T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİKLON FİLTRELERDE VERİM-BASINÇ KAYBI VE YÜKSEKLİK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Tarık OKUR

Prof. Dr. Atakan AVCI
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2011
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Tarık OKUR tarafından hazırlanan " SİKLON FİLTRELERDE VERİM-BASINÇ KAYBI VE YÜKSEKLİK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **:** Prof. Dr. Atakan AVCI

Başkan: İmza

Üye: İmza

Üye: İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Kadri ARSLAN
Enstitü Müdürü
../../.... (Tarih)

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

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

beyan ederim.

04/08/2011

İmza

Tarık OKUR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİKLON FİLTRELERDE VERİM-BASINÇ KAYBI VE YÜKSEKLİK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Tarık OKUR

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Atakan AVCI

Bu çalışmada; önceden tasarlanmış teğetsel girişli siklon düzeneğinde, performansı gösteren iki önemli parametre olan basınç kayıpları ve verim incelenmiştir.

Deney tesisatında siklon gövde uzunluğu, giriş kesiti ve giriş hızı parametreleri değiştirilebilir durumdadır. Bunların birbirleriyle ilişkileri incelenmiştir.

Siklon girişi ve çıkışında, ayrıca siklon gövdesi üzerinde uygun basınç ölçüm noktalarında dijital ölçüm cihazı (TESTO 521) kullanılarak basınç kayıpları ölçülmüştür. Deney sonucunda ayrıştırılan toz hassas terazide tartılarak verim değerleri elde edilmiştir. Kaydedilen veriler grafiklere dökülerek bütün parametrelerin etkisi incelenmiştir.

Her deney sonucu alınan numunelerin partikül analizi MASTERSIZER 2000 cihazıyla yapılmıştır.

Deney sonuçlarının karşılaştırmalı değerlendirilmesi sonucu;

- Siklon giriş kesit genişliğinin artması, basınç kaybında artışa ve ayrışma veriminde düşüşe neden olmuştur.
- Siklon gövde boylarından 790 mm yükseklikte maksimum verim elde edilmiştir. Bu boydan sonra verimde azalma görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Siklon, basınç kaybı, giriş kesiti, giriş hızı, ayrışma verimi

2011, x + 104 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN EFFICIENCY-PRESSURE LOSS AND HEIGHT IN CYCLONE FILTERS

Tarık OKUR

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

Supervisor: Prof. Dr. Atakan AVCI

In this study, two essential parametres that determine the performance, were investigated in a predesigned tangential inlet cyclone system.

Cyclone body length, inlet area and inlet velocity were changable in the experimental setup. The relations between those parameters were investigated.

Pressure losses in cyclone inlet, cyclone outlet and also in the cyclone body were investigated by using an digital measurement device – TESTO 521. By the end of the experiment, efficiency values were obtained by weighing the dust with precission balance. Effects of the all parametres were investigated with the help of graphics that generated by the gathered data.

Analyses of particles of all individual experiments are analyzed by MASTERSIZER 2000.

According to the results of this study;

- Increase in the cyclone inlet width caused; pressure drop to increase, seperation efficiency to decrease.
- Maximum efficiency was observed at the cyclone body length of 790mm. After 790 mm of body length decreases in efficiency were observed.

Keywords: Cyclone, pressure loss, inlet area, inlet velocity, seperation efficiency

2011, x + 104 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında; destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Atakan AVCI'ya, deneyler sırasında bilgi birikimiyle yol gösteren Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ'e teşekkür ederim.

Bir yılı aşkın süre boyunca çeşitli sorunlarla karşılaşıp bunların aşılmasında mühendislik bilgilerinden faydalandığım çalışma arkadaşım Ömer ŞENDOĞAN'a, deneysel çalışma esnasında yaşanılan güç durumlarda danıştığım ve her koşulda yardımını esirgemeyen Necati TÜRKÖZ'e teşekkür ederim.

Ayrıca öğrenim hayatım boyunca maddi manevi destek veren ve sabırla bekleyen aileme teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

04 / 08 / 2011
Tarık OKUR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Literatür Bilgisi…	4
2.2. Siklon Akış Modeli	6
2.3. Siklonda Basınç Kayıpları	7
2.3.1 Basınç kaybı modelleri	9
2.4. Siklonda Toplama Verimi	12
2.4.1. Kesirsel verimlilik ve toplama verimliliği	12
2.4.2. Toplama verimi modelleri	15
2.5. Siklon Yüksekliğinin Önemi	18
2.5.1. Siklonda girdap uzunluğu	19
2.5.2. Siklon boyunun performansa etkisi	21
2.6. Siklon Optimizasyonu	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM.	23
3.1. Deney Düzeneği…	24
3.2. Deney Yöntemi	33
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR…	34
4.1. Deneysel Hesaplamalar…	35
4.2. Kesit Genişliğinin (a) Basınç Kaybına ve Verime Etkisi …	37
4.3. Kesit Yüksekliğinin (b) Basınç Kaybına ve Verime Etkisi …	42
4.4. Tüm Kesitler İçin ΔP -H, η-H ve K-H Grafikleri …	48
4.4.1. A kesiti (38*55) için ΔP -H ve η-H grafikleri …	48
4.4.2. B kesiti (38*95) için ΔP -H ve η-H grafikleri …	50
4.4.3. C kesiti (45*55) için ΔP -H ve η-H grafikleri	52
4.4.4. D kesiti (75*150) için ΔP -H ve η-H grafikleri	54
4.4.5. A kesiti (38*55) için K-H grafikleri	56
4.4.6. B kesiti (38*95) için K-H grafikleri	58
4.4.7. C kesiti (38*95) için K-H grafikleri	60
4.4.8. D kesiti (38*95) için K-H grafikleri	62

4.5. Kesitlerin H_1 ve H_2 Gövde Boyunda K-V ve η-Q Grafikleri 64
4.5.1. H_1=205 mm de kesitlerin K-V ve η-Q grafikleri..... 64
4.5.2. H_2=395 mm de kesitlerin K-V ve η-Q grafikleri 66
4.6. Hidrolik Çapa Göre Basınç Kaybı ve Verim Karşılaştırması 68
4.7. Kesitler İçin Tüm Boylarda Basınç Kaybı-Verim Karşılaştırması 71
4.7.1. A kesiti için K-η grafiği 72
4.7.2. B kesiti için K-η grafiği 73
4.7.3. C kesiti için K-η grafiği 74
4.7.4. D kesiti için K-η grafiği 75
4.8. Kritik Partikül Çapı ve Maksimum Verimde Siklon Yüksekliği Analizi 76
4.8.1. Deneysel verilere göre kritik çap (d_{50}) değerlerinin analizi 83
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 93
KAYNAKLAR 97
EKLER..... 99
EK-1 100
EK-2 101
EK-3 102
EK-4 103
ÖZGEÇMİŞ 104

SİMGELER DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
a	Giriş kesit genişliği, m
a_d	Düzeltilen boyutsuz akış genişliği
A_s	İç siklon sürtünme yüzey alanı, m²
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/s²
Hg	Siklon şeffaf 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
Vg	Giriş gaz hızı, m/s
Vte	İç vorteksdeki teğetsel gaz hızı, m/s
Vze	Çıkış borusundaki eksenel gaz hızı, m/s
Q	Hava giriş debisi, m³/h
ν	Kinematik viskozite, m²/s
μ_g	Dinamik gaz viskozitesi, Pas
η	Toplama verimi
λ	Sürtünme faktörü
p_g	Gaz yoğunluğu, kg/m³
$\rho_{i,p}$	Partikül yoğunluğu, kg/m³
ρ_s	Katı yoğunluğu, kg/m³
Δh_s	Siklondaki basınç kaybı (mmSS)
Δh_v	Ventürimetredeki basınç kaybı (mmSS)
β	Ventürimetre çap oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Siklon içerisindeki akış modeli	6
Şekil 2.2. Siklon giriş tipleri (a:Teğetsel, b:Dönel, c:Helisel, d:Eksenel)	8
Şekil 2.3. Siklonun tipik kesirsel verim eğrisi	12
Şekil 2.4. Siklonda karakteristik boyutlar	18
Şekil 3.1. Deney Tesisatının Şematik Görünümü	24
Şekil 3.2. Vantilatör	25
Şekil 3.3. Venturimetrenin şematik gösterimi	26
Şekil 3.4. Dalma borusu	26
Şekil 3.5. Teğetsel Girişli Deney Siklonunun Boyutları	27
Şekil 3.6. 395 mm olan siklon gövdesi	28
Şekil 3.7. 580 mm olan siklon gövdesi	28
Şekil 3.8. Siklon deney sisteminin resmi	29
Şekil 3.9. Dijital basınç ölçer	30
Şekil 3.10. Enjektör	31
Şekil 3.11. Rotametre	31
Şekil 3.12. Paketlenmiş çimento	32
Şekil 3.13. Deney tesisatının son hali	32

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Siklonlarda basınç düşüşünün cebirsel modelleri 10
Çizelge 2.2. Toplam verimliliğin hesabına bir örnek..... 13
Çizelge 2.3. Siklonların verimlilik dağılımları 14
Çizelge 2.4. Siklonlarda toplama veriminin cebirsel modelleri..... 17
Çizelge 4.1. A ve C kesitlerinin H_1=205 mm de K-V grafiği 37
Çizelge 4.2. A ve C kesitlerinin H_1=205 mm de η-V grafiği..... 37
Çizelge 4.3. A ve C kesitlerinin H_2=395 mm de K-V grafiği..... 38
Çizelge 4.4. A ve C kesitlerinin H_2=395 mm de η-V grafiği 38
Çizelge 4.5. A ve C kesitlerinin H_2=585mm de K-V grafiği..... 39
Çizelge 4.6. A ve C kesitlerinin H_2=585 mm de η-V grafiği 39
Çizelge 4.7. A ve C kesitlerinin H_4=790 mm de K-V grafiği 40
Çizelge 4.8. A ve C kesitlerinin H_4=790 mm de η-V grafiği 40
Çizelge 4.9. A ve C kesitlerinin H_5=980 mm de K-V grafiği..... 41
Çizelge 4.10. A ve C kesitlerinin H_5=980 mm de η-V grafiği 41
Çizelge 4.11. A ve B kesitlerinin H_1=205 mm de K-V grafiği 42
Çizelge 4.12. A ve B kesitlerinin H_1=205 mm de η -V grafiği 42
Çizelge 4.13. A ve B kesitlerinin H_2=395 mm de K-V grafiği..... 43
Çizelge 4.14. A ve B kesitlerinin H_2=395 mm de η -V grafiği 43
Çizelge 4.15. A ve B kesitlerinin H_3=585 mm de K-V grafiği..... 44
Çizelge 4.16. A ve B kesitlerinin H_3=585 mm de η -V grafiği 44
Çizelge 4.17. A ve B kesitlerinin H_4=790 mm de K-V grafiği 45
Çizelge 4.18. A ve B kesitlerinin H_4=790 mm de η -V grafiği 45
Çizelge 4.19. A ve B kesitlerinin H_5=980 mm de K-V grafiği..... 46
Çizelge 4.20. A ve B kesitlerinin H_5=980 mm de η -V grafiği 46
Çizelge 4.21. 38*55 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için ΔP-H karşılaştırma..... 48
Çizelge 4.22. 38*55 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için η-H karşılaştırma 49
Çizelge 4.23. 38*95 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için ΔP-H karşılaştırma..... 50
Çizelge 4.24. 38*95 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için η-H karşılaştırma..... 51
Çizelge 4.25. 45*55 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için ΔP-H karşılaştırma..... 52
Çizelge 4.26. 45*55 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için η-H karşılaştırma..... 53
Çizelge 4.27. 75*150 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için ΔP-H karşılaştırma..... 54
Çizelge 4.28. 75*150 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için η-H karşılaştırma..... 55
Çizelge 4.29. A kesitinde V_1ort= 23,187 m/sn de K-H grafiği..... 56
Çizelge 4.30. A kesitinde V_2ort= 26,62 m/sn de K-H grafiği..... 56
Çizelge 4.31. A kesitinde V_3ort= 31,89 m/sn de K-H grafiği..... 57
Çizelge 4.32. B kesitinde V_1ort= 15,05 m/sn de K-H grafiği..... 58

Çizelge 4.33. B kesitinde V_2ort= 19,77 m/sn de K-H grafiği 58
Çizelge 4.34. B kesitinde V_3ort= 22,90 m/sn de K-H grafiği 59
Çizelge 4.35. C kesitinde V_1ort= 20,15 m/sn de K-H grafiği 60
Çizelge 4.36. C kesitinde V_2ort= 24,58 m/sn de K-H grafiği 60
Çizelge 4.37. C kesitinde V_3ort= 29,01 m/sn de K-H grafiği 61
Çizelge 4.38. D kesitinde V_1ort= 6,02 m/sn de K-H grafiği 62
Çizelge 4.39. D kesitinde V_2ort= 8,47 m/sn de K-H grafiği 62
Çizelge 4.40. D kesitinde V_3ort= 12,14 m/sn de K-H grafiği 63
Çizelge 4.41. H_1=205 mm de K-V grafiği 64
Çizelge 4.42. H_1=205 mm de η -Q grafiği 65
Çizelge 4.43. H_2=395 mm de K-V grafiği 66
Çizelge 4.44. H_2=395 mm de η-Q grafiği 67
Çizelge 4.45. H_1=205 mm için dört farklı kesitte K ve η değerleri 68
Çizelge 4.46. Beş farklı boyda K-Dh grafiği 69
Çizelge 4.47. Beş farklı boyda η-Dh grafiği 70
Çizelge 4.48. A(38*55) kesitinde K-η eğrileri 72
Çizelge 4.49. B(38*95) kesitinde K-η eğrileri 73
Çizelge 4.50. C(45*55) kesitinde K-η eğrileri 74
Çizelge 4.51. D(75*150) kesitinde K-η eğrileri 75
Çizelge 4.52. L= 885 mm de d_{50}-V grafiği 79
Çizelge 4.53. 22,87 m/sn de d_{50}-L grafiği 80
Çizelge 4.54. L=885 mm için V-Lmax grafiği 81
Çizelge 4.55. 22,87 m/sn de Lmax-L grafiği 82
Çizelge 4.56. Kabul edilen verimlilik değerleri 84
Çizelge 4.57. H_1=205mm A(38*55) kesiti V_1, d_{50}= 1,706µm 85
Çizelge 4.58. Deneysel verilere göre kritik çap değerleri 87
Çizelge 4.59. A kesiti H_4=790 mm için d_{50}-η grafiği 88
Çizelge 4.60. B kesiti H_4=790 mm için d_{50}-η grafiği 89
Çizelge 4.61. A kesiti H_5=980 mm için d_{50}-η grafiği 90
Çizelge 4.62. B kesiti H_5=980 mm için d_{50}-η grafiği 90
Çizelge 4.63. V_3 hızında A kesiti için karşılıklı analiz 91
Çizelge 4.64. V_3 hızında B kesiti için karşılıklı analiz 92
Çizelge 5.1. Beş farklı boyda η-Dh grafiği 94
Çizelge 5.2. 22,87 m/sn de d_{50}-L grafiği 95
Çizelge 5.3. Maksimum verim noktası H_4=790 mm, B kesiti, V_3 hızı 96

1. GİRİŞ

Siklon, içinde partikül bulunan bir gaz akımının bir girdaba dönüştürülmesi sonucu meydana gelen merkezkaç kuvveti ile partikülün gazdan ayrılması işleminde kullanılan cihazdır. Siklon optimizasyonu için siklon akışının ve geometrik parametrelerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Siklon ayırıcılar endüstriyel gaz akışlarından parçacık toplamak amacıyla 1800'lerden bu yana kullanılmaktadır. Bu toplayıcıların oynar parçaları yoktur ve çalışma prensibi sisteme giren havanın dönmesiyle oluşturulan merkezkaç kuvvetine dayanır. Gaz girişine ek olarak siklonlarda gaz çıkışı ve toz tahliye yeri de olmalıdır. Bu üç bölgenin farklı konfigürasyonları için çeşitli düzenlemeler mümkündür. Genel düzenlemede teğetsel gaz girişi ve eksenel çıkış vardır ve ters akışlı siklon olarak adlandırılır. Ticari amaçlı siklon 50–50000 m^3/sa gaz akış debilerinde çalışır.

Siklon ayırıcılar belki de endüstride toz toplamada en çok kullanılan cihazlardır. Bu popülerliliğini basit ve kısa imal sürecinden kaynaklanan düşük bakım ve maliyet masraflarından elde etmiştir. Yapının içinde hareketli parça bulunmamakla birlikte kolay işlenemeyen malzemeleri de kapsayan geniş bir malzeme yelpazesinden imal edilebilirler. Orta derecede basınç düşmesi, kullanım alanlarının genişliği ve verimlilik aralığıyla birlikte tüm bu avantajlar siklonu; katalizör toplaması toz tutması ve birleşik döngülü güç üretimi için her türlü kirletici madde yayınımlarındaki ayırma gereksinimlerini karşılayacak en etkili çözüm kılmıştır. Siklonun gerekli verimliliği sağlayamadığı hallerde elektrostatik çökelticiler gibi yüksek verimli toplama cihazları ile birlikte kullanılma avantajı vardır.

Literatürde çalışmaların çokluğu siklondaki akışın oldukça karmaşık olması ve siklon performansını etkileyen birçok geometrik ve işletme parametresinin varlığından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada siklon giriş debisi, siklon yüksekliği, giriş kesiti boyutları parametre olarak seçilmiş ve partikül tutma verimi ile siklondaki basınç kaybı üzerinde bu parametrelerin etkisi incelenmiştir. Buna göre optimum değerler elde edilmeye çalışılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Siklonlar ayırıcılar, birbirlerine karışmış halde bulunan, farklı yoğunluktaki madde veya malzemeleri birbirlerinden ayırmak için kullanılan mekanik ayırıcılar olarak tanımlanabilir. Endüstride yaygın olarak içerisinde toz, talaş, hububat, vb. katı maddelerden oluşan parçacıklar içeren hava ve benzeri gazların içerisindeki parçacıkların ayrılması ve toplanması amacıyla kullanılırlar.

Tüm pnömatik sistemlerde, santrifüj hareketi yardımıyla hava ile tozu birbirinden ayıran konik konstrüksiyona siklon denir. Siklonlara belli bir hava debisi ile gelen hava toz-granül karışımını siklon denilen bu konik konstrüksiyona girdiği zaman kesitin büyümesinden dolayı yavaşlar ve vorteks (dönü) hareketini yapar. Yani hava ile malzeme karışımı hızlı hareketten birden faz değişikliğine uğrayarak daha büyük bir hacime çıkınca toz ya da granül malzeme yerçekiminden ve santrifüjden dolayı aşağıya düşer, hava ise atmosfere çıkar. Kısaca siklonlar bu şekilde çalışır. Siklonlara giriş kare, dikdörtgen, yuvarlak veya tanjant (teğet) olabilir. Bu prosesin durumuna göre değişiklik gösterebilir.

Siklonlar genellikle çapı 5–10 μm'den daha büyük parçalarda yüksek verimde çalışırlar. Siklonlar $1000\,C^{o}$'nin üzerinde çalışabilen toz tutuculardır. 0,001–10 MPa arası basınçlarda çalışabilmektedirler. Siklonlar kullanım amacına göre sınıflandırılır; boyutlandırılır ve imal edilirler maliyetleri düşük, verimleri yüksek olan siklon filtrelerin geometrileri kullanım amacına göre değişmektedir.

Uygulamada çok çeşitli geometrilere sahip siklonlar mevcuttur. Ancak gaz temizlemede en yaygın olarak kullanılan siklon tipi, teğetsel girişli, tek silindir ve tek konili ve eksenel çıkışlı olanlarıdır.

2.1. Literatür Bilgisi

1939'da Shepherd ve Lapple basınç kaybı ve toz tutma verimi üzerinde deneysel olarak çalışmışlardır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre ampirik ifadeler geliştirerek yayınlamışlardır.

Alexander çeşitli verim ve basınç kaybı denklemlerini ampirik olarak ele almış, yaptığı çalışmalarda elde ettiği neticeler sonucunda geliştirdiği yöntemlerle bu denklemleri ıslah etmiştir (Alexander 1949).

1951'de Stairmand kendi adıyla anılan siklon modelini geliştirmiş elde ettiği sonuçlar yardımı ile siklon çapı seçimiyle ilgili ampirik ifadeler geliştirmiştir.

Aynı yıl Barth siklondaki toz ve gaz hareketleri ile sınır değerleri hesaplamış, verim ve basınç kaybını giriş ve girdap akımlarından inceleyerek ampirik ifadeler geliştirmiştir.

1972' de Leith ve Licht yaptıkları çalışmalar sonucunda elde ettikleri deneysel ve teorik veriler ışığında, basınç kayıplarını ifade eden verim modelleri geliştirmişlerdir.

Siklonların yüksek basınçlı sistemlerde çalıştırılmaları ile ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır (Muschelknautz ve ark. 1994).

Ramachandran ve ark. (1995) petrol yakan endüstriyel tesisler için ön temizleyici siklonlarla ilgili bir matematik model kurmuş, minimum basınç kaybının, maksimum tutma veriminin oluştuğu bir siklon modellemesi yapmışlardır.

Fei (1996) siklonda meydana gelen basınç kayıplarının siklon giriş geometri ile ilişkisini araştırmış, siklona giren gaz hızının arttığı bütün değerler için üç değişik giriş dikdörtgeninin yüksekliği arttıkça basınç kayıplarının azaldığı kesit alanının artışında ise basınç kayıplarının arttığını gözlemlemiştir.

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

Yine Safikhani ve arkadaşlarının yaptığı nümerik bir çalışmada literatürde mevcut ve farklı geometrik oranlara sahip üç siklonun akış analizi yapılmış, özellikle hız profilleri ile basınç kayıpları incelenmiştir.

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.

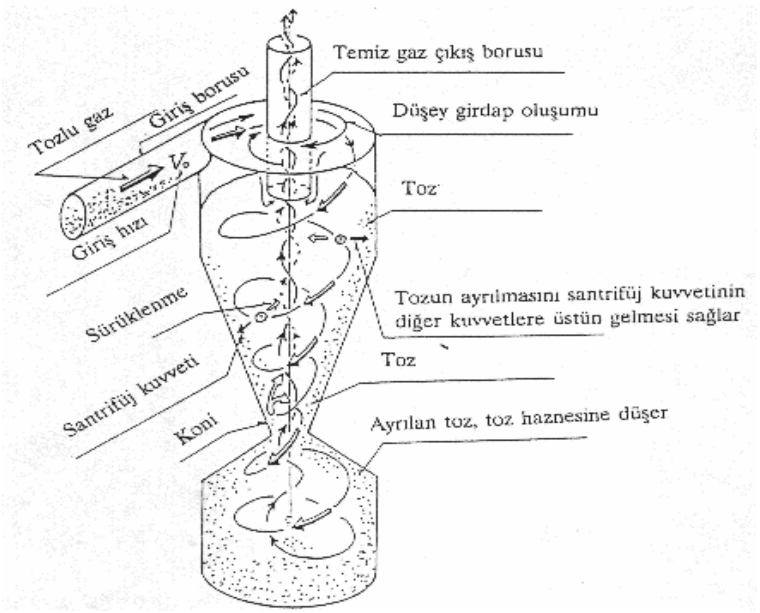
Bhasker (2010) ise nümerik olarak akışkan yataklı yakma sistemlerinde parçacık filtresi olarak siklonları incelemiştir.

Cui ve arkadaşları (2010) yaptığı nümerik bir çalışmada radyal girişli bir siklonda akış ve performans analizine ait sonuçları sunmuştur. Erozyon problemlerinin yaşanabildiği bu tip bir siklon küçük partiküller için klasik siklonlara göre daha uygun olduğu belirtilmiştir.

2.2. Siklon Akış Modeli

Siklon performansı, basınç kaybı ve toplama (tutma) verimliliği ile değerlendirilir. Performansı etkileyen faktörlerin tayin edilebilmesi için akış modeli mutlaka anlaşılmalıdır. Dirgo ve Leith 1985 yılında akış modelini aşağıdaki gibi ifade etmektedirler: Siklon içerisinde baskın olan akış düzeni (Şekil 2.1) dış vortekstir. Bu vorteks gazın siklona teğetsel girişiyle ya da girdap yaratan girişlerden eksenel girişiyle oluşmaktadır.

Gaz spirali alttaki akış kanalına ulaştığında, gaz dış vorteksten radyal olarak siklon eksenine doğru akmaya başlar, iç kısımda akan gaz başka bir vorteks oluşturur. 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. Toplama işlemi dış vorteksteki parçacıkların merkezkaç kuvvetleriyle siklon duvarına doğru fırlatılması sırasında olmaktadır. Bu parçacıklar siklon duvarının üzerinde toz toplama haznesine doğru aşağıya kayarken, bu hareketlerine siklon duvarı yakınında aşağıya doğru hareket eden gazında yardımı olmaktadır. Merkeze doğru ilerleyen parça siklon içerisindeki hareket teğetsel, radyal ve dikey hız bileşenleri ile ifade edilebilir.



Şekil 2.1. Siklon içerisindeki akış modeli

2.3. Siklonda Basınç Kayıpları

Siklon performansı basınç düşmesi ve ayrıştırma verimliliği ya da diğer bir adıyla toplama verimliliği terimleriyle değerlendirilmektedir. Genellikle bu iki parametre birbirine karşı çalışır yani biri iyileştirilirken bir diğeri istenmeyen değer alır. Bundan dolayı tanımlanan siklon için bir optimizasyon yapılması gereklidir.

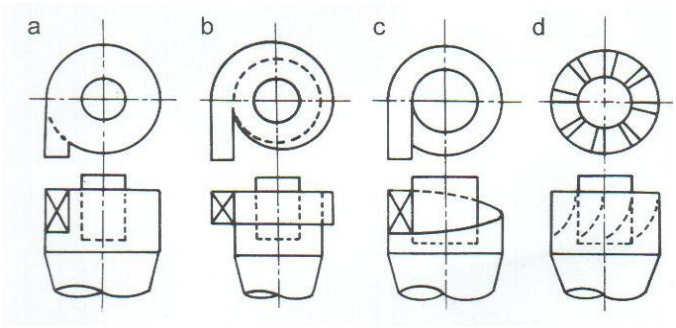
Basınç kaybından kaynaklanan enerji sarfiyatı siklon ayırıcılar için ana işletme masrafını oluşturmaktadır. Basınç kaybına katkıda bulunan faktörler Dirgo ve Leith(1985) tarafından alttaki maddeler halinde sıralanmıştır:

- Gazın siklona girişinde oluşan genişleme ya da sıkışmadan kaynaklanan 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 açıklamaktadır. 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 performansı düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Basınç düşümünü azaltmak ve ayrışma verimliliğini artırmak için birçok farklı tipte giriş dizaynı bulunmaktadır (Şekil 2.2). Bunlardan teğetsel girişli olanları en çok kullanılandır ve aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Bununla birlikte, farklı tipteki girişlerin etkileri halen açıkça ifade edilememiştir ki buda farklı giriş dizaynları ile basınç düşümünün azaltılmasının, verimliliğini düşürmeden henüz yapılamadığı anlamına gelmektedir.



Şekil 2.2. Siklon giriş tipleri (a:Teğetsel, b:Dönel, c:Helisel, d:Eksenel)

2.3.1. Basınç kaybı modelleri

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

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

Burada ξ_g geometrinin etkisini ifade etmektedir. ξ_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
Shepherd ve Lapple(1939)	$\xi_g = \frac{16\,ab}{{D_2}^2}$ (2.2)	Teğetsel giriş
Alexander(1949)	$\xi_g = 4{,}62\left(\frac{ab}{D_1 D_2}\right)\left[\left(\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{2\pi} - 1\right)\left(\frac{1-n}{n}\right) + f_g\,{\frac{D_1}{D_2}}^{2n}\right]$ (2.3)	
	$f_g = 0{,}8\left[\frac{n}{n(1-n)}\left(\frac{4-2^{2n}}{3}\right) - \left(\frac{1-n}{n}\right)\right] + 0{,}2\ \left[(2^{2n}-1)\left(\frac{1-n}{n}\right) + 1{,}5(2^{2n})\right]$ (2.4)	
	$n = 1 - \left(0{,}67\,D_1^{0{,}14}\right)\left(\frac{T}{283}\right)^{0{,}8}$ (2.5)	
Barth (1956)	$\xi\ (\lambda{=}\lambda_g) = \left(\frac{ab}{\frac{\pi D_2^2}{4}}\right)^2\ (\xi_b + \xi_e)$ (2.6)	

Siklon gövdesindeki kayıp ;

$$\xi_b = \frac{D_2}{D_1}\left(\frac{1}{\left(\frac{Vze}{Vte} - \left(\frac{L-s}{0{,}5D2}\right)\lambda\right)^2}\right) - {\frac{Vte}{Vze}}^2 \quad (2.7)$$ 3,41<K<4,4

Dalma borusundaki kayıp ;

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

Muschelknautz ve

Kambrock (1970) $\xi\ (\lambda{=}\lambda_g) = \left(\frac{ab}{\frac{\pi D_2^2}{4}}\ (\xi_b + \xi_e)\right)$ (2.9) Teğetsel ve döner giriş

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

$$\xi_b = 2 + 3\left(\frac{Vte}{Vze}^{4/3}\right) + \left(\frac{Vte}{Vze}\right)^2 \quad (2.11)$$ Ortam P,T şartları

Casal ve diğ. (1989) $\xi_g = 11{,}3\left(\frac{ab}{D_2^2}\right)^2 + 2{,}33$ (2.12) Altı korelasyonun kıyaslaması

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 denklemidir. Eşitlik 2.7, teorik olarak siklon gövdesindeki kayıpları ifade eder. Eşitlik 2.8 ise tamamen deneysel olan dalma borusundaki kayıpları ifade eder.

Siklonda basınç düşüşü, siklon geometrisine, yüzey pürüzlülüğüne ve gaz sıcaklığı, giriş hızı ve katı yüklemesi gibi çalışma şartlarına 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;

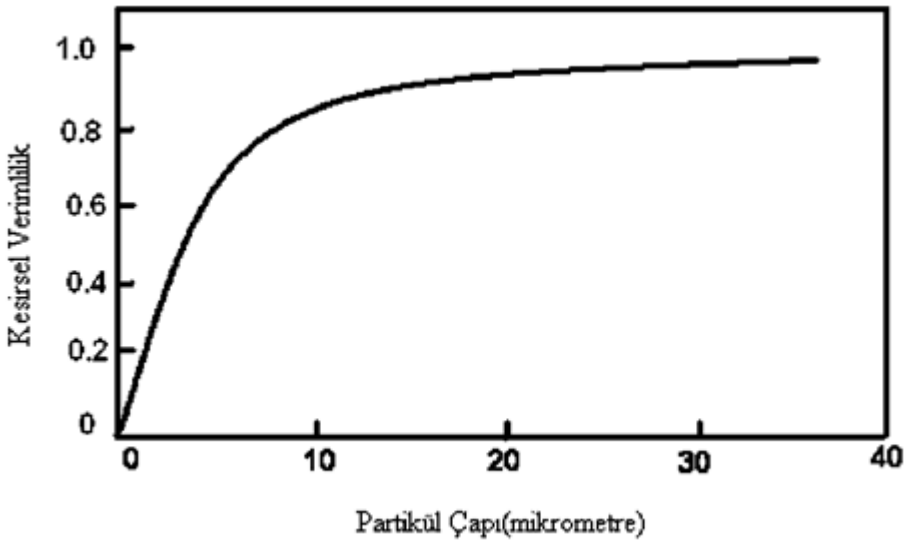
$$dp = \rho \frac{f}{D_{hl}} \frac{V^2}{2} dl \qquad (2.13)$$

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 .

2.4. Siklonda Toplama Verimi

2.4.1. Kesirsel verimlilik ve toplama verimliliği

Siklonun toplama verimliliği η siklona verilen her boyuttaki partiküllerin alıkonulan kesirleri cinsinden ifade edilir. η partikül boyutuna göre çizilirse elde edilen kesirsel siklon verimlilik eğrisidir.



Şekil 2.3. Siklonun tipik kesirsel verim eğrisi

Kesirsel verimlilik eğrisi her ne kadar herhangi bir boyuttaki partikül için siklon ayrışmasını ifade etse de, tek başına toplam ayrışma için bir tahminde bulunulmasına yetmez. Partiküllerin boyut dağılımına sahip olduğu pratik uygulamalarda toplam verimlilik öncelikle ilgilenilen husustur. Toplam verimlilik kesirsel verimlilik eğrisi ile kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$\acute{\eta} = \sum_{i=1}^{n} \eta_i \, \Delta d_i \qquad (2.14)$$

Burada toz n boyut aralığına bölünmüş olup Δd_i' inci aralıktaki toz partiküllerinin kesrini göstermektedir. Hesaplamaya örnek teşkil eden bir tablo altta verilmiştir.

Çizelge 2.2. Toplam verimliliğin hesabına bir örnek

Boyut aralığı	Ortalama çap	Aralıktaki kesir	Ortalama Çaptaki verimlilik	Toplanan toplam Tozun kesri
0-5	2,5	0,09	0,55	0,05
5-10	7,5	0,19	0,78	0,15
10-15	12,5	0,18	0,87	0,16
15-20	17,5	0,12	0,92	0,11
20-30	25,0	0,16	0,95	0,15
30-40	35,0	0,10	0,98	0,10
40-50	45,0	0,06	0,99	0,06
50-70	60,0	0,05	0,99	0,05
70-130	100,0	0,05	1,00	0,05
Toplam		1,00		0,88

Var olan siklon teorileri herhangi bir siklon dizaynı ve herhangi boyuttaki bir partikül için ayrışma verimliliğinin direkt olarak hesaplanmasını mümkün kılmaktadır. O nedenle; siklon ayırıcı imali için projenin dizayn adımında kesirsel eğrinin tamamı hesaplanabilir.

Genel olarak ters akışlı siklonların 5 μm 'den küçük parçacıklar için düşük ayrışma verimliliğine sahip olduğu bilinmektedir. Siklonların verimlilik dağılımı Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Siklonların verimlilik dağılımı

	Verimlilik aralığı	
Partikül Boyut 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'dan büyük	95–99	95–99

Yüksek verimli siklonlar esasen yüksek toplama verimliliği için dizayn edilirler. Ancak yüksek basınç kaybından kaynaklanan yüksek maliyetini de beraberinde getirirler.

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

Ayrışma 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.

2.4.2. Toplama verimi modelleri

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 başarılıdırlar.

En populer varsayımlar: (1) yerçekimsel alan, santrifüjsel 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; eğrinin diğer kısmı, genellikle ampirik olarak düzeltilir. Örneğin, çok kullanılan bir eğri formu bu şekildedir ;

$$\acute{\eta}_i = \frac{1}{1+ (d_{50}/d_i)^m} \qquad (2.15)$$

Burada farklı boyutlar d_i ve kısmi verim $\acute{\eta}_i$dir. m üssü eğrinin eğimidir.

Cebirsel verim modelleri her iki sınıfa da uygundur. Prensip olarak, girişte Eşitlik (2.15) i 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 zamanı 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 otaya koyar; kontrol yüzeyinde radyal kuvvetler eşitliği etkisi altındaki bir parçacık, uygun şartlar oluştuğu sürece cidara ulaşma zamanının yarısında toplanır. Barth kontrol yüzeyinde kendi teğetsel hızını kullanmıştır. Bu metodu önemli bir parametre olan vorteks giriş çapına göre tanımlanmıştır; bu 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 2.4. Siklonlarda toplama veriminin cebirsel modelleri

Model	Eşitlik	
Lapple (1950)	$d_{50} = \sqrt{\frac{9\mu_g b}{N_c' 2\pi\rho_s v_i}}$	$N_{c=\frac{H+(L-H)/2}{b}}$ (2.16)
Barth (1956)	$d_{50} = \sqrt{\frac{9\mu_g D_2\ v_{re}}{v_{tw}^2 \rho_s}}$	(2.17)
Leith ve Licht (1972) ,	η= 1-exp$\left[-\frac{\rho_s}{9\mu_g}\left(\frac{2xv_i}{D_1}\right)^2 t_{res}\right]$	(2.18)

Clift ve diğ. tarafından düzeltilmiştir.

$$t_{res} = \frac{V}{V'} \quad (2.19)$$

Sürmen ve ark.(2010) $d_{50} = 0{,}791\left(\frac{\rho\nu}{(\rho_p-\rho)C_{CU}}\right)^{0,5}\left(\frac{\sqrt{D_1 D_3}a}{V_0 L_{vs}}\right)^{0,5}\left(\frac{10a}{D_3}\right)^{cs} D_d a_d D_s$ (2.20)

$$D_d = \frac{H}{L} + \frac{D_1+D_3}{2D_1}\sqrt{\left((D_1 - D_3)\,/\,L\ \right)^2 / 4 + \left(1-\frac{H}{L}\right)^2} \quad (2.21)$$

$$D_s = D_d + 2\frac{sD_2+D_3^2}{D_1.L} \quad (2.22)$$

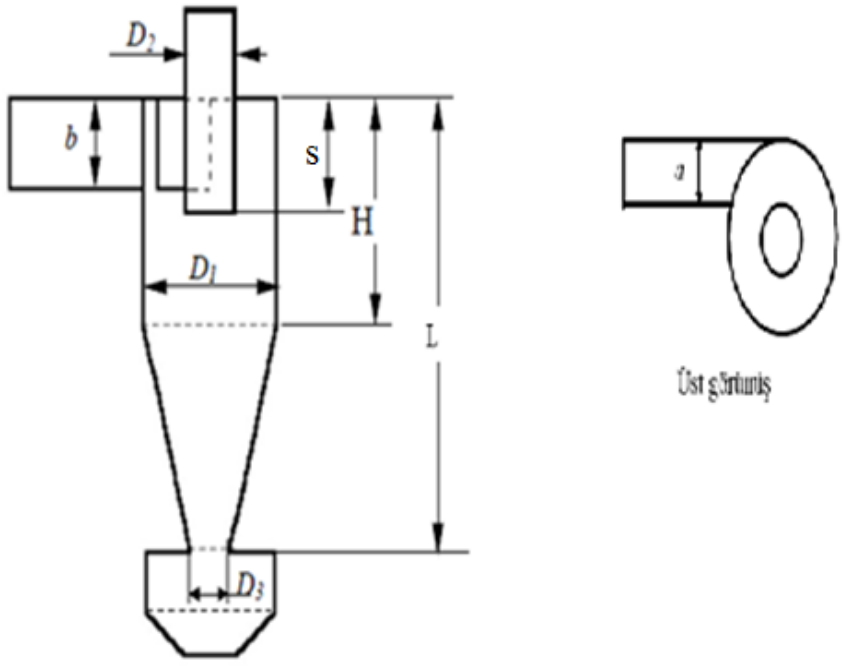
$$a_d = 0{,}5 + \frac{a.b}{(sD_d)(D_1-D_2)} \quad (2.23)$$

$$L_{vs} = 1{,}5 a_d D_s L\ /\ D_d \quad (2.24)$$

$$cs = 0{,}5\left(\frac{f_0 L_{vs}}{a-0{,}1D_3}\right) \quad (2.25)$$

2.5. Siklon Yüksekliğinin Önemi

Siklon uzunluğunun etkisini inceleyen çalışmaları, doğal girdap uzunluğunun tahmini ve siklon boyunun performansa etkisine yönelik çalışmalar olarak düşünmek mümkündür. Bu çalışmalar sonucunda öz olarak siklon uzunluğunun sınırlı olması gerektiği ve uzunluğun siklon performansını olumlu yönde etkilediği sonucuna ulaşılabilir. 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 diğ. (2001) tarafından yapılmış ve benzer sonuçlar gözlenmiştir. Tam açık görünmese de benzer eğilimi başka çalışmalarda da görmek mümkündür (Avcı ve Erel 2003).



Şekil 2.4. Siklonda karakteristik boyutlar

2.5.1. Siklonlarda girdap uzunluğu

Siklon ayırıcılarda oluşan girdabın değişik parametrelere bağlı olarak belli bir uzunluğa kadar ilerleyebileceği genel olarak bilinmektedir. Bu uzunluk doğal girdap boyu olarak tanımlanmaktadır. Siklon boyunun daha uzun olmasının siklon performansı açısından olumlu bir etkisi olmayacaktır. Buna karşılık bu girdap uzunluğunun belirlenmesi de kolay görünmemektedir. 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;

$$L_v = 2{,}3D_2 \left(\frac{D_1^2}{A_g}\right)^{0{,}333} \tag{2.26}$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada girdap uzunluğu Lv, giriş kesit alanı Ag, 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;

$$L_v = 2{,}0D_1 \left(\frac{A_g}{A_2}\right)^{0{,}5} \tag{2.27}$$

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

$$L_v = 2{,}2D_1 \left(\frac{A_g}{A_1}\right)^{0{,}36} \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{2{,}25} \tag{2.28}$$

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

$$L_{max} = \frac{(a-0{,}1D_3)\left(1+\frac{2\alpha D_1}{L_{max}D_S}\right)}{1{,}5a_d f_0 ln\left(\frac{10a}{D_3}\right)} \qquad (2.29) \qquad \alpha = \frac{\left(D_2 s+D_3^2\right)}{D_1^2} \qquad (2.30)$$

Burada *Lmax/ D_1* ifadesi boyutsuz parametrelerin fonksiyonu olarak hesaplanırsa;

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

$$\frac{L_{max}}{D_1} = \frac{2(a-0{,}1D_3)}{3D_1 a_d f_0 ln(10a/D_3)} + \frac{\alpha}{D_d} \qquad (2.31)$$

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 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).

2.5.2. Siklon boyunun performansa etkisi

Literatürde 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 çalışmalarda önem kazanmıştır.

Bazı teorilere göre siklon boyunun sürekli artmasının verimde devamlı artış göstermeyeceği ve bir noktadan sonra azalacağı düşünülmektedir. Bu olgunun kanıtlanabilmesi için teorik ve deneysel çalışma uyumu çok önemlidir.

Teorik modellerde ihmal edilen parametreler deneysel sistemde önemli olabilir bu da siklon boyunun etkisinin tam olarak görülememesi anlamına gelir. Buna göre deneysel çalışma ortamı, çevresel faktörler yeterince hassas bir şekilde tayin edilip hesaplamalar yapılmalıdır.

2.6. Siklon Optimizasyonu

Siklon tasarımında siklon ebadını karakterize eden parametre siklon çapı (D_1)' dir. Diğer 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 sekli 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 arttırılması özellikle 10 μm' den küçük partiküllerin tutma verimini etkilemektedir. Basınç arttıkça tutma verimi artarken, sıcaklığın artması ile verim azalmaktadır. Sıcaklığın artması, viskozite ve yoğunluğu dolayısıyla sürükleme kuvvetini etkidiğinden dolayı verim düşer.

Siklon verimi üzerine etki eden parametrelerin araştırılması amacı ile yapılan bazı çalışmalarda giriş hızı ve vorteks incelenmiştir. Giriş hızının arttırılması ile verimin arttığı görülmüş, vorteksin uzunluğu değişiminin verimi çok düşük oranda etkilediği fakat vorteks çapı değişiminin verime önemli etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

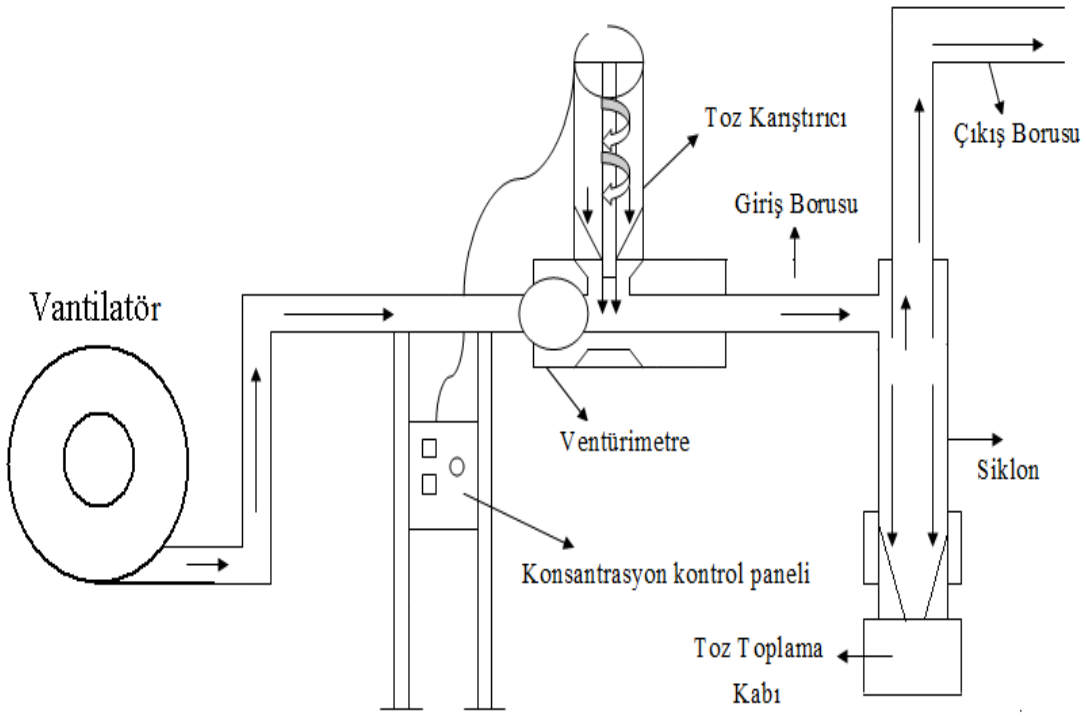
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Burada deney sisteminin tanımı, kullanılan ekipmanların görevlerinden ve sistemin hazırlık aşamalarından bahsedilecektir.

Siklon sistemi üfleme tarzında çalıştırılmakta olup hava debisi bir vantilatör ile sağlanmaktadır. Vantilatör farklı debilerde ayarlanarak sisteme hava gönderilmektedir. Sistemde çapı 190 mm olan şeffaf pleksiglass malzemeden imal edilen siklon gövdesi kullanılmıştır. 205, 395, 585, 790, 980 mm olmak üzere 5 farklı siklon gövde boyu kullanılmıştır. Siklon girişi ve çıkışında, ayrıca siklon gövdesi üzerinde uygun basınç prizleri açılmıştır. Bu noktalarda dijital ölçüm cihazları (TESTO 521) kullanılarak basınç kayıpları ölçülmüştür. Sert plastikten üretilen profillerle giriş kesiti (axb) 4 farklı şekilde ayarlanarak; 38*55 mm, 38*95 mm, 45*55 mm ve 75*150 mm ebatlarında değiştirilerek performans karşılaştırmaları yapılmıştır.

3.1. Deney Düzeneği

Teğetsel girişli siklonların performansının incelenmesi ve optimizasyonu amacıyla bir deney düzeneği tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 3.1 de verilmiştir.



Şekil 3.1. Deney Tesisatının Şematik Görünümü

Burada kullanılan ekipmanların görevleri şu şekildedir ;

Vantilatör: Sisteme farklı debilerde hava vermeyi sağlar. Sistem performansı parametrelerinden giriş debisi üç farklı şekilde siklona gönderilir.



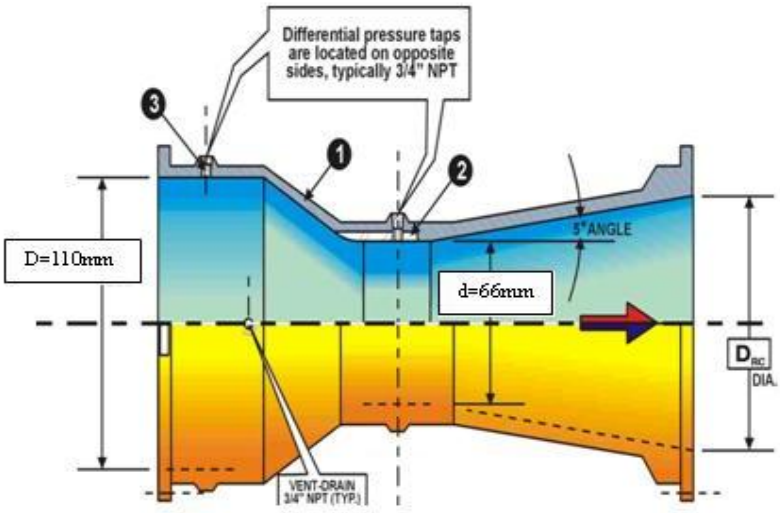
Şekil 3.2. Vantilatör

Konsantrasyon kontrol paneli: Toz karıştırıcısının hızını ayarlar.

Toz karıştırıcı: Kullanılan tozun(çimento) sisteme girişini sağlar.

Venturimetre: Akışkanların debisini ölçmekte kullanılan, iki ucu açık, kesiti ortasına doğru her iki ucundan da daralan ve ince bir tüp şeklinde olan bir ölçü aletidir.

Deney esnasında elde edilen venturimetredeki basınç kaybı değeri Δh (mmSS) , giriş debisini ve hızını bulmamızı sağlar. Venturimetrenin şematik görünümü Şekil 3.3' de kesit çaplarıyla beraber gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Venturimetrenin şematik gösterimi

Giriş borusu: Toz ile hava karışımının birlikte siklona girişini sağlar.

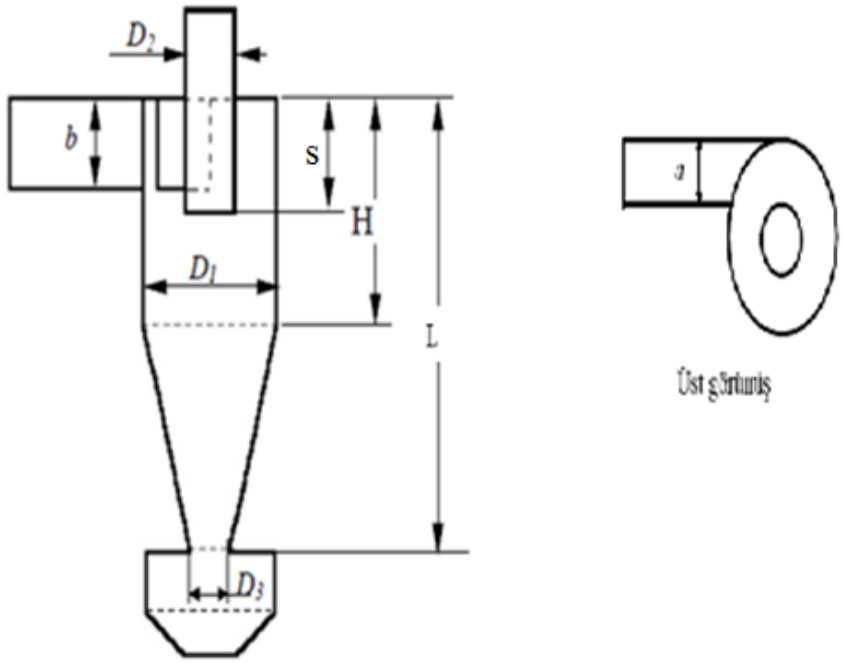
Çıkış (dalma) borusu: Siklona giren tozdan tutulamayan kısmın çıkışını sağlar.



Şekil 3.4. Dalma borusu

Toz toplama kabı: Deney sonucu ayrıştırılan tozun toplandığı kap.

Deney Siklonu:



Şekil 3.5. Teğetsel Girişli Deney Siklonunun Boyutları

a: Giriş kesit genişliği (38mm,45mm,75mm)

b: Giriş kesit yüksekliği (55mm,95 mm, 150 mm)

s: Dalma yüksekliği (s=b)

H: Siklon silindir yüksekliği (H_{12345} + 200 mm)

L: Silindirik artı konik kısım toplam uzunluk (H + 480 mm)

D_1: Siklon iç çapı (190 mm)

D_2: Dalma borusu iç çapı (100 mm)

D_3: Konik kısım çıkış çapı (84 mm)

Siklon boyutlarında değiştirdiğimiz parametreler giriş kesit genişliği (a) ,giriş kesit yüksekliği (b), dalma yüksekliği (s) ,siklon gövde yüksekliği (Hg) ve buna bağlı olarak değişen toplam uzunluk (L) dir.

Yapılan deneylerde;

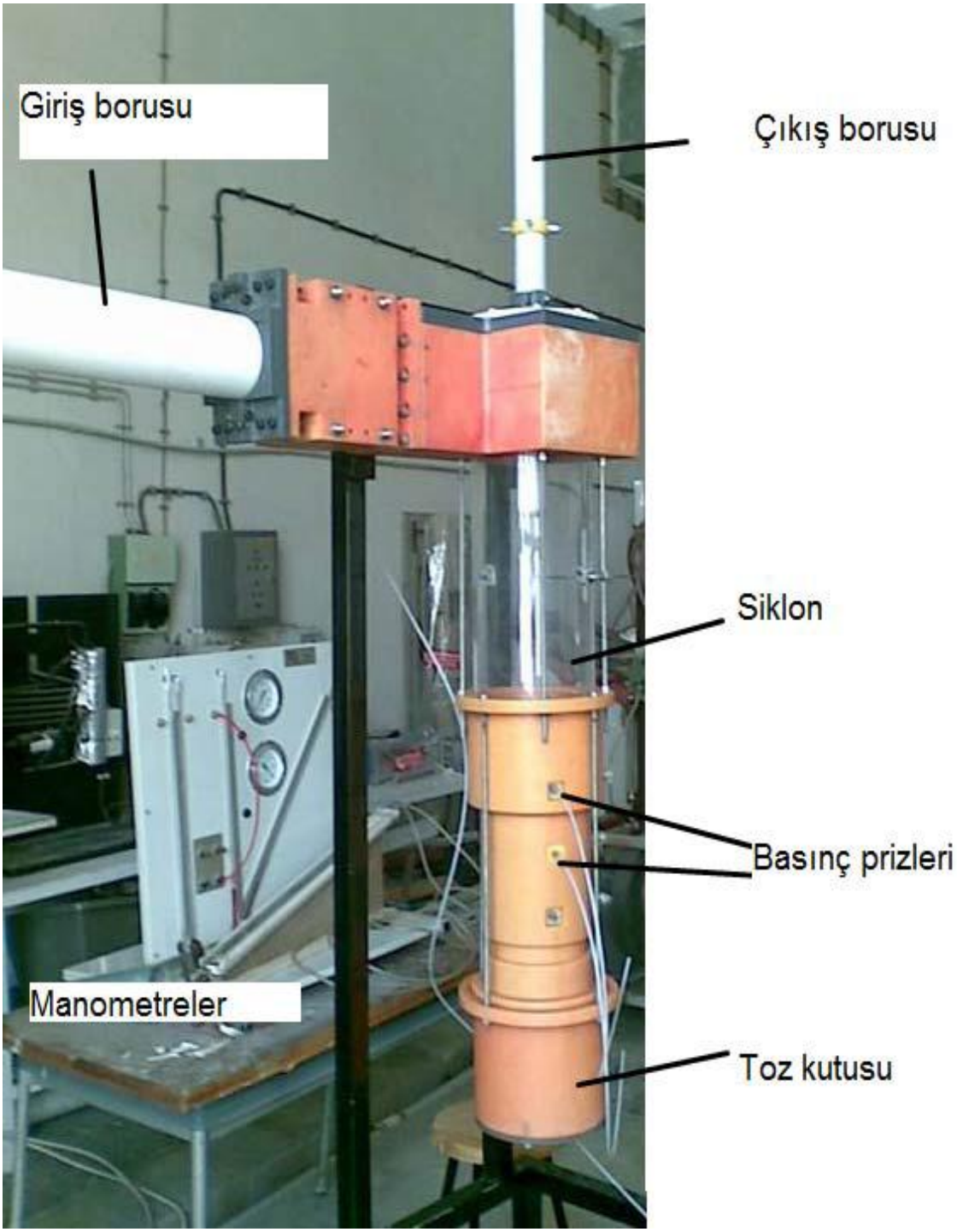
Kesit ölçüleri (axb) : (38x55), (38x95), (45x55) , (75x150) mm olmak üzere dört farklı şekilde,
Dalma yüksekliği (s) : Ayarlanan kesit yüksekliğiyle aynı hizada olacak şekilde, s=b
Siklon şeffaf gövde yüksekliği (Hg) : Pleksiglass malzemeden imal edilmiş ve 205mm, 395mm, 580 mm, 790 mm, 980 mm olmak üzere beş farklı uzunlukta ki değerler için deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.6. 395 mm olan siklon gövdesi



Şekil 3.7. 580 mm olan siklon gövdesi



Şekil 3.8. Siklon deney sisteminin resmi

Sistemde açılan basınç prizlerinden dijital ölçüm cihazı olan TESTO 521 (Şekil 3.9) kullanılarak mmSS cinsinden basınç kaybı değerleri kaydedilmiştir.



Şekil 3.9. Dijital basınç ölçer

Kullanılan çimento tozunun çok ince olması, kolay nem alması ve kolay topaklaşması, cidarlara yapışma olayı gibi nedenlerle düzgün ve belli bir konsantrasyonda toz debisi sağlanması için, mevcut toz besleme sisteminde alternatif yollar denenmiş olsa da istenen başarı sağlanamamıştır. Bunun üzerine toz besleme için farklı bir yöntem olarak enjektör kullanılmasına karar verilmiştir. Şekil 3.10'da gösterilen enjektöre 6 bar basınç üreten bir kompresörden hava beslenmiş dar kesitte yüksek hız nedeniyle oluşan düşük basınç ile toz emişi sağlanmıştır. Kompresörden gelen bu hava debisi de bir rotametre (Şekil 3.11) ile gönderilen 4 m^3/h debi siklona giren hava debisine ilave edilmiştir.



Şekil 3.10. Enjektör



Şekil 3.11. Rotametre



Şekil 3.12. Paketlenmiş çimento



Şekil 3.13. Deney tesisatının son hali

3.2. Deney Yöntemi

Deneyler sabit sıcaklık şartlarında bulunan bir laboratuar ortamında gerçekleştirilmiştir. Partikül tanecik dağılımları incelendiğinde daha ince toz çaplarında performans ölçümleri daha hassas olacağı düşünülerek çimento tozu kullanılmıştır. Her bir deney için 250 gr siyah çimento tozu kullanılmıştır. Sistemde tek bir kesit için beş farklı boy, ayrıca her boy için üç farklı debi kullanılarak deneyler yapılmıştır.

Sistemde ilk olarak kullanılacak kesitler yerleştirilmiştir. Böylece bu sabit parametrenin değiştirilebilen siklon gövde yüksekliği ve hava giriş debisiyle birlikte performansa etkisi incelenmiştir. Aynı program diğer kesitler için de uygulanarak karşılaştırmalı analizler yapılmıştır.

İlk hazırlıktan sonra sisteme Hg siklon gövde boyu yerleştirilip, Qx hava debisi vantilatörden gönderilerek deney programına hazırlık tamamlanmıştır. Daha sonra paketlenmiş haldeki siyah çimento tozu sisteme gönderilerek 10 ila 20 dakika süre aralığında deneyler yapılmıştır. Deney esnasında tozsuz ve tozlu haldeki basınç kaybı değerleri kaydedilmiştir. Toplama haznesine düşen tozlar hassas bir şekilde alınarak dijital göstergeli teraziyle tartılmıştır. Toplanan tozun ağırlığının gönderilen ilk ağırlığa oranı bize toplam ayrışma verimini vermektedir. Bu duruma örnek olarak; A kesitinin H_1 siklon gövde boyunda Q_1 debisindeki verim sonucunu elde edilmiştir. Bu şekilde deneyler mevcut parametreler değiştirilerek uygulanmış ve daha sonra karşılaştırılmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada ilk önce kesit boyutları (axb) ayarlanmış ve her bir kesit için Hg yüksekliğinde beş farklı siklon gövdesi yerleştirilmiştir. Mevcut kesitte ki H yüksekliği için Q debisi minimum, orta ve maksimum olmak üzere arttırılarak uygulanmıştır.

A kesitinde, H yüksekliğinde ve Q debisinde yapılan deneysel çalışma tek bir deney sonucunu vermiştir. Bu şekilde parametreler değiştirilerek deneyler tamamlanmıştır.

Deney esnasında alınan tozsuz ve tozlu haldeki basınç kaybı, toplanan toz miktarı değerleri debi, hız, basınç kaybı, basınç düşümü katsayısı, siklon yüksekliği ve verim değerleri arasında karşılaştırmalar yaparak siklon performansını görmeyi sağlamıştır.

4.1. Deneysel Hesaplamalar

Deney esnasında elde edilen ventürimetredeki basınç kaybı değeri Δh_v (mmSS) , giriş debisini ve hızını bulmamızda yeterli bir parametredir.

Bernoulli ilkesinden faydalanılarak debi Q;

$$Q=A_0\ C_d \sqrt{\frac{2gh_p}{1-\beta^4}} \tag{4.1}$$

$$A_0 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi\left(66*10^{-3}\right)^2}{4} = 3{,}42x10^{-3}m^2 \tag{4.2}$$

$$\beta = \frac{d}{D} = \frac{66}{110} = 0{,}6 \tag{4.3}$$

$$C_d = 0{,}95 \tag{4.4}$$

$$h_{p=}\Delta h_v \left(\frac{\rho_{su}}{\rho_{hava}}\right) \tag{4.5}$$

Bu değerler formülde yerine yazılarak m³/h cinsinden debi parametresine ulaşılmıştır ve böylece giriş hızı da kesite bağlı olarak bulunmuştur.

Vg değeri;

$$Vg= \frac{Q}{A} \text{ (m/sn)} \tag{4.6}$$

K (basınç düşüm katsayısı) değeri;

$$K = \frac{\Delta P}{\rho_h \frac{V_g{}^2}{2}} \tag{4.7}$$

Denkleminde kullandığımız $\boldsymbol{\Delta}$P değerleri deney esnasında siklondaki tozlu haldeki basınç kaybıdır.

$$\boldsymbol{\Delta}P= \rho.g.\Delta h_s \tag{4.8}$$

Verim (η) ise ;

$$\eta = \frac{Toplanan\ toz\ miktarı}{Siklona\ gönderilen\ toz\ miktarı} \quad (4.9)$$

Kesitlerin harflendirilmesi ;

A= 38*55

B= 38*95

C= 45*55

D= 75*150

Siklon şeffaf gövde uzunlukları;

H_1= 205 mm

H_2= 395 mm

H_3= 585 mm

H_4= 790 mm

H_5= 980 mm

Debiler ;

Q_1 , Q_2 ve Q_3 olarak grafiklerde gösterilmektedir.

Hızlar;

V_1, V_2 ve V_3 olarak grafiklerde gösterilmektedir.

Bu parametreler kesit boyutlarına ve yüksekliğe göre K-V, η-V, ΔP-H, η-H, K-h gibi grafiklere dökülerek incelenecek ve yorumlanacaktır.

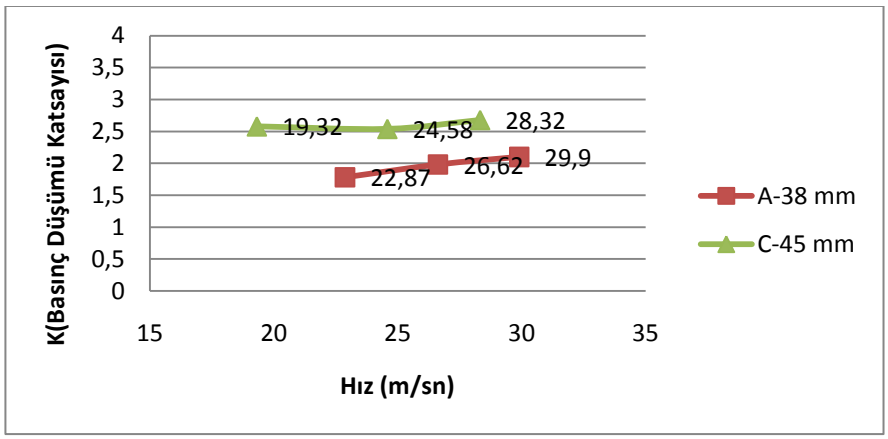
Böylece optimum siklon tasarımı için düşük K ve yüksek η noktaları irdelenip model değeriyle karşılaştırılacaktır.

İlk olarak kesit genişliği ve yüksekliğinin etkisi incelenecektir.

4.2. Kesit Genişliğinin (a) Basınç Kaybına ve Verime Etkisi

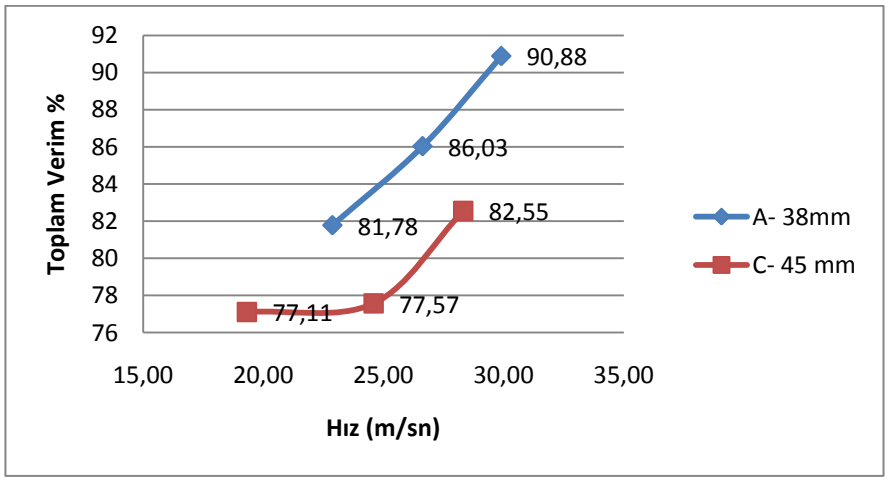
Kesit genişliğinin etkisini incelemek için yükseklikleri aynı değerde olan A ve C kesitlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Her siklon yüksekliği için ayrı ayrı grafikler oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1. A ve C kesitlerinin H_1=205 mm de K-V grafiği



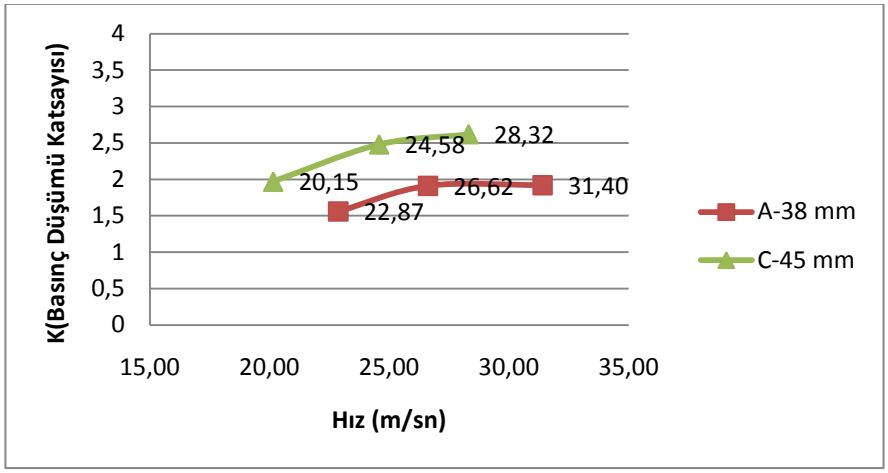
Bu boyda görülüyor ki aynı kesit yüksekliğine sahip iki kesitte ortalama 25 m/sn giriş hızında kesit genişliği arttıkça K artıyor yani basınç kayıpları artıyor.

Çizelge 4.2. A ve C kesitlerinin H_1=205 mm de η-V grafiği



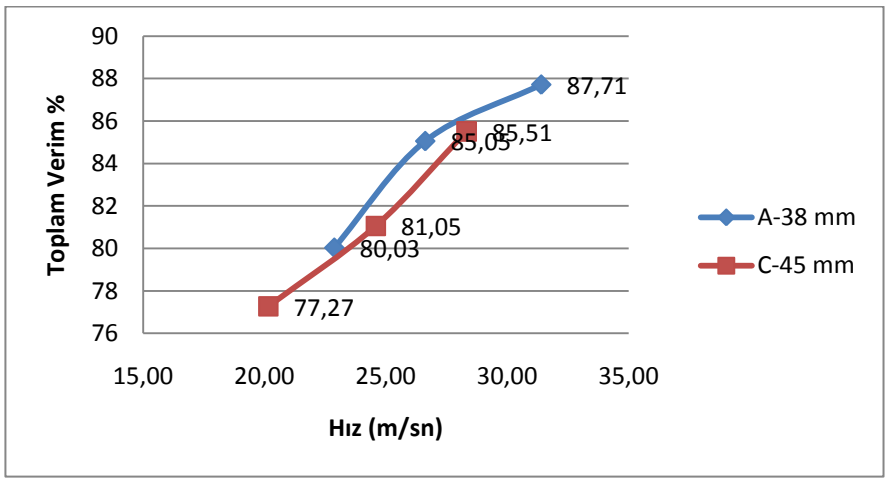
Burada görülüyor ki 25 m/sn ve 30 m /sn giriş hızlarında kesit genişliği artışı verimde yaklaşık % 7 lik bir düşüşe neden olmaktadır.

Çizelge 4.3. A ve C kesitlerinin H_2=395 mm de K-V grafiği



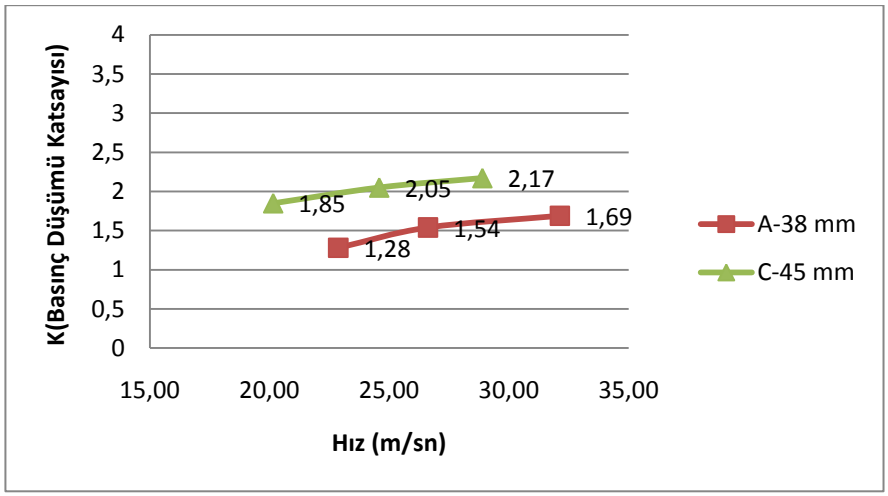
H_2=395 mm boyunda bir önceki boyla benzer şekilde basınç kaybı görüldü.

Çizelge 4.4. A ve C kesitlerinin H_2=395 mm de η-V grafiği



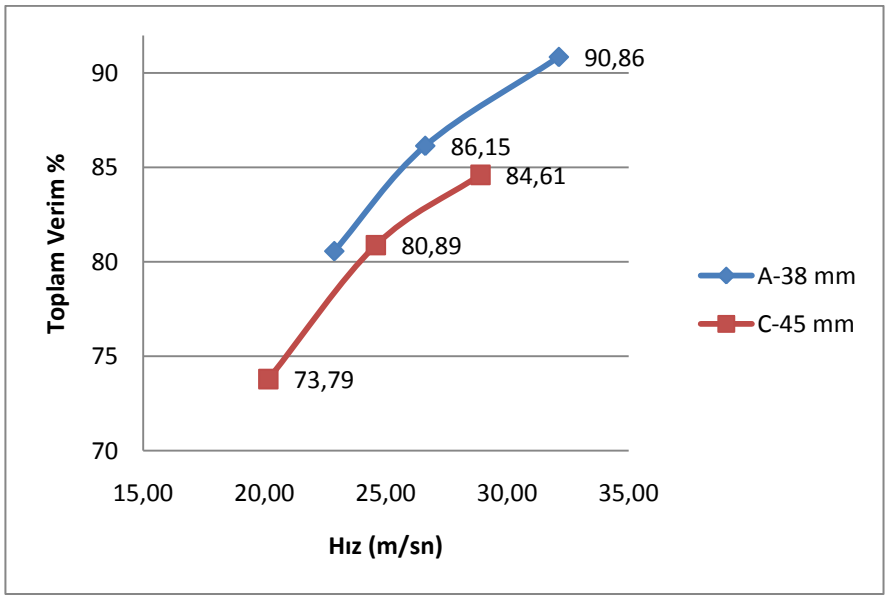
Yine bu grafiğe baktığımızda 25 m/sn' de kesit genişledikçe verimde ki azalmanın daha az olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5. A ve C kesitlerinin H_3=585 mm de K-V grafiği



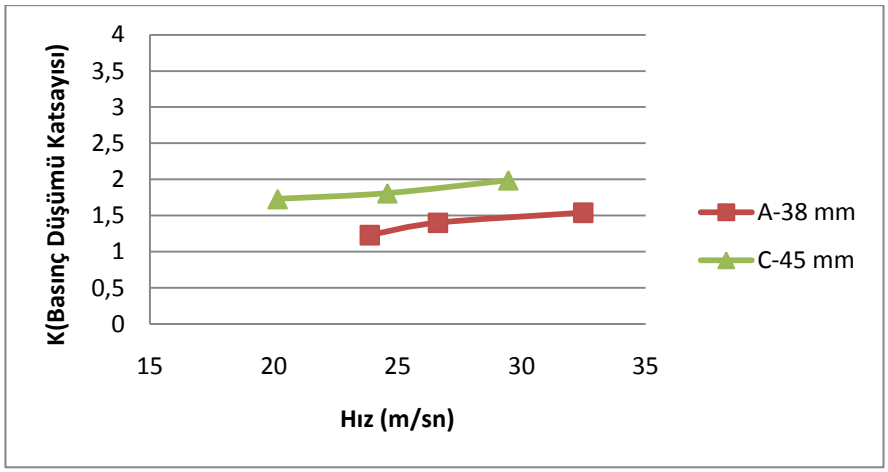
Burada K değerlerinin boy uzadıkça yavaş yavaş azaldığı, diğer grafiklerle karşılaştırdığıldında açıkça görülmektedir.

Çizelge 4.6. A ve C kesitlerinin H_3=585 mm de η-V grafiği



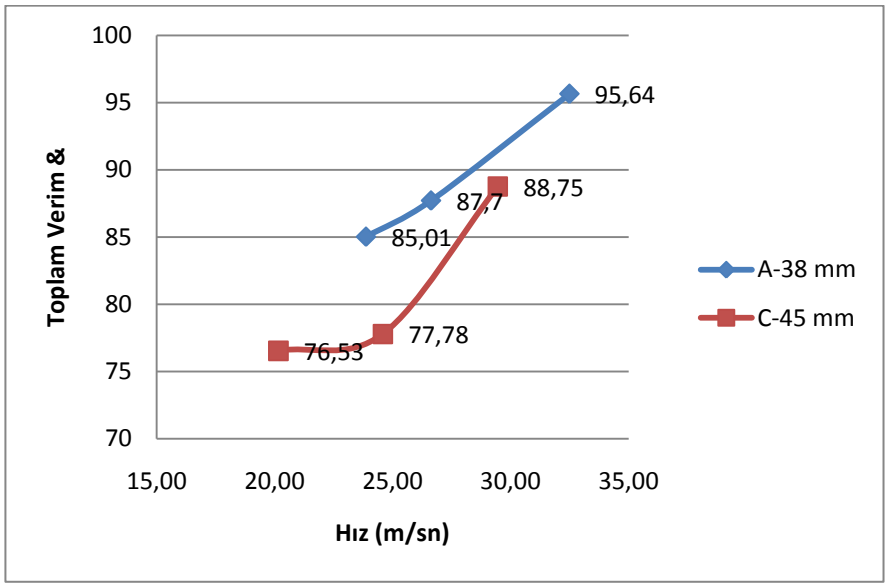
Bu boyda verimdeki azalma 25 m /sn hızı göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık olarak % 3 civarıdır. Genel verimlerde ise A kesitinde artış C kesitinde de aynı seyirde devam etmektedir. Daha uzun boylarda ki deney sonuçlarına bakarak önemli bir değişiklik olup olmaması incelenecektir.

Çizelge 4.7. A ve C kesitlerinin H_4=790 mm de K-V grafiği



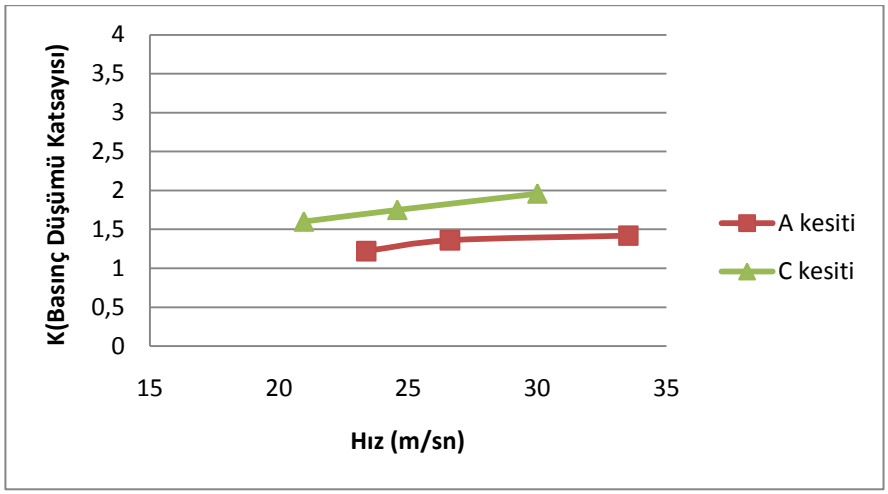
Yine bu boyda basınç kaybının azaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.8. A ve C kesitlerinin H_4=790 mm de η-V grafiği



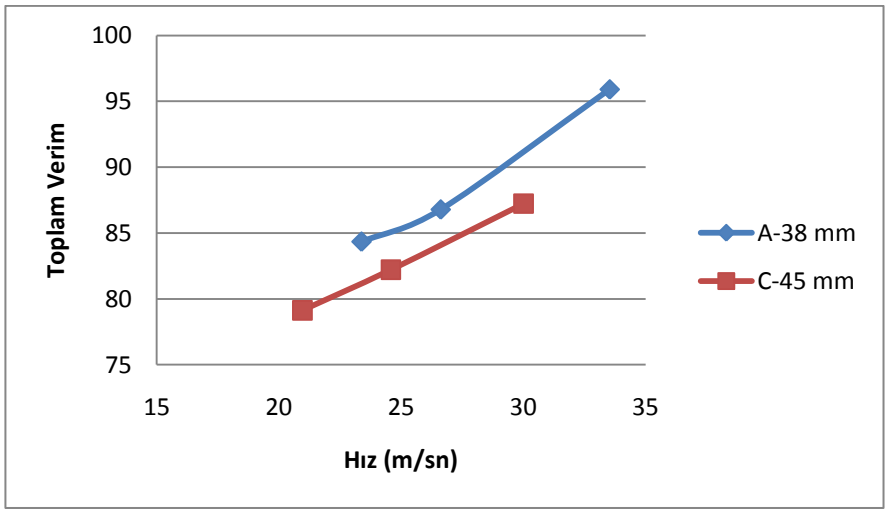
Burada toplam verimlerde artış olduğu görülmektedir. Tekrar 25 m/sn hıza baktığımızda verim, kesit genişliği arttıkça %8 lik bir azalma göstermiştir. Hız arttığında ise verim büyük oranda artış göstermiştir. Eğri hareketine göre 30 m/sn hızdan sonra C kesitinin verimde daha fazla bir yüzdeye çıkabileceği öngörülebilir.

Çizelge 4.9. A ve C kesitlerinin H_5=980 mm de K-V grafiği



En uzun boyda basınç kaybı minimum değerlere ulaşmıştır. Görülüyor ki boy uzadıkça düzenli olarak basınç kayıpları azalmaktadır.

Çizelge 4.10. A ve C kesitlerinin H_5=980 mm de η-V grafiği

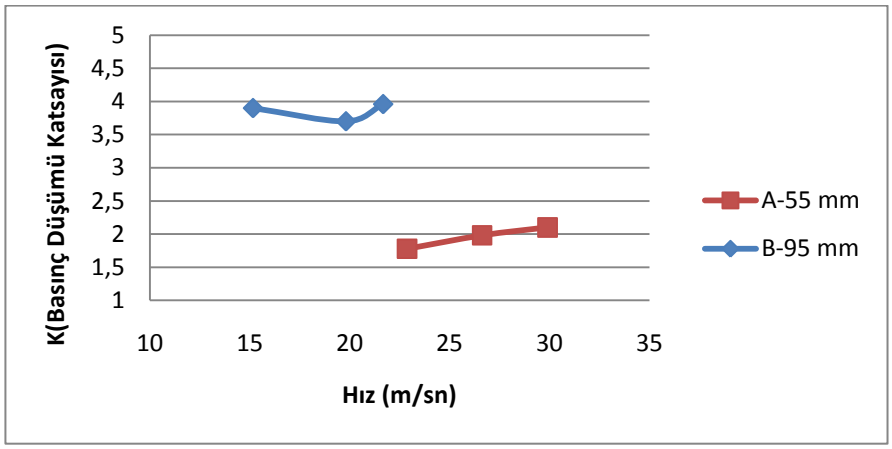


H=980 mm de verim artışının daha düzgün olduğu görülmektedir. Genel olarak kesit genişliğinin (a) artışının basınç kayıplarında artışa ve verimde düşüşe neden olduğu görülmektedir. % 87 lik bir verim için K katsayısı A kesitinde yani kesit genişliği dar olduğunda daha azdır. Buna dayanarak A kesitinin daha avantajlı olduğu söylenebilir.

4.3. Kesit Yüksekliğinin (b) Basınç Kaybına ve Verime Etkisi

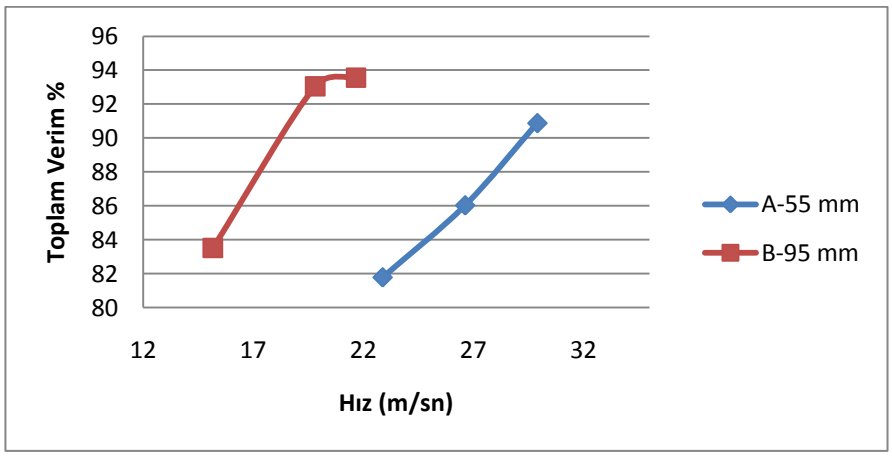
Kesit yüksekliğinin etkisini incelemek için aynı değerde olan A ve B kesitlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Her siklon yüksekliği için ayrı ayrı grafikler oluşturulmuştur.

Çizelge 4.11. A ve B kesitlerinin H_1=205 mm de K-V grafiği



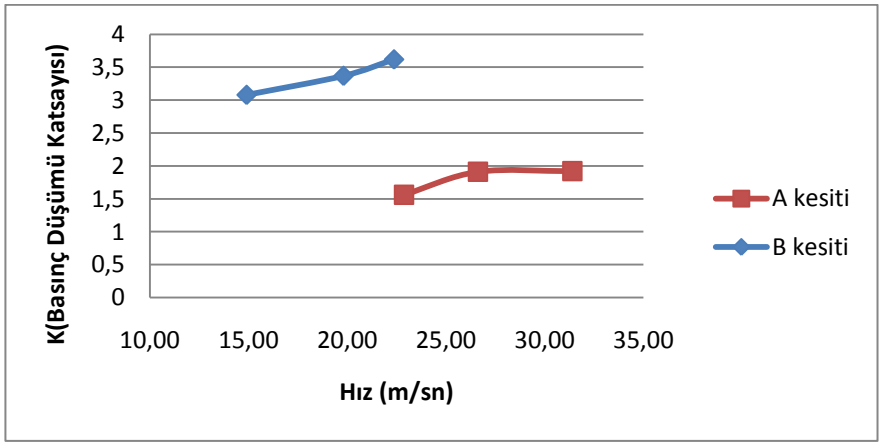
Burada görülüyor ki 40 mm lik kesit yükseklik artışı basınç kaybında ciddi bir oranda artışa neden olmaktadır.

Çizelge 4.12. A ve B kesitlerinin H_1=205 mm de η -V grafiği



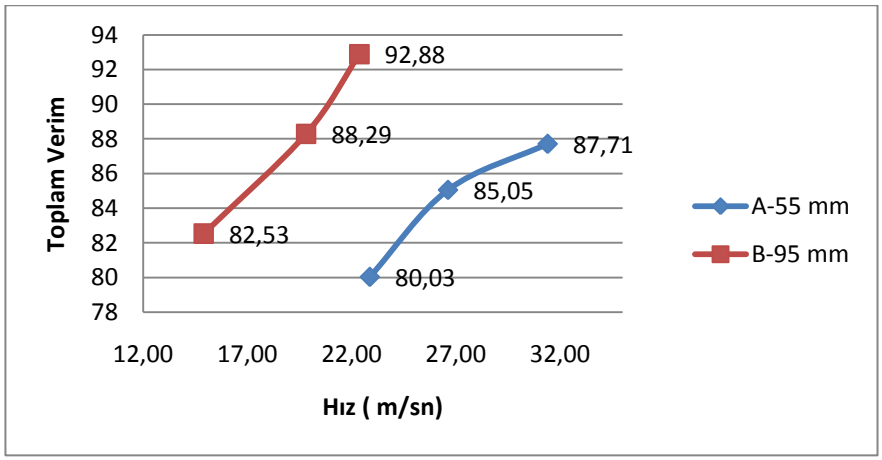
Bu kesitlerde hız kesişim noktası olmadığından dolayı grafik hareketlerinden yola çıkarak yorum yapılabilir. Burada görülüyor ki aynı hızda kesit yüksekliği arttığında verim artmaktadır.

Çizelge 4.13. A ve B kesitlerinin H_2=395 mm de K-V grafiği



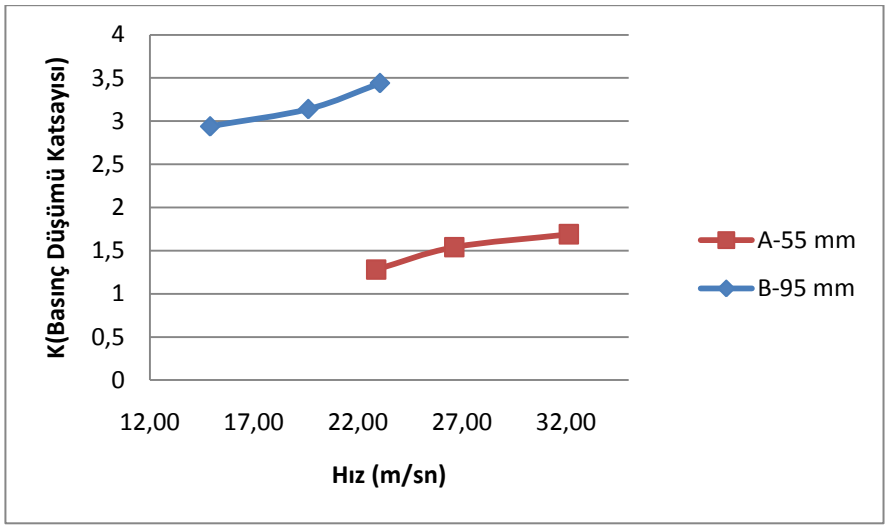
Siklon yüksekliği arttığında basınç kayıplarında beklenildiği gibi azalma görülmektedir.

Çizelge 4.14. A ve B kesitlerinin H_2=395 mm de η -V grafiği



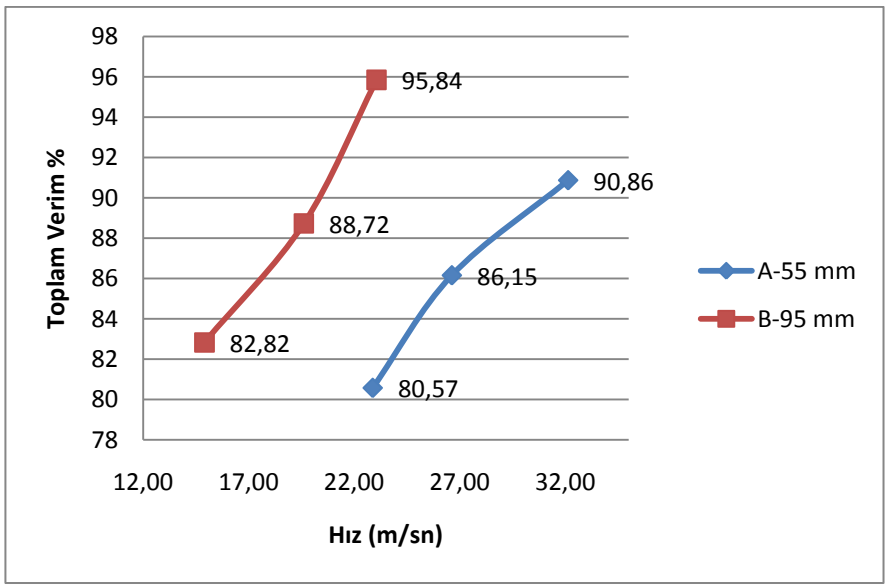
Yaklaşık 22 m/sn hızda kesitleri incelersek kesit yüksekliği 95 mm olduğu zaman verimde % 13 oranında bir artış görülmektedir.

Çizelge 4.15. A ve B kesitlerinin H_3=585 mm de K-V grafiği



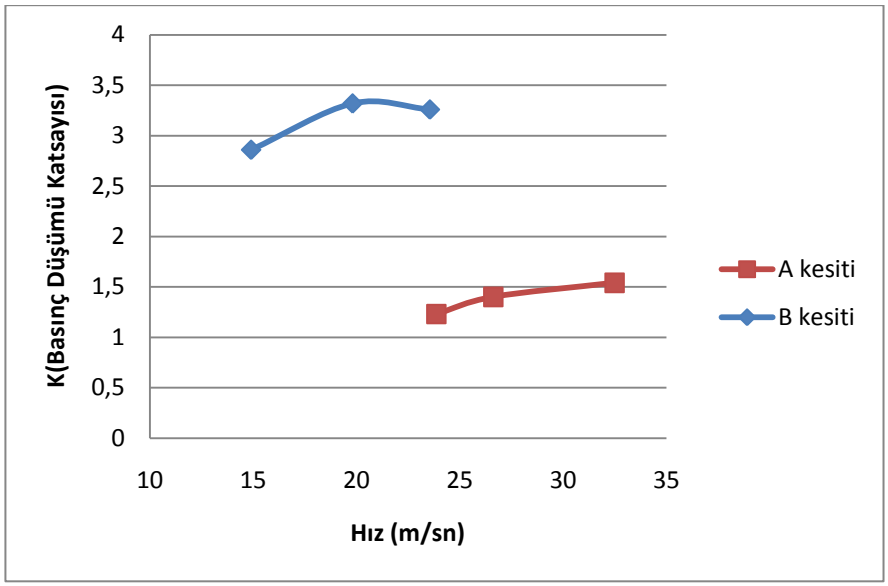
Basınç kayıplarında düzenli olarak azalma meydana gelmektedir. Hız arttıkça basınç kayıpları artmaktadır.

Çizelge 4.16. A ve B kesitlerinin H_3=585 mm de η -V grafiği



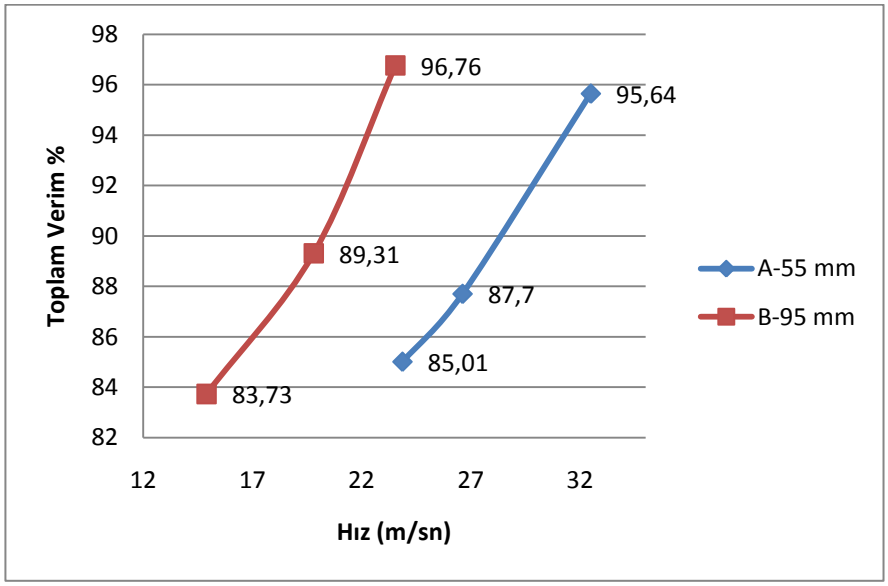
Burada 23 m/sn hızda karşılaştırma yaparsak %16 lık bir verim artışı olduğu görülmektedir. Bir önceki siklon yüksekliği 395 mm ye göre de yaklaşık aynı hızlarda verimde artışın devam ettiği görülüyor.

Çizelge 4.17. A ve B kesitlerinin H_4=790 mm de K-V grafiği



A kesitinde daha düşük değerlerde K katsayısı elde edilmektedir.

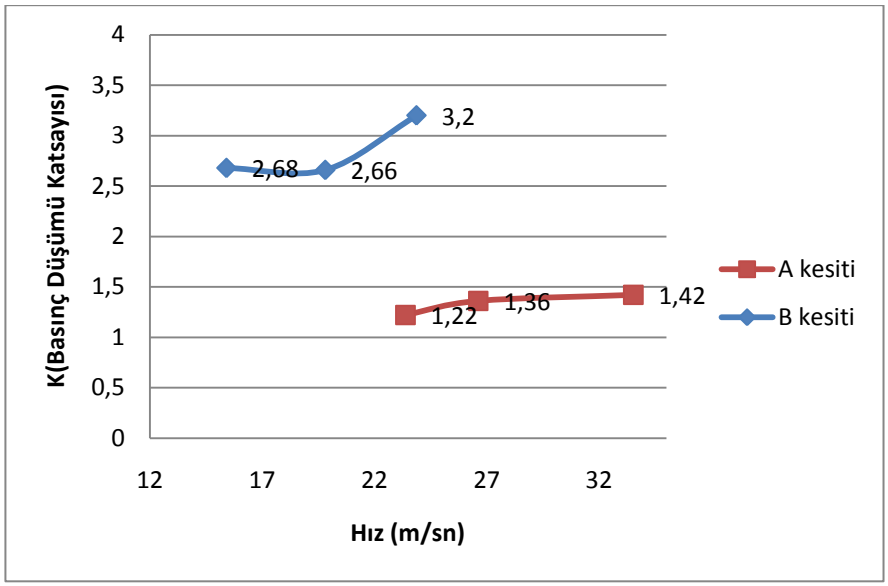
Çizelge 4.18. A ve B kesitlerinin H_4=790 mm de η -V grafiği



Bu grafikte yapılan deneysel çalışmalardaki maksimum verime ulaşılmıştır.

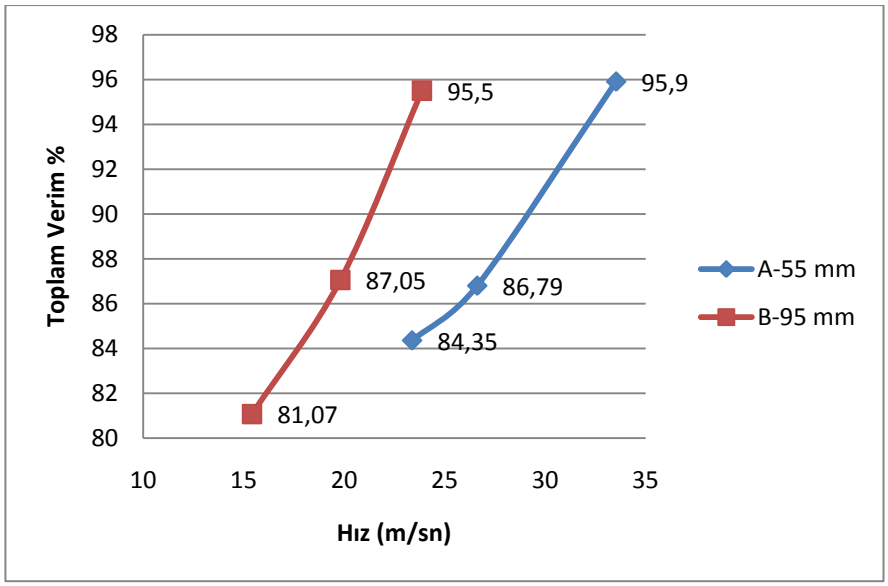
38*95 (mm*mm) kesitte 23,55 m/sn giriş hızında H_4=790 mm siklon gövde uzunluğunda verim % 96,76 değerindedir.

Çizelge 4.19. A ve B kesitlerinin H_5=980 mm de K-V grafiği



A ve B kesitleri farklı hız aralıklarında çalıştıkları için eğrinin nasıl bir şekilde devam edeceğini kestirebilmek zordur. Mevcut çalışma imkanlarıyla ulaşılan maksimum hızlar sınırlıdır. Bundan dolayı bu iki kesitte kesişen tek noktaya göre yorumlar yapılmaktadır.

Çizelge 4.20. A ve B kesitlerinin H_5=980 mm de η -V grafiği



Beş farklı boyu incelediğimizde V=22-23 m/sn hızlarda verimin kesit yüksekliğinin artışıyla birlikte yaklaşık % 11-16 oranlarında arttığı görülmektedir.

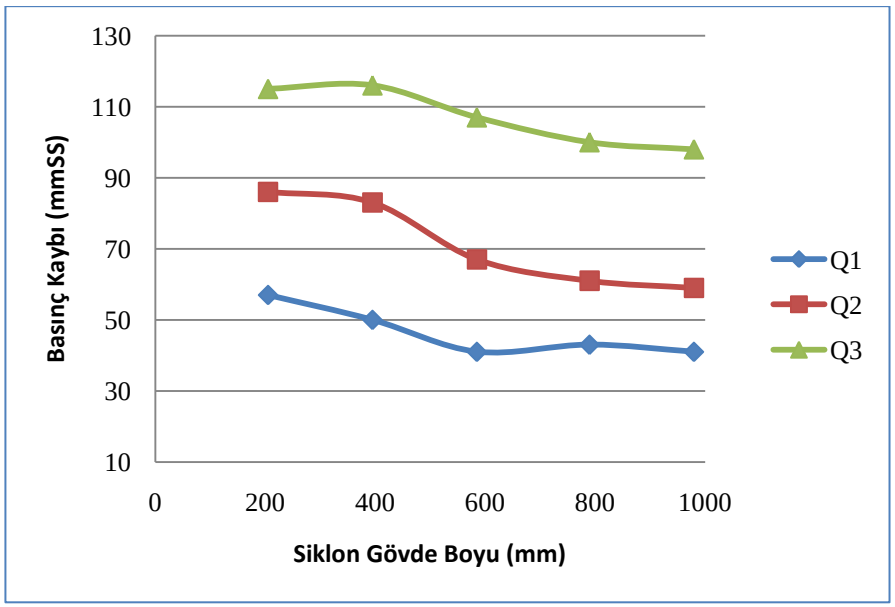
38*55 kesitinde maksimum 34 m/sn hızlara çıkıldığı görülmektedir. Yani bu kesitlerdeki deneyler 12 ila 34 m/sn hızlarda gerçekleşmiştir. Kesit daraldıkça giriş hızı artmaktadır.

Burada 40 mm giriş kesit yüksekliği farkının verimde oldukça etkili olduğu görülmektedir.

4.4. Tüm Kesitler İçin ΔP-H, η-H ve K-H grafikleri

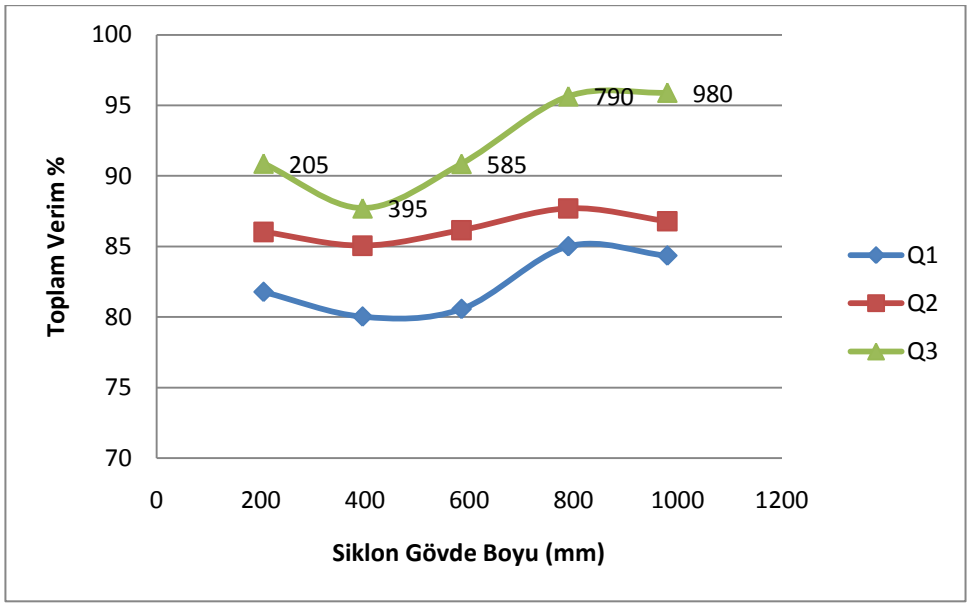
4.4.1. A kesiti (38*55) için ΔP-H ve η-H grafikleri

Çizelge 4.21. 38*55 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için ΔP-H karşılaştırma



Basınç kayıpları üç farklı debi için de siklon boyu arttığında azalmaktadır. En fazla düşüş orta debide olmaktadır.

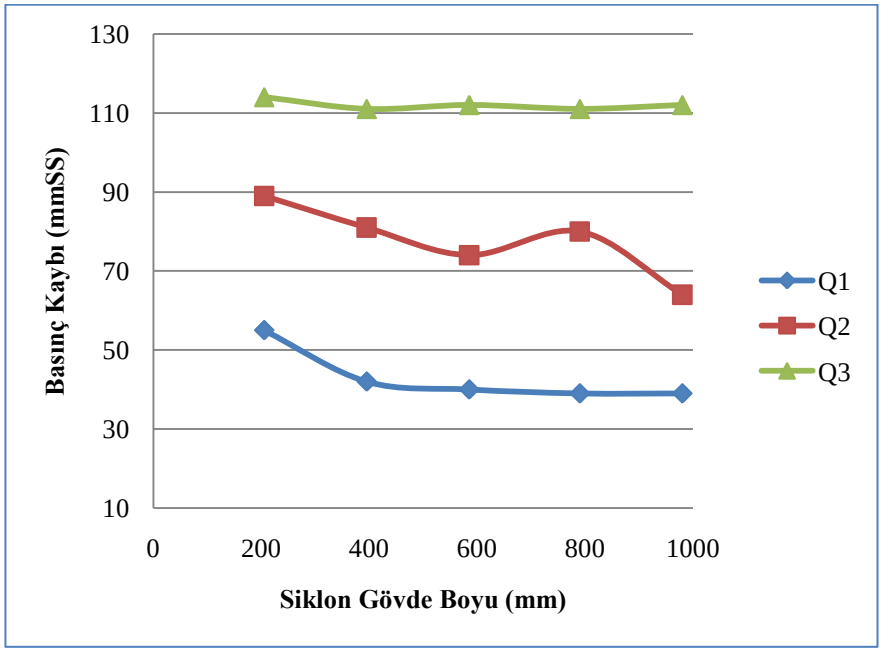
Çizelge 4.22. 38*55 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için η-H karşılaştırma



Burada dikkat çeken bir nokta olarak 395 mm boydaki en yüksek debide verimin bir düşüş gerçekleştirmesi ve daha sonra yeniden artmış olmasıdır. 790 mm boyda ise verim değerleri en yüksek ve basınç kayıpları da daha az görünmektedir. Bu grafiklere göre 790 mm daha optimum bir uzunluk olabilir.

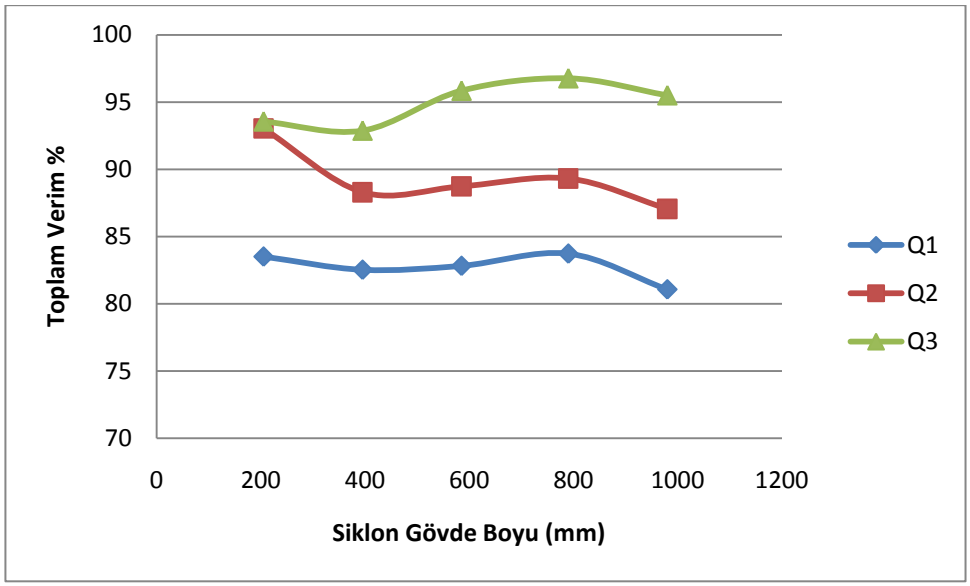
4.4.2. B kesiti (38*95) için ΔP -H ve η-H grafikleri

Çizelge 4.23. 38*95 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için ΔP-H karşılaştırma



Bu kesitteki en yüksek debide ise basınç kaybı değerlerinde pek bir farklılık görülmemektedir. 790 mm de Q_2 debisinde ciddi değerde basınç kaybı değişimi görülmektedir. Sürtünmeye bağlı kayıplarda olağandışı bir değişiklik olabilir.

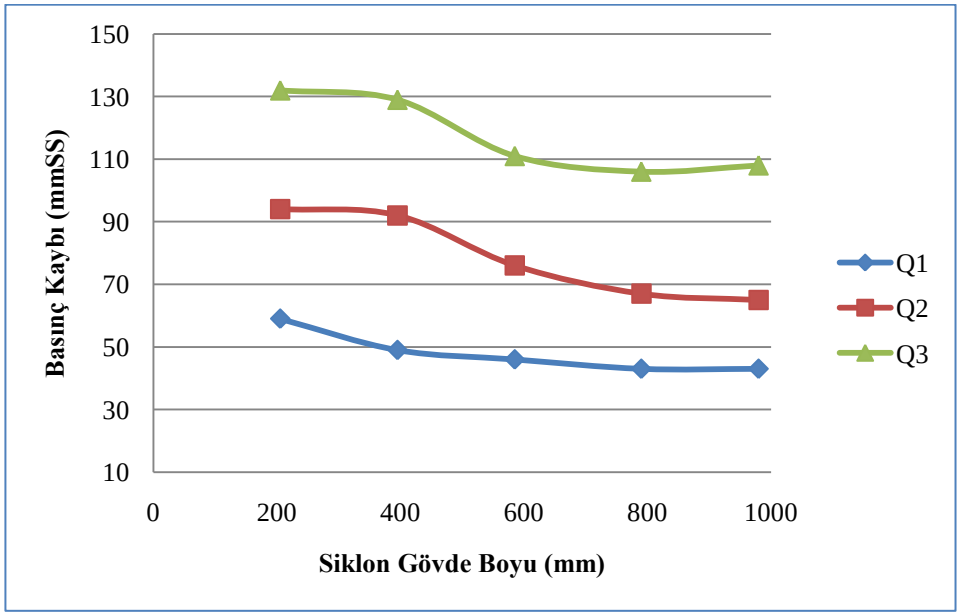
Çizelge 4.24. 38*95 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için η-H karşılaştırma



Grafiği incelenirse 790 mm uzunlukta üç farklı debide bir pik noktası oluşmuştur. Verim bu boyda maksimuma ulaşmıştır. Daha önceki grafikte ise basınç kaybının 980 mm ye göre daha az olduğu yüksek debi çalışma şartında görülmektedir. Sonuç olarak bu uzunlukta istenilen kriterlere uyum daha fazladır.

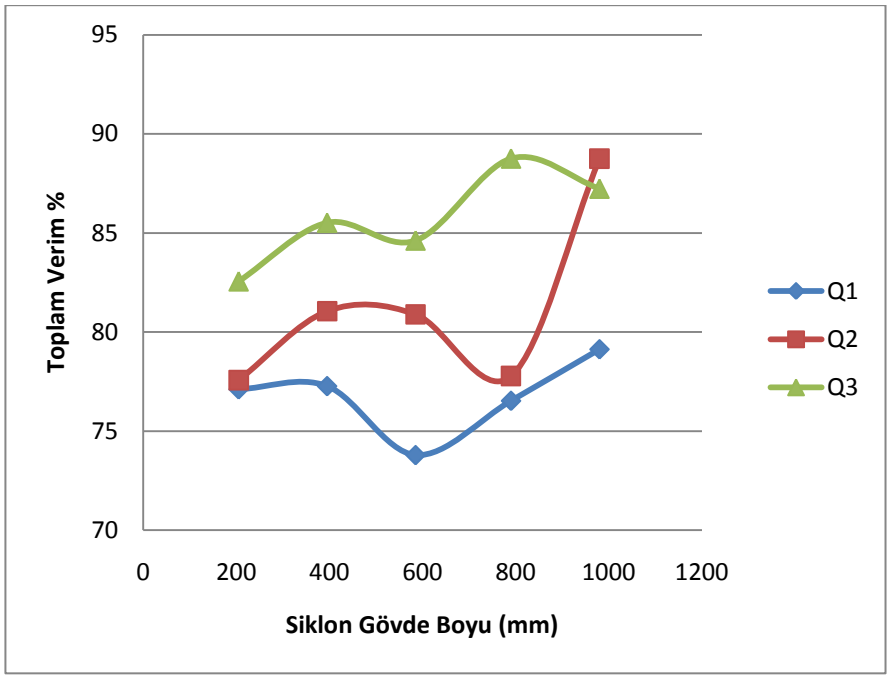
4.4.3. C kesiti (45*55) için ΔP-H ve η-H grafikleri

Çizelge 4.25. 45*55 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için ΔP-H karşılaştırma



Daha önceki grafiklerde görülüyor ki basınç kayıpları 790 ve 980 mm siklon boyunda genelde birbirine yakın değerlerde değişmektedir. Bu iki boydaki yakın değerler siklon boyunun etkisinde birtakım fikirler oluşmasına yardımcı olmaktadır.

Çizelge 4.26. 45*55 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için η-H karşılaştırma

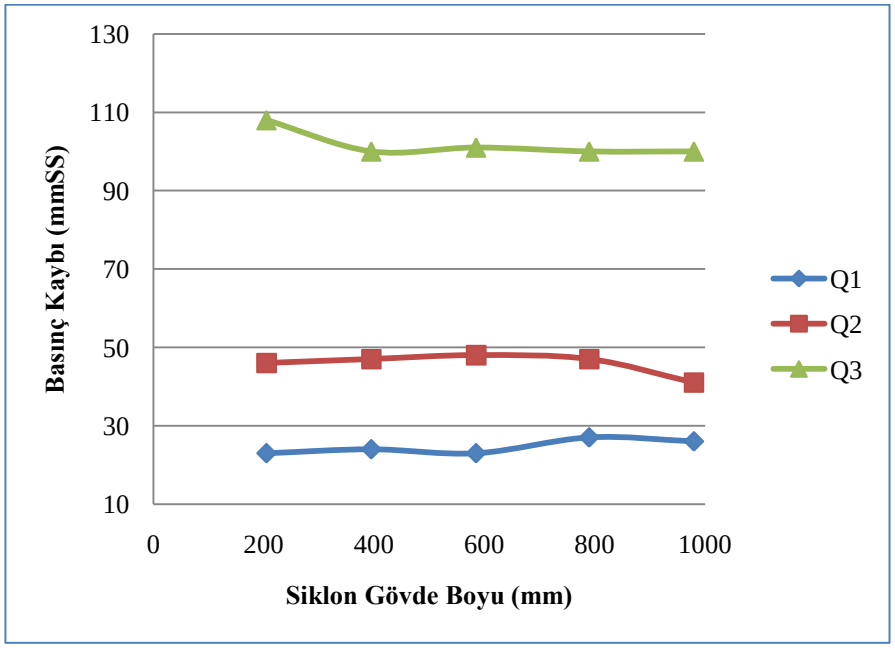


Bu grafikte 980 mm siklon boyunda orta debi değerinde verim maksimum olarak görülmektedir basınç kaybı ise 65 mmSS seviyesindedir.

En yüksek debi çalışma şartında ise daha önceki kesitte elde edildiği gibi 790 mm boyda verim maksimum değeri almakta ve basınç kaybı 980 mm boydakinden daha az görülmektedir. Bu kesitte de optimum uzunluk olarak 790 mm önerilebilir.

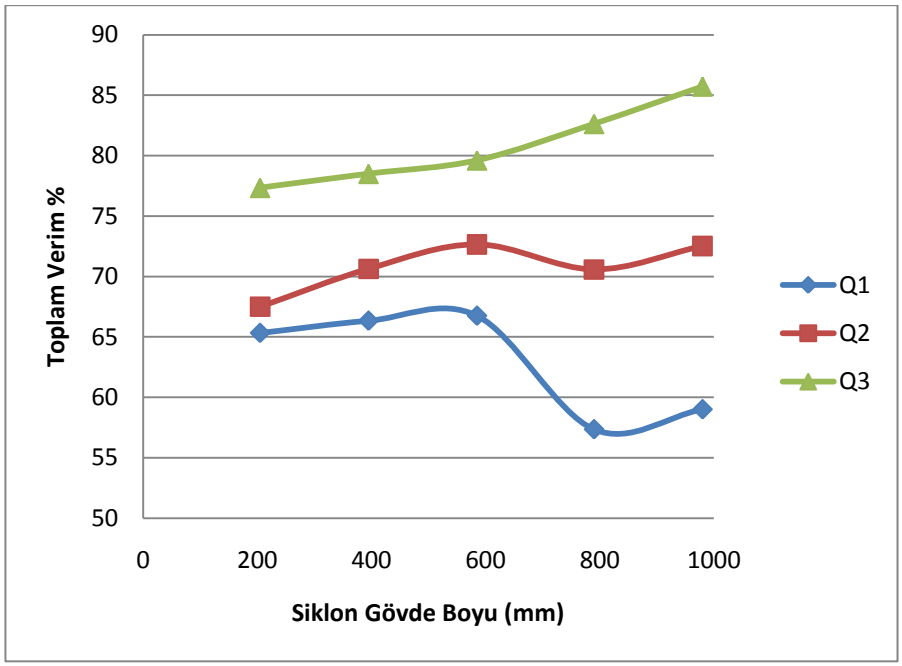
4.4.4. D kesiti (75*150) için ΔP-H ve η-H grafikleri

Çizelge 4.27. 75*150 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için ΔP-H karşılaştırma



Diğer kesitlere göre 3 ila 5 kat büyük bir kesit olan D kesitindeki ΔP değerleri daha düşük değerlerdedir. Giriş hızı oldukça düşük olan bu kesitte maksimum debide basınç kaybı çok büyük artış göstermektedir.

Çizelge 4.28. 75*150 kesitinde Q_1, Q_2 ve Q_3 için η-H karşılaştırma



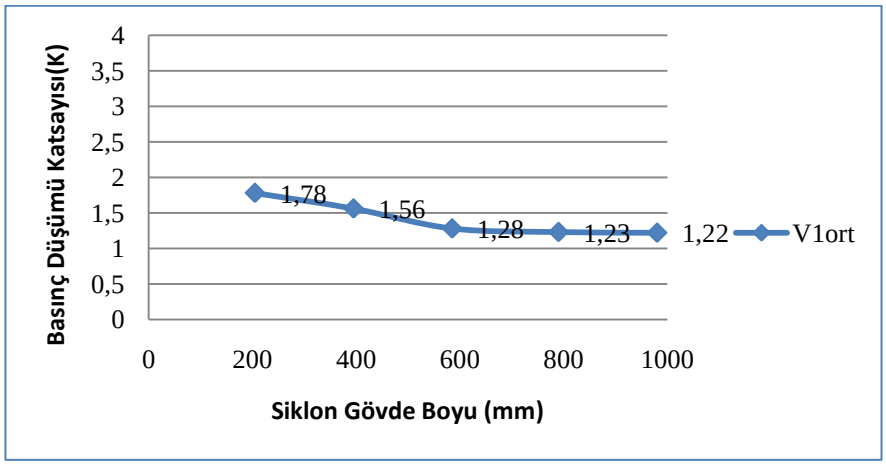
En yüksek debide basınç kayıpları aynı seyirde devam etmesine rağmen verim düzenli olarak artış göstermektedir.

Diğer kesitlere göre daha düşük verimler görülmektedir. Buna göre basınç kayıpları da orantılı olarak daha azdır.

Kesit alanı çok büyük olduğu için yüksek hızlara çıkılamamakta ve toz ayrıştırmada sorun yaşanmaktadır. Bu yüzden bu kesit tercih edilmeyebilir.

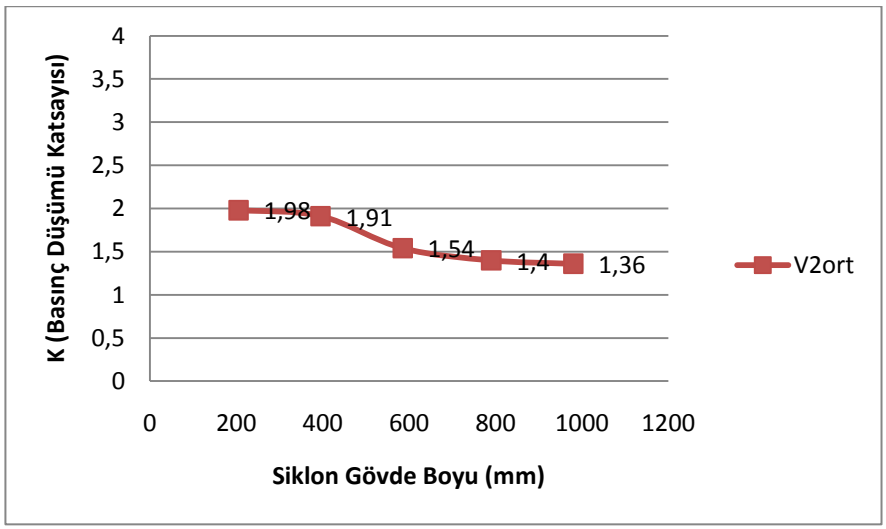
4.4.5. A kesiti (38*55) için K-H grafikleri

Çizelge 4.29. A kesitinde V_1ort= 23,187 m/sn de K-H grafiği



A kesitinin en düşük hızında K katsayısı boy uzadıkça azalmaktadır. En büyük iki boyda birbirine çok yakın değer almaktadır.

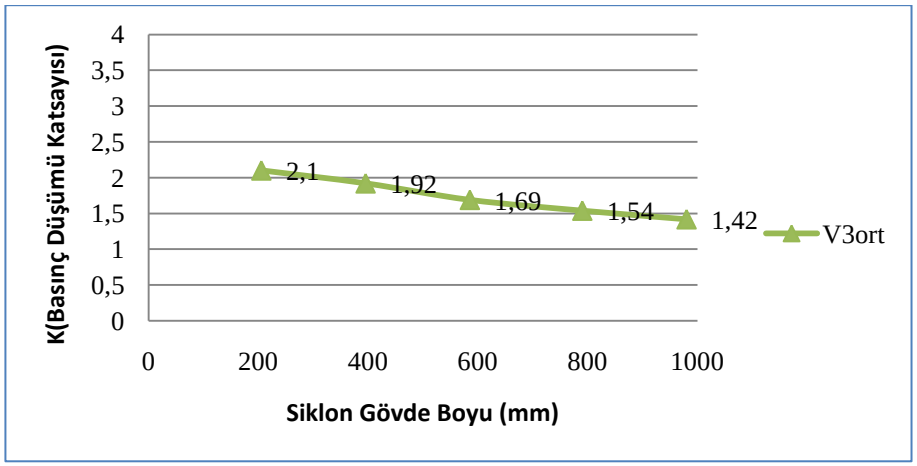
Çizelge 4.30. A kesitinde V_2ort= 26,62 m/sn de K-H grafiği



Kesitte yaklaşık hız 3.5 m/sn artış göstermektedir. K katsayısı yükselmekte, özellikle en kısa iki boyda daha büyük bir artış gözlenmektedir.

790 mm ve 980 mm uzunlukta K değeri yakın değerdedir.

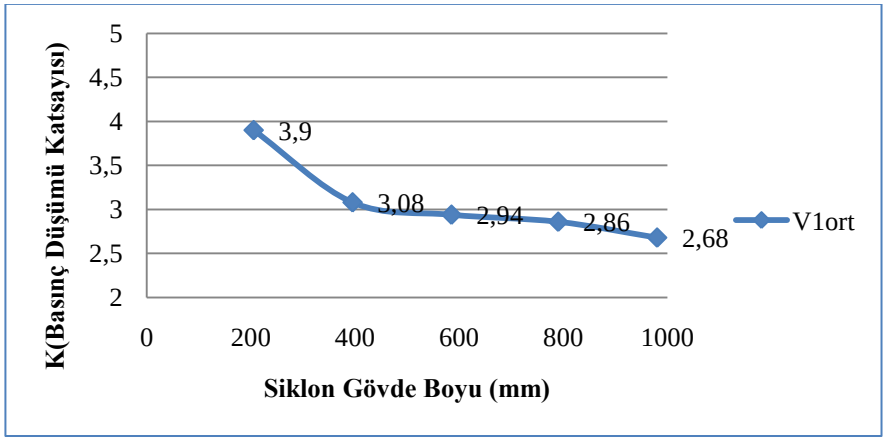
Çizelge 4.31. A kesitinde V_3ort= 31,89 m/sn de K-H grafiği



En yüksek hızda siklondaki basınç kayıpları biraz daha artmaktadır. Boy uzadıkça *K* değerinin düzenli olarak azalışı görülmektedir.

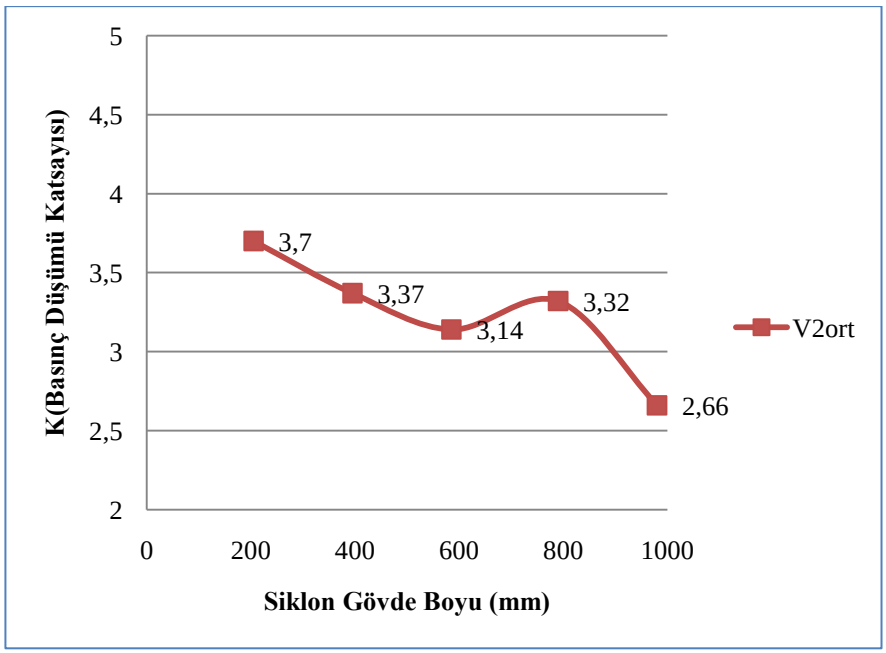
4.4.6. B kesiti (38*95) için K-H grafikleri

Çizelge 4.32. B kesitinde V_1ort= 15,05 m/sn de K-H grafiği



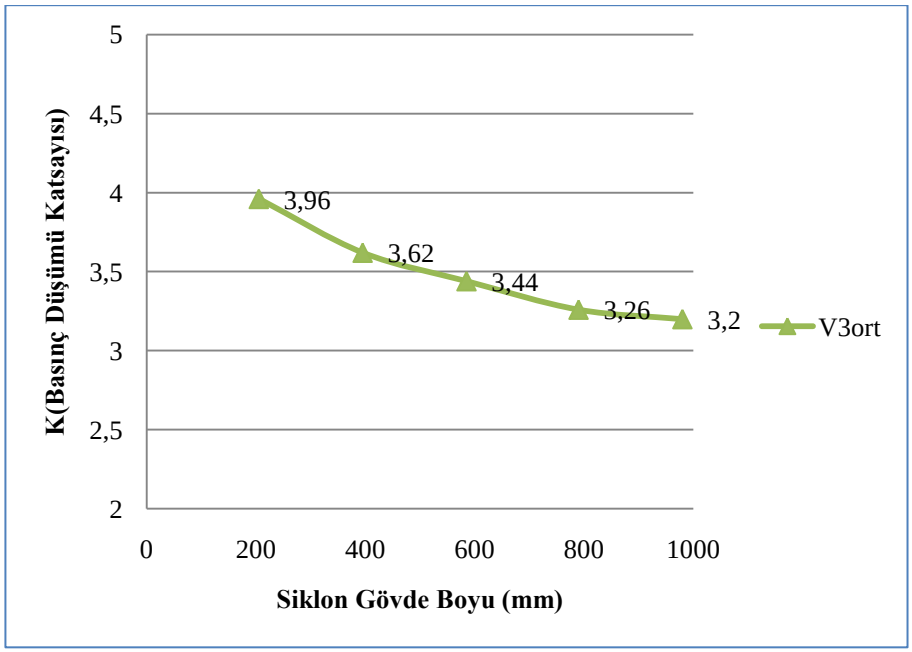
K değerleri bu kesitte biraz daha yükselmektedir. Daha öncede incelendiği gibi bu kesitteki yükseklik farkı basınç kayıplarında artışa neden olmaktadır.

Çizelge 4.33. B kesitinde V_2ort= 19,77 m/sn de K-H grafiği



Boy uzadıkça düzenli olarak azalan basınç kaybı 790 mm uzunlukta bir artış göstermektedir.

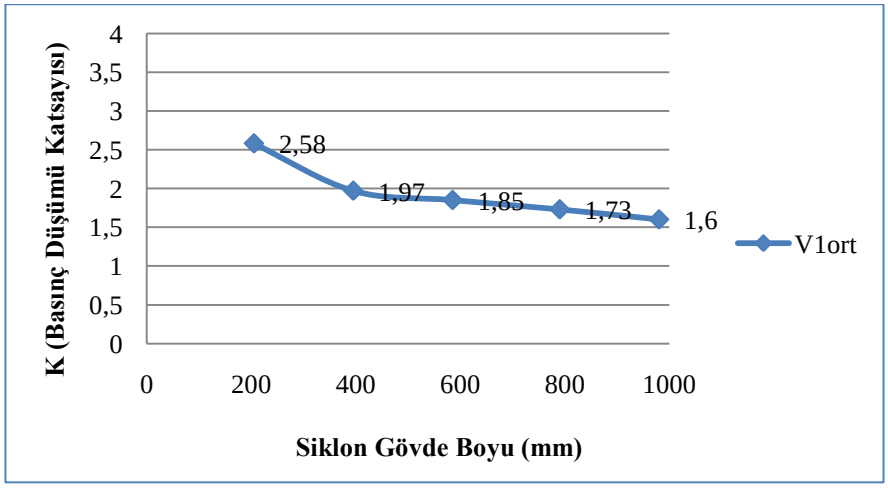
Çizelge 4.34. B kesitinde V_3ort= 22,90 m/sn de K-H grafiği



Bu grafikte yine düzenli bir azalma görülmektedir. Maksimum hızda ve en uzun boyda *K* en düşük değeri almakta ama kesit alanı A ya göre daha fazla olduğu için *K* değerlerinde artış görülmektedir.

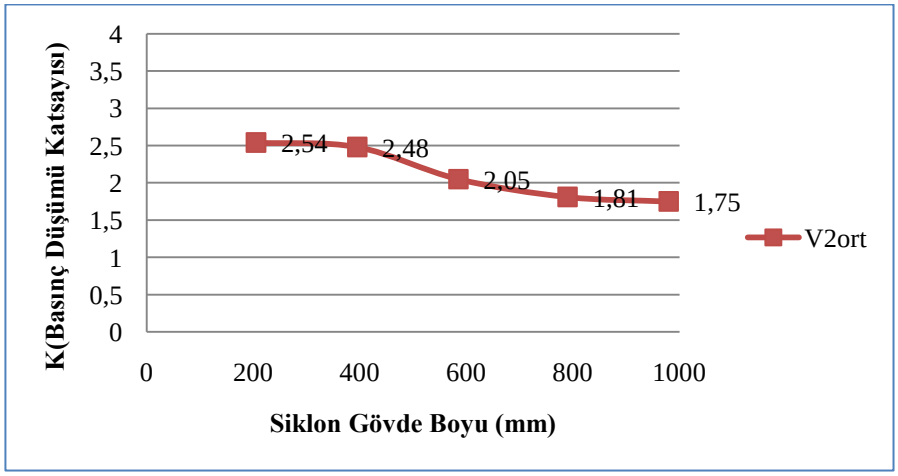
4.4.7. C kesiti (45*55) için K-H grafikleri

Çizelge 4.35. C kesitinde V_1ort= 20,15 m/sn de K-H grafiği



Kesit alanlarına göre baktığımızda A<C<B sıralaması görülmektedir. Bu da basınç kayıplarında ki sıralamayı oluşturur. A kesitinden fazla B kesitinden az şekilde *K* değerleri değişmektedir.

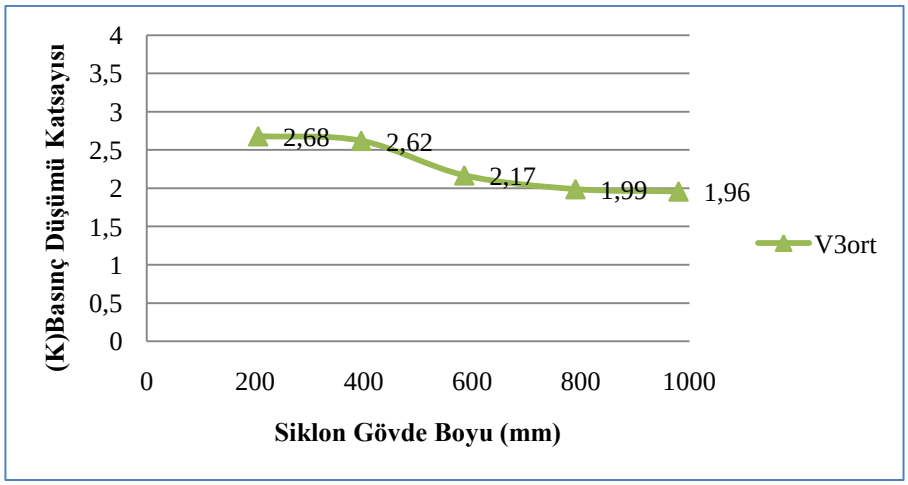
Çizelge 4.36. C kesitinde V_2ort= 24,58 m/sn de K-H grafiği



En kısa boyda *K* katsayısı azalmıştır. 395 mm boyda ise daha yüksek bir değerdedir.

Uzun boylarda hız arttıkça basınç kaybı değişimi kısa boylara göre daha düşük seviyede görülmektedir.

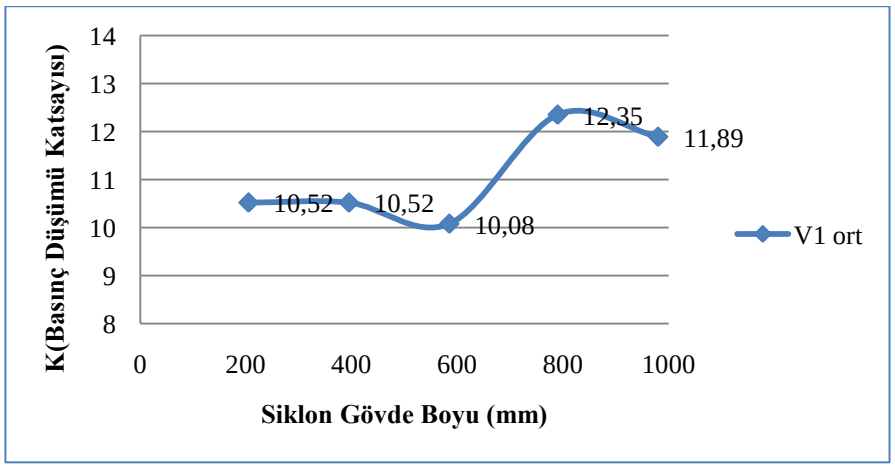
Çizelge 4.37. C kesitinde V_3ort= 29,01 m/sn de K-H grafiği



Orta boy ile diğer boylar arasında bir miktar fark vardır. 790 mm ile 980 mm arasında basınç kayıpları çok düşük farklılıklarda değişmektedir.

4.4.8. D kesiti (75*150) için K-H grafikleri

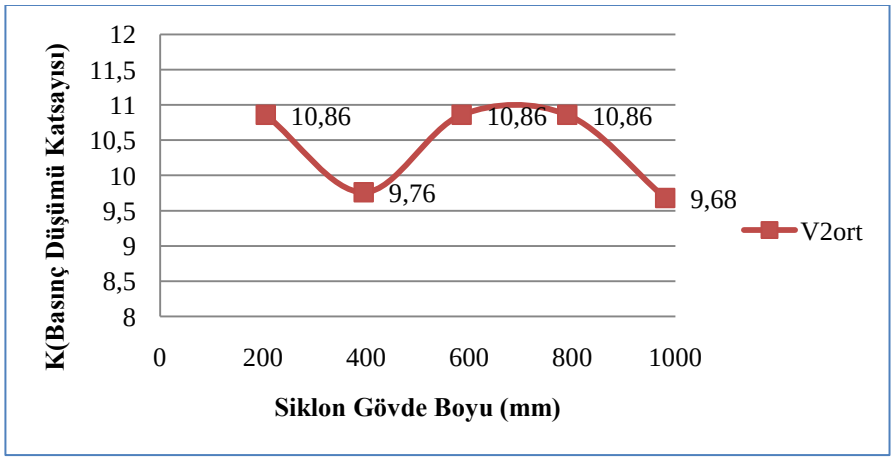
Çizelge 4.38. D kesitinde V_1ort= 6,02 m/sn de K-H grafiği



Büyük kesit alanı olduğundan giriş hızı oldukça düşüktür. Basınç kayıpları çok yüksek değerlerde ve verimde düşüktür.

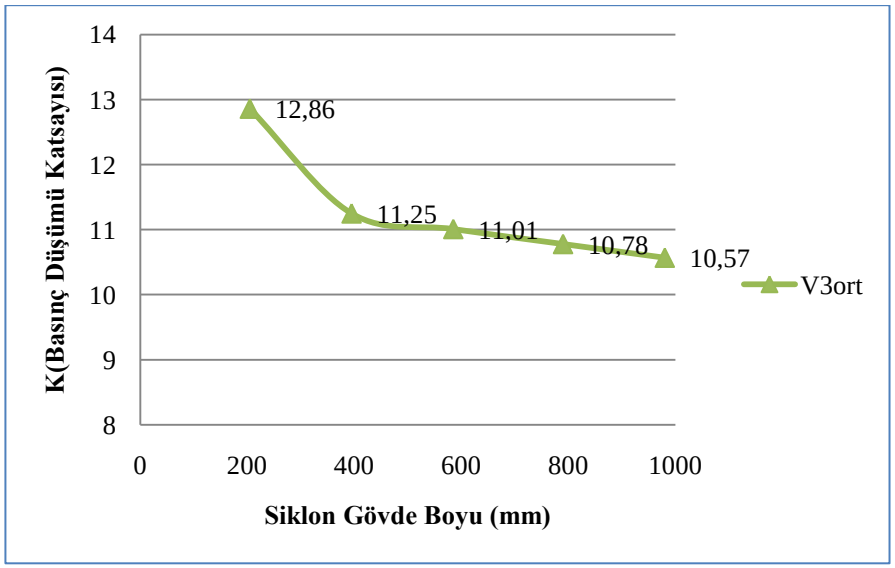
790 mm de maksimum *K* değerine ulaşmıştır.

Çizelge 4.39. D kesitinde V_2ort= 8,47 m/sn de K-H grafiği



Basınç kayıpları çok yüksek debilerde çalışıldığı için anlamlı görülmeyen değerler almıştır. Bunda giriş borusundaki toz birikmeleri ve bunların süpürülmemesi etkili olabilir .

Çizelge 4.40. D kesitinde V_3ort= 12,14 m/sn de K-H grafiği

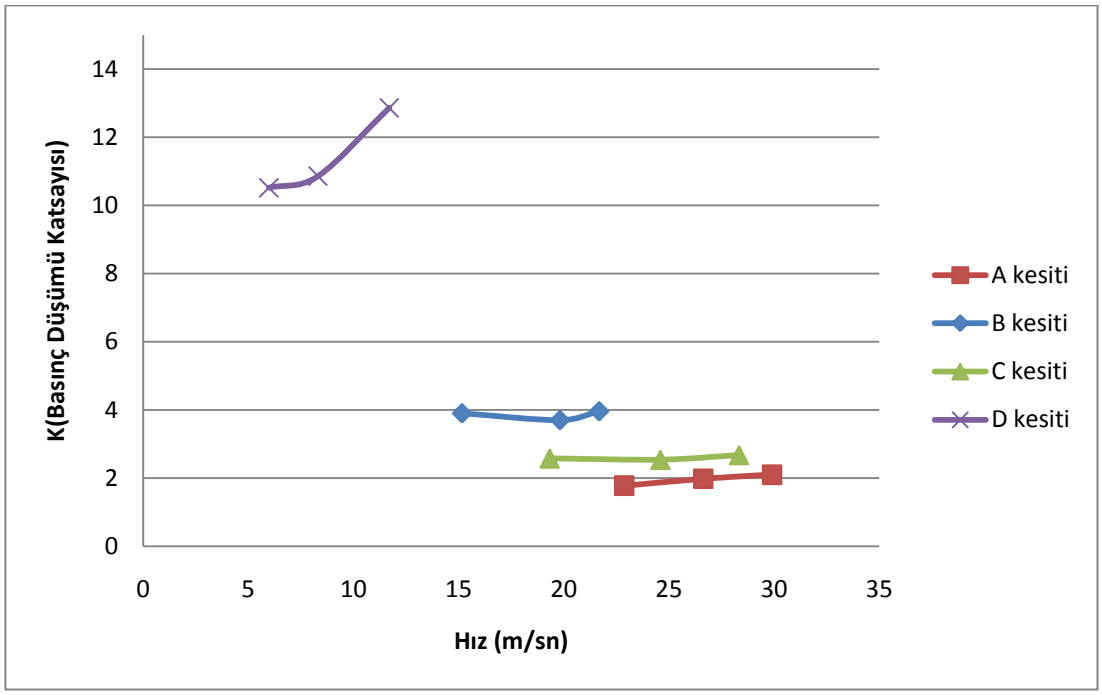


Bu grafikte basınç düşümü daha anlamlı şekilde gözükmektedir. Yine en uzun boylar 790 ve 980 mm de birbirine çok yakın kayıplar vardır.

4.5. Kesitlerin H_1 ve H_2 Gövde Boyunda K-V ve η-Q grafikleri

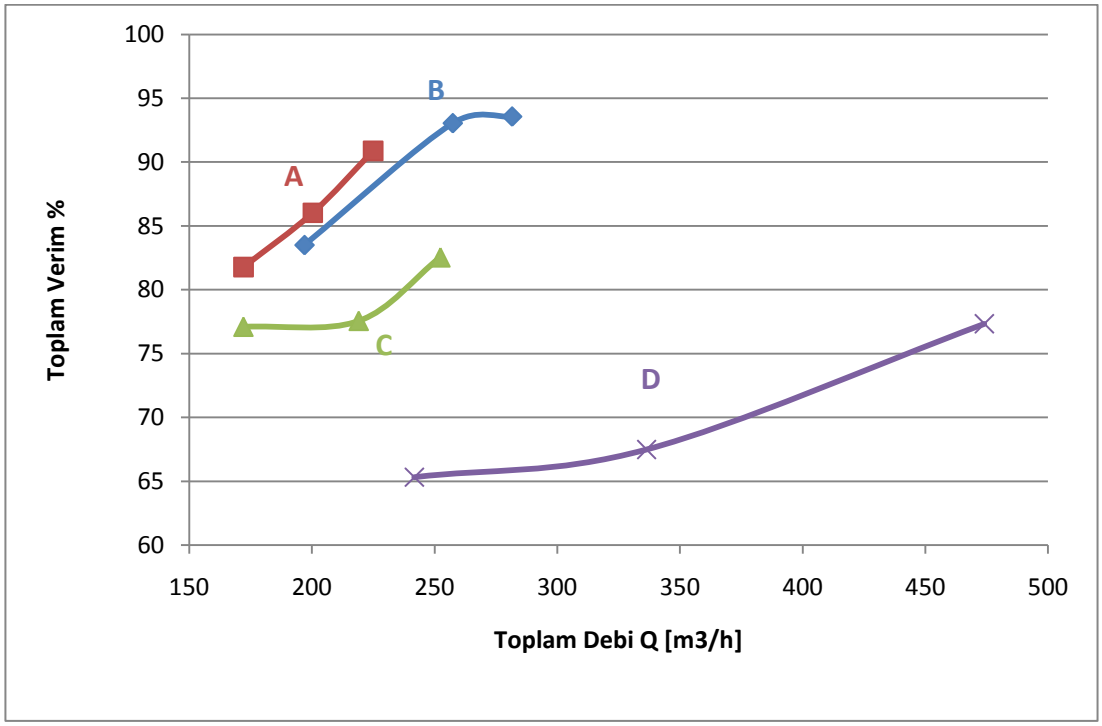
4.5.1. H_1=205 mm de kesitlerin K-V ve η-Q grafikleri

Çizelge 4.41. H_1=205 mm de K-V grafiği



Burada görülüyor ki kesit alanı arttıkça *K* katsayısının değeri artıyor. Çalışılan hız aralıkları kesit büyüdükçe azalıyor. Aynı hızda B kesitinin basınç kayıpları C ye göre daha fazla olmaktadır. Aynı şekilde C kesiti A kesitinden daha fazla basınç kayıplarına sahiptir.

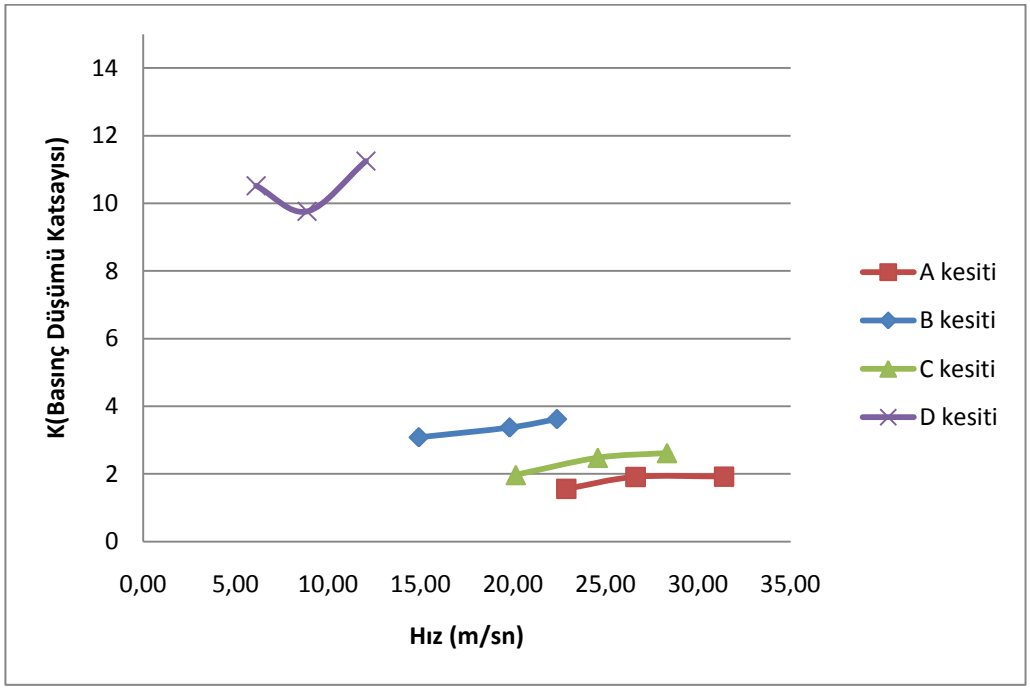
Çizelge 4.42. H_1=205 mm de η -Q grafiği



D kesitinde verim değerleri oldukça düşük görünmektedir. A, B ve C kesitleri incelendiğinde yaklaşık 200 m³/h debide en yüksek verim A kesitine aittir. B kesiti daha yüksek debilerde çalışılabildiği için verim yüksek değerlerde görülmektedir.

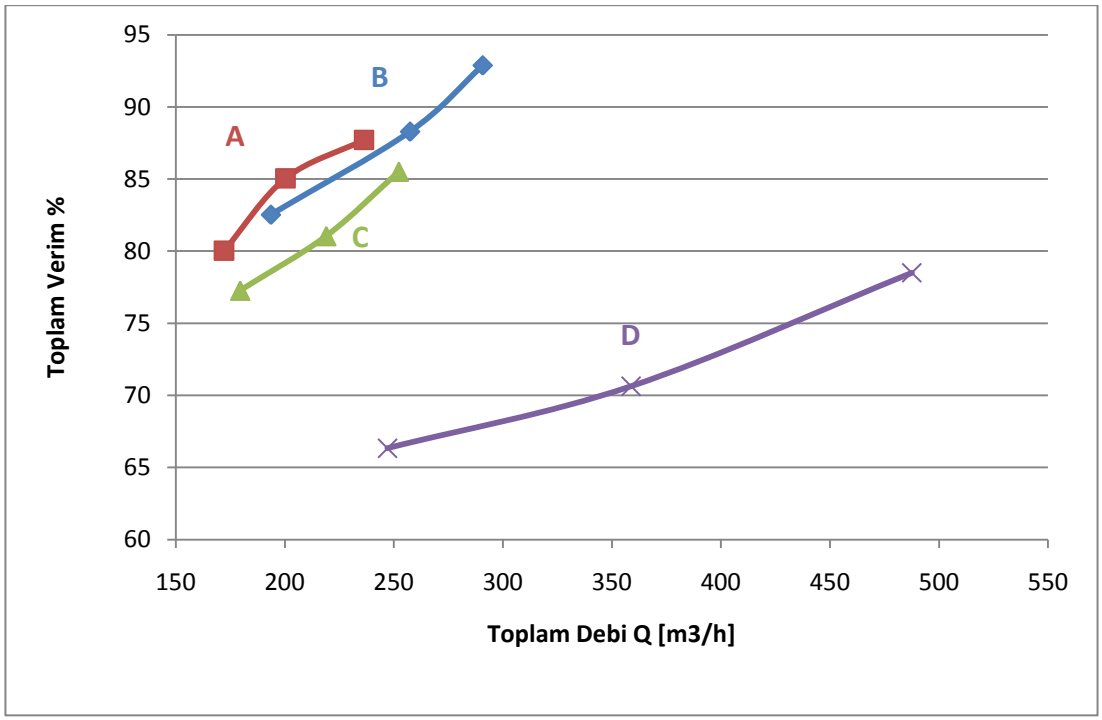
4.5.2. H_2=395 mm de kesitlerin K-V ve η-Q grafikleri

Çizelge 4.43. H_2=395 mm de K-V grafiği



Bu boyda A ve C kesitinin basınç kayıpları birbirine çok yakındır. B ise biraz daha fazla basınç kaybına sahiptir. Herhangi bir farklılık görülmemektedir.

Çizelge 4.44. H_2=395 mm de η-Q grafiği



Genel verimlerde boy uzadıkça artış görülmektedir. B kesiti yüksek debilerde yine fazla verime sahip olmaktadır.

4.6. Hidrolik Çapa Göre Basınç Kaybı ve Verim Karşılaştırması

Kullanılan tüm boylarda çalışılan hız aralıkları kesitlere göre değişmektedir. Bu nedenden bazı karşılaştırmalarda tek parametre sabit tutularak diğer parametre de artan veya azalan değerlere göre yaklaşık değer ataması yapılabilir.

Hidrolik çapa göre yapılan karşılaştırma *K* katsayısı ve *η* ifadelerinin deneysel çalışmada ki karakteristik hareketini göstermektedir.

Burada hız yani *V* sabit parametre olup 22,87 m/sn alınmaktadır. *K* katsayısının değişimi daha oransal olduğu için tüm kesitlerde yaklaşık değerler atanmıştır.

Verim eğrisinde ise D kesiti çok düşük hızlarda çalıştığı için yaklaşık tahmini bir değer verilememektedir. η-Dh eğrisi için D kesiti hesaba katılmamıştır.

Kesitlerin *Dh* değerleri hesaplanmış ve grafiklerde gösterilmiştir.

$$Dh=2\frac{a.b}{a+b} \tag{4.10}$$

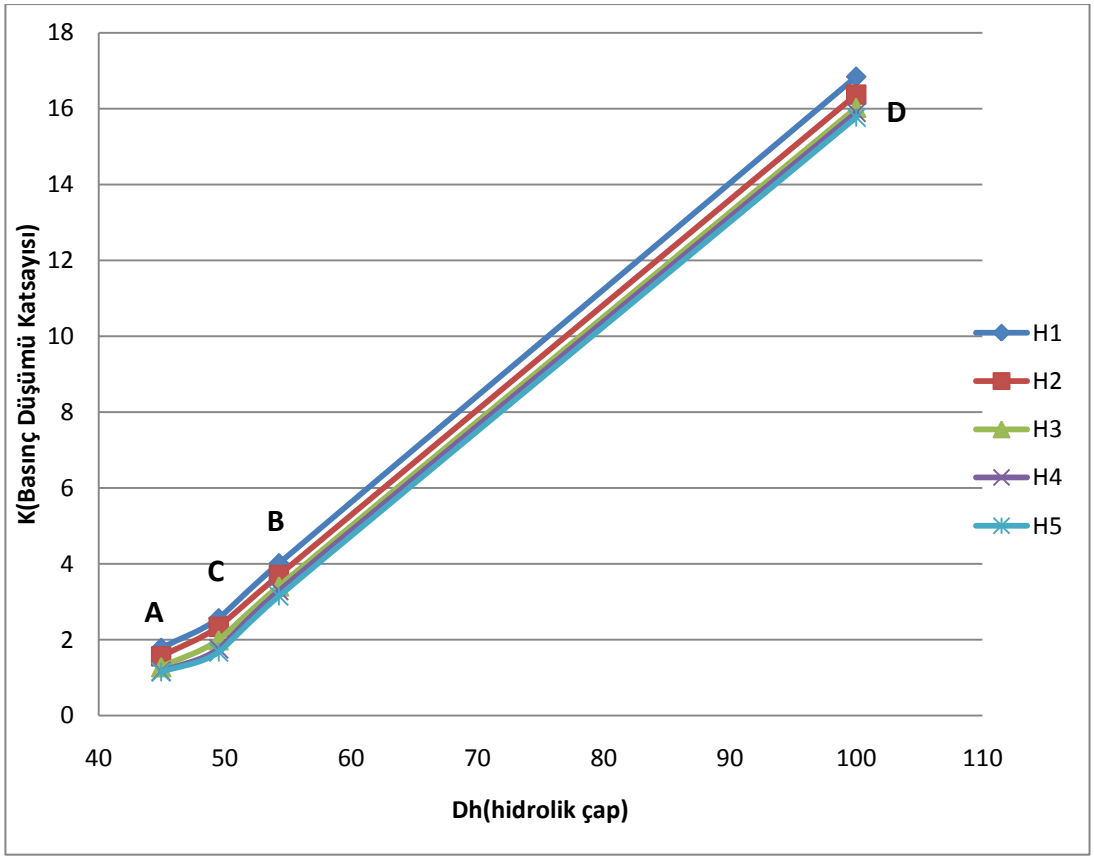
Hidrolik çap sırasıyla A kesiti (38*55) için 44,95 mm B kesiti (38*95) için 54,28, C kesiti için 49,5 ve D kesiti (75*150) için 100 mm çıkmaktadır. Çizelge 4.45'de kolaylık olması için küçükten büyüğe doğru değerler gösterilmektedir.

Çizelge 4.45. H_1=205 mm için dört farklı kesitte K ve η değerleri

K	Dh (mm)	η (%)
1,78	44,95	81,78
2,56	49,5	77,31
4,01	54,28	93,83
16,84	100	

Bu şekilde diğer kesitler içinde tablolar oluşturulup grafiklere dökülmüştür. Çizelge 4.46' yı incelersek V=22,87 m/sn için K-Dh grafiği aşağıdaki şekildedir.

Çizelge 4.46. Beş farklı boyda K-Dh grafiği

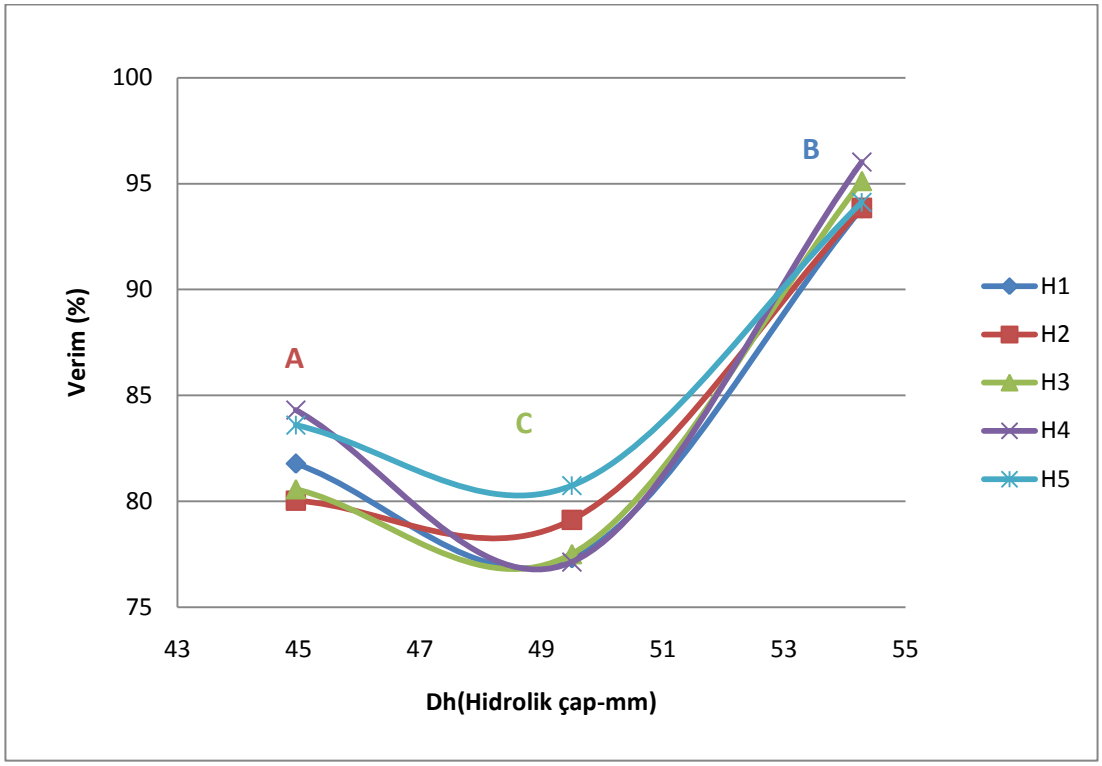


Grafik incelendiğin de siklon uzunluğunun artması düzenli olarak *K* katsayısında düşüşe neden olmaktadır.

Hidrolik çap arttığında ise basınç kayıpları artıyor. Özellikle D kesitinde basınç kaybının çok fazla değerlere çıktığı görülmektedir.

Burada hidrolik çap artışının basınç kaybında kademeli olarak arttığı söylenebilir. Yüksek *Dh* da çok daha fazla kayıplar olmaktadır.

Çizelge 4.47. Beş farklı boyda η-Dh grafiği



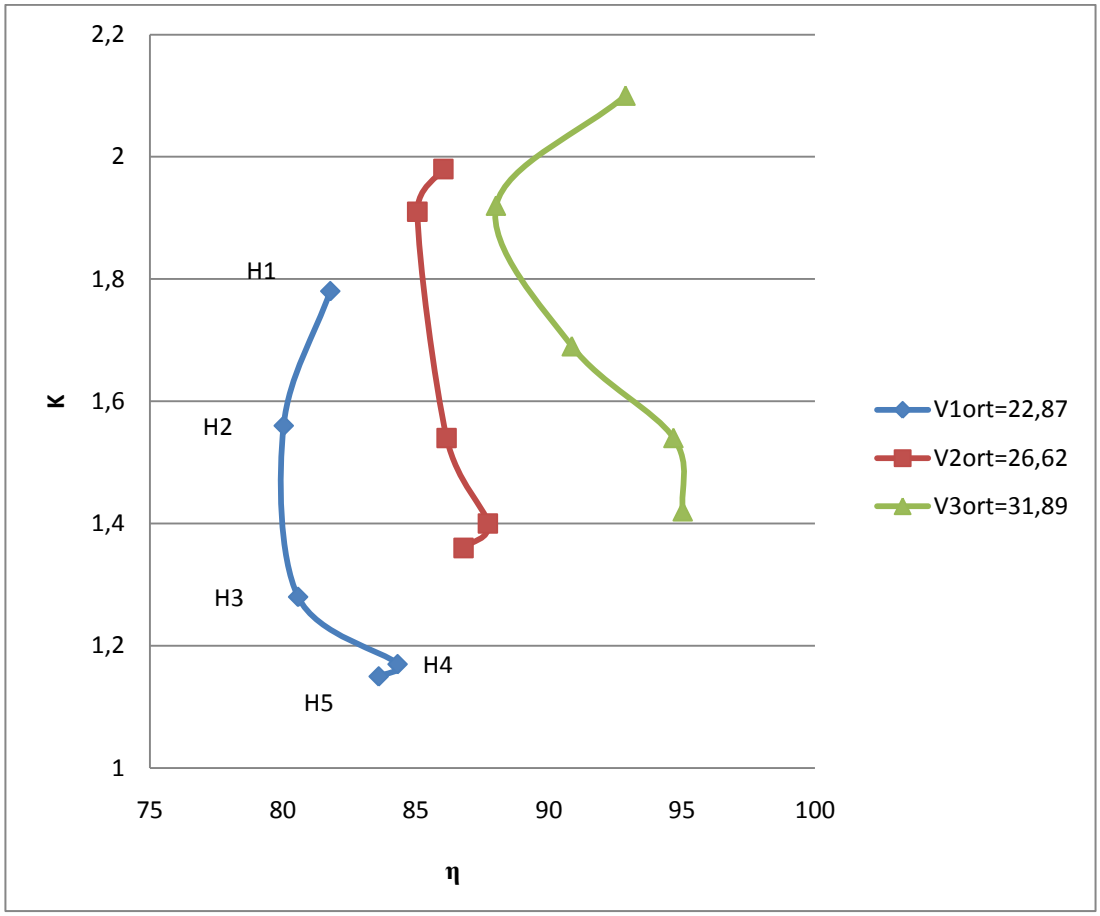
Verim değişimi incelendiğinde V=22,87 m/sn ortalama hızda C kesitinde verimin azaldığı gözlemlenmektedir. Daha sonra tekrar yükselmekte ve maksimum değere yine B kesitinde ulaşmaktadır.

4.7. Kesitler İçin Tüm Boylarda Basınç Kaybı-Verim Karşılaştırması

Yapılan deneylerde performans analizi için önemli iki parametreden basınç kaybı ve verim incelenmektedir. Optimum siklon için düşük *K* katsayısı ve yüksek verim sağlanan noktalar belirlenmelidir. Bu sonuca göre maksimum bir siklon yüksekliği tespit edilebilir. Aşağıda A, B, C, D kesitlerinin üç farklı ortalama hıza göre eğrileri gösterilmektedir.

4.7.1. A kesiti için K-η grafiği

Çizelge 4.48. A(38*55) kesitinde K-η eğrileri

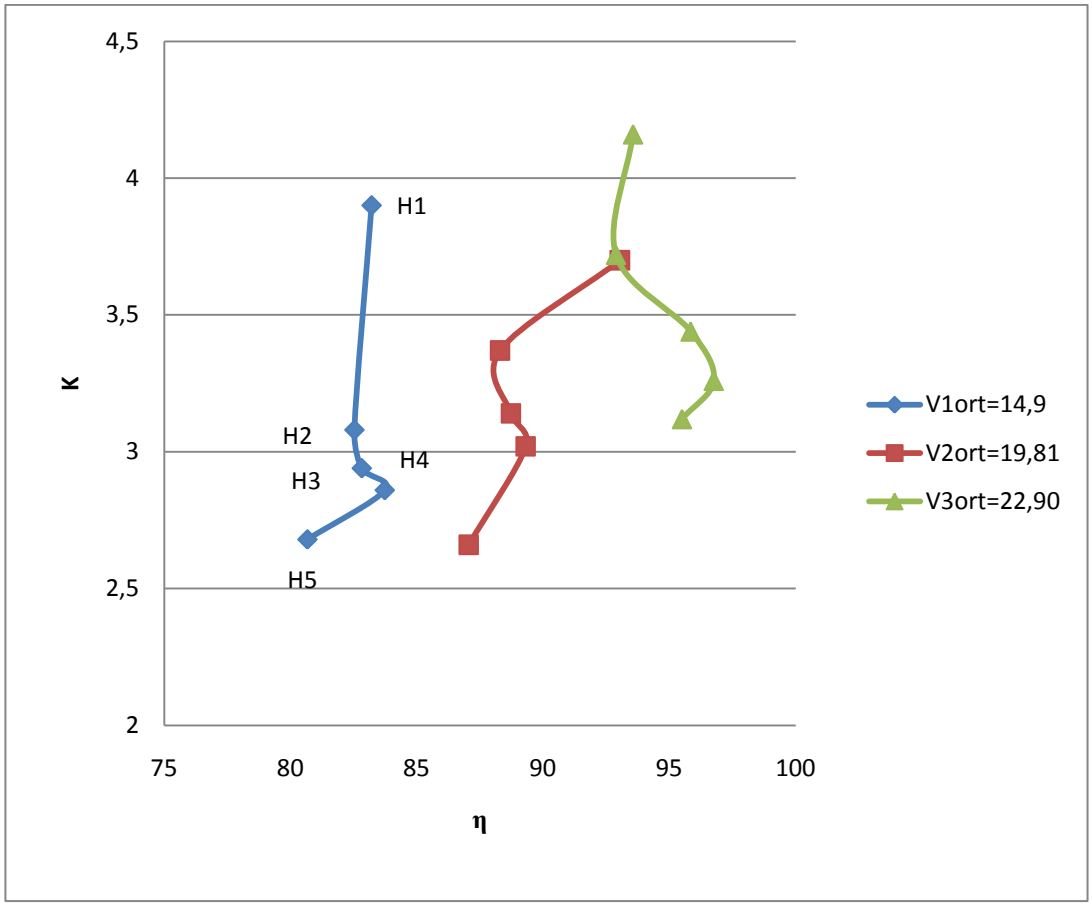


Yapılan deneylerde hız arttıkça *K* basınç düşümü katsayısının arttığı görülmektedir. Buna nazaran hızın verimde artış için önemli bir parametre olduğu görülmektedir.

Eğrilerin hareketleri incelendiğinde, H_2 ile H_4 arasında *K* düşerken verim artmıştır. H_4 ten sonra verim çok ufak bir miktarda azalmıştır.

4.7.2. B kesiti için K-η grafiği

Çizelge 4.49. B(38*95) kesitinde K-η eğrileri



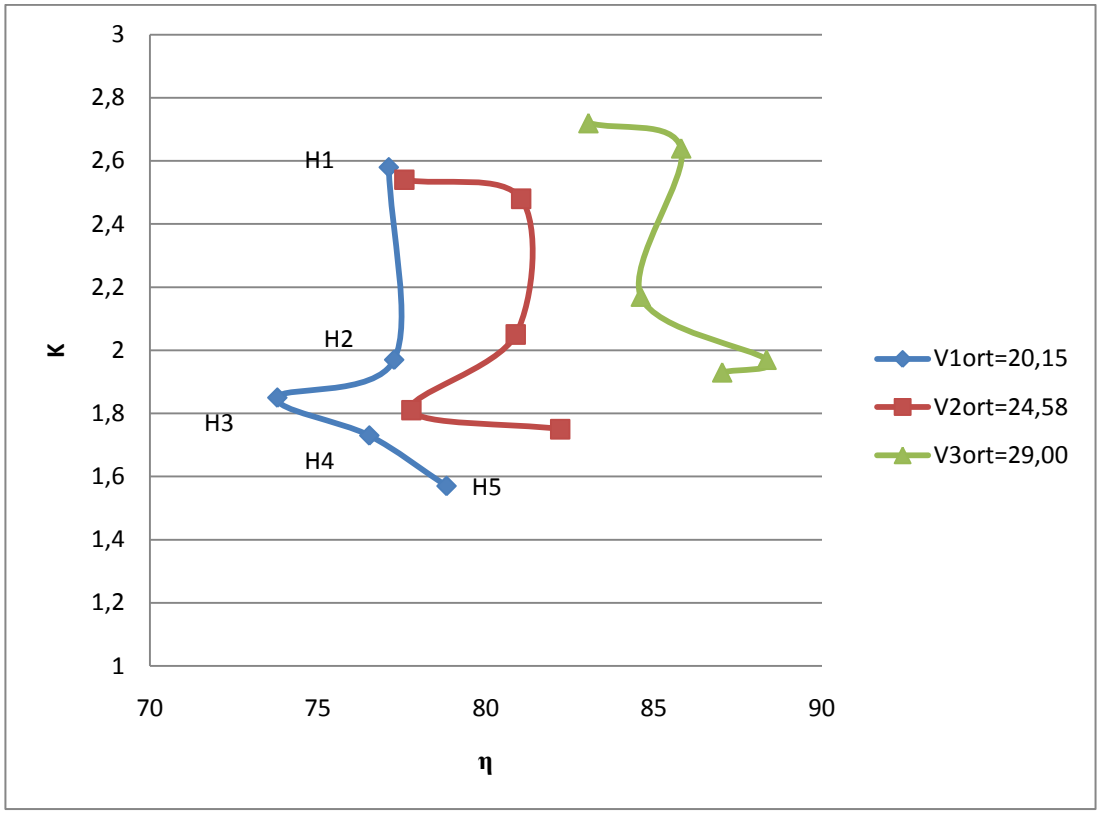
B kesitinde de A kesitine benzer bir hareket görülmektedir. A kesitine göre verimler ve *K* değerleri artış göstermektedir.

Bu kesitte V_2ort hızında H_1 boyunda olağandışı yüksek verim görülmektedir. Bunun nedeni bir önceki deney sonrasında giriş borusunda toz birikmeleri ve bunların deney esnasında siklona girmesi olabilir.

Bu iki kesite göre H_4=790 mm uzunluğu deneylerde ki optimum uzunluk olabilir.

4.7.3. C kesiti için K-η grafiği

Çizelge 4.50. C(45*55) kesitinde K-η eğrileri

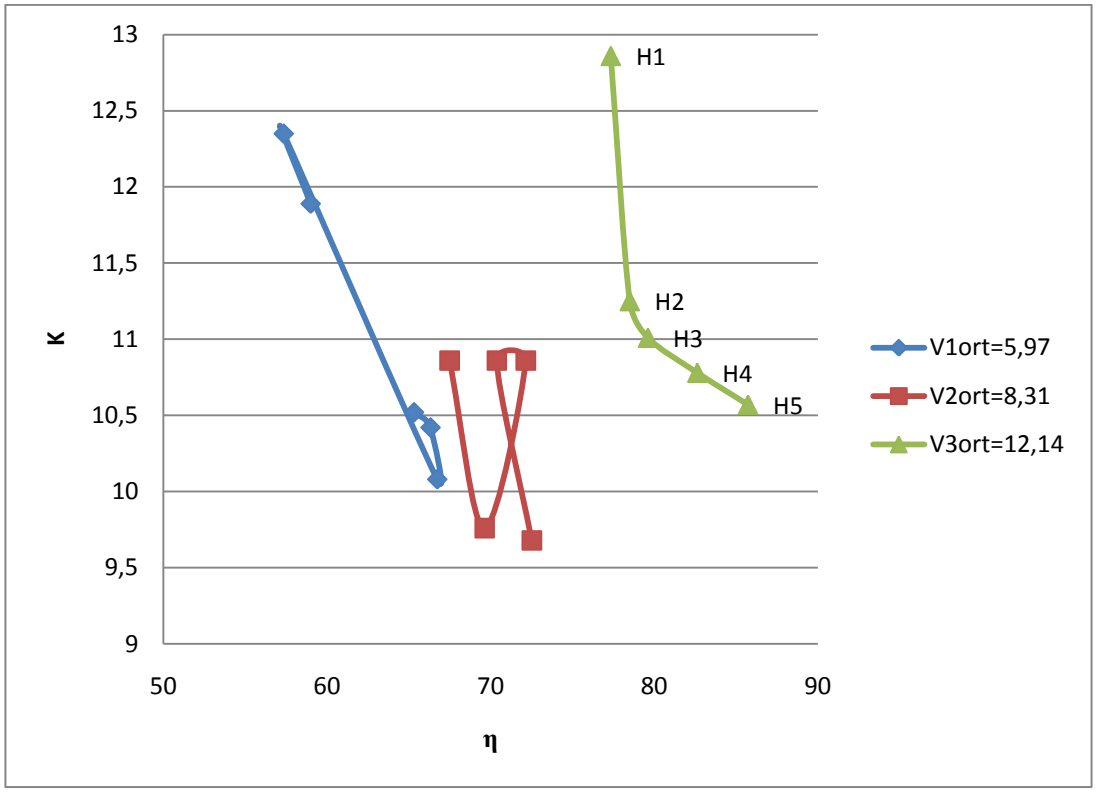


Bu kesitte en yüksek verime yine H_4 boyunda ulaşılmıştır. Düşük ve orta hızda H_5 in performansı daha iyi görülmektedir.

Eğrilerde en düşük hızda H_3 boyunda, orta hızda H_4 boyunda ve son olarak maksimum hızda H_3 te verimde düşüş gözlemlenmiştir.

4.7.4. D kesiti için K-η grafiği

Çizelge 4.51. D(75*150) kesitinde K-η eğrileri



D kesitinde en anlamlı sonuç maksimum hızda görülmektedir. Basınç kaybı azalırken verim artmaktadır. En uzun boyda verim maksimum olmuştur.

4.8. 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)' nın 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 *Lmax* hesaplanmıştır.

$$d_{50} = 0{,}791\left(\frac{\rho\nu}{(\rho_p-\rho)C_{CU}}\right)^{0,5}\left(\frac{\sqrt{D_1D_3}a}{V_0L_{vs}}\right)^{0,5}\left(\frac{10a}{D_3}\right)^{cs} D_d a_d D_s \qquad (4.11)$$

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;

$$D_d = \frac{H}{L} + \frac{D_1+D_3}{2D_1}\sqrt{\left((D_1 - D_3) / L\right)^2 / 4 + \left(1-\frac{H}{L}\right)^2} \qquad (4.12)$$

$$D_s = D_d + 2\frac{sD_2+D_3^2}{D_1.L} \qquad (4.13)$$

$$a_d = 0{,}5 + \frac{a.b}{(sD_d)(D_1-D_2)} \qquad (4.14)$$

$$L_{vs} = 1{,}5a_dD_sL / D_d \qquad (4.15)$$

$$cs = 0{,}5\left(\frac{f_0L_{vs}}{a-0{,}1D_3}\right) \qquad (4.16)$$

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

$$f_0 = \frac{6{,}4}{[\ln \mathrm{Re}]^{2{,}4}} \tag{4.17}$$

şeklinde hesaplanır.

$$Re = \frac{V_0 D_h}{\nu} \tag{4.18}$$

Giriş kesiti için tanımlanan parametrelerden hidrolik çap ;

$$D_h = \frac{2ab}{a+b} \tag{4.19}$$

Kinematik viskozite laboratuar ortalama sıcaklığı 20°C ve 1 atm basınç altında $1{,}52x10^{-5} m^2/\,sn$ alınarak modelde kullanılmaktadır.

Maksimum verimdeki siklon yüksekliği ifadesi ;

$$L_{max} = \frac{(a-0{,}1D_3)\left(1+\frac{2\alpha D_1}{L_{max} D_S}\right)}{1{,}5 a_d f_0 ln\left(\frac{10a}{D_3}\right)} \tag{4.20}$$

$$\alpha = \frac{\left(D_2 S + D_3^2\right)}{D_1^2} \tag{4.21}$$

formülüyle hesaplanır.

Burada *Lmax/ D_1* ifadesi boyutsuz parametrelerin fonksiyonu olarak
$A = \ (a - 0{,}1D_3)\ /\left(3D_1 a_d f_0 ln(10a\ /\ D_3)\right)$ 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 *Lmax/* D_1 ifadesi düzenlenirse ;

$$\frac{L_{max}}{D_1} = \frac{2(a-0,1D_3)}{3D_1 a_d f_0 ln(10a/D_3)} + \frac{\alpha}{D_d} \quad (4.22)$$

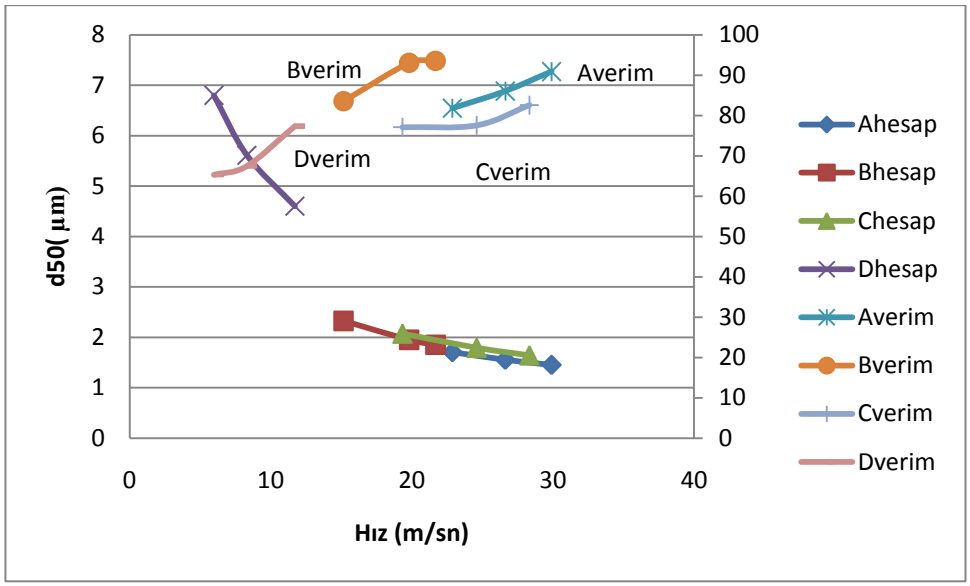
elde edilir.

Tüm deneyler için yapılan hesaplamalarla d_{50} kritik çapları ve *Lmax* uzunlukları tayin edilmiştir.

Bu değerlere göre tüm kesitlerde benzer hareket görüldüğü için örnek olarak en kısa siklon boyu gösterilmektedir.

D_1=190 mm, D_2=100 mm ve D_3=84 mm olan çap değerleri sabittir.

Çizelge 4.52. L= 885 mm de d_{50}-V grafiği



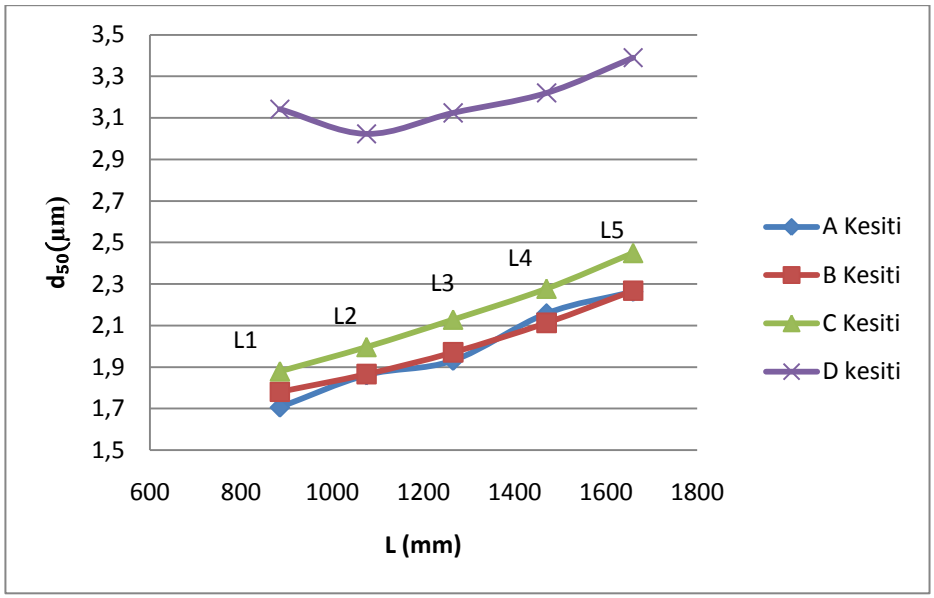
Görüldüğü gibi modelde en düşük değere A kesiti sahiptir. Daha sonra C ve B kesiti takip etmektedir.

Deneysel olarak bakıldığında ise B kesiti her zaman en iyi durumda olan kesittir. Modelde ise farklı hız aralıklarının etkisinden veya dalma uzunluğuyla kesit yüksekliğinin eşdeğer alınmasından dolayı verimlilik düşük görülmektedir.

Diğer boylarda ise belli bir lineer artış şeklinde d_{50} çapları artmaktadır.

Ortalama hız değerimiz olan 22,87 m/sn, modele yerleştirip tüm kesitlerin etkisi aşağıdaki Çizelge 4.53 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.53. 22,87 m/sn de d_{50}-L grafiği

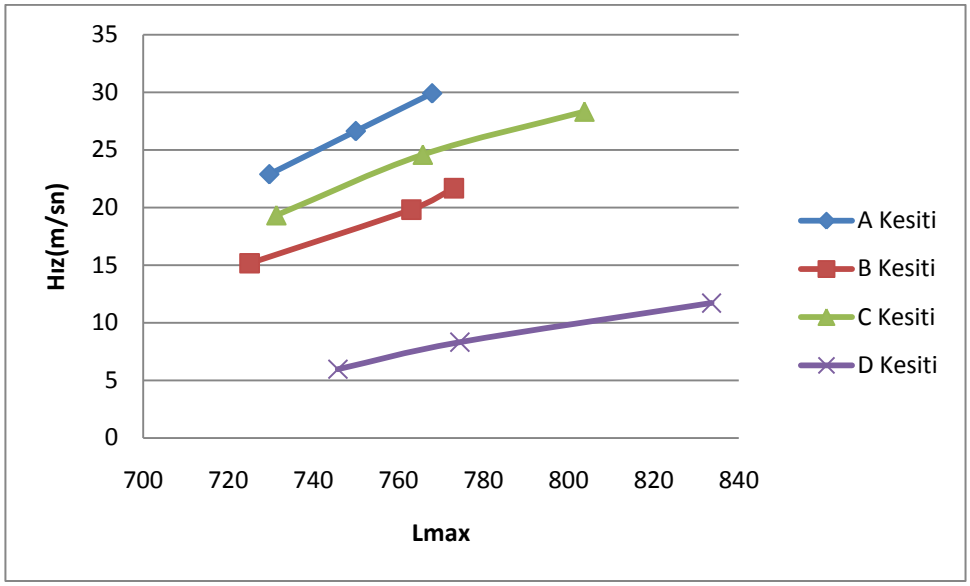


Grafikte görüldüğü gibi boy uzadıkça kritik partikül çapı artmaktadır. Halbuki deneyler de boyun genellikle verime etkisinin pozitif olduğu görülmektedir. Burada kritik partikül çaplarında Ccu düzeltmesi uygulayarak bir miktar düzeltmeye gidilebilir. Bu durum her boyda uygulanacağı için eğriyi değiştirmez.

Deneylerde en iyi verim değerlerinin alındığı A ve B kesitlerinin modelde de iyi olduğu görülmektedir. Aynı hızda B kesitinin iyileşmeye başladığı görülür. Değer olarak iki kesitin bu kadar yakın olmasında dalma uzunluğunun kesit yüksekliğiyle aynı uzunlukta olmasının büyük etkisi vardır. Bu durum model içinde sadeleştirmeyi sağladığından dolayı oransal bir etki bırakmamaktadır.

Lmax hesaplamalarından sonra elde edilen veriler incelenirse;

Çizelge 4.54. L=885 mm için V-Lmax grafiği

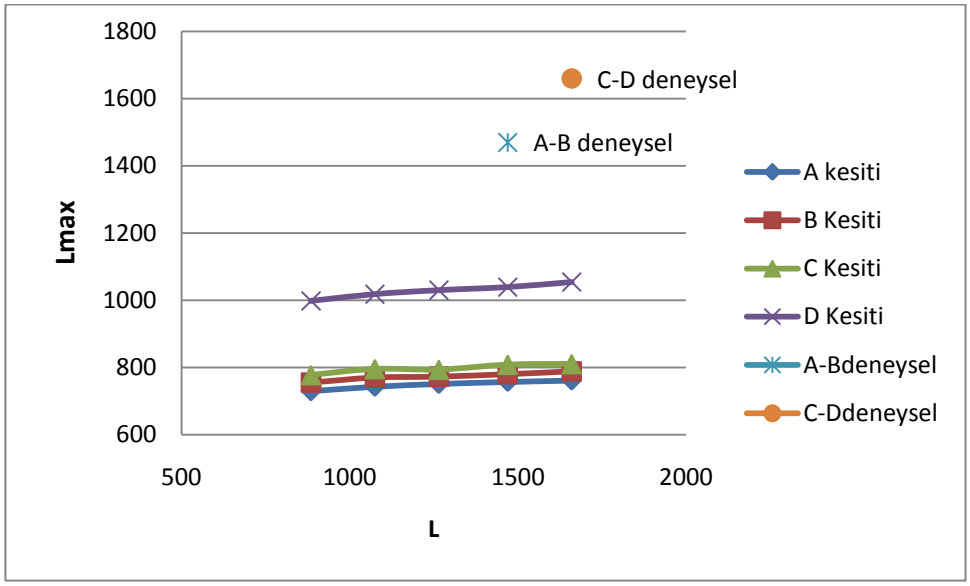


Verim açısından A ve B kesitlerinin daha kısa boylarda maksimuma ulaşabileceği düşünülmektedir. Aynı giriş hızında maksimum verim veren boy sıralaması D>B>C>A şeklinde yorumlanabilir.

Burada Lmax değerinde kesit boyutlarının hızdan daha önemli etkisi olduğu söylenebilir.

Buna bağlı olarak hidrolik çapa bağımlı ve kullanılan ortalama hıza göre hesaplamalar yapıp eğri çizilirse;

Çizelge 4.55. 22,87 m/sn de Lmax-L grafiği



Hesaplamalarda 729 ila 1055 mm arasında değişen *Lmax* uzunlukları deney uzunluklarından farklı bir aralık oluşturmaktadır. Bu aralıkta imal edilen siklon gövde uzunluklarıyla uygulamalı karşılaştırma yapılabilir.

Bu çalışmada ise siklon yüksekliği A ve B kesiti için 1470 mm de maksimum verim vermekte ve C kesiti için 1660 mm de vermektedir.

D kesitinin 22,87 m/sn hızdaki verim tahmini için öngörüde bulunmak güçtür. Deneysel çalışmalarda ise maksimum verim 1660 mm de görülmüştür.

4.8.1. Deneysel verilere göre kritik çap (d_{50}) değerlerinin analizi

Model hesaplamasında bazı parametrelerin baskınlığı ve bazı parametrelerinde eksik etkisi kritik çapta neredeyse lineer artış veya azalış şeklinde görülmektedir.

Deneysel verilerde hassasiyete bağlı değişimler bazı noktalarda çok yüksek verim, düşük hızlarda toz birikmeleri ya da yüksek hızlarda giriş borusunda biriken tozların sürüklenmesi şeklinde olmaktadır. Bunların tespitinin modele uyarlanması oldukça karmaşık bir durumdur.

Bu incelemede özellikle deney sonuçlarında ulaşılan yüksek verim noktalarının analizi yapılmıştır.

A (38*55) ve B(38*95) kesitlerinin farklı hız ve boylarda model kritik çap değerleri kullanılarak fraksiyonel verimleri bulunmuştur. C ve D kesitlerinin yüksek kritik çap değerleri ilk iki kesite göre görülebilmektedir.

Fraksiyonel verime bağlı olarak deneysel verimdeki farklılıklara göre yaklaşımlarda bulunarak d_{50}deney değerleri bulunmuştur.

Kabul edilen kesirsel verimlilik değerleri aşağıdaki Çizelge 4.56'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.56. Kabul edilen verimlilik değerleri

dort/d_{50}	ηort(%)
0,1	0,01
0,2	10
0,5	20
0,7	32
1,0	50
1,5	69
2,0	80
3,0	90
5,0	96
7,0	98
10,0	100

Bu değerlere göre deney sonucu yapılan partikül analizi ve ayrıştırma değerlerinin bir kısmı tezin sonunda eklerde belirtilmiştir.

Toplanan partikülün % dağılımlarına göre fraksiyon verimlilikleri hesaplanmış ve en sonunda bu değerler toplanarak toplam verime ulaşılmıştır.

Hesaplamaya örnek olarak ;
A kesitinin H_1 boyunda, V_1 hızında d_{50} çapı 1,706 µm dir. Bu deney sonucunda alınan numunenin analizinde 1,096-1,259 µm arasında %0,65 partikül toplandığı görülmektedir. Buna göre,

dort=1,178 ve d_{50}= 1,706 değerlerinden dort/d_{50} sonucu 0,69 yani yaklaşık olarak yüzde 32 lik kesirsel verimlik elde edilmektedir.

Bu şekilde H_1 boyu için tüm partikül aralıklarında ki değerler aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir.

Çizelge 4.57. H_1=205mm A(38*55) kesiti V_1, d_{50}= 1,706µm

Boyut aralığı(ηm)	**Ortalama çap**	**Aralıktaki kesir**	**Ortalama Çaptaki verimlilik**	**Toplanan toplam Tozun kesri**
0-1,096	0,548	0,0308	0,13	0,004
1,096-1,259	1,178	0,0052	0,32	0,00166
1,259-1,455	1,357	0,0065	0,41	0,00266
1,455-1,660	1,558	0,0082	0,45	0,00369
1,660-1,905	1,783	0,0103	0,52	0,00536
1,905-2,188	2,047	0,0129	0,59	0,00761
2,188-2,512	2,350	0,0157	0,64	0,01000
2,512-2,884	2,698	0,0188	0,72	0,01354
2,884-3,311	2,997	0,0220	0,75	0,01650
3,311-3,802	3,557	0,0251	0,81	0,02033
3,802-4,365	4,084	0,0280	0,84	0,02352
4,365-5,012	4,689	0,0308	0,87	0,02680
5,012-5,754	5,383	0,0333	0,905	0,03014
5,754-6,607	6,181	0,0355	0,917	0,03256
6,607-7,586	7,097	0,0375	0,935	0,035
7,586-8,710	8,148	0,0393	0,955	0,038
8,710-10,00	9,355	0,0410	0,965	0,04
10,00-17,378	13,689	0,1784	0,98	0,175
17,378-181,970	99,674	0,4205	1,00	0,42
Toplam		1,00		0,90

Model kritik çapına göre partikül analizi değerlerine bağlı toplam verim % 90 çıkmaktadır. Deney sonucu ise % 81,8 dir.

Buna göre model tahmininden yüksek bir d_{50} çapı olması gerekmektedir.

Bu şekilde deney sonuçlarının yarısı üzerinde kritik çap tayini yapılmıştır. Aşağıdaki çizelgede hesaplama sonucu elde edilen kritik çapa göre deneysel kritik çaplar tayin edilmiştir.

Çizelge 4.58. Deneysel verilere göre kritik çap değerleri

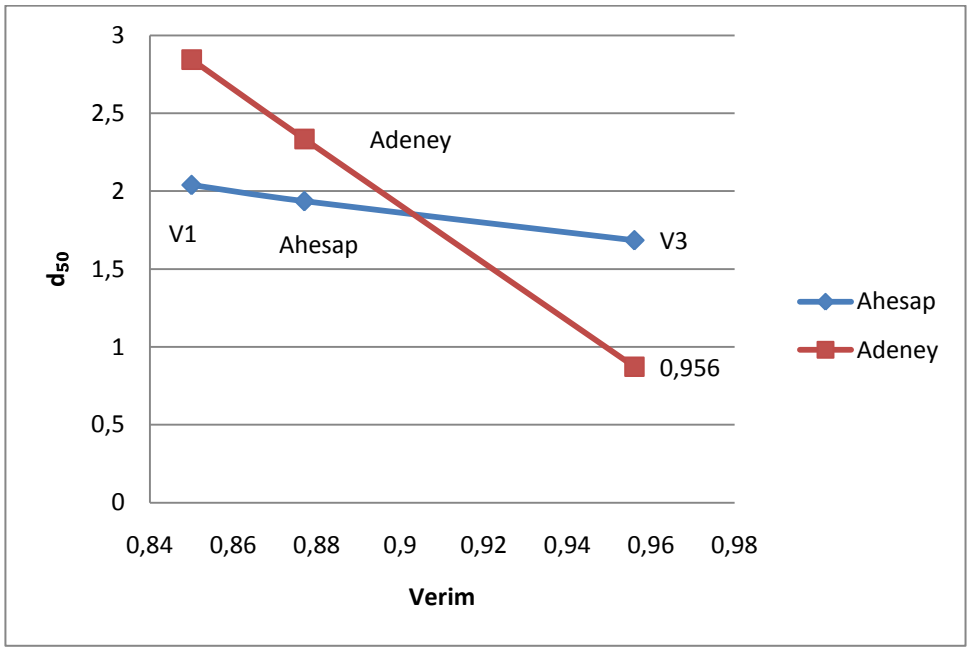
KESİT	BOY-HIZ	d_{50}hesap	ηhesap	ηdeney	**d_{50}deney**
A	205-V1	1,706	0,901	0,818	2,750
A	205-V3	1,452	0,930	0,909	1,738
B	205-V1	2,325	0,840	0,835	2,330
B	205-V3	1,853	0,903	0,936	1,305
A	395-V1	1,861	0,891	0,800	2,935
A	395-V3	1,462	0,934	0,877	1,866
B	395-V1	2,470	0,856	0,828	2,811
B	395-V3	1,891	0,882	0,958	0,885
A	585-V1	1,931	0,890	0,806	2,790
A	585-V3	1,540	0,913	0,909	1,546
B	585-V1	2,679	0,832	0,825	2,701
B	585-V3	1,968	0,864	0,929	1,232
A	790-V1	2,039	0,890	0,850	2,844
A	790-V2	1,935	0,900	0,877	2,334
A	790-V3	1,684	0,925	0,956	0,873
B	790-V1	2,824	0,853	0,837	3,191
B	790-V2	2,353	0,887	0,893	2,488
B	790-V3	2,070	0,902	0,967	0,765
A	980-V1	2,224	0,870	0,844	2,896
A	980-V2	2,026	0,896	0,868	2,622
A	980-V3	1,710	0,920	0,959	0,866
B	980-V1	3,050	0,856	0,811	3,654
B	980-V2	2,525	0,876	0,871	2,540
B	980-V3	2,200	0,850	0,950	0,948
C	205-V1	2,074	0,882	0,771	>3,0
C	790-V1	2,508	0,891	0,765	>3.0
C	790-V3	1,910	0,891	0,888	1,921
D	205-V3	4,600	0,830	0,773	>5,0
D	790-V3	4,983	0,851	0,826	>5,0
D	980-V3	5,250	0,862	0,857	>5,0

Tabloda görüldüğü gibi hesaplamalarda çıkan kritik çap değerleri bazı verimlerde artmakta bazı verimlerde azalmaktadır.

Genel itibariyle kritik çap değerleri deneysel verilere göre hesaplandığında daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Bazı yüksek verim noktalarında azaltmalar yapılmıştır.

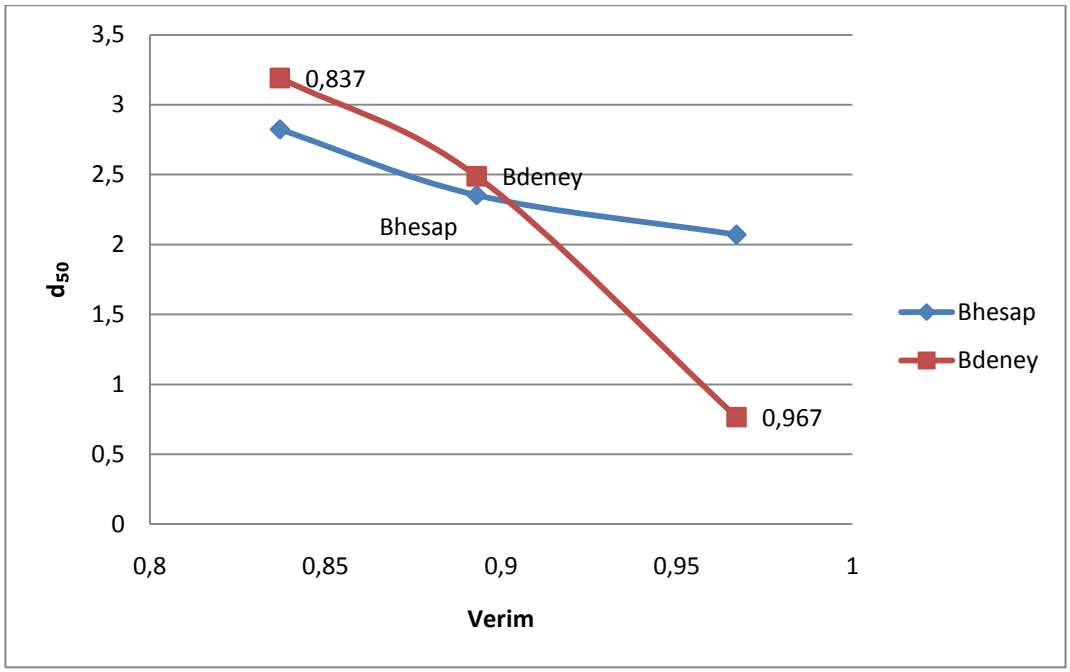
Buna göre yüksek verim alınan 790 mm ve 980 mm boyları için grafikler aşağıda gösterilmektedir.

Çizelge 4.59. A kesiti H_4=790 mm için d_{50}-η grafiği



Modele göre verim değişiminde kritik çap değerleri birbirlerine daha yakın görülmektedir. Deneysel verilere bakılırsa verim yüzde 96 ya ulaştığında kritik çapta ciddi bir değişim görülmektedir.

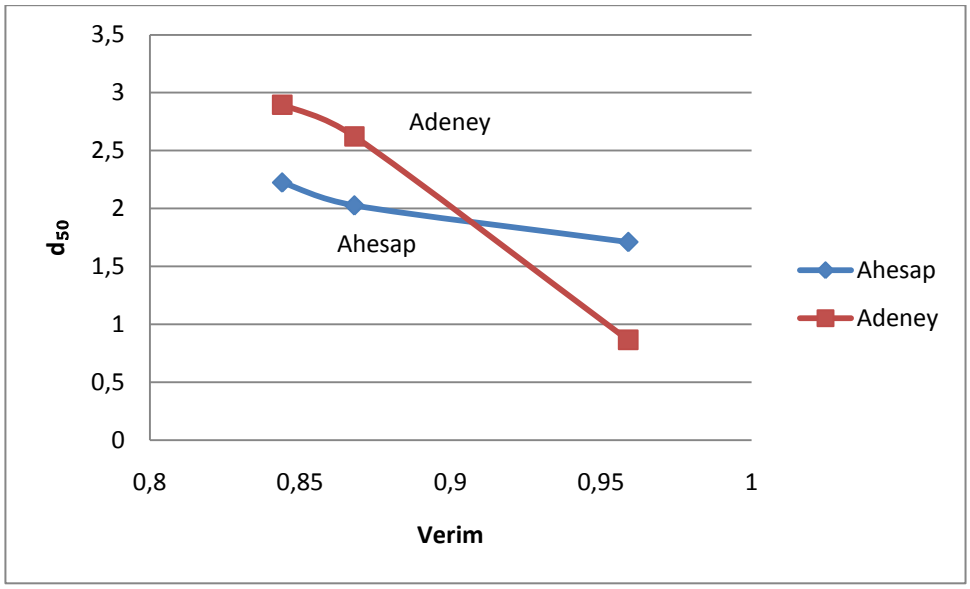
Çizelge 4.60. B kesiti H_4=790 mm için d_{50}-η grafiği



A kesitinde görüldüğü gibi B kesitinde ilk iki hız da d_{50} değerleri daha yüksek ama en yüksek verimde de çok düşüktür.

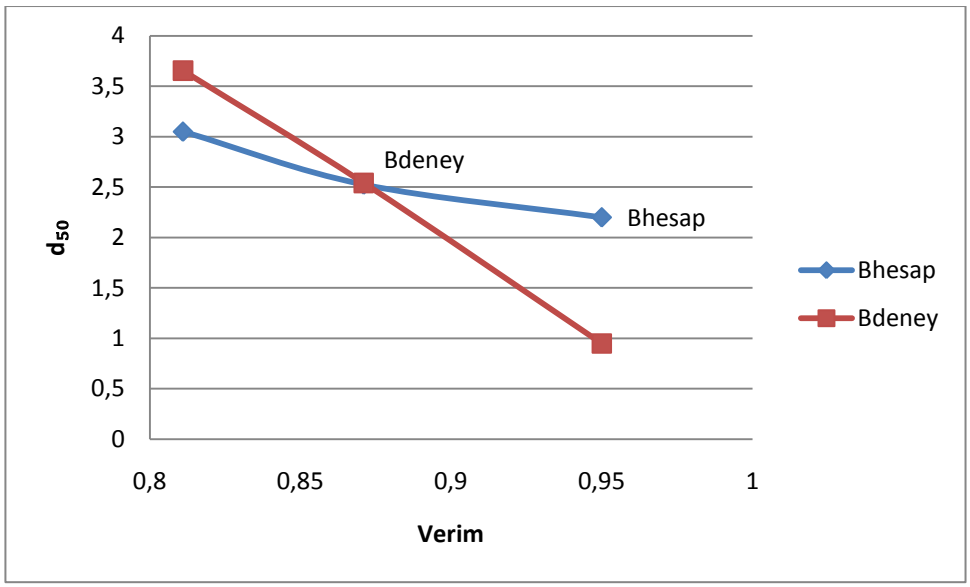
Çok yüksek verimlerde çok küçük partiküllerin toplanıldığı böylece görülmektedir. Optimum tasarım için yüzde 95 civarında verim değerleri çok başarılı sonuç olarak görülmektedir.

Çizelge 4.61.A kesiti H_5=980 mm için d_{50}-η grafiği



Burada eğrisel hareket olarak benzerlik görülmektedir. V_2 hızında sonra kesişmektedir ve V_3 hızında daha düşük bir değer almaktadır.

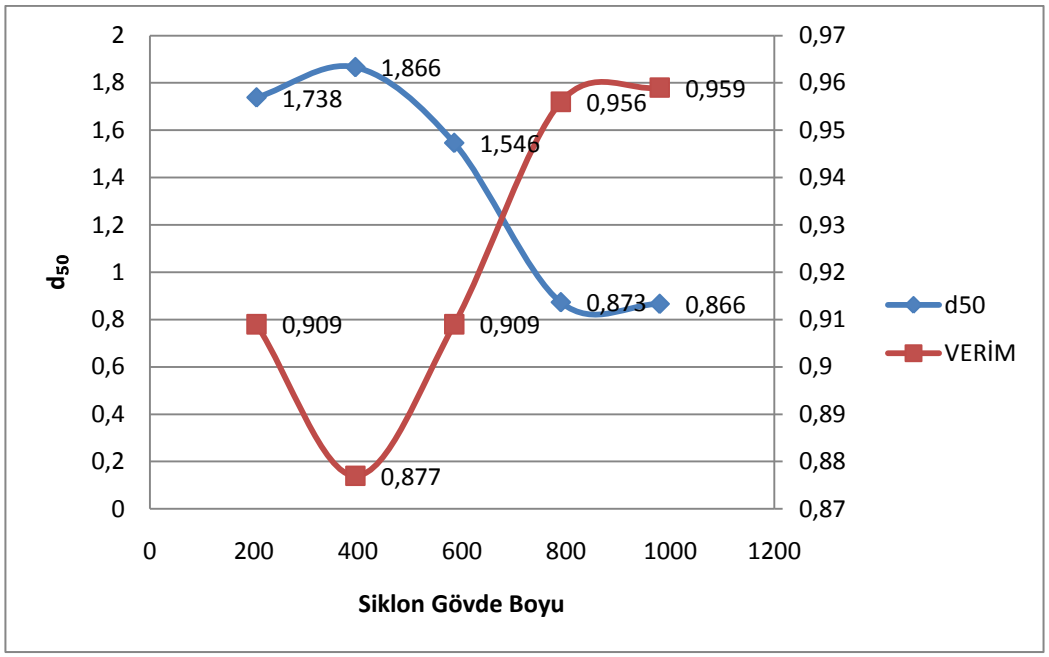
Çizelge 4.62. B kesiti H_5=980 mm için d_{50}-η grafiği



Burada V_2 hızında kritik çap ve model çapı birbirini tutmaktadır. Bu noktadan sonra yaklaşık 1,5 µm lik bir azalma görülmektedir.

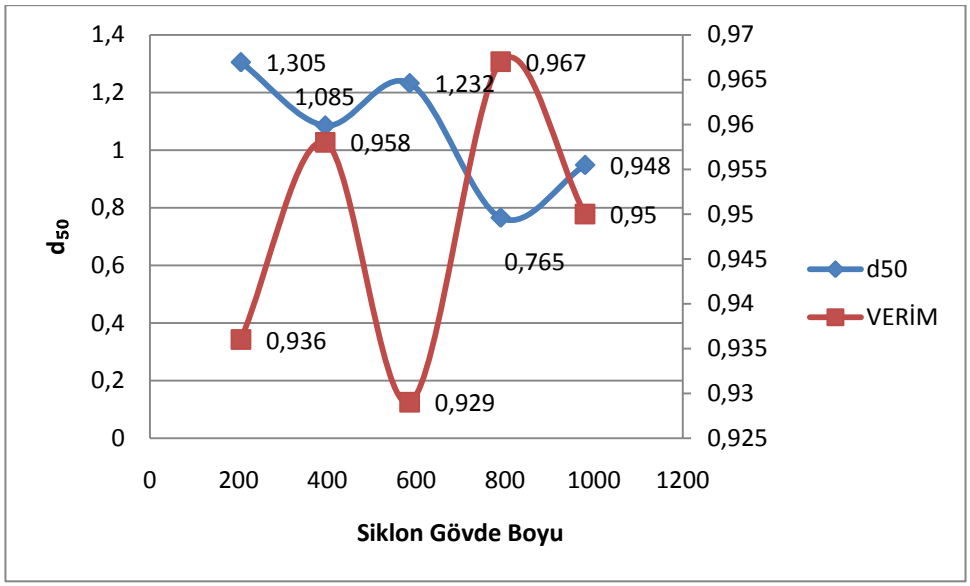
A kesiti için yapılan d_{50} düzenlemeleri sonucu verim ve kritik çap değişimleri Çizelge 4.63 ‘de gösterilmiştir.

Çizelge 4.63. V_3 hızında A kesiti için karşılıklı analiz



Maksimum hız değerlerinde düzenlenen kritik çap değerleri verim eğrisinin tam tersi hareketini yapması uyumlu olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.64. V_3 hızında B kesiti için karşılıklı analiz



B kesiti için maksimum verim alınan H_4 boyunda kritik çap 0,765 µm çıkmaktadır. Deneysel çalışmadaki en yüksek verim ve en düşük d_{50} bu değerde elde edilmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Siklon performansını etkileyen önemli unsurlardan basınç kaybı ve toplam ayrıştırma verimliliği ifadeleri kuşkusuz bu deneysel çalışmanın yapı taşlarıdır. Bu parametrelerin siklon yüksekliği, giriş kesit boyutları ve giriş hızının değişmesiyle ne şekilde etkilendiği incelenmiştir. Deneysel verilerin analizi yapılarak karşılaştırmalı parametrelerle performansa etkisi tayin edilmiştir.

Sonuçlara göre kesit genişliğinin 38 mm den 45 mm ye çıkması basınç kayıplarında artış ve verimde düşüşe sebep olduğu görüldü. Yani A kesitinin C kesitinden daha iyi bir performans gösterdiği tespit edildi.

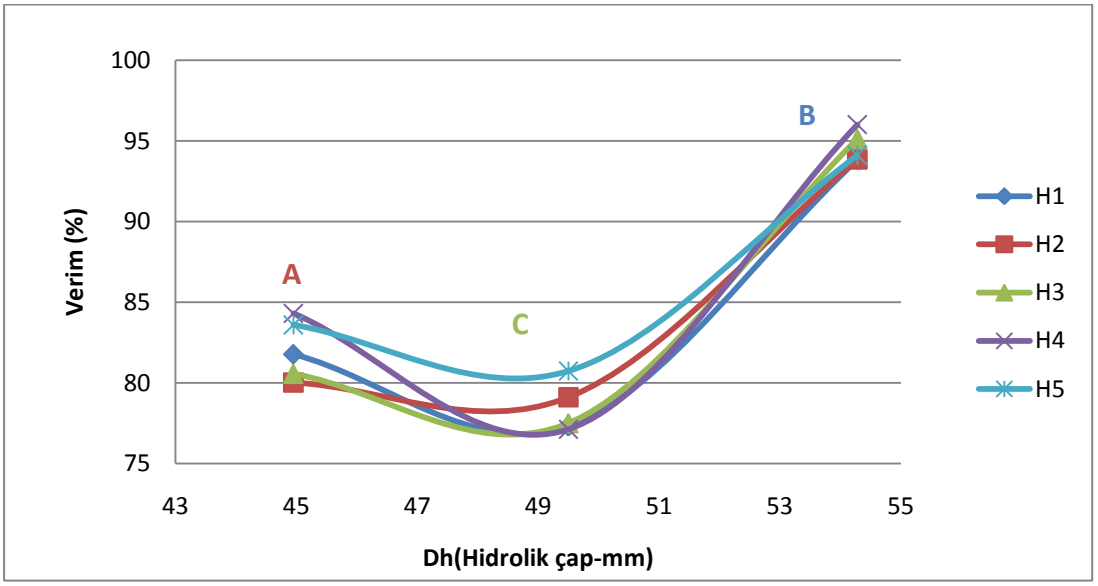
Kesit yüksekliğinin 55 mm den 90 mm ye çıkması durumunda kesit alanının fazla artması basınç kayıplarına artışa sebep olmuştur. Bunun yanı sıra verim açısından da en iyi kesit B kesitidir.

İşletme maliyetini düşürmek için basınç kayıplarının azaltılması gerekmektedir. Endüstride çevresel etmenlerin etkisi sıcaklık, viskozite gibi değerler daha değişkendir. Optimum tasarım için bu değişimler dikkate alınmalıdır.
Genel olarak siklon boyunun uzamasıyla basınç kayıplarında azalma görülmüştür. Özellikle en uzun iki boyda kayıp değerleri birbirine yakındır. Hız arttığında ise daima basınç kayıpları artmaktadır.

Verim ifadelerinde ise daha değişken eğriler elde edilmiştir. En verimli boy olarak H_4=790 mm siklon gövdesi tespit edilmiştir.

Kesitlerin farklı hız aralıklarında çalışması sonucu A,B ve C kesitlerinin 22,87 m/sn ortak hızdaki basınç kaybı ve verimi incelenmiştir. Buna göre hidrolik çap arttıkça basınç kayıplarında artış görülmüştür. Verim incelendiğinde ise aşağıdaki grafik elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. Beş farklı boyda η-Dh grafiği



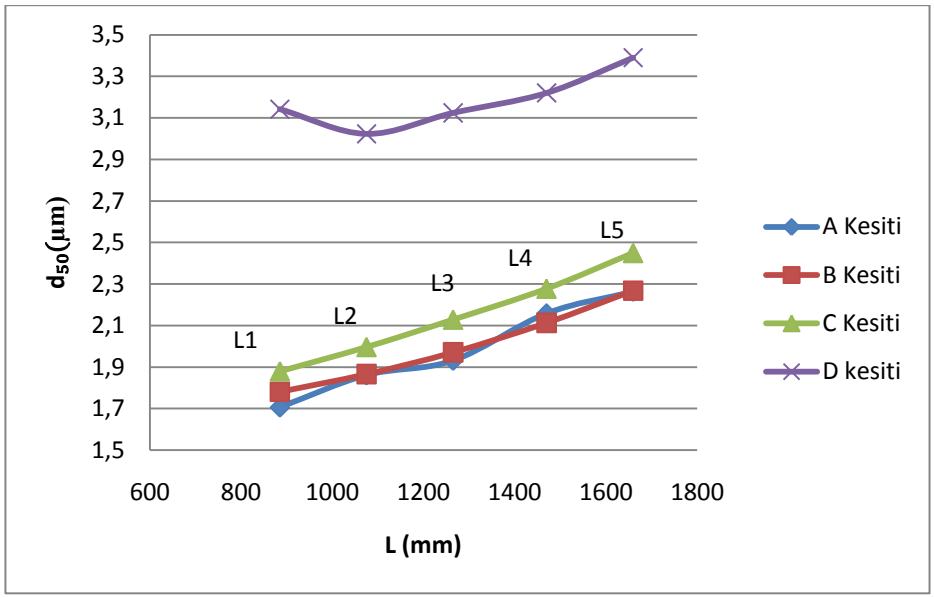
Buna göre daha düşük hidrolik çapa sahip A kesiti C den daha verimlidir. Kesit genişliğinin tayininde dikkat edilmesi gerekildiği anlaşılmaktadır. B kesiti yüksek verim değerlerine ulaşmaktadır ama basınç kayıplarının azaltılması gerekmektedir.

D kesitinin yüksek basınç kayıpları oluşturması böylece düşük hız aralıklarında çalışmasını sağlamıştır. Verim değerleri ise düşüktür.

Yapılan 60 tane deney sonucunda alınan verilerin 2010 yılında Sürmen ve arkadaşlarının geliştirmiş olduğu siklon verimlilik modellerinde kullanılmıştır. Buna göre d_{50} çapları ve Lmax uzunlukları tayin edilmiştir.

Deneysel verilere göre sabit olarak kullandığımız 22,7 m/sn hızda yine hesaplama yapılmış ve modelin etkisi görülmüştür.

Çizelge 5.2. 22,87 m/sn de d_{50}-L grafiği



Grafikte görüldüğü gibi boy uzadıkça kritik partikül çapı artmaktadır. Halbuki deneyler de boy artışının genellikle verime etkisinin pozitif olduğu görülmektedir.

Deneylerde en iyi verim değerlerinin alındığı A ve B kesitlerinin modelde de iyi olduğu görülmektedir. Aynı hızda B kesitinin iyileşmeye başladığı görülür. Değer olarak iki kesitin bu kadar yakın olmasında dalma uzunluğunun kesit yüksekliğiyle aynı uzunlukta olmasının büyük etkisi vardır. Bu durum boyutsuz $a_d = 0{,}5 + \frac{a.b}{(sD_d)(D_1-D_2)}$ ifadesinde b ve s' in sadeleşmesine sebep olmaktadır. Böylece kesit genişliğine daha bağımlı bir model sonucu çıkmaktadır.

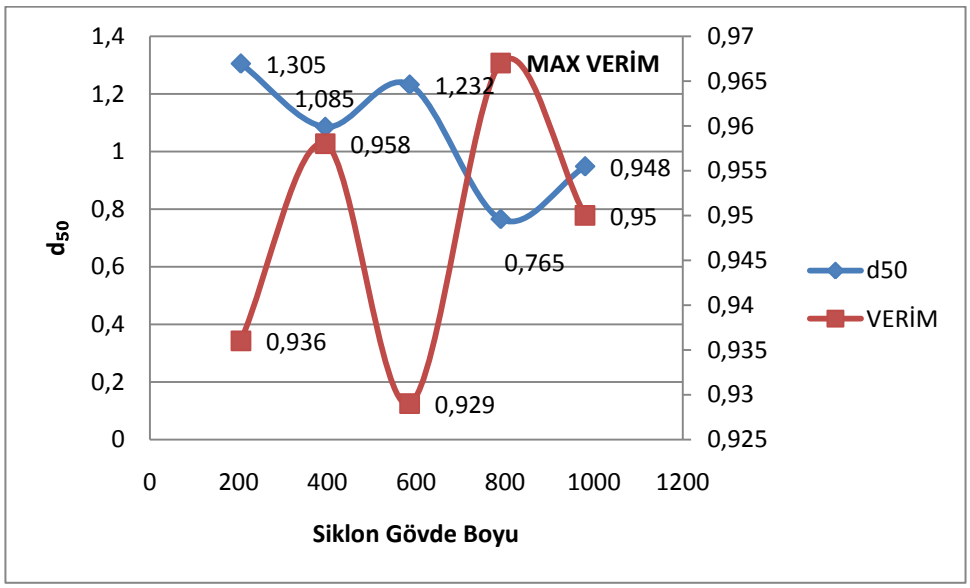
Lmax değerleri incelendiğinde ise daha çok L_{max}/D_1= 4 değeri civarında değişim olduğu görülmüştür. Stairmand'ın çalıştığı siklon tipine daha yakın değerler vermektedir. Deneyde elde edilen maksimum verim noktaları A ve B kesiti için L_4=1470 mm, C ve D kesiti için L_5= 1660 mm olarak tespit edilmiştir.

Son olarak kritik çap hesaplamalarından sonra olması gereken deneysel çaplar tayin edildi ve grafiksel uyum sağlandı.

En yüksek hızda B kesitinde, H_4=790 mm gövde boyunda maksimum verim elde edilmiştir. A, B ve C kesitlerinin maksimum hızlarında bu boydan sonra verimde bir miktar düşme görülmektedir.

Mevcut deney düzeneğinde daha uzun boylara çıkabilme imkanı oluşturabilirse bu boydan sonra verimde bir pik noktası olup olmaması tayin edilebilir.

Çizelge 5.3. Maksimum verim noktası H_4=790 mm, B kesiti, V_3 hızı



KAYNAKLAR

Alexander, R. Mck. 1949. Fundamentals of cyclone design and operation. Proc. Australas. Inst. Min. Metall, pp: 202-228.

Avcı, A., Erel, G.K. 2003. Siklon separatörlerde uzunluğun verime etkisi ve optimizasyonu. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1) :101-109

Barth, W. 1951. Brenst-Warme-Kraft. , Köln, pp: 1-9.

Bhasker , C., 2010. Flow simulation in industrial cyclone separator., *Advances in Engineering Software*, 41:220–228.

Bryant, H. S., Silverman, R. W. and Zenz, F. A. 1983 How dust in gas affects cyclone pressure drop. *Hydrocabon Process.* 62: 87-90.

Caplan, KJ., C*hemical Engineering Handbook,McGraw-Hill*, ,1984, New York

Chen , J., Liu, X. 2010. Simulation of a modified cyclone separator with a novel exhaust, *Separation and Purification Technology*, 73(2): 100-105

Cortes, C., Gil, A., 2007. Modeling the gas and particle flow inside cyclone separators. Progress in Energy and Combustion Science 33 :409–452

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.

Dirgo, J., Leith, D.,1985. *Design of Cyclone Separators,Encyclopedia of Fluid Mechanics.* 4(41):1281-1306.

Elcuman M., 1993, Akçimento Büyükçekmece Tesisleri Toz Tutma Sistemleri Projesi, Bitirme Projesi, YTÜ, İstanbul.

Fei, P. 1996. Investigations of cyclone preheaters with a cold model. ZKG, 12/86, pp: 668-670**.**

Fıçıcı, F. 2006. Siklonlarda dalma borusu çap değişiminin akış parametrelerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi. Y.Lisans Tezi, Saü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya.

Ji, Z., Wu, X. And Shi, M. 1991 Experimental research on the natural turning length of the cyclone. In FilTech Europa , , Karlsruhe, Germany. 91(2):583-589

Karagöz, İ., ve Avcı, A., 2005. Modelling of the Pressure Drop in Tangential Inlet Cyclone Separators

Leith , D. Licht, W. 1972. The collector efficiency of cyclone type particle collectors. A New Teorical Approach, Air Pollution and its Control, pp: 33-57.

Muschelknautz, S., Ruppert, K.A, Klung, F. 1994 Transient loading of cyclone seperators on use in blowdown systems, Chemine Ingenieur Technik, pp:180-186.

Ramachandran, G., Raynor, P.C., Leith, D. 1994. Collection efficiency and pressure drop for a rotary flow cyclone. Filtration Seperation, pp: 631-636 **.**

Safikhani , H., Akhavan-Behabadi, M.A., Nariman-Zadeh, N., Mahmood Abadi, M.J.2010. Modeling and multi-objective optimization of square cyclones using CFD and netural networks, Chemical Engineering Research and Design, (In Press)

Safikhani, H., Akhavan-Behabadi, M.A., Shams , M., Rahimyan, M.H.2010. Numerical simulation of flow field in three types of standard cyclone separator. *Advanced Powder Technology*, 21(4): 435-442.

Shepherd, C.B., Lapple, C.E. 1939. Flow pattern and pressure drop in cyclone dust collectors. Ind. And Erg Chem, pp: 972-984.

Stairmand, T. J. 1951. The design and performance of cyclone seperators. Trans Ins. Chem eng., pp: 356-383 **.**

Surmen, A., Avci A., Karamangil M.I., 2010. Prediction of the maximum-efficiency cyclone length for a cyclone with a tangential enty, *Powder Technology,* 2:6-10

Zhu, Y. Lee, K.W., 1999. Experimental study on small cyclones operating at high flowrates. *J.Aerosol Sci.* 30: 1303-1315.

Zisselmar, R., 1984. Oer zyklonabscheider-allgemeine berehnungs-grund-lagen sowie untersuchungen on einer bavart mit nevartiger einund auslauf geometrie. Aufbereitungs Technik, Köln. pp:341-351,

EKLER

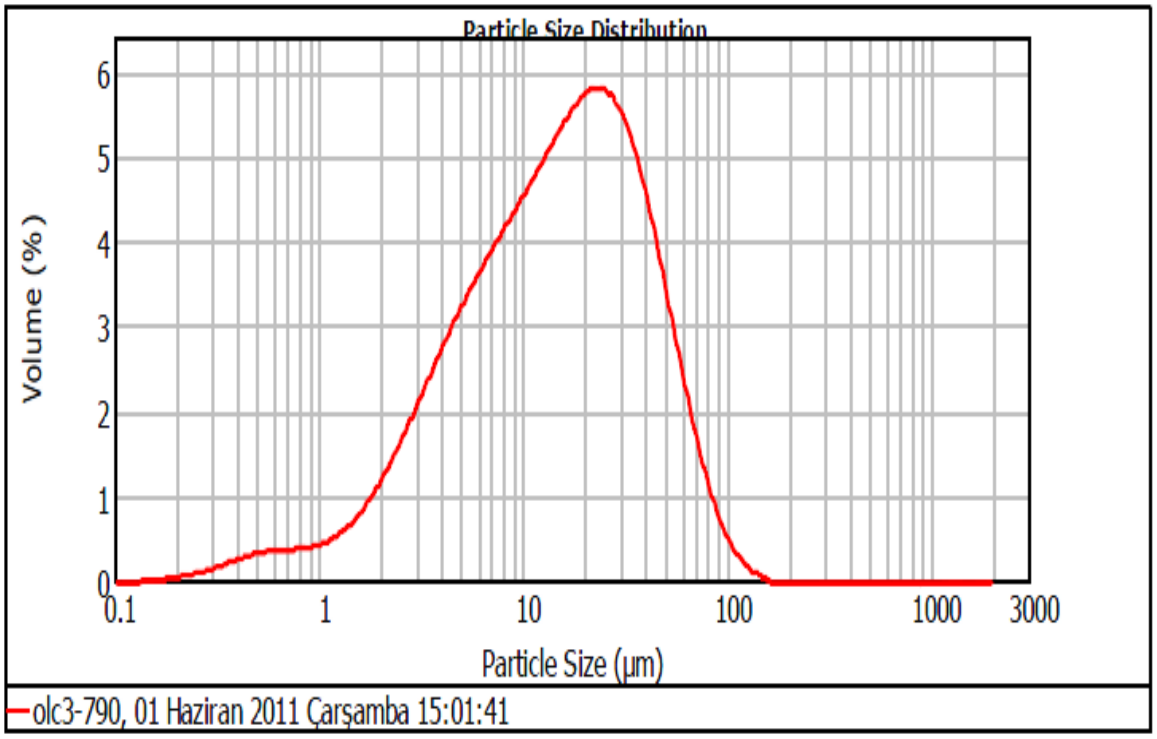
EK-1 A kesiti, H_4=790 mm ,V_3 hızı için partikül analizi

EK- 2 B kesiti, H_4=790 mm ,V_3 hızı için partikül analizi

EK- 3 A kesiti, H_5=980 mm ,V_3 hızı için partikül analizi

EK- 4 B kesiti, H_5=980 mm ,V_3 hızı için partikül analizi

EK-1 A kesiti, H_4=790 mm ,V_3 hızı için partikül analizi



Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00
0.011	0.00
0.013	0.00
0.015	0.00
0.017	0.00
0.020	0.00
0.023	0.00
0.026	0.00
0.030	0.00
0.035	0.00
0.040	0.00
0.046	0.00
0.052	0.00
0.060	0.00
0.069	0.00
0.079	0.00
0.091	0.00
0.105	

Size (µm)	Volume In %
0.105	0.00
0.120	0.00
0.138	0.02
0.158	0.03
0.182	0.05
0.209	0.07
0.240	0.10
0.275	0.13
0.316	0.18
0.363	0.23
0.417	0.28
0.479	0.31
0.550	0.33
0.631	0.34
0.724	0.35
0.832	0.37
0.955	0.41
1.096	

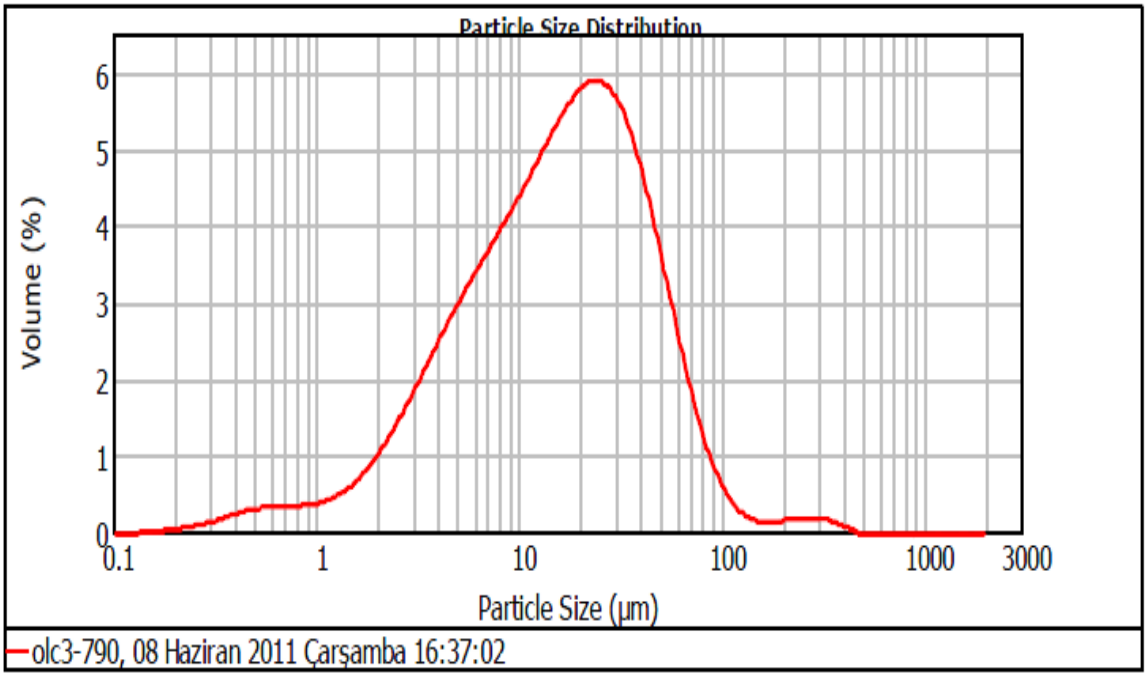
Size (µm)	Volume In %
1.096	0.47
1.259	0.57
1.445	0.71
1.660	0.89
1.905	1.11
2.188	1.37
2.512	1.65
2.884	1.95
3.311	2.25
3.802	2.54
4.365	2.82
5.012	3.08
5.754	3.33
6.607	3.56
7.586	3.78
8.710	4.00
10.000	4.23
11.482	

Size (µm)	Volume In %
11.482	4.47
13.183	4.71
15.136	4.93
17.378	5.12
19.953	5.24
22.909	5.24
26.303	5.11
30.200	4.82
34.674	4.38
39.811	3.82
45.709	3.18
52.481	2.51
60.256	1.87
69.183	1.31
79.433	0.85
91.201	0.50
104.713	0.27
120.226	

Size (µm)	Volume In %
120.226	0.13
138.038	0.05
158.489	0.00
181.970	0.00
208.930	0.00
239.883	0.00
275.423	0.00
316.228	0.00
363.078	0.00
416.869	0.00
478.630	0.00
549.541	0.00
630.957	0.00
724.436	0.00
831.764	0.00
954.993	0.00
1096.478	0.00
1258.925	

Size (µm)	Volume In %
1258.925	0.00
1445.440	0.00
1659.587	0.00
1905.461	0.00
2187.762	0.00
2511.886	0.00
2884.032	0.00
3311.311	0.00
3801.894	0.00
4365.158	0.00
5011.872	0.00
5754.399	0.00
6606.934	0.00
7585.776	0.00
8709.636	0.00
10000.000	

EK- 2 B kesiti, H_4=790 mm ,V_3 hızı için partikül analizi



Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00
0.011	0.00
0.013	0.00
0.015	0.00
0.017	0.00
0.020	0.00
0.023	0.00
0.026	0.00
0.030	0.00
0.035	0.00
0.040	0.00
0.046	0.00
0.052	0.00
0.060	0.00
0.069	0.00
0.079	0.00
0.091	0.00
0.105	

Size (µm)	Volume In %
0.105	0.00
0.120	0.00
0.138	0.01
0.158	0.03
0.182	0.04
0.209	0.07
0.240	0.10
0.275	0.13
0.316	0.17
0.363	0.22
0.417	0.26
0.479	0.29
0.550	0.31
0.631	0.31
0.724	0.32
0.832	0.33
0.955	0.36
1.096	

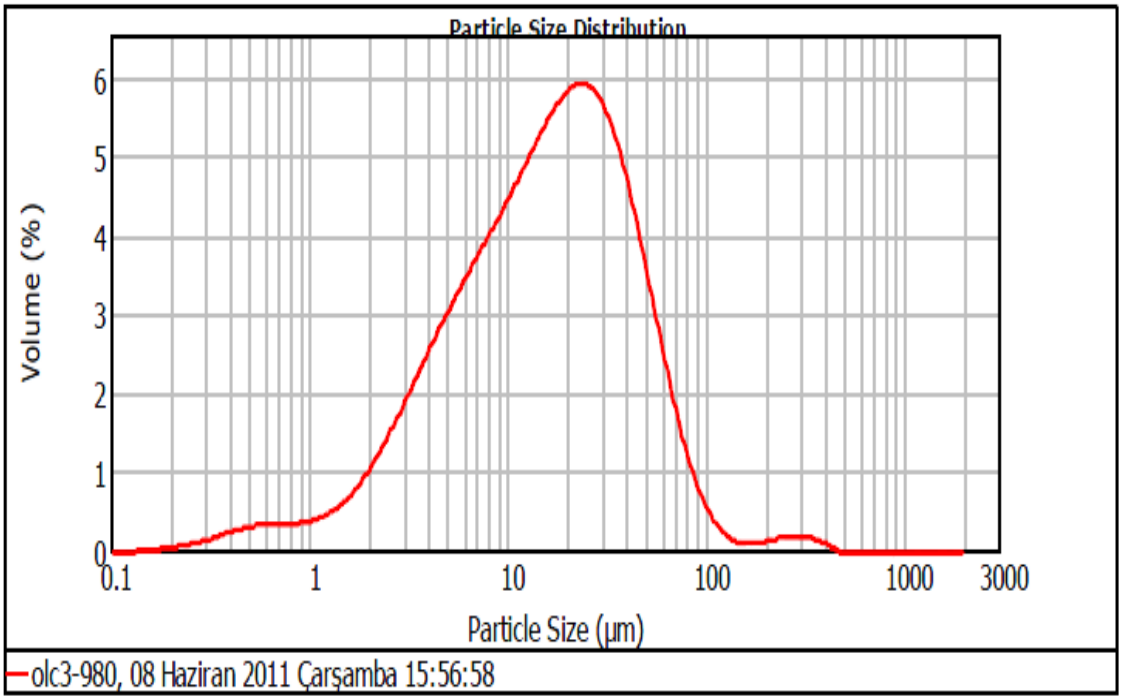
Size (µm)	Volume In %
1.096	0.41
1.259	0.49
1.445	0.61
1.660	0.76
1.905	0.96
2.188	1.20
2.512	1.46
2.884	1.74
3.311	2.03
3.802	2.32
4.365	2.60
5.012	2.86
5.754	3.12
6.607	3.37
7.586	3.61
8.710	3.87
10.000	4.14
11.482	

Size (µm)	Volume In %
11.482	4.41
13.183	4.69
15.136	4.95
17.378	5.17
19.953	5.32
22.909	5.35
26.303	5.24
30.200	4.97
34.674	4.56
39.811	4.01
45.709	3.37
52.481	2.69
60.256	2.03
69.183	1.44
79.433	0.96
91.201	0.60
104.713	0.35
120.226	

Size (µm)	Volume In %
120.226	0.21
138.038	0.15
158.489	0.13
181.970	0.14
208.930	0.16
239.883	0.17
275.423	0.17
316.228	0.15
363.078	0.09
416.869	0.02
478.630	0.00
549.541	0.00
630.957	0.00
724.436	0.00
831.764	0.00
954.993	0.00
1096.478	0.00
1258.925	

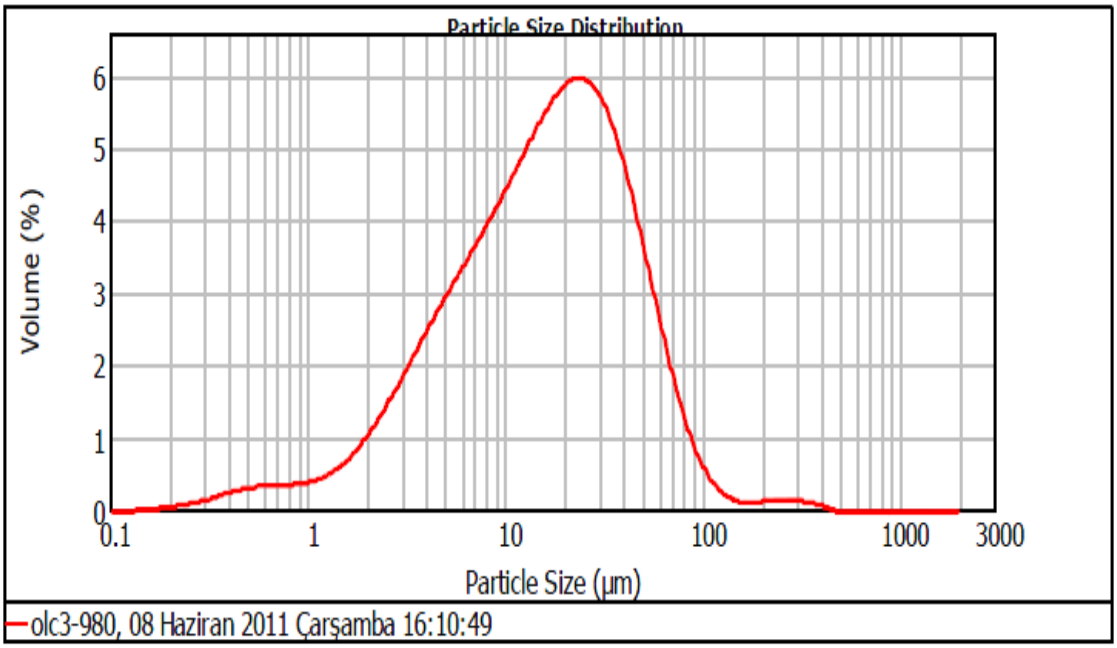
Size (µm)	Volume In %
1258.925	0.00
1445.440	0.00
1659.587	0.00
1905.461	0.00
2187.762	0.00
2511.886	0.00
2884.032	0.00
3311.311	0.00
3801.894	0.00
4365.158	0.00
5011.872	0.00
5754.399	0.00
6606.934	0.00
7585.776	0.00
8709.636	0.00
10000.000	0.00

EK- 3 A kesiti, H_5=980 mm ,V_3 hızı için partikül analizi



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	0.41	11.482	4.46	120.226	0.16	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.49	13.183	4.74	138.038	0.10	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.01	1.445	0.61	15.136	4.99	158.489	0.09	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.03	1.660	0.78	17.378	5.21	181.970	0.12	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.04	1.905	0.98	19.953	5.34	208.930	0.15	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.07	2.188	1.22	22.909	5.36	239.883	0.17	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.09	2.512	1.49	26.303	5.23	275.423	0.18	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.13	2.884	1.77	30.200	4.95	316.228	0.16	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.17	3.311	2.07	34.674	4.51	363.078	0.10	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.22	3.802	2.36	39.811	3.95	416.869	0.03	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.26	4.365	2.64	45.709	3.30	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.29	5.012	2.91	52.481	2.62	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.30	5.754	3.16	60.256	1.96	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.31	6.607	3.41	69.183	1.38	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.32	7.586	3.66	79.433	0.91	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.33	8.710	3.91	91.201	0.55	954.993	0.00	10000.000	
0.091	0.00	0.955	0.36	10.000	4.18	104.713	0.30	1096.478	0.00		
0.105		1.096		11.482		120.226		1258.925			

EK- 4 B kesiti, H_5=980 mm ,V_3 hızı için partikül analizi



Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00
0.011	0.00
0.013	0.00
0.015	0.00
0.017	0.00
0.020	0.00
0.023	0.00
0.026	0.00
0.030	0.00
0.035	0.00
0.040	0.00
0.046	0.00
0.052	0.00
0.060	0.00
0.069	0.00
0.079	0.00
0.091	0.00
0.105	0.00

Size (µm)	Volume In %
0.105	0.00
0.120	0.00
0.138	0.01
0.158	0.03
0.182	0.04
0.209	0.07
0.240	0.09
0.275	0.13
0.316	0.17
0.363	0.22
0.417	0.26
0.479	0.29
0.550	0.31
0.631	0.31
0.724	0.32
0.832	0.33
0.955	0.36
1.096	0.42

Size (µm)	Volume In %
1.096	0.42
1.259	0.50
1.445	0.62
1.660	0.78
1.905	0.97
2.188	1.20
2.512	1.46
2.884	1.73
3.311	2.01
3.802	2.29
4.365	2.56
5.012	2.82
5.754	3.08
6.607	3.33
7.586	3.59
8.710	3.87
10.000	4.16
11.482	4.45

Size (µm)	Volume In %
11.482	4.45
13.183	4.75
15.136	5.02
17.378	5.23
19.953	5.37
22.909	5.39
26.303	5.27
30.200	4.99
34.674	4.57
39.811	4.01
45.709	3.37
52.481	2.70
60.256	2.04
69.183	1.46
79.433	0.97
91.201	0.60
104.713	0.34
120.226	0.19

Size (µm)	Volume In %
120.226	0.19
138.038	0.12
158.489	0.11
181.970	0.12
208.930	0.13
239.883	0.14
275.423	0.13
316.228	0.11
363.078	0.07
416.869	0.01
478.630	0.00
549.541	0.00
630.957	0.00
724.436	0.00
831.764	0.00
954.993	0.00
1096.478	0.00
1258.925	0.00

Size (µm)	Volume In %
1258.925	0.00
1445.440	0.00
1659.587	0.00
1905.461	0.00
2187.762	0.00
2511.886	0.00
2884.032	0.00
3311.311	0.00
3801.894	0.00
4365.158	0.00
5011.872	0.00
5754.399	0.00
6606.934	0.00
7585.776	0.00
8709.636	0.00
10000.000	0.00

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tarık OKUR
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 19.08.1987
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Özel Namık Sözeri Lisesi / 2004
Lisans : Sakarya Üniversitesi – Makine Mühendisliği / 2008
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi – Makine Mühendisliği / 2011

Çalıştığı Kurum(lar) :

İletişim : tarikokur@hotmail.com

Yayınları :