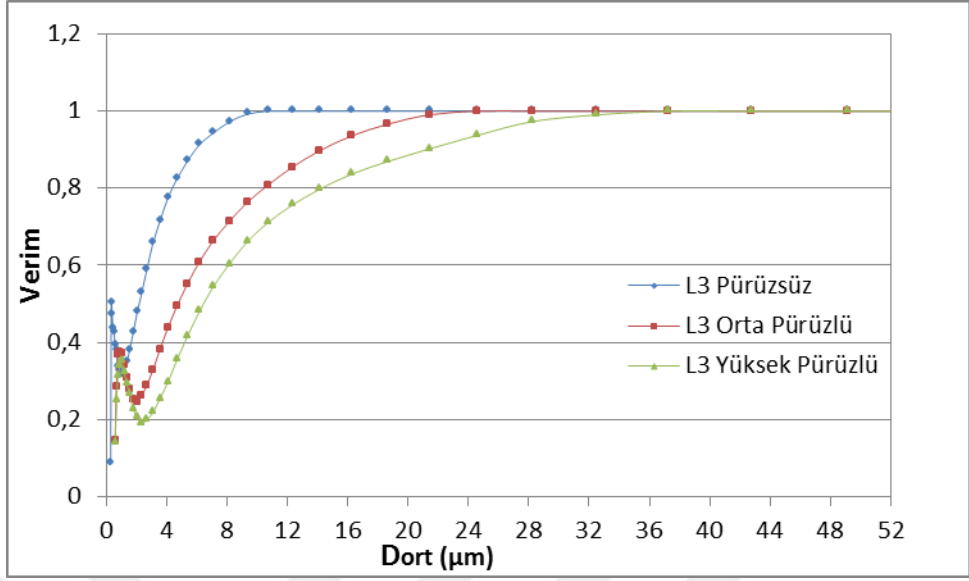
**Grafik 4.143.** H1L6 için Verim – Dort eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



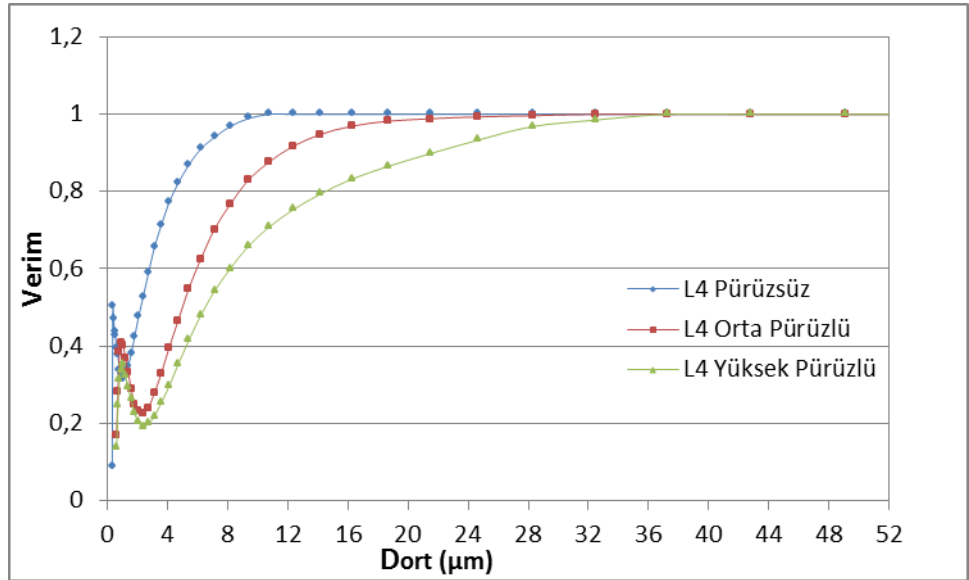
**Grafik 4.144.** H2L1 için Verim – Dört eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



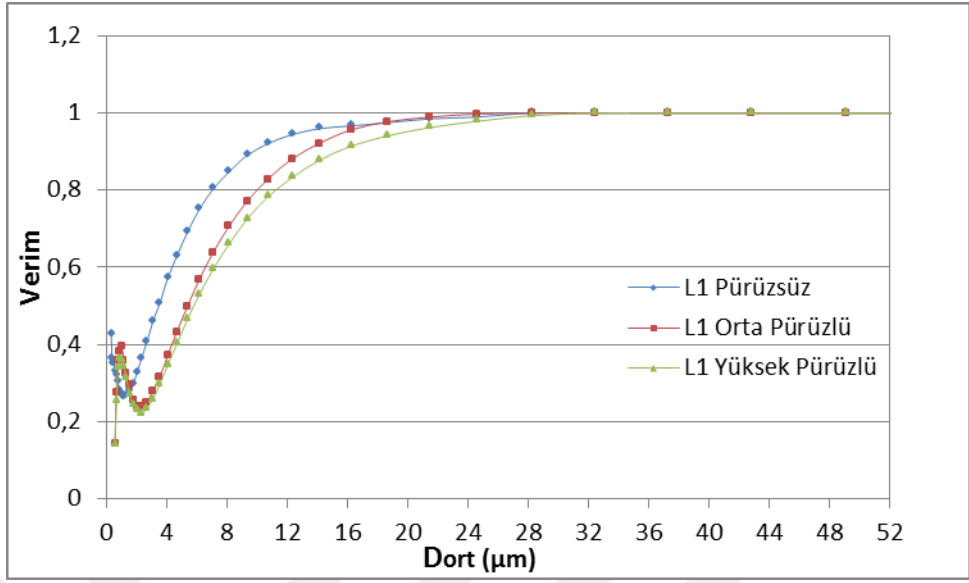
**Grafik 4.145.** H2L2 için Verim – Dört eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



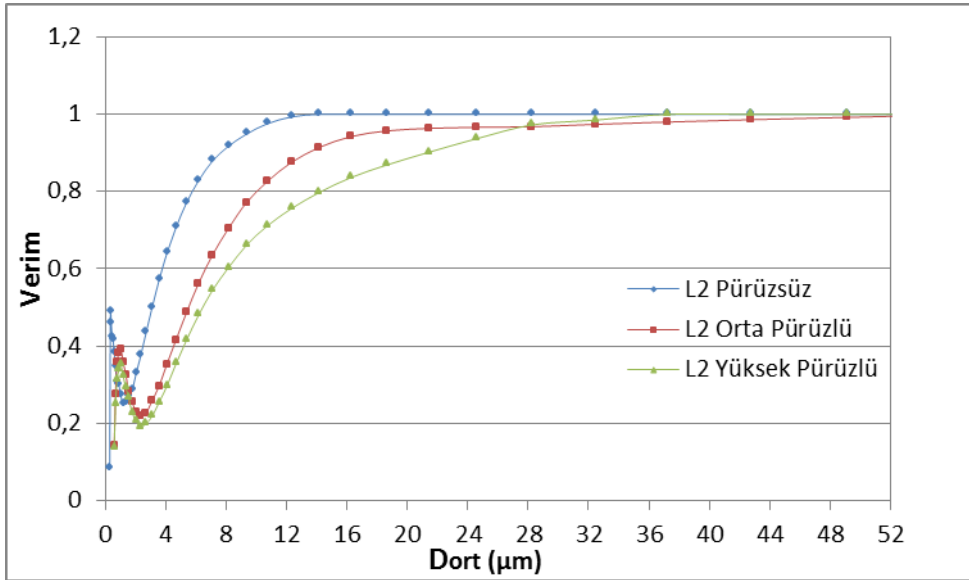
**Grafik 4.146.** H2L3 için Verim – Dört eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



**Grafik 4.147.** H2L4 için Verim – Dört eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



**Grafik 4.148.** H3L1 için Verim – Dört eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)



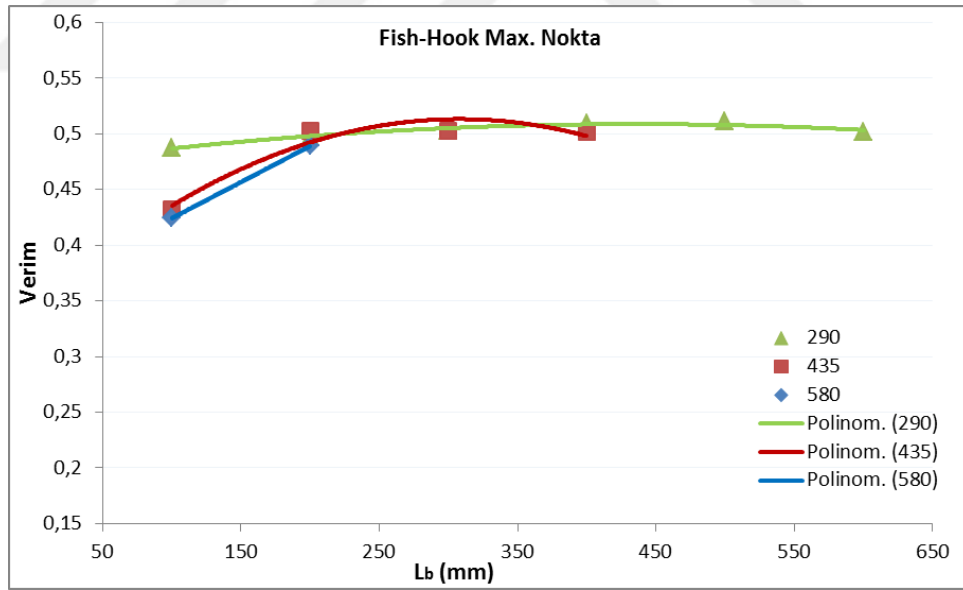
**Grafik 4.149.** H3L2 için Verim – Dört eğrileri  
(Pürüzsüz-Orta-Yüksek Pürüzlü)

#### 4.6. Fish Hook Noktaları

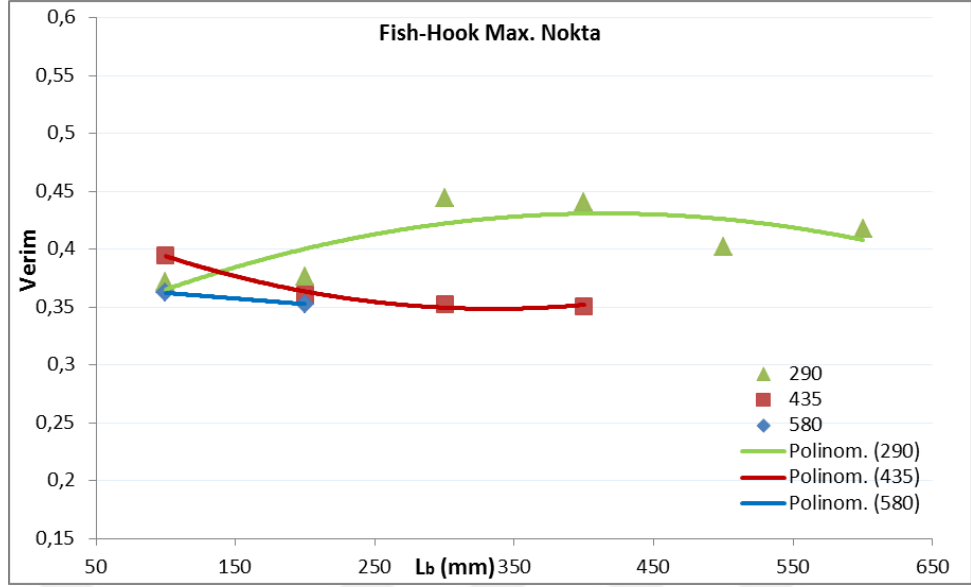
Grafik 4.149'dan görüleceği üzere belirli mikronun altında fraksiyonel verimde hızlı bir düşüş meydana gelmektedir. Ancak minimuma indiği gözlenen eğri belirli değerden sonra tekrar yükselişe geçmektedir. Literatürde buna 'Fish Hook' etkisi denmektedir. Fraksiyonel verim eğrilerindeki Fish Hook kısmında bulunan maksimum ve minimum noktaların farklı pürüzlülük ve katı gövde yüksekliğine göre elde edilen grafikleri aşağıda verilmiştir.

##### 4.6.a. Fish Hook maksimum noktalardan oluşan grafikler

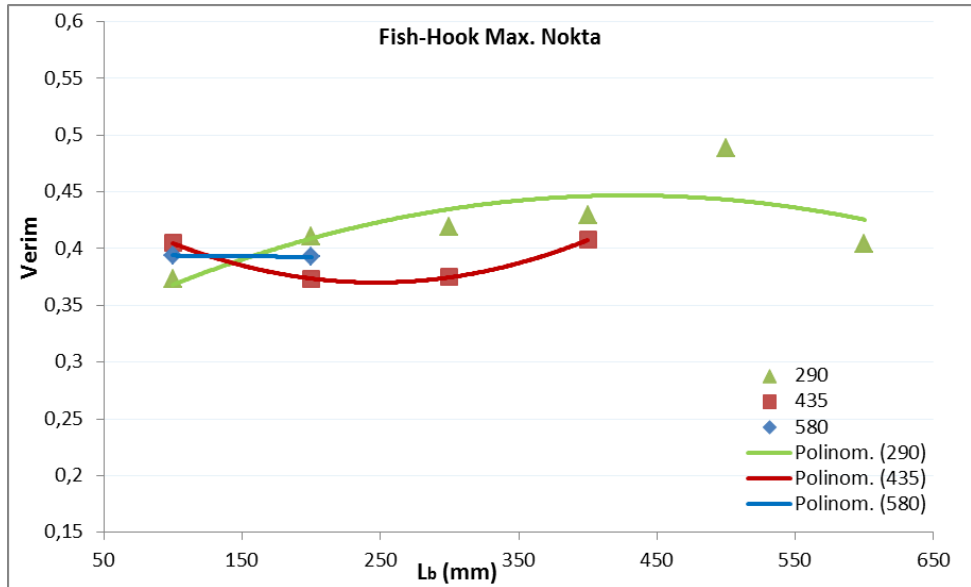
Fraksiyonel verim eğrilerinin fish hook bölgesindeki maksimum noktalarından elde edilen grafiklerdir. Genel olarak toplama verimi grafikleri ile uyumlu bir karakter sergilediklerini söyleyebiliriz.



**Grafik 4.150.** Fish Hook maksimum noktaları için Verim – Sanal Boşluk mesafesi eğrileri (Pürüzsüz yüzey durumu)

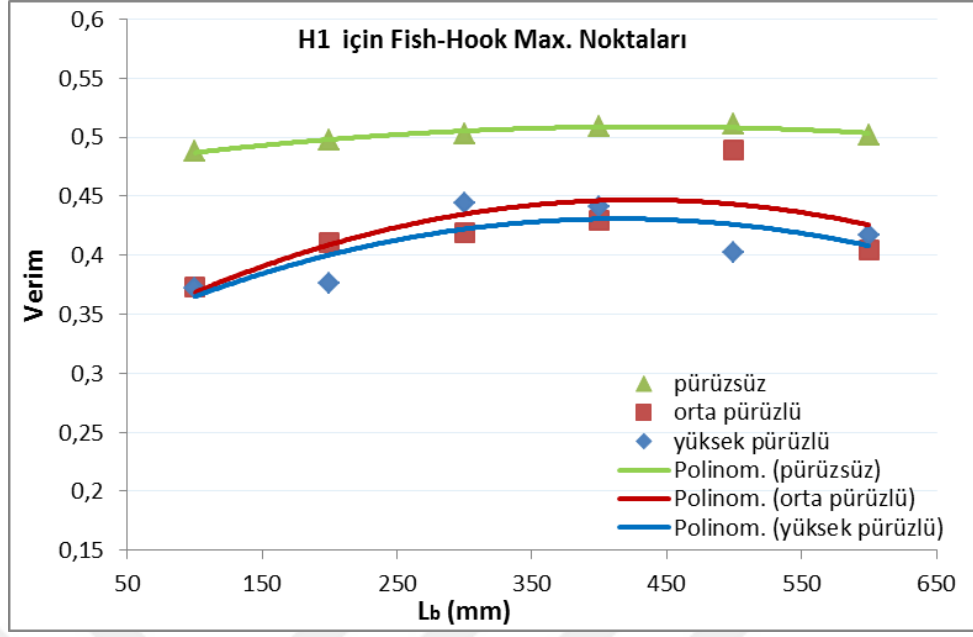


**Grafik 4.151.** Fish Hook maksimum noktaları için Verim – Sanal Boşluk mesafesi eğrileri (Yüksek pürüzlü yüzey durumu)

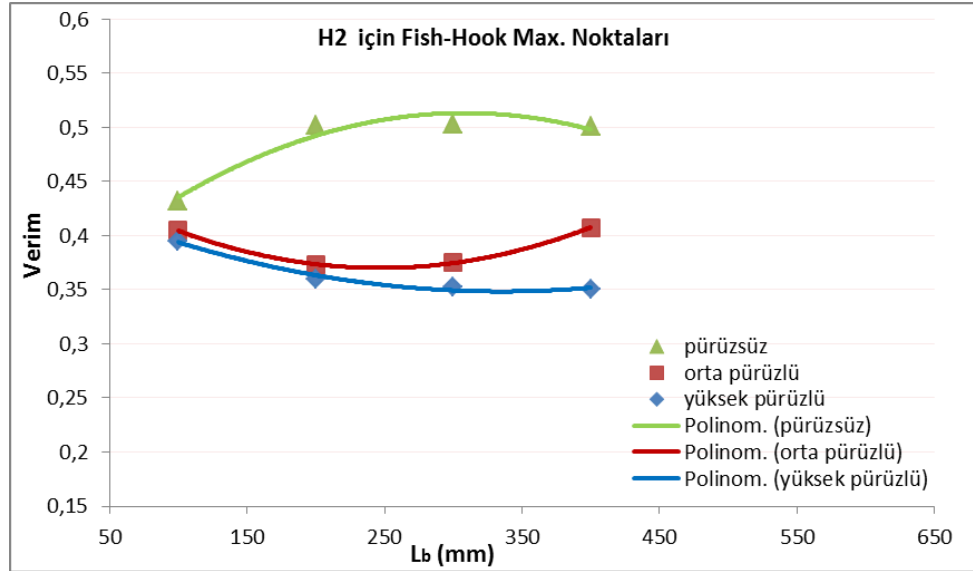


**Grafik 4.152.** Fish Hook maksimum noktaları için Verim – Sanal Boşluk mesafesi eğrileri (Orta pürüzlü yüzey durumu)

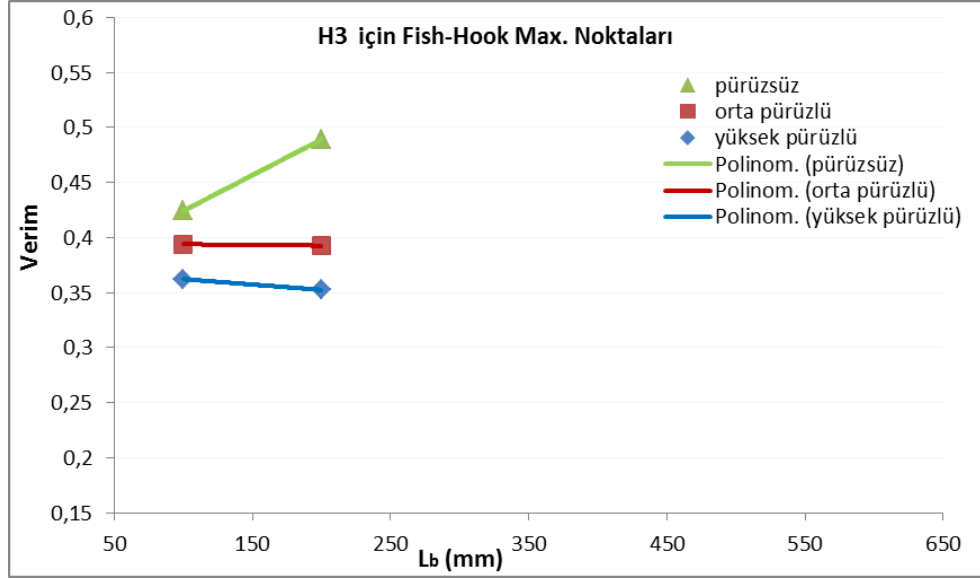




**Grafik 4.153.** Fish Hook maksimum noktaları için Verim – Sanal Boşluk mesafesi eğrileri (H1 sabit)



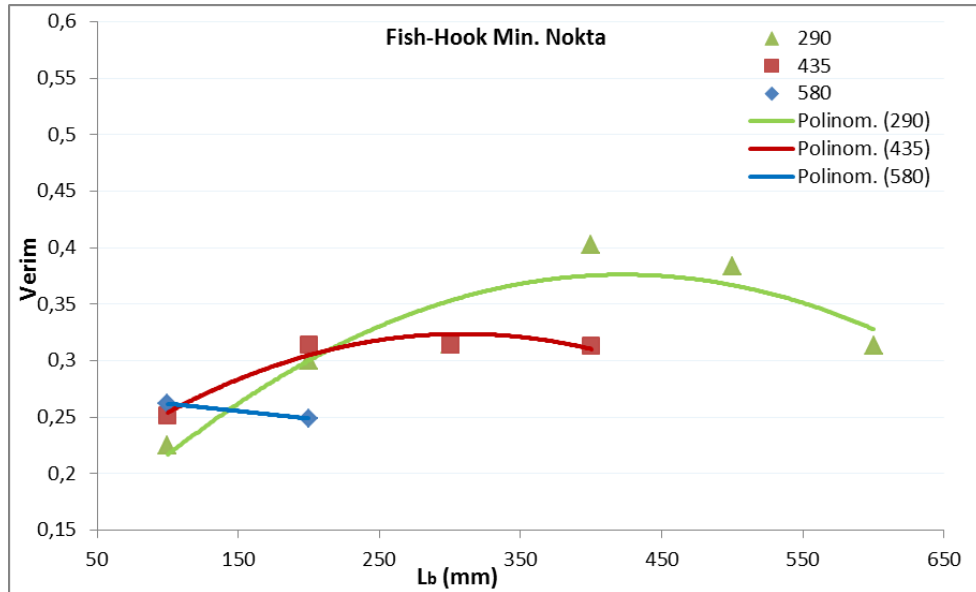
**Grafik 4.154.** Fish Hook maksimum noktaları için Verim – Sanal Boşluk mesafesi eğrileri (H2 sabit)



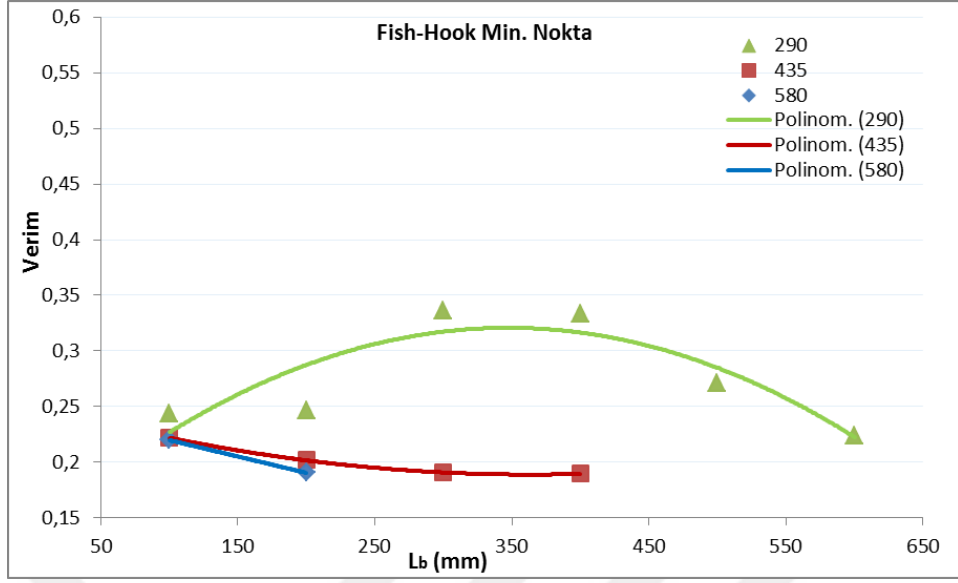
**Grafik 4.155.** Fish Hook maksimum noktaları için Verim – Sanal Boşluk mesafesi eğrileri (H3 sabit)

#### 4.6.b. Fish Hook minimum noktalardan oluşan grafikler

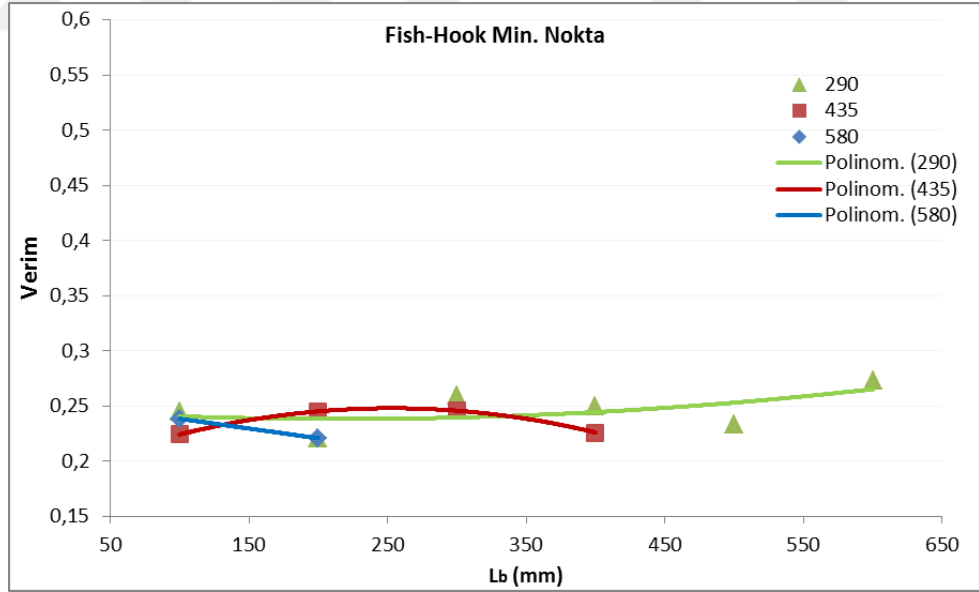
Fraksiyonel verim eğrilerinin fish hook bölgesindeki minimum noktalardan elde edilen grafiklerdir. Bazı istisnalar dışında grafiklerden de görüleceği üzere Fish Hook minimum noktalarından oluşan grafiklerin toplama verim eğrileriyle uyumlu olduğu gözlenmiştir.



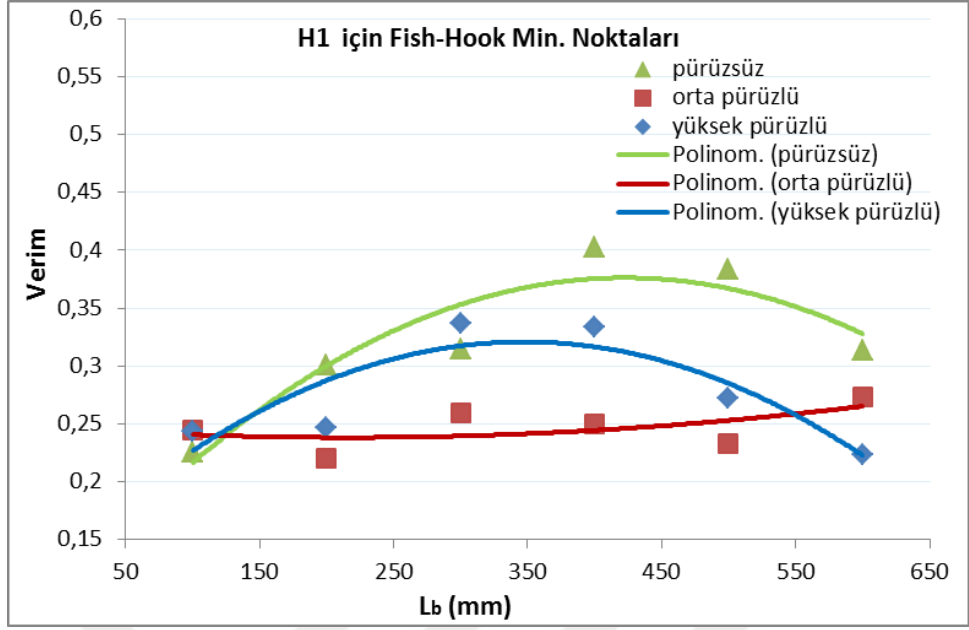
**Grafik 4.156.** Fish Hook minimum noktaları için Verim – Sanal Boşluk mesafesi eğrileri (Pürüzsüz yüzey durumu)



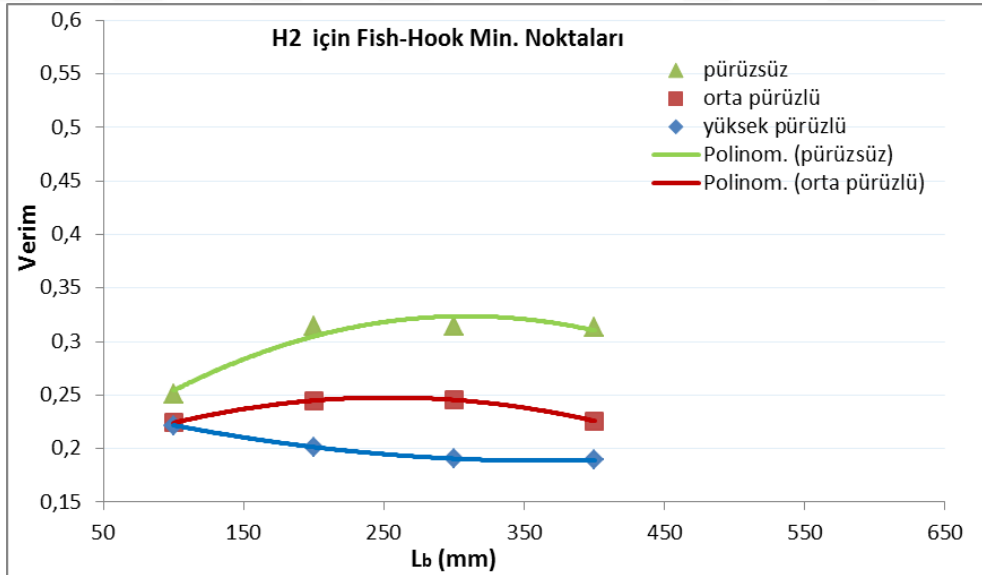
**Grafik 4.157.** Fish Hook minimum noktaları için Verim – Sanal Boşluk mesafesi eğrileri (Yüksek Pürüzlü yüzey durumu)



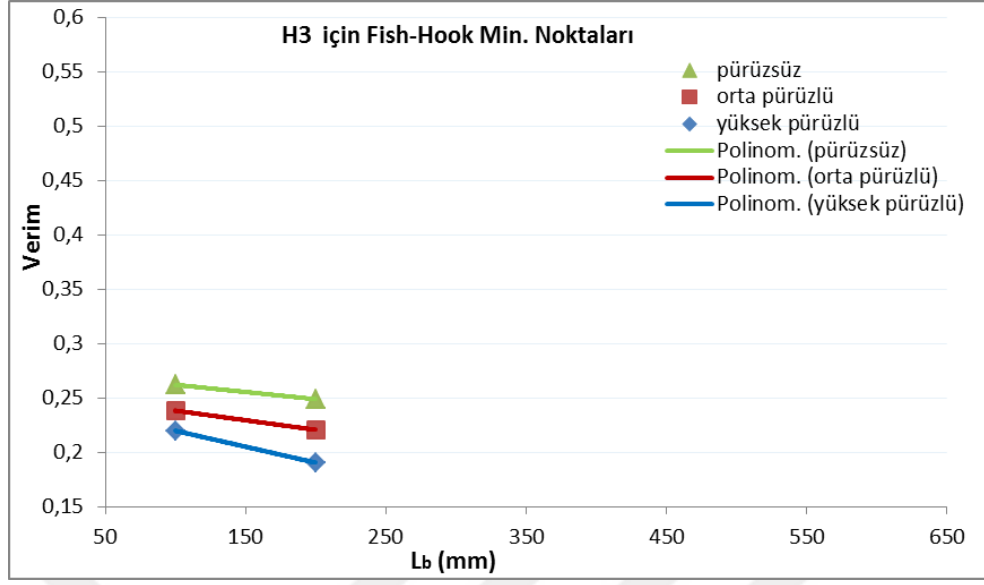
**Grafik 4.158.** Fish Hook minimum noktaları için Verim – Sanal Boşluk mesafesi eğrileri (Orta Pürüzlü yüzey durumu)



**Grafik 4.159.** Fish Hook minimum noktaları için Verim – Sanal Boşluk mesafesi eğrileri (H1 sabit)



**Grafik 4.160.** Fish Hook minimum noktaları için Verim – Sanal Boşluk mesafesi eğrileri (H2 sabit)



**Grafik 4.161.** Fish Hook minimum noktaları için Verim – Sanal Boşluk mesafesi eğrileri (H3 sabit)

## 5. YORUMLAR

Yeni tasarlanan siklon, farklı geometrik parametreler ile denenmiştir. Pozitif basınçlı sistemde aynı geometride farklı debilerde deney yapılmış, debinin artmasıyla basınç kayıplarının her defasında arttığı gözlenmiştir. Aynı geometrik ve çalışma şartları için klasik siklona göre yeni tasarımlı siklonda basınç kayıpları bir miktar daha yüksek çıkmıştır.

Ancak yeni tasarımlı siklonda özellikle uzun katı gövde yükseklikleri için girdap durdurucu yüksekliğinin artmasıyla siklondaki basınç kaybının bir miktar azalabildiği gözlenmiştir. Kısa katı gövde yükseklikleri için ise siklonda girdap durdurucu yüksekliğinin değişmesiyle basınç kayıp değerlerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir.

Doğal vorteks deneylerinde ise debi arttıkça vorteks uzunluğu da artmıştır. Aynı debi değerlerinde ise katı gövde yüksekliği arttıkça vorteks uzunluğu da azalmıştır. Bu sonuçlardan görüldüğü üzere, katı gövde uzunluğunun artmasıyla sürtünme kuvveti de artmakta ve aynı vorteks uzunluğunu elde etmek için daha yüksek debi değerleri gerekmektedir.

Ayrıca çıkış baca çapı azaldıkça vorteks uzunluğu genellikle artmıştır. Yine çıkış bacası dalma derinliği arttıkça, vorteks uzunluğu da artmaktadır. Bu artış eğilimi yüksek debi değerlerinde daha belirgindir. Deney sonuçlarına bakıldığında aynı şartlar sözkonusu olduğunda, aynı vorteks uzunluğunu elde etmek için yüksek dalma derinliğinde daha düşük debi gerekli olmaktadır. Fakat bu gerekli debi oranı çıkış bacası çapına göre farklılık arz etmektedir.

Tozlu verimlilik deney sonuçlarına bakıldığında ise her zaman, pürüzlülük miktarı arttıkça verimde azalmanın olduğu gözlenmiştir. Belirli bir katı gövde yüksekliği için pürüzsüz yüzeylerde girdap durdurucu mesafesinin artmasıyla verim belirli bir değere kadar artmış, bu değerden sonra azalma eğilimi göstermiştir. Pürüzlü yüzeylerde ise girdabın durdurucuya ulaşmadığı durumlarda verimde azalma meydana gelmiştir. Bu

durum katı gövdenin yani sürtünme yüzeyinin arttırılması ile girdaptaki teğetsel hızın düşmesine bağlı olarak girdabın siklon uzunluğuna kadar ulaşip ulaşmaması ile izah edilebilir.

Diğer önemli bir nokta ise pürüzlülük değeri arttıkça verimde maksimum değere ulaşma daha kısa girdap durdurucu yüksekliklerinde meydana gelmektedir.

Ayrıca belirli bir mikronun altındaki partiküllerin verimleri literatürde genellikle azalmaktadır. Ancak deney sonuçlarından görüleceği üzere, partiküllerin azaldığı belirli bölge için verimin yeniden arttığı bir bölge mevcuttur. Bu da literatürde 'fish-hook' etkisini daha da güçlendirmektedir.

Bu sonuçlardan görüleceği üzere gerek katı gövde yüksekliği, gerekse de girdap durdurucu mesafesinin düzgün şekilde ayarlanması gerekmektedir. Çünkü girdabın durdurucuya ulaşmadığı durumlar için durdurucu yüksekliğini veya katı gövde yüksekliğini artırmanın maliyet ve performans açısından bir anlamı olmayacaktır. Bu yüzden siklon çalışma şartlarına göre geometrik özellikleri de optimize edilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Abdul-Wahab S.A., Failaka M.F., Ahmadi L., Elkamel A., Yetilmezsoy K. (2014).** Nonlinear programming optimization of series and parallel cyclone arrangement of NPK fertilizer plants. *Powder Technology*, 264 : 203–215.
- Avci A. and Karagoz İ. (2001).** Theoretical investigation of pressure losses in cyclone separators. *Int. comm. heat and mass transfer*, 28(1): 107-117.
- Avci A. and Karagoz İ. (2000).** A mathematical model for the determination of a cyclone performance. *Int. comm. in heat and mass transfer*, 27(2): 263-272.
- Avci A., Karagoz İ. (2003).** Effect of flow and geometrical parameters on the collection efficiency in cyclone separators. *Aerosol science*, 34: 937-955.
- Baker, R.V. and S.E. Hughs. (1999).** Influence of air inlet and outlet design and trash exit size on 1D3D cyclone performance. *Trans. ASAE*, 42(1) : 17–21.
- Baker, R.V., S.E. Hughes, M.N. Gillum and J.K. Green. (1997).** Improvements for cotton gin trash cyclones. *Trans. ASAE*, 40(1) : 5–12.
- Baker, R.V. and S.E. Hughs. (1998).** Modifications for 1D3D cyclones. In *Proc. Beltwide Cotton Conf., San Diego, CA. 5-9 Jan. 1998. Natl. Cotton Council. Am., Memphis*, 1666–1670.
- Baltrėnas P., Chlebnikovas A. (2015).** Investigation into the aerodynamic parameters of the recently designed two-level cylindrical multi-channel cyclone-separator. *Separation Science and Technology*, 50: 1257–1269.
- Bernardo, S., M. Mori, A.P. Peres and R.P. Dionisio. (2006).** 3-D computational fluid dynamics for gas and gas-particle flows in a cyclone with different inlet section angles. *Powder Tech*, 162 : 190–200.
- Bingtao Z. (2012).** Prediction of gas-particle separation efficiency for cyclones: A time-of-flight model. *Separation and Purification Technology*, 85 : 171-177.
- C. del C. Gutierrez-Torres, P. Quinto-Diez, J.A. Jimenez-Bernal, A. Lopez-Lobato, J.G. Barbosa-Salda. (2012).** Effects of particle diameter correction factor on the performance of cyclone collection efficiency models for an industrial application. *International Journal of Mineral Processing*, 102 : 156-160.
- Chu K.W., Wang B. (2011).** Xu D.L. CFD-DEM simulation of the gas-solid flow in a cyclone separator. *Chemical Engineering Science*, 66(5) : 834-847.



**Cui J, Chen XL, Gong X. (2010).** Numerical Study of Gas-Solid Flow in a Radial-Inlet Structure Cyclone Separator. *Industrial & Engineering Chemistry Research* , 49(11): 5450-5460

**Demir S. (2014).** A practical model for estimating pressure drop in cyclone separators: An experimental study. *Powder Technology*, 268 : 329–338.

**Dyson Technology. (2012).** Cyclone vacuum cleaner. International Patent No. WO2012001387.

**Dzmitry Misiulia D., Andersson A. G., Lundstrom T.S. (2015).** Computational Investigation of an Industrial Cyclone Separator with Helical-Roof Inlet. *Chem. Eng. Technol.*, 38(8) : 1425–1434.

**Elsayed K. (2015).** Optimization of the cyclone separator geometry for minimum pressure drop using Co-Kriging. *Powder Technology*, 269 : 409–424.

**Elsayed K. (2015).** Design of a novel gas cyclone vortex finder using the adjoint method. *Separation and Purification Technology*, 142 : 274–286.

**Emmrich J., Wozniak G. (2015).** Ein beitrag zur experimentellen untersuchung hybrider filtercyclone für die partikelabschidung aus Gasen. *Forsch Ingenieurwes*, 79 : 75-85.

**Faulkner, W.B., M.D. Buser, D.P. Whitelock and B.W. Shaw. (2007).** Effects of cyclone diameter on performance of 1D3D cyclones: collection efficiency. *Trans. ASABE*, 50(3) : 1053–1059.

**Fan P., Fan M., Liu A. (2015).** Using an axial electromagnetic field to improve the separation density of a dense medium cyclone. *Minerals Engineering*, 72 : 87–93.

**Fukui K., Yoshida H., Jikihara, K., Yamamoto T. (2011).** Effects of clean-air injection on particle-separation performance of novel cyclone with sintered metal cone. *Separation and Purification Technology*, 80(2) : 356-363.

**Funk P.A., Holt G.A., Whitelock D.P. (2014).** Novel cyclone empirical pressure drop and emissions with heterogeneous particulate. *Journal of Aerosol Science*, 74 : 26–35.

**Funk, P.A., S.E. Hughs and G.A. Holt. (2001).** Dust cyclone design. *Appl. Eng. Agric.*, 17(4) : 441–444.

**Funk P.A. (2015).** Reducing cyclone pressure drop with easés. *Powder Technology*, 272 : 276–281.

**Gao X., Chen J., Feng J., Peng X. (2014).** Numerical investigation of the effects of the central channel on the flow field in an oil–gas cyclone separator. *Computers & Fluids*, 92 : 45–55.

**Gimbun, J., T. Chuah, A. Fakhru'l-Razi and T. Choong. (2005b).** The Influence of temperature and inlet velocity on cyclone pressure drop: a CFD Study. *Chem. Eng. And Processing*, 44 : 7–12.

**Gleb I. Pisarev, Alex C. Hoffmann. (2012).** Effect of the ‘end of the vortex’ phenomenon on the particle motion and separation in a swirl tube separator. *Powder Technology*.

**Guangcai Gong, Zhouzhou Yang, Shaolin Zhu. (2011).** Numerical investigation of the effect of helix angle and leaf margin on the flow pattern and the performance of the axial flow cyclone separator. *Applied Mathematical Modelling*.

**Guizani R., Mokni I., Mhiri H., Bournot P. (2014).** CFD modeling and analysis of the fish-hook effect on the rotor separator's efficiency. *Powder Technology*, 264: 149–157.

**Hasiao T., Huang S., Hsu C., Chen C., Chang P. (2015).** Effects of the geometric configuration on cyclone performance. *Journal of Aerosol Science*, 86 : 1-12.

**Hideto Yoshida, Yuta Inada, Kunihiro Fukui, Tetsuya Yamamoto. (2009).** Improvement of gas-cyclone performance by use of local fluid flow control method. *Powder Technology*, 193 : 6–14.

**Holt, G.A., R.V. Baker and S.E. Hughs. (1999).** Evaluation of static pressure drops and PM10 and TSP emissions for modified 1D-3D cyclones. *Trans. ASABE*, 42(6):1541–1547.

**Hreiz R., Lainé R., Wu J., Lemaitre C., Gentric C., Fünfschilling D. (2014).** On the effect of the nozzle design on the performances of gas–liquid cylindrical cyclone separators. *International Journal of Multiphase Flow*, 58 : 15–26.

**Hsiao, T., D. Chen, and S.Y. Son. (2009).** Development of minicyclones as the size-selective inlet of miniature particle detectors. *Aerosol Sci.*, 40 : 481–491.

**Hu, L.Y., L.X. Zhou, J. Zhang and M.X. Shi. (2005).** Studies on strongly swirling flows in the full space of a volute cyclone separator. *AIChE Journal*, 51(3):740–749.

**Jeongseog Oh J., Choi S., Kim J. (2015).** Numerical simulation of an internal flow field in a uniflow cyclone separator. *Powder Technology*, 274 : 135–145.

**Junca E., Oliveira J.R., Espinosa D.C.R., Teno´rio J.A.S. (2015).** Iron recovery from the waste generated during the cutting of granite. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 12 : 465–472.

**Karagöz, İ, ve Avcı A. (2005).** Modelling of the pressure drop in tangential inlet cyclone separators. *Aerosol Sci Technol.*, 39 (9) : 857-865.

**Kim, J. C. And Lee, K. W. (1990).** Experimental study of particle collection by small cyclones. *Aerosol Sci Technol.*, 12 : 1003-1015.

**Koch, W.H. and W. Licht. (1977).** New design approach boosts cyclone efficiency. *Chem. Eng.*, 79–89.

**König, C., Büttner, H. and Ebert, F. (1991).** Design data for cyclones. *Part. Part. Syst. Charact.*, 8: 301-307.

**Lapple, C. E. (1951).** Processes use many collector types. *Chem. Engineering*. 58: 144-151.

**Lee H., Yook S. (2014).** Cyclone performance on removing fibrous particles generated from terry-towels and cotton clothes. *Powder Technology*, 262 : 36–41.

**Liu F., Chen J., Zhang A., Wang X., Dong T. (2014).** Performance and flow behavior of four identical parallel cyclones. *Separation and Purification Technology*, 134: 147–157.

**Luan Y., Sun H. (2015).** Experimental and Numerical Study on the Resistance Performance of an Axial Flow Cyclone Separator. *Mathematical Problems in Engineering*, 9.

**Li Q., Xu W., Wang J., Jin Y. (2015).** Performance evaluation of a new cyclone separator – Part I experimental results. *Separation and Purification Technology*, 141: 53–58.

**Liu M., Zhou C., Xie J., Lu C., Wang Z. (2015).** Numerical investigation of performance of a fast gas–solid separator. *Powder Technology*, 275 : 30–38.

**Liu Y., Cheng Q., Zhang B., Tian F. (2015).** Three-phase hydrocyclone separator – review. *Chemical engineering research and design*, 554-560.

**Ma L., Shen Q., Li J., Zhang Y., Wu J., Wang H. (2014).** Efficient Gas-Liquid Cyclone Device for Recycled Hydrogen in a Hydrogenation Unit. *Chem. Eng. Technol.*, 37(6) : 1072–1078.

**Mihalski, K., P. Kaspar and C.B. Parnell. (1992).** Optimum utilization of cyclone technology. ASAE Paper No. 92-1040. ASAE Summer Meeting, Charlotte, NC. 22-24 June 1992. *Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.* 25pp.

**Mikulcic H., Vujanovic M., Ashhab M.S., Duic N. (2014).** Large eddy simulation of a two-phase reacting swirl flow inside a cement cyclone. *Energy* 75 : 89-96.

**Nurhayati M., Azmi M. Sharif. (2011).** Performance assessment of an inline horizontal swirl tube cyclone for gas-liquid separation at high pressure. *Journal of Natural Gas Chemistry*, 20(6) : 565-567.

**Obermair, S. and G. Staudinger. (2001).** The dust outlet of a gas cyclone and its effects on separation efficiency. *Chem.Eng. Technol.*, 24(12) : 1259–1263.

**Obermair, S., C. Gutsch, J. Woisetschlager and G. Staudinger. (2005).** Flow pattern and agglomeration in the dust outlet of a gas cyclone investigated by phase Doppler anemometry. *Powder Tech.*, 156 : 34–42.

**Oh J., Choi S., Kim J., Lee S., Jin G. (2014).** Particle separation with the concept of uniflow cyclone. *Powder Technology*, 254 : 500–507.

**Parker, R., R. Jain, S. Calvert, D. Drehmel and J. Abbott. (1981).** Particle collection in cyclones at high temperature and high pressure. *Environ. Sci. Technol.*, 15(4) : 451–458.

**Peng, W., A.C. Hoffman, H.W.A. Dries, M.A. Regelink and L.E. Stein. (2005).** Experimental study of the vortex end in centrifugal separators: the nature of the vortex end. *Chem. Eng. Sci.*, 60 : 6919–6928.

**Ray, M., A. Hoffmann and R. Postma. (2000).** Performance of different analytical methods in evaluating grade efficiency of cyclone separators. *J. Aerosol Sci.*, 31(5):563–581.

**Safikhani H., Hajiloo A., Ranjbar M.A. (2011a).** Modeling and multi-objective optimization of cyclone separators using CFD and genetic algorithms. *Computers & Chemical Engineering*, 35 (6) : 1064-1071.

**Safikhani H., Shams M., Dashti S. (2011b).** Numerical simulation of square cyclones in small sizes. *Advanced Powder Technology*, 22(3) : 359-365.

**Safikhani H., M.A. Akhavan-Behabadi , M. Shams , M.H. Rahimyan. (2010).** Numerical simulation of flow field in three types of standard cyclone separators. *Advanced Powder Technology*.

**Salcedo, R.L.R. and M.G. Cândido. (2001).** Global optimization of reverse-flow gas cyclones: application to smallscale cyclone design. *Separation Sci. Tech*, 36(12):2707–2731.

**Shi Yang, Hairui Yang, Hai Zhang, Shaohua Li, Guangxi Yue. (2009).** A transient method to study the pressure drop characteristics of the cyclone in a CFB system. *Powder Technology*, 192 : 105–109.

**Smith, W.B., Wilson R.R., and Harris D.B. (1979).** A five-stage cyclone system for in-situ sampling. *Environ. Sci. Technol.*, 13: 1387-1392.

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

**Shepherd, C.B. and C.E. Lapple. (1939).** Flow pattern and pressure drop in cyclone dust collectors. *Indust. Eng. Chem.*, 31(8) : 972–984.

**Shi, L., D.J. Bayless, G. Kremer and B. Stuart. (2006).** CFD simulation of the influence of temperature and pressure on the flow pattern in cyclones. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 45 : 7667–7672.

**Silva D.O., Vieira L.G.M., Barrozo M.A.S. (2015).** Optimization of Design and Performance of Solid-Liquid Separators: A Thickener Hydrocyclone. *Chem. Eng. Technol.*, 38(2), 319–326.

**Souza F.J., Salvo R.V., Martins D.M. (2015).** 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. (2015).** 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.

**Su Y., Zheng A., Zhao B. (2011).** Numerical simulation of effect of inlet configuration on square cyclone separator performance. *Powder Technology*, 210(3): 293-303.

**Sung-Hoon Parka, Byeong-Kyu Leeb. (2009).** Development and application of a novel swirl cyclone scrubber. *Journal of Hazardous Materials*, 164 : 315–321.

**Ta-Chih Hsiaoa, Da-RenChena, Sang Young Son. (2009).** Development of mini-cyclones as the size-selective inlet of miniature particle detectors. *Aerosol Science*, 40: 481 – 491.

**Upton, S.L., Mark, D., Hall D. and Griffiths, W.D. (1994).** A wind tunnel evaluation of the sampling efficiencies of three bioaerosol samplers. *J. Aerosol Sci.*, 25 : 1493-

1501.

**Vegini, A.A., H.F. Meier, J.J. Iess and M. Mori. (2008).** Computational fluid dynamics (CFD) analysis of cyclone separators connected in series. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 47 : 192–200.

**Vekteris V., Strishka V., Ozarovskis D., Mokshin V. (2014).** Experimental investigation of processes in acoustic cyclone separator”, *Advanced Powder Technology* 25 : 1118–1123.

**Wang B., Chu K.W., Yu A.B. (2011).** Computational study of the multiphase flow and performance of dense medium cyclones: Effect of body dimensions. *Minerals Engineering*, 24(1) : 19-34.

**Whitelock, D.P. and M.D. Buser. (2007).** Multiple series cyclones for high particulate matter concentrations. *Appl.Eng. Agric.*, 23(2) : 131–136.

**Wu J., Zhang Y., Wang H. (2014).** Numerical study on tangential velocity indicator of free vortex in the cyclone. *Separation & Purification Technology*, 132 : 541–551.

**Xiang, R., S.H. Park and K.W. Lee. (2001).** Effects of cone dimension on cyclone performance. *J. Aerosol Sci.*, 32 : 549–561.

**Xiong Z., Ji Z., Wu X. (2014).** Development of a cyclone separator with high efficiency and low pressure drop in axial inlet cyclones. *Powder Technology*, 253 : 644–649.

**Xuezhi W., Jie L., Xiang X. (2011).** Modeling and Experimental Validation on Pressure Drop in a Reverse-flow Cyclone Separator at High Inlet Solid Loading. *J. Thermal Science*, 20(4) : 343-348.

**Yoshida H., Nishimura Y., Fukui K. (2010).** Effect of apex cone shape on fine particle classification of gas-cyclone. *Powder Technology*, 204(1) : 54-62.

**Zhao B.T. (2010).** Development of a Dimensionless Logistic Model for Predicting Cyclone Separation Efficiency. *Aerosol Science & Technology*, 44(12):1105-1112.

**Zarrouk S.J., Purnanto M.H. (2015).** Geothermal steam-water separators: Design overview. *Geothermics*, 53 : 236–254.

## **EKLER**

**EK- 1** Deneylerde Kullanılan Kalsit Tozunun Partikül Analizi Sonucu

**EK- 2** H2L1P(40) Deneyi Sonucu Tutulan Partiküllerin Analiz Sonucu



# EK- 1 Deneylerde Kullanılan Kalsit Tozunun Partikül Analizi Sonucu



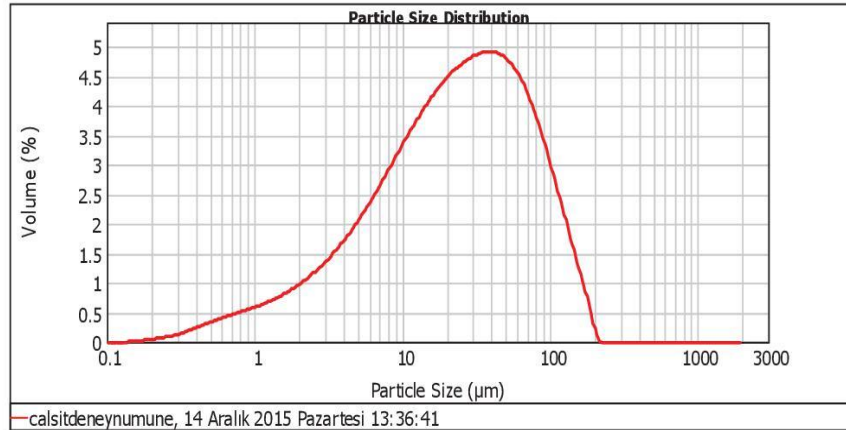
## Result Analysis Report

**Sample Name:** calsitdeneynumune  
**SOP Name:** Cement  
**Measured:** 14 Aralık 2015 Pazartesi 13:36:41  
**Sample Source & type:** atomika  
**Measured by:** atomika  
**Analysed:** 14 Aralık 2015 Pazartesi 13:36:43  
**Sample bulk lot ref:** Measurement  
**Result Source:** Measurement

**Particle Name:** Cement  
**Accessory Name:** Scirocco 2000  
**Analysis model:** General purpose  
**Sensitivity:** Normal  
**Particle RI:** 1.680  
**Absorption:** 0.1  
**Size range:** 0.020 to 2000.000  $\mu\text{m}$   
**Obscuration:** 3.30 %  
**Dispersant Name:** 1.000  
**Dispersant RI:** 1.000  
**Weighted Residual:** 0.438 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0006 %Vol  
**Span :** 3.653  
**Uniformity:** 1.12  
**Result units:** Volume  
**Specific Surface Area:** 0.932  $\text{m}^2/\text{g}$   
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 6.436  $\mu\text{m}$   
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 36.302  $\mu\text{m}$

**d(0.1):** 3.141  $\mu\text{m}$                       **d(0.5):** 23.517  $\mu\text{m}$                       **d(0.9):** 89.051  $\mu\text{m}$



Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume in %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume in %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume in %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume in %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume in %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume in %
0.010	0.00	0.106	0.00	1.096	0.59	11.482	3.37	120.226	1.83	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.65	13.183	3.59	138.038	1.33	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.01	1.445	0.72	15.136	3.78	158.489	0.84	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.02	1.660	0.80	17.378	3.96	181.970	0.32	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.04	1.905	0.89	19.953	4.11	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.06	2.188	1.00	22.909	4.23	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.08	2.512	1.12	26.303	4.33	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.11	2.884	1.25	30.200	4.40	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.15	3.311	1.40	34.674	4.43	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.20	3.802	1.56	39.811	4.36	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.26	4.365	1.75	45.709	4.22	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.31	5.012	1.95	52.481	4.00	549.541	0.00	5754.389	0.00
0.052	0.00	0.550	0.36	5.754	2.17	60.256	3.67	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.40	6.607	2.40	69.183	3.27	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.45	7.585	2.65	79.433	2.82	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.49	8.710	2.89	91.201	2.32	964.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.54	10.000	3.14	104.713	2.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925	0.00		

Operator notes:



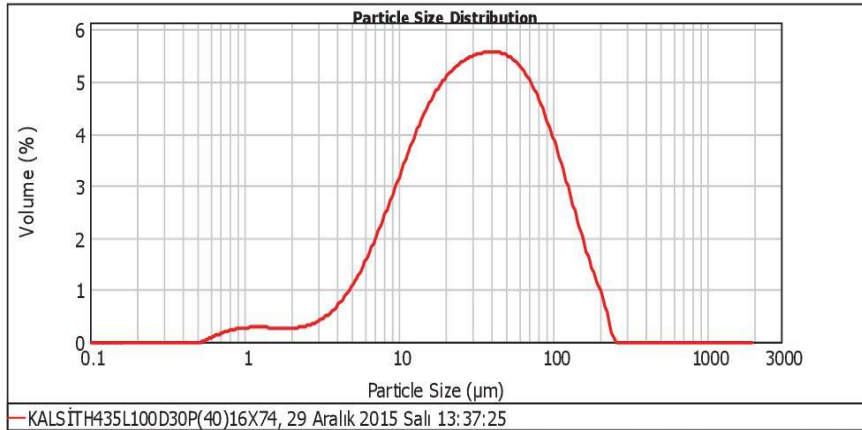


### Result Analysis Report

**Sample Name:** KALSİTH435L100D30P(40)16X74  
**Sample Source & type:**  
**Sample bulk lot ref:**  
**SOP Name:** Cement  
**Measured by:** atomika  
**Result Source:** Measurement  
**Measured:** 29 Aralık 2015 Salı 13:37:25  
**Analysed:** 29 Aralık 2015 Salı 13:37:27

<b>Particle Name:</b> Cement	<b>Accessory Name:</b> Sirocco 2000	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Normal
<b>Particle RI:</b> 1.680	<b>Absorption:</b> 0.1	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 0.89 %
<b>Dispersant Name:</b>	<b>Dispersant RI:</b> 1.000	<b>Weighted Residual:</b> 0.240 %	<b>Result Emulation:</b> Off
<b>Concentration:</b> 0.0004 %Vol	<b>Span :</b> 3.088	<b>Uniformity:</b> 0.953	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.404 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 14.837 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 46.564 um	

d(0.1): 7.905 um                      d(0.5): 32.188 um                      d(0.9): 107.292 um



Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %	Size (µm)	Volume in %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.25	11.482	3.48	120.226	2.55	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.25	13.183	3.67	138.038	1.99	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.24	15.136	4.20	158.489	1.46	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.24	17.378	4.47	181.970	0.99	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.24	19.953	4.67	208.930	0.49	2167.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.26	22.909	4.82	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.30	26.303	4.92	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.38	30.200	5.03	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.49	34.674	5.03	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.65	39.811	4.98	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.86	45.709	4.88	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	1.12	52.481	4.68	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	1.44	60.256	4.43	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.06	6.607	1.80	69.183	4.06	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.19	7.586	2.20	79.433	3.62	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.22	8.710	2.63	91.201	3.10	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.22	10.000	3.06	104.713	2.55	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.25	11.482	3.48	120.226	2.55	1258.925	0.00		

Operator notes:

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fuat TAN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Balıkesir / 18.03.1979  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : Muharrem Hasbi Koray Lisesi - Balıkesir  
Lisans : Uludağ Üniversitesi - Bursa  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi - Bursa  
Doktora : Uludağ Üniversitesi - Bursa  
Çalıştığı Kurum(lar) : Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği

İletişim : fuattan@uludag.edu.tr