

**YÜKSEK VERİMLİ SIKLON TASARIMI VE
PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

Ömer ŞENDOĞAN



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK VERİMLİ SİKLON TASARIMI VE PERFORMANSININ
DENEYSEL İNCELENMESİ**

Ömer ŞENDOĞAN

Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2012

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Ömer ŞENDOĞAN tarafından hazırlanan "Yüksek Verimli Siklon Tasarımı ve Performansının Deneysel İncelenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ

Başkan: Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ İmza

Üye: Prof. Dr. Atakan AVCI İmza

Üye: Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Kadri ARSLAN

Enstitü Müdürü

.../.../2012

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 tapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim

21/09/2012

Ömer ŞENDOĞAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YÜKSEK VERİMLİ SİKLOK TASARIMI VE PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Ömer ŞENDOĞAN

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ

Bu çalışmada; konik kısmı olmayan yeni bir siklon tasarımı yapılmış ve yeni siklon performansı incelenmiştir. Yapılan deneylerde basınç kayıpları ve verim incelenmiştir.

Deney düzeneğindeki siklonun boyu ve giriş hızı değiştirilerek birbiriyle olan ilişkisi incelenmiştir.

Siklonun giriş ve çıkışındaki iki noktadan TESTO marka dijital basınç ölçer cihazı ile basınç ölçümü yapılarak siklon basınç kaybı ölçülmüştür. Deneyde kullanılan numune deneyden önce ve sonra tartılarak aradaki farktan siklon toplama verimi hesaplanmıştır. Ayrıca her bir deney sonucu elde edilen numunelerin MALVERN marka MASTER SIZER2000 modelli partikül analiz cihazı ile analizleri yapılmış sonuçlara göre siklonun fraksiyonel verimleri hesaplanmıştır.

Deneylerden elde edilen sonuçlar incelenmiş ve klasik siklonun sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar yeni siklonun aynı boy, çap ve giriş hızında klasik siklondan daha iyi olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Siklon, basınç kaybı, giriş hızı, toplama verimi, fraksiyonel verim

2012, xii + 115 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DESING OF HIGH EFFICIENT CYCLONE AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION ITS PERFORMANCE

Ömer ŞENDOĞAN

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

Supervisor: Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ

In this study, a new cyclone design without conical part and its performance were presented, were investigated pressure drop and efficient.

Cyclone body length, diameter and inlet velocity were changed and the relations among those parameters were investigated.

Pressure losses in cyclone inlet, cyclone outlet and also in the cyclone body were investigated by using digital pressure measurement device TESTO. All presents weight before and after process then calculate collection efficiency. Ater all experiments particul size distributions were measured both before and after the process using a Mastersizer 2000 particle size analyzer. According to this results, fractional efficient were calculated.

Experimental results from the tests on the new cyclone were evaluated and compared with the results on the conventional cyclone. Results showed that the new cyclone gave better efficiency comparing to the conventional cyclone for the same cyclone diameter and inlet velocity.

Keywords: Cyclone seperator, pressure loss, inlet velocity, collection efficiency, fractional efficiency.

2012, xii + 115 pages.

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez alıőmasına baőladıđım andan itibaren yoğun alıőma programına rağmen bilgi ve birikimiyle s¼rekli destek ve yardım eden, yol g¼steren değerli hocam Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ'e, deneyler sırasında bilgi birikimiyle yönlendiren Prof. Dr. Atakan AVCI' ya, bilgi ve tecr¼beleriyle çalıőmalarıma katkı sağlayan Prof. Dr. Ali S¼RMEN' e teőekk¼r ederim.

Deneysel alıőmalar s¼resince bilgi ve birikimiyle yardımcı olan tekniker Necati T¼RKÖZ' e ve deneyler sırasında yardımını esirgemeyen Araőtırma G¼revlisi Fuat TAN' a teőekk¼r ederim.

Ayrıca sadece bu çalıőmamda değer b¼t¼n hayatım boyunca maddi ve manevi desteğiyle s¼rekli yanımda olan aileme teőekk¼rlerimi sunmayı bir borç bilirim.

21 / 09 / 2012
Ömer ŞENDOĞAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Siklon Akış Modeli	11
2.2. Siklonda Basınç Kayıpları.....	13
2.2.1 Basınç kaybı modelleri.....	15
2.3. Siklonda Toplama Verimi	18
2.3.1. Kesirsel verimlilik ve toplama verimliliği	18
2.3.2. Toplama verimi modelleri.....	21
2.4. Siklon Boyunun Etkisi	25
2.4.1. Siklonda girdap uzunluğu	26
2.4.2. Siklon boyunun performansa etkisi.....	29
2.5. Siklon Optimizasyonu	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Deney Düzeneği.....	32
3.1.1 Fan.....	34
3.1.2 Ventürimetre.....	35
3.1.3 Enjektör Sistemi.....	36
3.1.4 Siklon.....	37
3.1.5 Dijital Ölçüm Cihazı.....	40
3.1.6 Partikül Analiz Cihazı.....	41
3.2. Deney Yöntemi	43
4. Bulgular ve Tartışma	45
4.1 Deneysel Hesaplamalar	46
4.2 Silindir Boyunun Basınç Kaybına Etkisi	48
4.3 Girdap Durdurucu Yüksekliğinin Basınç Kaybına Etkisi.....	51
4.4 Debinin Siklon Toplama Verimine Etkisi.....	53
4.5 Silindir Boyunun Verime Etkisi	57
4.6 Girdap Durdurucu Yüksekliğinin Toplama Verimine Etkisi	61
4.7 Silindir Boylarının Toplama Verimine Etkisinin Karşılaştırılması.....	63
4.8 Debinin Toplama Verimine Etkisinin Karşılaştırılması.....	66
4.9 Kritik Partikül Çapı ve Maksimum Verimde Siklon Yüksekliği Analizi.....	70
4.10 Debinin D_{krt} Çapına Etkisi.....	74
4.11 Silindir Boyunun D_{krt} Çapına Etkisi.....	78

4.12 Girdap Durdurucu Yüksekliğinin D_{krt} Çapına Etkisi	81
4.13 Fraksiyonel Verim Eğrilerinin Hesaplanması	84
4.13.1 Fraksiyonel Verim Eğrilerine Debinin Etkisi	100
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	105
KAYNAKLAR	108
EKLER	111
EK-1	112
EK-2	113
EK-3	114
ÖZGEÇMİŞ	115

SİMGELER DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
a	Giriş kesit genişliği, m
a_d	Düzeltilen boyutsuz akış genişliği
A_s	İç siklon sürtünme yüzey alanı, m ²
b	Giriş kesit yüksekliği, m
C_d	Boyutsuz parametre
cs	Boyutsuz parametre
C_{CU}	Cunningham düzeltme faktörü
d_{50}	Kritik partikül çapı, m
D_1	Siklon iç çapı, m
D_2	Dalma borusu çapı, m
D_3	Siklon koni çıkış çapı, m
D_d	Boyutsuz ortalama siklon çapı
D_s	Boyutsuz sürtünme yüzeyleri çapı
D_h	Hidrolik çap, m
f_g	Alexander basınç düşümü parametresi
f_0	Ortalama sürtünme katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi , m/s ²
H_g	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^{\square}	Boyutsuz parametre
Re	Reynold Sayısı
s	Dalma borusu yüksekliği, m
T	Sıcaklık, K
V_g	Giriş gaz hızı, m/s
V_{te}	İç vorteksdeki teğetsel gaz hızı, m/s
V_{ze}	Çıkış borusundaki eksenel gaz hızı, m/s
Q	Hava giriş debisi, m ³ /h
ν	Kinematik viskozite, m ² /s
μ_g	Dinamik gaz viskozitesi, Pas
η	Toplama verimi
λ	Sürtünme faktörü
p_g	Gaz yoğunluğu, kg/m ³
$\rho_{i,p}$	Partikül yoğunluğu, kg/m ³

ρ_s	Katı yoğunluğu, kg/m ³
Δh_s	Siklondaki basınç kaybı (mmSS)
Δh_v	Ventürimetredeki basınç kaybı (mmSS)
β	Ventürimetre çap oranı

ŞEKİLLER VE TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Siklon içerisindeki akış modeli	12
Şekil 2.2. Siklon giriş tipleri (a:Teğetsel, b:Dönel, c:Helisel, d:Eksenel).....	14
Şekil 2.3. Siklonun tipik kesirsel verim eğrisi	18
Şekil 2.4. Siklonda karakteristik boyutlar.....	25
Şekil 3.1. Deney Tesisatının Şematik Görünümü.....	32
Şekil 3.2. Deney Düzeneği Resmi	33
Şekil 3.3. Deneyde Kullanılan Fan	34
Şekil 3.4. Ventürimetre.....	35
Şekil 3.5. Pitot Tüpü	35
Şekil 3.6. Enjektör	36
Şekil 3.7. Rotametre	36
Şekil 3.8. Deneyde Kullanılan Siklon	37
Şekil 3.9. Farklı Gövde Boyları	38
Şekil 3.10. Çıkış Bacası	39
Şekil 3.11. Dijital Ölçüm Cihazı	40
Şekil 3.12. Partikül Analiz Cihazı	41
Şekil 3.13. Kuru (SCIROCO 2000) ve ıslak (HYDRO 2000MU) üniteler.....	42
Tablo 3.1. Siklon Ölçüleri	37
Tablo 4.1. D_{krt} Çaplarının Toplu Olarak Tablosu	83
Tablo 4.2. $H_3L_5Q_3$ Partikül Analiz Sonucunun Karşılaştırması	85
Tablo 4.3. Kesirsel Aralık ve Verim Değerleri	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Siklonlarda basınç düşüşünün cebirsel modelleri.....	16
Çizelge 2.2. Toplam verimliliğin hesabına bir örnek.....	19
Çizelge 2.3. Siklonların verimlilik dağılımı.....	20
Çizelge 2.4. Siklonlarda toplama veriminin cebirsel modelleri.....	23
Grafik 4.1. L_1 de Basınç Kaybı-Debi Grafiği	48
Grafik 4.2. L_2 de Basınç Kaybı-Debi Grafiği	48
Grafik 4.3. L_3 de Basınç Kaybı-Debi Grafiği	49
Grafik 4.4. L_3 de Basınç Kaybı-Debi Grafiği	49
Grafik 4.5. L_4 de Basınç Kaybı-Debi Grafiği	50
Grafik 4.6. H_1 de Basınç Kaybı-Debi Grafiği	51
Grafik 4.7. H_2 de Basınç Kaybı-Debi Grafiği	51
Grafik 4.8. H_3 de Basınç Kaybı-Debi Grafiği	52
Grafik 4.9. H_1L_1 de $Q - \eta$ grafiği	53
Grafik 4.10. H_1L_2 de $Q - \eta$ grafiği	53
Grafik 4.11. H_1L_3 de $Q - \eta$ grafiği	53
Grafik 4.12. H_1L_4 de $Q - \eta$ grafiği	53
Grafik 4.13. H_1L_5 de $Q - \eta$ grafiği	54
Grafik 4.14. H_2L_1 de $Q - \eta$ grafiği	54
Grafik 4.15. H_2L_2 de $Q - \eta$ grafiği	54
Grafik 4.16. H_2L_3 de $Q - \eta$ grafiği	54
Grafik 4.17. H_2L_4 de $Q - \eta$ grafiği	54
Grafik 4.18. H_2L_5 de $Q - \eta$ grafiği	54
Grafik 4.19. H_3L_1 de $Q - \eta$ grafiği	55
Grafik 4.20. H_3L_2 de $Q - \eta$ grafiği	55
Grafik 4.21. H_3L_3 de $Q - \eta$ grafiği	55
Grafik 4.22. H_3L_4 de $Q - \eta$ grafiği	55
Grafik 4.23. H_3L_5 de $Q - \eta$ grafiği	55
Grafik 4.24. $Q_3 L_5$ de $H - \eta$ grafiği	57
Grafik 4.25. $Q_2 L_5$ de $H - \eta$ grafiği	57
Grafik 4.26. $Q_1 L_5$ de $H - \eta$ grafiği	57
Grafik 4.27. $Q_3 L_4$ de $H - \eta$ grafiği	57
Grafik 4.28. $Q_2 L_4$ de $H - \eta$ grafiği	58
Grafik 4.29. $Q_1 L_4$ de $H - \eta$ grafiği	58
Grafik 4.30. $Q_3 L_3$ de $H - \eta$ grafiği	58
Grafik 4.31. $Q_2 L_3$ de $H - \eta$ grafiği	58
Grafik 4.32. $Q_1 L_3$ de $H - \eta$ grafiği	58

Grafik 4.33. $Q_3 L_2$ de H - η grafiği	58
Grafik 4.34. $Q_2 L_2$ de H - η grafiği	59
Grafik 4.35. $Q_1 L_2$ de H - η grafiği	59
Grafik 4.36. $Q_3 L_1$ de H - η grafiği	59
Grafik 4.37. $Q_2 L_1$ de H - η grafiği	59
Grafik 4.38. $Q_1 L_1$ de H - η grafiği	59
Grafik 4.39. H_1 de Toplama Verimi-Debi Grafiği	61
Grafik 4.40. H_2 de Toplama Verimi-Debi Grafiği	61
Grafik 4.41. H_3 de Toplama Verimi-Debi Grafiği	62
Grafik 4.42. L_1 de Toplama Verimi-Debi Grafiği.....	63
Grafik 4.43. L_2 de Toplama Verimi-Debi Grafiği.....	63
Grafik 4.44. L_3 de Toplama Verimi-Debi Grafiği.....	64
Grafik 4.45. L_4 de Toplama Verimi-Debi Grafiği.....	64
Grafik 4.46. L_5 de Toplama Verimi-Debi Grafiği.....	65
Grafik 4.47. L_5 de Toplama Verimi-H Grafiği	66
Grafik 4.48. L_4 de Toplama Verimi-H Grafiği	66
Grafik 4.49. L_3 de Toplama Verimi-H Grafiği	67
Grafik 4.50. L_2 de Toplama Verimi-H Grafiği	67
Grafik 4.51. L_1 de Toplama Verimi-H Grafiği	67
Grafik 4.52. H_1 de Toplama Verimi-L Grafiği	68
Grafik 4.53. H_2 de Toplama Verimi-L Grafiği	68
Grafik 4.54. H_3 de Toplama Verimi-L Grafiği	69
Grafik 4.55. $H_1 L_1$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	74
Grafik 4.56. $H_1 L_2$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	74
Grafik 4.57. $H_1 L_3$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	74
Grafik 4.58. $H_1 L_4$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	74
Grafik 4.59. $H_1 L_5$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	75
Grafik 4.60. $H_2 L_1$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	75
Grafik 4.61. $H_2 L_2$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	75
Grafik 4.62. $H_2 L_3$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	75
Grafik 4.63. $H_2 L_4$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	75
Grafik 4.64. $H_2 L_5$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	75
Grafik 4.65. $H_3 L_1$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	76
Grafik 4.66. $H_3 L_2$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	76
Grafik 4.67. $H_3 L_3$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	76
Grafik 4.68. $H_3 L_4$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	76
Grafik 4.69. $H_3 L_5$ de D_{krt} - Q Grafiği.....	76
Grafik 4.70. L_1 de H deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği.....	78
Grafik 4.71. L_2 de H deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği.....	78
Grafik 4.72. L_3 de H deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği.....	79
Grafik 4.73. L_4 de H deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği.....	79

Grafik 4.74. L_5 de H deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği.....	80
Grafik 4.75. H_1 de L deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği.....	81
Grafik 4.76. H_2 de L deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği.....	81
Grafik 4.77. H_3 de L deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği.....	82
Grafik 4.78. $H_3L_5Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	87
Grafik 4.79. $H_1L_1Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	88
Grafik 4.80. $H_1L_1Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	88
Grafik 4.81. $H_1L_1Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	88
Grafik 4.82. $H_1L_2Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	88
Grafik 4.83. $H_1L_2Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	89
Grafik 4.84. $H_1L_2Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	89
Grafik 4.85. $H_1L_3Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	89
Grafik 4.86. $H_1L_3Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	89
Grafik 4.87. $H_1L_3Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	90
Grafik 4.88. $H_1L_4Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	90
Grafik 4.89. $H_1L_4Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	90
Grafik 4.90. $H_1L_4Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	90
Grafik 4.91. $H_1L_5Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	91
Grafik 4.92. $H_1L_5Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	91
Grafik 4.93. $H_1L_5Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	91
Grafik 4.94. $H_2L_1Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	91
Grafik 4.95. $H_2L_1Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	92
Grafik 4.96. $H_2L_1Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	92
Grafik 4.97. $H_2L_2Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	92
Grafik 4.98. $H_2L_2Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	92
Grafik 4.99. $H_2L_2Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	93
Grafik 4.100. $H_2L_3Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	93
Grafik 4.101. $H_2L_3Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	93
Grafik 4.102. $H_2L_3Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	93
Grafik 4.103. $H_2L_4Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	94
Grafik 4.104. $H_2L_4Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	94
Grafik 4.105. $H_2L_4Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	94
Grafik 4.106. $H_2L_5Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	94
Grafik 4.107. $H_2L_5Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	95
Grafik 4.108. $H_2L_5Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	95
Grafik 4.109. $H_3L_1Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	95
Grafik 4.110. $H_3L_1Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	95
Grafik 4.111. $H_3L_1Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	96
Grafik 4.112. $H_3L_2Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	96
Grafik 4.113. $H_3L_2Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	96
Grafik 4.114. $H_3L_2Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	96

Grafik 4.115. $H_3L_3Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	97
Grafik 4.116. $H_3L_3Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	97
Grafik 4.117. $H_3L_3Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	97
Grafik 4.118. $H_3L_4Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	97
Grafik 4.119. $H_3L_4Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	98
Grafik 4.120. $H_3L_4Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	98
Grafik 4.121. $H_3L_5Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	98
Grafik 4.122. $H_3L_5Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	98
Grafik 4.123. $H_3L_5Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi	99
Grafik 4.124. H_1L_1 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	100
Grafik 4.125. H_1L_2 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	100
Grafik 4.126. H_1L_3 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	101
Grafik 4.127. H_1L_4 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	101
Grafik 4.128. H_1L_5 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	101
Grafik 4.129. H_2L_1 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	101
Grafik 4.130. H_2L_2 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	102
Grafik 4.131. H_2L_3 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	102
Grafik 4.132. H_2L_4 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	102
Grafik 4.133. H_2L_5 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	102
Grafik 4.134. H_3L_1 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	103
Grafik 4.135. H_3L_2 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	103
Grafik 4.136. H_3L_3 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	103
Grafik 4.137. H_3L_4 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	103
Grafik 4.138. H_3L_5 de Fraksiyonel Verim Eğrileri	104

1. GİRİŞ

Siklonlar genellikle katı-sıvı-gaz fazlarını veya fazlardan ikisini içeren bir akış olayında fazları birbirinden ayırmakta kullanılır. Teğetsel ve eksenel girişli olarak tasarlanan siklonlardan teğetsel girişliler daha yaygın kullanılır. Siklonlar atalet kuvvetlerine bağlı olarak çalışırlar. Siklona giren akışkan dönel bir hareket kazanır. Bu şekilde oluşan girdap etkisinde akışkan içerisindeki farklı yoğunluklara sahip fazlara gelen farklı atalet kuvvetleri etkisinde radyal yönde izafi bir hareket oluşur. Oluşan bu merkezkaç kuvvetinin etkisiyle yoğun fazın bir kısmı akış alanından uzaklaştırılır.

Siklonlar temel olarak giriş, çıkış, gövde ve toz toplama olmak üzere dört ana kısımdan oluşmaktadır. Siklonun verimine giriş kesiti, gövde uzunluğu, tahliye borusu çapı, akışkan debisi ve kullanılan parçacıkların çapı, kimyasal özellikleri etki etmektedir. Bu etkileşim parametrelerde ki çok küçük değişimle dahi gözlenmektedir. Dolayısıyla bu parametrelerin birbiriyle en uygun şekilde çalışmasını sağlamak için değerlerinin optimum şekilde belirlenmesi gerekmektedir buda daha çok deneysel çalışmalarla yapılmaktadır. Bu şekilde elde edilmiş siklonlardan en yaygın olarak kullanılan Stairmand siklonu (1951) dur. Siklonlarda verim tahmini için oluşturulan modellerin çoğu daha çok parçacıkların %50 verimde tutulabildiği çapın (kritik çap) tahminine yöneliktir. Bununla birlikte bir kısmı fraksiyonel verimlerin hesabını da içermektedir.

Siklonlar 1800'lerden günümüze kullanıla gelmiştir. Özellikle son yıllarda kullanımının artmasında sabit parçalardan oluşması, bakım masrafı gerektirmemesi, imalat kolaylığı ve ucuzluğu, yüksek verim gibi özellikleri etkili olmuştur. Bu özelliklerinden dolayı siklonlar elektrik süpürgelerinden fabrika baca filtrelerinden iklim değişimini kontrole çalışılan dev siklonlara kadar birçok alanda tercih sebebi olmuştur.

Siklonların tercih sebepleri maddeler halinde aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Bakım gerektirmez.
- Yüksek toplama verimi sağlar.
- İlave Temizlemeye ihtiyacı yoktur.
- Yüksek Toz konsantrasyonlarında çalışmaya engel teşkil etmez.
- Paralel bağlamak suretiyle çeşitli kapasite kombinasyonları elde edilebilir.
- Yüksek parçacık yoğunluğu olan hava ve gazların temizlenmesinde kullanılır.
- Optimum basınç kayıpları ile ince taneli malzemelerin ayrılması ve toplanması amacıyla kullanılır.
- Endüstriyel toz toplama sistemlerinde 1 mikron dan büyük taneciklere kadar parçacıkların tutulmasında 50 m³/h 'ten 90.000 m³/h kadar üretilmektedir.
- Filtrelerin öncesinde kullanıldığında, filtre ömrünün uzamasını sağlar. İsteğe bağlı olarak hava kilidi sayesinde sürekli olarak otomatik boşaltma yapılabilmektedir.

Siklonlar temel prensip olarak merkezkaç kuvvetler ile savrulan akışkanın ortasında oluşan boşluktan temiz havanın yukarı çıkmasıdır. Genel düzenlemede teğetsel gaz girişi ve aksenal çıkış vardır ve ters akışlı siklon olarak adlandırılır. Siklonların kullanım amacının başında hava kirliliğini azaltmak vardır.

Siklonların tasnifinde en önemli parametreler basınç kayıpları ve toplama verimidir. Dünya genelinde literatürde siklonla ilgili çok çalışma olması verime ve basınç kayıplarına etki eden birçok parametre olması dolayısıyla. Parçacık toplama ve ayrıştırma için siklonlar ekonomik ve geniş çalışma aralığına sahip olması da bu denli üzerinde çalışma yapılmasına sebep olmuştur.

Yapılan bu çalışmada siklon geometrisi ve akışkan debisi değiştirilerek elde edilen yeni dizaynların klasik siklonlara göre basınç kayıpları ve toplama verimlerinde oluşan değişimler izlenerek siklon toplama verimlerinin ve basınç kayıplarının iyileştirilmesi ve optimum değerlerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada debi ölçümü, basınç kaybı ölçümü, toplama verimi ölçümü ve partikül analizi yapılmıştır. Çalışmalarda BURSA ÇİMENTO' nun ürettiği ve CEM-IV olarak isimlendirdiği

küllü çimento kullanılmıştır. Çimentonun içerisinde kimyasal bileşenler olması, nemden etkilenmesi gibi olumsuzlukların olmasına rağmen partikül dağılımının da küçük çaplı parçacıkların fazla olması tercih sebebi olmuştur. Kullanılan çimentonun tanecik boyutları MALVERN marka MASTER SIZER2000 modelli partikül analiz cihazı ile deneyin öncesinde ve sonrasında ölçülmüştür.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Siklonlar 1800' ler den itibaren kullanılmaya başlamış 1900' lerin başından itibaren yeni modeller geliştirilmeye başlanmıştır. Özellikle 1950' ler den sonra özellikle çevresel faktörler göz önüne alındığında siklonlarla ilgili yapılan çalışmalarda önemli artış olmuştur. Günümüzde üretilen dev siklonlardan mini siklonlara kadar elektrik süpürgesinden fabrika bacalarına kadar bir çok alanda kullanımı vardır.

Siklonların ayırıcı olarak kullanılmasında bilinmesi gereken en önemli karakteristikleri siklonun ayırma verimi, fraksiyonel verimleri ve basınç kayıplarıdır. Çok karmaşık akış karakterine sahip siklonlar için bu değerlerin tahmini veya hesabı oldukça zor olması nedeniyle bu konuda yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda geliştirilen teoriler, işletme ve geometrik parametrelerin dar bir bölgesinde tatminkar tahmin yapabilmekte olduğundan bu modellerden hareketle yeni verimli siklon tasarımları yapmak oldukça zordur. Bu nedenle yeni tasarımlara daha çok deneysel çalışmalar ile ulaşılmaktadır.

Teğetsel ve eksenel girişli olarak tasarlanan siklonlardan teğetsel girişliler daha yaygın kullanılır. Siklon ayırıcılar atalet kuvvetlerine bağlı olarak çalışırlar. Siklona giren akışkan dönel bir hareket kazanır. Bu şekilde oluşan girdap etkisinde akışkan içerisindeki farklı yoğunluklara sahip fazlara gelen farklı atalet kuvvetleri etkisinde radyal yönde izafi bir hareket oluşur. Siklonlarda etki eden parametrenin çokluğu ve akış modelinin karmaşık olması tahminleri zorlaştırdığından bu alanda nümerik çalışmalara ihtiyaç duyulmuştur. Fakat bilgisayar donanımlarındaki yetersizlik ve akış modellerindeki karmaşık denklemlerin çözümündeki zorluk bu çalışmaları oldukça geciktirmiştir. Son yıllarda bilgisayar donanımında ve hesaplamalı akışkanlar mekaniğindeki gelişmeler, siklonlardaki akışın CFD analizleri Griffiths ve Boysan (1996)'ın çalışması ile başlamıştır.

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

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

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 olduğu 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 artışı ise basınç kayıplarının arttığını gözlemlemiştir.

Zhongli ve ark. (2009) tasarladıkları 15 cm çaplı bir siklonla atmosfer şartlarında hava da bulunan 0,3-40 mikron çap aralığında (ortalama çap 9.86 mikron) karbonat tozlarıyla 5-2000 mg/m³ konsantrasyonlarda ve 5-30 m/s hızlarda yaptıkları deneylerde büyük konsantrasyonlarda ve büyük hızlarda daha büyük toplama verimi elde ederken hız ve konsantrasyon düştükçe verimler düşmektedir. Bu düşme özellikle 40 mg/m³ konsantrasyonunun altında daha belirgin olmakta iken daha yüksek konsantrasyonlarda değişim çok azalmaktadır. Bununla birlikte en düşük hız ve konsantrasyonlarda verim %50 üzerinde iken hız arttıkça verim %75 değerine konsantrasyon arttıkça %95 değerlerine ulaşmaktadır. Özellikle havada bulunan mikron üstü parçacıklarda ve motor çalışma şartlarında yüksek verimlere ulaşılabilceğini göstermek açısından önemli görünmektedir.

Arman ve ark. (2009) klasik siklon geometrisini değiştirerek kare kesitli siklon üzerinde nümerik olarak çalışmışlar ve farklı geometrinin, farklı hızların etkilerini incelemiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Ta Chih ve ark. (2009) hava içerisinde bulunan 0.3 ve 1 mikron üzerindeki parçacıkları tutmak için minyatür siklonlar üzerinde çalışarak değişik şartlarda yeni tür siklonun verim ve basınç kaybını araştırmışlardır. Kullanılabilirliğini incelemişlerdir.

Sung ve ark. (2009) içerisinde bir veya daha fazla girdap oluşturan ve şiddetlendiren kanatçıklı levha içeren yeni tür siklonlar da verimin artırılması üzerine deneysel olarak çalışmışlardır. Sonuçları farklı siklonların verileri ile karşılaştırmışlardır.

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

Yine Safikhani ve arkadaşlarının yaptığı nümerik bir çalışmada literatür de 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.

Bose ve ark. (2010) diesel motorları egsoz gazlarındaki partikülleri belli oranda tutmak için klasik siklonların kullanımı ele alınmıştır. Geliştirilen bir matematik model sonuçlarına göre düşük maliyetli ve düşük basınç kaybı olan klasik bir siklonun egsoz gazlarındaki partikülleri tutmak için iyi bir yol olduğu ve optimize edilmiş bir siklonun bu amaçla kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Yoshida et al.(2010) ise siklon konisi ve çapının etkisi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. En uygun veya verimli koni açısı 70 derece olarak bulunmuştur.

Elsayed et al.(2010) alışmalarında yüksek verimli Stairmand siklonu esas alınarak minimum basınç kaybı sağlayacak boyut oranları araştırılmıştır. Sonuçta Stairmand siklonu üzerinde küçük değişiklikler yapılmış ve verim fazla azalmadan kayıpları %50 oranında azaltacak konstrüksiyon elde edilmiştir.

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

Elsayed ve Lacor (2011) un çalışmasında araştırmacılar teğetsel girişli bir siklonda giriş genişliği ve yeksekliğinin üç farklı değeri için CFD hesaplamaları yapmış, sonuçlar bazı matematik modeller ile karşılaştırılmış ve basınç kayıpları ile verimleri bulunmuştur. Genişlik ve yüksekliğin artmasının basınç kayıplarını ve verimi azalttığı bulunmuştur.

Elsayed ve Lacor (2011) diğer bir çalışmalarında minyatür bir siklonda koni ucu çapının siklon performansına etkisi CFD yoluyla incelenmiştir. Koni çapının azalmasının verimi ve basınç kayıplarını artırdığı bulunmuştur.

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

Noroozi ve Hashemabadi (2011) ise bir hidrosiklonda gövde şeklinin verime etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Eksponansiyel şekilde gövdenin diğerlerinden daha verimli olduğu ve silindirik gövdeye göre %8 verim artışı sağladığı belirlenmiştir.

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

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

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

Elsayed ve ark.(2012) yaptıkları çalışmada, siklon performansında önemli olan basınç kaybı ve verimi açısından optimizasyon çalışması yapılmıştır. Yapay sinir ağları yaklaşımı ile yapılan ve Euler sayısının temel parametre olarak kullanıldığı çalışmada siklona ait 7 geometrik oran kullanılmıştır. Sonuçta giriş ve çıkış kesiti ile çıkış kanalı dalma yüksekliğinin en önemli geometrik parametreler olduğu sonucuna

varılmıştır. Optimizasyon sonuçları ve optimizasyon sonu tasarım Steirmand siklonu ile karşılaştırılmış ve performansta iyileşme olduğu gösterilmiştir.

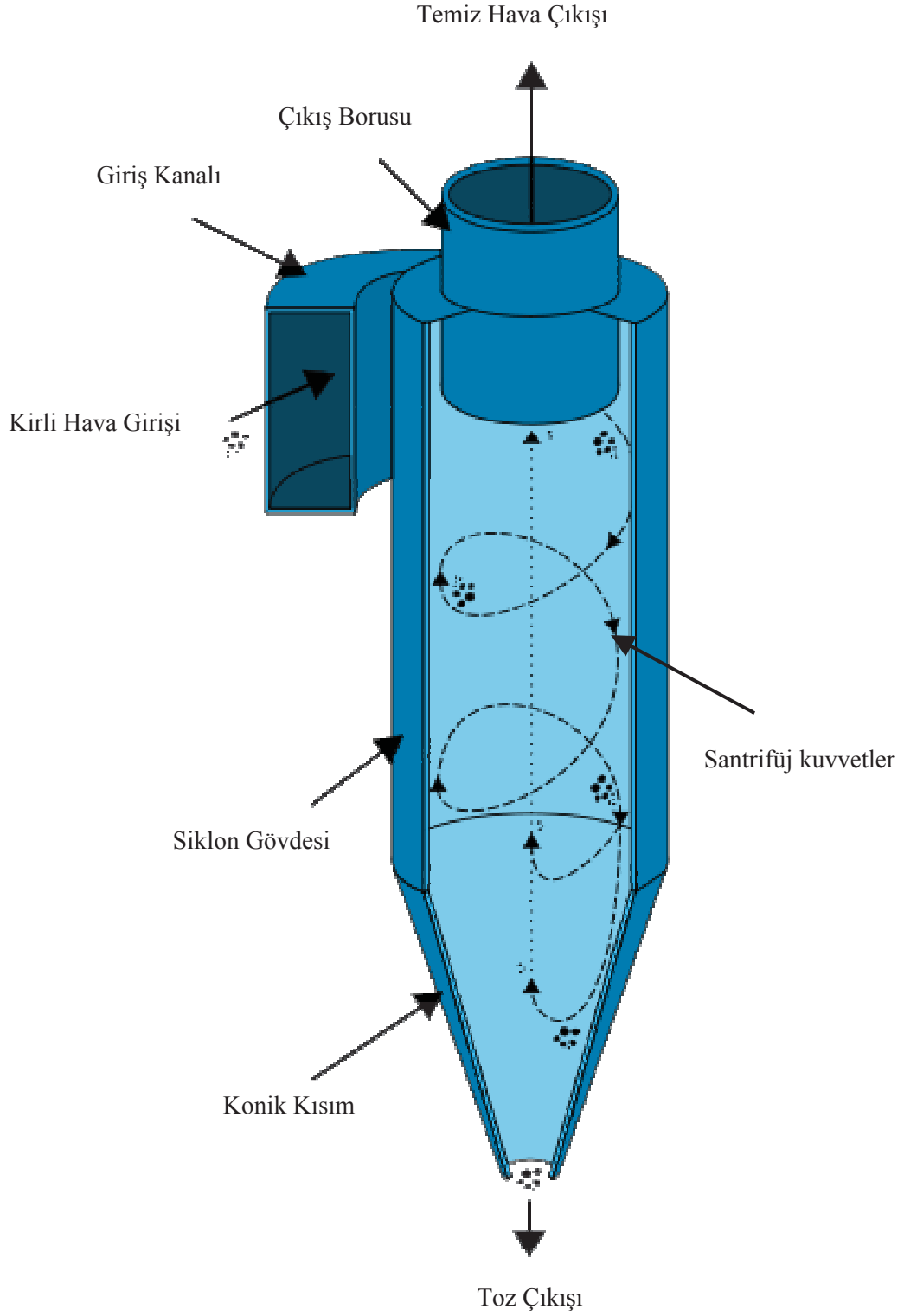
Gutierrez ve ark.(2012) ise yaptıkları çalışmada siklonlarda verim ve fraksiyonel verim tahmininde kullanılan matematik modeller dikkate alınarak bu modellerde parçacık şeklinin etkisi incelenmiştir. Sonuçta modellerde direnç sayısının değişimine bağlı olarak model tahminlerinin de önemli ölçüde değişebileceği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

Elsayed ve ark.(2012) yaptıkları bu çalışmada siklonlarda koni ucu çapının verime ve akış profiline etkisi nümerik olarak incelenmiştir. İlave olarak matematik modeller ile tahmin edilmiş sonuçlar ile deneysel sonuçlar gözönüne alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçta koni ucu çapının siklon ayırma verimine önemli etkiye sahip olduğu deneysel sonuçlara uyumlu olarak CFD çalışma sonuçları ile de gösterilmiştir.

2.1. 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 aksel 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 yardımcı olmaktadır. Merkeze doğru ilerleyen parça siklon içerisindeki hareket teğetsel, radyal ve dikey hız bileşenleri ile ifade edilebilir.



Şekil 2.1. Siklon içerisindeki akış modeli

2.2. Siklonda Basınç Kayıpları

Siklon performansı basınç düşmesi ve ayırıştırma 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.

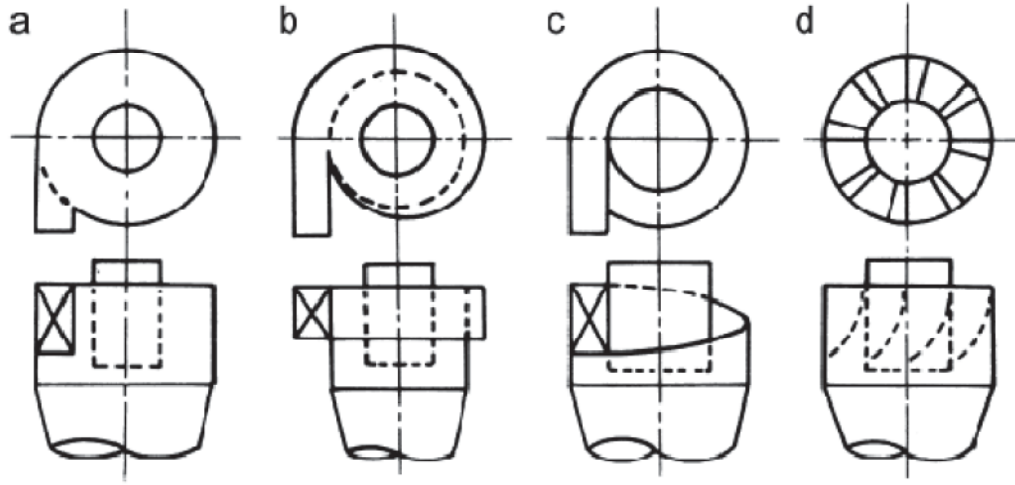
Basınç kaybından kaynaklanan enerji sarfiyatı siklon ayırıcılar için ana işletme masrafını oluşturmaktadır. Basınç kaybına katkıda bulunan faktörler Dirgo ve Leith(1985) tarafından alttaki maddeler halinde sıralanmıştır:

- 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 ayırma 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)

2.2.1. Basınç kaybı modelleri

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

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

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

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

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

Dalma borusundaki kayıp ;

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

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
------------------------	---	-------------------------

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

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

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

kıyaslanması

Böylelikle, bu formüllerin yardımıyla iç hızın ve siklon boyutlarının bilinmesi durumunda siklondaki basınç düşümü hesaplanabilir. Ancak bu hesaplar kaba tahmin olup, deneysel çalışmalar ile ilk dizayn optimize edilmelidir.

Buradaki en kompleks formülasyon Barth'ın denklemdir. Eşitlik 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, gaz sıcaklığı, giriş hızı ve katı yüklemesi gibi parametrelere bağlıdır.

Avcı ve Karagöz (2005) yaklaşımına göre siklon içindeki akışı spiral akış borusu olarak incelersek, dış vorteksin girişindeki l uzunluğundan türetilen akış borusu diferansiyel elemanı dl deki sürtünmeye bağlı basınç düşüşü;

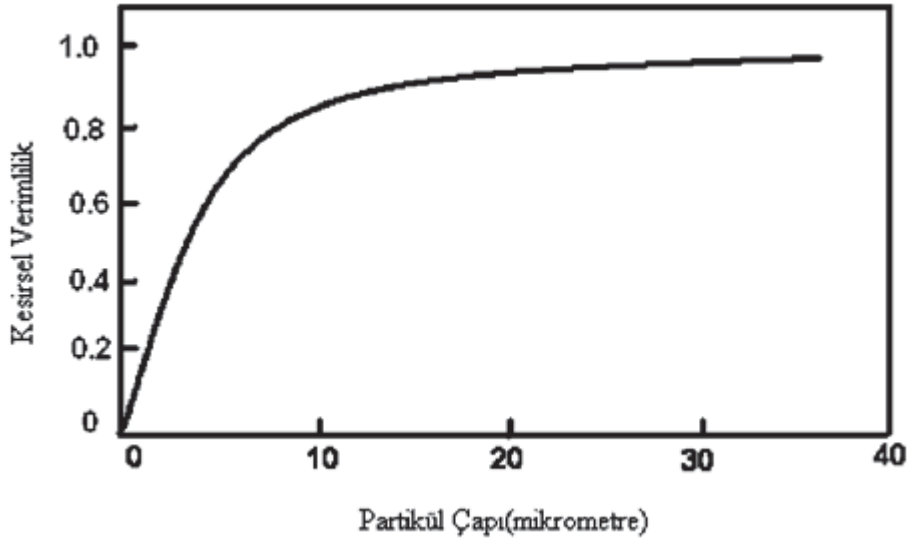
$$dp = \rho \frac{f}{D_{hl}} \frac{V^2}{2} dl \quad (2.13)$$

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

2.3. Siklonda Toplama Verimi

2.3.1. Kesirsel verimlilik ve toplama verimliliği

Siklonun toplama verimliliği η siklona verilen her boyuttaki partiküllerin tutulan 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 eğrisinden bir boyuttaki partiküllerin verimini belirtse de , tek başına toplam verim için bir tahminde bulunulmasına yeterli olmaz. Partiküllerin boyut dağılımına sahip olduğu pratik uygulamalarda toplam verimlilik öncelikle ilgilenilen husustur. Toplam verimlilik kesirsel verimlilik eğrisi ile kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

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

Burada toz n boyut aralığına bölünmüş olup 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 ayırma 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 ayırma verimliliğine sahip olduğu bilinmektedir. Siklonların verimlilik dağılımı Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Siklonların verimlilik dağılımı

Partikül Boyut Aralığı	Verimlilik aralığı	
	Konvansiyonel	Yüksek Verimli
5'den küçük	50'den az	50-80
5-20	50-80	80-95
15-40	80-95	95-99
40'dan büyük	95-99	95-99

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

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

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

2.3.2. Toplama 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 şaşkırtıcı biçimde başarılıdır.

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

Verilen parçacığın toplanıp toplanmadığına karar vermek için bazı kavramlar (basitleştirilmiş olan) uygulanmalıdır. Hesaplanan parametre genellikle d_{50} dir; eğrinin diğer kısmı, genellikle ampirik olarak düzeltilir. Örneğin, çok kullanılan bir eğri formu bu şekildedir ;

$$\eta_i = \frac{1}{1 + (d_{50}/d_i)^m} \quad (2.15)$$

Burada farklı boyutlar d_i ve kısmi verim η_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 ortaya koyar; kontrol yüzeyinde radyal kuvvetler eşitliği etkisi altındaki bir parçacık, uygun şartlar olduğu sürece cidara ulaşma zamanının yarısında toplanır. Barth kontrol yüzeyinde kendi teğetsel 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)	$d_{50} = \sqrt{\frac{9\mu_g b}{N'_c 2\pi\rho_s v_i}} \quad N_{c=\frac{H+(L-H)/2}{b}} \quad (2.16)$

Barth (1956)	$d_{50} = \sqrt{\frac{9\mu_g D_2 v_{re}}{v_{tw}^2 \rho_s}} \quad (2.17)$
--------------	--

Leith ve Licht (1972) ,	$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{\rho_s}{9\mu_g} \left(\frac{2xv_i}{D_1}\right)^2 t_{res}\right] \quad (2.18)$
-------------------------	--

Clift ve diğ. tarafından düzeltilmiştir.	$t_{res} = \frac{V}{V'} \quad (2.19)$
--	---------------------------------------

Sürmen ve ark.(2010)

$d_{50} = 0,791 \left(\frac{\rho v}{(\rho_p - \rho) C_{CU}}\right)^{0,5} \left(\frac{\sqrt{D_1 D_3} a}{V_0 L v_s}\right)^{0,5} \left(\frac{10a}{D_3}\right)^{cs} D_d a_d D_s \quad (2.20)$
--

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

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

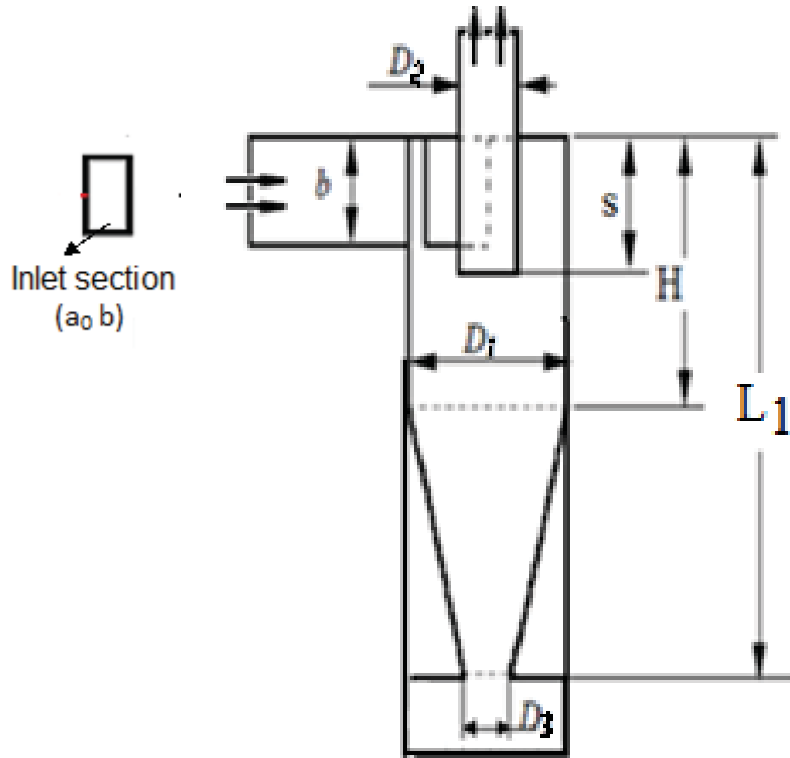
$$a_d = 0,5 + \frac{a.b}{(sD_d)(D_1-D_2)} \quad (2.23)$$

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

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

2.4. Siklon Boyunun Etkisi

Siklon uzunluğunun etkisini inceleyen çalışmaları, doğal girdap uzunluğunun tahmini ve siklon boyunun performansa etkisine yönelik çalışmalar olarak düşünülebilir. Bu çalışmalar neticesinde siklon uzunluğunun sınırlı olması gerektiği ve uzunluğun siklon performansını olumlu yönde etkilediği sonucuna ulaşılabılır. Ancak Zhu ve Lee (1999) tarafından boyu değiştirilen ve diğer boyutları yüksek verimli Stairmand siklonu ile benzer olan siklonlarda yapılan deneysel çalışma sonuçlarına göre doğal girdap sınırları içinde kalmakla birlikte verimin en yüksek olduğu bir optimum uzunluğun bulunduğu anlaşılmaktadır. Diğer bir deneysel çalışmada Hoffmann ve 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

2.4.1. Siklonlarda girdap uzunluğu

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

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

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

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

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

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

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

$$L_{max} = \frac{(a-0,1D_3)\left(1+\frac{2\alpha D_1}{L_{max}D_s}\right)}{1,5a_d f_0 \ln\left(\frac{10a}{D_3}\right)} \quad (2.29)$$

$$\alpha = \frac{(D_2 s + D_3^2)}{D_1^2} \quad (2.30)$$

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

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

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

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).

2.4.2. Siklon boyunun performansa etkisi

Yapılan araştırmalar da 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.

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

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

2.5. Siklon Optimizasyonu

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

Siklon dizaynında birden fazla parametre etkili olmaktadır. Bunlar ;

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

Siklonlardaki tutma verimi sıcaklık ve basınç ile değişmektedir. Bu parametrelerin artırılması özellikle 10 μm ' den küçük partiküllerin tutma verimini etkilemektedir. Basınç arttıkça tutma verimi artarken, sıcaklığın artması ile verim azalmaktadır. Sıcaklığın artması, viskozite ve yoğunluğun azalması dolayısıyla sürüklenme kuvvetini etkilediğinden dolayı verim düşer.

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

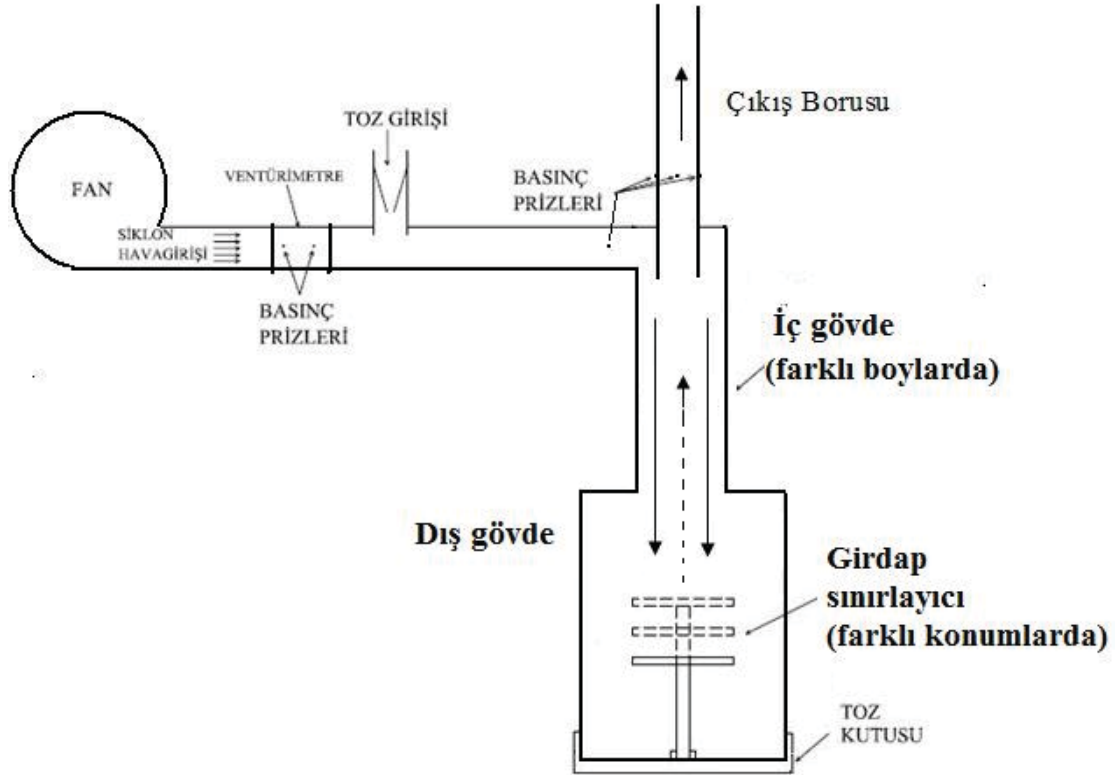
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada üflemeyle çalışan siklon kullanılmıştır. Siklona hava vantilatör yardımıyla üflenmekte ve kompresör yardımıyla oluşturulan hava jeti ile toz havanın içerisine püskürtülmektedir. Bu işlem sonucunda elde edilen tozlu hava siklona teğetsel olarak giriş yapmakta ve santrifüj kuvvetler yardımıyla savrulan karışımdan tozlar ayrılmakta girdabın ortasında oluşan boşluktan temiz hava çıkış bacası yardımıyla dışarı atılmaktadır. Toplanan tozlar toz kutusu sökülerek boşaltılmaktadır. Hava debisi ventürimetre yardımıyla ölçülerek kontrollü şekilde verilmektedir. Fraksiyonel verimlerin hesaplanması ve siklonların karakteristik eğrilerinin oluşturulması için kritik çap hesaplanması için deneyden önce ve sonra kullanılan tozun partikül analizi MASTER SIZER2000 modeli partikül analiz cihazı ile yapılmaktadır. Siklonların sınıflandırılması için çok önemli bir parametre olan basınç kayıplarının belirlenmesi için siklonun gövdesine açılan deliklere yerleştirilen basınç prizlerinden dijital basınç ölçer yardımıyla ölçüm alınmaktadır. Aynı zamanda ventürimetrede ki basınç düşümü de aynı basınç ölçüm cihazı ile yapılmaktadır. Deneylerde partikül dağılımının uygunluğundan dolayı küllü çimento tercih edilmiştir.

Yapılan çalışmalar da klasik siklondan farklı olarak yeni bir tasarımla geometri üzerinde değişiklik yapılmış siklon kullanılmıştır. Yapılan bu yeni tasarımda klasik siklondan farklı olarak konik kısım bulunmamaktadır. Konik kısım yerine siklon gövdesinden daha büyük çaplı silindirik bir gövde vardır. Bu tasarımla amaç konik kısmı kaldırarak havanın girdap şeklindeki akışıyla oluşan doğal konikliğin serbestçe yayılmasını sağlamak ve bu sayede yavaşlayan hava içerisindeki parçacıkların serbest düşme yaparak siklonun toplama verimini arttırmaktır. Yapılan deneylerde vantilatörden ayarlanarak farklı debilerde deneyler yapılmıştır. Kullanılan bu farklı debilerle birlikte siklon gövde boyu ve girdap durdurucu değiştirilerek farklı siklon boyları kullanılarak optimizasyon yapılması hedeflenmiştir. Sonuçların doğrulanması için deneyler farklı şartlar altında tekrarlanmıştır.

3.1. Deney Düzenegi

Teğetsel girişli yeni geometriye sahip siklonların performansının incelenmesi, klasik siklonlarla mukayese edilmesi ve optimizasyonu amacıyla bir deney düzenegi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deney düzeneginin şematik görünümü Şekil 3.1 de verilmiştir.



Şekil 3.1. Deney Tesisatının Şematik Görünümü

Şekil 3.1 de görülen deney düzeneginde siklona hava üflemesi için bir adet fan kullanılmaktadır. Giriş borusundaki hava debisini ölçmek için pitot tüpü ile kalibrasyonu yapılmış ventürimetre kullanılmaktadır. Toz verme ise ventürimetrede ki ölçümün etkilenmemesi için ventürimetrenin bitiminden hava jeti yardımıyla oluşturulan vakum sayesinde yapılmaktadır. Tozlu hava siklona giriş yaptıktan sonra satrifüj kuvvetlerin etkisiyle toz toplama kutusunda tozlar tutulur temiz hava ise çıkış borusundan tahliye edilir.



Şekil 3.2 Deneý düzenenęinin resmi

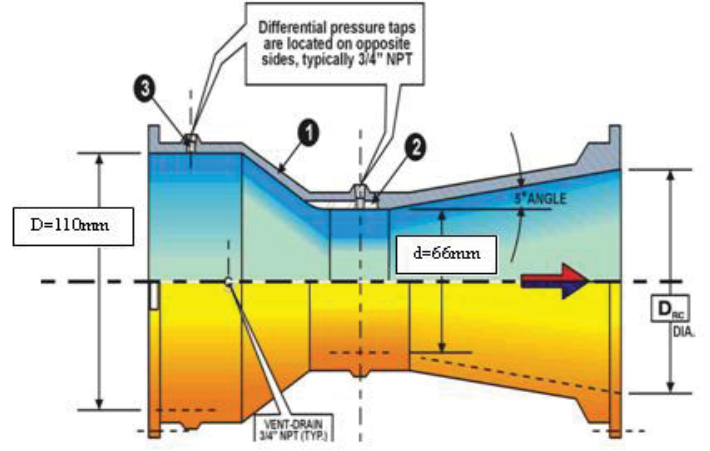
3.1.1 Fan



Şekil 3.3 Deneyde Kullanılan Fan

4,1kW gücünde 1600d/d yapan fan giriş boğazının daraltılması sayesinde farklı debilerde hava basmaktadır. Fanın çıkışına yerleştirilen adaptör vasıtasıyla hava bir boru içine aktarılır buradan da siklona gönderilir. Fanın hava basma gücünü siklonda oluşan basınç kayıpları etkilemektedir. Özellikle geometri üzerinde yapılan değişiklik sonucu ortaya çıkan basınç kayıpları fandan gelen havayı ezdiği için debilerde önemli değişikliklere yol açmaktadır. Siklon çıkış borusunun çapı da fanın üfleme kapasitesine etki eden önemli faktörlerden bir tanesidir. Kullanılan siklonun optimizasyonu kullanılan fan seçimi için de önemlidir. Basınç kayıpları fazla olan bir siklon tasarlandığında ve çıkış borusu da gereğinden küçük çapta seçildiği takdirde bu kayıpları yenmek için daha güçlü bir fana ihtiyaç duyulacaktır. Bu ihtiyaç beraberinde yüksek kurulum ve işletme maliyeti getirecektir. Bu durum hem öz kaynakların kullanılması hem de küresel rekabet ortamında olumsuz sonuçlara neden olacaktır.

3.1.2 Ventürimetre



Şekil 3.4 Ventürimetre

Deneyle süresince Şekil 3.4 te görülen ventürimetre ile debi ölçümü yapılmıştır. Kullanılan ventürimetrenin Şekil 3.5te ki pitot tüpü ve dijital debi ölçüm cihazı ile kalibrasyonu yapılmış, yapılan çalışmalar sonucunda %1' in altında farklılık gözlenmiştir. İşlem kolaylığı deney tesisatının boyutlarının küçültülmesi amacıyla deneylere ventürimetre ile devam edilmiştir. Ventürimetre boğazları 110mm ve 66mm dir. Bu boğazlara yerleştirilen basınç prizleri yardımıyla ventürimetre boğazındaki daralmadan dolayı oluşan basınç kaybı ölçülmüş ve bu basınç kaybından debi hesabına geçiş yapılmıştır.



Şekil 3.5 Pitot tüpü

3.1.3 Enjektör Sistemi



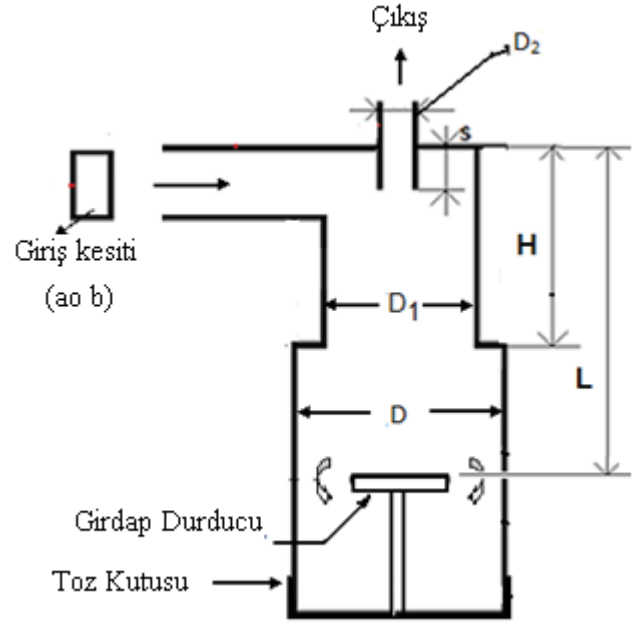
Şekil 3.6 Enjektör



Şekil 3.7 Rotametre

Yapılan çalışmalarda partikül dağılımı daha küçük olduğu için çimento ile çalışmaya karar verilmiştir. Fakat mevcut deney sistemi üzerinde bulunun toz besleme ünitesi çimentonun karakteristik özelliklerinden dolayı ihtiyaca cevap vermemiştir. Yapılan uzun çalışmalar ve farklı denemeler sonucunda enjektör imal edilmiştir. Enjektör sistemi istenen şekilde çalışmış ve deneylere devam edilmiştir. Enjektöre kompresör yardımıyla hava verilmektedir, enjektörün içinde bulunan nozul ile hava hızı arttırılmakta ve geniş bir alana salınmakta bu sayede vakum oluşturulmaktadır. Enjektöre açılan delikten oluşan vakum yardımıyla çimento gönderilmektedir. Konsantrasyonun korunması ve siklona giren havanın etkilenmemesi için enjektöre hava şekil 3.7 da gözüken rotametre ile kontrollü şekilde verilmiştir. Havayı kontrol etmek için rotametrenin girişine dairesel vana yerleştirilmiştir.

3.1.4 Siklon



Şekil 3.8 Deneylerde Kullanılan Siklon

Tablo 3.1 Siklon Ölçüleri

Siklon Ölçüleri	Boyut (mm)
Gövde Çapları	$D_1 = 190, D = 250$.
Girdap yönlendirici(Çıkış Borusu), D_2	50, 100, 150
Giriş Kesiti ($a_0 \times b$)	38x95
Silindir yüksekliği, H	490,680,885
Siklon yüksekliği, L	650, 810, 840, 970, 1000, 1045, 1130, 1160, 1205, 1290, 1320, 1365, 1480, 1525, 1685
Çıkış Borusu Dalma Yüksekliği, S	$S=b$

Deneyleerde Tablo 3.1 de ölçüleri verilen siklon kullanılmıştır. Her bir boy için üç farklı debi değerinde deneyleer yapılmıştır. Siklon boyları girdap durdurucunun ve siklon gövdesini oluşturan silindirin boylarının değiştirilmesiyle elde edilmiştir. Ventürimetre, siklonun giriş kısmı, çıkış borusu pvc den yapılmıştır. Siklon gövdesi ise pleksiglass borudan yapılmıştır. Bu malzemenin en önemli tercih sebebi şeffaf ve mukavemeti yüksek olmasıdır. Yapılan deneyleerde girdap uzunluğu ve sayısının tespit edilmesi, yüzeydeki birikmelerin görölmesi, girdabın bittiği noktanın gözlenmesi ve konsantrasyonun kontrolü için şeffaf malzeme tercih edilmiştir. şeffaf silindir gövdeler alüminyum flanşlarla birbirine tutturulmuştur. Alt kısım hem kapak hem de toz kutusu olarak tasarlanmıştır. Girdap durdurucu ise gelen havanın geri döndürölerek dışarı çıkmasını sağlamak için konulmuştur. Girdap durdurucunun çapı gövde çapı ile eşitir.



şekil 3.9 Farklı Gövde Boylarının Resmi



Şekil 3.10 Çıkış Bacası

Şekil 3.10 da görülen çıkış bacası siklona giren tozlu havanın merkezkaç kuvvetleri tozlar tutulduktan sonra kalan temiz havanın siklondan tahliye edildiği kısımdır. Siklondaki basınç kayıplarına doğrudan etkisi olduğu için çıkış borusunun çapının seçimi optimum değerlerde yapılmalıdır. Ayrıca çıkış borusunun dalma mesafesi de siklondaki basınç kayıpları ve toplama verimi ile doğrudan ilgisi olduğu için bu mesafede dikkatli seçilmesi gerekir. Literatürde dalma mesafesi için birçok çalışma mevcuttur. Bu deneylerde dalma mesafesi giriş kesitinin yüksekliğiyle eşit alınmıştır.

3.1.5 Dijital Ölçüm Cihazı



Şekil 3.11 Dijital Ölçüm Cihazı

Ventürimetre ve Siklon içerisinde oluşan basınçlar Şekil 3.11 de görülen Testo marka dijital ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Bu cihazla basınç, hız, debi ve nem ölçülebilmektedir. Basınçlar mm su sütunu cinsinden ölçülmektedir. Cihaz 1mm su sütunu hassasiyetinde ölçüm yapmaktadır, ancak hassas ölçümler için özel bir prob vardır. Bu prob sayesinde 0,1 mm su sütunu hassasiyetinde ölçüm yapılmaktadır. Ayrıca cihaz bilgisayara bağlanmakta ve yapılan ölçümler grafik olarak bilgisayara aktarılmakta, belirli süreler için maksimum, minimum ve ortalama değerler alınabilmektedir. Aynı zamanda yapılan ölçümler cihaza kaydedilebilmekte ve istenirse çıktı alınabilmektedir.

3.1.6 Partikül Analiz Cihazı

Kuru ve ıslak tip numunelerle ölçüm yapabilen Partikül Analiz cihazı ve yardımcı üniteleri Şekil-2'de görülmektedir. Mastersizer 2000 modeli MALVERN marka analiz cihazı 0,02 μm ile 2000 μm arasındaki partiküllerin boyutlarını ölçebilmektedir. Ölçümleri lazer ışını yardımıyla yapmaktadır. Cihaz ölçümde, iki farklı dalga boyuna sahip mavi ve kırmızı lazer ışını kullanmaktadır. Partiküllere çarparak saçılan lazer ışınları detektörlerle algılanmaktadır. Ölçümleri iki farklı teoriye göre yapabilmek mümkündür . Bunlar MIA ve Fraunhofer teorileridir, MIA teorisinde ölçüm yapılan malzemenin kırılma indisleri girilmelidir ve her malzeme için bu değer farklıdır. Fraunhofer teorisine göre ise ölçümde malzemelerin kırılma indisine ihtiyaç yoktur. Cihaz her iki teoriye göre de ölçüm yapabilmekte ve sonuçlar karşılaştırılabilmektedir.



Şekil 3.12 Partikül Analiz Cihazı

Cihaz beş üniteden meydana gelmektedir;

- 1) Lazer Ünitesi
- 2) Kuru Ünite (SCIROCO 2000)
- 3) Islak Ünite (HYDRO 2000MU)

- 4) Kompresör ve Vakum(toz toplayıcı) ünitesi
- 5) Bilgisayar Ünitesi

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

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



Şekil 3.13 Kuru (SCIROCO 2000) ve ıslak (HYDRO 2000MU) üniteler

3.2 Deney Yöntemi

Deneyle laboratuvar ortamında mümkün olduğunca hassas şekilde yapılmıştır. Sonuçların doğruluğunun sağlanması için bütün deneylere başlanmadan aynı şartların oluşması sağlanmış, bir önceki deneyin etkileri tamamen ortadan kaldırıldıktan sonra diğer deneye geçilmiştir. Siklon parametrelerinin etkisini daha net görebilmek için Bursa Çimentonun ürettiği tanecik boyutu daha ince olan küllü çimento kullanılmıştır. Bu çimentonun taneciklerinin %5' i 1 mikronun altındadır. Sonuçlardan anlamlı bir grafik oluşturabilmek için her bir parametre üç farklı debide incelenmiştir. Bu debiler maksimum, minimum ve ortak sabit bir değer olmak üzere üç debidir. Siklonda oluşan basınç kayıpları fandan gelen havaya karşı koyduğu için motor gücü de sabit olduğundan basınç kayıplarının karşı direnci maksimum ve minimum debi değerlerinin parametrelere göre farklılık göstermesine sebep olmuştur. Parametreleri daha doğru şekilde mukayese edebilmek için orta değer olarak 257,43 m³/sa belirlenmiş ve her bir parametrede bu değerde ölçüm alınmıştır.

Deneylede 250' şer gram küllü çimento kullanılmıştır. Çimentonun nemden etkilenmemesi için kullanılacak numuneler 250' şer gram halinde naylon poşetlere konulmuştur. Siklona toz vermeden basınç kayıpları ölçülmüş toz verme işlemine başlanırken ölçüm devam ettirilmiştir. Tozlu halde ölçümün devam ettirilmesinin sebebi konsantrasyonun derecesini ayarlamak ve konsantrasyondan kaynaklanan basınç kayıplarının önüne geçilmeştir. Sabit bir konsantrasyona gelindikten sonra ölçüm bitirilip toz verme işlemine devam edilir. 250 gr çimento 15 ile 25 dk arasında verilmektedir. Bu farklılığın sebebi tüm deneylede aynı konsantrasyonda toz verilmesidir. Aynı miktarda toz düşük debilerde daha uzun süre de verilmektedir.

Yapılan deneyle de işlem kolaylığı açısından her bir silindir yüksekliğinde (H) beş farklı girdap durdurucu yüksekliği ile üçer farklı debide deneyle yapılmıştır. Girdap durdurucunun değiştirilmesiyle farklı siklon yüksekliği (L) elde edilmiştir. Bu işlemler bittikten sonra diğer silindir boylarına geçiş yapılmıştır.

Toz verme işlemi tamamlandıktan sonra siklon bir süre daha çalıştırılmaya devam edilip farklı noktalarda oluşacak toz birikintilerinin önüne geçilmiştir. Siklonun toplama verimini hesaplamak için toz kutusunda biriken tozlar fanın tamamen durmasından sonra boşaltılarak hassas terazi ile tartılarak girişteki ağırlığı ile karşılaştırılarak genel verim hesaplanır. Ayrıca toplanan tozdan numune alarak partikül analizi yapılır ve girişteki numune ile karşılaştırarak fraksiyonel verim eğrileri oluşturulur. Oluşturulan bu eğriler sayesinde hangi partikül çapının yüzde kaç verimle tutulduğu hesaplanır. Daha sonra fraksiyonel verim eğrilerinden o siklonun kritik çapı hesaplanır ve tasarlanan yeni siklonun karakteristik eğrileri oluşturulur. Bu işlemler her parametreler için ayrı ayrı tekrarlanmıştır.

4. Bulgular ve Tartışma

Yeni tasarlanan siklon geometrisi farklı parametrelerde denenmiştir. Aynı geometride farklı debilerde deney yapılmış debinin artmasıyla basınç kayıpları ve verimin arttığı gözlenmiştir. Üç farklı silindir boyunda beş farklı girdap durdurucu yüksekliğinde toplam on beş siklon boyunda (L) deney yapılmıştır.

Bu deneylerde farklı siklon boylarının verime etkisi görülmüştür. Ayrıca sonuçlar klasik siklon geometrileriyle karşılaştırılmış ve daha yüksek verim sağladığı görülmüştür. Ancak bununla beraber basınç kayıplarında da artış olmuştur.

4.1 Deneysel Hesaplamalar

Deneyselerde ventürimetrede ölçülen basınç kaybı Δh_v (mmSS) , kanaldaki akışkan debisini bulmamızı sağlar, hesaplanan bu debi değerine rotametrede okunan debi değeri de eklenerek siklon girişindeki toplam debi hesaplanır. Giriş kesitindeki debi değerinden ise girişteki hıza geçiş yapılır.

Bernoulli ilkesinden faydalanılarak debi Q;

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

$$A_0 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(66 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 3,42 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (4.2)$$

$$\beta = \frac{d}{D} = \frac{66}{110} = 0,6 \quad (4.3)$$

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

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

Bu değerler formülde yerine yazılarak m^3/sa cinsinden debi değerine ulaşılmıştır ve böylece giriş hızı da kesite bağlı olarak bulunmuştur.

V_g değeri;

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

K (basınç düşüm katsayısı) değeri;

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

Denkleminde kullandığımız ΔP değerleri deney esnasında siklondaki tozlu haldeki basınç kaybıdır.

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

Verim (η) ise ;

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

Silindir Yüksekliği (H);

$$H_1 = 490 \text{ mm}$$

$$H_2 = 680 \text{ mm}$$

$$H_3 = 885 \text{ mm}$$

Girdap Durdurucu ile Silindir Arasındaki Yükseklik;

$$L_1 = 160 \text{ mm}$$

$$L_2 = 320 \text{ mm}$$

$$L_3 = 480 \text{ mm}$$

$$L_4 = 640 \text{ mm}$$

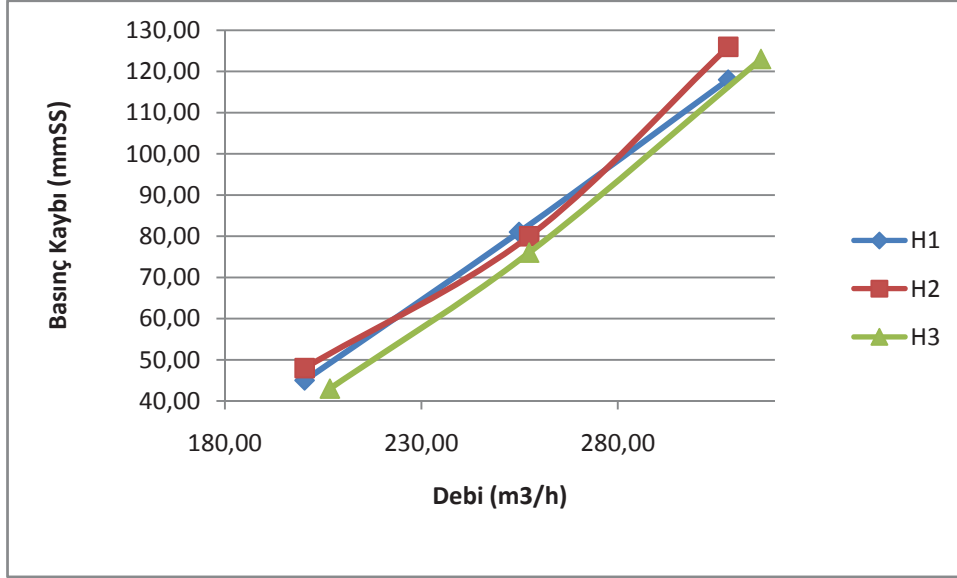
$$L_5 = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Siklon Yüksekliği (L)} = H_x + L_x$$

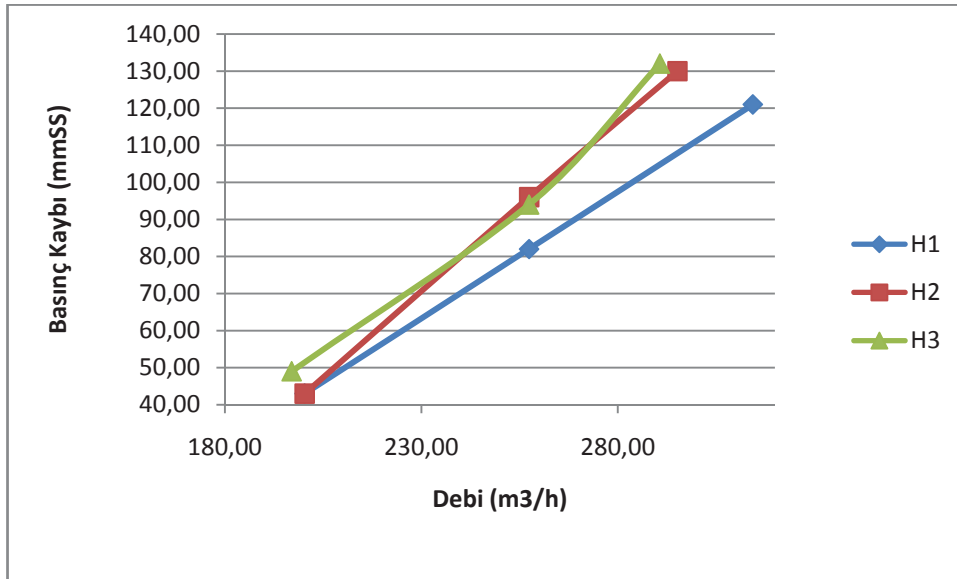
Sonuçlar debi-verim, debi-basınç kaybı, verim-silindir boyu, verim-girdap durdurucu mesafesi, debi- d_{krt} , silindir boyu- d_{krt} , girdap durdurucu- d_{krt} şeklinde grafik halinde verilmiştir.

4.2. Silindir Boyunun Basınç Kaybına Etkisi

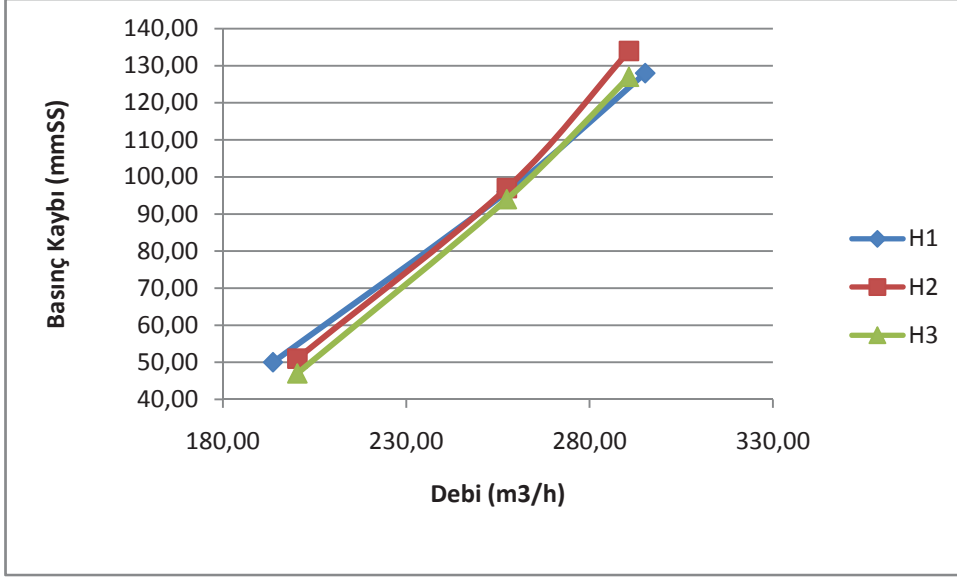
Silindir boyunun etkisi incelenirken üç farklı boy denenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafik olarak hazırlanmıştır.



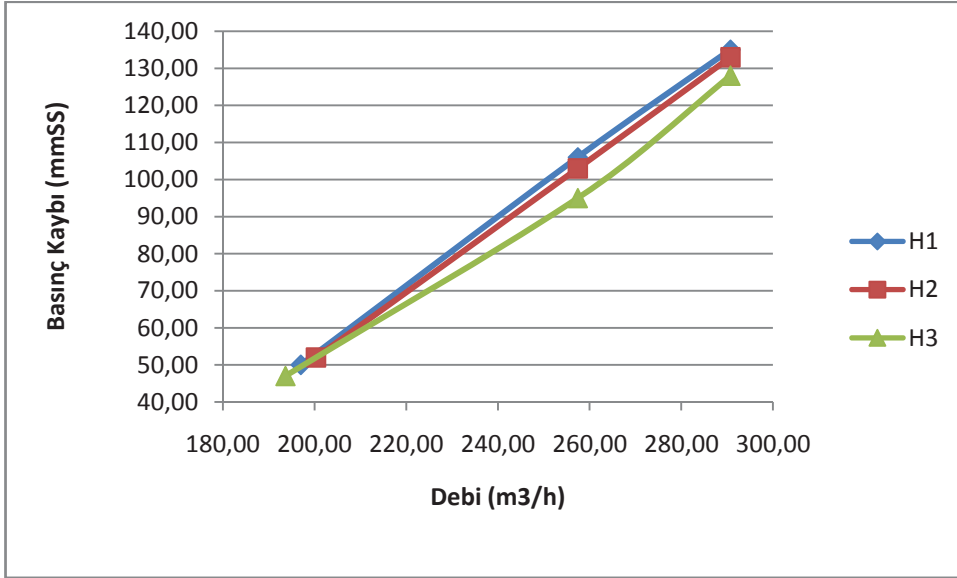
Grafik 4.1 L₁ de Basınç Kaybı-Debi Grafiği



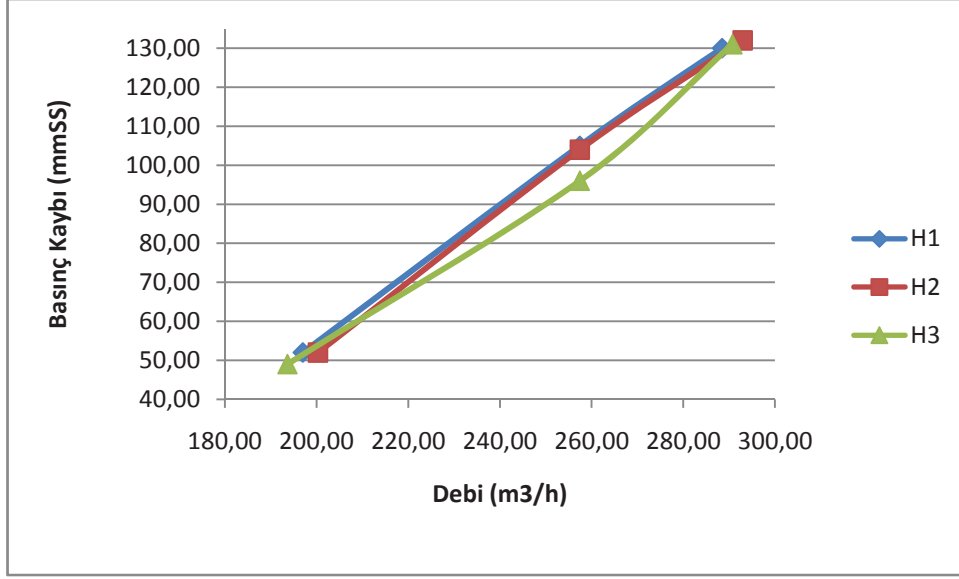
Grafik 4.2 L₂ de Basınç Kaybı-Debi Grafiği



Grafik 4.3 L₃ de Basiñ Kaybı-Debi Grafiği



Grafik 4.4 L₄ de Basiñ Kaybı-Debi Grafiği

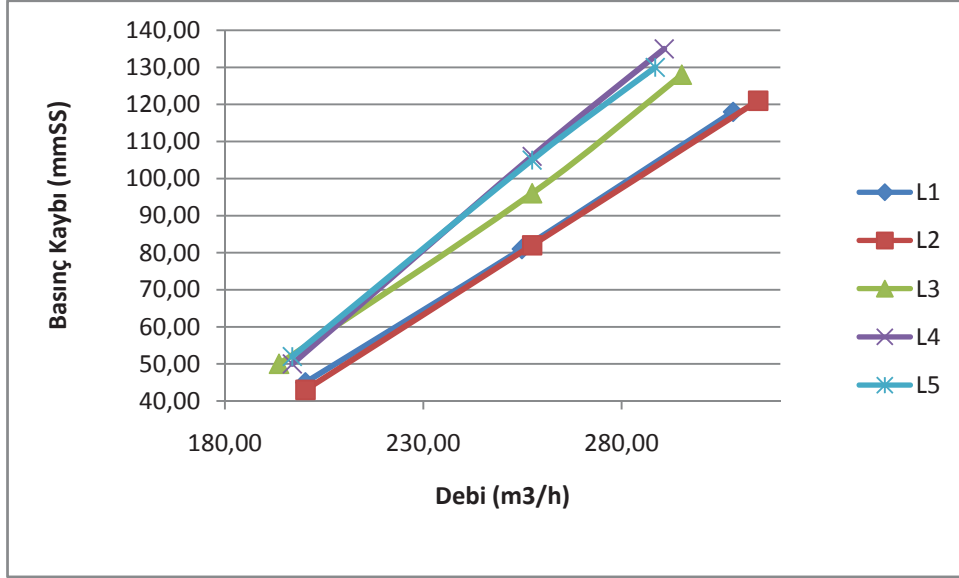


Grafik 4.5 L₅ de Basınç Kaybı-Debi Grafiği

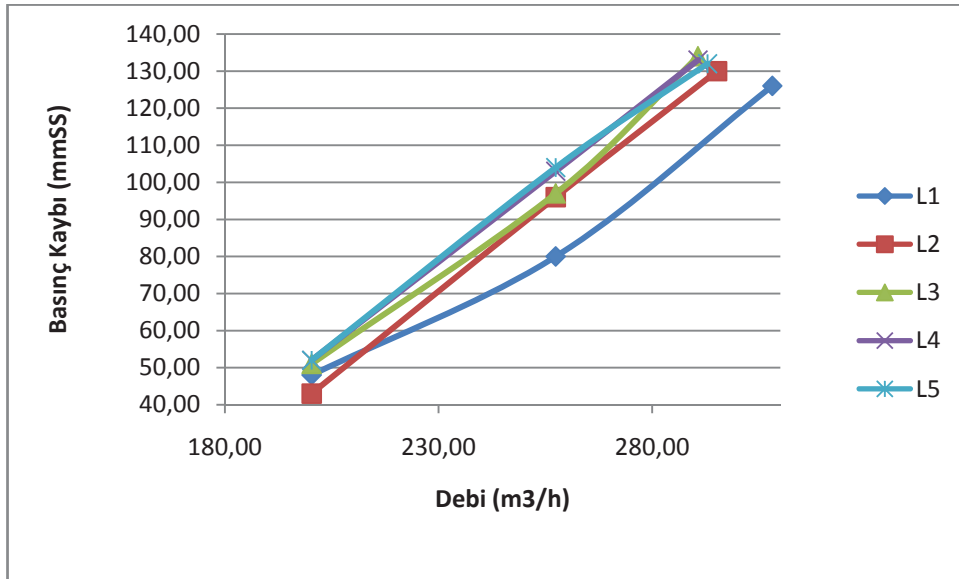
Grafiklerde de görüldüğü gibi silindir boyunun değiştirilmesi basınç kayıplarında önemli bir değişikliğe sebep olmamıştır. İstatik sel olarak $\alpha=0,05$ ' e göre uygulanan T testi sonucunda değişikliğin önemli olmadığı görülmüştür. Basınç kayıplarında ki en büyük değişim debi değişimiyle olmaktadır.

4.3. Girdap Durdurucu Yüksekliğinin Basınç Kaybına Etkisi

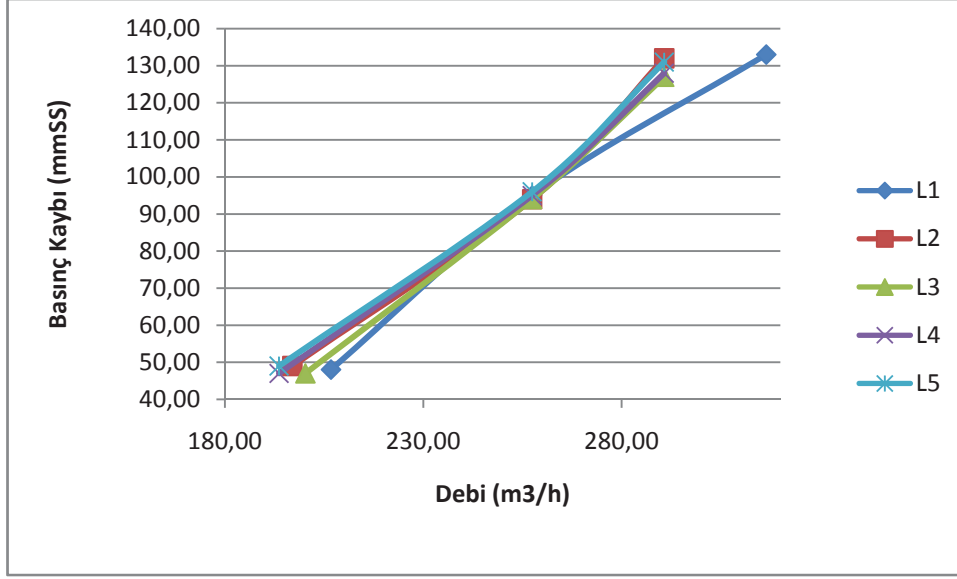
Girdap durdurucu boyunun etkisi incelenirken üç farklı boy denenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafik olarak hazırlanmıştır.



Grafik 4.6 H₁ de Basınç Kaybı-Debi Grafiği



Grafik 4.7 H₂ de Basınç Kaybı-Debi Grafiği

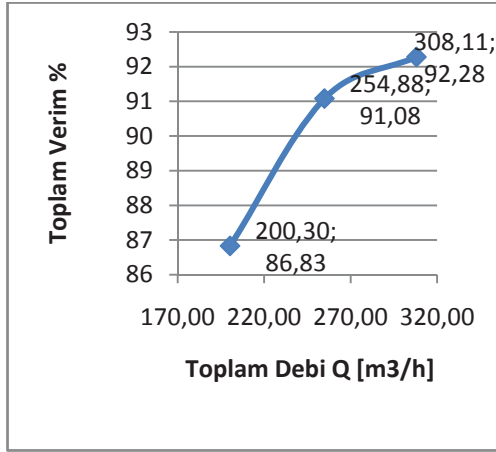


Grafik 4.8 H₃ de Basınç Kaybı-Debi Grafiği

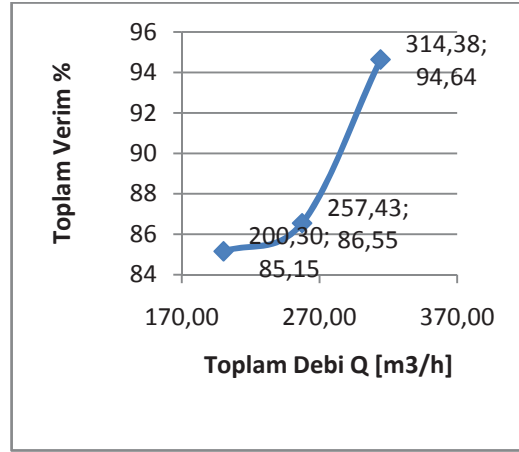
Girdap durdurucu boyunun basınç kayıplarına çok ciddi bir etkisi olmamıştır. Beklendiği gibi basınç kayıplarında en önemli değişikliğe debideki değişim yol açmıştır. Silindir boyunda da boydaki değişimin etkiliği olmadığı gözlenmiş benzer sonuçların girdap durdurucu boyunun etkisinde de görülmesi sonuçları teyit etmiş ve deney sonuçlarının doğruluğuna katkı sağlamıştır.

4.4 Debinin Siklon Toplama Verimine Etkisi

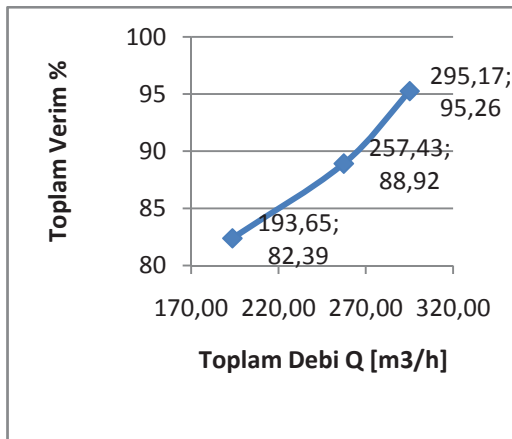
Deneyle her bir parametre için üç farklı debide yapılmıştır. Fanın ulaştığı maksimum debi, fanın ulaştığı minimum debi ve parametreleri daha doğru şekilde mukayese edebilmek için ortalama bir değer olan 257,43 m³/sa olmak üzere üç debide çalışılmıştır. Üç farklı silindir boyu ve beş farklı girdap durdurucu yüksekliğinde deney yapılmıştır. Toplam on beş farklı siklon boyu denemiştir. Her bir siklon boyu için üç farklı debiye göre sonuçlar grafikler halinde hazırlanmıştır.



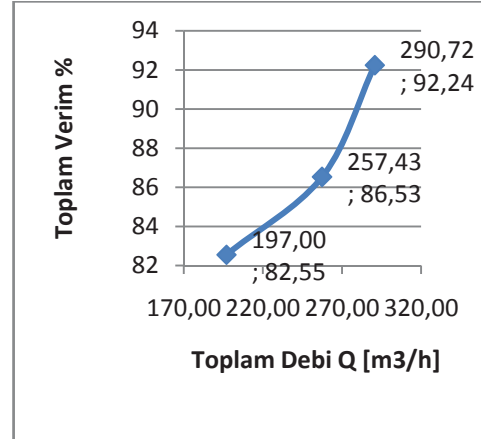
Grafik 4.9 H₁L₁ de Q - η grafiği



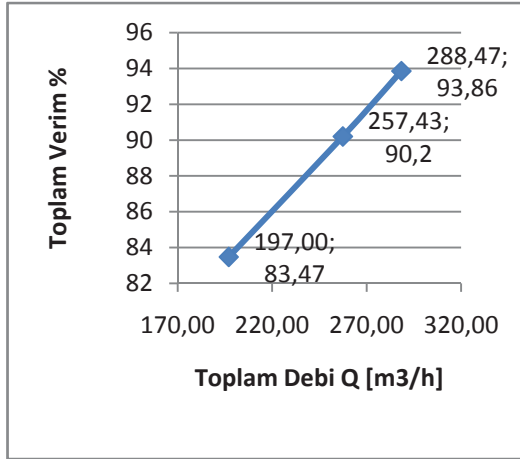
Grafik 4.10 H₁L₂ de Q - η grafiği



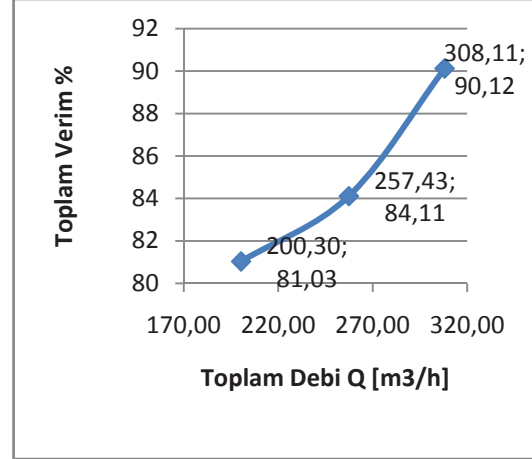
Grafik 4.11 H₁L₃ de Q - η grafiği



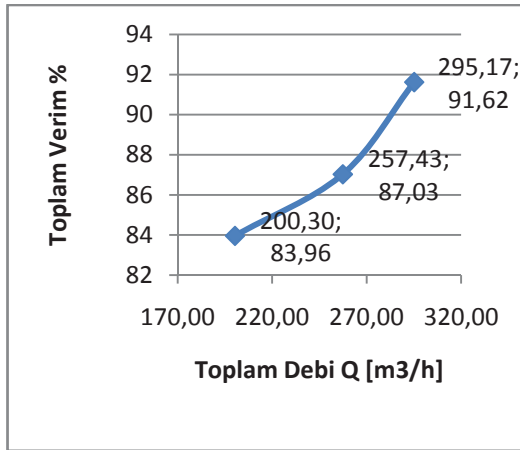
Grafik 4.12 H₁L₄ de Q - η grafiği



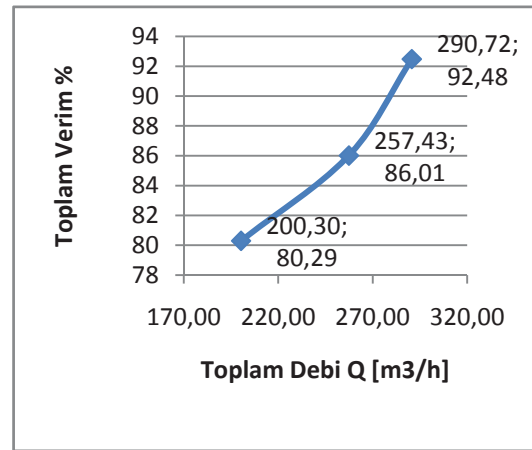
Grafik 4.13 H₁L₅ de Q - η grafiği



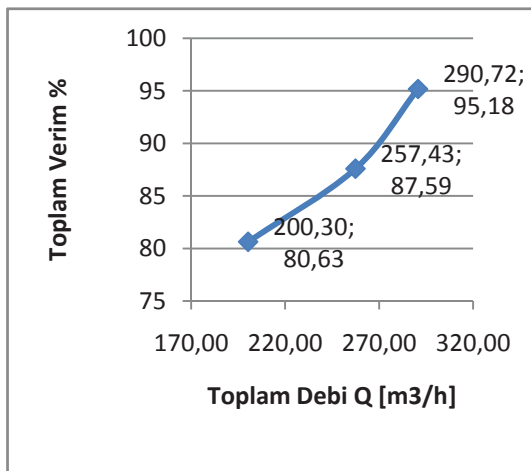
Grafik 4.14 H₂L₁ de Q - η grafiği



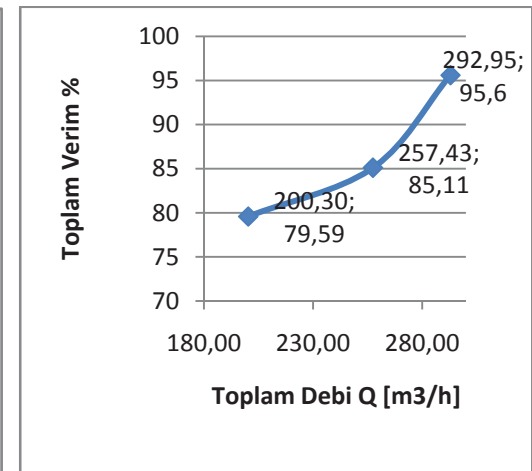
Grafik 4.15 H₂L₂ de Q - η grafiği



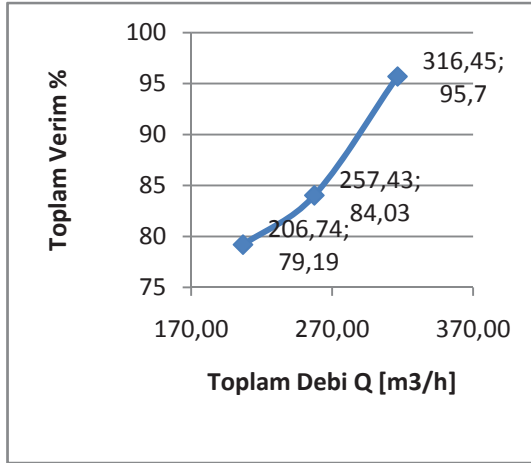
Grafik 4.16 H₂L₃ de Q - η grafiği



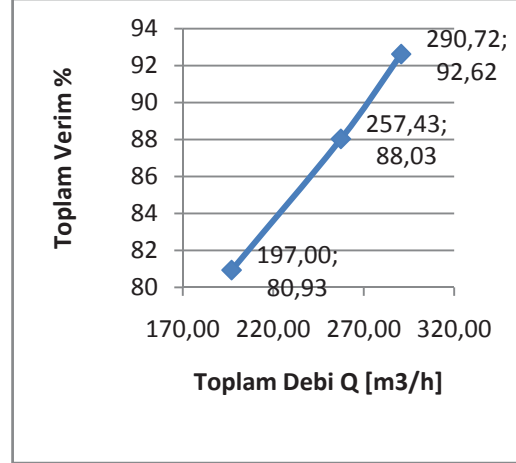
Grafik 4.17 H₂L₄ de Q - η grafiği



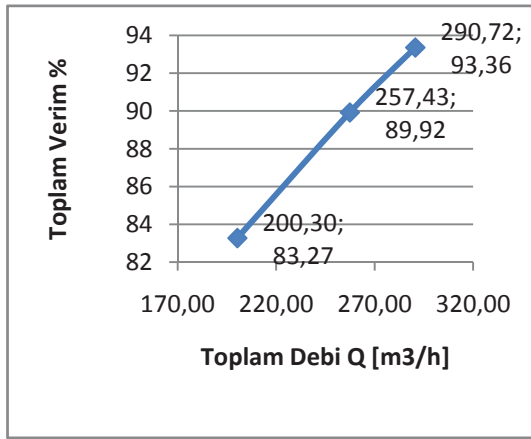
Grafik 4.18 H₂L₅ de Q - η grafiği



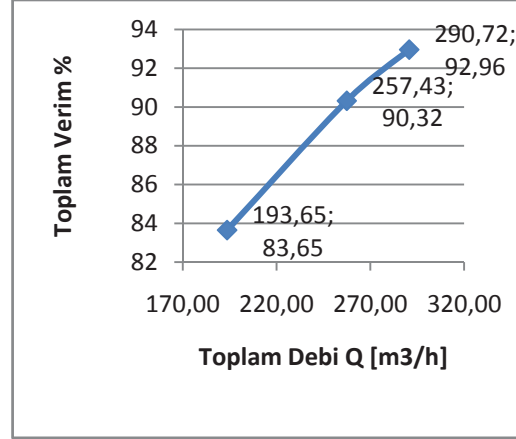
Grafik 4.19 H₃L₁ de Q - η grafiği



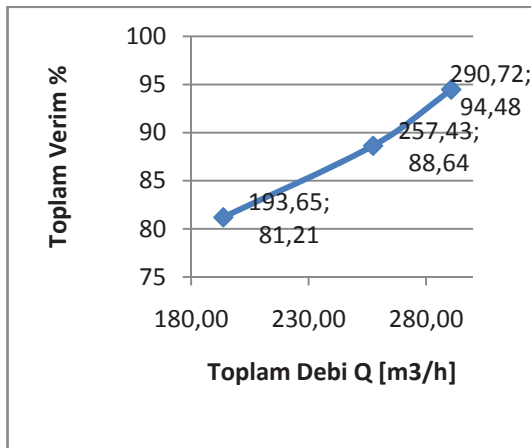
Grafik 4.20 H₃L₂ de Q - η grafiği



Grafik 4.21 H₃L₃ de Q - η grafiği



Grafik 4.22 H₃L₄ de Q - η grafiği



Grafik 4.23 H₃L₅ de Q - η grafiği

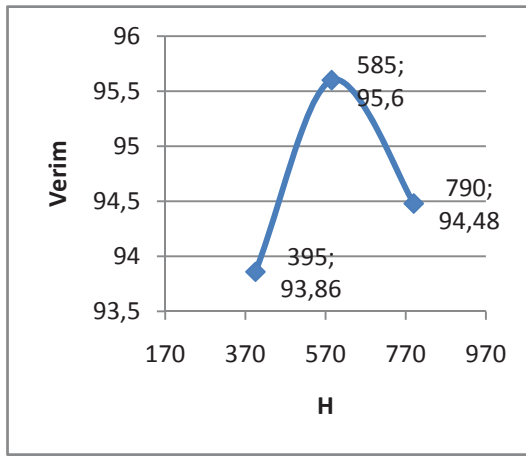
Yapılan deneylerin sonucunda grafiklerde de görüldüğü gibi bütün siklon boylarında debi artışıyla birlikte toplama verimi de artmıştır. Seçilen boy ne olursa olsun mümkün olan yüksek debide çalışmak verimi arttırdığı gözlenmiştir. Tüm grafikler benzer karakteristiktir. Farklılık gözükkenler ise maksimum ve minimum debilerin değişmesinden kaynaklanmaktadır.

Deneylede H₃L₁de maksimum debiye çıkılmıştır. Bu parametrede ölçülen debi 316,45 m³/sa olmuştur. Bu debide giriş kesitindeki hız ise 24,35 m/s olarak ölçülmüştür. Minimum debi ise 193,65 m³/sa olarak tespit edilmiş olup bu debi değerinde giriş kesitindeki hız ise 14,9 m/s değerini almıştır.

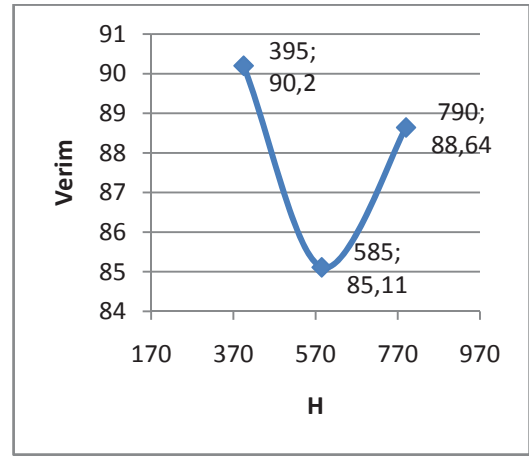
Ölçümler de en düşük verim %79,19 olarak, en yüksek debi ise %95,7 olarak kaydedilmiştir. Debide ki değişimler sonucu %16,5' lik bir verim artışı sağlanabilir.

4.5. Silindir Boyunun Verime Etkisi

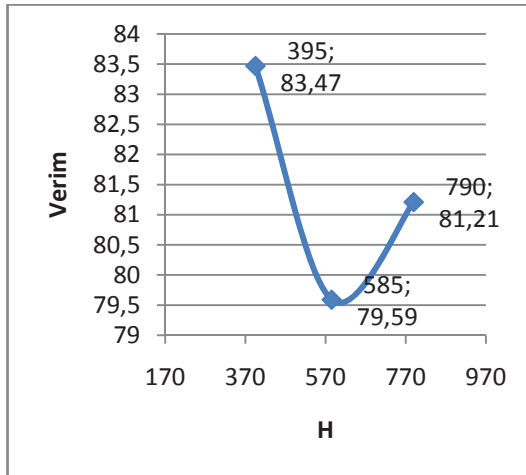
Üç farklı silindir boyundaki verim sonuçları grafik haline dönüştürülerek hazırlanmıştır. Silindir boyları kıyaslanırken aynı debi değerlerinde ve sırasıyla girdap durdurucu yüksekliğine göre sıralanarak hazırlanmıştır. Beş farklı girdap durdurucu yüksekliği ve üç farklı debi olmak üzere on beş farklı değer için silindir boyları karşılaştırılmıştır. Q_1 maksimum, Q_3 minimum, Q_2 ise $257,43 \text{ m}^3/\text{sa}$ olarak tanımlanmıştır.



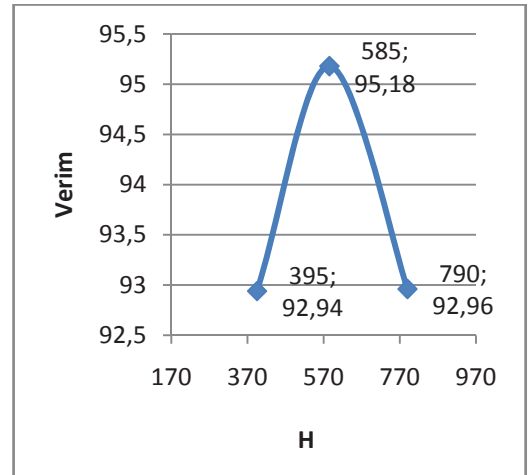
Grafik 4.24 Q_3 L_5 de $H - \eta$ grafiği



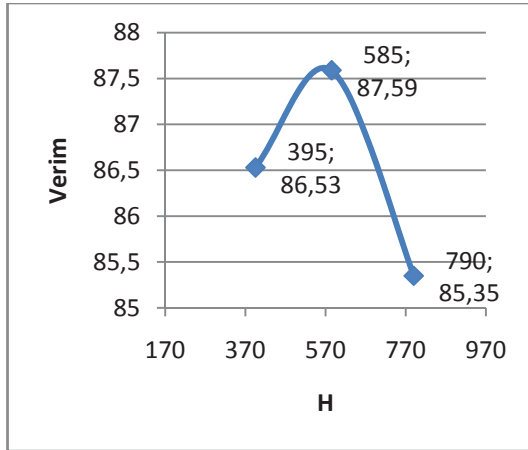
Grafik 4.25 Q_2 L_5 de $H - \eta$ grafiği



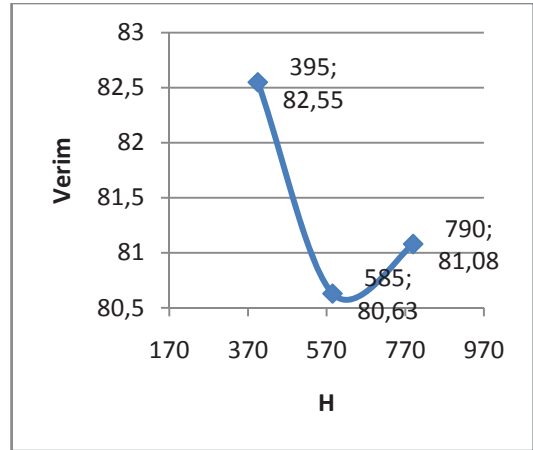
Grafik 4.26 Q_1 L_5 de $H - \eta$ grafiği



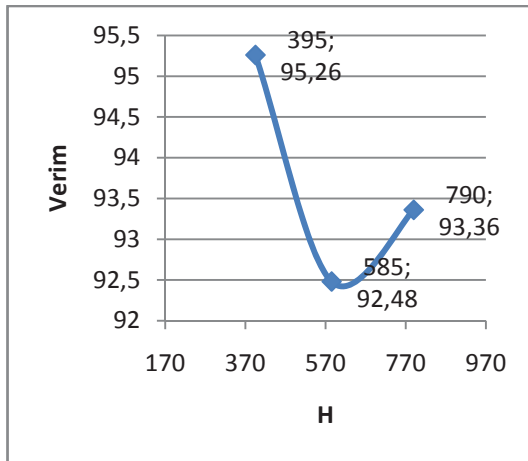
Grafik 4.27 Q_3 L_4 de $H - \eta$ grafiği



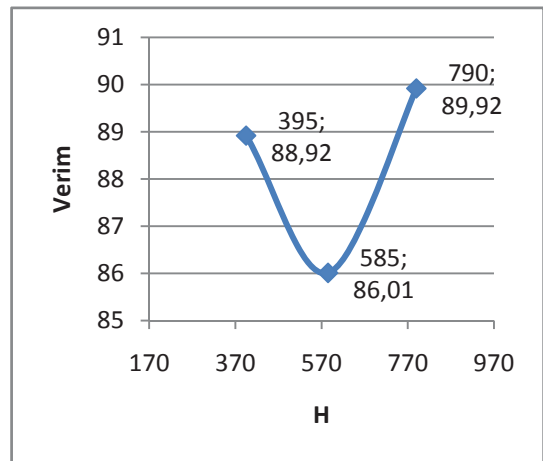
Grafik 4.28 $Q_2 L_4$ de H - η grafiği



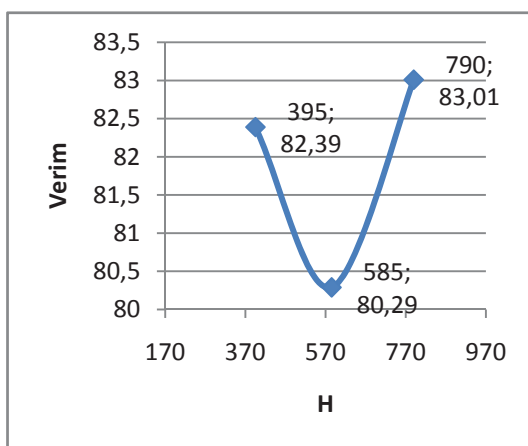
Grafik 4.29 $Q_1 L_4$ de H - η grafiği



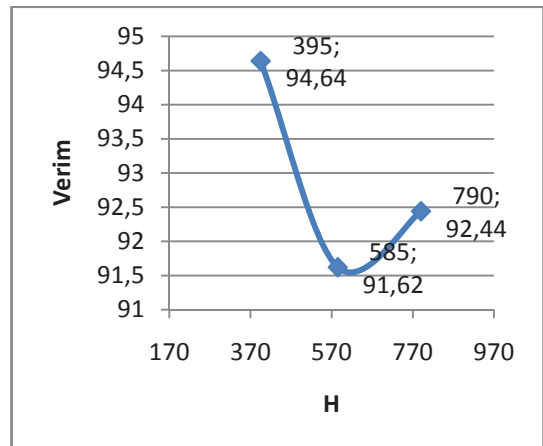
Grafik 4.30 $Q_3 L_3$ de H - η grafiği



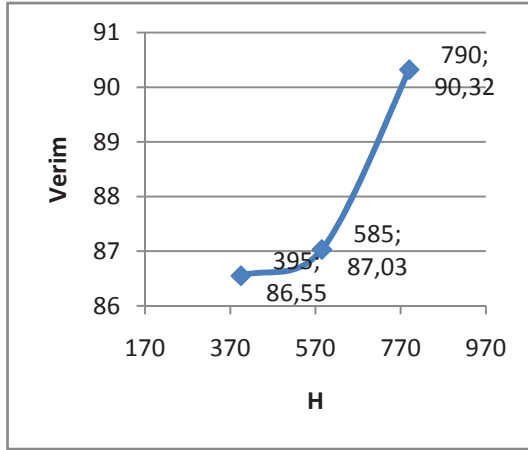
Grafik 4.31 $Q_2 L_3$ de H - η grafiği



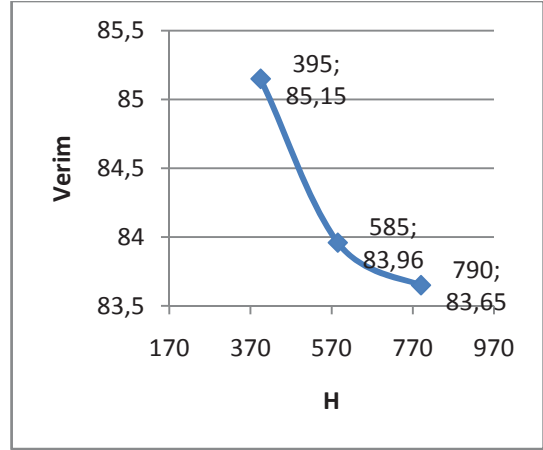
Grafik 4.32 $Q_1 L_3$ de H - η grafiği



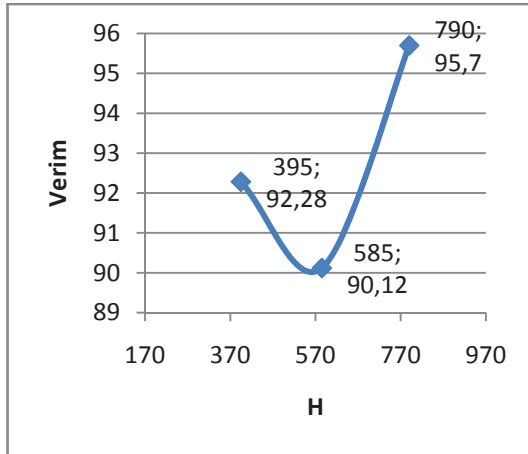
Grafik 4.33 $Q_3 L_2$ de H - η grafiği



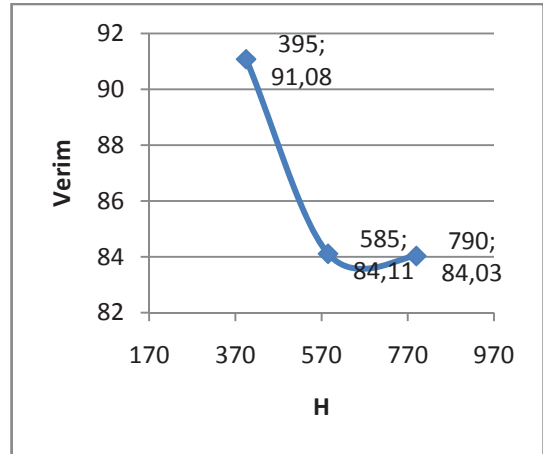
Grafik 4.34 $Q_2 L_2$ de H - η grafiği



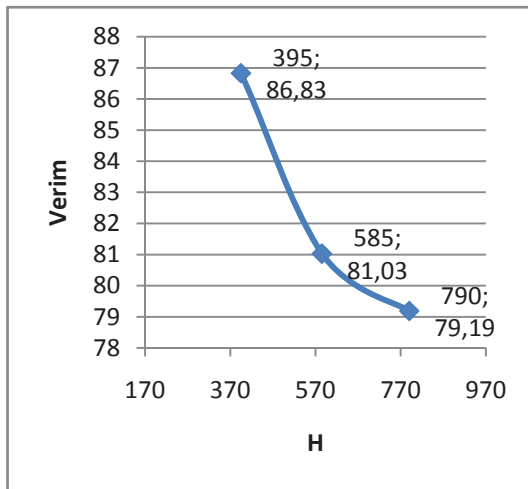
Grafik 4.35 $Q_1 L_2$ de H - η grafiği



Grafik 4.36 $Q_3 L_1$ de H - η grafiği



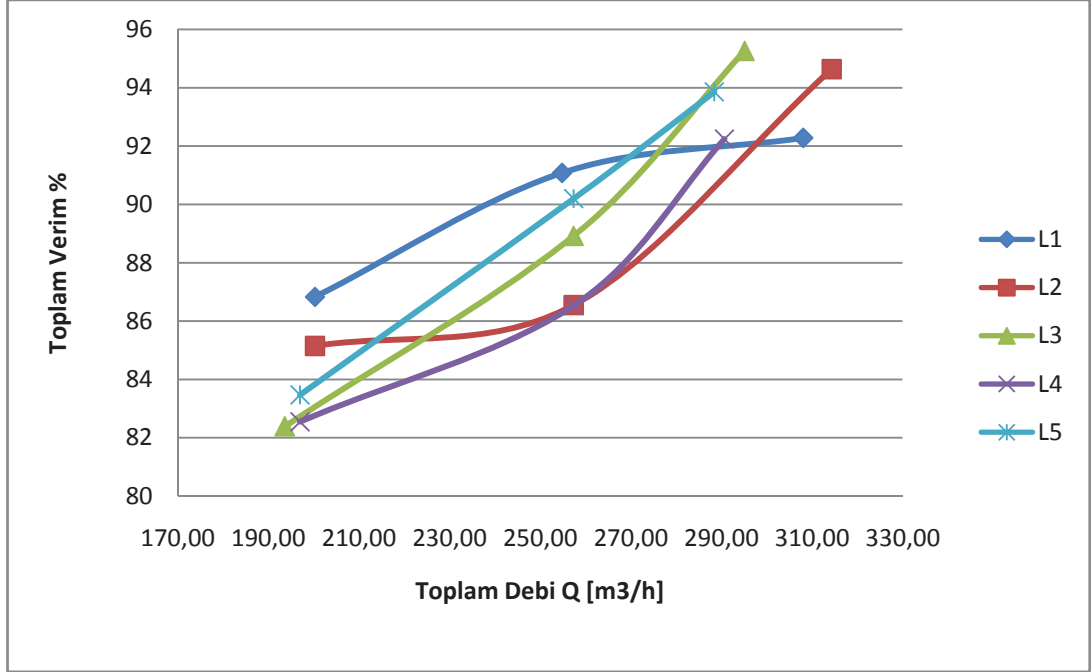
Grafik 4.37 $Q_2 L_1$ de H - η grafiği



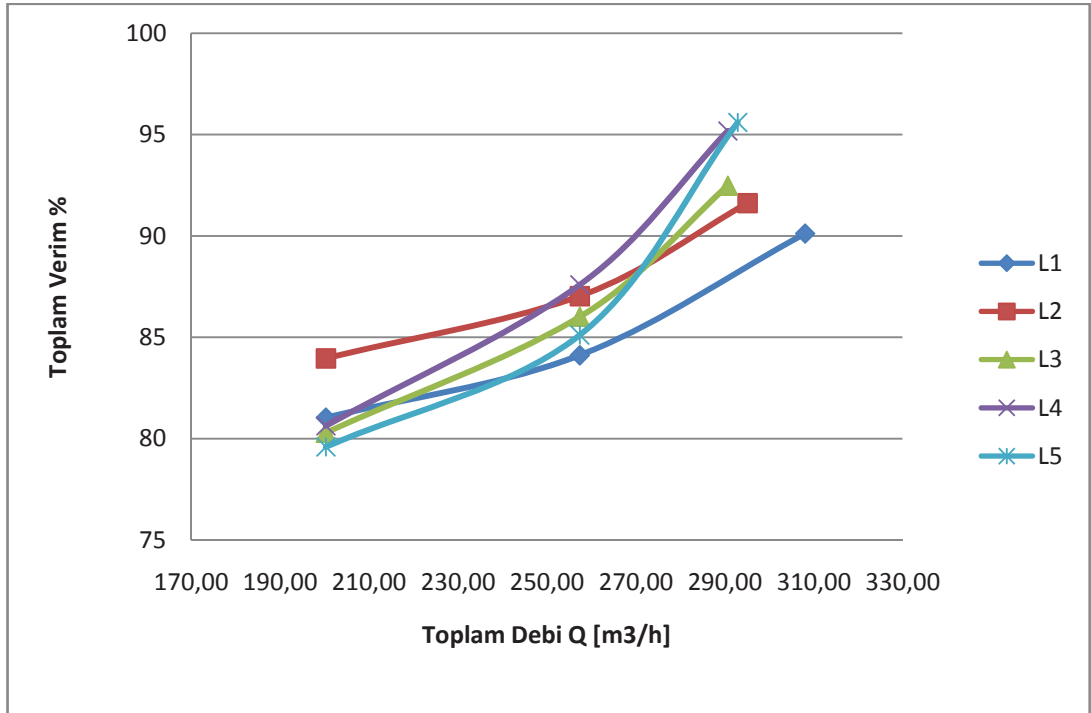
Grafik 4.38 $Q_1 L_1$ de H - η grafiği

Grafiklerden de anlaşılacağı gibi boylardaki değişimin verime çok ciddi bir katkı sağladığı söylenemez maksimum %2,5' lik bir değişim söz konusu, bölüm 4.3 te debinin etkisi %16,5 olarak belirtilmiş olup debideki değişim daha çok ön plana çıkmıştır. Özellikle yüksek debilerde kısa girdap durdurucu mesafelerinde girdap engelden aşağıya yüzeyden devam ettiği için verimde ki değişim artmıştır.

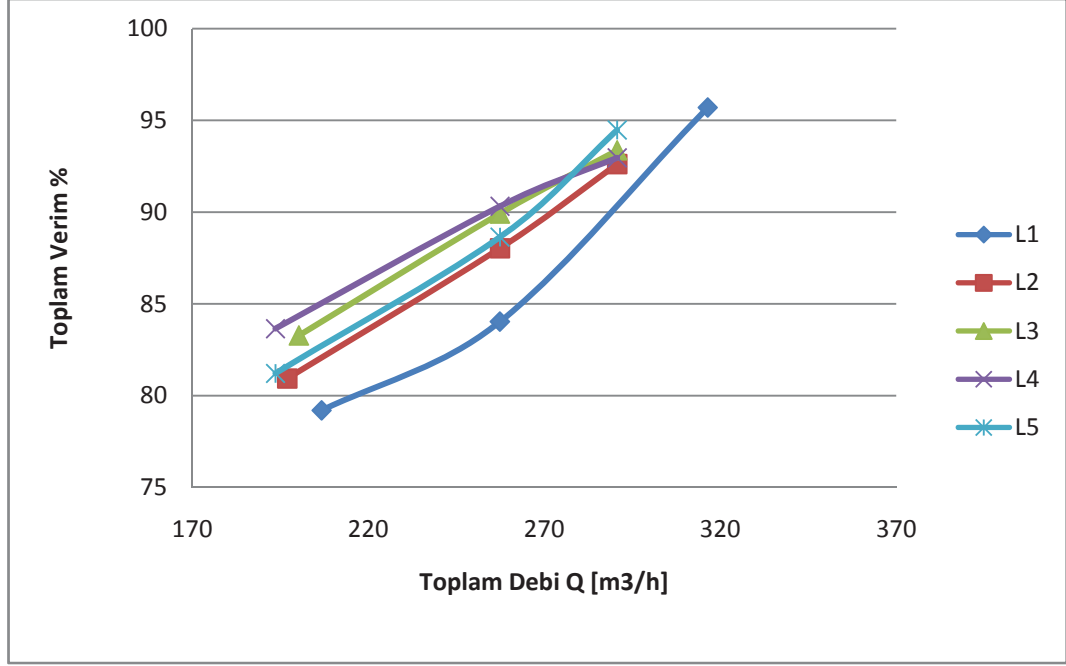
4.6. Girdap Durdurucu Yüksekliğinin Toplama Verimine Etkisi



Grafik 4.39 H₁ de Toplama Verimi-Debi Grafiği



Grafik 4.40 H₂ de Toplama Verimi-Debi Grafiği

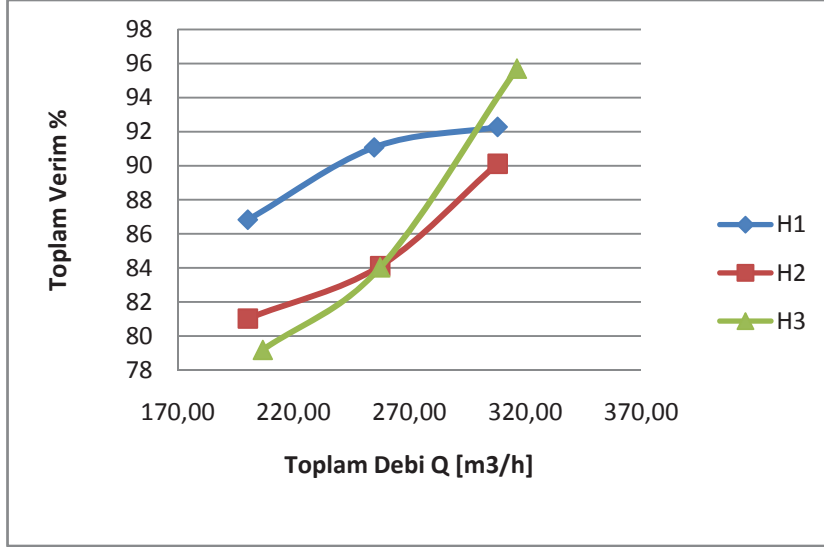


Grafik 4.41 H₃ de Toplama Verimi-Debi Grafiği

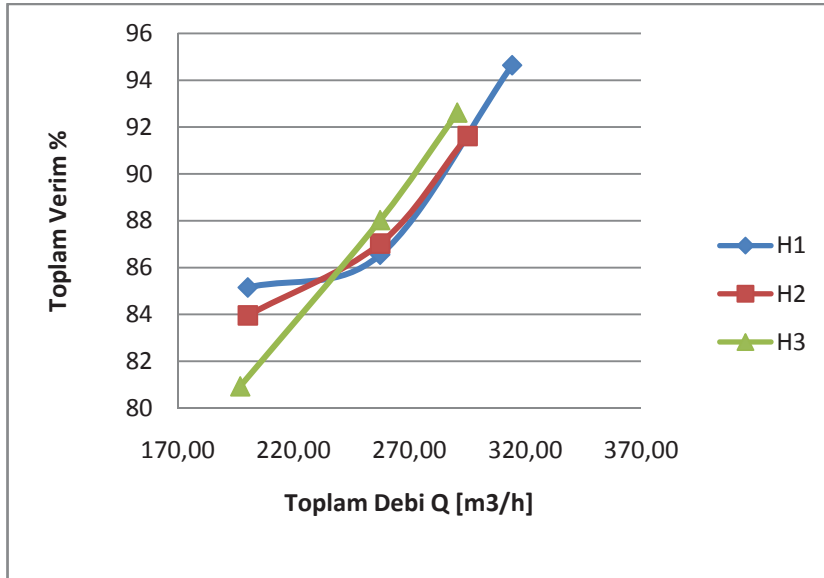
Grafiklerde de görüldüğü gibi bütün boylarda debinin artmasıyla verim de artmıştır. Fakat çok önemli artışlar yoktur. Farkın açılmasında basınç kayıplarından dolayı maksimum ve minimum debilerde oluşan farklılıkta vardır. Yaklaşık %3 civarında bir değişim söz konusudur. Girdap durdurucu yüksekliği arttığında siklonun toplam boyu uzadığı için verim az da olsa artmış fakat düşük debilerde boyun çok fazla uzaması sonucu siklona giren akışkanın enerjisi girdabı devam ettiremediği görülmüştür. Özellikle grafik 4.41 te Q₂ ve Q₃ te bu değişim daha belirgin şekilde gözlenmektedir. L₁ den L₄ de kadar verimde sürekli bir artış olmakta fakat L₅ e geçildiğinde girdap siklon boyunu tamamlamadan geri döndüğü için verim düşmektedir. Bu yüzden siklon optimizasyonu önemli olup boyu çok fazla uzatmak değil en verimli şekilde kullanmak gerekir.

4.7. Silindir Boylarının Toplama Verimine Etkisinin Karşılaştırılması

Bu bölümde silindir yüksekliklerinin toplama verimleri her bir girdap durdurucu yüksekliği için ayrı ayrı hazırlanmıştır. Beş farklı girdap durdurucu yüksekliğinde üç farklı silindir boyuna göre grafikler hazırlanmıştır.

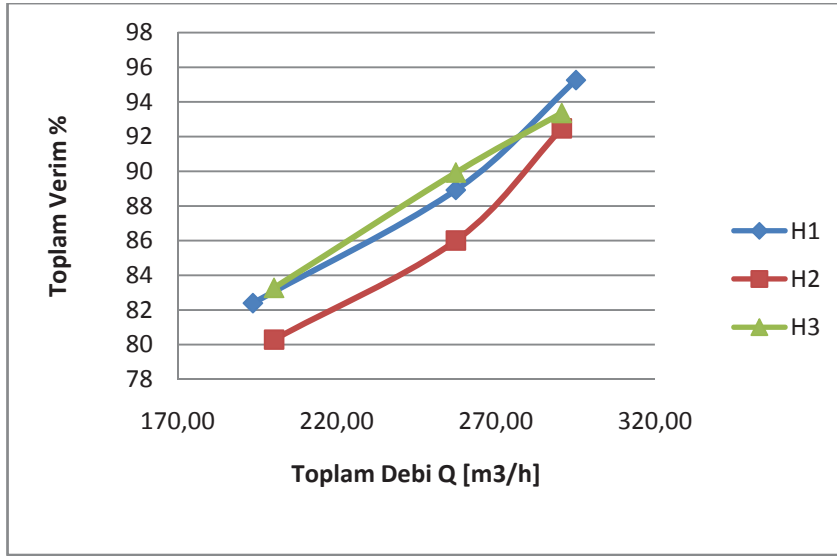


Grafik 4.42 L₁ de Toplama Verimi-Debi Grafiği

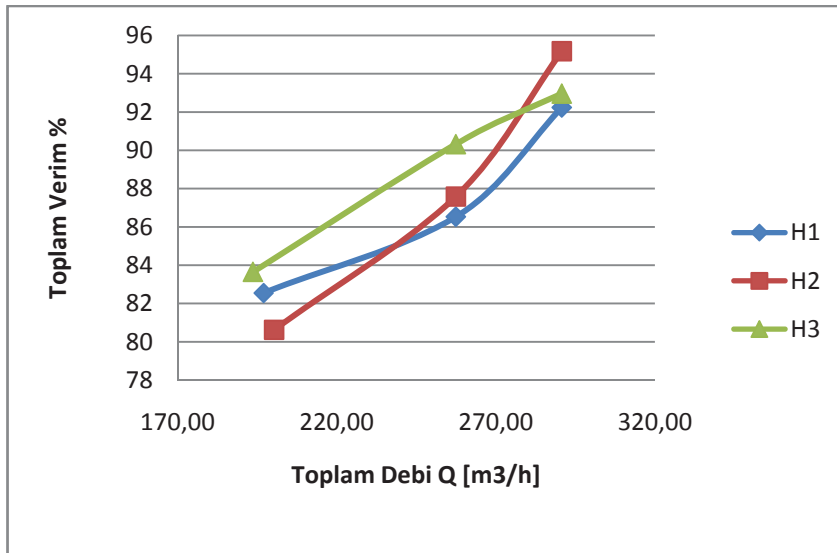


Grafik 4.43 L₂ de Toplama Verimi-Debi Grafiği

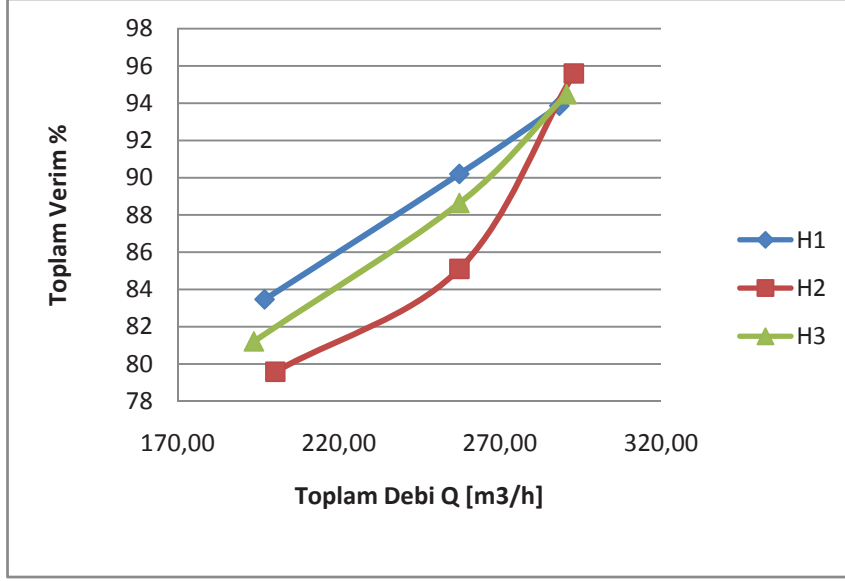
Bu grafikte Q_2 debisinde görüldüğü gibi silindir boyu arttıkça verim de artmıştır. Q_1 ve Q_3 te verimde ki gözükten büyük farkın sebebi bu debilerde ki değişimden kaynaklanmaktadır. Maksimum debide yaklaşık $20 \text{ m}^3/\text{sa}$ kadar bir fark vardır bu fark verimdeki değişime sebep olmaktadır. Grafik 4.42 ve 4.43 de Q_1 değerlerinde ise girdap durdurucu mesafesi kısa olduğundan girdap düzgün şekilde tamamlanamadığından boyun armasıyla verim düşmüştür. Bunun temel sebebi girdabın bozulmasıdır.



Grafik 4.44 L_3 de Toplama Verimi-Debi Grafiği



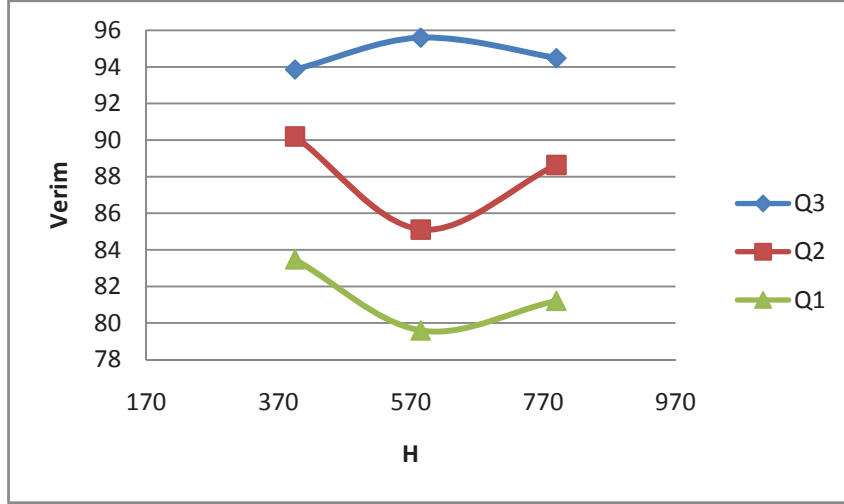
Grafik 4.45 L_4 de Toplama Verimi-Debi Grafiği



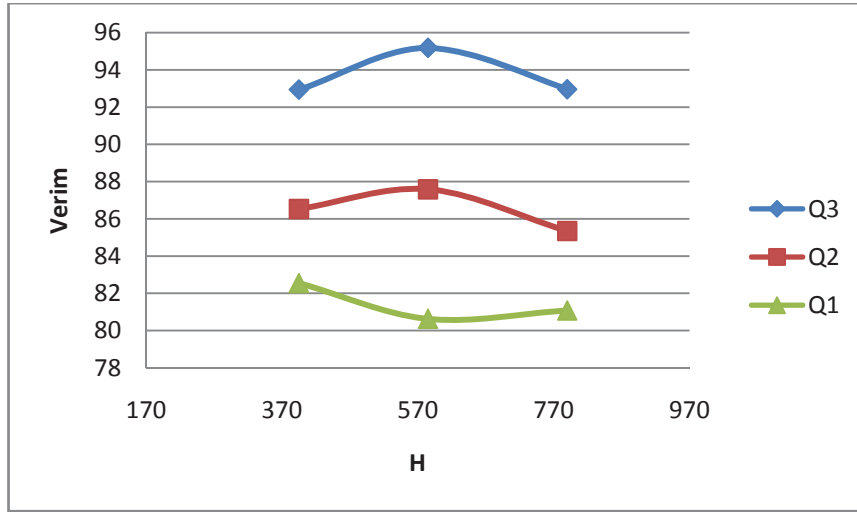
Grafik 4.46 L₅ de Toplama Verimi-Debi Grafiği

Grafik 4.45 da Q₂ debisinde görüldüğü gibi boy uzadıkça verim artmıştır. Aynı durum grafik 4.46 ta yoktur çünkü girdap durdurucu mesafesi çok fazla arttırıldığı için siklonun enerjisi girdabı aşağı kadar indirmeye yetmemiş dolayısıyla girdap tamamlanamadan çıkışa yönelmiştir. Bu yüzden siklonların konik kısımları yeni tasarlanan siklonun girdap durdurucu yüksekliğinde sürekli artış olumlu sonuç vermemektedir. Optimum noktayı geçtikten sonra verim düşmeye başlamaktadır.

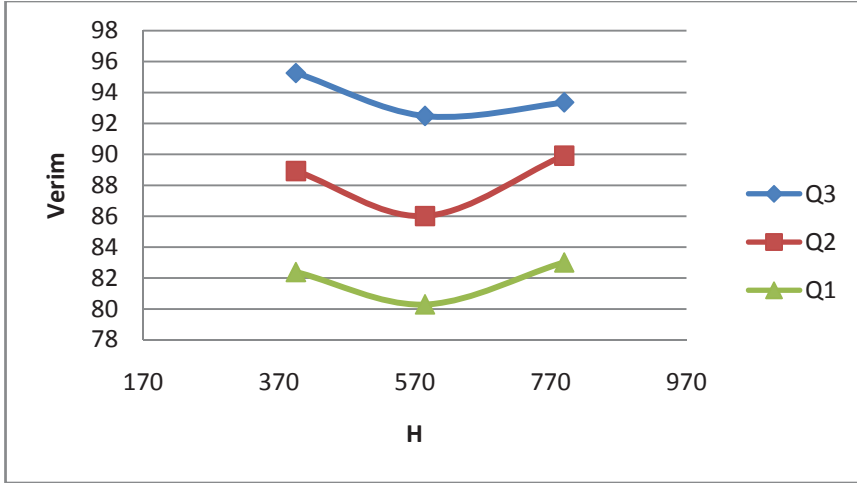
4.8. Debinin Toplama Verimine Etkisinin Karşılaştırılması



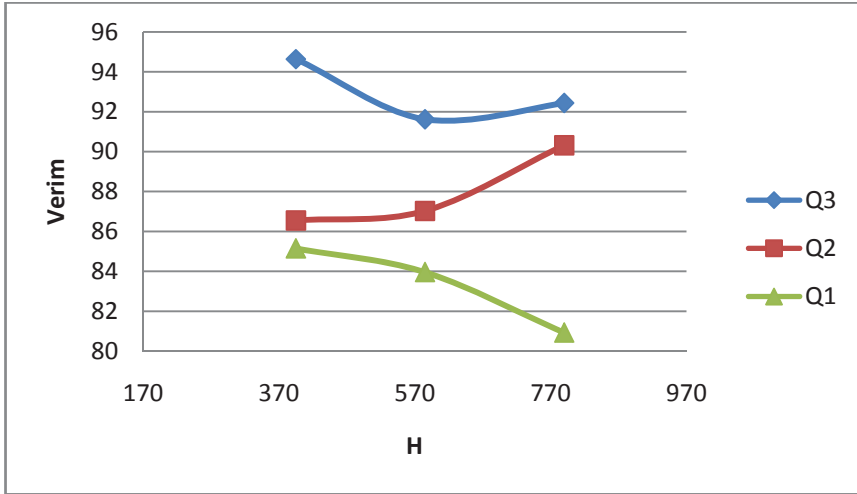
Grafik 4.47 L_5 de Toplama Verimi-H Grafiği



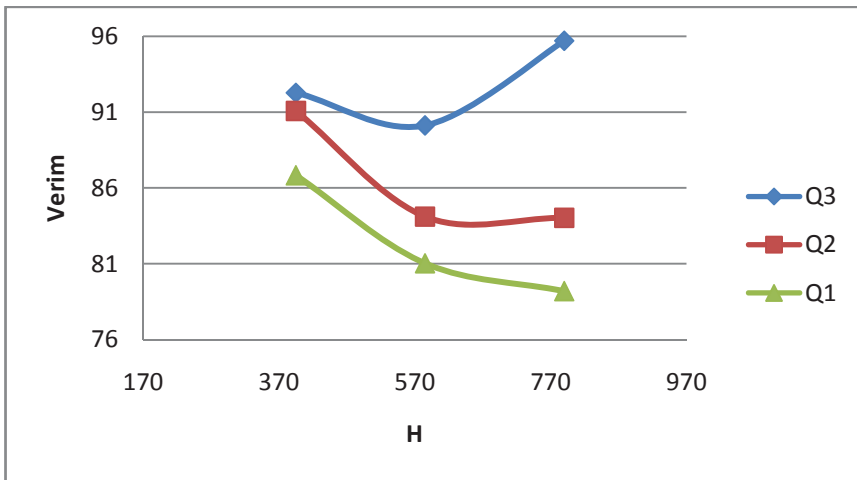
Grafik 4.48 L_4 de Toplama Verimi-H Grafiği



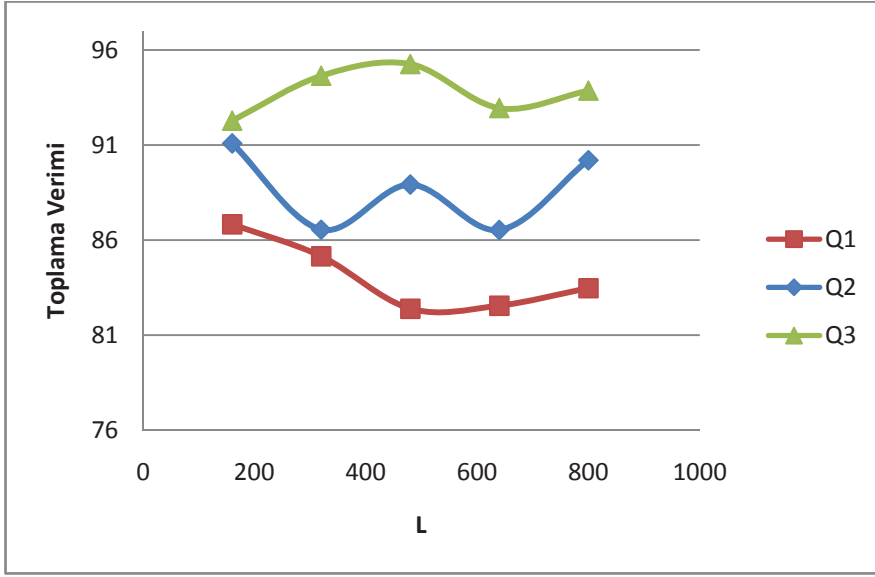
Grafik 4.49 L_3 de Toplama Verimi-H Grafiği



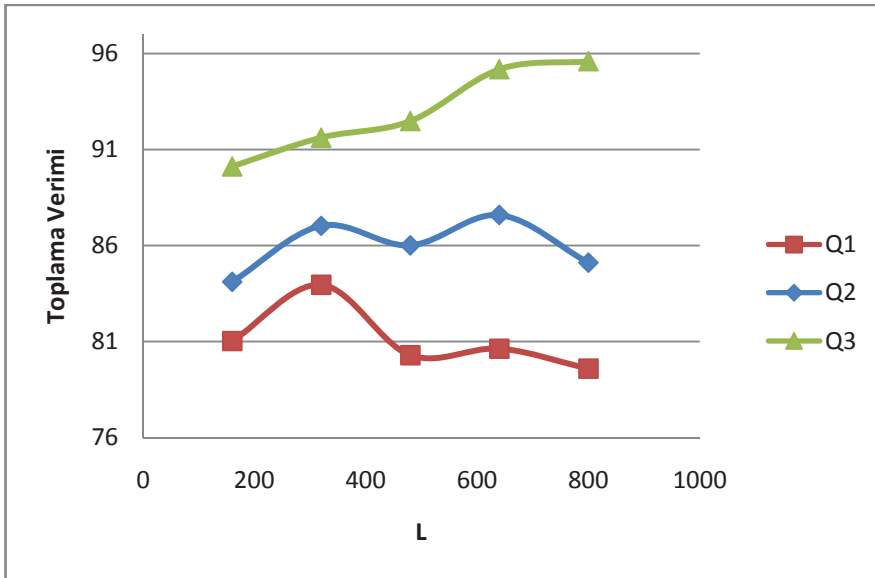
Grafik 4.50 L_2 de Toplama Verimi-H Grafiği



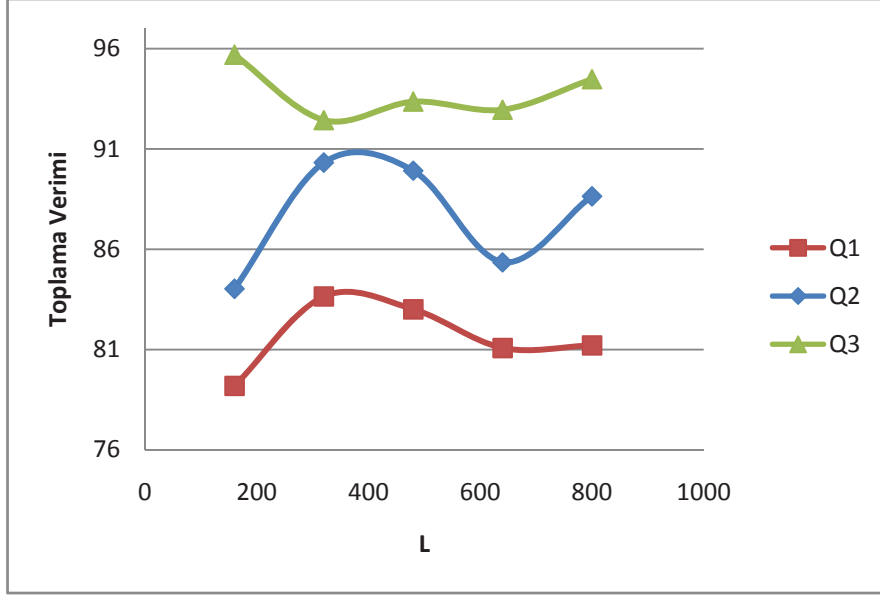
Grafik 4.51 L_1 de Toplama Verimi-H Grafiği



Grafik 4.52 H_1 de Toplama Verimi-L Grafiği



Grafik 4.53 H_2 de Toplama Verimi-L Grafiği



Grafik 4.54 H₃ de Toplama Verimi-L Grafiği

Yapılan ölçümler de bütün boylarda debinin artması verimin artmasıyla sonuçlanmıştır. Boyların etkisiyle oluşan değişim sınırlı kalmıştır.

4.9. 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 L_{max} hesaplanmıştır. Yeni tasarım siklon için L_1 silindir yüksekliği L_2 girdap durdurucu yüksekliği olarak tanımlanmıştır.

$$d_{50} = 0,791 \left(\frac{\rho v}{(\rho_p - \rho) C_{CU}} \right)^{0,5} \left(\frac{\sqrt{D_1 D_{ort} a}}{V_0 L_{vs}} \right)^{0,5} \left(\frac{10a}{D_3} \right)^{cs} D_d a_d D_s \quad (4.11)$$

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;

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

$$D_s = D_d + 2 \frac{sD_2 + D_{ort}^2}{D_1 L} \quad (4.13)$$

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

$$L_{vs} = 1,5a_d D_s L / D_d \quad (4.15)$$

$$c_s = 0,5 \left(\frac{f_{ort} L_{vs}}{a-0,1D_3} \right) \quad (4.16)$$

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

$$f_0 = \frac{6,4}{[\ln Re]^{2,4}} \quad (4.17)$$

şeklinde hesaplanır.

$$Re = \frac{V_0 D_h}{\nu} \quad (4.18)$$

Giriş kesiti için tanımlanan parametrelerden hidrolik çap ;

$$D_h = \frac{2ab}{a+b} \quad (4.19)$$

Sanal gövdeli siklon için;

$$f_{ort} = \frac{L_1 f_0}{L_1 + L_2} + 0,25 f_0 \frac{L_2}{L_1 + L_2} \quad (4.20)$$

Kinematik viskozite laboratuvar ortalama sıcaklığı 20°C ve 1 atm basınç altında $1,52 \times 10^{-5} m^2 / sn$ alınarak modelde kullanılmaktadır. $L_1 f_0$

Maksimum verimdeki siklon yüksekliği ifadesi ;

$$L_{max} = \frac{(a - 0,1D_{ort}) \left(1 + \frac{2\alpha D_1}{L_{max} D_s}\right)}{1,5 a_d f_{ort} \ln\left(\frac{10a}{D_{ort}}\right)} \quad (4.21)$$

$$\alpha = \frac{(D_2 s + D_{ort}^2)}{D_1^2} \quad (4.22)$$

formülüyle hesaplanır.

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

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

Daha önce yapılan model hesaplamalarında maksimum siklon yüksekliği değerleri $2A + B/2$ ye çok yakın çıkmıştır.

Buna göre L_{max}/D_1 ifadesi düzenlenirse ;

$$\frac{L_{max}}{D_1} = \frac{2(a-0,1D_{ort})}{3D_1 a_d f_{ort} \ln(10a/D_{ort})} + \frac{\alpha}{D_d} \quad (4.23)$$

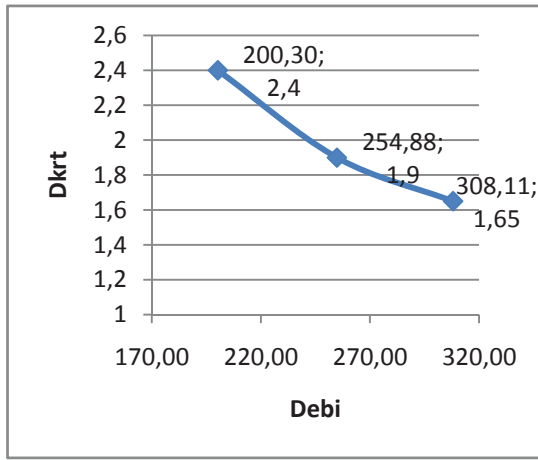
elde edilir.

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

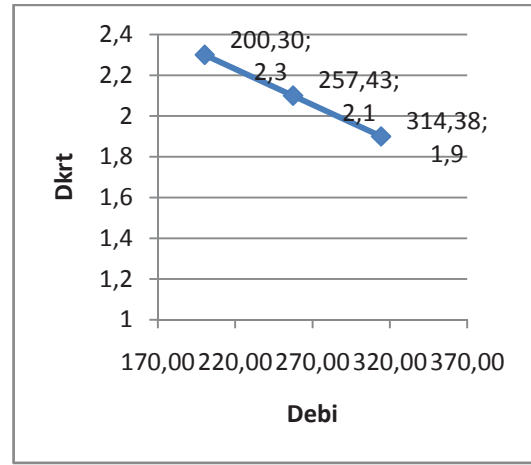
$D_1=190$ mm, $D_2=100$ mm ve $D_{ort}=145$ mm olan çap değerleri sabittir.

4.10. Debinin D_{krt} Çapına Etkisi

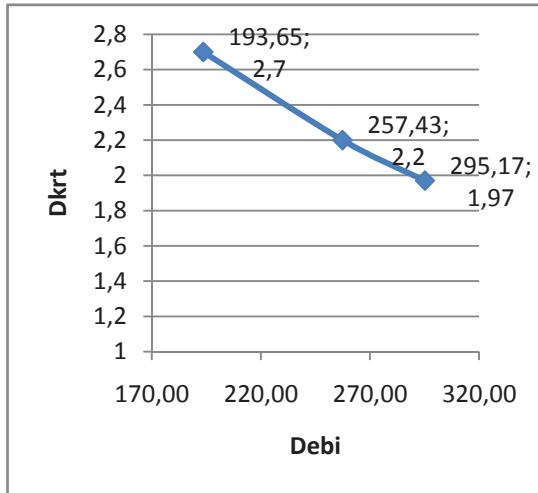
Bu bölümde yapılan çalışmalar da bütün debi ve boy değerleri için tutulan tozların partikül analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları deneyde kullanılmadan önce analizleri yapılan çimento tozunun partikül analizi yapılmış ve iki ölçüm karşılaştırılarak hangi partikül çapında % kaç verimle tutulduğu hesaplanmıştır. D_{krt} olarak isimlendirilen değer ise %50 verimle tutulan partikül çapıdır. Bu d_{krt} çaplarına göre grafikler oluşturulmuştur. Bu değerlerin debi ve siklon boyunun değişimiyle nasıl etkilendiği incelenmiştir.



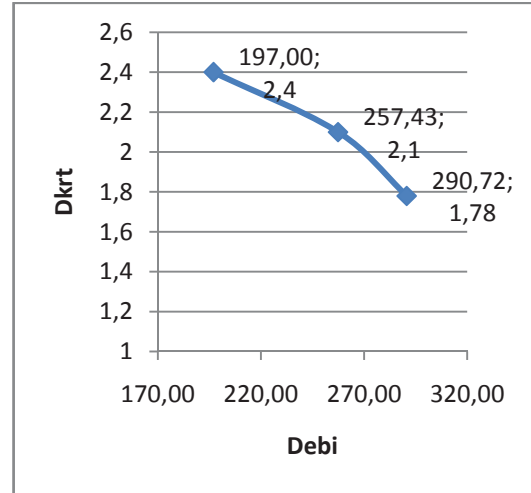
Grafik 4.55 H₁L₁ de D_{krt} - Q Grafiği



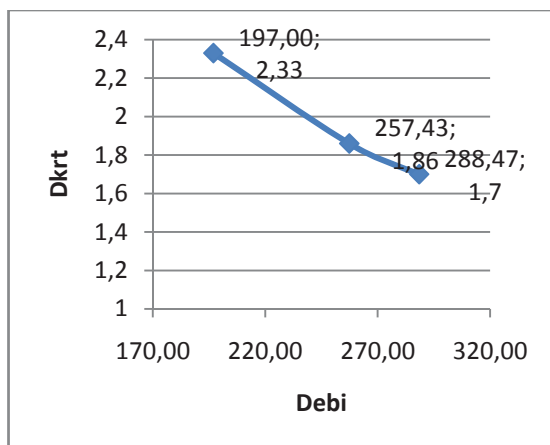
Grafik 4.56 H₁L₂ de D_{krt} - Q Grafiği



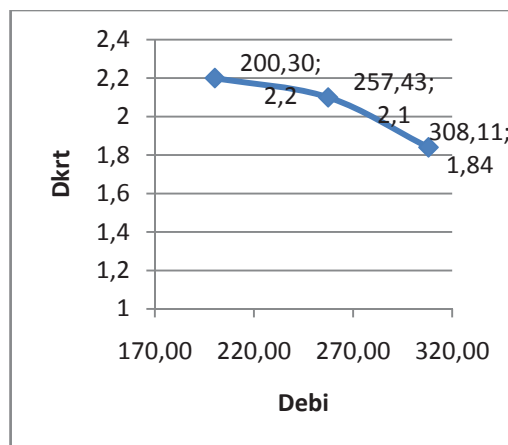
Grafik 4.57 H₁L₃ de D_{krt} - Q Grafiği



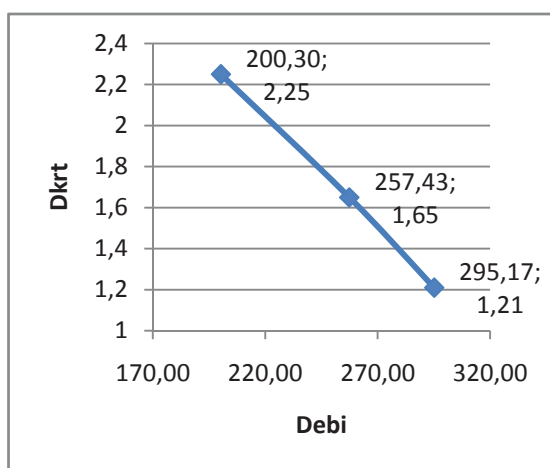
Grafik 4.58 H₁L₄ de D_{krt} - Q Grafiği



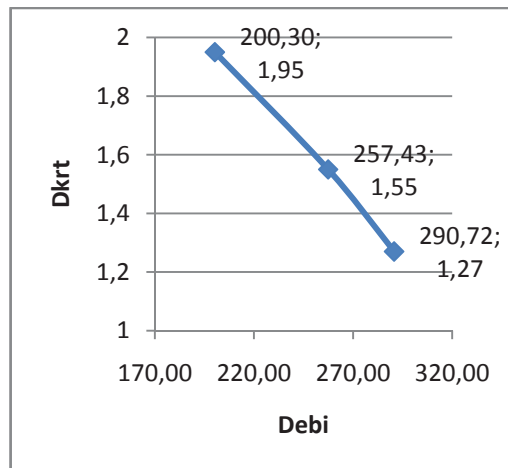
Grafik 4.59 H_1L_5 de D_{krt} - Q Grafiği



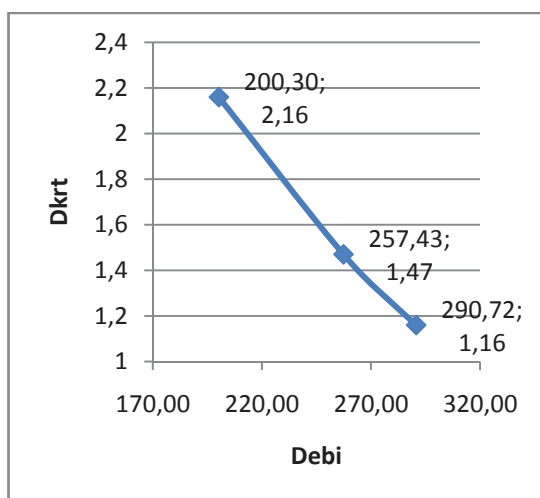
Grafik 4.60 H_2L_1 de D_{krt} - Q Grafiği



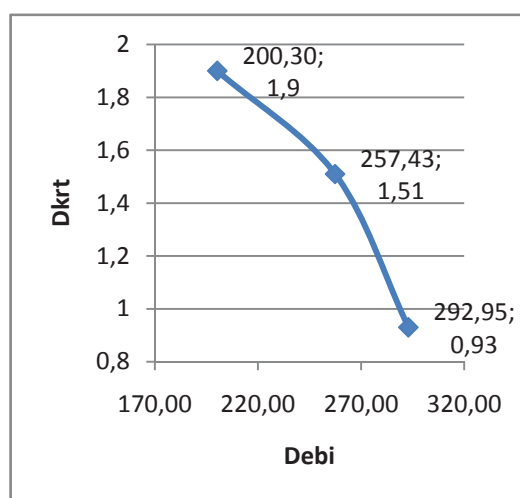
Grafik 4.61 H_2L_2 de D_{krt} - Q Grafiği



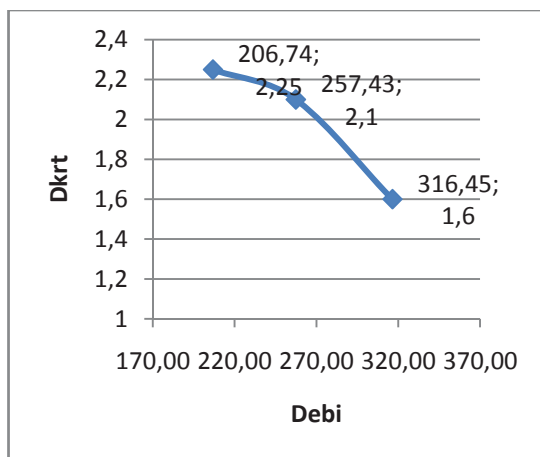
Grafik 4.62 H_2L_3 de D_{krt} - Q Grafiği



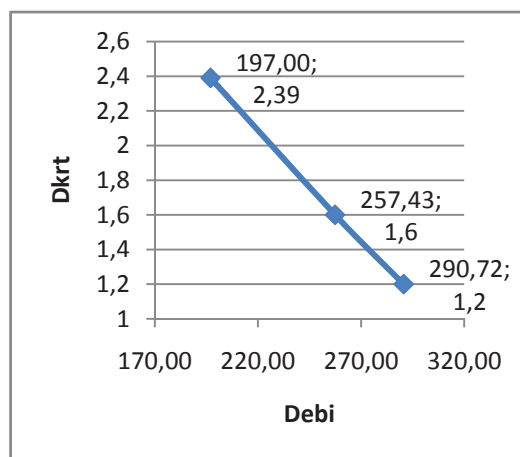
Grafik 4.63 H_2L_4 de D_{krt} - Q Grafiği



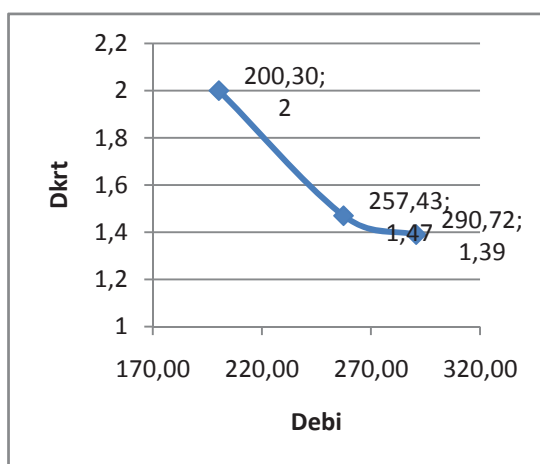
Grafik 4.64 H_2L_5 de D_{krt} - Q Grafiği



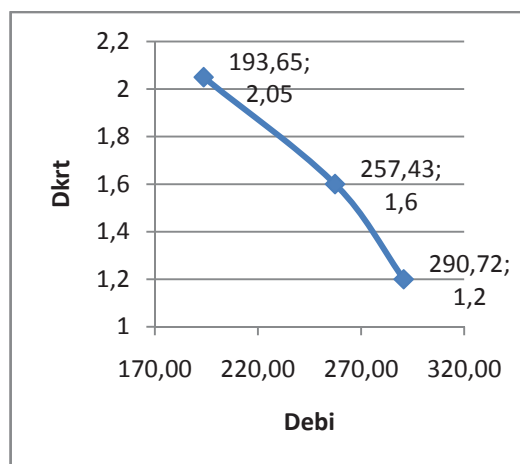
Grafik 4.65 H₃L₁ de D_{krt} - Q Grafiği



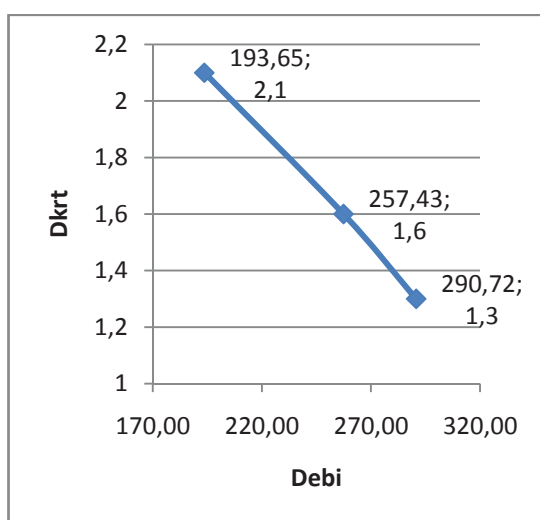
Grafik 4.66 H₃L₂ de D_{krt} - Q Grafiği



Grafik 4.67 H₃L₃ de D_{krt} - Q Grafiği



Grafik 4.68 H₃L₄ de D_{krt} - Q Grafiği

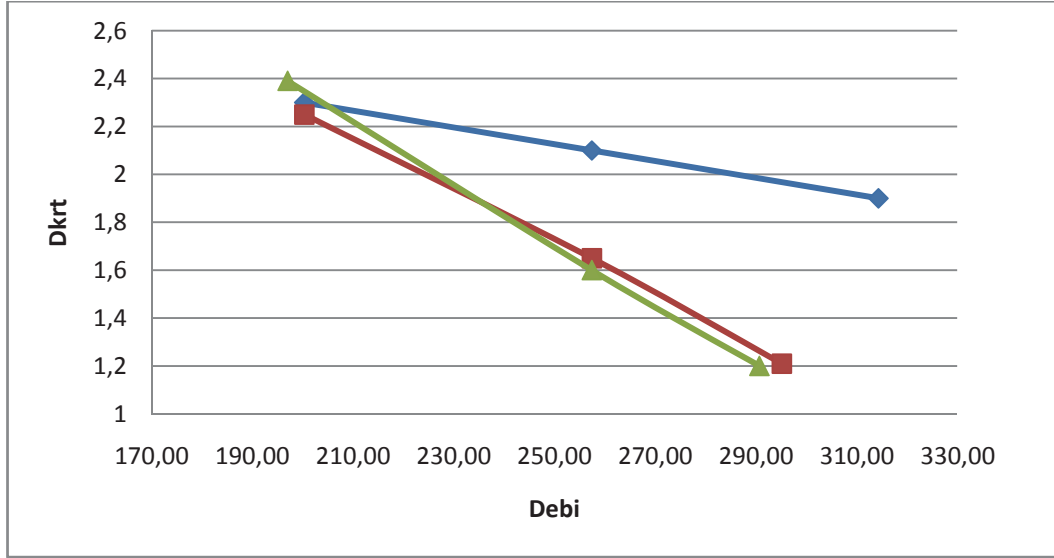


Grafik 4.69 H₃L₅ de D_{krt} - Q Grafiği

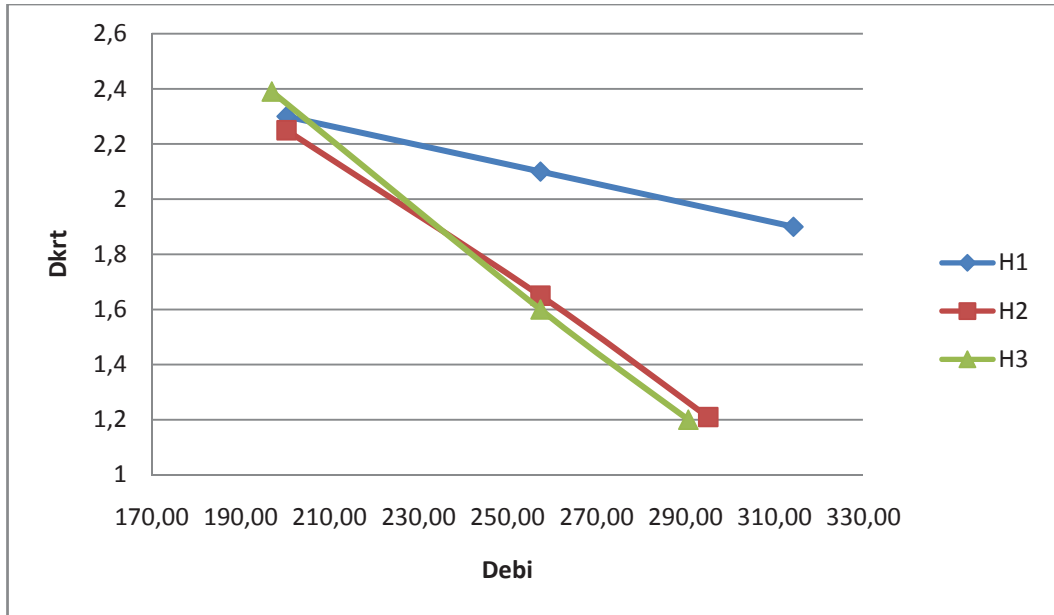
Siklon debisi, giriş hızı arttıkça siklon toplama verimi artar, Bunun neticesinde daha küçük çaptaki partiküllerin de tutulma miktarı artması beklenir. Tutulan partiküllerin çapı küçüldükçe d_{krt} çapı da küçülmesi gerekir. Bölüm 4.3 siklon toplama verimi debi arasındaki ilişki incelenmiş her debi artışında verimin yükseldiği görülmüştür. Bu bölümde ki sonuçlar ise beklendiği gibi hızın artmasıyla azalmıştır, bu grafikler bölüm 4.3 teki bütün grafikleri teyit etmekte ve sonuçları doğrulamaktadır. Toplama verimlerindeki değişim karakteri ile partikül verimi benzer özellik göstermektedir. Bu da yapılan deneylerin güvenilirliğini arttırmaktadır.

4.11. Silindir Boyunun D_{krt} Çapına Etkisi

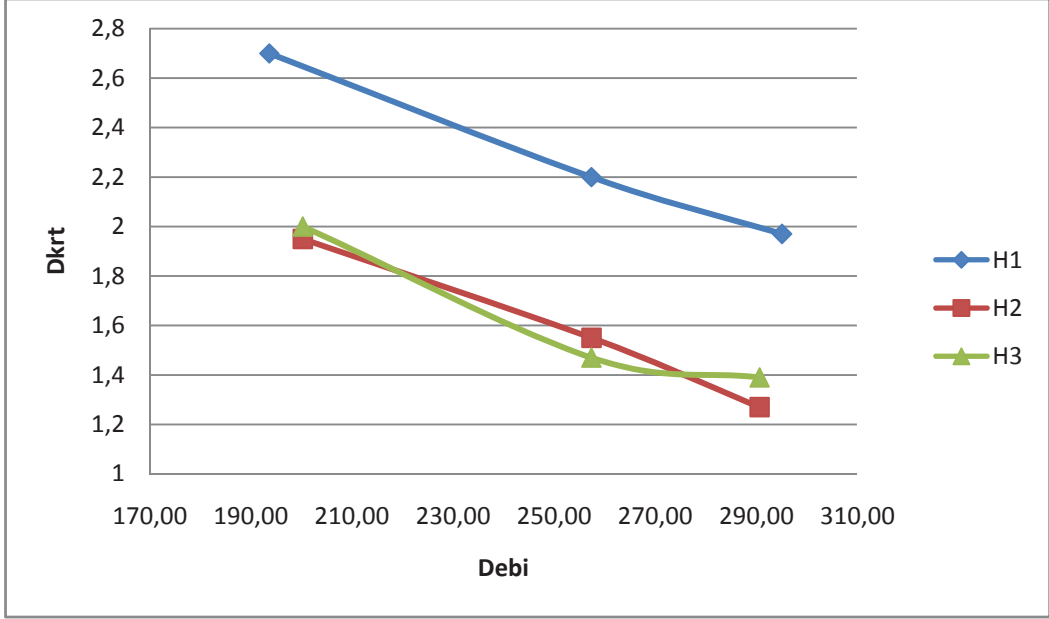
Bu bölümde d_{krt} değerlerindeki değişimin siklon silindir boylarından nasıl etkilendiğini görmek için her bir girdap durdurucu yüksekliğinde üç farklı boyda uygulanan üç farklı debi sonucunda elde edilen veriler grafik olarak aşağıda verilmiştir.



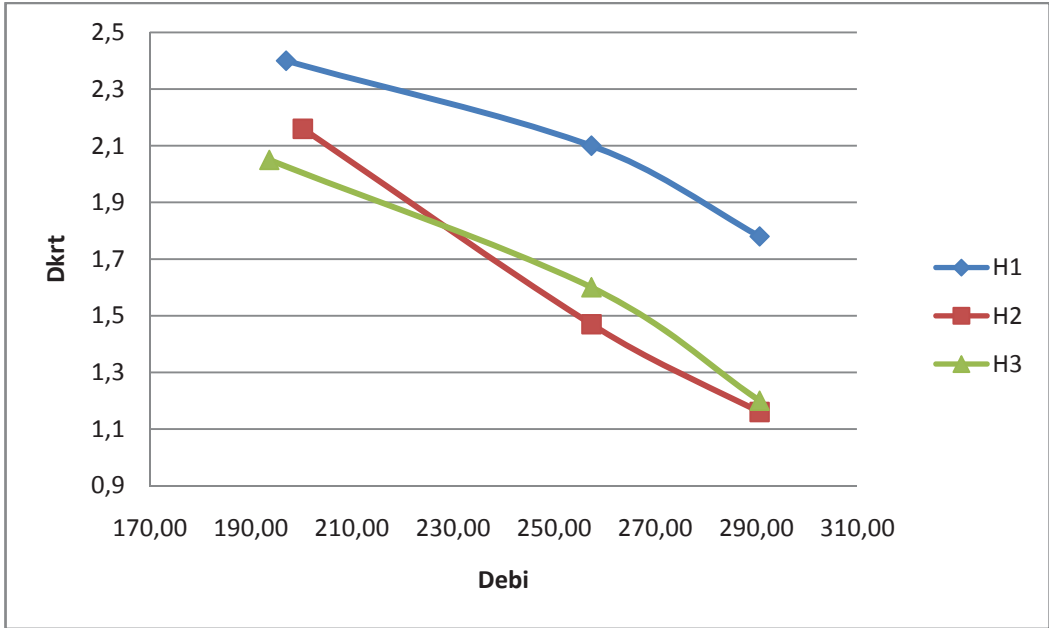
Grafik 4.70 L_1 de H deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği



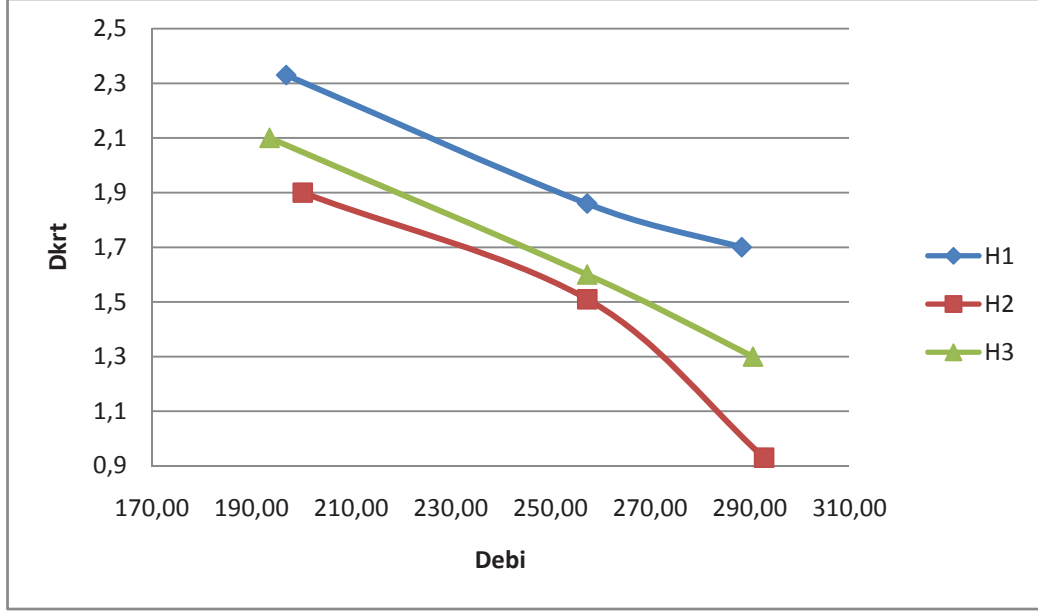
Grafik 4.71 L_2 de H deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği



Grafik 4.72 L₃ de H deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği



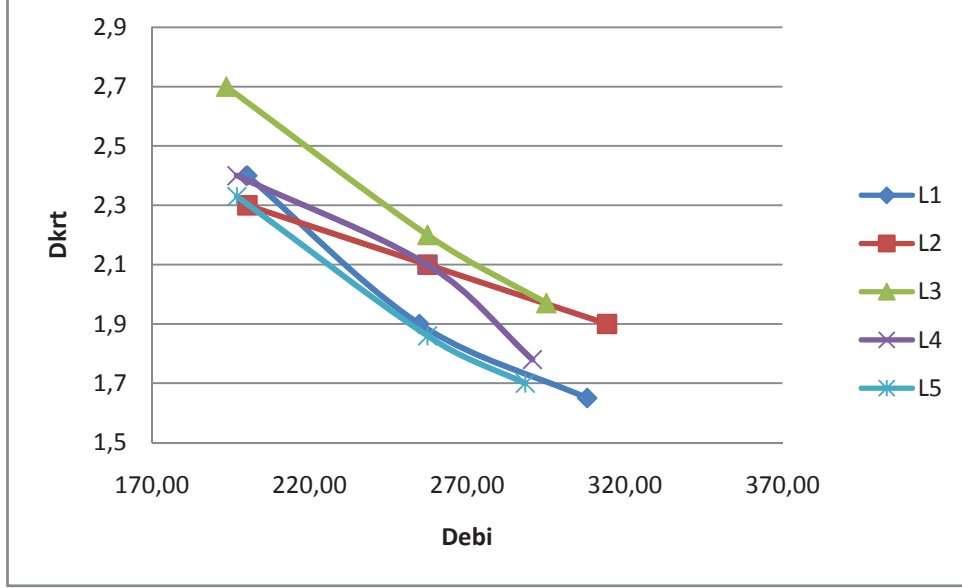
Grafik 4.73 L₄ de H deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği



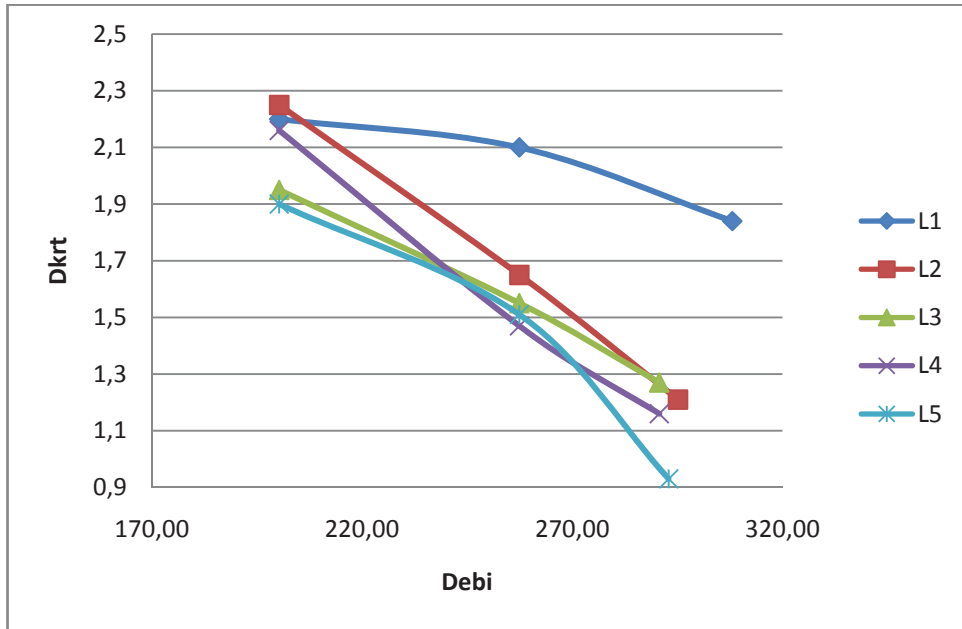
Grafik 4.74 L₅ de H deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği

Grafiklerde de görüldüğü gibi genellikle boydaki artışla beraber verimde artış olmuş ve bunun neticesinde d_{krt} çapı küçülmüştür. Verimdeki değişimde de benzer sonuçlar çıkmıştır. Fakat verim grafiklerinde iyileşme olduğunda azalma değil artma olarak gözükümüştür.

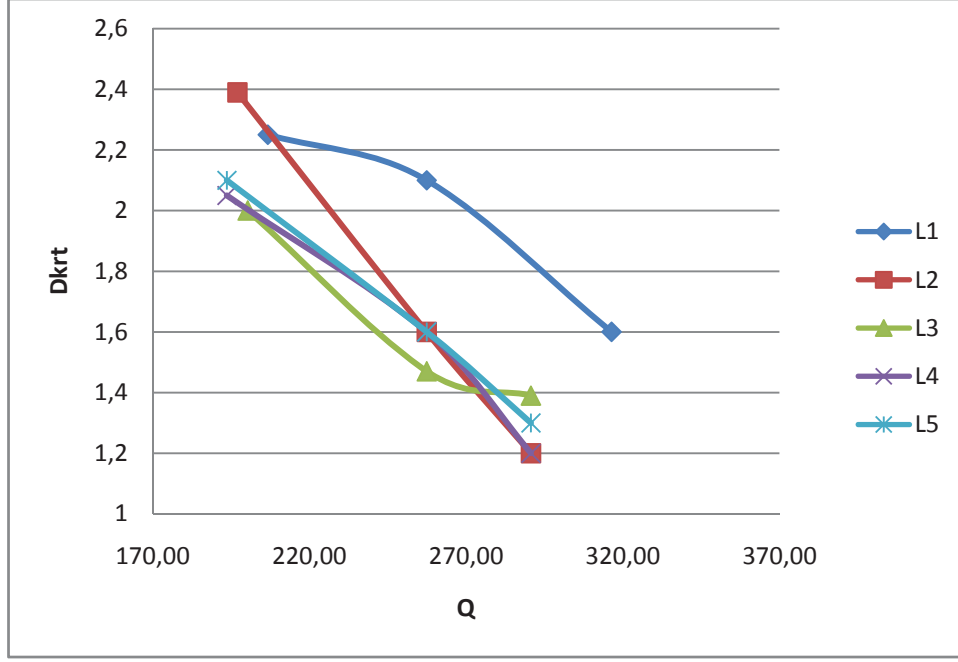
4.12. Girdap Durdurucu Yüksekliğinin D_{krt} Çapına Etkisi



Grafik 4.75 H_1 de L deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği



Grafik 4.76 H_2 de L deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği



Grafik 4.77 H₃ de L deki Değişime göre D_{krt} - Q Grafiği

Bu bölümde girdap durdurucu yüksekliğinin d_{krt} çapındaki değişime etkisini görmek için grafikler hazırlanmıştır. Beş farklı girdap durdurucu yüksekliğinde üç farklı debide üç silindir boyu için grafikler oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre oluşturulan grafiklere bakıldığında boyun uzaması ile verimde artış dolayısıyla d_{krt} çaplarında azalma görülmektedir. Bazı değerlerde oluşan farklılık ise debide dolayısıyla giriş hızında oluşan farklılıktan kaynaklanmaktadır. Tablo 4.1 de elde edilen d_{krt} çapları toplu olarak verilmiştir. Her bir parametrenin yanına d_{krt} değerleri yazılmıştır ve o parametreye ait debi ve giriş hızı değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1 D_{krt} Çaplarının Toplu Olarak Tablosu

	H ₁ (395mm)			H ₂ (585mm)			H ₃ (790mm)		
	Debi [m ³ /sa]	Giriş Hızı [m/s]	D _{krt} [μm]	Debi [m ³ /sa]	Giriş Hızı [m/s]	D _{krt} [μm]	Debi [m ³ /sa]	Giriş Hızı [m/s]	D _{krt} [μm]
	Q3	288,47	1,7	292,95	15,57	0,93	290,72	15,46	1,3
L5 (800mm)	Q2	257,43	1,86	257,43	13,69	1,51	257,43	13,69	1,6
	Q1	197	2,33	200,3	10,65	1,9	193,65	10,30	2,1
	Q3	290,72	1,78	290,72	15,46	1,16	290,72	15,46	1,2
L4 (640mm)	Q2	257,43	2,1	257,43	13,69	1,47	257,43	13,69	1,6
	Q1	197	2,4	200,3	10,65	2,16	193,65	10,30	2,05
	Q3	295,17	1,97	290,72	15,46	1,27	290,72	15,46	1,39
L3 (480mm)	Q2	257,43	2,2	257,43	13,69	1,55	257,43	13,69	1,47
	Q1	193,65	2,7	200,3	10,65	1,95	200,3	10,65	2
	Q3	314,38	1,93	295,17	15,69	1,21	290,72	15,46	1,2
L2 (320mm)	Q2	257,43	2,1	257,43	13,69	1,65	257,43	13,69	1,6
	Q1	200,3	2,3	200,3	10,65	2,25	197	10,47	2,39
	Q3	308,11	1,65	308,11	16,38	1,84	316,45	16,82	1,6
L1 (160mm)	Q2	254,88	1,9	257,43	13,69	2,1	257,43	13,69	2,1
	Q1	200,3	2,4	200,3	10,65	2,2	206,74	10,99	2,25

4.13 Fraksiyonel Verim Eğrilerinin Hesaplanması

Fraksiyonel verim eğrileri her bir tane boyutuna ait tutma verimini gösteren eğrilerdir. Kütleli ölçüm yaparak siklonun toplama verimi hesaplandığı gibi deneyde kullanılan numune ile deney sonucunda elde edilen tozun partikül analizi yapılarak elde edilen dağılımların aynı aralıklarda karşılaştırılması sonucu fraksiyonel verim eğrileri elde edilmektedir. Bu eğriler sayesinde siklon boyları için karakteristik eğriler elde edilmesi mümkün olup bu eğriler sayesinde kullanım amacına uygun optimum değerlerde siklon seçmek mümkün olmaktadır.

Yapılan deneylerin tamamında partikül analizi yapılmış ve bu sonuçlara göre fraksiyonel verim eğrileri oluşturulmuştur. Partikül analizlerinin genel dağılım sonuçları toplu olarak Ek-1 de verilmiştir. Ayrıntılı dağılım ve bu dağılımların oluşturduğu grafiklerin ise bir kısmı ekler içerisinde bulunmaktadır. Bu bölümde fraksiyonel verim grafiklerinin tamamı verilecek örnek olması için bir tane eğrinin hazırlanışı ayrıntılı şekilde anlatılacaktır.

Örnek Hesaplama;

Örnek olarak H_3 silindir boyunda L_5 girdap durdurucu yüksekliğinde Q_3 debisi alınmıştır. Yapılan deney sonucunda bu parametrelere ait toplama verimi %94,5 olarak ölçülmüştür. Deneyde toz olarak küllü çimento kullanılmıştır. Yapılan partikül analizlerinin sonuçları eklere konulmuştur. Numunenin yani deneyden önceki çimentonun partikül analiz sonucu Ek-2 de deney sonucu tutulan çimentonun partikül analiz sonucu ise Ek-3 te verilmiştir. Partikül analiz sonuçları tabloya dönüştürülmüş ve bu tablodan elde edilen değerler ile fraksiyonel verim eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.2 H₃L₅Q₃ Partikül Analiz Sonucunun Karşılaştırması

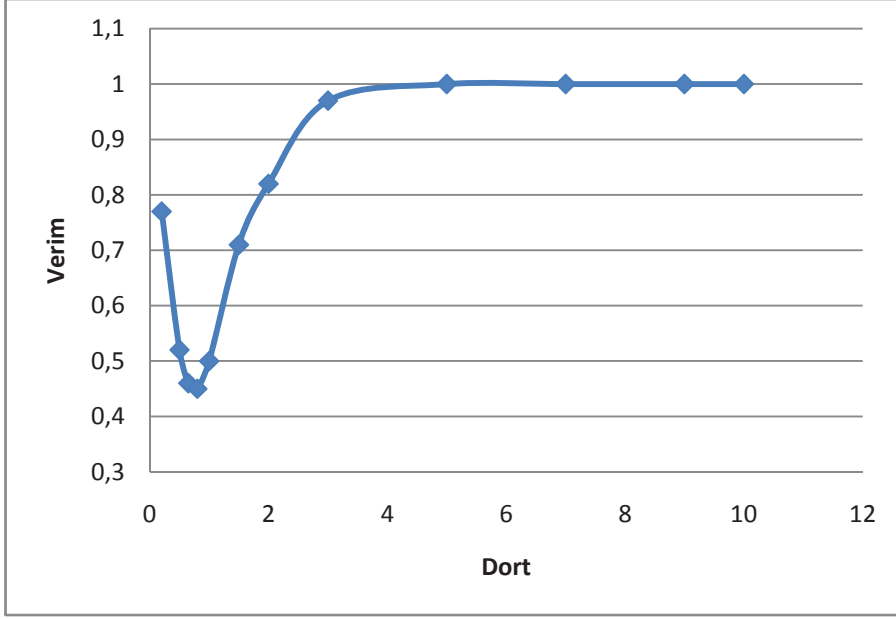
d	m % numune	d ort	$\eta=0,945$	m% tutulan
0,316	0,41	0,25	0,34	0,78
0,417	0,47	0,365	0,36	0,72
0,550	0,76	0,484	0,51	0,63
0,724	1,06	0,637	0,59	0,53
0,955	1,39	0,84	0,67	0,46
1,096	0,84	1,025	0,4	0,45
1,259	0,96	1,16	0,48	0,47
1,445	1,09	1,352	0,6	0,52
1,660	1,24	1,552	0,75	0,57
1,905	1,4	1,782	0,94	0,63
2,188	1,57	2,046	1,17	0,70
2,884	3,69	2,528	3,14	0,80
3,802	4,42	3,322	4,29	0,92
5,012	5,13	4,393	5,41	1,00
7,586	8,99	6,195	9,92	1,04
11,482	10,64	9,445	11,78	1,05
17,378	12,66	14,295	13,44	1,00
26,303	14,44	21,634	14,42	0,94
39,810	13,92	32,747	13,5	0,92
120,226	14,92	80	17,29	1,10
	80,7		85,76	81,04

Birinci sütunda partikül dağılımı aralıkları belirtilmiştir. 0 ile 0,316 mikron arasında ölçülen numunenin % 0,41 bulunmaktadır, 0,316 ile 0,417 mikron arasında ise %0,47 si bulunmaktadır. Grafiğin anlamlı ve okunmasının kolay olması için dağılımın az olduğu aralıklar birleştirilmiştir. İkinci sütunda ise deneyde kullanılmadan önce ölçümü yapılan çimentonun birinci sütunda belirtilen partikül çapı aralığına numunenin yüzde kaç girmediği belirtilmiştir. Üçüncü sütunda ortalama çap değerleri alınmıştır. Birinci sütuna yazılan çap değerlerinin ortalaması alınarak bu sütuna yazılmaktadır. Örneğin 0,417 ile 0,550 mikronun ortalaması alınarak 0,484 mikron olarak üçüncü sütuna yazılmıştır. D_{krt} çapları bu ortalama çap değerlerine karşılık gelen noktalardan tespit edilmektedir. Dördüncü sütuna deneyden sonra toplanan tozun analizi sonucunda elde edilen değerler yine birinci sütundaki aralık

içerisinde kalan miktarı yazılmıştır. Beşinci sütunda ise dördüncü sütuna yazılan yani deney sonucu elde edilen tozun partikül çapı ile siklonun genel toplama verimi ile çarpılıp deneyden önceki numunenin aynı aralıktaki değerine bölünerek o ortalama çap değerinin yüzde kaç verimle tutulduğu hesaplanarak yazılmaktadır. Deney sonucunda elde edilen genel toplama verimi ile partikül veriminin doğruluğunu karşılaştırmak için numunenin ve deney sonucu elde edilen tozun tamamına yakını toplanan partikül aralıklarındaki değerler toplanır , ikinci sütun ve dördüncü sütundaki değerlerin %100 yakın verimle tutulanlardan itibaren , dördüncü sütundaki değerlerin toplanmasıyla elde edilen değer siklon genel toplama verimi ile çarpılarak beşinci sütunun altına yazılır ikinci sütunla karşılaştırılır. Değerler birbirine yakınsa elde edilen sonuçlar birbirini destekler ve sonuçların doğruluğunu güçlendirir. Bu ölçüm sonucunda elde edilen değerlere göre % 3 hata ile aynı sonuç elde edilmiştir. %50 verimle tutulan ortalama partikül çapı bu deney sonucu için kritik çaptır. Yapılan bu deneyde %50 verimle tutulan partikül çapı 1.3 mikron olarak iterasyon sonucunda tespit edilmiştir. Elde edilen d_{krt} çapları sabit d_{ort}/d_{krt} oranları ile çarpılarak o d_{ort} çap değerine ait verim değeri karşısına yazılır ve bu değerler ile fraksiyonel verim eğrileri oluşturulur. Kabul edilen kesirsel aralık ve verim değerleri tablo 4.3' te verilmiştir.

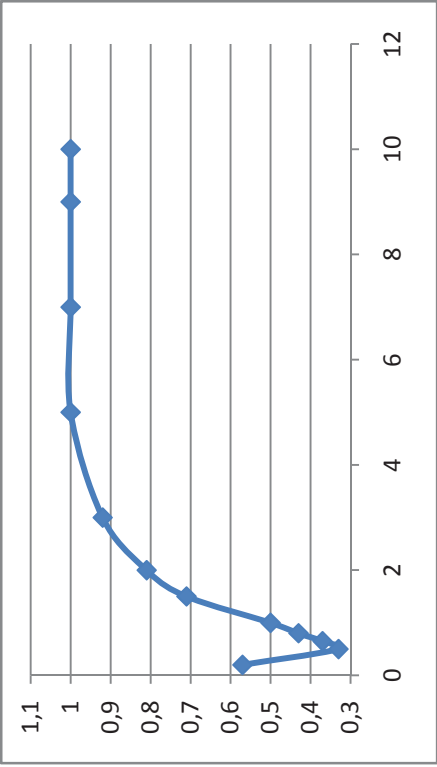
Tablo 4.3 Kesirsel Aralık ve Verim Değerleri

D_{ort}/D_{krt}	Verim
0,2	0,77
0,5	0,52
0,65	0,46
0,8	0,45
1	0,5
1,5	0,71
2	0,82
3	0,97
5	1
7	1
9	1
10	1

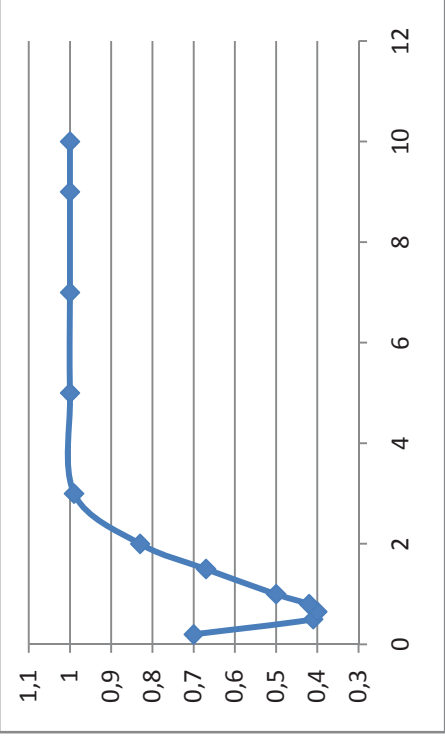


Grafik 4.78 H₃L₅Q₃' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi

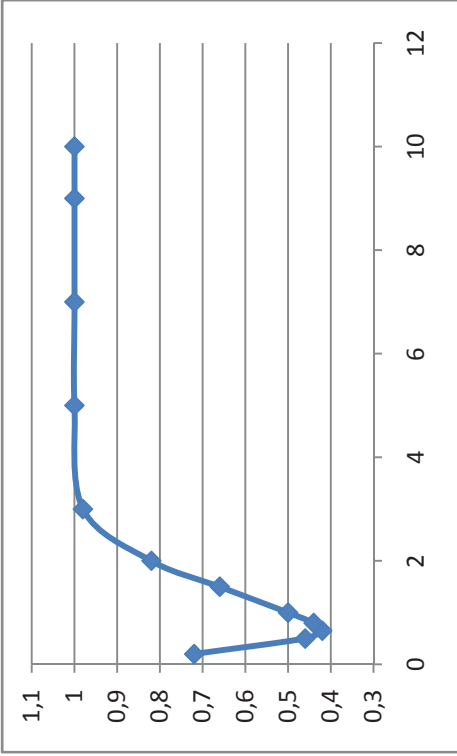
Yapılan bütün deneylere ait fraksiyonel verim eğrileri aşağıda verilmiştir.



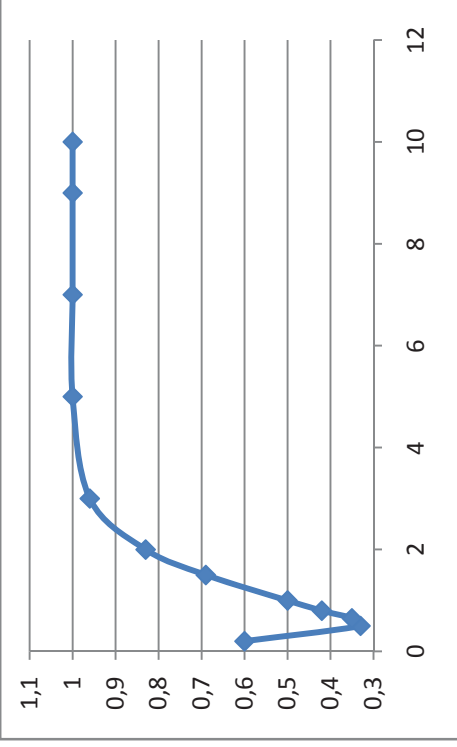
Grafik 4.79 $H_1L_1Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



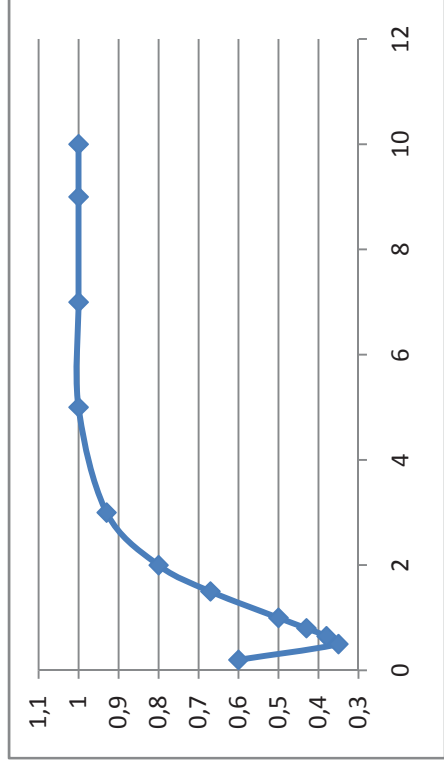
Grafik 4.80 $H_1L_1Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



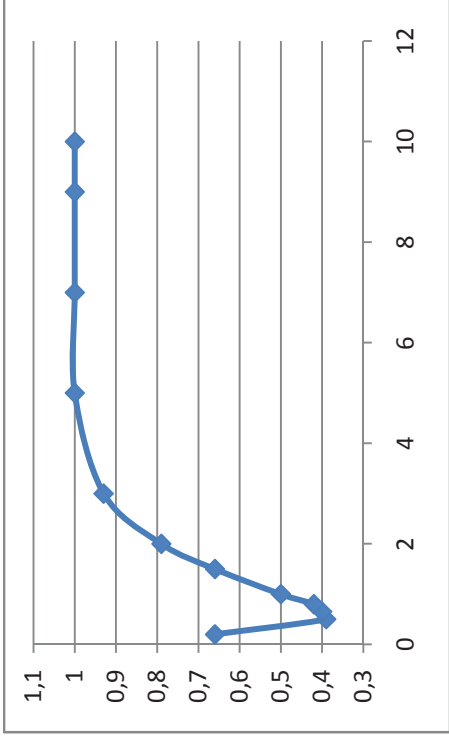
Grafik 4.81 $H_1L_1Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



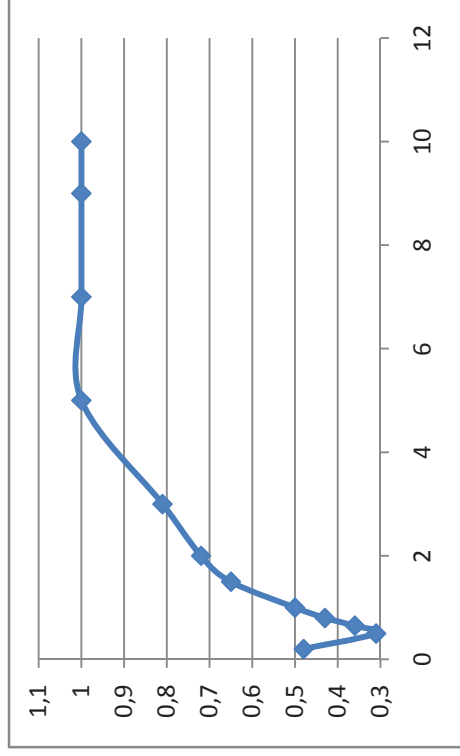
Grafik 4.82 $H_1L_2Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



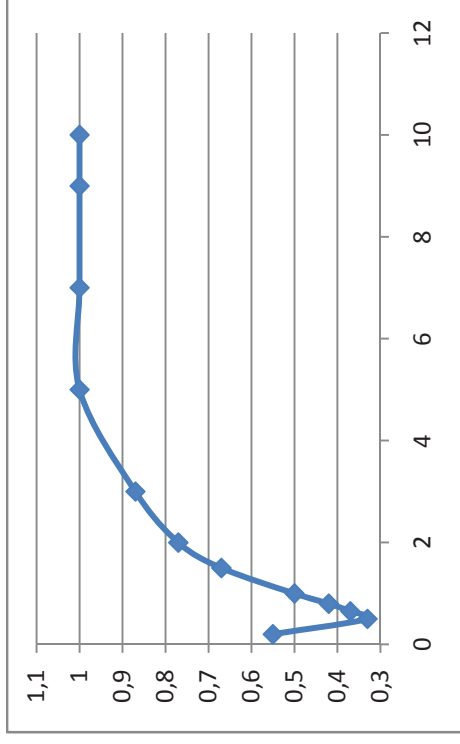
Grafik 4.83 $H_1L_2Q_2$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



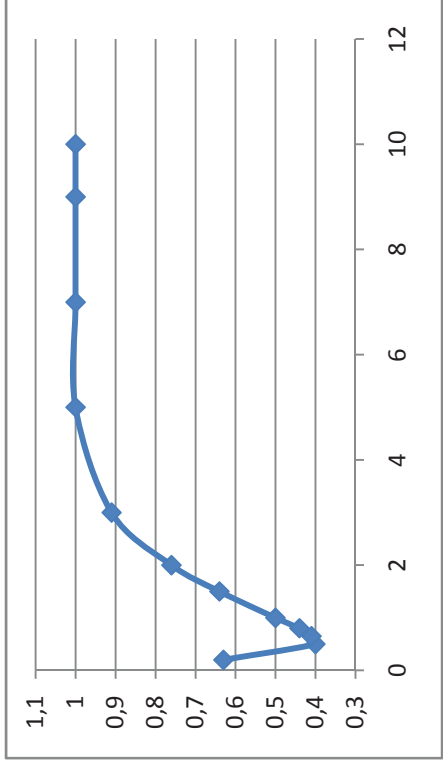
Grafik 4.84 $H_1L_2Q_3$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



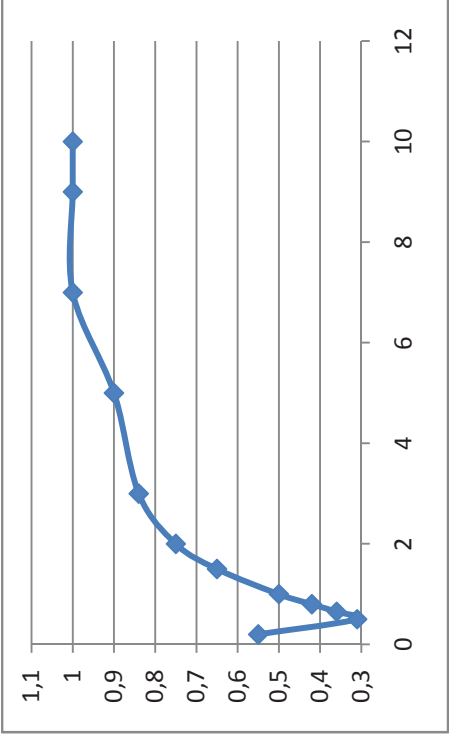
Grafik 4.85 $H_1L_3Q_1$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



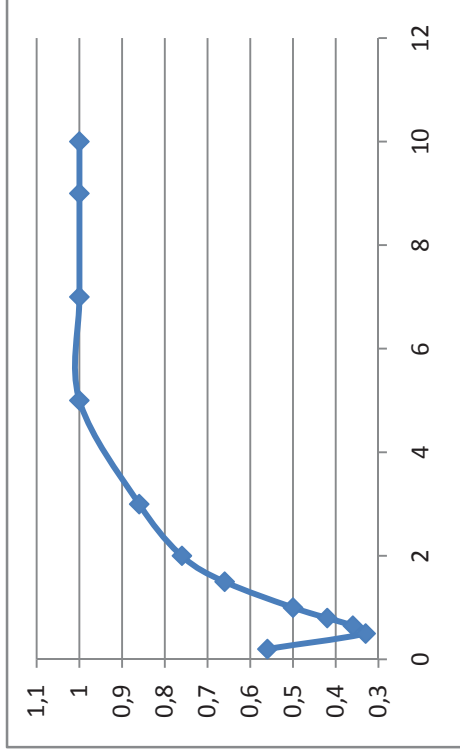
Grafik 4.86 $H_1L_3Q_2$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



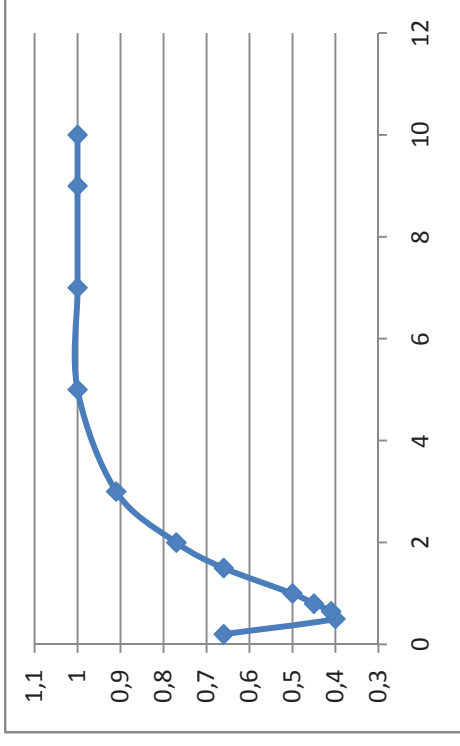
Grafik 4.87 $H_1L_3Q_3$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



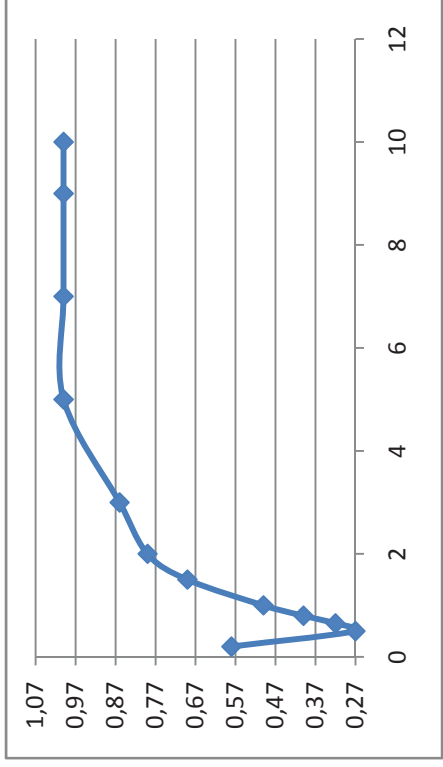
Grafik 4.88 $H_1L_4Q_1$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



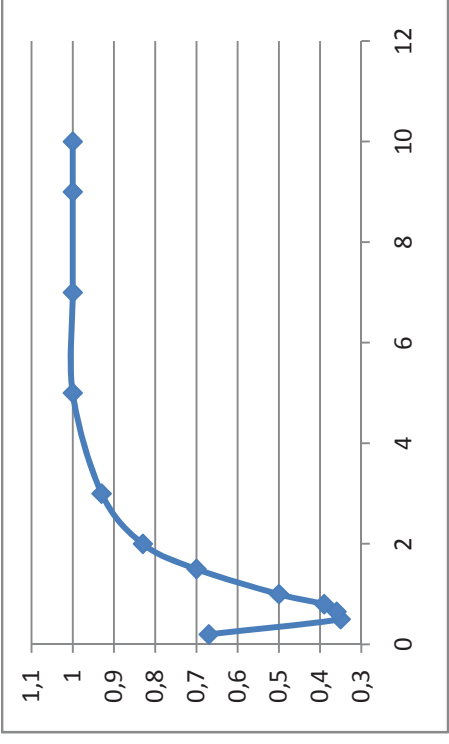
Grafik 4.89 $H_1L_4Q_2$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



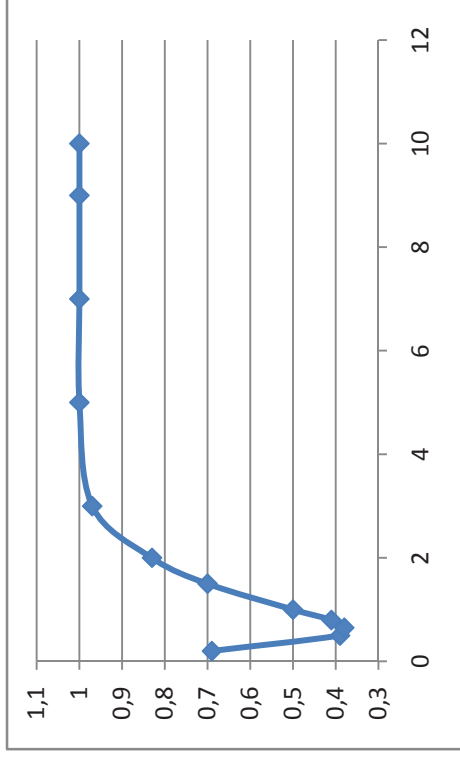
Grafik 4.90 $H_1L_4Q_3$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



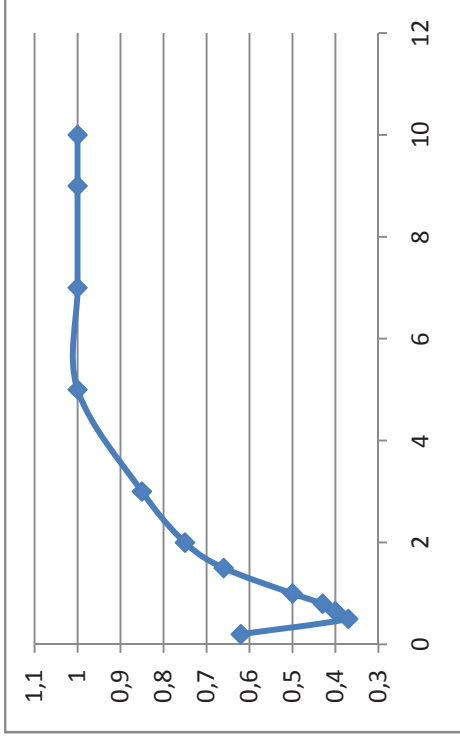
Grafik 4.91 $H_1L_5Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



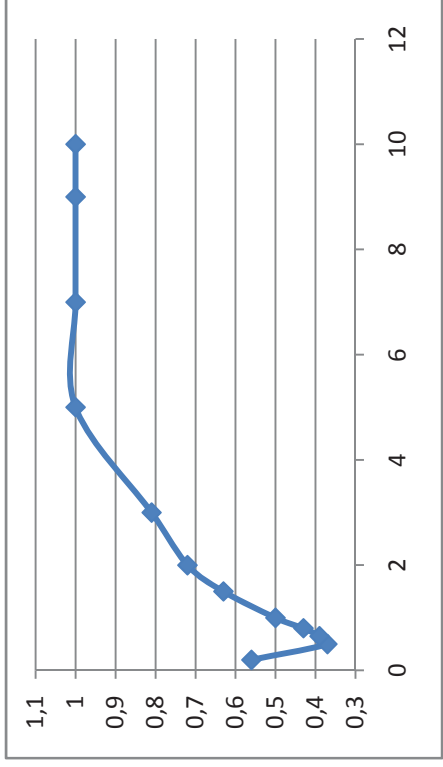
Grafik 4.92 $H_1L_5Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



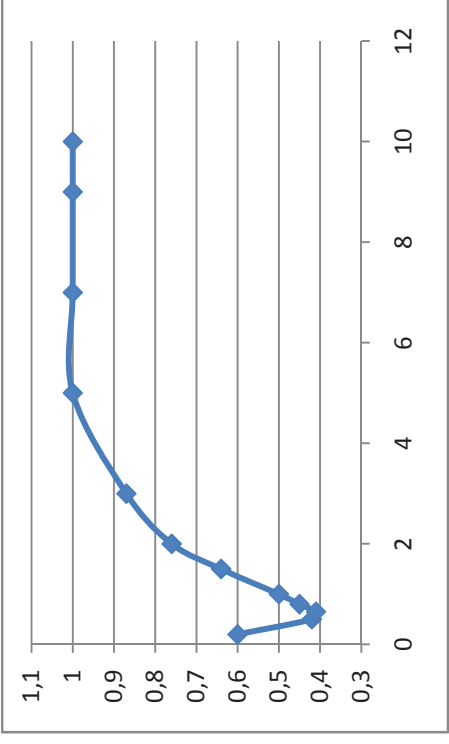
Grafik 4.93 $H_1L_5Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



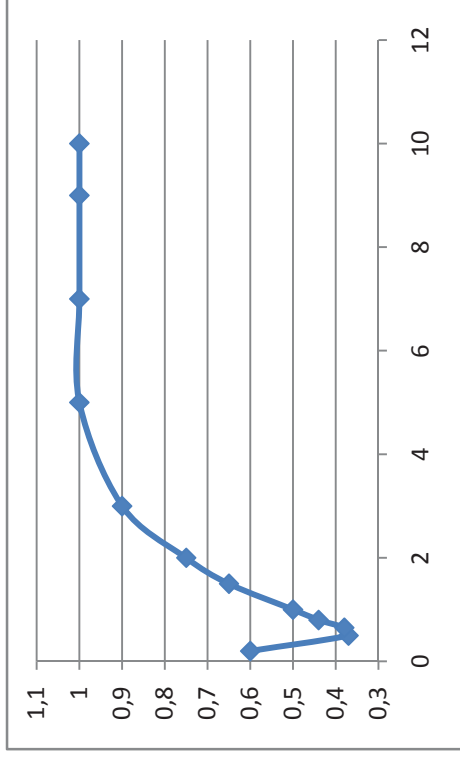
Grafik 4.94 $H_2L_1Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



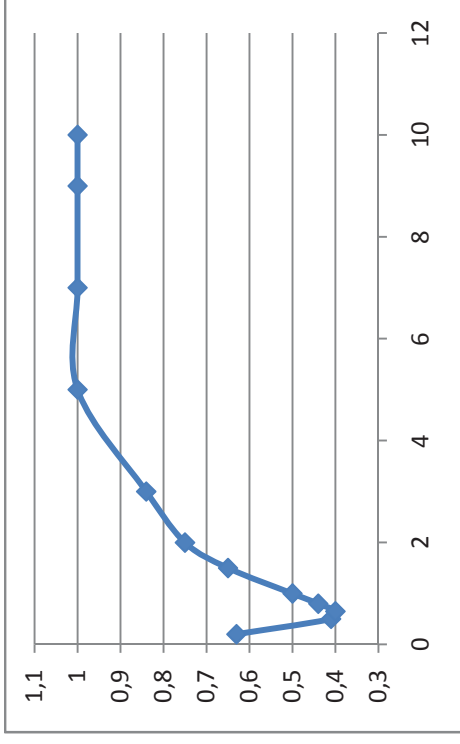
Grafik 4.95 $H_2L_1Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



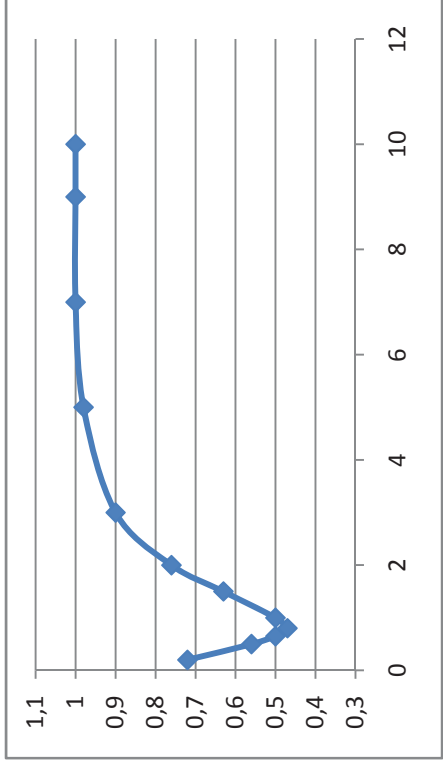
Grafik 4.96 $H_2L_1Q_3'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



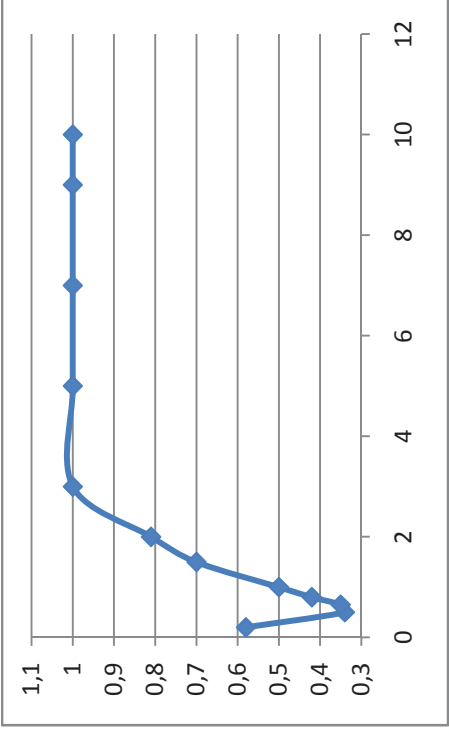
Grafik 4.97 $H_2L_2Q_1'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



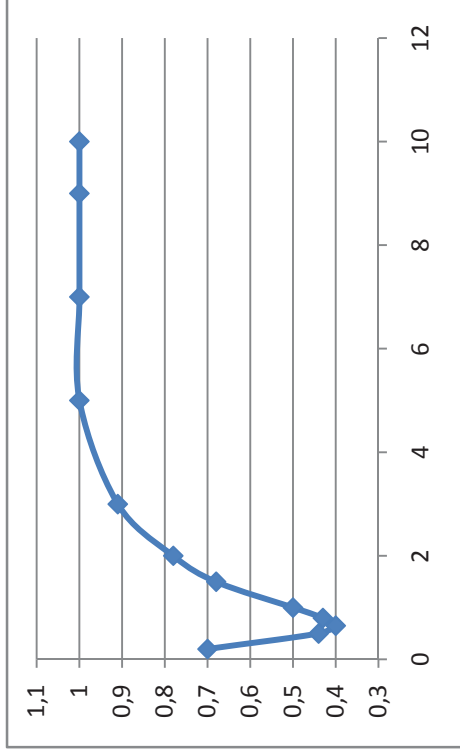
Grafik 4.98 $H_2L_2Q_2'$ e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



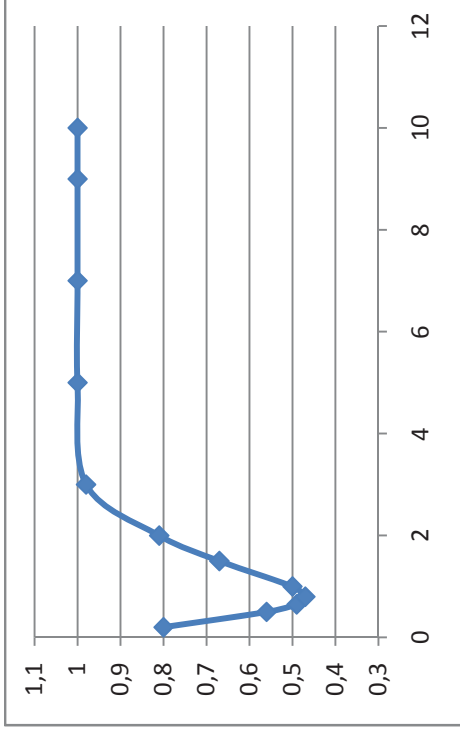
Grafik 4.99 $H_2L_2Q_3$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



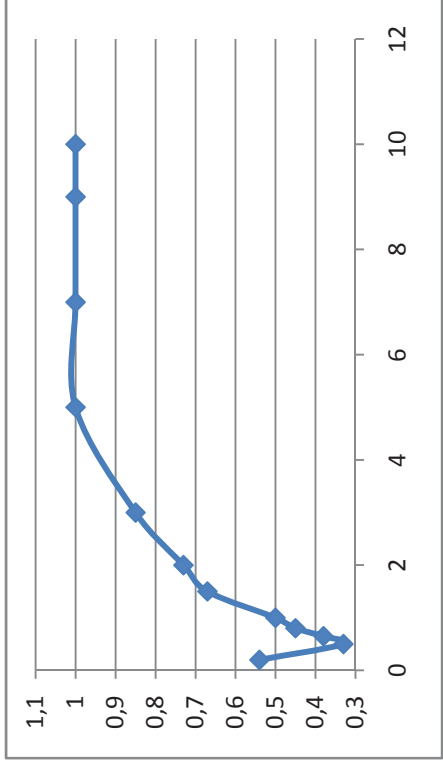
Grafik 4.100 $H_2L_3Q_1$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



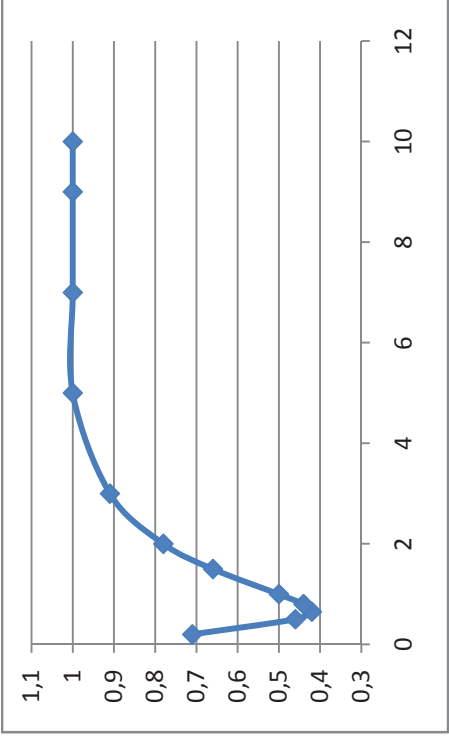
Grafik 4.101 $H_2L_3Q_2$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



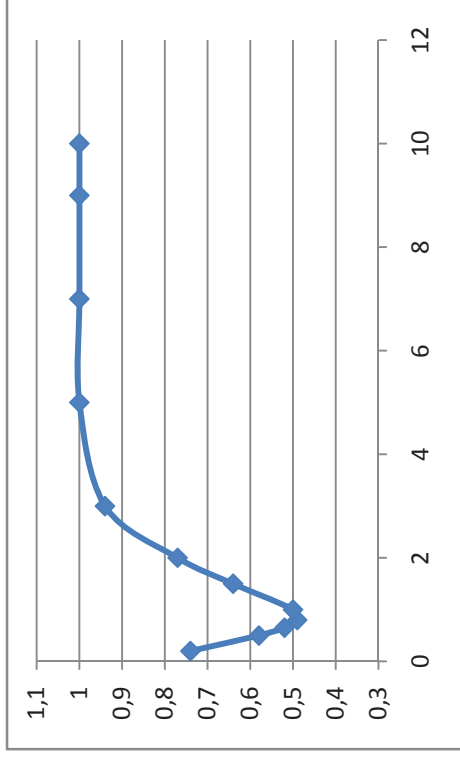
Grafik 4.102 $H_2L_3Q_3$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



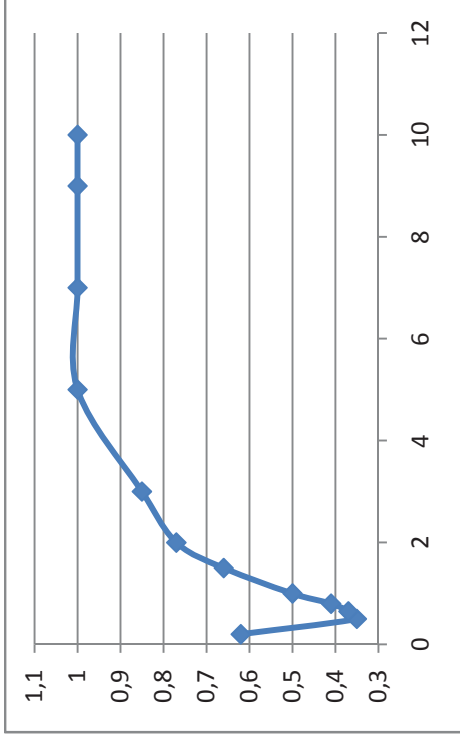
Grafik 4.103 H₂L₄Q₁' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



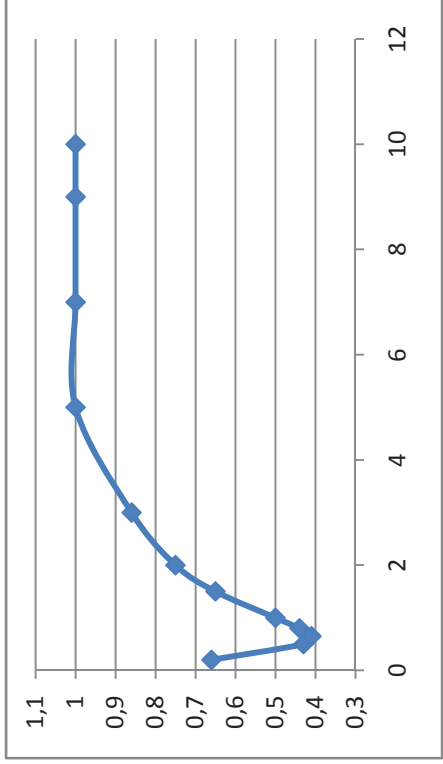
Grafik 4.104 H₂L₄Q₂' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



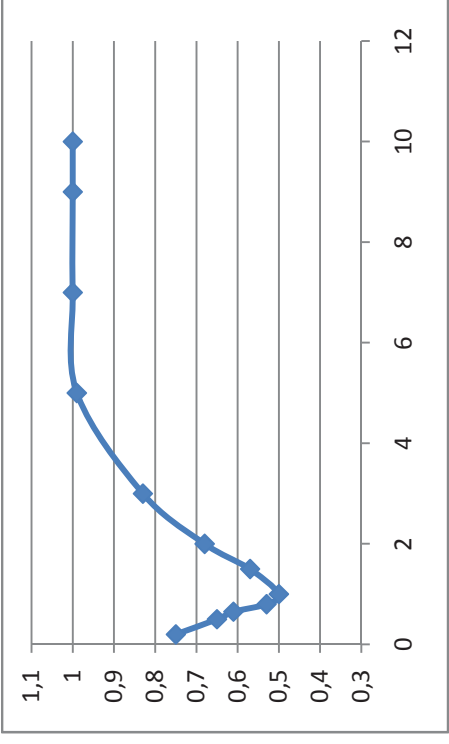
Grafik 4.105 H₂L₄Q₃' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



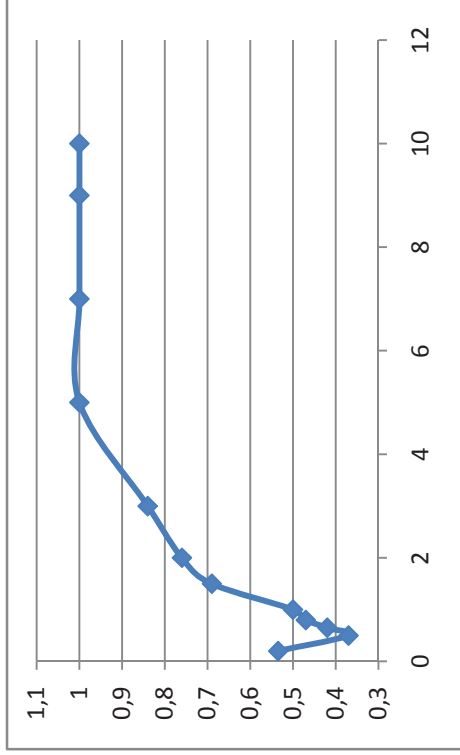
Grafik 4.106 H₂L₅Q₁' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



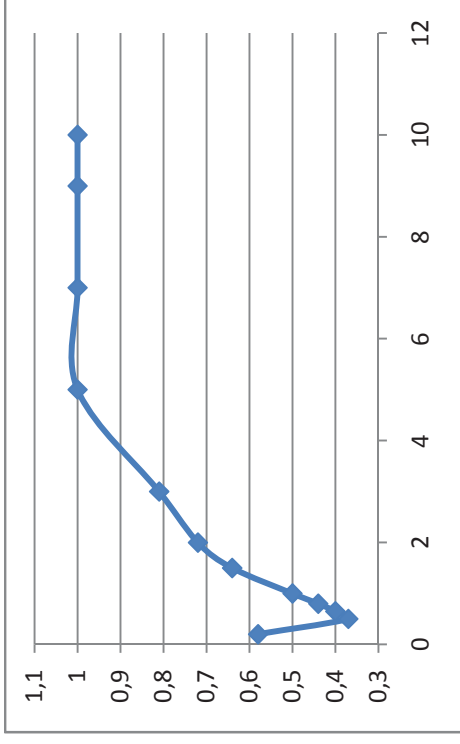
Grafik 4.107 H₂L₅Q₂' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



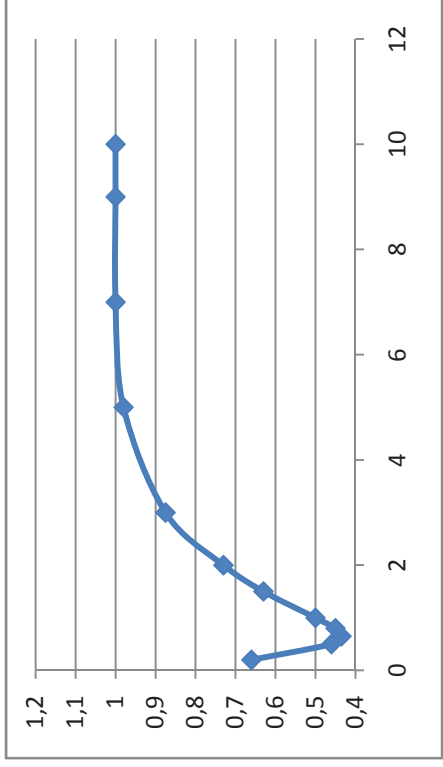
Grafik 4.108 H₂L₅Q₃' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



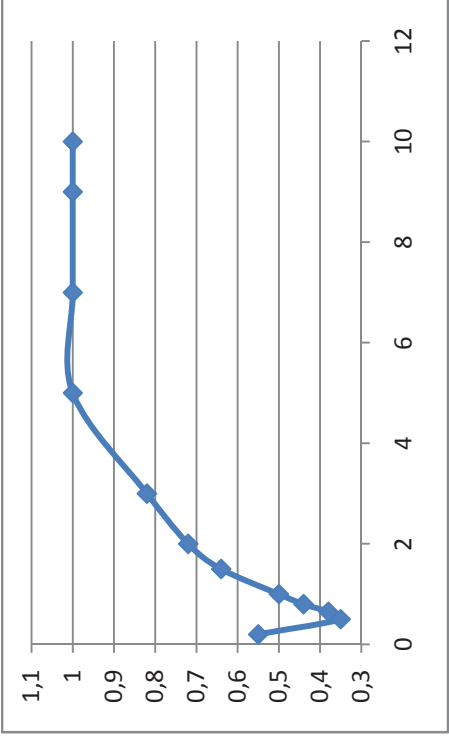
Grafik 4.109 H₃L₁Q₁' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



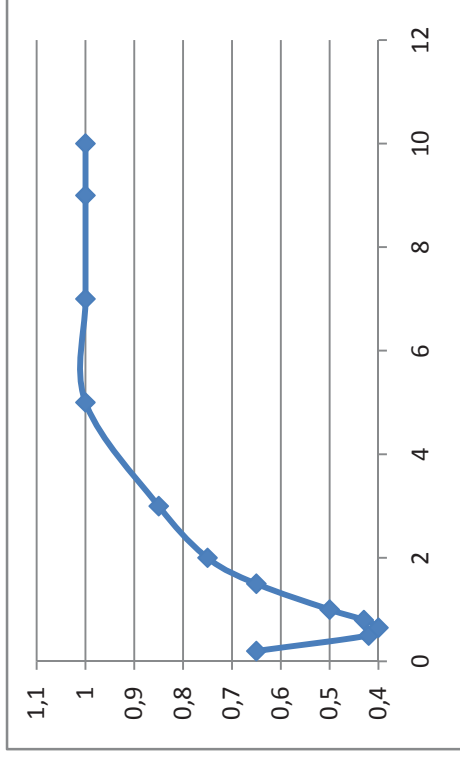
Grafik 4.110 H₃L₁Q₂' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



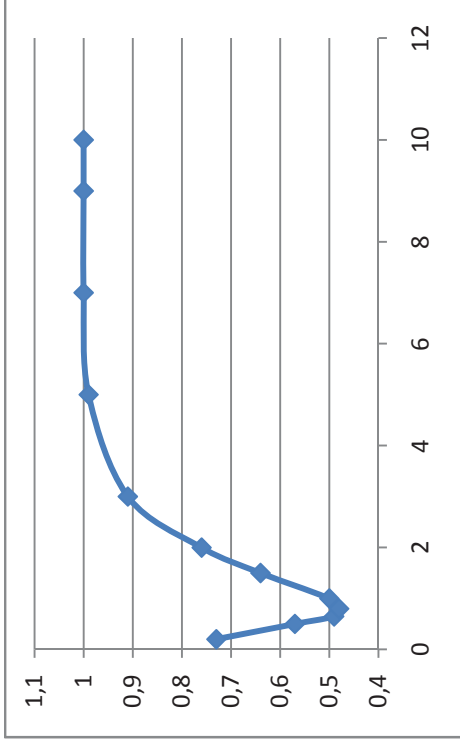
Grafik 4.111 $H_3L_1Q_3$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



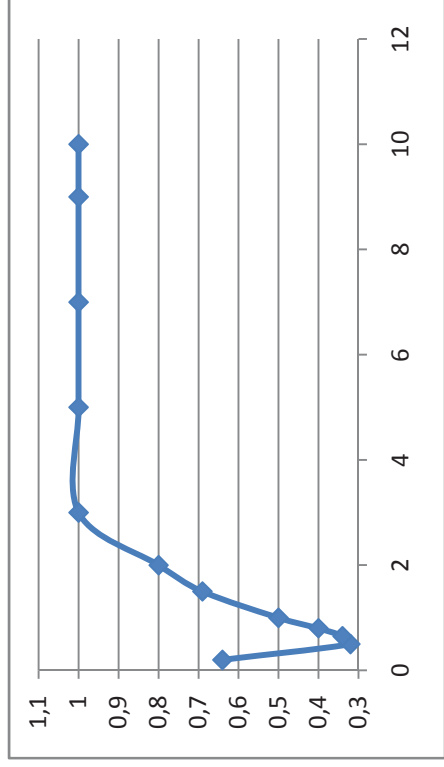
Grafik 4.112 $H_3L_2Q_1$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



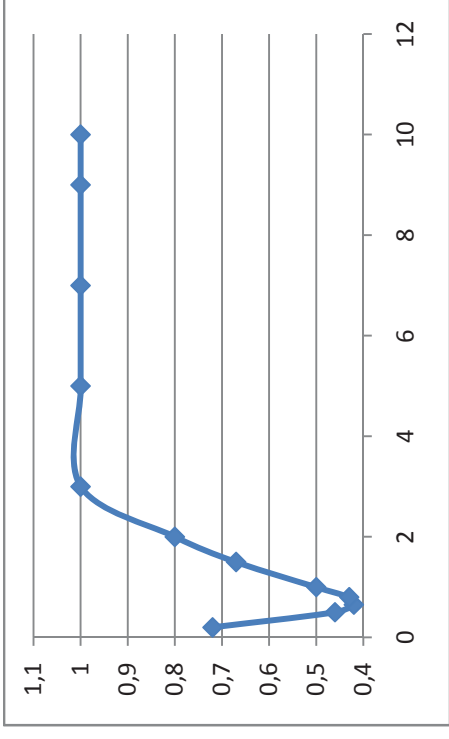
Grafik 4.113 $H_3L_2Q_2$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



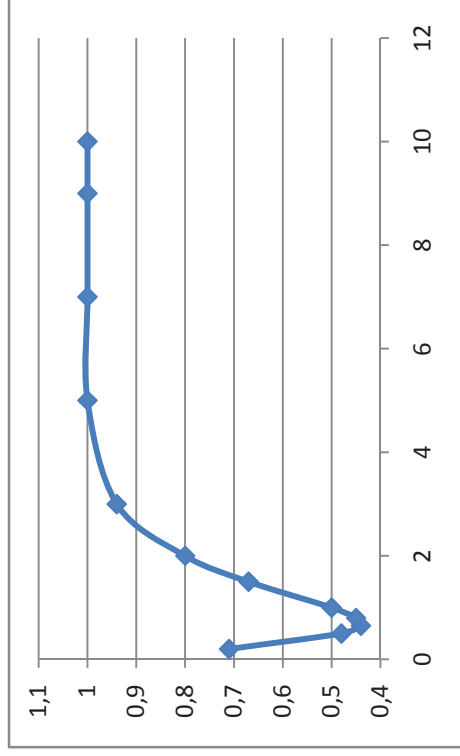
Grafik 4.114 $H_3L_2Q_3$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



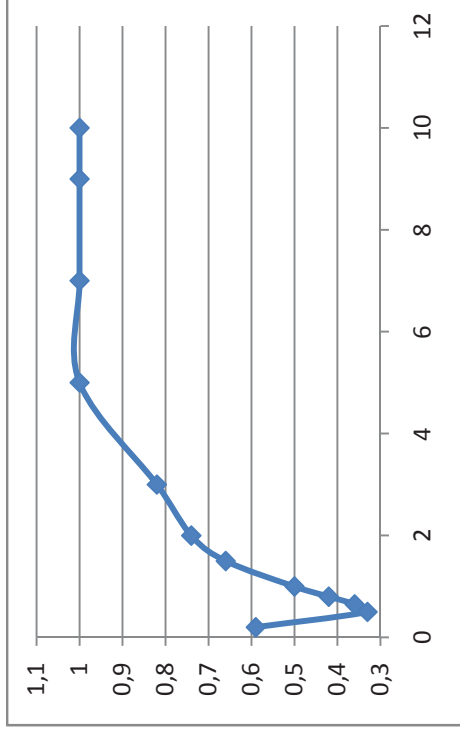
Grafik 4.115 $H_3L_3Q_1$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



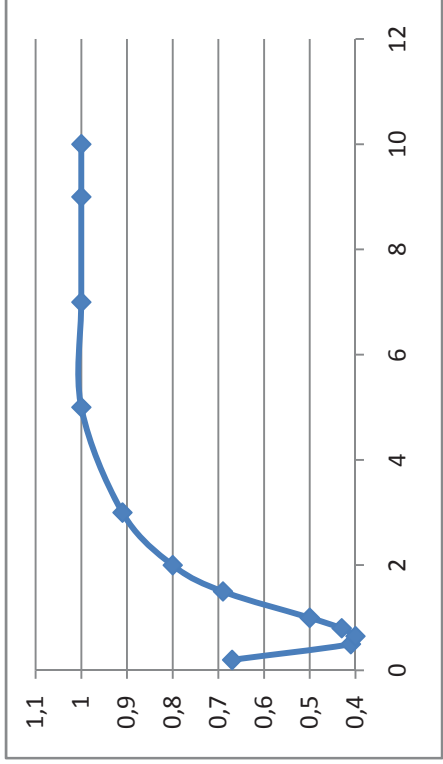
Grafik 4.116 $H_3L_3Q_2$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



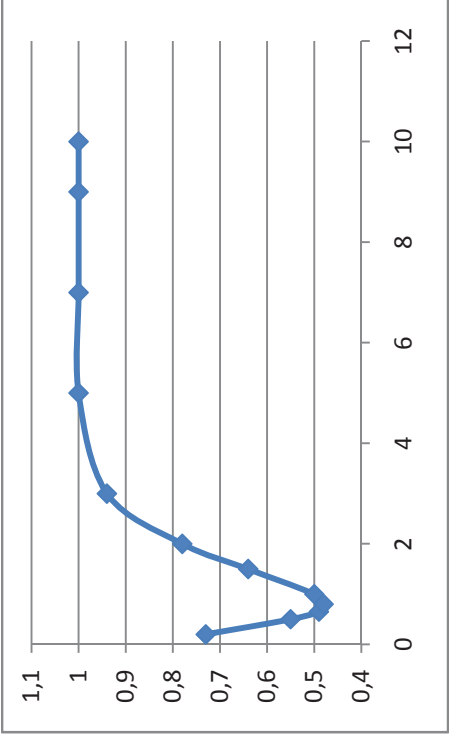
Grafik 4.117 $H_3L_3Q_3$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



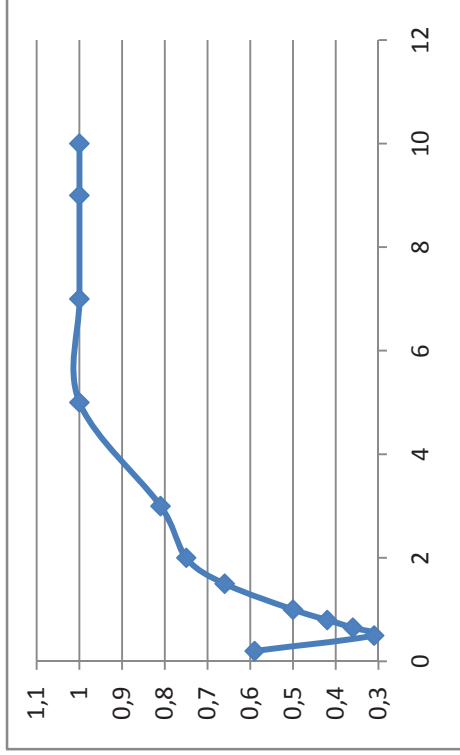
Grafik 4.118 $H_3L_4Q_1$ ' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



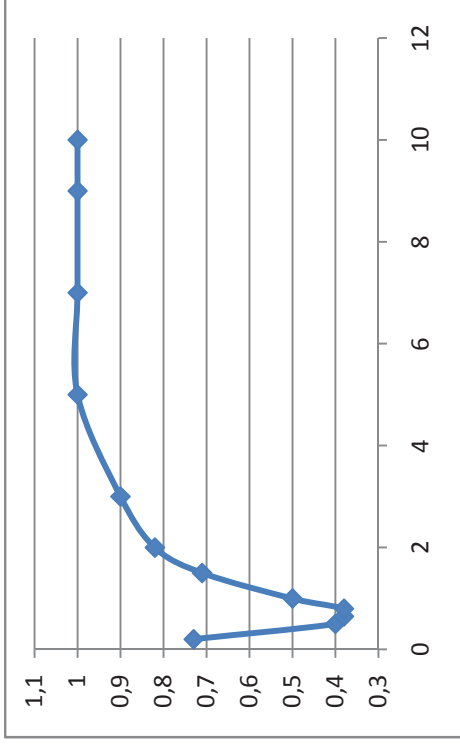
Grafik 4.119 H₃L₄Q₂' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



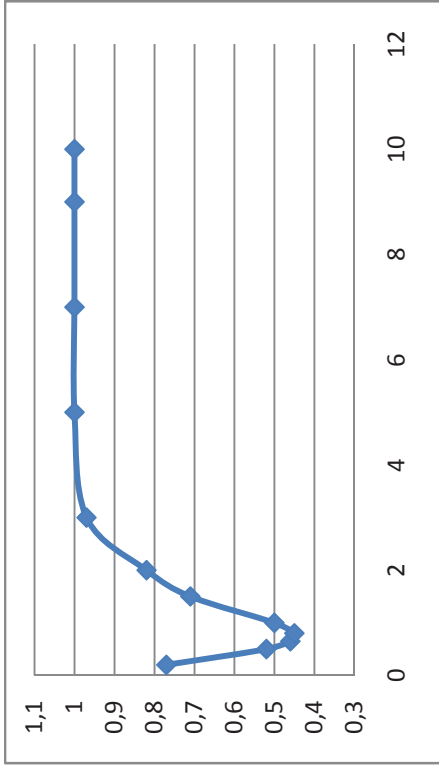
Grafik 4.120 H₃L₄Q₃' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi



Grafik 4.121 H₃L₅Q₁' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi

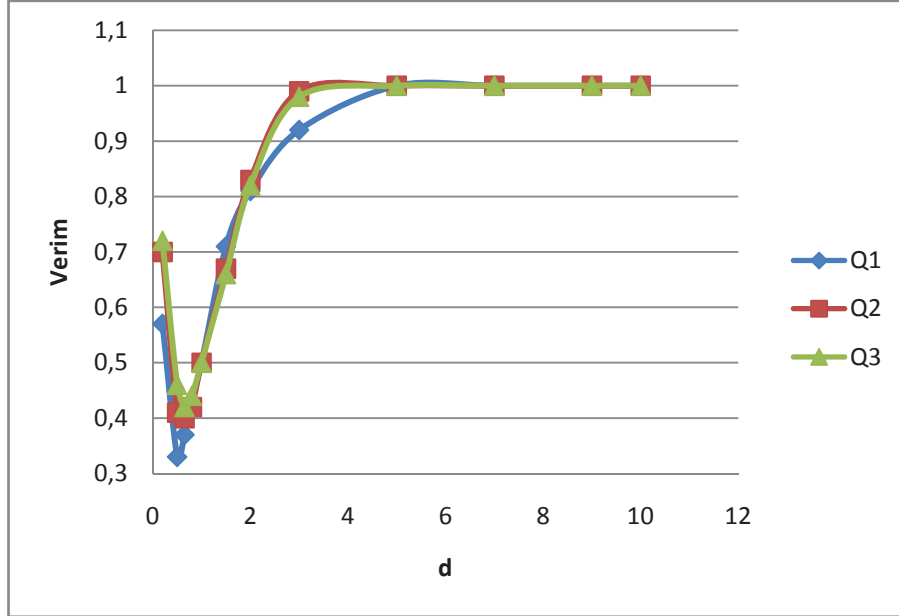


Grafik 4.122 H₃L₅Q₂' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi

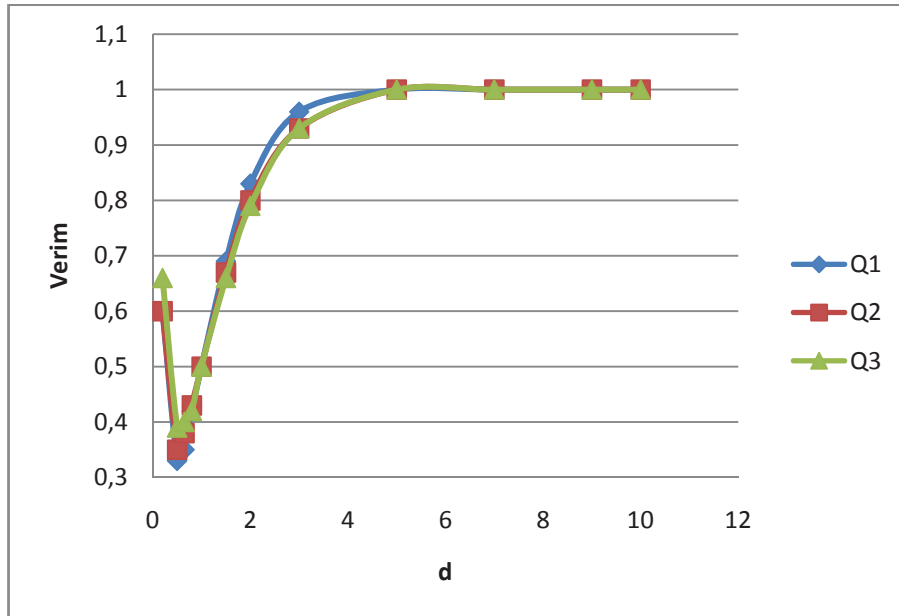


Grafik 4.123 H₃L₅Q₃' e Ait Fraksiyonel Verim Eğrisi

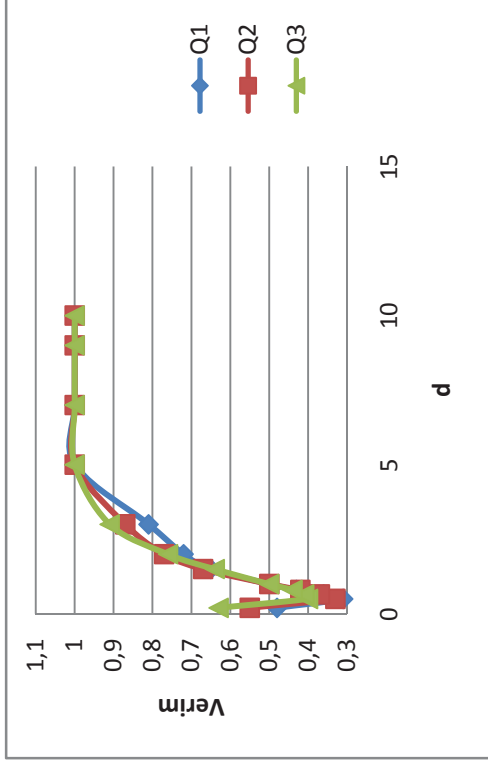
4.13.1 Fraksiyonel Verim Eğrilerine Debinin Etkisi



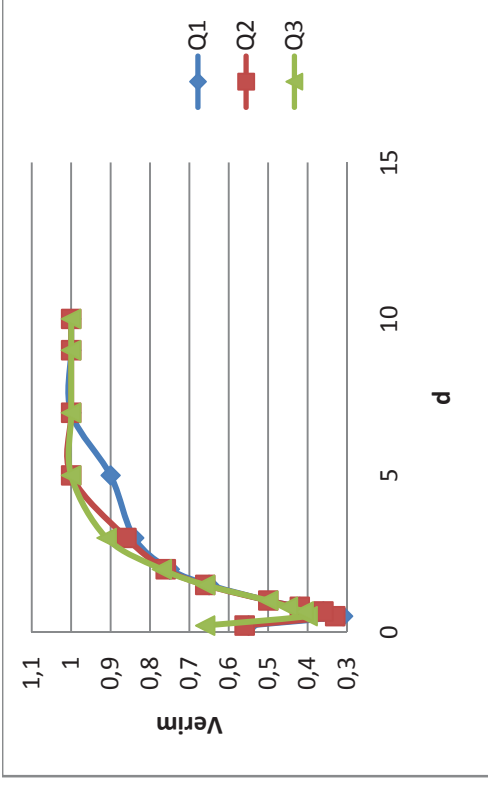
Grafik 4.124 H_1L_1 de Fraksiyonel Verim Eğrileri



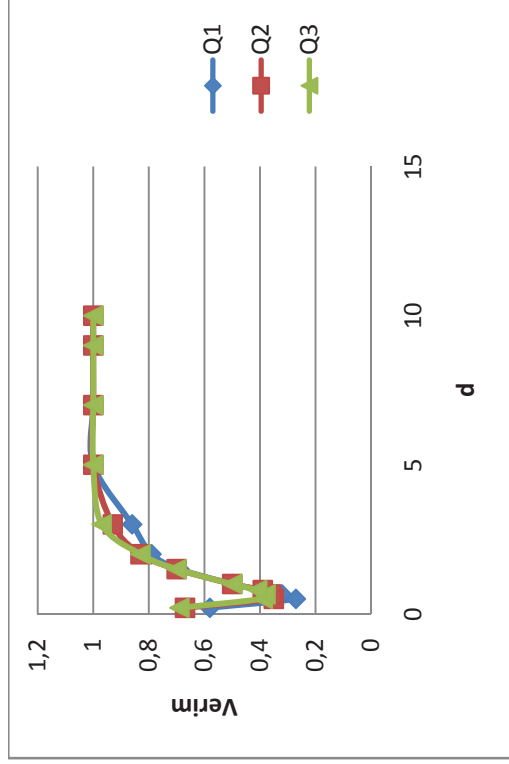
Grafik 4.125 H_1L_2 de Fraksiyonel Verim Eğrileri



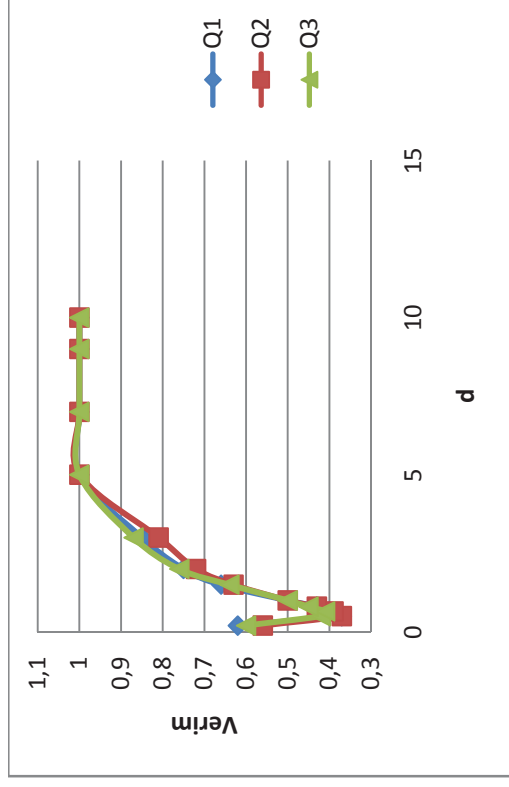
Grafik 4.126 H_{1L_3} de Fraksiyonel Verim Eğrileri



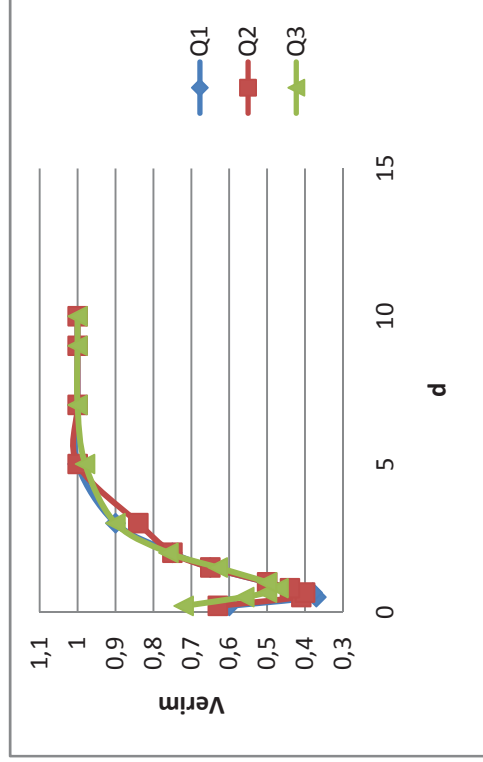
Grafik 4.127 H_{1L_4} de Fraksiyonel Verim Eğrileri



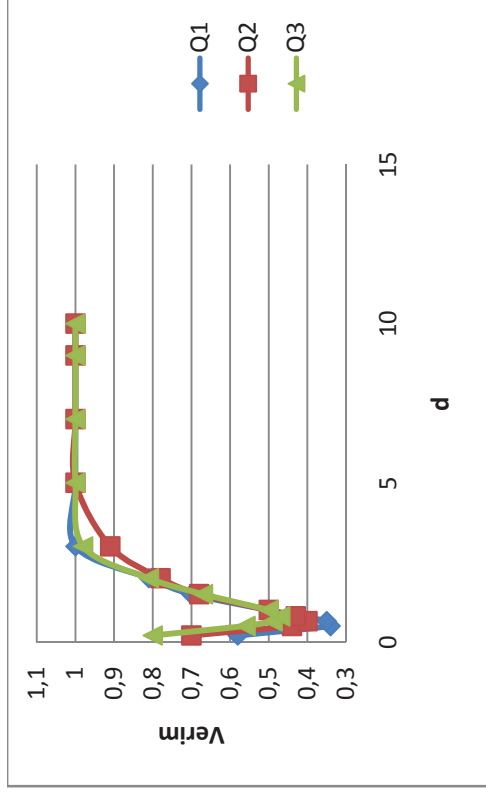
Grafik 4.128 H_{1L_5} de Fraksiyonel Verim Eğrileri



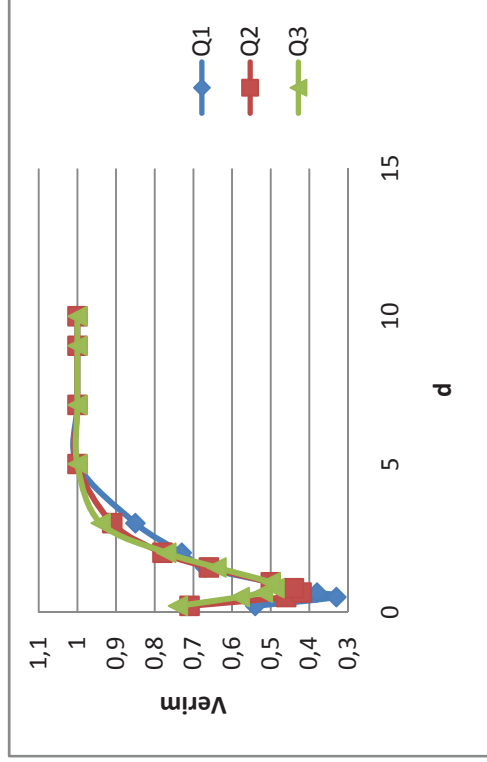
Grafik 4.129 H_{2L_1} de Fraksiyonel Verim Eğrileri



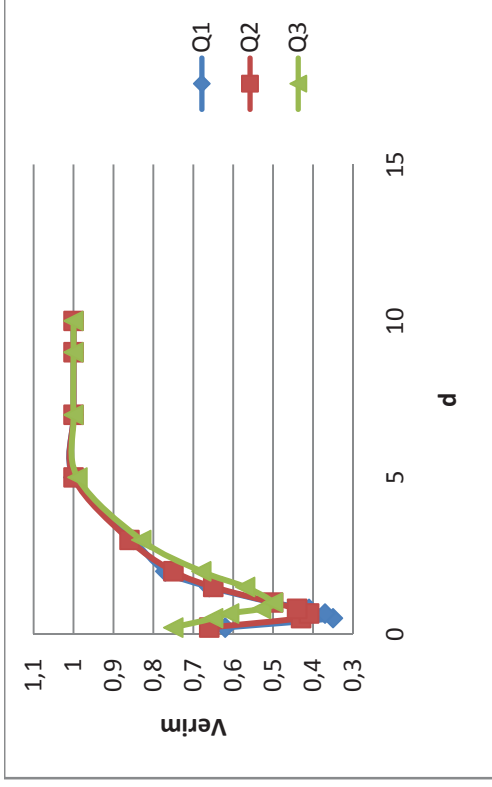
Grafik 4.130 H₂L₂ de Fraksiyonel Verim Eğrileri



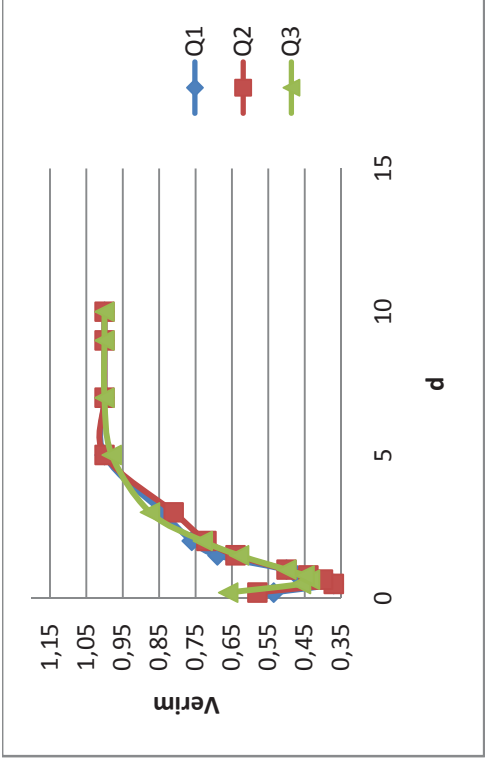
Grafik 4.131 H₂L₃ de Fraksiyonel Verim Eğrileri



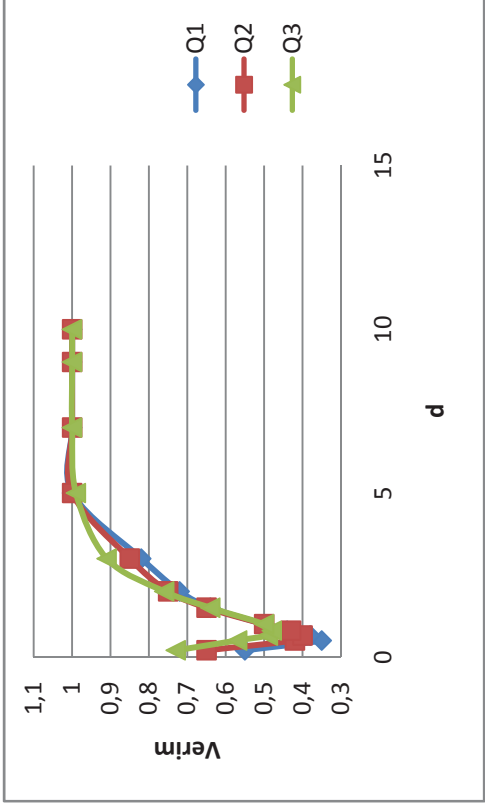
Grafik 4.132 H₂L₄ de Fraksiyonel Verim Eğrileri



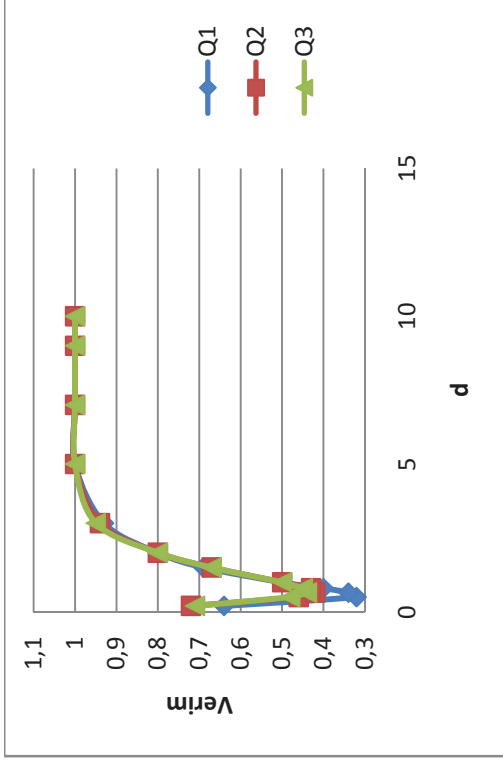
Grafik 4.133 H₂L₅ de Fraksiyonel Verim Eğrileri



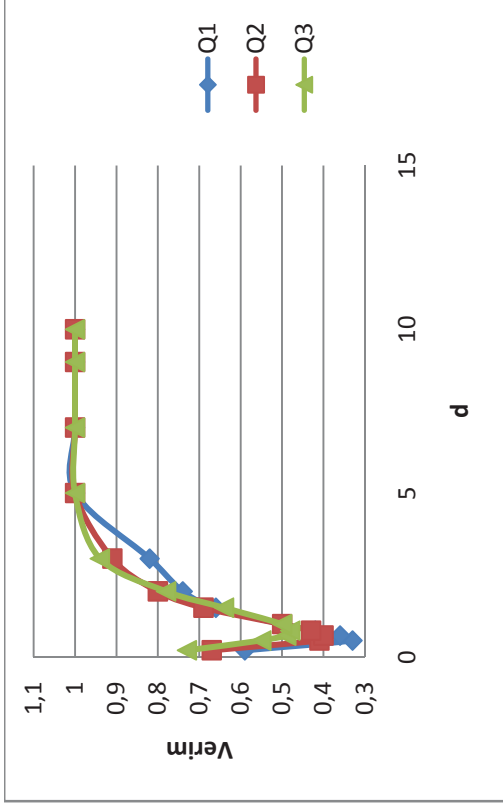
Grafik 4.134 H₃L₁ de Fraksiyonel Verim Eğrileri



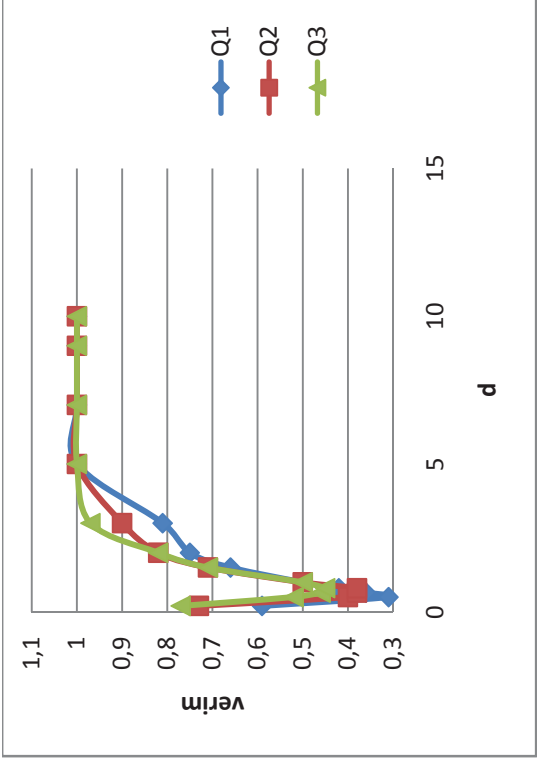
Grafik 4.135 H₃L₂ de Fraksiyonel Verim Eğrileri



Grafik 4.136 H₃L₃ de Fraksiyonel Verim Eğrileri



Grafik 4.137 H₃L₄ de Fraksiyonel Verim Eğrileri



Grafik 4.138 H₃L₅ de Fraksiyonel Verim Eğrileri

Fraksiyonel verim eğrilerinin debide ki değişimden etkileşimi incelendiğinde debi arttığında siklon toplama verimi arttığı için fraksiyonel verimin de artması beklenmektedir. Debinin toplama verimi incelendiğin de debi artışıyla beraber verimin de arttığı gözlenmiştir fraksiyonel verim eğrilerinde de benzer karakteristik gözlenmektedir. Debinin artması fraksiyonel verimi de beraberinde arttırmıştır bu sonuçlara göre deneylerde elde edilen sonuçların doğruluğu bir kez daha kuvvetlenmiştir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

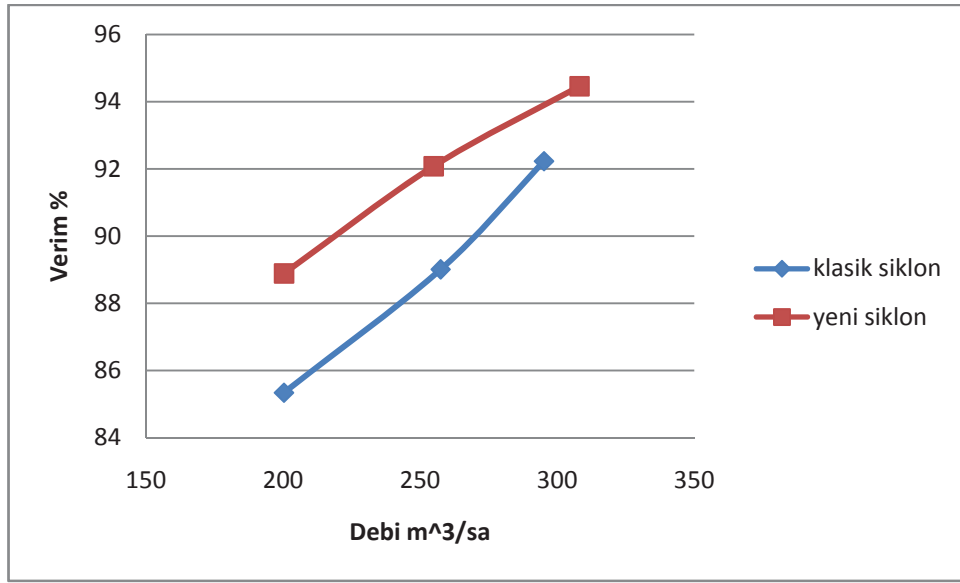
Bu çalışmanın en önemli unsurları klasik siklonun geometrisi ve kullanılan parametreler değiştirilerek bu değişimlerin siklon toplama verimi ve kesirsel verime etkisiyle birlikte basınç kayıplarında oluşan değişimin deneysel olarak incelenmesidir. Bu çalışmalarda klasik siklon üzerinde yapılan geometrik değişimler sonucu elde edilen yeni siklonun performansı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar klasik siklonla karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre giriş hızı ya da diğer ifade ile hava debisi arttığında verimin arttığı gözlenmiştir. Bununla beraber verim artarken debideki artışa paralel olarak basınç kayıpları da artış göstermiştir.

Siklon boyunun uzaması sonucu verimlerde artış olmuş fakat siklon boyundaki artışın verime etkisi debi değişiminin etkisi kadar olmamıştır. Siklon boyundaki değişim sonucu verim %3 civarında etkilenirken bu rakam debi değişimi söz konusu olduğunda %17' lere kadar çıkmaktadır. Siklon boyundaki artışla beraber basınç kayıplarında düşüş olmuştur diğer ifade ile siklon boyundaki artışla beraber basınç kayıplarında olumlu değişim olmuştur.

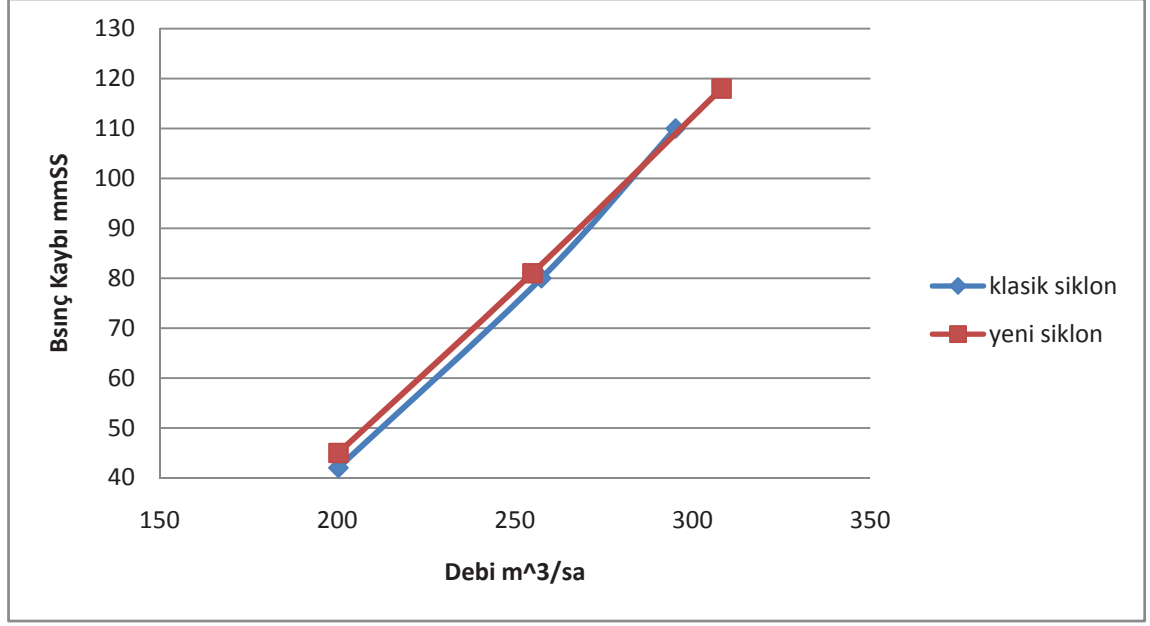
Debideki artış sonucu verimde iyileşme sağlanmasına rağmen basınç kaybında artış olduğu için debi çok fazla yükseltilmez yüksek debi ve büyük gövdeli siklon kullanımı sonucunda ilk yatırım ve özellikle işletme maliyetlerinde önemli artış olmaktadır. Bu da istenmeyen bir sonuçtur. Bu yüzden kullanım amacına göre siklonun boy, giriş hızı ve basınç kayıpları için optimizasyon yapıp uygun değerlerde kullanılması gerekmektedir.

Yeni tasarlanan geometrili siklonda konik kısım ortadan kaldırılmış bunun yerine daha geniş çaplı ikinci bir gövde yerleştirilmiştir. Bu işlem sonucunda klasik siklona göre verimde artış olmuştur. 2010 yılında Masnadi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada siklonun konik kısmının alt ucunda yani toz kutusuna açılan kısmında özellikle uzun süreli kullanımlarda toz biriktiğini ve zamanla siklonun performansının azaldığı gözlenmiştir. Yeni tasarlanan geometride konik kısım olmadığı için bu problemde ortadan kaldırılmıştır.



Grafik 5.1 Klasik ve Yeni Siklonun Verimlerinin Karşılaştırılması

Grafik 5.1 de klasik siklondan H_1 yeni siklondan ise H_1L_1 karşılaştırılmıştır. Grafikte görüldüğü gibi yeni tasarlanan siklonda bütün debi değerlerinde daha yüksek verim elde edilmiştir. Konik kısmın kaldırılması sonucunda elde edilen siklonda girdap daha geniş alana yayıldığından enerjisi azalan girdaptan toz partikülleri yer çekiminin etkisiyle daha fazla toplanmıştır. Siklon toplama verimi her iki siklonda yani hem klasik hem de yeni tasarlanan siklonda debinin yani giriş hızının artmasıyla arttığı görülmüştür. Fakat girdabın yayılacağı alanın genişlemesiyle daha fazla enerji kaybı dolayısıyla daha fazla basınç kaybı oluşmuştur. Grafik 5.2 de klasik ve yeni tasarlanan aynı boydaki siklonlara ait basınç kayıpları gösterilmiştir.



Grafik 5.2 Klasik ve Yeni Siklonun Basınç Kayıplarının Karşılaştırılması

Yeni siklon klasik siklona göre daha yüksek toplama verimi sağlamasına rağmen aynı şartlarda klasik siklona göre daha kötü yani daha yüksek basınç kayıplarına yol açmaktadır. Fakat elde edilen yüksek verimin yanında çok fazla değerlendirilmeye gerek olmayan bir değişim vardır. Klasik siklona ait sonuçlar 2011 yılında Okur' un yaptığı çalışmalardan alınmıştır. Okur yaptığı çalışmalarda aynı giriş kesit, silindir boyu, silindir çapı, dalma mesafesi ve çıkış borusu çapını kullanmıştır.

Yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler kullanılarak kritik çaplar ve fraksiyonel verimler hesaplanmıştır. Kritik çaplarda oluşan değişimin verimlerdeki değişimlerle örtüştüğü gözlenmiş ve yapılan çalışmaların güvenilirliğini arttırmıştır.

Fraksiyonel verim eğrilerinde de kullanılan partiküllerin analizleri sonucunda elde edilen verim değerleri ile toplama verimleri karşılaştırıldığında % 3 ile %1 arasında farklılıklar olduğu gözlenmiş bu değerler ise kabul edilir hata aralığında değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Alexander, R. Mck. 1949.** Fundamentals of cyclone design and operation. Proc. Australas. Inst. Min. Metall, pp: 202-228.
- Arman, R., Mehrzad, S., Homayoon, K., 2009.** CFD analysis of flow field in square cyclones., Powder Technology, 191, 349–357
- Bhasker , C., 2010.** Flow simulation in industrial cyclone separator., Advances in Engineering Software, 41:220–228.
- Bingtao Z., 2012.** Prediction of gas-particle separation efficiency for cyclones: A time-of-flight model ,Separation and Purification Technology, Volume 85, Pages 171-177,
- Bose, PK., Roy, K., Mukhopadhyaya, N., Chakraborty, R.K., 2010.** “Improved theoretical modeling of a cyclone separator as a diesel soot particulate emission arrester “, International Journal of Automotive Technology , 11(1), pp. 1-10
- C. del C. Gutierrez-Torres, P. Quinto-Diez, J.A. Jimenez-Bernal, A. Lopez-Lobato, J.G. Barbosa-Saldaña., 2012.** Effects of particle diameter correction factor on the performance of cyclone collection efficiency models for an industrial application,International Journal of Mineral Processing, Volumes 102–103, Pages 156-160
- Chen , J., Liu, X. 2010.** Simulation of a modified cyclone separator with a novel exhaust, Separation and Purification Technology, 73(2): 100-105
- 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.
- Elsayed, K., Lacor, C., 2010.** Optimization of the cyclone separator geometry for minimum pressure drop using mathematical models and CFD simulations, Chemical Engineering Science V 65/ 22, P: 6048-6058.
- Elsayed, K., Lacor, C., 2011.(a)** ” The effect of cyclone inlet dimensions on the flow pattern and performance”, Applied Mathematical Modelling, Vol. 35 (4), pp 1952-1968.
- Elsayed, K., Lacor, C., 2011.(b)** ” Numerical Modeling of the Flow Field and Performance in Cyclones of Different Cone-Tip Diameters”, Computers & Fluids, Available online.
- Elsayed, K., Lacor, C., 2012.(a)** Modeling and Pareto optimization of gas cyclone separator performance using RBF type artificial neural networks and genetic algorithms Powder Technology, Pages 84-99

Elsayed, K., Lacor, C., 2012.(b) Numerical modeling of the flow field and performance in cyclones of different cone-tip diameters ,Computers & Fluids, Volume 51, Issue 1, Pages 48-59

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

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

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

Guangcai, G., Zhouzhou, Y., Shaolin, Z., 2011. Numerical investigation of the effect of helix angle and leaf margin on the flow pattern and the performance of the axial flow cyclone separator ,Applied Mathematical Modelling, Web 19 Kasım 2011

Karagöz, İ., Avcı, A., Sürmen, A., 2010. Siklon Ayırıcıların Optimizasyonu Ve Taşıtlarda Hava Filtresi Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. TÜBİTAK 109 M 161 Nolu Proje Ara Gelişim Raporu1, BURSA.

Karagöz, İ., Avcı, A., Sürmen, A., 2011. Siklon Ayırıcıların Optimizasyonu Ve Taşıtlarda Hava Filtresi Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. TÜBİTAK 109 M 161 Nolu Proje Ara Gelişim Raporu3, BURSA.

Karagöz, İ., Avcı, A., Sürmen, A., 2012. Siklon Ayırıcıların Optimizasyonu Ve Taşıtlarda Hava Filtresi Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. TÜBİTAK 109 M 161 Nolu Proje Ara Gelişim Raporu5, BURSA.

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.

Masnadi, M.S., Grace, J.G., Elyasi, S., Bi, X., 2010. Distribution of Multi-phase gas-solid flow across identical parallel cyclones: modeling and experimental study, Separation and Purification Technology.

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

Noroozi, S., Hashemabadi, S.H., 2011. ” CFD analysis of inlet chamber body profile effects on de-oiling hydrocyclone efficiency”, Chemical Engineering Research and Design, Vol. 89(7), pp 968-977.

Okur, T., 2011 Siklon Filtrelerde Verim-Basınç Kaybı Ve Yükseklik Arasındaki İlişkinin Deneysel Olarak Araştırılması. Y.Lisans Tezi, UÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa.

Ramachandran, G., Raynor, P.C., Leith, D. 1995. Collection efficiency and pressure drop for a rotary flow cyclone. Filtration Seperation, pp: 631-636 .

- 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.
- Sendogan, O., Karagoz, I., Avci, A., Surmen, A., 2012.** An experimental study on performance characteristics of modified cyclone separators. *International Conference on Recycling and Reuse*, 4-6 June 2012, Istanbul.
- SHEPHERD, G. B. ve LAPPLE, C. E. 1939.** Flow Pattern and Pressure Drop in Cyclone Dust Collectors. *Ind. Engng. Chem.*, 31.
- STAIRMAND, C. J. 1951.** The Design and Performance of Cyclone Separators. *Trans.Instn. Chem. Eng.*, 29: 356-383.
- Sung-Hoon, P., Byeong-Kyu, L. 2009.** Development and application of a novel swirl cyclone scrubber, *Journal of Hazardous Materials*, 164, 315–321
- Ta-Chih, H., Da-RenChena., Sang Young Son. 2009.** Development of mini-cyclones as size-selective inlet of miniature particle detectors, *Aerosol Science*, 40, 481 – 491
- Wang B., Chu K.W., Yu A.B., 2011.** Computational study of the multiphase flow and performance of dense medium cyclones: Effect of body dimensions, *Minerals Engineering* V 24/1, P: 19-34.
- Yoshida, H., Nishimura, Y., Fukui, K., 2010.** Effect of apex cone shape on fine particle classification of gas-cyclone, *Powder Technology* V 204/ 1, P: 54-62.
- Zhongli, J., Zhiyi, X., Xiaolin, W., Honghai, Chen., Hongxiao W. 2009.** Experimental investigations on a cyclone separator performance at an extremely low particle concentration., *Powder technology*, 191, 254–259

EKLER

EK-1 Partikül Analizlerinin Toplu Sonuçları

EK- 2 Deneylerde Kullanılan Çimentonun Partikül Analizi Sonucu

EK- 3 H₃ L₅ Q₁ Deneyi Sonucu Tutulan Partiküllerin Analiz Sonucu

EK-1 Partikül Analizlerinin Toplu Sonuçları

d (0.1)	d (0.5)	d (0.9)	Sample name
1.973	14.066	47.627	numune
3.144	14.196	44.437	[mikron] H1L1Q3
3.318	15.724	51.945	H1L1Q2
3.498	16.981	54.824	H1L1Q1
3.380	16.126	49.414	H1L2Q3
3.423	16.226	52.771	H1L2Q2
3.446	17.253	52.527	H1L2Q1
3.544	17.873	51.952	H1L3Q3
3.536	18.610	52.428	H1L3Q2
3.666	19.526	57.946	H1L3Q1
3.294	16.196	48.248	H1L4Q3
3.438	17.523	53.560	H1L4Q2
3.542	17.703	52.681	H1L4Q1
3.244	15.864	50.156	H1L5Q3
3.262	16.122	50.315	H1L5Q2
3.510	17.430	54.195	H1L5Q1
3.185	16.564	52.925	H2L1Q3
3.318	18.304	59.583	H2L1Q2
3.292	17.756	59.474	H2L1Q1
2.873	15.173	53.382	H2L2Q3
3.120	17.270	57.990	H2L2Q2
3.350	18.800	65.602	H2L2Q1
2.822	14.227	52.862	H2L3Q3
2.955	15.776	54.861	H2L3Q2
3.080	16.042	57.797	H2L3Q1
2.853	14.434	52.147	H2L4Q3
2.930	15.388	52.994	H2L4Q2
3.309	18.248	58.226	H2L4Q1
2.854	14.946	52.481	H2L5Q3
2.957	15.894	55.259	H2L5Q2
3.077	15.942	55.384	H2L5Q1
3.075	13.898	46.619	H3L1Q3
3.340	17.970	58.318	H3L1Q2
3.297	17.923	63.516	H3L1Q1
2.826	14.367	50.630	H3L2Q3
3.017	16.171	54.072	H3L2Q2
3.174	16.537	54.008	H3L2Q1
2.842	14.565	51.654	H3L3Q3
2.917	15.136	53.652	H3L3Q2
3.227	17.516	60.603	H3L3Q1
2.909	15.137	53.210	H3L4Q3
3.074	16.014	56.289	H3L4Q2
2.909	15.137	53.210	H3L4Q1
2.893	15.066	53.048	H3L5Q3
3.017	16.154	52.517	H3L5Q2
3.274	17.750	58.934	H3L5Q1

d(0,1) ölçülen numunenin %10' u belirtilen değerin altında, d(0,5) te %50 nin, d(0,9) da %90 nı.

EK- 2 Deneyleerde Kullanılan Çimentonun Partikül Analizi Sonucu



MASTERSIZER



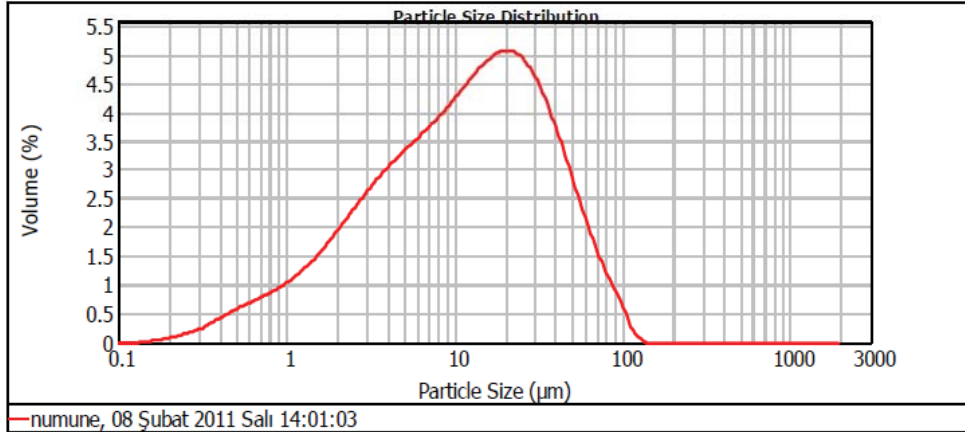
Result Analysis Report

Sample Name: numune
Sample Source & type:
Sample bulk lot ref:
SOP Name: Cement
Measured by: atomika
Result Source: Edited
Measured: 08 Şubat 2011 Salı 14:01:03
Analysed: 08 Şubat 2011 Salı 14:01:05

Particle Name: Cement
Particle RI: 1.680
Dispersant Name:
Accessory Name: Scirocco 2000
Absorption: 0.1
Dispersant RI: 1.000
Analysis model: General purpose
Size range: 0.020 to 2000.000 um
Weighted Residual: 0.265 %
Sensitivity: Normal
Obscuration: 1.19 %
Result Emulation: Off

Concentration: 0.0001 %Vol
Specific Surface Area: 1.52 m²/g
Span : 3.615
Surface Weighted Mean D[3,2]: 3.960 um
Uniformity: 1.14
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 18.702 um
Result units: Volume

d(0.1): 1.714 um **d(0.5):** 12.035 um **d(0.9):** 45.222 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.106	0.00	1.096	1.06	11.482	4.12	120.226	0.05	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	1.21	13.183	4.30	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.02	1.445	1.37	15.136	4.46	158.489	0.00	1669.557	0.00
0.015	0.00	0.158	0.04	1.660	1.56	17.378	4.55	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.06	1.905	1.77	19.953	4.57	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.10	2.188	1.98	22.909	4.49	239.883	0.00	2511.896	0.00
0.023	0.00	0.240	0.14	2.512	2.19	26.303	4.31	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.20	2.884	2.36	30.200	4.01	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.27	3.311	2.58	34.674	3.62	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.36	3.802	2.75	39.811	3.27	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.45	4.365	2.91	45.709	3.17	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.53	5.012	3.06	52.481	2.18	549.541	0.00	5754.389	0.00
0.052	0.00	0.550	0.61	5.754	3.22	60.256	1.72	630.857	0.00	6606.834	0.00
0.060	0.00	0.631	0.68	6.607	3.37	69.183	1.31	724.436	0.00	7585.778	0.00
0.069	0.00	0.724	0.78	7.586	3.54	79.433	0.96	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.84	8.710	3.72	91.201	0.66	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.94	10.000	3.82	104.713	0.24	1098.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925	0.00		

Operator notes:

EK- 3 H₃ L₅ Q₁ Deneyi Sonucu Tutulan Partiküllerin Analiz Sonucu



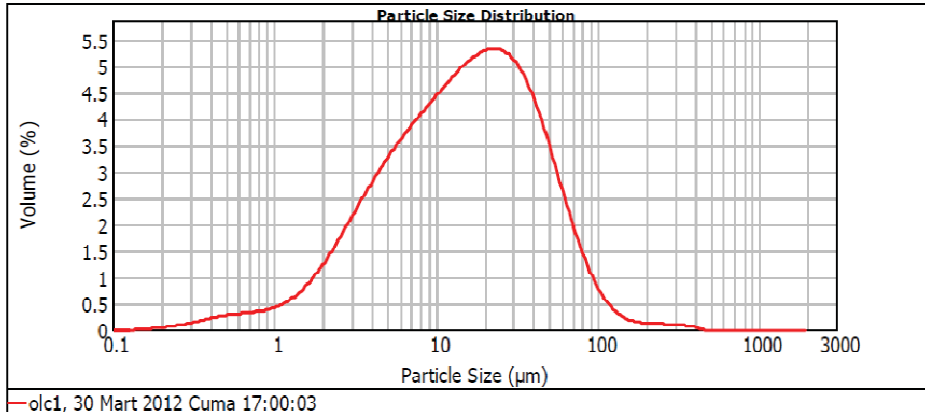
Result Analysis Report

Sample Name: olc1 **SOP Name:** Cement **Measured:** 30 Mart 2012 Cuma 17:00:03
Sample Source & type: **Measured by:** atomika **Analysed:** 30 Mart 2012 Cuma 17:00:05
Sample bulk lot ref: **Result Source:** Measurement

Particle Name: Cement **Accessory Name:** Scirocco 2000 **Analysis model:** General purpose **Sensitivity:** Normal
Particle RI: 1.680 **Absorption:** 0.1 **Size range:** 0.020 to 2000.000 um **Obscuration:** 1.59 %
Dispersant Name: **Dispersant RI:** 1.000 **Weighted Residual:** 0.177 % **Result Emulation:** Off

Concentration: 0.0003 %Vol **Span :** 3.329 **Uniformity:** 1.14 **Result units:** Volume
Specific Surface Area: 1.04 m²/g **Surface Weighted Mean D[3,2]:** 5.771 um **Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 23.941 um

d(0.1): 2.893 um d(0.5): 15.066 um d(0.9): 53.048 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.48	11.482	4.31	120.226	0.33	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.60	13.183	4.49	138.038	0.71	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.01	1.445	0.75	15.136	4.64	158.489	0.15	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.02	1.660	0.94	17.378	4.76	181.970	0.12	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.02	1.905	1.17	19.963	4.83	208.930	0.11	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.04	2.188	1.43	22.909	4.83	239.883	0.11	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.06	2.512	1.71	26.303	4.74	275.423	0.11	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.09	2.884	2.00	30.200	4.54	316.228	0.10	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.12	3.311	2.29	34.674	4.22	363.078	0.08	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.16	3.802	2.57	39.811	3.79	416.869	0.06	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.20	4.365	2.84	46.709	3.28	478.630	0.01	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.24	5.012	3.00	52.481	2.71	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.27	5.754	3.31	60.256	2.14	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.29	6.607	3.53	69.183	1.62	724.430	0.00	7585.770	0.00
0.069	0.00	0.724	0.32	7.596	3.73	79.433	1.16	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.35	8.710	3.93	91.201	0.70	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.40	10.000	4.12	104.713	0.52	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.48	11.482	4.31	120.226	0.33	1258.925	0.00		

Operator notes:

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ömer ŞENDOĞAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 22.10.1985

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesi / 2005

Lisans : Sakarya Üniversitesi – Makine Mühendisliği / 2009

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi – Makine Mühendisliği / 2012

Çalıştığı Kurum(lar) : -

İletişim : omersendogan@gmail.com

Yayımları :

1) **T. Okur, Ö. Şendoğan, A. Avcı, İ. Karagöz,** Teğetsel Girişli Siklonların Performansının Deneysel İncelenmesi Ve Optimizasyonu, *ULIBTK'11 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi 07-10 Eylül 2011, ZONGULDAK*

2) **Sendogan, O., Karagoz, I., Avcı, A., Surmen, A., 2012.** An experimental study on performance characteristics of modified cyclone separators. International Conference on Recycling and Reuse, 4-6 June 2012, Istanbul.