



**SANAL GÖVDELİ SİKLON AYIRICILARDA GÖVDE  
ÇAPININ SİKLON PERFORMANSINA ETKİSİNİN  
DENEYSEL İNCELEMESİ**

**Gökhan ÇELİK**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SANAL GÖVDELİ SIKLON AYIRICILARDA GÖVDE ÇAPININ SIKLON  
PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELEMESİ**

**Gökhan ÇELİK**  
0000-0002-4331-8903

Prof. Dr. Atakan AVCI  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA– 2020

## TEZ ONAYI

Gökhan ÇELİK tarafından hazırlanan "SANAL GÖVDELİ SİKLON AYIRICILARDA GÖVDE ÇAPININ SİKLON PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELEMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Atakan AVCI

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

İmza



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

İmza



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

İmza



**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

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

21.10.2020



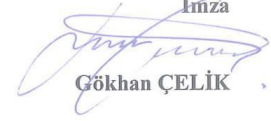
U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

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

**beyan ederim.**

21/02/2020

İmza



**Gökhan ÇELİK**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SANAL GÖVDELİ SIKLON AYIRICILARDA GÖVDE ÇAPININ SIKLON PERFORMANSINA ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELEMESİ

**Gökhan ÇELİK**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Atakan AVCI

Bu çalışmada, teğetsel girişli sanal gövdeli bir siklon ayırıcının performansı, toplam verim ve basınç kaybı üzerinden incelenmiştir. Deney sisteminde gövde çapı, siklon gövde uzunluğu ve çıkış boru çapı gibi siklon geometrileri değiştirilebilir durumdadır. Gövde çapı değişiklikleri temel alınarak farklı giriş hızlarında, farklı dalma yüksekliklerinde, farklı gövde uzunluklarında ve farklı siklon çıkış borusu çaplarının birbiriyle olan ilişkileri incelenmiştir. Deneylerde dört farklı çıkış boru çapı, siklon gövde çapı dâhil olmak üzere beş farklı gövde çapı kullanılmıştır. Yapılan deneyler üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Deneyin ilk aşamasında her sanal gövde çapı için sırayla dört çıkış boru çapında ve sekiz farklı dalma borusu yüksekliğinde basınç kayıpları ve bunlara bağlı olarak K katsayı değerleri bulunmuştur. Deneyler sonucunda sanal gövde çapının azalmasının basınç kaybını arttırdığı gözlemlenmiştir.

Deneyin ikinci aşamasında siklonun laboratuvar ortamında bulunan havadaki tozlar için toplam tutma verimi ve fraksiyonel verimleri hesaplanmıştır. Ortamdaki toz konsantrasyonu zamanla değişken olmasına rağmen benzer konsantrasyona sahip durumlar birbiriyle kıyaslandığında sanal gövde çapının artışına bağlı olarak verimde artış olduğu görülmüştür.

Deneyin üçüncü ve son aşamasında ise kullanılan siklon için toz tutma verimi bulunmuştur. Deneylerde toz olarak kalsit kullanılmıştır. İki farklı ortalama partikül çapına sahip toz ile deney yapılmıştır. Değişik debilerde farklı siklon gövde çapı ve çıkış boru çapının siklon toplam tutma verimi ve fraksiyonel verimine etkisi incelenmiştir. Her iki toz için sanal gövde çapının azalmasına bağlı olarak verimlerde azalma gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Siklon, sanal gövde çapı, basınç kaybı, fraksiyonel verim, toplam verim

**2020, xi +98 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BODY DIAMETER ON CYCLONE PERFORMANCE IN VIRTUAL BODY CYCLONE SEPERATORS

**Gökhan ÇELİK**

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

**Supervisor:** Prof. Dr. Atakan AVCI

In this study, the performance of a tangential entry virtual body cyclone separator was examined on the basis of total efficiency and pressure loss. Cyclone geometries such as body diameter, cyclone body length and outlet pipe diameter are changeable in the test system. Necessary studies were carried out at different inlet velocities, different plunge heights, different body lengths and different cyclone outlet pipe diameters based on body diameter changes. A total of five different body diameters were used in the experiments, including four different plunger diameter and cyclone body diameter. The experiments were carried out in three stages.

In the first stage of the experiment, pressure losses and K coefficient values were determined for each virtual body diameter in four submersible tube diameters and eight different submersible heights respectively. As a result of the experiments, it was observed that decreasing the diameter of the virtual body pipe increases the pressure loss.

In the second stage of the experiment, the total retention efficiency and fractional efficiency of the cyclone were calculated for laboratory airborne dusts. Although the dust concentration in the environment is variable over time, when the cases with similar concentrations are compared with each other, there was an increase in the efficiency due to the increase in the diameter of the body.

In the third and final stage of the experiment, dust holding efficiency was found for the cyclone used. Calcite was used as powder in the experiments. Powder having two different average particle diameter was tested. The effect of different cyclone body diameter and plunge pipe diameter on cyclone total holding efficiency and fractional efficiency were investigated. A decrease in the efficiency was observed due to the reduction of the virtual body diameter for both powders.

**Key words:** Cyclone, virtual body diameter, pressure loss, fractional efficiency, total efficiency

**2020, xi +98 pages.**

## TEŞEKKÜR

İlk olarak en büyük teőekkürü tezin her aşamasında bilgisi, tecrübesi ve sorduğum tüm sorulara sabırla cevap veren danışman hocam sayın Prof. Dr. Atakan AVCI'ya teőekkürü borç bilirim. Ayrıca deneysel çalıőmalarım boyunca yardımlarını hiç esirgemeyen Arő. Gör. Mehmet Erman ÇALIŞKAN'a teşekkür ederim.

Son olarak yüksek lisans ve öğrenim hayatım boyunca göstermiş oldukları sabır ve her türlü desteği sunan babam Ayhan ÇELİK ve annem Leyla ÇELİK'e teşekkür ederim.

Gökhan ÇELİK  
20/02/2020

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI VE KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Literatür Taraması.....	3
2.2. Siklon Ayırıcılar.....	12
2.3. Siklonlarda Basınç Kaybı.....	14
2.4. Siklonlarda Toplama Verimi ve Fraksiyonel Verim.....	16
2.5. Siklon Boyunun Performansa Etkisi.....	17
2.6. Siklon Ayırıcılarda Optimizasyon.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Siklon Tasarımı.....	19
3.2. Deney Düzenekleri ve Deney Parametreleri.....	23
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	31
4.1. Deney 1 Sonuçları.....	31
4.1.1. Sanal gövde çapı değişiminin basınç kaybına etkisi.....	32
4.1.2. Çıkış borusu çap değişiminin basınç kaybına etkisi.....	50
4.1.3. Çıkış borusu yüksekliğinin basınç kaybına etkisi.....	51
4.1.4. Siklon gövde boyunun basınç kaybına etkisi.....	53
4.1.5. Siklon giriş hızının basınç kaybına etkisi.....	57
4.2. Deney 2 Sonuçları.....	59
4.2.1. Sanal gövde çapı değişiminin verime etkisi.....	60
4.2.2. Çıkış borusu çapı değişiminin verime etkisi.....	63
4.2.3. Çıkış borusu yüksekliği değişiminin verime etkisi.....	65
4.2.4. Siklon gövde boyu değişiminin verime etkisi.....	66
4.2.5. Siklon giriş hızının verime etkisi.....	68
4.3. Deney 3 Sonuçları.....	69
4.3.1. 20 µm ortalama partikül boyutuna sahip toz için verim sonuçları.....	69
4.3.2. 8 µm ortalama partikül boyutuna sahip toz için verim sonuçları.....	88
5. SONUÇ.....	90
KAYNAKLAR.....	92
EKLER.....	95
EK-1.....	96
EK-2.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	98



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$\Delta P$	basınç kaybı
K	basınç kayıp katsayısı
$D_2$	çıkış boru çapı
D	çıkış borusu dalma yüksekliği
Q	debi
S	gövde çapı
$\rho_{hava}$	havanın yoğunluğu
CaCO <sub>3</sub>	kalsiyum karbonat
A	kesit alanı
$\mu m$	mikron
°C	santigrat
V <sub>g</sub>	siklona giren havanın hızı
m <sub>gts</sub>	siklona giren toz miktarı
L	siklon gövde boyu
m <sub>çts</sub>	siklon toplama haznesinde toplanan toz miktarı
$\eta$	verim
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
g	gram
mm	milimetre
mmss	milimetre su
KW	kilowatt
cm	santimetre

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Teğetsel ve aksenal girişli siklon tipleri.....	12
Şekil 2.2. Siklonlarda iki fazlı akış .....	13
Şekil 2.3. Teğetsel girişli siklon için karakteristik boyutlar.....	14
Şekil 2.4. Siklon için tipik fraksiyonel verim eğrisi .....	16
Şekil 3.1. Siklon teknik resmi .....	20
Şekil 3.2. 40 mm sanal gövde .....	21
Şekil 3.3. 50 mm sanal gövde .....	21
Şekil 3.4. 60 mm sanal gövde .....	21
Şekil 3.5. 80 mm sanal gövde .....	21
Şekil 3.6. Toplu olarak sanal gövdeler.....	22
Şekil 3.7. Çıkış boruları (Sağdan sola 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm ).....	22
Şekil 3.8. Proair blower.....	23
Şekil 3.9. Deney 1 şematik gösterimi.....	24
Şekil 3.10. Testo 521 basınç ölçüm cihazı.....	24
Şekil 3.11. Debimetre.....	25
Şekil 3.12. Deney 2 ve 3 şematik gösterimi.....	26
Şekil 3.13. Partikül sayım cihazı .....	27
Şekil 3.14. Toz temizleme aleti .....	27
Şekil 3.15. Malvern Mastersizer 2000 cihazı.....	28
Şekil 3.16. Paketlenmiş kalsit tozu numuneleri .....	29
Şekil 3.17. Hassas terazi.....	29
Şekil 4.1. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kaybı değişimi ( $D_2=10$ mm) .....	32
Şekil 4.2. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kaybı değişimi ( $D_2=15$ mm) .....	32
Şekil 4.3. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kaybı değişimi ( $D_2=20$ mm) .....	33
Şekil 4.4. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kaybı değişimi ( $D_2=25$ mm) .....	33
Şekil 4.5. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=10$ mm, $D= 0$ mm).....	34
Şekil 4.6. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=10$ mm, $D= 10$ mm).....	34
Şekil 4.7. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=10$ mm, $D= 20$ mm).....	35
Şekil 4.8. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=10$ mm, $D= 30$ mm).....	35
Şekil 4.9. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=10$ mm, $D= 40$ mm).....	36
Şekil 4.10. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=10$ mm, $D= 50$ mm).....	36
Şekil 4.11. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=10$ mm, $D= 60$ mm).....	37
Şekil 4.12. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=10$ mm, $D= 70$ mm).....	37



Şekil 4.37. Çıkış borusu çap değişiminin basınç kaybına etkisi .....	50
Şekil 4.38. Çıkış borusu çap değişiminin basınç kayıp katsayısına etkisi .....	50
Şekil 4.39. Çıkış borusu yüksekliği değişiminin basınç kayıp katsayısına etkisi .....	52
Şekil 4.40. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kaybına etkisi ( $D_2=10$ mm) .....	53
Şekil 4.41. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kaybına etkisi ( $D_2=15$ mm) .....	53
Şekil 4.42. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kaybına etkisi ( $D_2=20$ mm) .....	54
Şekil 4.43. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kaybına etkisi ( $D_2=25$ mm) .....	54
Şekil 4.44. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kayıp katsayısına etkisi ( $D_2=10$ mm) .....	55
Şekil 4.45. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kayıp katsayısına etkisi ( $D_2=15$ mm) .....	55
Şekil 4.46. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kayıp katsayısına etkisi ( $D_2=20$ mm) .....	55
Şekil 4.47. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kayıp katsayısına etkisi ( $D_2=25$ mm) .....	56
Şekil 4.48. Debi değişiminin basınç kaybına etkisi ( $S=100$ mm, $D_2=10$ mm) .....	57
Şekil 4.49. Debi değişiminin basınç kaybına etkisi ( $S=60$ mm, $D_2=15$ mm) .....	57
Şekil 4.50. Debi değişiminin basınç kaybına etkisi ( $S=40$ mm, $D_2=25$ mm) .....	58
Şekil 4.51. Havadaki toz içindeki partikül konsantrasyonunun zamanla değişimi .....	59
Şekil 4.52. Sanal gövde çapının toplam tutma verimine etkisi ( $D_2=10$ mm) .....	60
Şekil 4.53. Sanal gövde çapının toplam tutma verimine etkisi ( $S_1=40$ mm, $S_4=80$ mm $D_2=10$ mm) .....	60
Şekil 4.54. Sanal gövde çapının toplam tutma verimine etkisi ( $S_3=60$ mm, $S_4=80$ mm $D_2=10$ mm) .....	61
Şekil 4.55. Sanal gövde çapının toplam tutma verimine etkisi ( $D_2=15$ mm) .....	61
Şekil 4.56. Sanal gövde çapının toplam tutma verimine etkisi ( $S_3=60$ mm, $S_4=80$ mm $D_2=15$ mm) .....	62
Şekil 4.57. Sanal gövde çapının toplam tutma verimine etkisi ( $S_4=80$ mm, $S_5=100$ mm $D_2=15$ mm) .....	62
Şekil 4.58. Çıkış borusu çap değişiminin toplam tutma verimine etkisi ( $S=40$ mm) .....	63
Şekil 4.59. Çıkış borusu çap değişiminin toplam tutma verimine etkisi ( $S=50$ mm) .....	63
Şekil 4.60. Çıkış borusu çap değişiminin toplam tutma verimine etkisi ( $S=60$ mm) .....	64
Şekil 4.61. Çıkış borusu çap değişiminin toplam tutma verimine etkisi ( $S=80$ mm) .....	64
Şekil 4.62. Çıkış borusu çap değişiminin toplam tutma verimine etkisi ( $S=100$ mm) .....	64
Şekil 4.63. Çıkış borusu yüksekliği değişiminin toplam tutma verimine etkisi ( $S=40$ , $D_2=10$ mm) .....	65
Şekil 4.64. Çıkış borusu yüksekliği değişiminin toplam tutma verimine etkisi ( $S=40$ , $D_2=25$ mm) .....	65
Şekil 4.65. Siklon gövde boyu değişiminin toplam tutma verimine etkisi ( $D_2=10$ mm) .....	66
Şekil 4.66. Siklon gövde boyu değişiminin toplam tutma verimine etkisi ( $D_2=15$ mm) .....	66
Şekil 4.67. Siklon gövde boyu değişiminin toplam tutma verimine etkisi ( $D_2=20$ mm) .....	67
Şekil 4.68. Siklon gövde boyu değişiminin toplam tutma verimine etkisi ( $D_2=25$ mm) .....	67
Şekil 4.69. Siklon giriş hızının verime etkisi ( $S=40$ mm) .....	68
Şekil 4.70. Siklon giriş hızının verime etkisi ( $S=100$ mm) .....	68

Şekil 4.71. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=40 mm, D <sub>2</sub> =10 mm) .....	70
Şekil 4.72. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=50 mm, D <sub>2</sub> =10 mm) .....	70
Şekil 4.73. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=60 mm, D <sub>2</sub> =10 mm) .....	70
Şekil 4.74. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=80 mm, D <sub>2</sub> =10 mm) .....	71
Şekil 4.75. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=100 mm, D <sub>2</sub> =10 mm) ....	71
Şekil 4.76. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi ( D <sub>2</sub> =10 mm).....	71
Şekil 4.77. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=40 mm, D <sub>2</sub> =15 mm) .....	72
Şekil 4.78. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=50 mm, D <sub>2</sub> =15 mm) .....	72
Şekil 4.79. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=60 mm, D <sub>2</sub> =15 mm) .....	72
Şekil 4.80. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=80 mm, D <sub>2</sub> =15 mm) .....	73
Şekil 4.81. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=100 mm, D <sub>2</sub> =15 mm) ....	73
Şekil 4.82. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi ( D <sub>2</sub> =15 mm).....	73
Şekil 4.83. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=40 mm, D <sub>2</sub> =20 mm) .....	74
Şekil 4.84. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=50 mm, D <sub>2</sub> =20 mm) .....	74
Şekil 4.85. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=60 mm, D <sub>2</sub> =20 mm) .....	74
Şekil 4.86. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=80 mm, D <sub>2</sub> =20 mm) .....	75
Şekil 4.87. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=100 mm, D <sub>2</sub> =20 mm) ....	75
Şekil 4.88. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi ( D <sub>2</sub> =20 mm).....	75
Şekil 4.89. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=40 mm, D <sub>2</sub> =25 mm) .....	76
Şekil 4.90. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=50 mm, D <sub>2</sub> =25 mm) .....	76
Şekil 4.91. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=60 mm, D <sub>2</sub> =25 mm) .....	76
Şekil 4.92. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=80 mm, D <sub>2</sub> =25 mm) .....	77
Şekil 4.93. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=100 mm, D <sub>2</sub> =25 mm) ....	77
Şekil 4.94. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi ( D <sub>2</sub> =25 mm).....	78
Şekil 4.95. Çıkış boru çapının toz tutma verimine etkisi ( S=40 mm).....	79
Şekil 4.96. Çıkış boru çapının toz tutma verimine etkisi ( S=50 mm).....	79
Şekil 4.97. Çıkış boru çapının toz tutma verimine etkisi ( S=60 mm).....	80
Şekil 4.98. Çıkış boru çapının toz tutma verimine etkisi ( S=80 mm).....	80
Şekil 4.99. Çıkış boru çapının toz tutma verimine etkisi ( S=100 mm).....	80
Şekil 4.100. Siklon gövde boyunun toz tutma verimine etkisi ( D <sub>2</sub> =10 mm) .....	81
Şekil 4.101. Siklon gövde boyunun toz tutma verimine etkisi ( D <sub>2</sub> =15 mm) .....	81
Şekil 4.102. Siklon gövde boyunun toz tutma verimine etkisi ( D <sub>2</sub> =20 mm) .....	82
Şekil 4.103. Siklon gövde boyunun toz tutma verimine etkisi ( D <sub>2</sub> =25 mm) .....	82
Şekil 4.104. Sanal gövde çapı değişimi için fraksiyonel verim eğrisi (Q=5 m <sup>3</sup> /h, D <sub>2</sub> =25 mm) .....	83
Şekil 4.105. Sanal gövde çapı değişimi için fraksiyonel verim eğrisi (Q=10 m <sup>3</sup> /h, D <sub>2</sub> =25 mm) .....	84
Şekil 4.106. Sanal gövde çapı değişimi için fraksiyonel verim eğrisi (Q=15 m <sup>3</sup> /h, D <sub>2</sub> =25 mm) .....	84
Şekil 4.107. Sanal gövde çapı değişimi için fraksiyonel verim eğrisi (Q=20 m <sup>3</sup> /h, D <sub>2</sub> =25 mm) .....	84
Şekil 4.108. Sanal gövde çapı değişimi için fraksiyonel verim eğrisi (Q=25 m <sup>3</sup> /h, D <sub>2</sub> =25 mm) .....	85
Şekil 4.109. Sanal gövde çapı değişimi için fraksiyonel verim eğrisi (Q=30 m <sup>3</sup> /h, D <sub>2</sub> =25 mm) .....	85
Şekil 4.110. Debi değişimi için fraksiyonel verim eğrisi ( D <sub>2</sub> =10 mm) .....	86
Şekil 4.111. Debi değişimi için fraksiyonel verim eğrisi ( D <sub>2</sub> =15 mm) .....	86
Şekil 4.112. Debi değişimi için fraksiyonel verim eğrisi ( D <sub>2</sub> =20 mm) .....	87

Şekil 4.113. Debi değişimi için fraksiyonel verim eğrisi ( $D_2=25$ mm) .....	87
Şekil 4.114. 8 $\mu$ m partikül boyutuna sahip toz için toplam tutma verimi ( $D_2=10$ mm)	88
Şekil 4.115. 8 $\mu$ m partikül boyutuna sahip toz için toplam tutma verimi ( $D_2=15$ mm)	89
Şekil 4.116. 8 $\mu$ m partikül boyutuna sahip toz için toplam tutma verimi ( $D_2=20$ mm)	89
Şekil 4.117. 8 $\mu$ m partikül boyutuna sahip toz için toplam tutma verimi ( $D_2=25$ mm)	89



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Havanın giriş hızları.....	25
Çizelge 3.2. Atmosfer havasının özellikleri.....	27
Çizelge 3.3. Kalsit tozunun özellikleri.....	30
Çizelge 4.1. Deneyde değiştirilen parametreler.....	31
Çizelge 4.2. Çıkış borusu yüksekliği değişiminin basınç kaybına etkisi (S=100 mm ve D <sub>2</sub> =25 mm).....	51



## 1. GİRİŞ

Siklon ayırıcılar genel tanım olarak partikülleri havadan santrifüj kuvvetleri yardımıyla ayıran toz toplama aygıtlarıdır. Siklon, gelen havanın bir girdap etkisinde dönmesine neden olarak çalışır. Hava akımı yön değiştirmeye zorlandığından, parçacıkların eylemsizlik etkisiyle orijinal yönde devam etmelerine ve hava akışından ayrılmalarına neden olur. Her ne kadar bir siklon tasarımı ve çalışması basit olarak görünse de siklon içerisindeki etkileşimler görüldüğünden daha karmaşıktır. Bu karmaşık yapıdan dolayı tam bir teorik analiz çıkarmak zordur. Bu sebepten siklonlar üzerinde büyük oranda deneysel çalışmalar yapılmaktadır. Basit olarak siklon içerisinde gerçekleşen durumu açıklarsak, proses esnasında oluşan iki girdap var olmasıdır. Bu iki girdaptan ana girdap aşağı doğru hareket eder ve büyük partikülleri siklonun toplama haznesine taşır. Daha küçük partiküller ise yukarı doğru hareket eder ve çıkış borusundan dışarı atılır.

Siklon ayırıcılarda hareketli parça bulunmamaktadır ve yaygın bir malzeme çeşitliliğinden imal edilmektedirler. Siklonlarda gaz girişi, gaz çıkışı ve toz tahliye yeri başlıca olması gereken kısımlardır. Bu kısımların farklı varyasyonları için, farklı tip siklonlar imal edilebilir. Bu varyasyonlar arasından en yaygın kullanılanları teğetsel giriş ve aksel çıkışa sahip siklonlardır. Bu tip siklonlara ters akışlı siklon denir. Bu çalışmada da teğetsel girişli siklon kullanılmıştır. Teğetsel girişli siklonlarda, gaz akışı siklona teğet girerken bu giriş etkisiyle siklon, bu giren çok fazlı akışa spiral bir akış verir. Bir girdap hareketine dönüşen bu akış üzerine etkiyen santrifüj kuvvet yardımıyla daha büyük olan partiküller siklon duvarına çarpar ve bu partiküller siklonun toplama haznesinde toplanır. Böylece daha büyük olan partiküller, küçük olanlardan ayrıştırılmış olur. Ayrıca siklonda oluşan iç girdap dışında siklonda ikincil akımlar ve dolaşım bölgeleri de oluşabilir.

Endüstride genel olarak katı-gaz ayırıcı olarak kullanılan, endüstri dışında da geniş kullanım alanları bulunan siklonlar sadece katı-gaz değil ayrıca katı-sıvı, gaz-sıvı heterojen karışımlar ve birbirine karışmayan sıvıları birbirinden ayırmak içinde kullanılır.



Endüstride yaygın olarak, içerisinde toz, talaş, hububat gibi katı maddelerden oluşan partiküller içeren hava ve benzeri gazların içerisindeki parçacıkların ayrılması ve toplanması amacıyla kullanılırlar. Endüstriyel toz toplama sistemlerinde 50 mikrona kadar olan taneciklerin tutulmasında kullanılırlar. Ticari amaçlı olarak kullanılan siklonlar 50-5000 m<sup>3</sup>/h debilerde çalışabilmektedir. Ayrıca gerekli verimlilikleri sağlayamadıkları durumlarda yüksek verimli toplama cihazları ile birlikte kullanılabilirler.

Ayrıca filtrelerden önce kullanıldıklarında filtre ömrünü uzatırlar. Siklonların tercih edilmesinin bir başka nedeni düşük maliyet, bakım masraflarının çok düşük olması, yüksek sıcaklıklara dayanıklı olmaları ve üretim maliyetlerinin düşük olmasıdır. Bu kadar olumlu özelliğine rağmen siklonların performansını tahmin etmek zordur ve belirli tasarım zorluklarına neden olurlar. Siklonların performans değerleri, siklon ayırma verimi, fraksiyonel verim ve basınç kayıplarıdır. Genellikle basınç kaybı ve toplama verimi birbirine zıt olarak çalışır. Yani biri iyileşirken diğeri aksi yönde değer alır. Bu sebeple kullanılan siklon için o siklonun istenilen verimde çalışabilmesi için optimizasyon yapılır. Bu optimizasyonu sağlamak için siklon akışının ve siklonun geometrik parametrelerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreleri belirlemek için ise literatürde birçok deneysel çalışma yapılmış ve buna uygun siklonlar geliştirilmeye çalışılmıştır.

Siklon performansına birçok parametre etki eder. Bunlardan bazıları siklon tipi, siklon boyutsal oranları, çıkış borusu (baca borusu) yüksekliği, siklon giriş hızı, çıkış borusu çapı, sıcaklık, farklı partikül konsantrasyonu gibi parametreleri değiştirmek siklonda basınç kaybı ve verim gibi performans ölçütlerini etkilemektedir.

Bu çalışmada ise, literatürde çok fazla çalışma olmayan siklon gövde çapı değişiminin siklon performansına etkisi araştırılmıştır. Deneysel olarak kullanılan siklonda sanal gövdelerin yerleştirilebileceği geniş bir gövde kullanılmış ve gövde çapları böylece değiştirilmiştir. Ayrıca araştırılan performans kriterleri için farklı debilerde, farklı çıkış boru çaplarında ve farklı siklon uzunluklarında deneysel çalışmalar yapılmıştır.

## **2. KAYNAK ARAŞTIRMASI VE KURAMSAL TEMELLER**

Bu bölümde siklon ayırıcılar hakkında önceden yapılmış çalışmalar literatür taraması kısmında, siklon ayırıcılar hakkında genel bilgi ve siklon performansını tanımlayan parametreler ise kuramsal temeller kısmında verilmiştir.

### **2.1. Literatür Taraması**

Shepherd ve Lapple (1939) gerçekleőtirdikleri çalışmada partikül tutma verimi ve basınç kaybı üzerinde durmuőlardır. Parçacık toplama mekanizmasını inceleyerek, siklon performans özellikleri ile tasarım parametreleri arasında siklon toz tutma verimini bulmak için çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Alexander ve Kilmer (1949) vortekslerin siklon içine girme mesafesinin sadece gaz giriő ve çıkıő boyutlarına bağlı olduğunu belirtmiőtir. Ayrıca tüm basınç kayıplarının gaz akıőındaki kinetik enerji kayıplarından kaynaklandığını varsayarak, basınç dűőüőü için denklem geliőtirmiőtir.

Stairmand (1951) en popöler siklon tasarımlarından bazıları kendi adını taşıyan siklon çalıőmaları temel alınarak yapılmıőtir. Ayrıca toplam enerji kaybının siklon vorteksindeki kayıplardan ve giriş-çıkış kayıplarından kaynaklandığını varsaymıőtir.

Lapple (1951) kendi adıyla anılan siklon geliőtirmiőtir.

Barth (1956)'ın verimlilik teorisi statik parçacık yaklaőımı için örnektir. Buna istinaden basınç dűőümü ve toplama verimi denklemleri geliőtirmiőtir. Basınç dűőümünü iki faktörün toplamının bir fonksiyonu olarak ifade etmiőtir. İlk faktör olarak, siklonun giriőü ve içsel sürtünme ile kinetik enerji kayıplarından kaynaklanan kayıplar olarak tanımlamıőtir. İkinci faktörü ise siklon çıkıőından kaynaklanan kayıplar olarak tanımlamıőtir.

Leith ve Licht (1972) siklondaki türbülansın dolayısıyla yeterli olarak toplanmamış partiküllerin siklona geri dönmesi durumunu ele almışlardır. Ayrıca bu durumu inceleyen sürüklenme katsayısını da dikkate almışlardır.

Chan ve Lippmann (1977) akış hızı ve partikül çapını temel parametre olarak yeni bir deneysel siklon toplama teorisi geliştirmeye çalışmışlardır.

Koch ve Licht (1977)'in toplama teorisi siklonların doğal türbülanslı yapısını ve gaz kalış süresinin siklon içindeki dağılımını esas almıştır. Giriş ve toplama bölgelerindeki partikül hareketini iki varsayımla açıklamışlardır. İlk olarak partikül teğet hızı, gaz akışının teğet hızına eşit olarak varsaymışlardır. Yani partikül ile gaz arasında teğet olarak kayma yoktur. İkinci olarak ise teğetsel hızın siklon yarıçapı ile ilgilini olduğunu varsaymışlardır.

Dietz (1981) Leith ve Licht modelini iyileştirmeye çalışmıştır. Partikül toplama verimi üzerine çalışmıştır. Ter Linden (1949) gözlemlerine dayanarak, bir siklonun sıvı akışı için üç bölgeyi bir model önermiştir.

Dirgo ve Leith (1985) yaptıkları deneylerde Stairmand'ın geliştirdiği yüksek verimliliğe sahip siklon kullanmışlardır. Deneylerinde 10 µm'den küçük çaptaki partiküller için fraksiyonel verimi incelemişlerdir. Verimlilik üzerine teorik tahminler ile deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır. Deney sonuçları Leith ve Licht'in teorisi, Lapple ve Dietz'in teorisine göre daha yakın çıkmıştır. Fakat deneysel sonuçlara en yakın Barth'ın teorisi uymuştur.

Mothes ve Löffler (1988)'in modeli siklon çapını değiştirme yöntemini kullanmışlardır ve her bölgede aksenal yönde parçacık konsantrasyonunun değişimini ayrıca farklı bölgedeki parçacık difüzyonunu değerlendirmişlerdir.

Ioza ve Leith (1990) modeli kuvvet dengesi temel alınarak geliştirilen Barth (1956) modelinin geliştirilmiş versiyonudur. Teorileri, girdap tarafından taşınan bir parçacığın iki kuvvetin etkisine dayandığını varsaymıştır. Bunlar; merkezkaç kuvveti ve akış direncidir. On bir farklı siklon için partikül tutma verimi üzerinde çalışmışlardır.

Bohnet (1995) siklonlarda yüksek sıcaklıklar için basınç kaybı ve toz tutma verimi hakkında deneysel çalışma yapmıştır. Belirlediği sıcaklık değerleri için dikkate değer basınç düşüşleri ve verimlilik eğrileri bulmuştur.

Ramachandran ve ark. (1995) basınç düşüşü ve toplama verimliliğini tahmin etmek için matematiksel model sunmuşlardır. Endüstriyel bir döner akış siklon üzerinde yapılan basınç düşüşü ve toplama verimliliğini deneysel sonuçlara yakın bulmuşlardır. Optimize edilmiş bir döner akış siklon yarıçapı ve eğimi öngören optimizasyon eğrileri geliştirmişlerdir.

Griffiths ve Boysan (1996) partikül tutma performansını modellemek için araştırma yapmışlardır. Deneylemlerden ve üç ampirik teoriden elde edilen verileri kullanarak üç tip küçük siklon performansını karşılaştırmak için bu çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Öngörülen basınç düşüşlerinin ölçülen verimlerle mükemmel bir uyum içinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Barth (1956) teorisinin performans eğrileri, düşünülen üç siklon tasarımından ikisi için deneysel olarak elde edilen verilerle eşleştiğini söylemişlerdir.

Liden ve Gudmundsson (1997) dört siklon tasarımı için hangi parametrelerin siklon toplama verimliliğini etkilediğini belirlemek için analiz yapmışlardır. Toplam verim eğrisinin dikliği esas olarak siklon gövde çapının girdap tüpü iç çapına oranından etkilendiğini ve Reynolds sayısından bağımsız olduğunu bulmuşlardır.

Zhu ve Lee (1999) yüksek akış hızlarında çalışan mini siklonların parçacık toplama verimliliğine ilişkin deney hazırlamışlardır. Yedi farklı siklon için farklı toz partikül boyutları için verimi sistematik olarak incelemişlerdir. Silindir yüksekliği ve çıkış borusu uzunluğunun partikül toplama verimi üzerindeki etkilerine özel olarak önem vermişlerdir.

Buldukları sonuçlarda, akış hızının siklon toplama verimliliğinde önemli rol oynadığını göstermiştir. Silindir yüksekliğinin artmasıyla toplama verimliliğinin artması arasında paralellik olduğunu bulmuşlardır. Fakat silindir yüksekliği aşırı derecede arttırıldığında toplama verimliliğinin belirli ölçüde azaldığını görmüşlerdir. Ayrıca silindir yüksekliği uzadıkça veya çıkış borusu uzunluğu kısaldıkça basınç farkının önemli ölçüde azaldığını gözlemlemişlerdir.

Avcı ve Karagöz (2000) iki fazlı akışta matematiksel olarak teğetsel siklon ayırıcılar için bir model sunmuşlardır. Bunu yaparken yüzey pürüzlülüğü ve partikül konsantrasyonunu incelemişlerdir. Kritik çaplar, fraksiyonel verimlilik ve basınç kayıpları için her fazın aynı hıza ve ivmeye sahip olduğunu varsaymışlardır. Bu varsayımlar altında elde ettikleri sonuçları literatürdeki deneysel ve kuramsal benzerleriyle karşılaştırmış ve deneysel sonuçlarla çok iyi uyum sağladığını gözlemlemişlerdir.

Avcı ve Karagöz (2001) giriş geometrisi, yüzey pürüzlülüğü, hız ve partikül konsantrasyonu dahil olmak üzere geometri ve akış parametrelerini göz önüne alarak siklon ayırıcılarda basınç kayıplarını teorik olarak analiz etmiş ve yeni bir denklem geliştirmişlerdir. Çalışmada elde ettikleri sonuçların farklı siklonlar için deneysel değerlerle karşılaştırılabileceğini söylemişlerdir. Önerdikleri denklemin basınç kayıplarını kolayca tahmin etmek için kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Xiang ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada koni boyutunun siklon performansına etkisini araştırmışlardır. Farklı koni çaplarına sahip üç siklonun toplama verimliliğini partikül boyutu ve akış hızının bir fonksiyonu olarak ölçmüşlerdir. Ölçülen sonuçların akış hızının verimlilik değerlerini ve verimlilik eğrilerini güçlü bir şekilde etkilediğini gözlemlemişlerdir. Koni çapı değişiminin sadece toplama verimliliği üzerinde etkili olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca deneysel verilerini Barth'ın teorisi, Leith ve Licht'in teorisi, Iozia ve Leith'in metoduyla karşılaştırmışlardır. Sonuçları sadece Barth'ın teorisinin ve Iozia ve Leith'in yönteminin verimlilik eğrisini oldukça iyi tahmin ettiğini göstermiştir.

Avcı ve Erel (2003) siklon separatörlerde uzunluğun verime etkisini incelemiş ve verimin siklon boyuyla artıp artmayacağına cevap bulmak için bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımın sonucuna göre çalışma şartlarına göre her siklon için optimum bir siklon uzunluğu belirlenebileceğini ve belirlenen uzunluğun üzerindeki siklon uzunluğunda verimin artmayacağını aksine azalacağı sonucuna ulaşmışlardır. Model sonuçlarını bazı deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Büyük hızlarda siklonu uzatmanın, düşük hızlarda ise siklonu kısaltmanın yararlı olabileceğini söylemişlerdir.

Karagöz ve Avcı (2005) teğetsel girişli siklon ayırıcılarda basınç düşümünün modellenmesi üzerine yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Sundukları bu yaklaşımda yüzey pürüzlülüğüne ve Reynolds sayısını temel alarak siklon gövdesindeki basınç düşümünü hesaplamışlardır. Yeni geometrik parametreleri de modele dâhil ederek giriş ve çıkış kayıplarını da hesaba katmışlardır. Sundukları bu modeli literatürdeki on iki farklı siklonu inceleyerek ve karşılaştırarak doğrulamışlardır. Yeni modelin, çok çeşitli koşullar için deneysel sonuçları iyi tahmin ettiğini görmüşlerdir.

Fıçıcı (2006) siklonlarda dalma borusu çap değişiminin verimlilik ve basınç kaybı üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deneyler sonucunda dalma borusu çap değişiminin sürekli arttırılmasının verimde düzenli artış sağlamadığını bulmuştur. 120 mm çapta tutma veriminde artış görülmesine rağmen 80 ve 160 mm çaplarda tutma veriminde azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca dalma borusu yüksekliğini de incelemiş ve dalma derinliğinin basınç kayıplarını partikül olmayan akışta arttırdığını, partiküllü akışta ise önce azalttığını belli bir dalma derinliğinden sonra ise arttırdığını bulmuştur.

Kıvanç (2006) siklonlarda dip çıkış çapının değişiminin akış parametrelerine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Dalma boyu değişimi için çıkış sıcaklığının 50 mm dip çap için ilk başta azaldığını, daha sonra arttığını tespit etmiştir. 68 mm dip çap değeri için ise çıkış sıcaklığının artış gösterdiğini gözlemlenmiştir. Dip çap değerini daha fazla arttırdığında ise azalma olduğu sonucuna ulaşmıştır. Dip çap artışının sıcaklığa etkisinin belli bir kritik noktadan sonra iyileşeceğini ifade etmiştir.

Faulkner ve ark. (2007) yaptıkları araştırmanın amacı; deneysel verilere dayanarak fraksiyonel verimlilik eğrisinin siklon çapı, kesme noktası ve eğimi arasındaki ilişki olmuştur. Siklon çapı arttıkça siklonun fraksiyonel verimlilik eğiminin arttığını gözlemlemişlerdir.

Kaya ve Karagöz (2008) teğetsel girişli siklonlarda oluşan karmaşık girdap akışlarında çeşitli sayısal ve türbülans modellerinin uygunluğunu araştırmışlardır. Yaptıkları hesaplama sonuçlarını literatürde verilen deneysel ve sayısal verilerle karşılaştırmışlardır. CFD sonuçlarının deneysel verilerle karşılaştırılması sonucunda Reynolds türbülans modelinin oldukça iyi bir tahmin verdiğini gözlemlemişlerdir.

Ji ve ark. (2009) düşük partikül konsantrasyonunun siklon ayırıcısı performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, 6-30 m/s giriş hızları olan bir siklon ayırıcısının verimliliği atmosfer basıncı altında araştırmışlardır. Deney sonuçlarında artan partikül konsantrasyonu ve giriş hızları ile toplam verimliliğinin ve çapı 10  $\mu\text{m}$ 'den büyük olan partiküllerin çoğunun siklon tarafından tutulduğunu bulmuşlardır.

Kaya ve Karagöz (2009) yaptıkları çalışmada iki fazlı akış için siklonun dip çap kısmına aynı çapta boru ekleyerek uzatılan bir siklonun performansını incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde eklenen borunun uzunluğunun, özellikle kısa siklonlarda daha düşük giriş hızları için daha fazla ayırma verimi sağlayarak, siklon basınç kaybından ziyade siklon toplama verimliliğini önemli ölçüde etkilediğini görmüşlerdir.

Ta Chih ve ark. (2009) 0,3 ve 1  $\mu\text{m}$ 'den büyük partikülleri tutmak için mini siklonlar tasarlamış ve performansları deneysel olarak değerlendirmişlerdir. Yaptıkları prototiplerin performansını mevcut bazı siklonlar ile karşılaştırmışlardır.

Safikhani (2010) siklonların performansını incelemek için literatürde mevcut olan farklı geometrik ölçülere sahip üç siklon için akış analizi yapmış ve hız profilleri ve basınç düşüşlerini incelemiştir.

Bhasker (2010) CAD paketi yardımıyla siklon geometrileri tasarlamıştır. Ardından tasarladığı siklon geometrileri için CFD analizi yapmış ve analizden elde ettiği sonuçları yorumlamıştır. Analizden elde ettiği hız dağılım durumuna göre siklon çıkışında oluşan girdapların güçlü akış sirkülasyonu sergilediğini söylemiştir. Hız dağılımını iyileştirmek ve basınç kaybını azaltmak için geometri çıkışındaki deflektörleri modifiye etmiş ve simülasyonu tekrarlamıştır. Modifiye edilen geometri için elde edilen sonuçları cesaret edici olarak nitelemiş ve çıkış kanalında geliştirilmiş hız dağılımı gözlemlemiştir.

Okur (2011) siklon filtrelerde verim ile basınç kaybı yükseklik arasındaki ilişkiyi deneysel olarak incelemiştir. İncelenen bu parametrelerin siklon yüksekliği, giriş kesit boyutları ve giriş hızının değişmesiyle ne şekilde etkilendiğini incelemiştir. Deneysel verilerin analizini yaparak parametrelerin performansa etkisini gözlemlemiştir.

Şendoğan (2012) konik kısmı olmayan yeni bir siklon tasarımı yapmış ve bu siklonun performansını deneysel olarak incelemiştir. Basınç kayıpları ve verimi incelediği deneylerde siklon boyunu ve giriş hızını değiştirerek birbiriyle olan ilişkisini gözlemlemiştir. Deneylerde elde edilen sonuçları incelemiş ve klasik siklon tasarımı ile karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçlarda tasarladığı siklonun aynı boy, çap ve giriş hızındaki klasik siklondan daha iyi sonuçlar verdiğini söylemiştir.

Elsayed ve Lacor (2013) giriş yüksekliği, giriş genişliği ve siklon toplam yüksekliğinin siklon performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yeni yaptıkları tasarım ile Stairmand klasik siklon tasarımı arasında kıyaslama yapmışlardır. Tasarladıkları siklonun performansının daha üstün olduğunu söylemişlerdir.

Karagöz ve ark. (2013) yeni bir siklon ayırıcısı tasarımı ve performans incelemesi için çalışma yapmışlardır. Girdap uzunluğunu arttırarak siklon verimliliğini arttırmaya yönelik bir tasarım yapmışlardır. Klasik bir siklondaki konik parça yerine, bir dış silindir ve girdap durdurucudan oluşan bir siklon tasarlamışlardır. Siklonun basınç kaybı ve toplama verimliliğini farklı koşullar altında ölçüm yaparak incelemişlerdir. Deneysel sonuçları konvansiyonel siklonlarla karşılaştırmışlardır. Ayrıca girdap durdurucunun konumunun siklon performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.



Demir (2014) siklon basınç kaybını tahmin etmek için yeni bir model önermiştir. Bu modelin eskilere göre basitlik ve doğruluk sunduğunu söylemiştir. Siklon basınç kaybını incelemek için gövde, konik ve girdap durdurucu yükseklikleri değişimleri gibi parametreleri kullanmıştır.

Elsayed (2015) minimum basınç kaybı için yeni bir siklon tasarımı sunmuştur. Yeni tasarımın basınç kaybı için tasarruf sağladığını söylemiştir. Yaptığı çalışmada literatürde yer almayan yeni bir yaklaşım sunmuştur. Yeni tasarım ve standart Stairmand tasarımı arasında CFD karşılaştırması yapmıştır. CFD sonuçlarının yeni siklon tasarımının geometrik parametre oranında Stairmand yüksek verimli tasarıma çok yakın olduğunu ve düşük basınç kaybının olduğunu göstermiştir.

Tan F. (2016) yaptığı çalışmada konvansiyonel siklonlardan farklı olarak konik kısmı çıkartılmış ve çıkarılan kısım yerine girdap durdurucunun koyulduğu yeni bir siklon tasarımını incelemiştir. Tasarladığı bu yeni siklonda geometrik özelliklerin basınç kayıplarına ve toz tutma verimine etkileri incelenmiştir. Belirli siklon giriş hızlarında siklonun doğal vorteks boyunu tespit ederek geometrideki değişimin bu uzunluğa etkilerini araştırmıştır. Siklonun geometrik özelliklerinden, katı gövde yüksekliği, girdap durdurucu yüksekliği, baca çıkış çapı ve baca dalma derinliğini değiştirerek belirli giriş hızlarına karşı basınç kaybı değişimlerini incelemiştir. Deneylerde elde ettiği sonuçları klasik siklon sonuçları ile karşılaştırmıştır.

Erol (2016) siklon çıkış boru çapının siklon verimliliğine etkisini sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Yaptığı sayısal çalışmada ANYSS paket programını kullanarak sıkıştırılmaz türbülanslı akış şartlarında üç boyutlu olarak gerçekleştirmiştir. Türbülans modeli olarak Reynolds stres modeli seçmiştir. Yaptığı çalışmada gövde çapı 700 mm olan iki farklı siklon ile deneyleri gerçekleştirmiştir. Bu siklonlar çıkış çapları 350 mm ve 280 mm olan Stairmand siklonlarıdır. Çalışmada farklı giriş hızları için iki farklı çıkış çapı seçilmiştir. Deneysel ve sayısal çalışmada basınç farkı değerleri hesaplanmıştır. Deneysel çalışmadaki partikül büyüklük değerlerini sayısal çalışmada bulduğu sonuçlarla karşılaştırmıştır. Sonuçların birbiriyle uyumlu olduğunu söylemiştir.

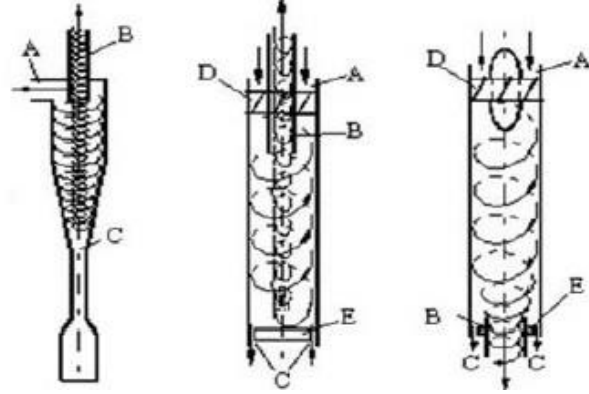
Çalışkan (2017) sanal gövdeli mini bir siklonu tasarlamış ve tasarlanan bu siklon için basınç kaybı ve toz tutma verimini incelemiştir. Yaptığı deneyler sonucunda siklon sınıflandırma performansı, fraksiyonel verimleri ve basınç kayıplarını elde etmiş, değişik parametrelerin siklon performansına etkilerini incelemiştir. Siklona, içerisinde kalsit tozu bulunan tozlu hava göndererek siklonun toz tutma verimini incelemiştir.

Bu çalışmada ise, bahsedilen çalışmalardan farklı olarak literatürde çok fazla çalışma yapılmayan sanal gövde çapı değişiminin siklon performansına etkisi araştırılmıştır. Sanal gövde çapı değişimi dışında farklı çıkış borusu çapları, farklı çıkış borusu yükseklikleri, farklı siklon boyları ve farklı debiler olmak üzere bu parametrelerin basınç kaybı ve partikül tutma verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## 2.2. Siklon Ayırıcılar

Değişik uygulama alanları bulunan ve geniş bir kullanım yelpazesine sahip olan siklonların önemli kullanım alanlarından biride ayırıcı olarak kullanılmalarıdır. Bu sebeple değişik tasarımlara sahip siklonlar tasarlanmıştır. Ayırma verimi ve basınç kaybı siklonların performansını etkileyen önemli parametrelerdir. Siklonların performansını iyileştirmeye, farklı parametrelerin etkisini belirlemeye, uygun konstrüksiyonlar elde etmeye yönelik birçok teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Performansı etkileyen bu parametreleri tayini için siklonlardaki akışın iyi anlaşılması gerekmektedir.

Siklon içerisindeki hareket teğetsel, radyal ve dikey hız bileşenleri ile ifade edilebilir. Siklonlar çalışma prensiplerine göre teğetsel ve eksenel girişli siklonlar olarak ikiye ayrılır. Eksenel siklonlar ise düz ve ters akışlı olarak ikiye ayrılır. Şekil 2.1’de (Postma, Hoffmann, Dries ve Willams, 1998) soldan sağa (Teğetsel girişli siklon, ters akışlı eksenel girişli siklon, düz akışlı eksenel girişli siklon) siklon tipleri verilmiştir.

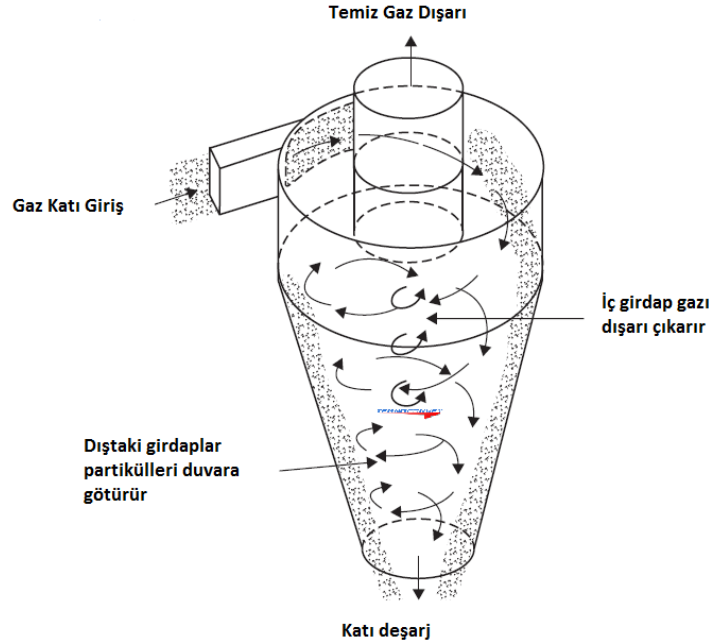


Şekil 2.1. Teğetsel ve eksenel girişli siklon tipleri

- A: Siklon girişi
- B: Siklon gaz çıkışı
- C: Siklon toz çıkışı
- D: Eksenel girişli siklonda kanat paketi
- E: Eksenel girişli siklonda taban plakası

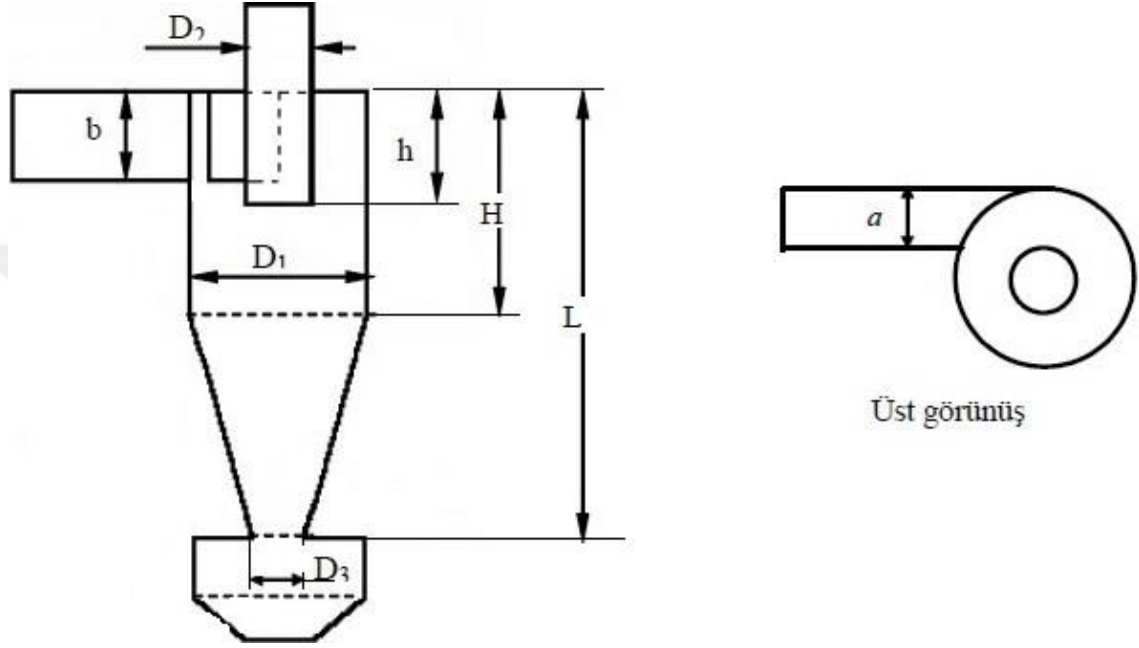
Bu çalışmada kullanılan siklon tipi teğetsel girişli siklondur. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi teğetsel olarak giren akışkan, temiz gazların aksel olarak tahliye edildiği çıkış bacası ve siklonun gövde duvarı arasında girdap akımı oluşur. Oluşan bu girdap aşağı doğru toz çıkış kanalına kadar devam eder ve koninin altında sonlanır. Girdap akımı hareketini devam ettirir ancak siklonun merkezinden aksel olarak ters yönde hareket eder ve siklonda tutulamayan küçük partiküllü temiz gazlar siklonu çıkış bacasından terk eder. Büyük partiküller giriş akımı tarafından taşınarak santrifüj kuvvetler yardımıyla gazlardan ayrılır. Bu santrifüj kuvvetler, partikülleri siklon duvarına sürükleyerek büyük partiküllerin duvara yakın hareket etmesini sağlar. Yerçekimi yardımıyla büyük tanecikler siklonun alt kısmında toplanır.

Siklondaki iç akış iki girdap akımından oluşur. Bunlardan ilki dış girdap akımıdır ve bu akım aşağıda doğru hareket eder. Diğer akım ise iç girdap akımıdır ve siklonun çıkış bacasına doğru yukarı hareket eder. Bu iki girdap akışının dönüş yönleri aynı olmasına karşın iç vorteksin hareket yönü aşağıdan yukarı doğrudur. Bu tip akışa sahip siklonların ters akışlı siklon olarak isimlendirilmesinin sebebi budur. Siklon üzerinde baskın olan akış dış vortektir.



**Şekil 2.2.** Siklonlarda iki fazlı akış

Siklonlar temel olarak giriş, gövde, konik kısım ve çıkış olmak üzere dört esas parçadan oluşmaktadır. Şekil 2.3’de (Avcı ve Erel 2003) teğetsel girişli bir siklonda karakteristik boyutlar gösterilmiştir. Siklonda  $D_1$  siklonun gövde çapı, giriş yüksekliği  $b$ , çıkış boru çapı  $D_2$ , çıkış borusu uzunluğu  $h$ , gövde yüksekliği  $H$ , toplam yükseklik  $L$ , dip çap  $D_3$  ile ifade edilmiştir.



Şekil 2.3. Teğetsel girişli siklon için karakteristik boyutlar

### 2.3. Siklonlarda Basınç Kaybı

Basınç kaybı siklon tasarımlarında göz önüne alınması gereken önemli bir parametredir. Genellikle siklonda basınç kaybı siklon giriş ve çıkışı arasındaki statik basınç farkı olarak tanımlanır.

Siklonlarda basınç kaybı siklon giriş, çıkış ve siklonun gövdesinde meydana gelen kayıpları içerir. Basınç kaybının büyük kısmı türbülanslı ve girdaplı akıştan kaynaklanan enerji dağılması ile oluşur. Geriye kalan kısım ise siklon duvarında oluşan akışkan sürtünmesi, giriş kısmındaki genişleme ve çıkıştaki büzülmeden kaynaklanır. Zhao (2004) geleneksel siklonlarda toplam basınç kaybının dört kısma ayrıldığını söylemiştir.

Bu kısımlar:

- Gazın girdap hareketinden oluşan basınç kaybı
- Dalma borusu boyunca gaz akışından oluşan basınç kaybı
- Siklon girişinde gaz genişlemesinden oluşan basınç kaybı
- Siklon içindeki duvar sürtünmesinden oluşan basınç kaybı

Dirgo ve Leith (1985) ise basınç kaybına etki eden faktörleri şöyle sıralamıştır:

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

$$K = \frac{\Delta P}{\rho_{hava} \frac{V_g^2}{2}} \quad (2.1)$$

Debi ile değişen basınç kayıp değerlerine bağlı olarak boyutsuz bir değer olan  $K$  katsayısı denklem 2.1'den bulunmuştur.

$K$ : Basınç kayıp katsayısı

$\Delta P$ : Basınç farkı

$\rho_{hava}$ : Yoğunluk

$V_g$ : Siklona giren havanın hızı

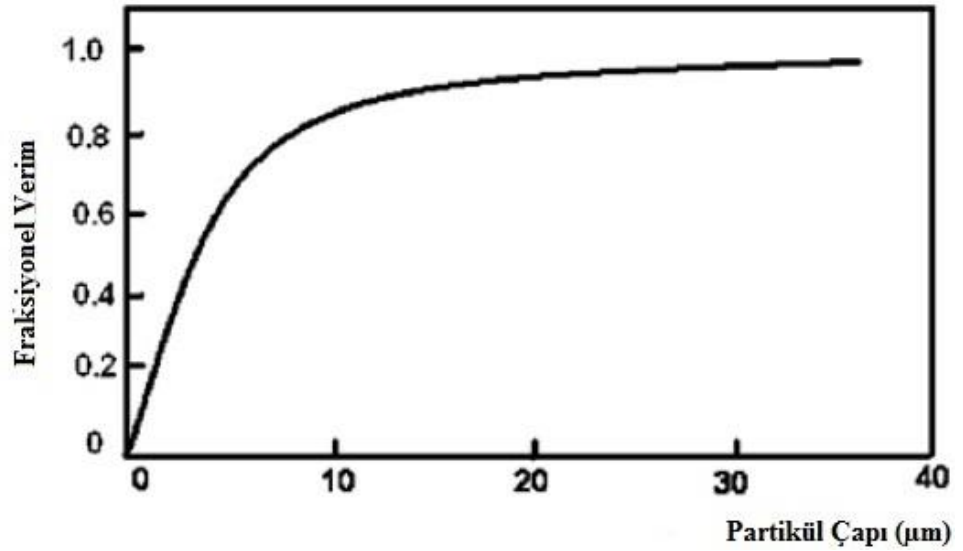
## 2.4. Siklonlarda Toplama Verimi ve Fraksiyonel Verim

Siklonun toplama verimliliği ( $\eta$ ) siklona verilen her boyuttaki partiküllerin alıkonulan kesirleri cinsinden ifade edilir. Eğer giriş maddesinin boyutsal dağılımı bilindiği takdirde, siklon fraksiyonel verimine bağlı olarak siklonun toplama verimi elde edilir. Bir siklonun genel olarak toplama verimi, farklı boyutsal dağılımların toplama verimlerinin ağırlıklı ortalamasıdır. Denklem 2.2'de toz n boyut aralığına bölünmüş olup  $\Delta d_i$  'nci aralıktaki toz partiküllerinin kesirini ( $m_{g\Delta d_i}$ ) göstermektedir.

$$\eta = \sum_{i=1}^n \eta_i m_{g\Delta d_i} \quad (2.2)$$

$$\eta = 1 - \frac{m_{\zeta ts}}{m_{g ts}} \quad (2.3)$$

Verim eğer partikül boyutuna göre çizilmek istenirse elde edilen eğri fraksiyonel verim eğrisini verir. Fraksiyonel verim eğrisi herhangi bir boyuttaki partikül için siklon ayrışmasını ifade etse dahi tek başına toplam ayrışma için bir tahminde bulunulmasına yetmez. Şekil 2.4'de siklon için tipik fraksiyonel verim eğrisi verilmiştir.



Şekil 2.4. Siklon için tipik fraksiyonel verim eğrisi

Toplama verimi hesaplanması üzerinde birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen yapılan çalışmalar analitik olmasından ziyade geçmiş deneyimlere dayanmakta ve bu sebepten dolayı toplama verimi hakkında kesin bir tahmin yapılamamaktadır. Bir siklon ayırıcının toplama verimi sadece boyutlarından kaynaklı düşük olmayabilir. Toz toplama haznesinde biriken partiküllerin tekrar siklona geri dönmesinden dolayı da düşük olabilir. Siklon çapındaki artış siklon içerisindeki teğetsel hızın düşmesine ve toplama veriminin azalmasına neden olabilmektedir.

Toplama verimi debiyle birlikte limit hıza kadar artmakta, bu hızın üzerindeki hızlarda siklon içindeki türbülansın dolayısı ile daha hızlı artmakta ve buna debinin daha fazla artmasıyla verimde düşmeye neden olmaktadır.

## **2.5. Siklon Boyunun Performansa Etkisi**

Siklon uzunluğunun etkisinin incelendiği çalışmalar, doğal girdap uzunluğunun tahmini ve siklon boyunun performansa etkisine yönelik çalışmalar olduğu düşünülebilir. Yapılan çalışmalar neticesinde siklon boyunun sınırlı olması gerektiği ve uzunluğun siklon performansını olumlu olarak etkilediği sonucuna ulaşılabilmektedir. Zhu ve Lee (1999) boyu değiştirilen yüksek verime sahip Stairmand siklonu ile yaptıkları çalışmada doğal girdap sınırları içinde kalmak koşuluyla verimin en yüksek olduğu belli bir uzunluk olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca Avcı ve Erel (2003) siklon separatörlerde uzunluğun verime etkisini incelemiş ve verimin siklon boyuyla artıp artmayacağına cevap bulmak için bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımın sonucuna göre çalışma şartlarına göre her siklon için optimum bir siklon uzunluğu belirlenebileceğini ve belirlenen uzunluğun üzerindeki siklon uzunluğunda verimin artmayacağını aksine azalacağını sonucuna ulaşmışlardır. Model sonuçlarını bazı deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Büyük hızlarda siklonu uzatmak ve düşük hızlarda siklonu kısaltmanın yararlı olabileceğini söylemişlerdir.



Bu ve bunun gibi başka teorilerde de siklon boyunun sürekli artmasının verimde devamlı artışa neden olmayacağı ve bir noktadan sonra azalma olacağı düşünülmektedir. Bu düşüncenin kanıtlanabilmesi için teorik ve deneysel çalışmaların uyumlu olması önem arz etmektedir.

Teorik modellerde ihmal edilen bazı parametreler deneysel çalışmalar sırasında önemli hale gelebilir bu durumda siklon boyunun etkisinin tam olarak görülememesi ihtimalini doğurabilir. Bunun için deney yapılan çalışma ortamında titizlikle çalışması gerekmektedir.

## **2.6. Siklon Ayırıcılarda Optimizasyon**

Elcuman (1993) siklon tasarımında siklon boyutlarını belirleyen parametrenin siklon gövde çapı olduğunu söylemiştir. Diğer belirlenen boyutların bu parametre ile arasında oranlar oluşturularak elde edildiğini belirtmiştir. Bu sebepten dolayı gerekli siklon gövde çapı belirlendiği takdirde diğer boyutların seçilen siklon için kolaylıkla hesaplanabileceğini söylemiştir.

Siklon tasarımında birçok parametre etkili olmaktadır. Bu parametrelerden bazıları;

- ✓ Toz boyut dağılımı, partikül yoğunluğu ve partikül şekli,
- ✓ Gaz akışının sıcaklığı, basıncı ve yoğunluğu
- ✓ Toz konsantrasyonu,
- ✓ Basınç kaybı,
- ✓ Sıcaklık,
- ✓ Basınç,
- ✓ Siklon malzemesi.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu kısımda deney düzenekleri, kullanılan siklonun boyutları, kullanılan ekipmanların görevleri ve deneye hazırlık aşamalarına değinilecektir.

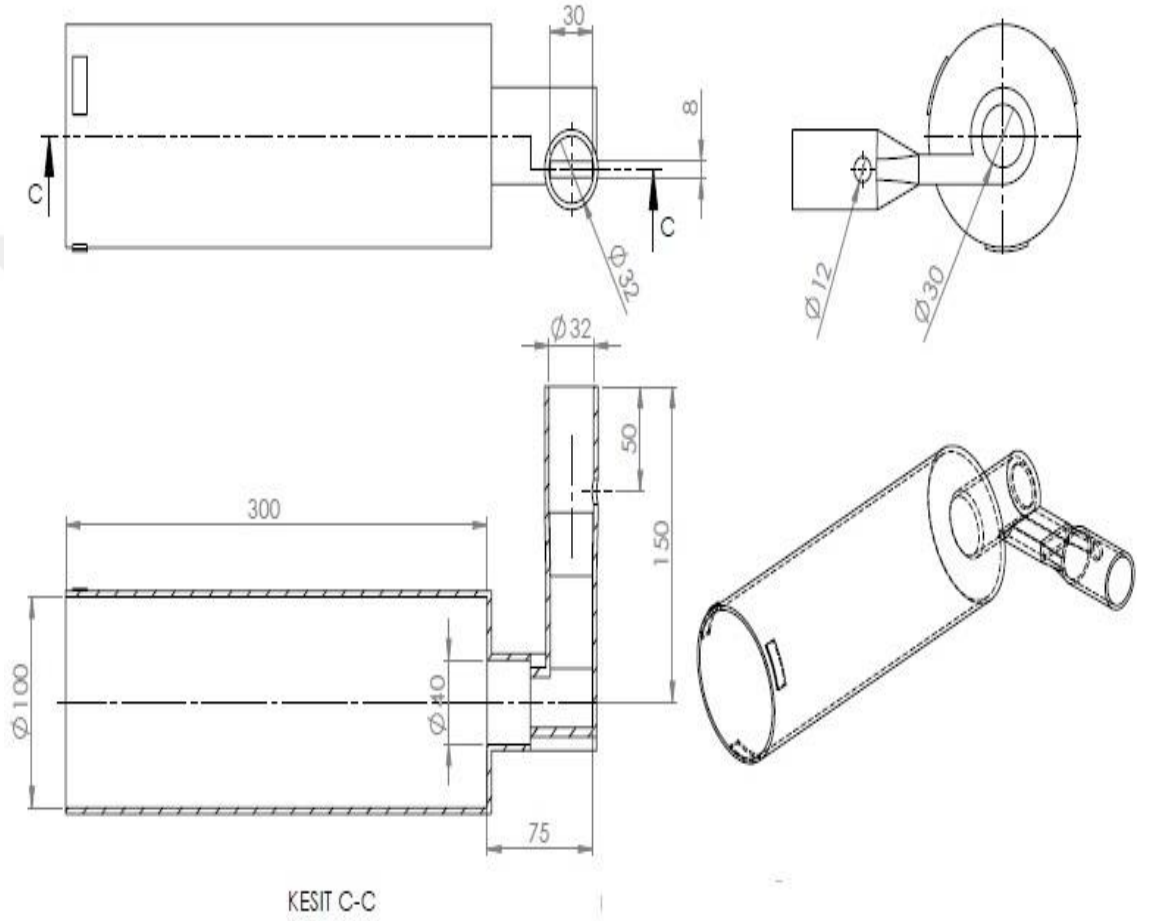
Deney sisteminde emme tarzda çalışan blower ile siklona teğetsel olarak hava giriş yapmaktadır. Siklon giriş kısmında 12 mm'lik açılan toz verme deliğinden titreşim aleti yardımı ile sisteme toz verilmektedir. Böylece siklona teğetsel olarak giren tozlu hava karışımı santrifüj kuvvetler yardımıyla siklon cidarına savrulmaktadır. Daha küçük partikül boyutuna sahip tozlar çıkış borusundan dışarı atılmakta, daha büyük partikül boyutuna sahip tozlar ise yerçekimi etkisiyle siklonun alt kısmında bulunan siklon kapağına toplanmaktadır. Siklonda girdaptan ayrılamayan tozlar ise iç girdap etkisiyle çıkış borusundan siklonu terk etmektedir. Siklona giren havanın debisi vana yardımıyla ayarlanabilmektedir.

#### **3.1. Siklon Tasarımı**

Deneylerde kullanılan siklon üç boyutlu yazıcıda üretilmiştir. Bu siklon sanal gövdeli ve teğetsel girişe sahiptir. Bu tasarımın amacı siklon sanal gövde çapını değiştirerek (siklon içine 4 farklı çapta sanal gövde koyarak) sanal gövde çapının siklon performansına etkisini araştırmaktır.

Siklon kestamid malzemedan üretilmiştir. Kestamid malzeme kaygan ve rijit bir yüzeye sahiptir. Çok yüksek çekme ve basma dayanımına sahip olduğu gibi darbe, aşınma ve bükülmeye karşı dayanımı da yüksektir. Aşınma dayanımı yüksek olduğundan metallere sürünerek çalışma durumunda daha yüksek aşınma dayanımlarına ulaşır. Alüminyum, bakır, bronz gibi metallere daha ucuz, daha hafif, daha dayanıklı ve uzun ömürlüdür. Sahip olduğu bu özelliklerinden dolayı siklon tasarımlarında kestamid kullanılır.

Üretilen siklonun giriş kesiti 8\*30 mm, sanal gövde uzunluğu 300 mm ve sanal gövde çapı 100 mm'dir. Siklon giriş kesitine giden 150 mm'lik giriş yolu mevcuttur. Bu kısım üstünde hava ile tozun karışabileceği 12 mm'lik bir toz verme deliği açılmıştır. Deneyleerde kullanılan siklonun teknik resmi Şekil 3.1'de başlıca ölçüleriyle birlikte verilmiştir.



**Şekil 3.1.** Siklon teknik resmi

Giriş yolunda hava ile toz karışmadan evvel havanın akışının gelişmesi için hava girişinden, havanın toz ile karışacağı yer arasında 60 mm'lik mesafe bırakılmıştır. Bunu yaparak hava ve tozun daha etkili bir biçimde karışıp siklona giriş yapması hedeflenmiştir.

Sanal gövde çapı esas değişken geometri olacak şekilde yapılan deneyler üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamaların her safhasında siklon gövdesi dışında dört farklı sanal gövde (40 mm, 50 mm, 60 mm, 80 mm ve 100 mm) ile deney yapılmıştır. Bu sanal gövdeler üç boyutlu yazıcıda üretilmiştir (Şekil 3.2-Şekil 3.6).



Şekil 3.2. 40 mm sanal gövde



Şekil 3.3. 50 mm sanal gövde



Şekil 3.4. 60 mm sanal gövde



Şekil 3.5. 80 mm sanal gövde



**Şekil 3.6.** Toplu olarak sanal gövdeler

Ayrıca tüm deneylerde siklon dalma borusu çapı yani havanın siklondan çıktığı çıkış borusu çapları değiştirilmiştir. Bu çaplar 10 mm, 15 mm, 20 mm ve 25 mm olarak kullanılmıştır (Şekil 3.7). Yapılan tüm deneylerde altı farklı debi değeri için sonuçlar bulunmuştur. Fakat bu debilerin hepsi tüm dalma borusu çapı değişimi için geçerli değildir. Çünkü her boru için deney sisteminin çıktığı maksimum debi değeri farklıdır. Boru çapı küçüldükçe çıkılan hız değerinde azalma olmuştur.



**Şekil 3.7.** Çıkış boruları (Sağdan sola 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm )

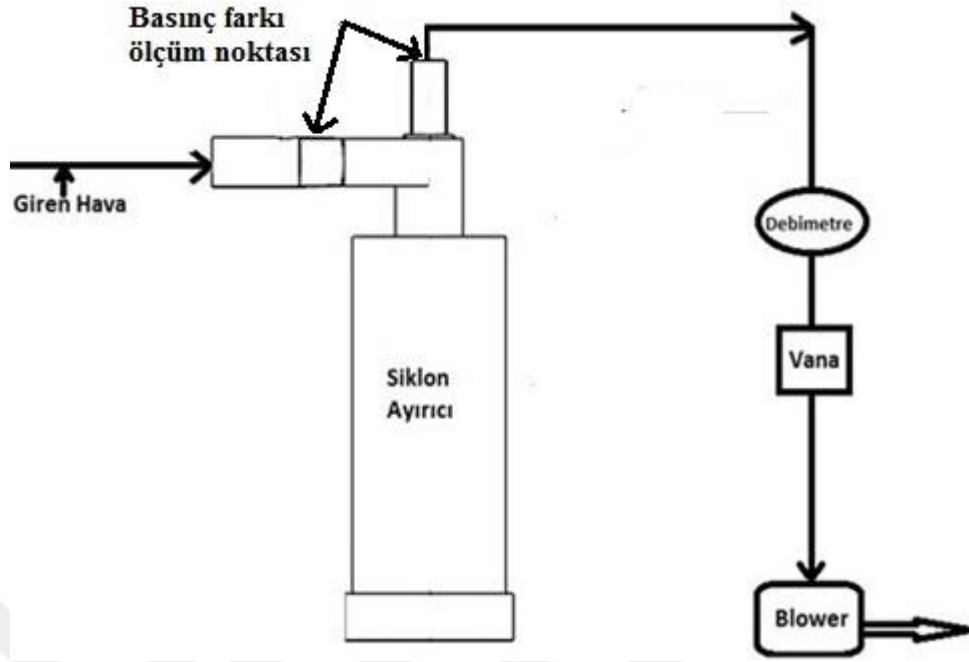
Deneyleerde siklon sistemi emmeli tarzda çalıştırılmış ve atmosferik havayı emen Proair 2.2 KW blower kullanılmıştır (şekil 3.8). Siklon ıkış borusunun çap değişimi blowerın çıkabileceği maksimum debiyi etkileyen önemli bir etkendir. Kullanılan siklonda doğru optimizasyonu sağlamak, deneyde kullanılan blower seçiminde kritik bir rol oynar. Tasarlanan siklon basınç kayıpları fazla olan bir siklonsa bu kayıpları yenmek adına daha güçlü bir blower ihtiyacı doğabilir. Bu ihtiyaç neticesinde yapılacak deneyin maliyetinde artış olacaktır. Ayrıca güçlü blower seçimi daha fazla enerji kaybını da beraberinde getirecektir.



**şekil 3.8.** Proair blower

### **3.2. Deney Düzenekleri ve Deney Parametreleri**

Tüm deneyler oda sıcaklığı ve atmosfer basıncında laboratuvar ortamında yapılmıştır. Ölüm yaparken hatayı en aza indirmek için laboratuvar ortamında özellikle ortam havası değişimine neden olabilecek etkenlerden uzak durulmuştur. Tüm boru bağlantıları ve vana gibi bağlantı elemanlarının sızdırmaz olması için gereken tedbirler alınmıştır. şekil 3.9’da gösterilen deney şemasında görüldüğü üzere gösterilen noktalar arasında ölüm yapılarak basınç kayıp değerleri bulunmuştur. Basınç kayıp değerlerine karşılık K katsayı değerleri 2.1’de verilen formül ile bulunmuştur. Blowerın giriş kısmına bağlı olan bir boruya debimetre ve hızları ayarlamak için vana bağlanmıştır. Debimetreye bağlı olan boru ise siklon çıkışına bağlanmıştır. Böylece siklona giriş yapan havanın debisi hassas olarak llmştr.



Şekil 3.9. Deney 1 şematik gösterimi

Basınç kayıplarını ölçmek için Testo 521 (Şekil 3.10) basınç ölçüm cihazı ile ölçülen basınç kaybı, bir ucu debimetrenin bağlı olduğu borunun üzerinden, öteki ucu ise atmosfere açık şekilde bırakılmıştır. Böylece siklonun çıkış noktasındaki basınç kaybı ölçülmüştür. Yapılan deneylerde basınç kayıpları mmss cinsinden okunmuş ve 1 mmss hassasiyetinde ölçüm yapılmıştır.



Şekil 3.10. Testo 521 basınç ölçüm cihazı

Tüm deneylerde Şekil 3.11’de gösterilen debimetre yardımıyla m<sup>3</sup>/h cinsinden ölçülen debi değerlerine karşılık bulunan basınç kayıpları mmss cinsinden bulunmuştur. Deneylerde 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 m<sup>3</sup>/h olarak altı farklı debi değeri kullanılmıştır. Kullanılan bu debi değerlerine karşılık siklona giren hava için hız değerleri denklem 3.1 ile hesaplanmıştır. Hesaplanan hız değerleri Çizelge 3.1’de tablo olarak verilmiştir.



Şekil 3.11. Debimetre

$$V_g = \frac{Q}{A \cdot 3600} \quad (3.1)$$

V<sub>g</sub>: Havanın giriş hızı

Q: Ölçülen debi

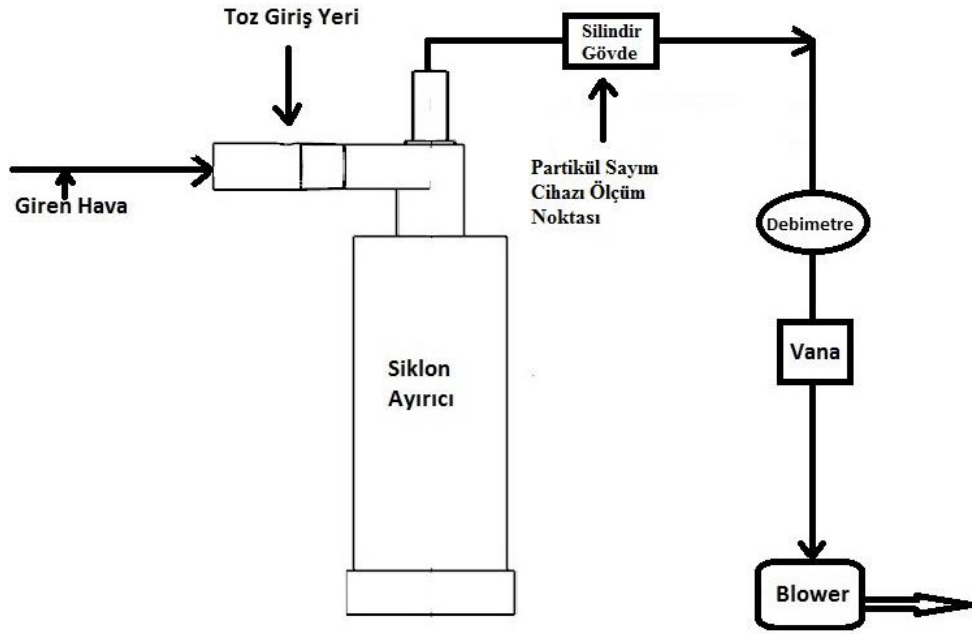
A: Giriş kesiti

Çizelge 3.1. Havanın giriş hızları

Q(m <sup>3</sup> /h)	V <sub>g</sub> (m/s)
5	5,8
10	11,6
15	17,34
20	23,12
25	28,19
30	34,8



Siklonun toplam tutma verimi ve fraksiyonel veriminin bulunduğu deneyin 2. ve 3. aşaması için Şekil 3.12’de gösterilen düzenek kullanılmıştır. Bu düzende ilk deneye göre ek olarak sadece deneyin ikinci aşaması olan havadaki toz partiküllerinin toplam tutma verimi ve fraksiyonel verimini hesaplamak için düzeneğe 80 cm uzunluğunda ve 110 mm çapında silindir gövde yerleştirilmiştir. Bu silindir gövde, deney düzeneğinde debimetre üzerindeki boruya bağlı hortum ile siklona bağlanacak hortum arasında konumlandırılmıştır.



Şekil 3.12. Deney 2 ve 3 şematik gösterimi

Siklonun havadaki toz partikül tutma verimini ölçmek için konumlandırılan bu gövdenin orta kısmından AEROTRAK marka partikül sayım cihazıyla ölçüm yapılmıştır (Şekil 3.13). Bu cihaz 0,3  $\mu\text{m}$ -10  $\mu\text{m}$  arasındaki partikül boyutları için ölçüm yapabilmektedir. Laboratuvar ortamındaki toz miktarı değişiminin farklı olmaması için oluşabilecek hava akımlarından uzak durulmuştur. Her deneyden önce cihaz ile önce ortamdaki partikül miktarı ölçülmüştür. Daha sonra her hız değeri için siklonun tuttuğu toz partikülü sayısı ölçülmüştür. Denklem 2.3’den toplam tutma verimi ve fraksiyonel verimler hesaplanmıştır.



Şekil 3.13. Partikül sayım cihazı



Şekil 3.14. Toz temizleme aleti

Her deneye başlamadan önce Şekil 3.14’de gösterilen alet partikül sayım cihazına takılarak cihazın içindeki tozların temizlenmesi sağlanmıştır. Ayrıca Çizelge 3.2’de atmosfer havasının özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Atmosfer havasının özellikleri

Ortalama Sıcaklık (°C)	20
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	1,204
Dinamik Viskozite (kg/m.s)	1,825* 10 <sup>-5</sup>
Kinematik Viskozite (m <sup>2</sup> /s)	1,516*10 <sup>-5</sup>
Isıl Yayınım Katsayısı (m <sup>2</sup> /h)	2,074*10 <sup>-5</sup>
Isıl İletkenlik (W/m.K)	0,02514
Özgül Isı (J/kg.K)	1007

Yapılan deneylerin son aşamasında ikinci aşamada olduğu gibi siklonun toplama verimi ve fraksiyonel verimi hesaplanmıştır. İkinci aşamadan farklı olarak siklona toz olarak kalsit tozu verilmiştir.

Yapılan deneylerde ortalama 8  $\mu\text{m}$  ve 20  $\mu\text{m}$  partikül boyutlarına sahip iki farklı toz kullanılmıştır. İkinci aşamada havadaki toz partiküllerinin ölçümünün yapılması için eklenen gövdedeki delik hava çıkışı olmaması için kapatılmıştır.

Deneylerde dalma borusu yüksekliği 40 mm olarak seçilmiştir. Bu kısımda da dört çıkış borusu çapında, siklon gövdesi dâhil beş sanal gövde çapında ve siklon uzunluğu dahil olmak üzere beş siklon uzunluğu değeri için öncelikle toplam tutma verimi 2.3’de gösterilen denklemden bulunmuştur. Fraksiyonel verimleri hesaplamak için kullanılan kalsit tozunun analizi Malvern Mastersizer 2000 cihazında yapılmıştır (Şekil 3.15). Daha sonra her hız değeri için numuneler (Şekil 3.16) toplanmış ve analiz yapılarak her hız değerine karşılık gelen fraksiyonel verimler hesaplanmıştır.



**Şekil 3.15.** Malvern Mastersizer 2000 cihazı

Malvern Mastersizer 2000 analiz cihazı 0,02-2000 mikron arasındaki partikül boyutunda ölçüm yapabilmektedir. Lazer ışını ile yaptığı ölçümleri iki farklı dalga boyuna sahip mavi ve kırmızı lazer ışını kullanmaktadır. Partiküllere çarparak saçılan lazer ışınları dedektörlerle algılanmaktadır. Tane boyutlarını ölçmek için Mie Teorisini kullanan cihaz bu modeli kullanabilmek için hem ölçümü yapılacak numunenin hem de ortamın kırılma indislerine ihtiyaç duyar. Seramik, toz metalürji, mineral prosesleri, toz yiyecek ürünleri ve mürekkep gibi uygulama alanları vardır.



**Şekil 3.16.** Paketlenmiş kalsit tozu numuneleri

20  $\mu\text{m}$  partikül boyutuna sahip toz için yapılan deneylerde 100 g kalsit tozu kullanılmış, 8  $\mu\text{m}$  partikül boyutuna sahip toz için yapılan deneylerde ise 50 g toz kullanılmıştır. Debi değişimine bağlı olarak tozun verilme süresi farklılık göstermiştir. Düşük debiler için toz siklona daha uzun sürede, yüksek debilerde ise daha kısa sürede verilmiştir. 20  $\mu\text{m}$  partikül boyutlu toz ile yapılan deneyler 20-30 dakika arası, 8  $\mu\text{m}$  partikül boyutlu toz ile yapılan deneyler ise 10-15 dakika arasında sürmüştür. Toz hava karışımının düzenli ve doğru bir şekilde siklona girmesini sağlamak için tozun siklona akacağı süzgeçli kaba titreşim aleti bağlanmıştır. Titreşim cihazı çalıştırıldığında kalsit tozu Şekil 3.12’de verilen şemada gösterildiği gibi siklona giriş yaparak hava ile karışmıştır. Siklonun alt kısmında bulunan toplama kapağına düşen tozlar hassas terazide (Şekil 3.17) tartılarak siklonun toplama verimi bulunmuştur. Her deneyden sonra kullanılan tüm ekipmanların içi güvenilir sonuçlar almak için hava tabancasıyla temizlenmiştir.



**Şekil 3.17.** Hassas terazi

**Çizelge 3.3.** Kalsit tozunun özellikleri

Bileşen	CaCO <sub>3</sub>
Öz kütlesi	2,7 gr/cm <sup>3</sup>
Sertlik	3
Ph	8-9 (25 °C)
Erime Noktası	1339 °C
Koku	Kokusuz
Moleküler Ağırlığı	100,0869 g/mol
Çözünürlük(Su içinde)	0,013 g/L (25 °C)

Kalsit, karbonatlı kayaları oluşturan ve kimyasal formülü CaCO<sub>3</sub> olan endüstriyel bir mineraldir ve bu minerale ait özellikler Çizelge 3.3’de verilmiştir. Çeşitli şekillerde kristalleşebilen mineral, camsı parlaklıkta ve renksiz saydam yapıdadır. Kireç taşları grubunda yer alan saf kalsit, dolomit ve aragonit temiz ve beyazdır ancak safsızlığı bozan katkıları sebebiyle sarımsı kahverengi ve gri renkler alabilmektedir.

Öğütülmüş CaCO<sub>3</sub>, endüstriyel mineral olarak çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu mineralin kullanımı sırasında kalitesini tanımlayan üç nitelik vardır. Bunlar; partikül çapı, renk ve kimyasal saflığıdır. Bu özellikler, kalsitin herhangi bir uygulamadaki uygunluğunu tarif etmektedir. Kalsiyum karbonat sert bir mineral değildir. Kırma, öğütme ve sınıflandırma işlemlerinden geçerek mikronize edilir ve sektörüne göre doğal öğütülmüş olarak ya da doğal öğütülmüş ve mikronize edilmiş kalsit bir de kaplama işleminden geçirilmek suretiyle çeşitli sektörlerin kullanımına sunulur. Kâğıt sektörü, boya sektörü, plastik sektörü, yapıştırıcılar, gıda sektörü, seramik sektörü, halı tabanı ve yer muşambası diş macunları gibi kullanım alanları mevcuttur.

Yapılan deneylerde kalsit tozu kullanma amacı; sahip olduğu yoğunluk sebebiyle hava ile düzgün karışarak orantılı bir biçimde yayılması, fazla rutubet almaması, partikül boyutu olarak geniş bir yelpazesi olması, oda koşullarında muhafaza edilmeye uygun olması, düşük maliyete sahip olması ve atık olarak toksin bırakmaması olarak sıralanabilir.

#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Sanal gövde çapı esas değişken parametre olacak şekilde yapılan deneyler üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamaların her safhasında siklon gövdesi dışında dört farklı sanal gövde (40 mm, 50 mm, 60 mm, 80 mm ve 100 mm) ile deney yapılmıştır. Yapılan tüm deneylerde altı farklı debi değeri için sonuçlar bulunmuştur. Fakat bu debilerin hepsi tüm dalma borusu çapı değişimi için geçerli değildir. Çünkü her boru için deney sisteminin çıktığı maksimum debi değeri farklıdır. Boru çapı küçüldükçe çıkılan hız değerinde azalma olmuştur. Bu parametreler dışında dört farklı çapta çıkış borusu kullanılmıştır. Ayrıca siklon boyu değişiminin basınç kaybı ve siklon verimi üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Tüm değiştirilen parametrelerden (Çizelge 4.1) elde edilen sonuçlar arasında karşılaştırmalar yapılarak, hangi parametrenin siklon üzerinde ne gibi etkileri olduğunu görmek için grafikler elde edilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Deneyde değiştirilen parametreler

Değişen Parametreler	Boyutlar (mm)
Gövde Çapları (S)	40, 50, 60, 80, 100
Çıkış Borusu Dalma Yüksekliği (D)	0,10, 20, 30, 40, 50, 60, 70
Siklon Boyu (L)	100, 150, 200, 250, 300
Çıkış Borusu Çapları (D <sub>2</sub> )	10,15, 20, 25

##### 4.1. Deney 1 Sonuçları

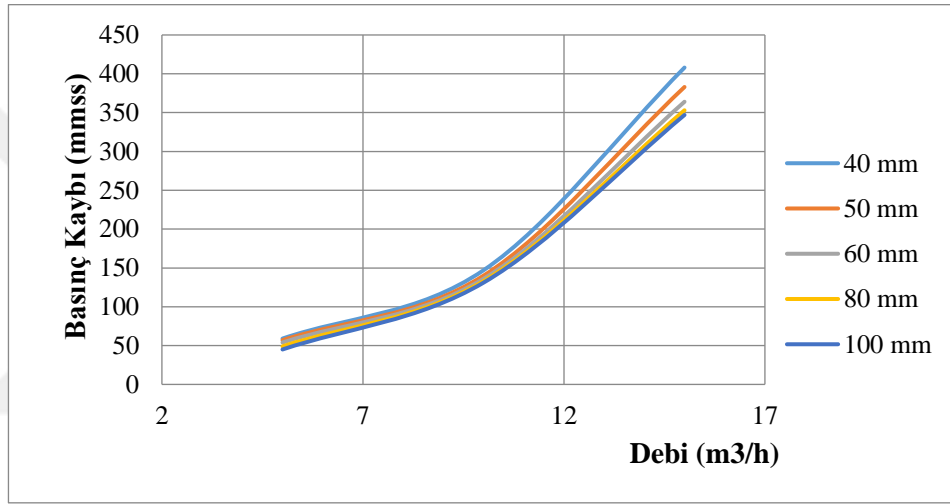
Deneyin ilk aşamasında yukarıda değiştirilen parametreler dışında sekiz farklı dalma borusu yüksekliği için basınç kaybı değerleri ve bu basınç kaybı değerlerine karşılık K katsayı değerleri elde edilmiştir. Tüm deney boyunca m<sup>3</sup>/h cinsinden ölçülen debi değerlerine karşılık bulunan basınç kayıpları mmss cinsinden bulunmuştur. Esas olarak sanal gövde çapı ile ilgili detaylı sonuçlar dışında, diğer değiştirilen parametrelerinde basınç kaybı ve K katsayısına etkisi incelenmiştir. Bunlara ek olarak deneyin bu kısmında 50 mm dalma yüksekliği için siklon boyu değişiminin basınç kaybına etkisi de incelenmiştir

Basınç Kaybı:

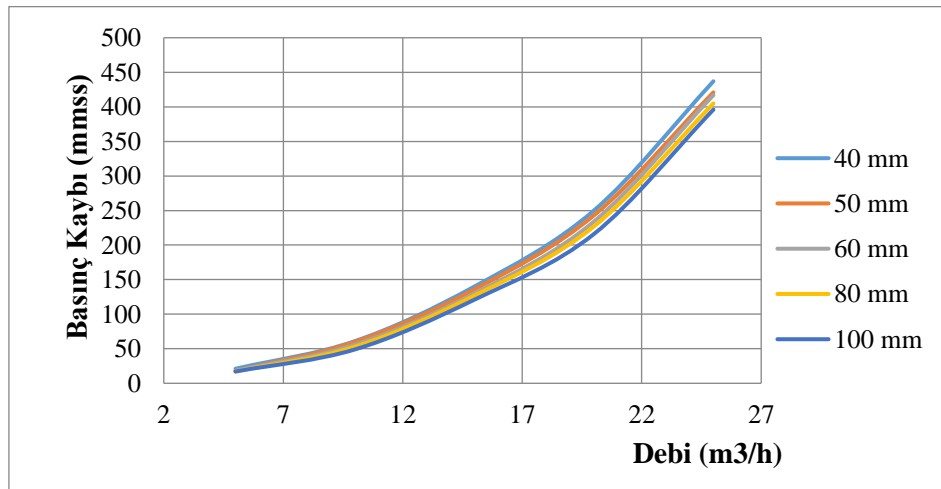
Değiştirilen her geometrinin etkisi farklı başlık altında incelenerek elde edilen sonuçlarla ilgili veriler grafik halinde sunulmaktadır.

#### 4.1.1. Sanal gövde çapı değişiminin basınç kaybına etkisi

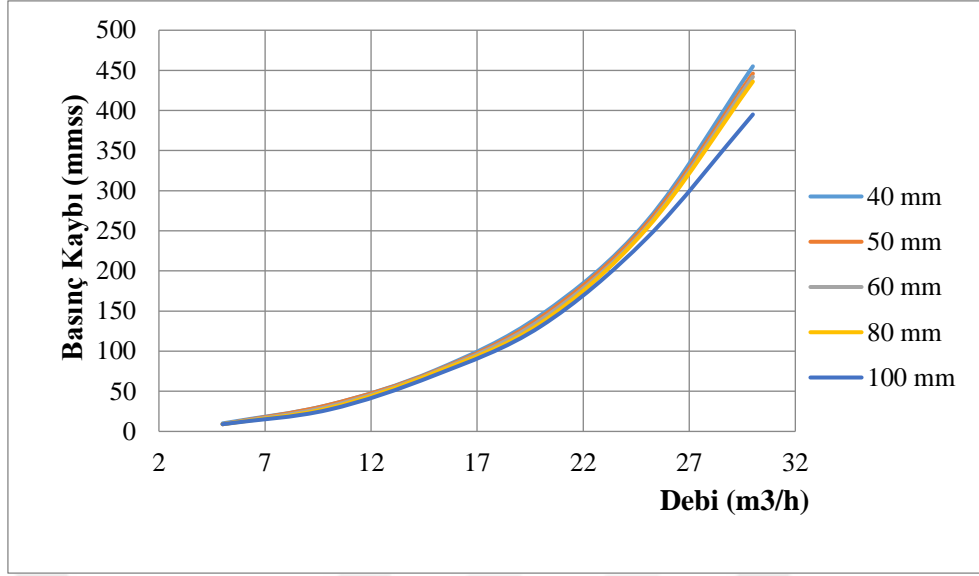
Siklon gövde çapı olan 100 mm dahil 4 farklı sanal gövde çapı (40 mm, 50 mm, 60 mm, 80 mm) kullanılmıştır.



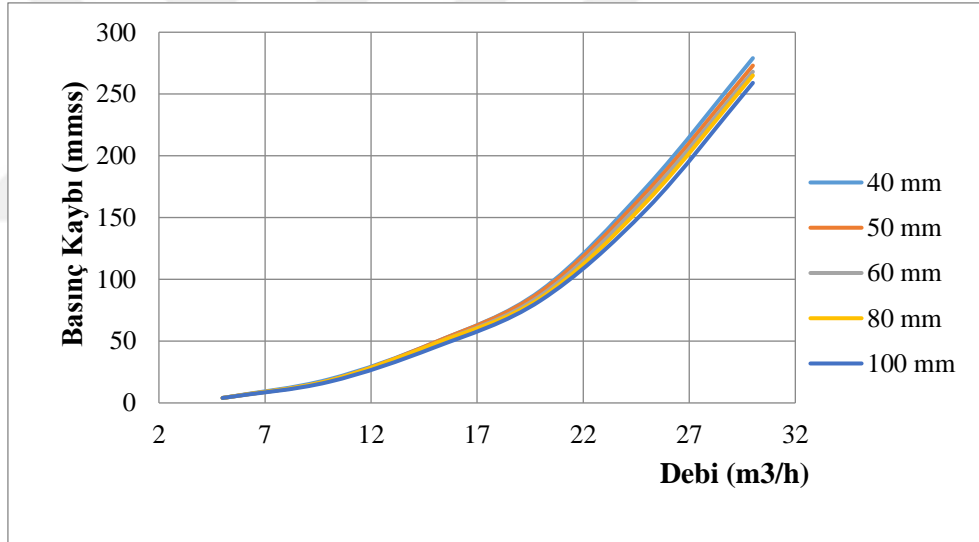
Şekil 4.1. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kaybı değişimi ( $D_2=10$  mm)



Şekil 4.2. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kaybı değişimi ( $D_2=15$  mm)



**Şekil 4.3.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kaybı değişimi ( $D_2=20$  mm)

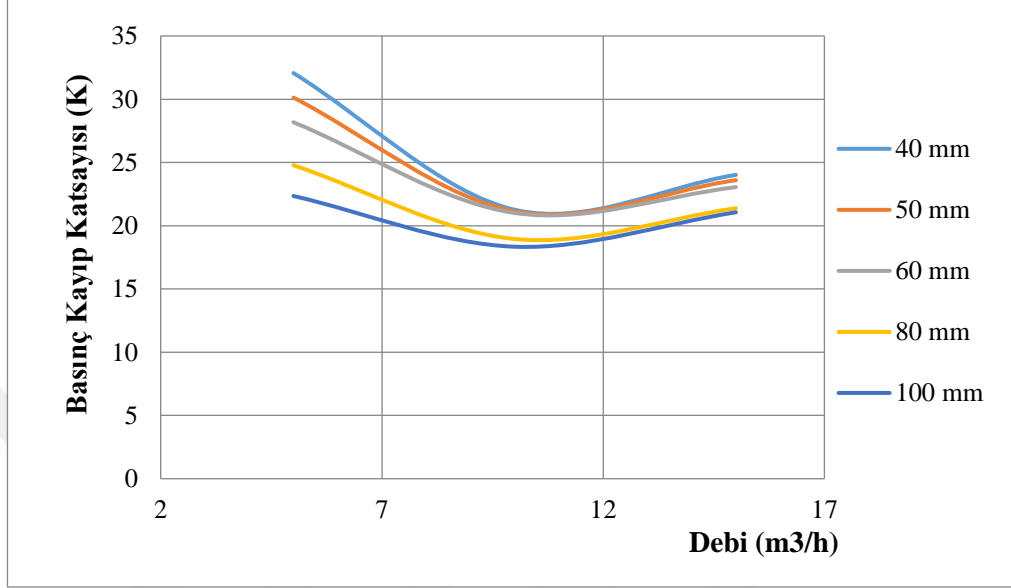


**Şekil 4.4.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kaybı değişimi ( $D_2=25$  mm)

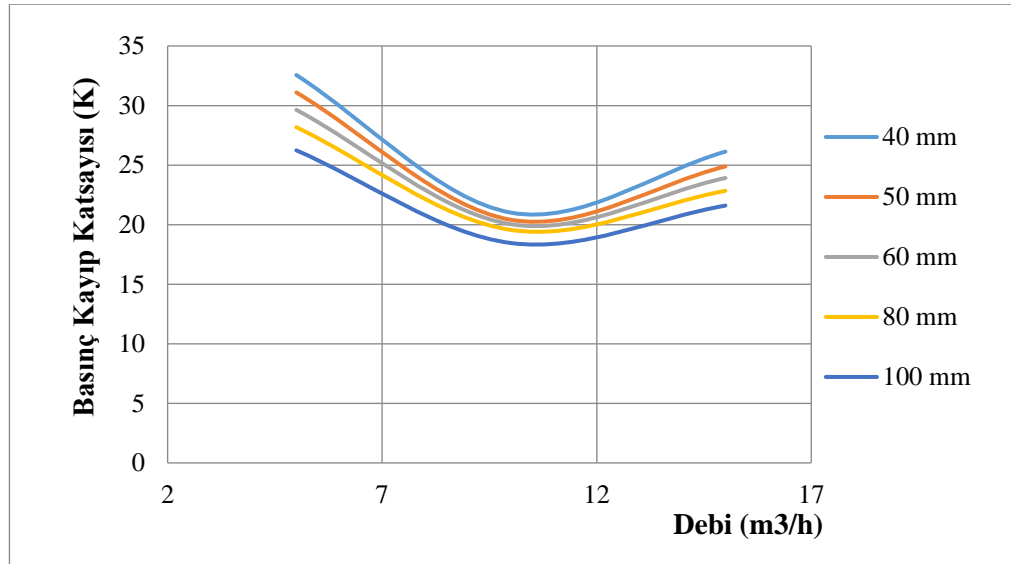
Grafiklerde de görüldüğü üzere sanal gövde çapının değişiminin basınç kaybı üzerinde ciddi bir etkisi olmadığı gözlemlenmesine rağmen, kullanılan dört çıkış boru çapı içinde sanal gövde çapının azalmasının basınç kaybını arttırdığı görülmektedir. Ayrıca çıkış boru çapının artmasıyla birlikte farklı sanal gövde çapları için basınç kaybı birbirine yaklaşımaktadır (Şekil 4.1-Şekil 4.4).



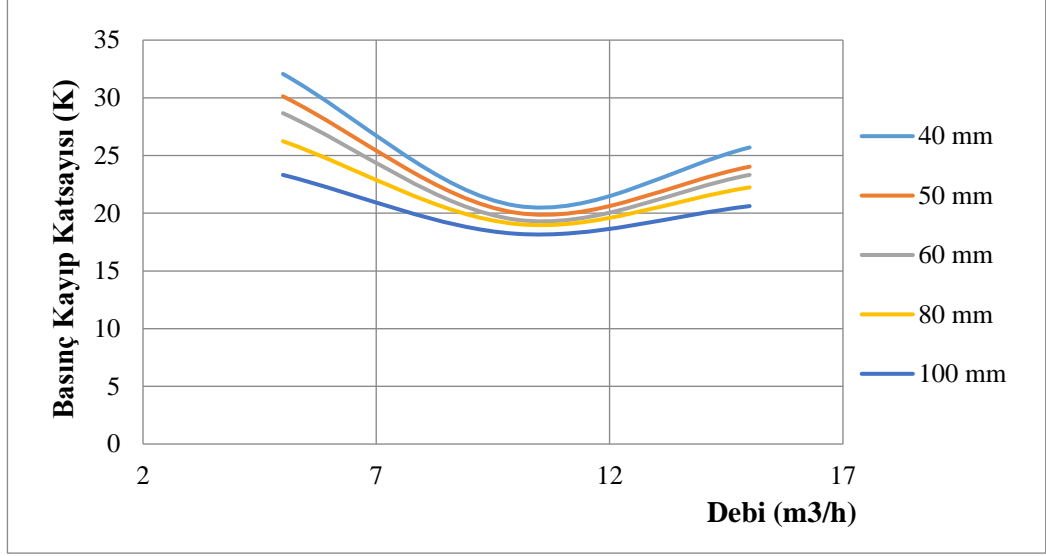
Çıkış boru çapı 10 mm için, sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişiminin, 8 çıkış borusu dalma yüksekliğinde katı gövde çapından (40 mm) küçük ve büyük olmak üzere iki gruba ayrılarak değerlendirilmiştir.



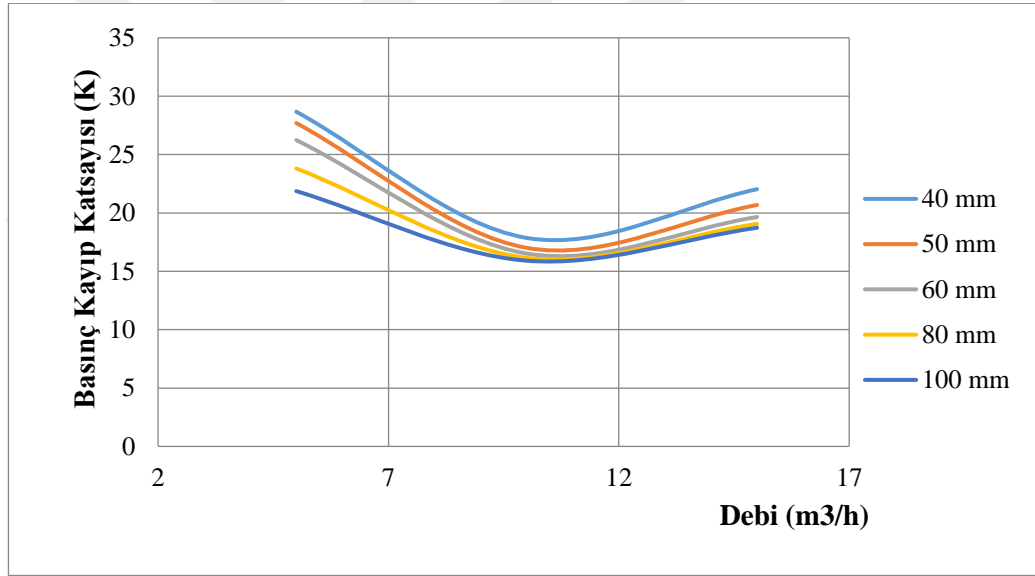
Şekil 4.5. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi (D<sub>2</sub>=10 mm, D= 0 mm)



Şekil 4.6. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi (D<sub>2</sub>=10 mm, D= 10 mm)

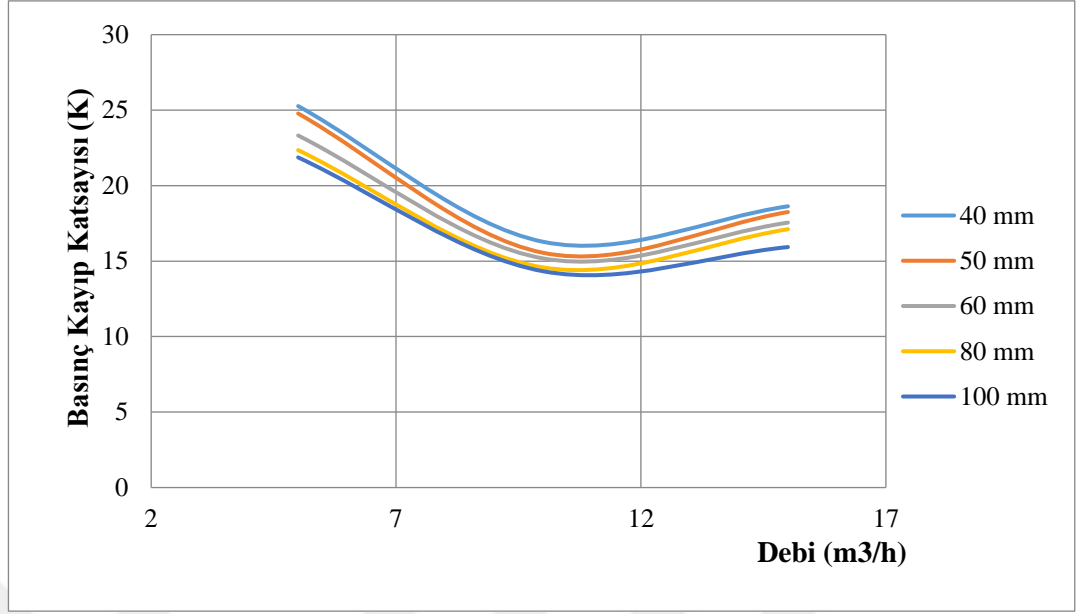


**Şekil 4.7.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=10$  mm,  $D=20$  mm)

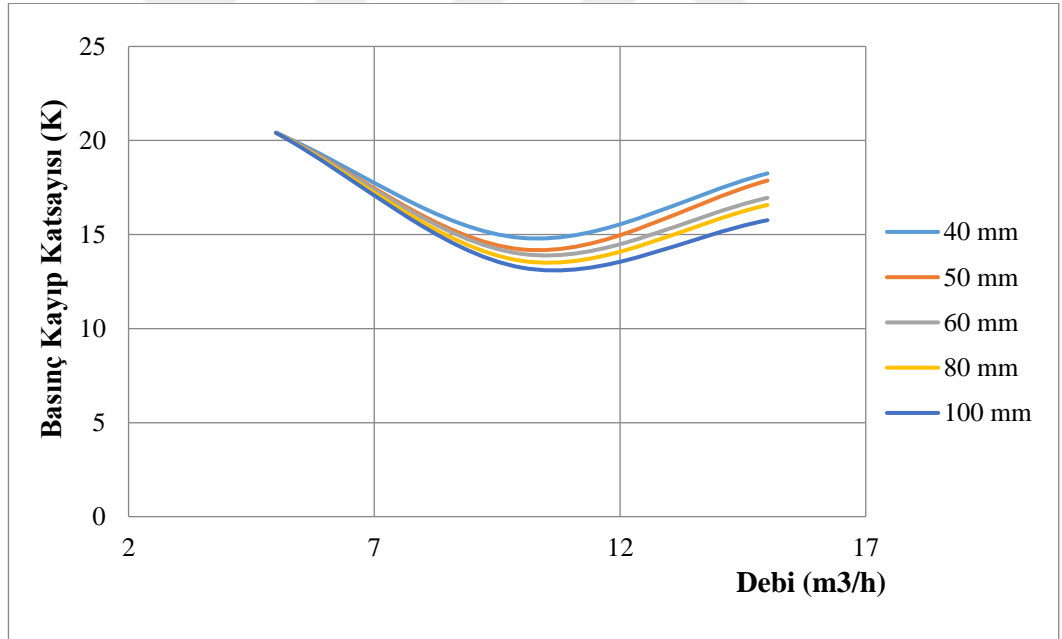


**Şekil 4.8.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=10$  mm,  $D=30$  mm)

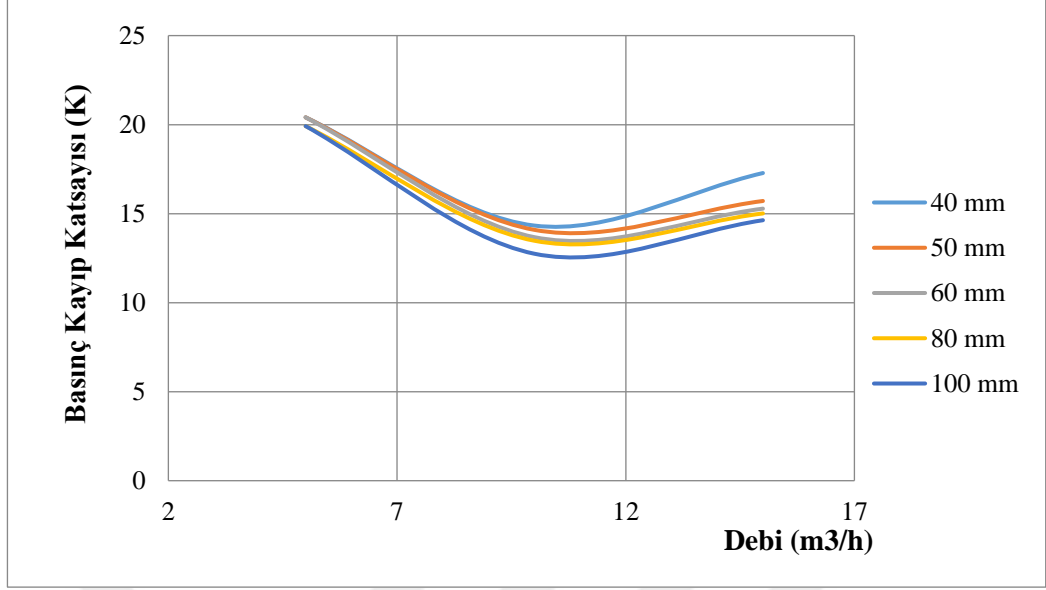
10 mm çıkış boru çapı için, dalma yüksekliğinin 40 mm'den küçük olduğu grafiklerde basınç kayıp katsayısının minimum değerinin 15'e yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca sanal gövde çapının azalmasına bağlı olarak basınç kaybını boyutsuz veren K değerinin arttığı görülmüştür (Şekil 4.5-Şekil 4.8).



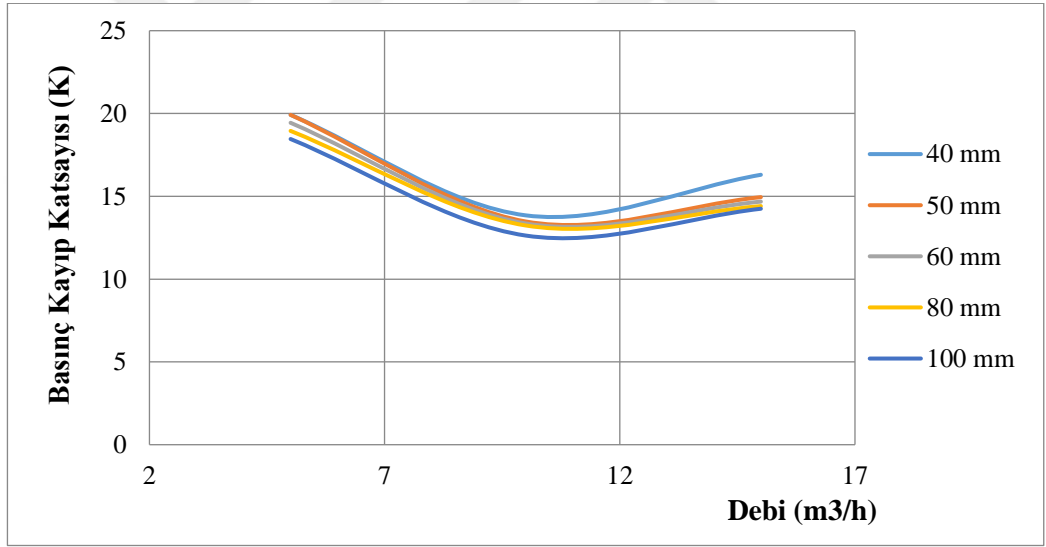
**Şekil 4.9.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=10$  mm,  $D=40$  mm)



**Şekil 4.10.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=10$  mm,  $D=50$  mm)



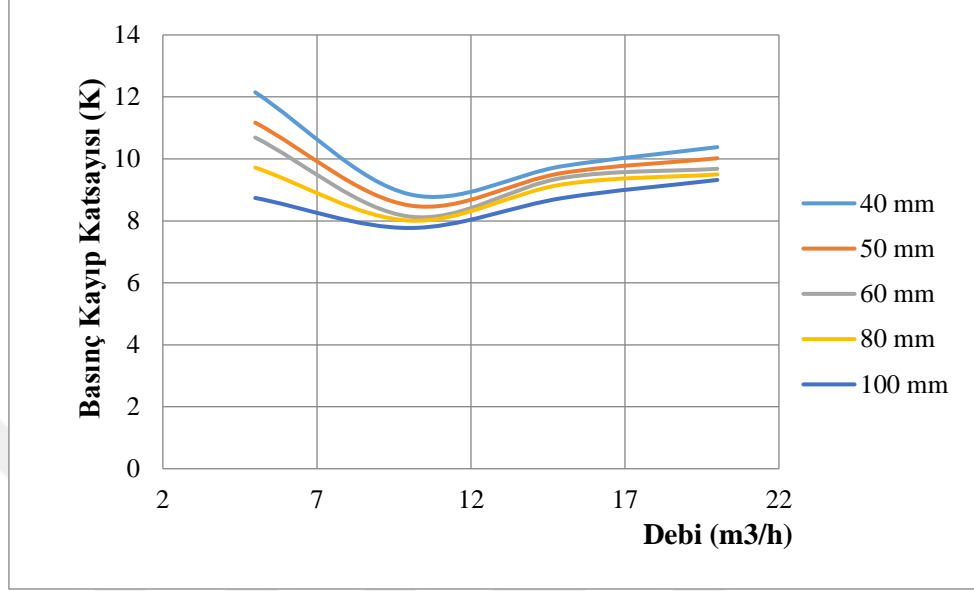
**Şekil 4.11.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=10$  mm,  $D=60$  mm)



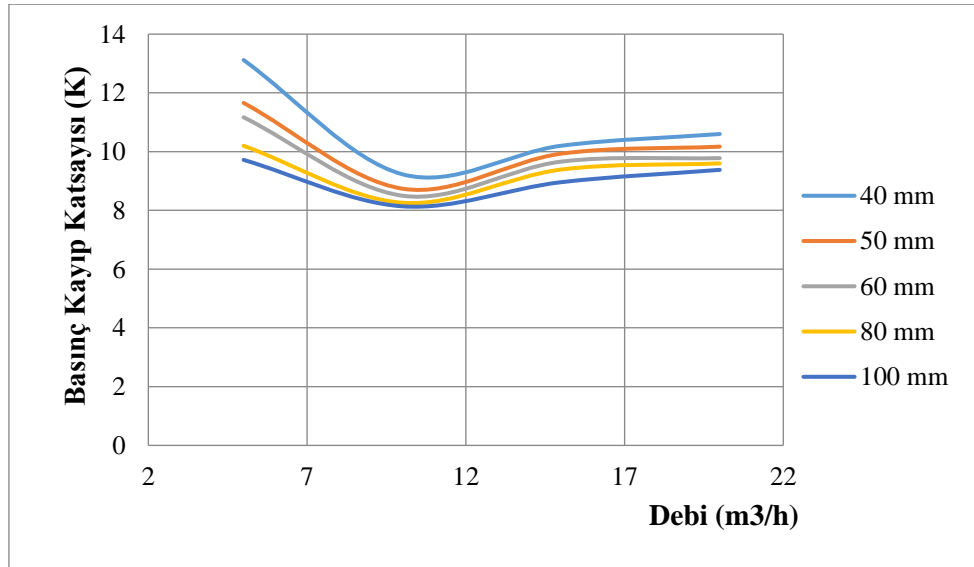
**Şekil 4.12.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=10$  mm,  $D=70$  mm)

10 mm çıkış boru çapı için, dalma yüksekliğinin 40 mm'den büyük olduğu grafiklerde basınç kayıp katsayısının minimum değerinin 15'in altına indiği, buna ek olarak dalma yüksekliğinin artmasına bağlı olarak K değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca sanal gövde çapının azalmasına bağlı olarak basınç kaybını boyutsuz veren K değerinin arttığı görülmüştür (Şekil 4.9-Şekil 4.12).

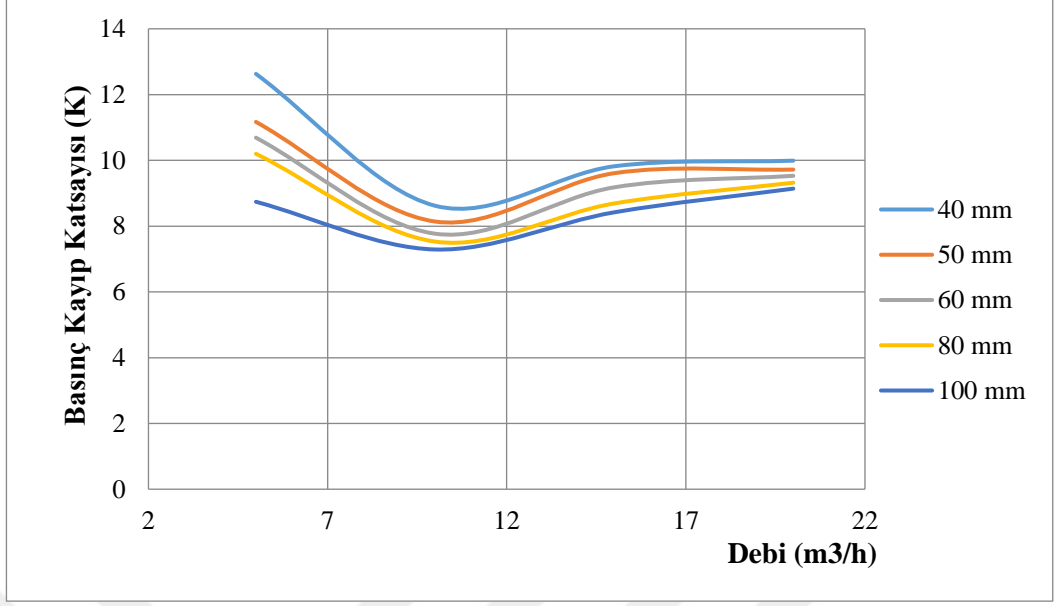
Çıkış boru çapı 15 mm için, sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişiminin, 8 çıkış borusu dalma yüksekliğinde katı gövde çapından (40 mm) küçük ve büyük olmak üzere iki gruba ayrılarak değerlendirilmiştir.



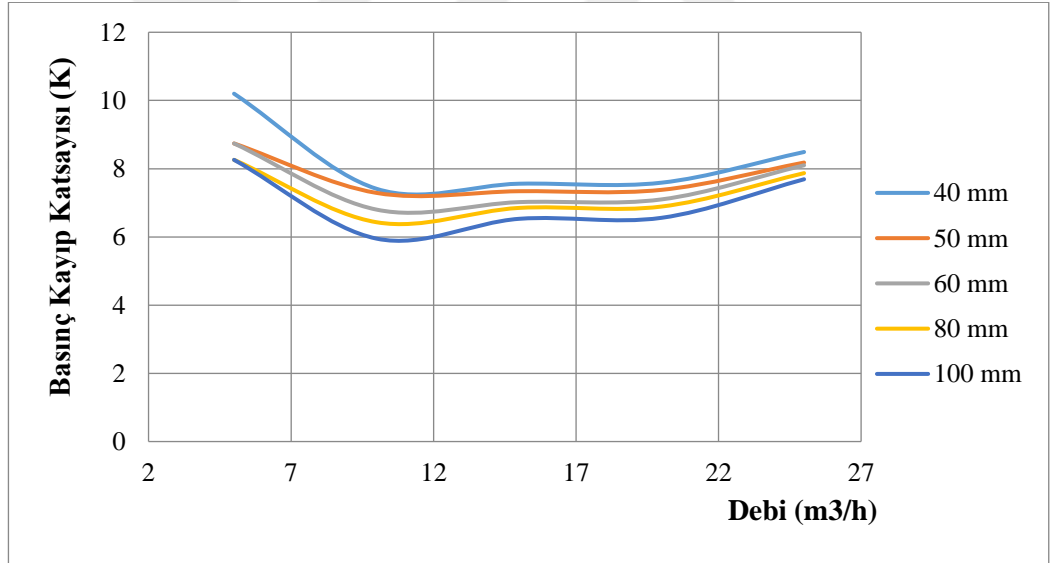
Şekil 4.13. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=15$  mm,  $D=0$  mm)



Şekil 4.14. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=15$  mm,  $D=10$  mm)

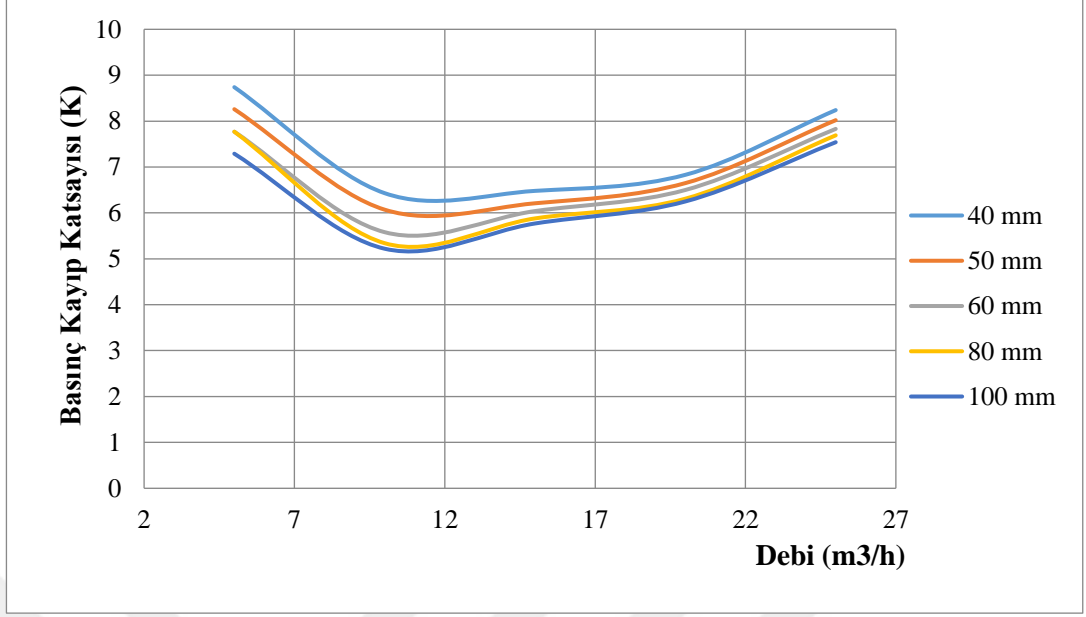


**Şekil 4.15.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=15$  mm,  $D=20$  mm)

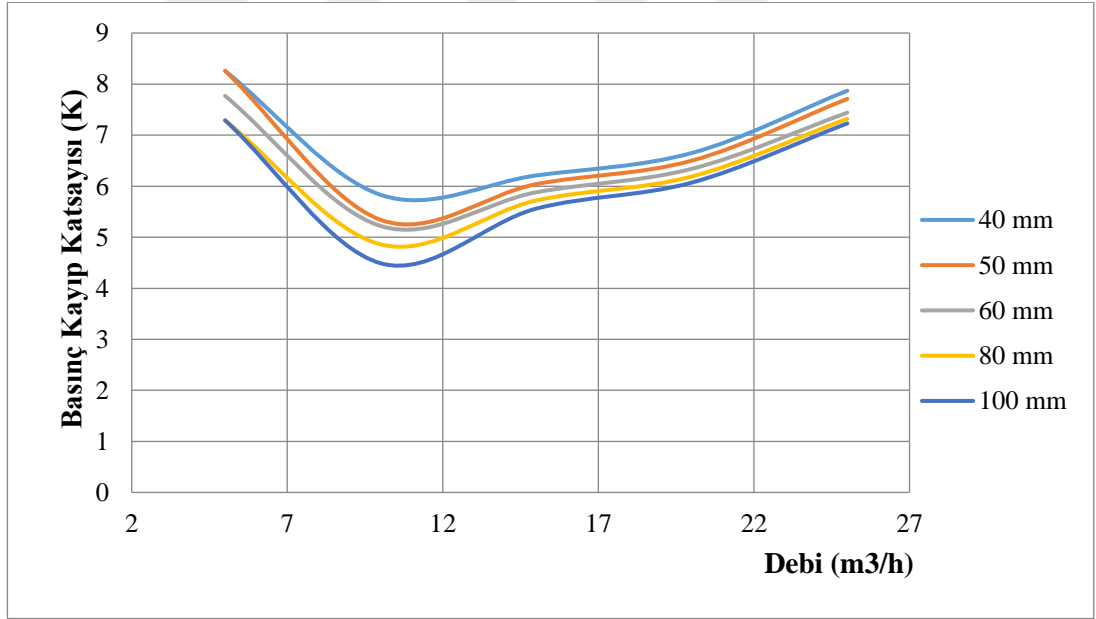


**Şekil 4.16.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=15$  mm,  $D=30$  mm)

15 mm çıkış boru çapı için, dalma yüksekliğinin 40 mm'den küçük olduğu grafiklerde basınç kayıp katsayısının minimum değerinin 6'ya yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca sanal gövde çapının azalmasına bağlı olarak basınç kaybını boyutsuz veren K değerinin arttığı görülmüştür (Şekil 4.13-Şekil 4.16).



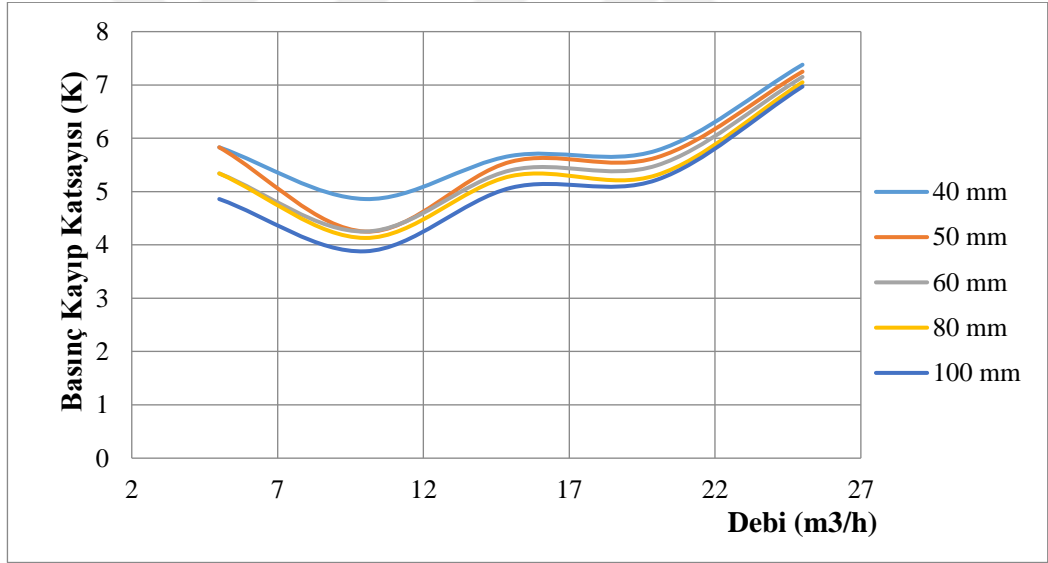
Şekil 4.17. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=15$  mm,  $D=40$  mm)



Şekil 4.18. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=15$  mm,  $D=50$  mm)



**Şekil 4.19.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi (D<sub>2</sub>=15 mm, D= 60 mm)

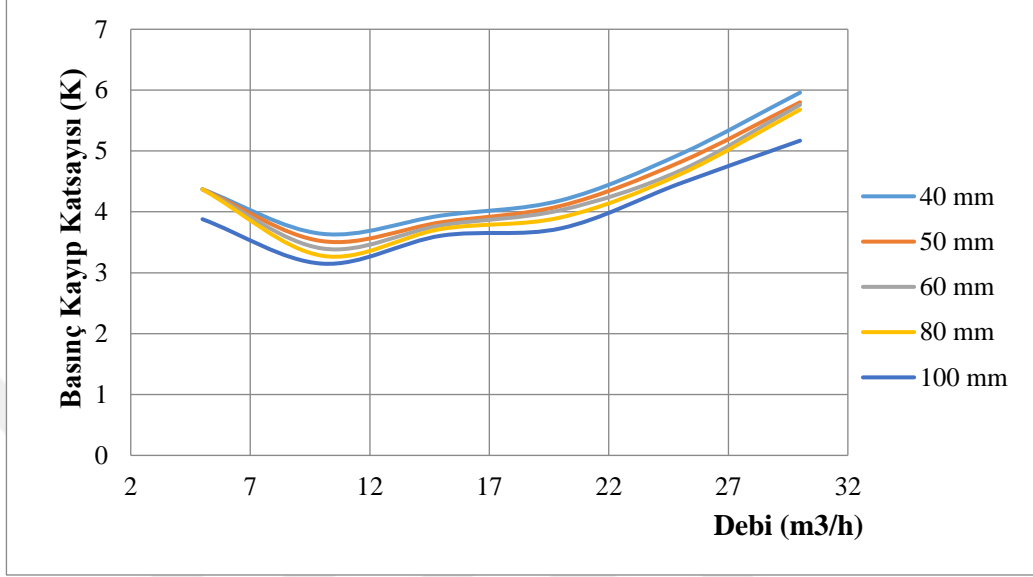


**Şekil 4.20.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi (D<sub>2</sub>=15 mm, D= 70 mm)

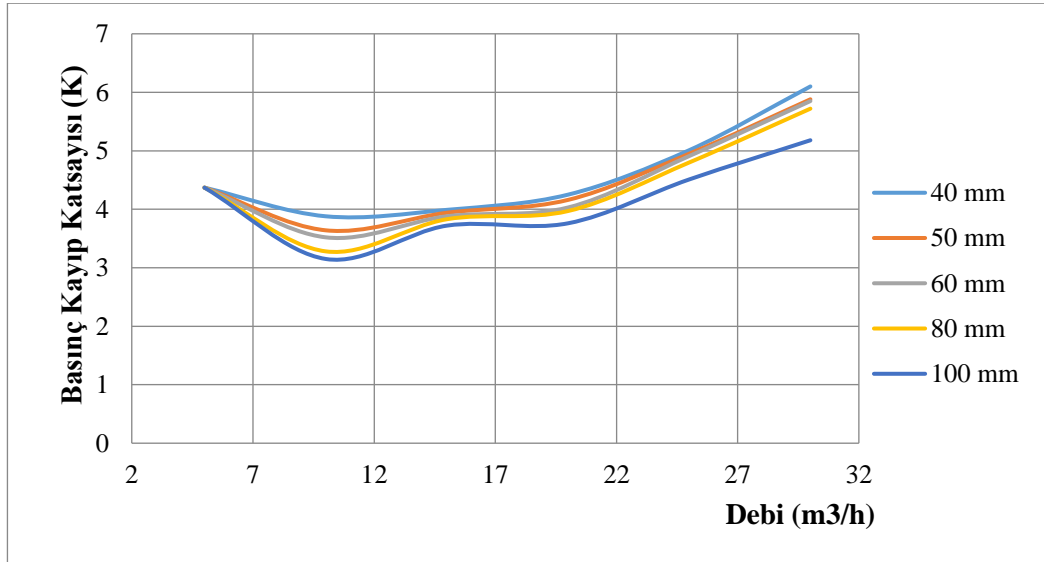
15 mm çıkış boru çapı için, dalma yüksekliğinin 40 mm'den büyük olduğu grafiklerde basınç kayıp katsayısının minimum değerinin 4'e yaklaştığı, buna ek olarak dalma yüksekliğinin artmasına bağlı olarak K değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca sanal gövde çapının azalmasına bağlı olarak basınç kaybını boyutsuz veren K değerinin arttığı görülmüştür (Şekil 4.17-Şekil 4.20).



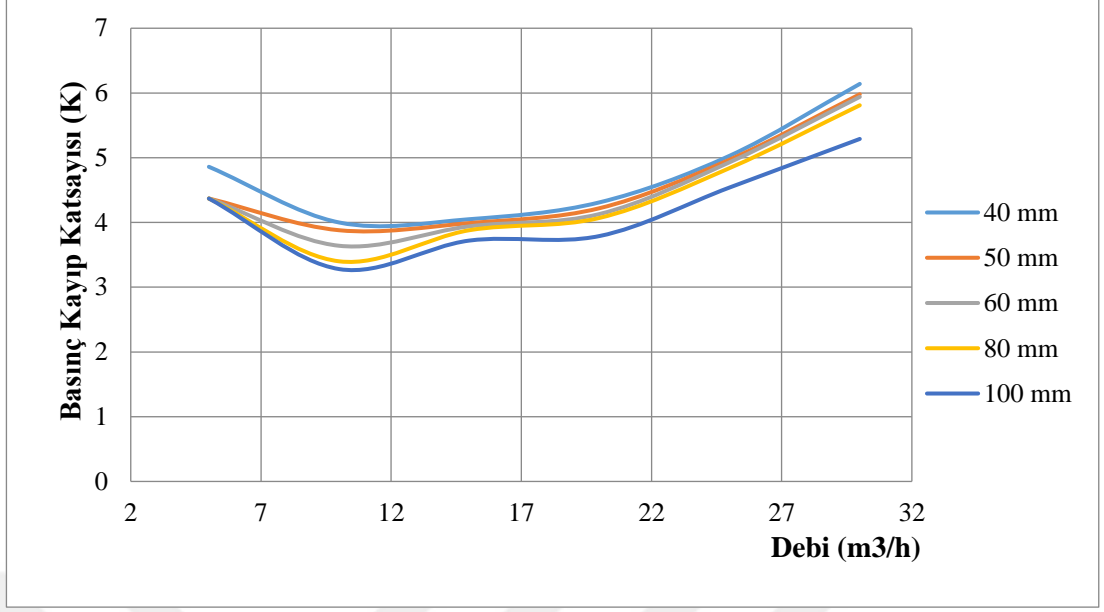
Çıkış boru çapı 20 mm için, sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişiminin, 8 çıkış borusu dalma yüksekliğinde katı gövde çapından (40 mm) küçük ve büyük olmak üzere iki gruba ayrılarak değerlendirilmiştir.



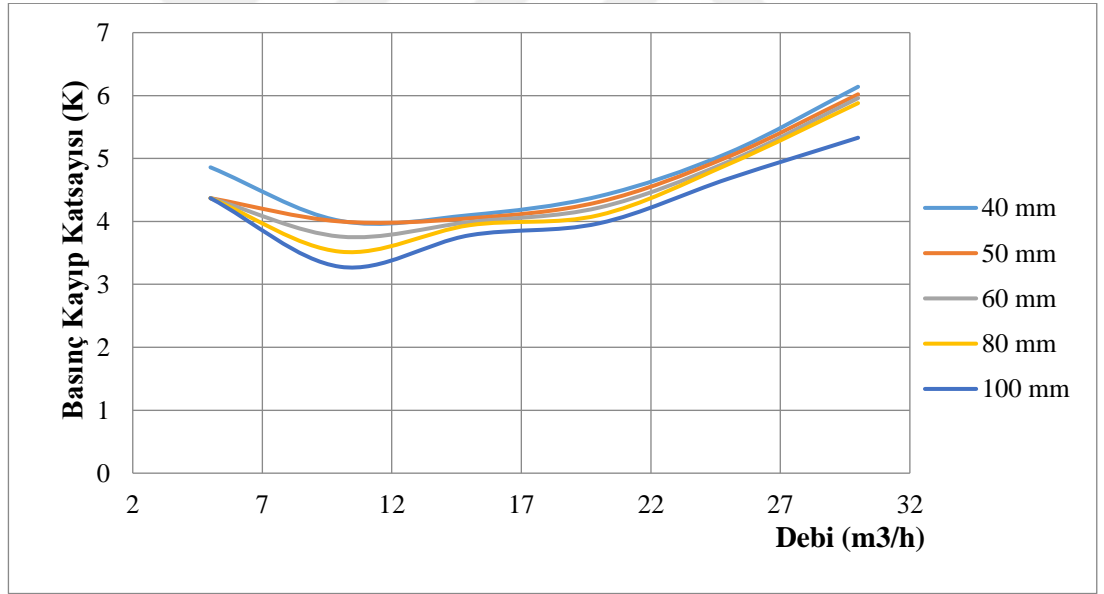
Şekil 4.21. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=20$  mm,  $D=0$  mm)



Şekil 4.22. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=20$  mm,  $D=10$  mm)

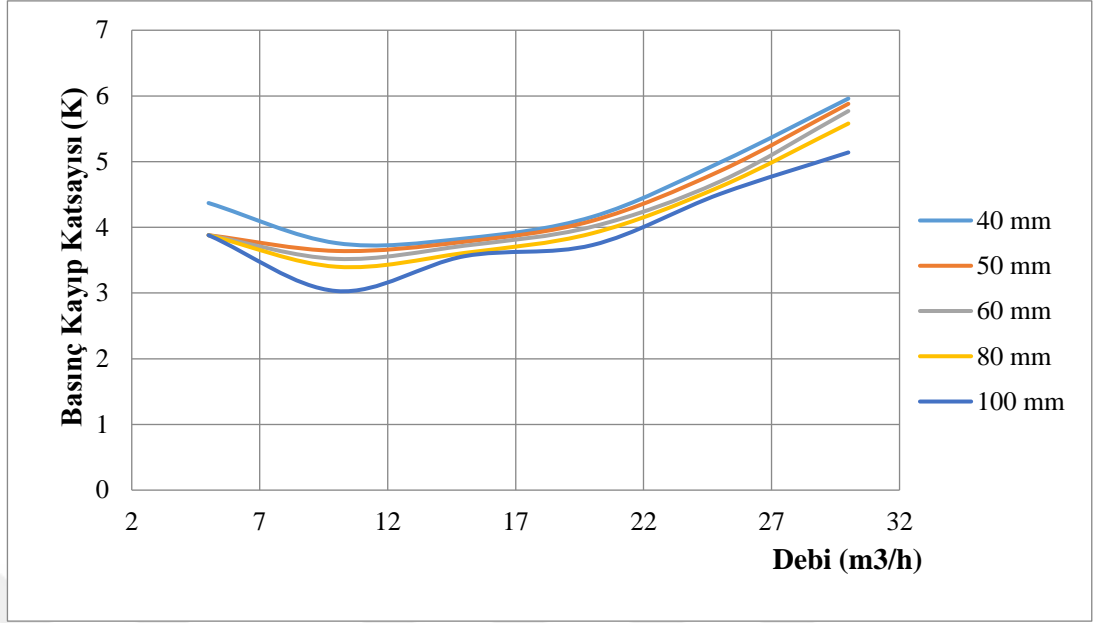


**Şekil 4.23.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi (D<sub>2</sub>=20 mm, D= 20 mm)

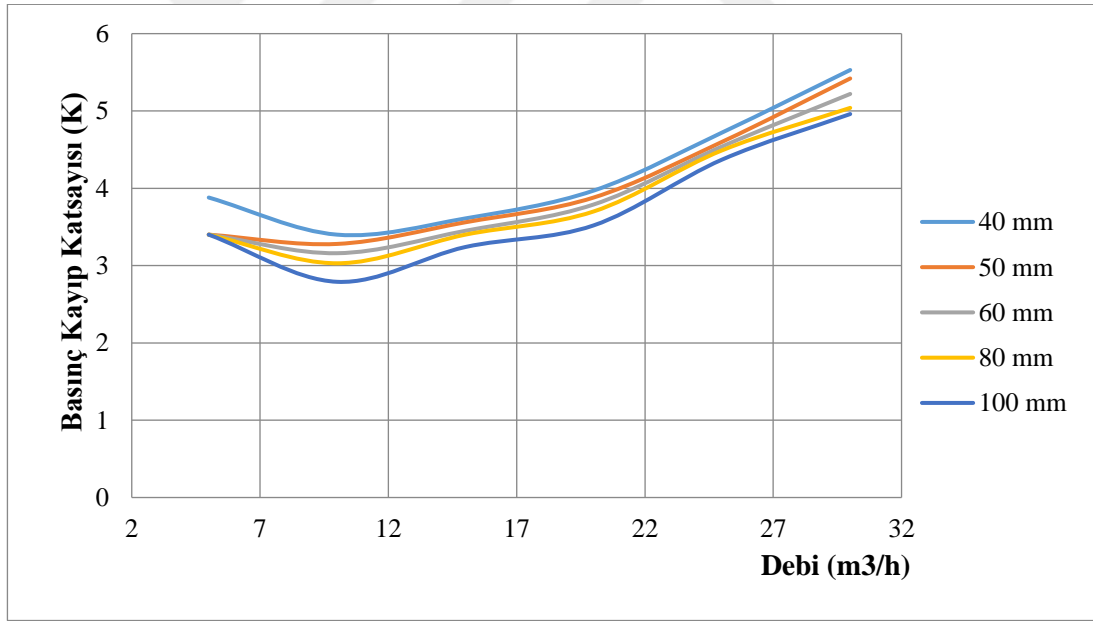


**Şekil 4.24.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi (D<sub>2</sub>=20 mm, D= 30 mm)

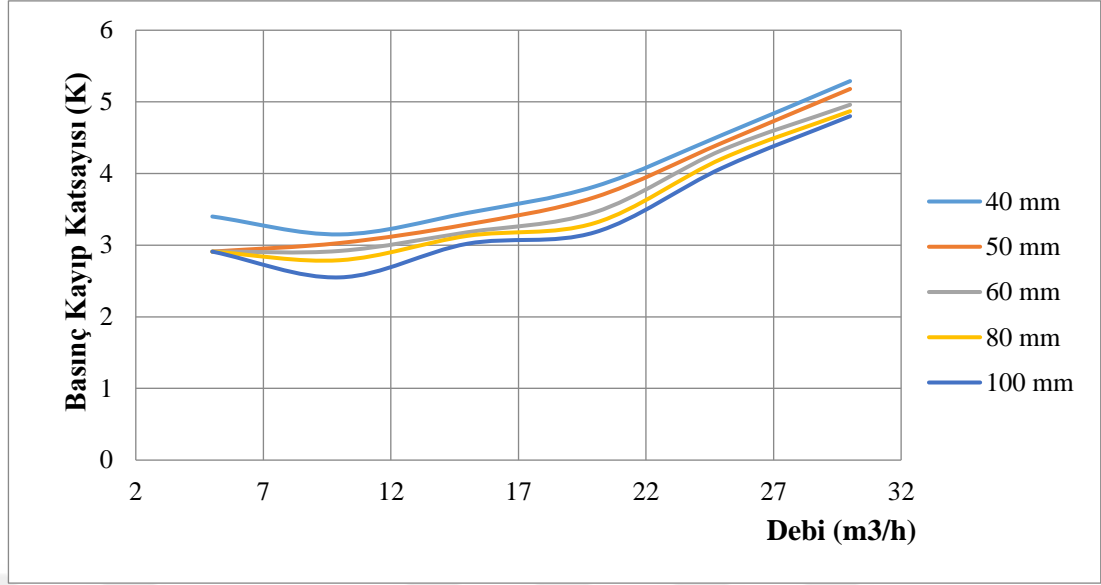
20 mm çıkış boru çapı için, dalma yüksekliğinin 40 mm'den küçük olduğu grafiklerde basınç kayıp katsayısının minimum değerinin 3'e yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca sanal gövde çapının azalmasına bağlı olarak basınç kaybını boyutsuz veren K değerinin arttığı görülmüştür (Şekil 4.21-Şekil 4.24).



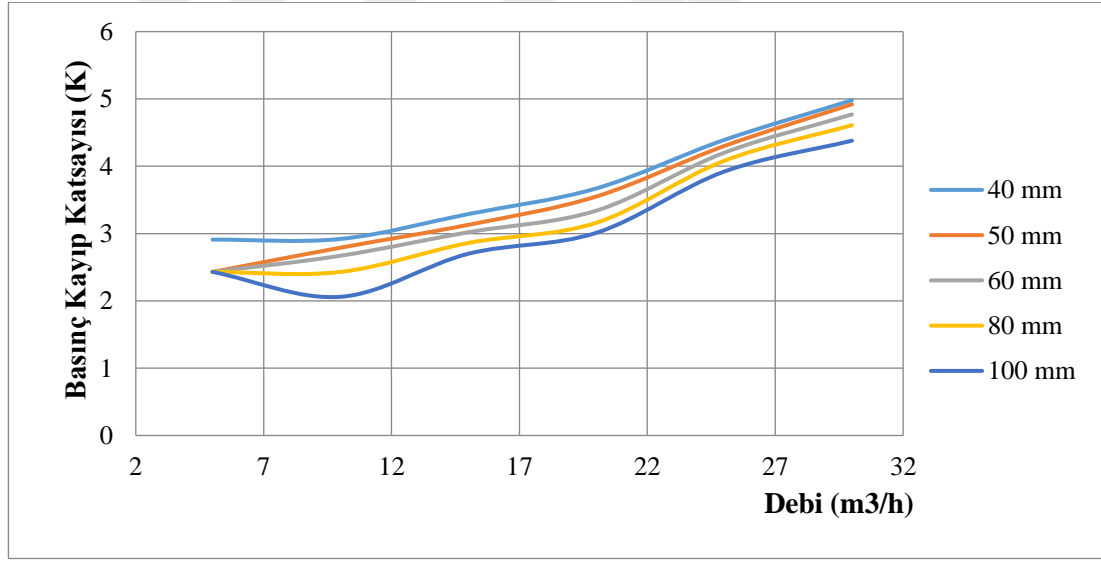
Şekil 4.25. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi (D<sub>2</sub>=20 mm, D= 40 mm)



Şekil 4.26. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi (D<sub>2</sub>=20 mm, D= 50 mm)



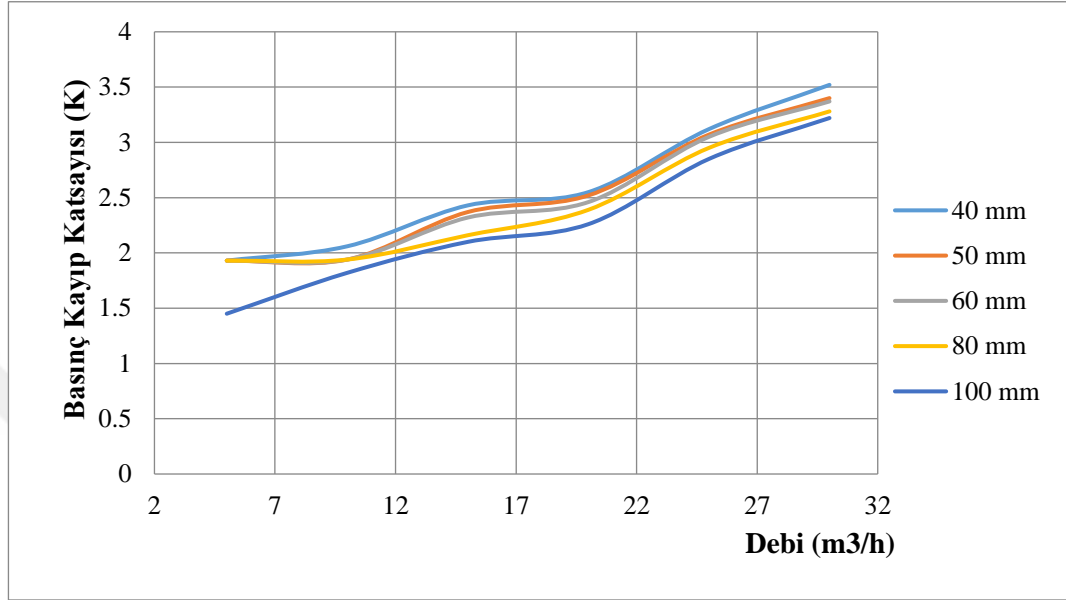
**Şekil 4.27.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=20$  mm,  $D=60$  mm)



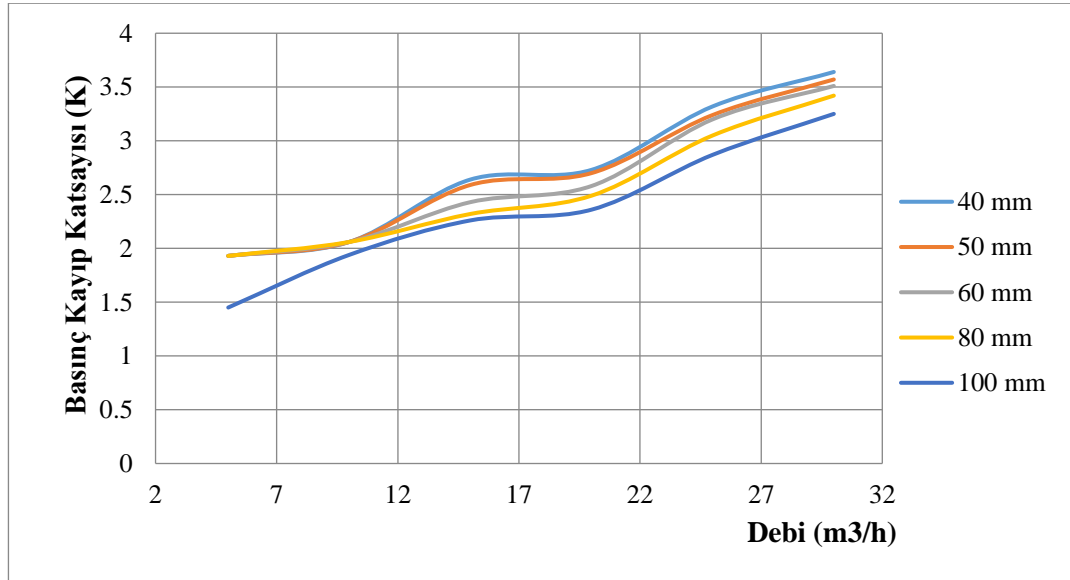
**Şekil 4.28.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=20$  mm,  $D=70$  mm)

20 mm çıkış boru çapı için, dalma yüksekliğinin 40 mm'den büyük olduğu grafiklerde basınç kayıp katsayısının minimum değerinin 2'ye yaklaştığı, buna ek olarak dalma yüksekliğinin artmasına bağlı olarak K değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca sanal gövde çapının azalmasına bağlı olarak basınç kaybını boyutsuz veren K değerinin arttığı görülmüştür (Şekil 4.25-Şekil 4.28).

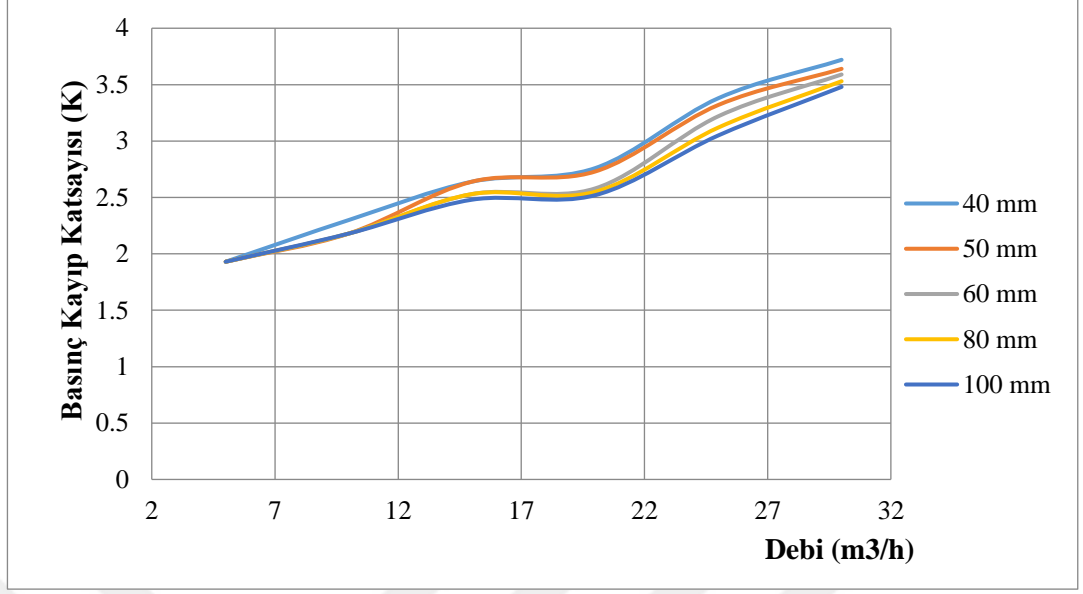
Çıkış boru çapı 25 mm için, sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kaybı katsayısı değişiminin, 8 çıkış borusu dalma yüksekliğinde katı gövde çapından (40 mm) küçük ve büyük olmak üzere iki gruba ayrılarak değerlendirilmiştir



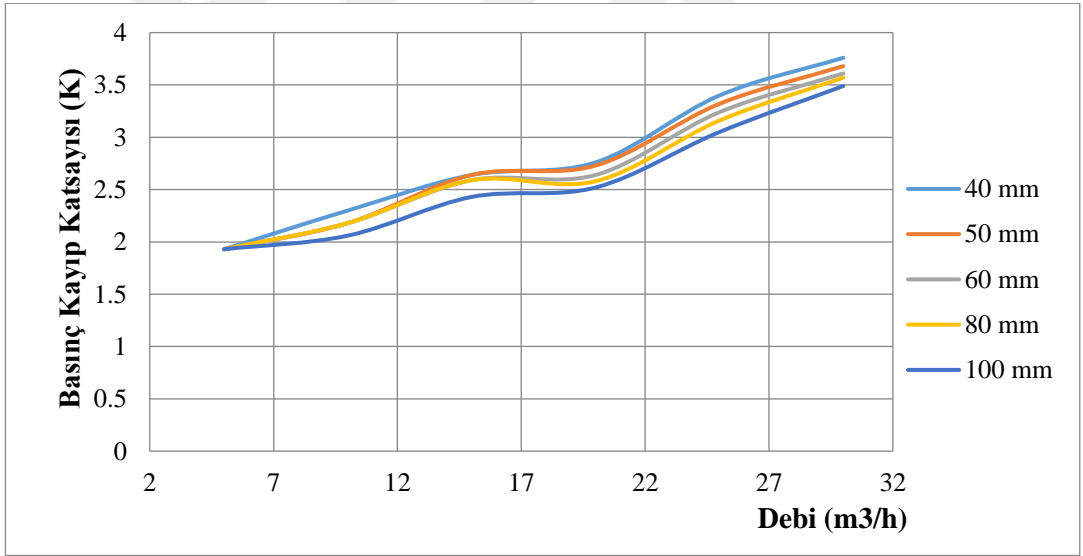
Şekil 4.29. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kaybı katsayısı değişimi ( $D_2=25$  mm,  $D=0$  mm)



Şekil 4.30. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kaybı katsayısı değişimi ( $D_2=25$  mm,  $D=10$  mm)

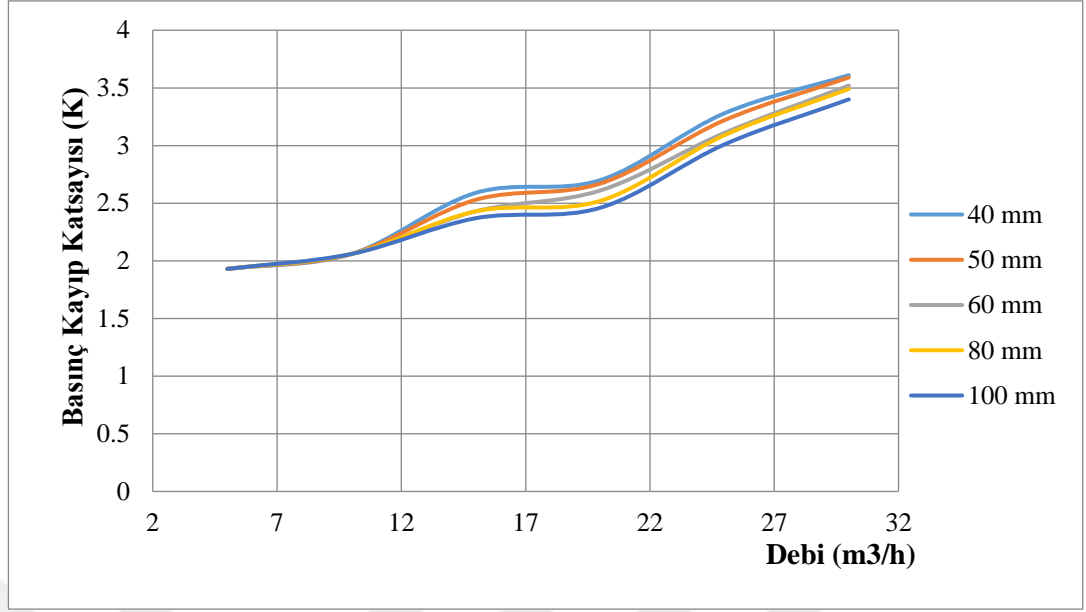


**Şekil 4.31.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=25$  mm,  $D=20$  mm)

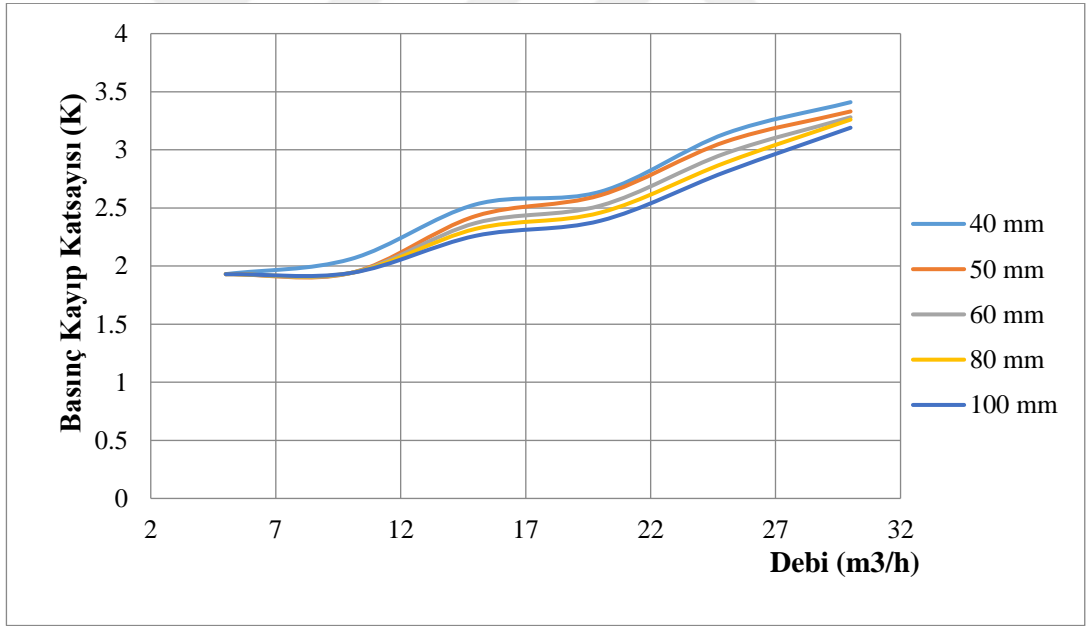


**Şekil 4.32.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=25$  mm,  $D=30$  mm)

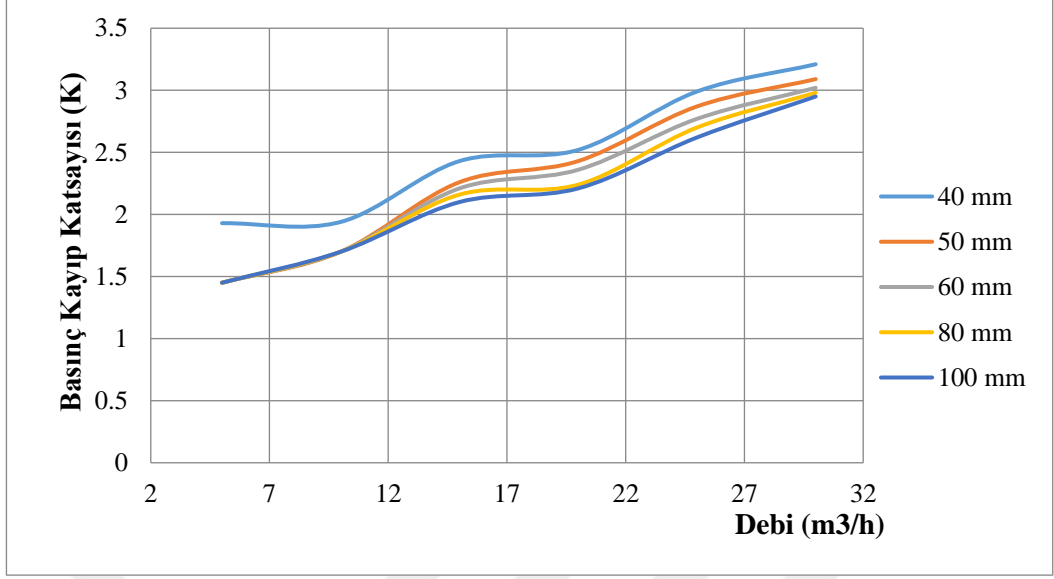
25 mm çıkış boru çapı için, dalma yüksekliğinin 40 mm'den küçük olduğu grafiklerde basınç kayıp katsayısının minimum değerinin 2'ye yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca sanal gövde çapının azalmasına bağlı olarak basınç kaybını boyutsuz veren K değerinin arttığı görülmüştür (Şekil 4.29-Şekil 4.32).



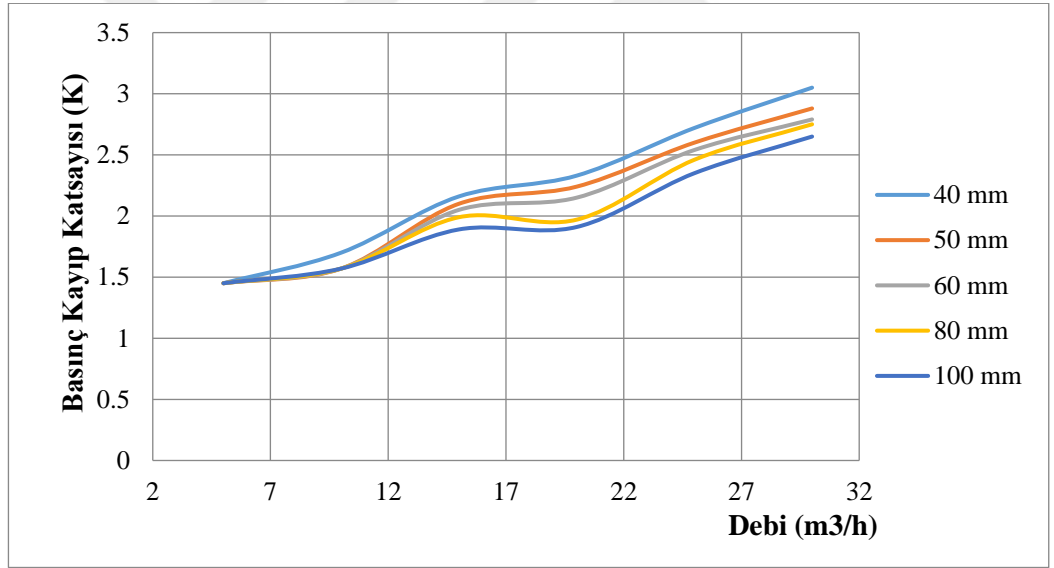
Şekil 4.33. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=25$  mm,  $D=40$  mm)



Şekil 4.34. Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi ( $D_2=25$  mm,  $D=50$  mm)



**Şekil 4.35.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi (D<sub>2</sub>=25 mm, D= 60 mm)



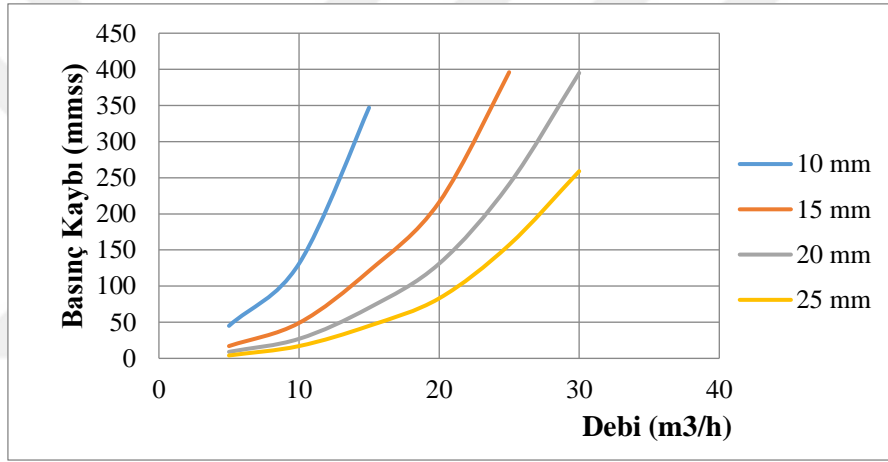
**Şekil 4.36.** Sanal gövde çapı değişimine bağlı olarak basınç kayıp katsayısı değişimi (D<sub>2</sub>=25 mm, D= 70 mm)

25 mm çıkış boru çapı için, dalma yüksekliğinin 40 mm'den büyük olduğu grafiklerde basınç kayıp katsayısının minimum değerinin 1'e yaklaştığı, buna ek olarak dalma yüksekliğinin artmasına bağlı olarak K değerlerini birbirine yaklaştığı görülmektedir. Ayrıca sanal gövde çapının azalmasına bağlı olarak basınç kaybını boyutsuz veren K değerinin arttığı görülmüştür (Şekil 4.33-Şekil 4.36).

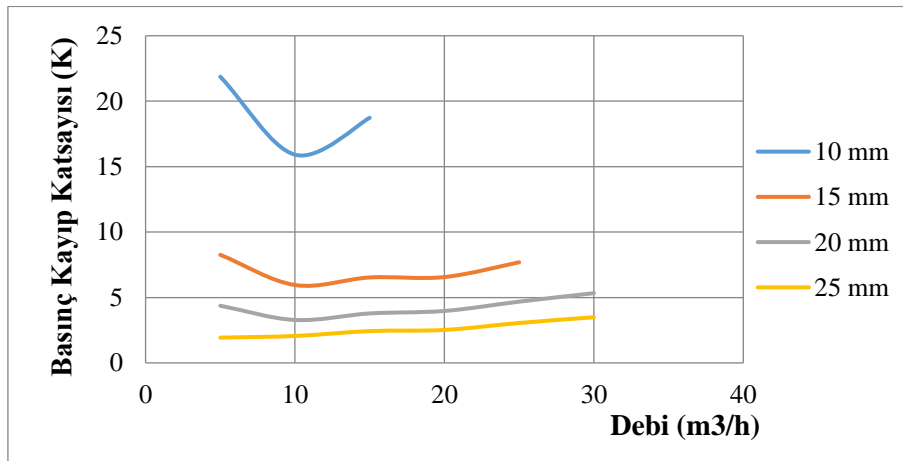


#### 4.1.2. Çıkış borusu çap değişiminin basınç kaybına etkisi

Deneyleerde 10, 15, 20 ve 25 mm çaplarında dört farklı çıkış boru çapı kullanılmıştır. Her çıkış borusunun maksimum çıkabildiği debi farklı olmuştur. Çıkış boru çapı daraldıkça ulaşılan maksimum debide azalma gözlenmektedir. Küçük çıkış çaplarında K katsayısının giriş hızından daha fazla etkilendiği gözlemlenmektedir. 10 mm'den büyük olan çaplarda ise bu kadar büyük etkiye sahip değildir. Ulaşılan maksimum debiler farklı olmasına rağmen çıkış boru çapının küçülmesine bağlı olarak basınç kayıplarında artış görülmektedir. Şekil 4.37 ve Şekil 4.38'de verilen grafikler sanal gövde çapı 100 mm içindir, diğer sanal gövdeler içinde benzer grafikler ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.37. Çıkış borusu çap değişiminin basınç kaybına etkisi



Şekil 4.38. Çıkış borusu çap değişiminin basınç kayıp katsayısına etkisi

Fıçıcı (2006) yaptığı deneylerde üç farklı çıkış borusu çapı için basınç kaybını incelemiştir. Çıkış borusu çap değerinin kritik bir çapa kadar artış eğiliminde olduğunu kritik bir çaptan sonra ise azalma yönünde olduğunu söylemiştir.

Tan (2016) yaptığı deneysel çalışmada çıkış borusu çapının basınç kaybına ve K katsayısına etkisinde benzer sonuçlar elde etmiştir. Çıkış borusu çap değişiminin etkisini iki farklı siklon tipi için araştırmış ve vorteks çapının azalmasına bağlı olarak K katsayısının büyüdüğünü söylemiştir.

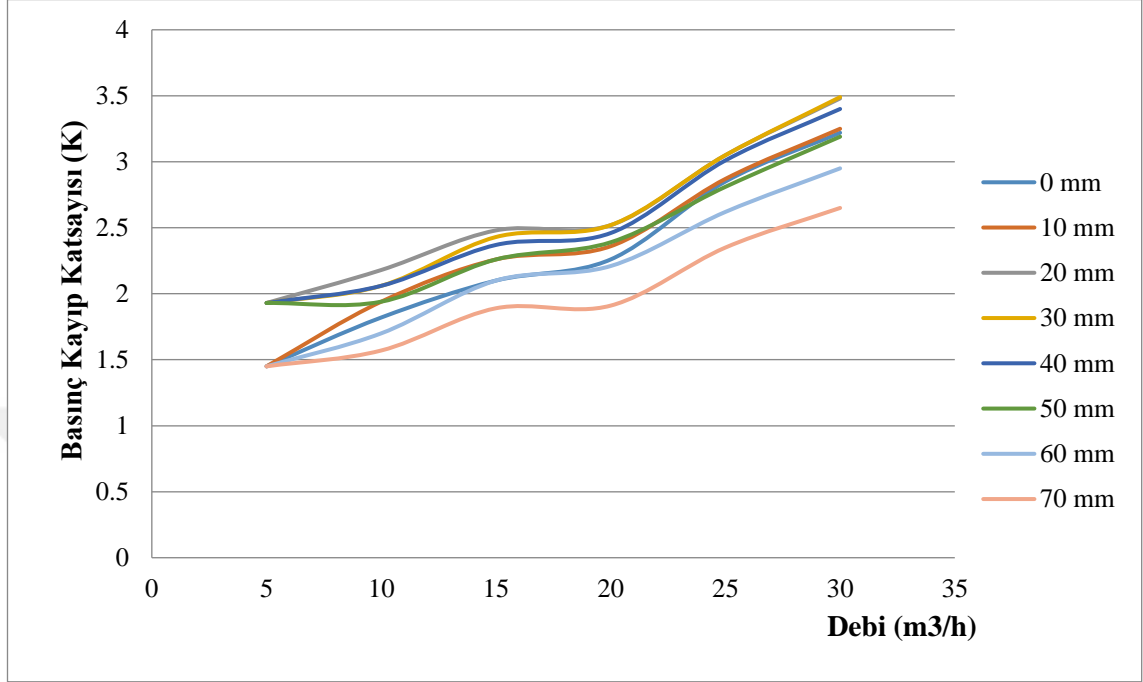
#### 4.1.3. Çıkış borusu yüksekliğinin basınç kaybına etkisi

8 farklı çıkış borusu yüksekliği seçilmiştir. Çıkış borusu değişikliği için belli bir dalma borusu yüksekliğine kadar basınç kaybının artış eğiliminde olduğu fakat belli yükseklikten sonra bu eğilimin azalma yönünde olduğu gözlemlenmiştir. Bu çıkarımdan yola çıkarak siklon geometrisini belirlerken dalma borusu kullanılıyor ise kullanılan siklon için en iyi çıkış borusu yüksekliği seçimi yapmanın önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu değişimi net bir şekilde göstermek için çıkış borusu yüksekliğinin basınç kaybına etkisi, Çizelge 4.2’de tablo halinde ve Şekil 4.39’da grafik olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Çıkış borusu yüksekliği değişiminin basınç kaybına etkisi (mmss) (S=100 mm ve D<sub>2</sub>=25 mm)

Debi/Dalma Yüksekliği	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm
5 m <sup>3</sup> /h	3	3	4	4	4	4	3	3
10 m <sup>3</sup> /h	15	16	18	17	17	16	14	13
15 m <sup>3</sup> /h	39	42	46	45	44	42	39	35
20 m <sup>3</sup> /h	77	78	83	83	81	79	73	63
25 m <sup>3</sup> /h	147	148	157	157	155	145	135	121
30 m <sup>3</sup> /h	239	241	258	259	252	237	219	197

Çıkış borusunun etkisi düşük debilerde fazla gözlenmemekle birlikte yüksek debilerde bu etki daha iyi gözlemlenmektedir.



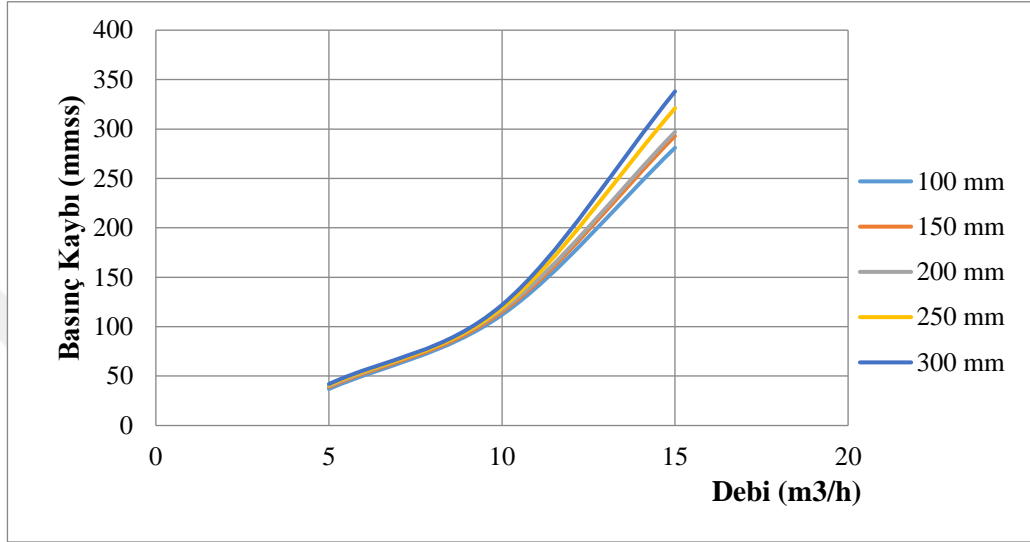
**Şekil 4.39.** Çıkış borusu yüksekliği değişiminin basınç kayıp katsayısına etkisi

Fıçıcı (2006) yaptığı deneylerde 8 farklı dalma borusu derinliği seçmiştir. Dalma borusu derinliğinin sıcaklıkla birlikte basınç kaybına etkisini incelemiştir. Dalma derinliğinin artmasına bağlı olarak girdap akışının dönüş sayısında artış olduğunu, bundan dolayı akış yolunun genişleyerek basınç kayıplarının arttığını söylemiştir.

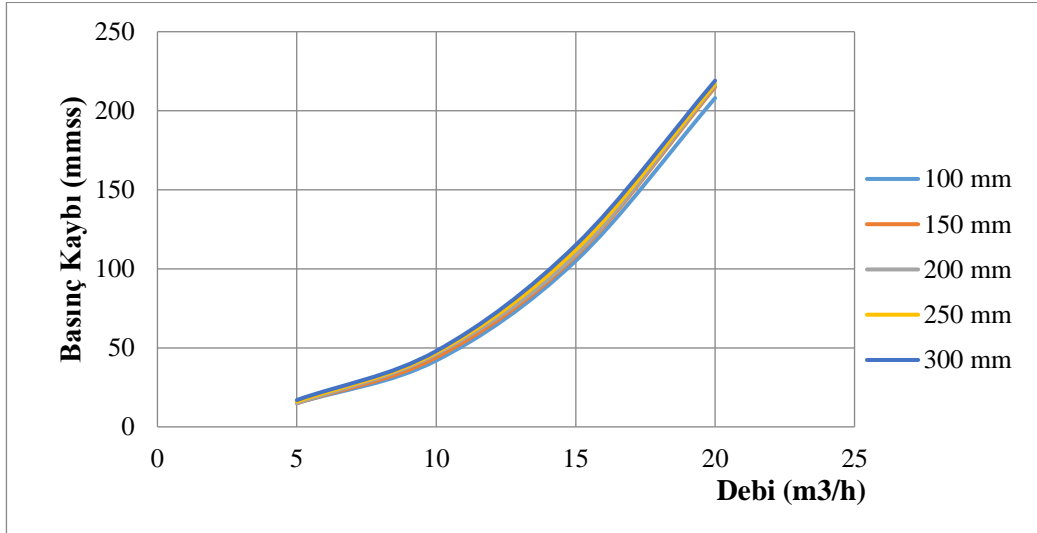
Kıvanç (2006) dalma borusu derinliğinin basınç kaybına etkisini incelemiştir. Dalma boyu değişiminin seçtiği dip çapların her biri için basınç kayıplarında artış gösterdiğini söylemiştir.

#### 4.1.4. Siklon gövde boyunun basınç kaybına etkisi

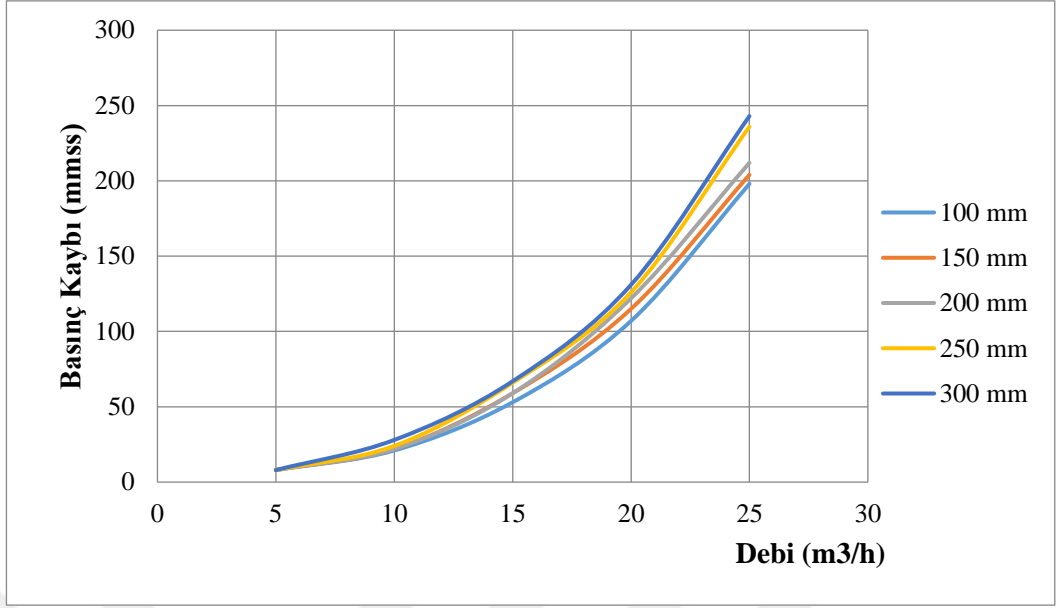
Siklon gövde boyunun basınç kaybına etkisinin incelendiği deneylerde siklonun kendi gövde boyu olan 300 mm dahil 5 farklı gövde boyu (100 mm, 150 mm, 200, 250 mm) seçilmiştir.



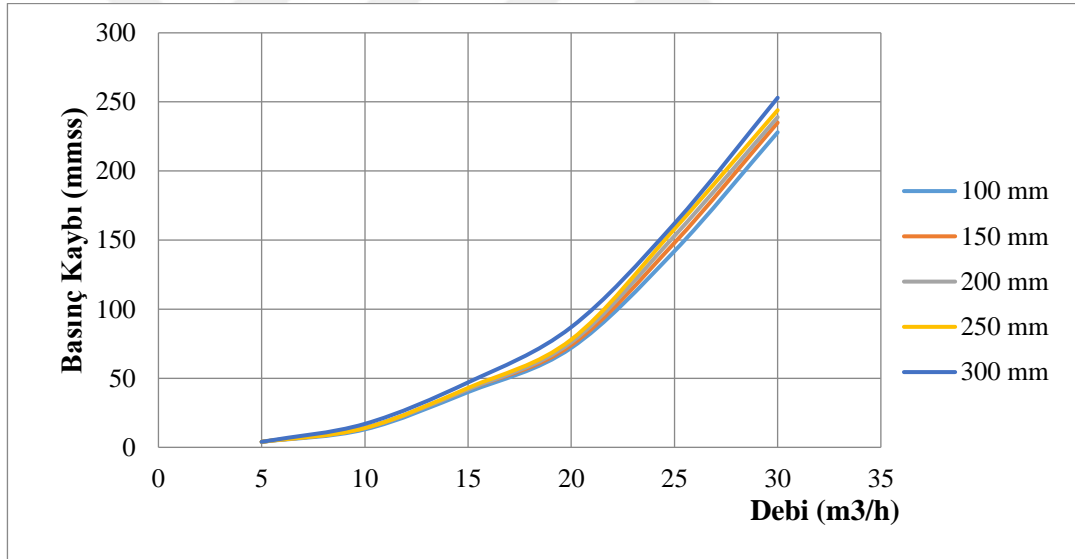
Şekil 4.40. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kaybına etkisi ( $D_2=10$  mm)



Şekil 4.41. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kaybına etkisi ( $D_2=15$  mm)

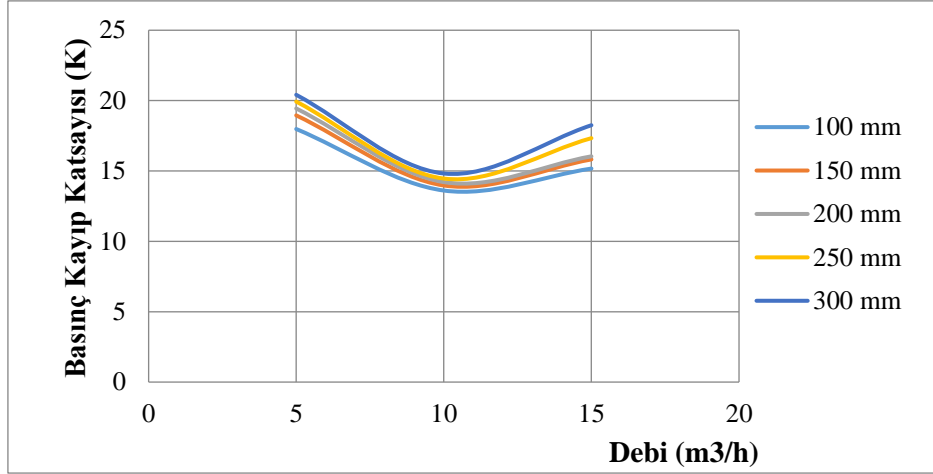


Şekil 4.42. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kaybına etkisi ( $D_2=20$  mm)

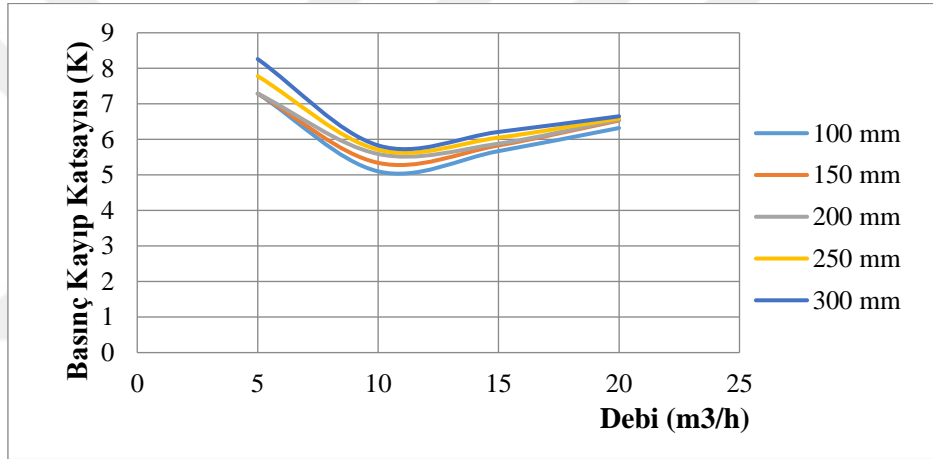


Şekil 4.43. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kaybına etkisi ( $D_2=25$  mm)

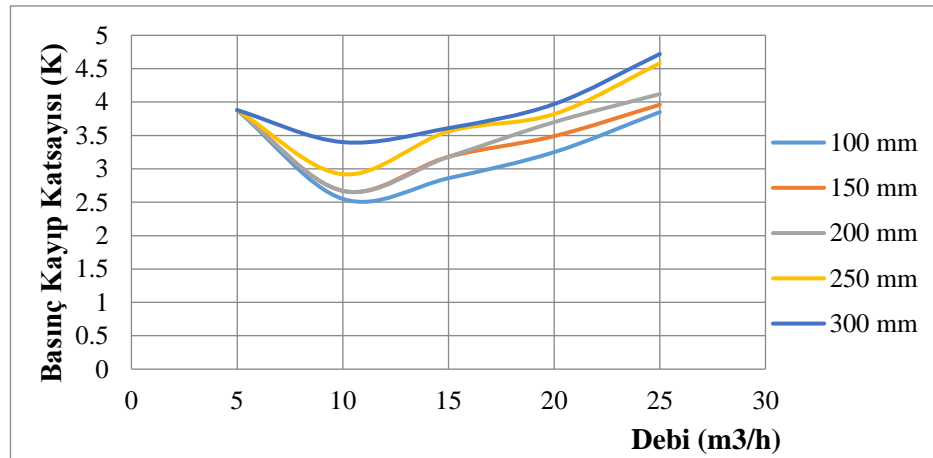
Grafiklerde de görüldüğü üzere siklon gövde uzunluğunu değiştirmenin basınç kaybı üzerinde gözle görülür ciddi bir etkisi olduğu söylenemez. Buna rağmen gövde boyunun azalmasına paralel olarak basınç kaybında azalma gözlenmektedir (Şekil 4.40-Şekil 4.43).



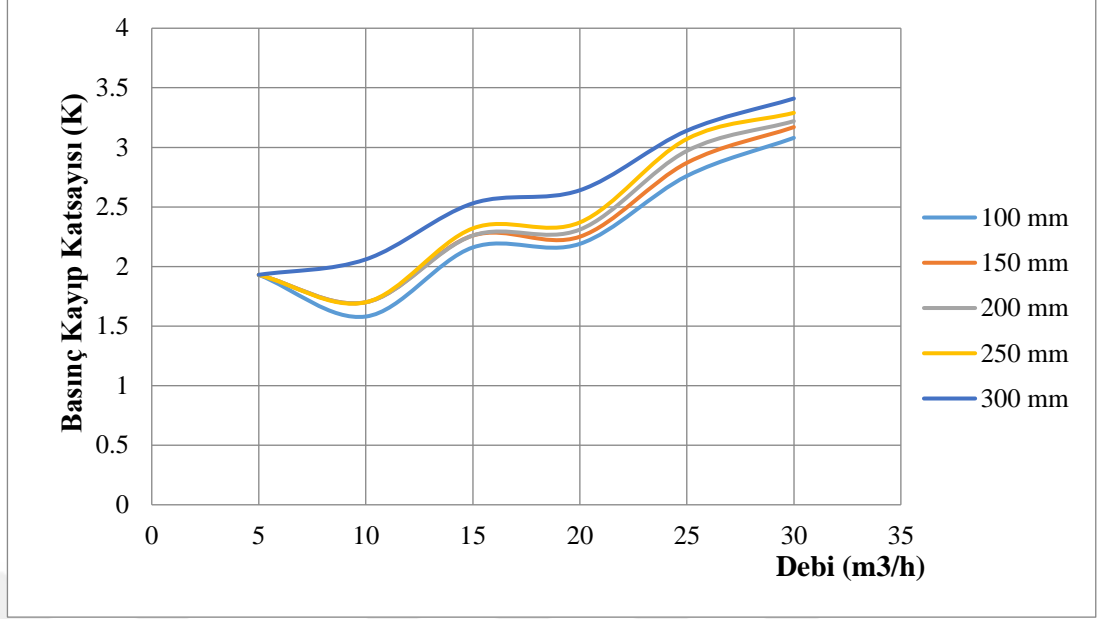
Şekil 4.44. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kayıp katsayısına etkisi ( $D_2=10$  mm)



Şekil 4.45. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kayıp katsayısına etkisi ( $D_2=15$  mm)



Şekil 4.46. Siklon gövde boyu değişiminin basınç kayıp katsayısına etkisi ( $D_2=20$  mm)



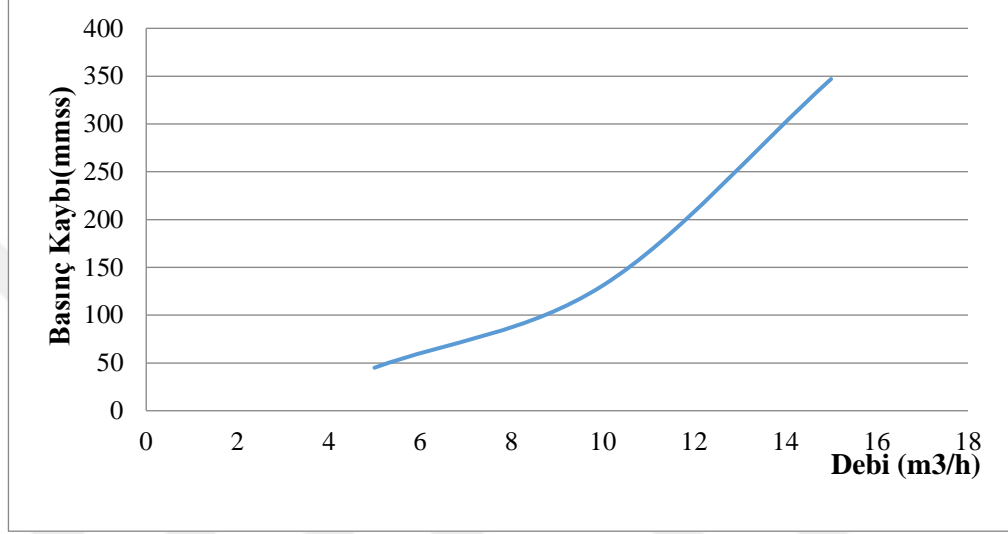
**Şekil 4.47.** Siklon gövde boyu değişiminin basınç kayıp katsayısına etkisi ( $D_2=25$  mm)

Siklon gövde boyu değişiminin basınç kaybına etkisi incelendiğinde gövde boyunun artmasına bağlı olarak, basınç kaybında artış gözlemlenmiştir. Dört farklı çıkış boru çapı içinde benzer durumlar görülmektedir (Şekil 4.44- Şekil 4.47)

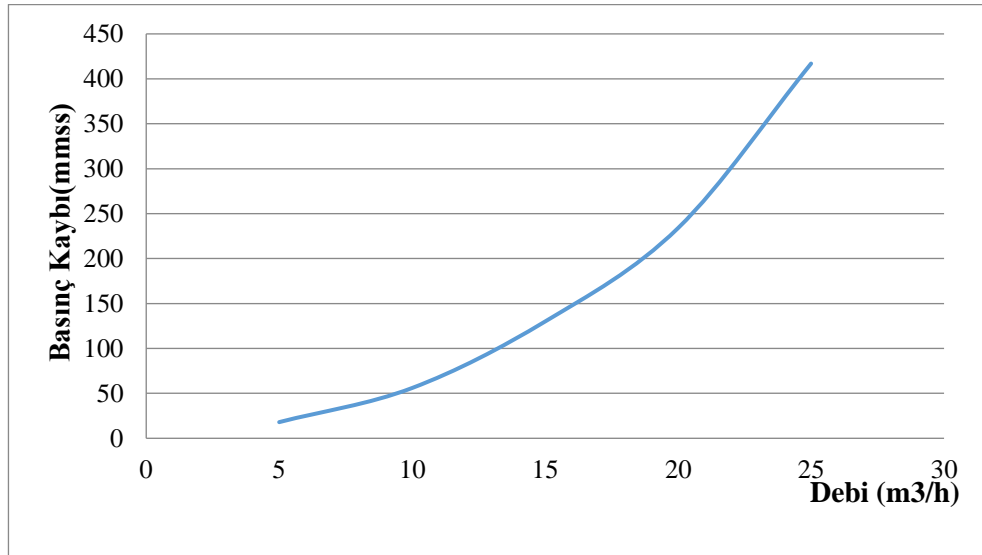
Avcı ve Erel (2003) siklon separatorlerde uzunluğun verime etkisini incelemiş ve verimin siklon boyuyla artıp artmayacağına cevap bulmak için bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımın sonucuna göre çalışma şartlarına göre her siklon için optimum bir siklon uzunluğu belirlenebileceğini ve belirlenen uzunluğun üzerindeki siklon uzunluğunda verimin artmayacağını aksine azalacağını sonucuna ulaşmışlardır. Model sonuçlarını bazı deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Büyük hızlarda siklonu uzatmak ve düşük hızlarda siklonu kısaltmanın yararlı olabileceğini söylemişlerdir

#### 4.1.5. Siklon giriş hızının basınç kaybına etkisi

Giriş hızının artmasıyla birlikte basınç kaybı ve buna bağlı olarak K katsayısında artış gözlemlenmektedir (Şekil 4.48-Şekil 4.50). Bu artış çıkış borusu çapının daralmasına bağlı olarak daha fazladır. Ayrıca farklı çıkış borusu çaplarına göre maksimum çıkılan debi farklıdır.

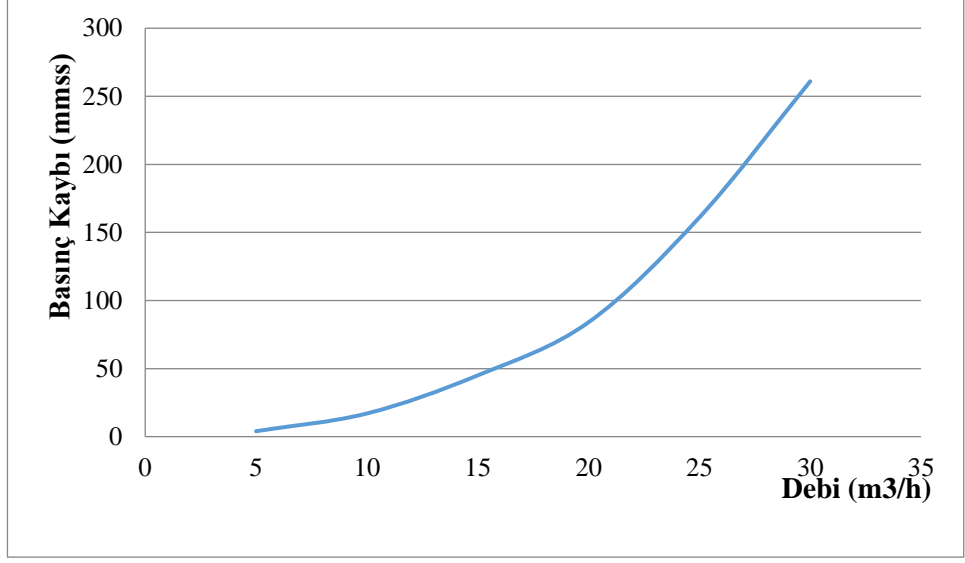


Şekil 4.48. Debi değişiminin basınç kaybına etkisi (S=100 mm, D<sub>2</sub>=10 mm)



Şekil 4.49. Debi değişiminin basınç kaybına etkisi (S=60 mm, D<sub>2</sub>=15 mm)





**Şekil 4.50.** Debi değişiminin basınç kaybına etkisi ( $S=40$  mm,  $D_2=25$  mm)

Shepherd ve Lapple (1939) yaptıkları deneysel çalışmalarda siklon giriş hızının artmasına paralel olarak basınç kaybının arttığını söylemişlerdir

Elsayed ve Lacor (2010) yaptıkları çalışmada Stairmand tipi siklon kullanmış, siklon giriş hızının artışına bağlı olarak basınç kayıplarının arttığını gözlemlemişlerdir.

Şendoğan (2012) debinin artışına paralel olarak basınç kayıplarında artış olduğunu söylemiştir.

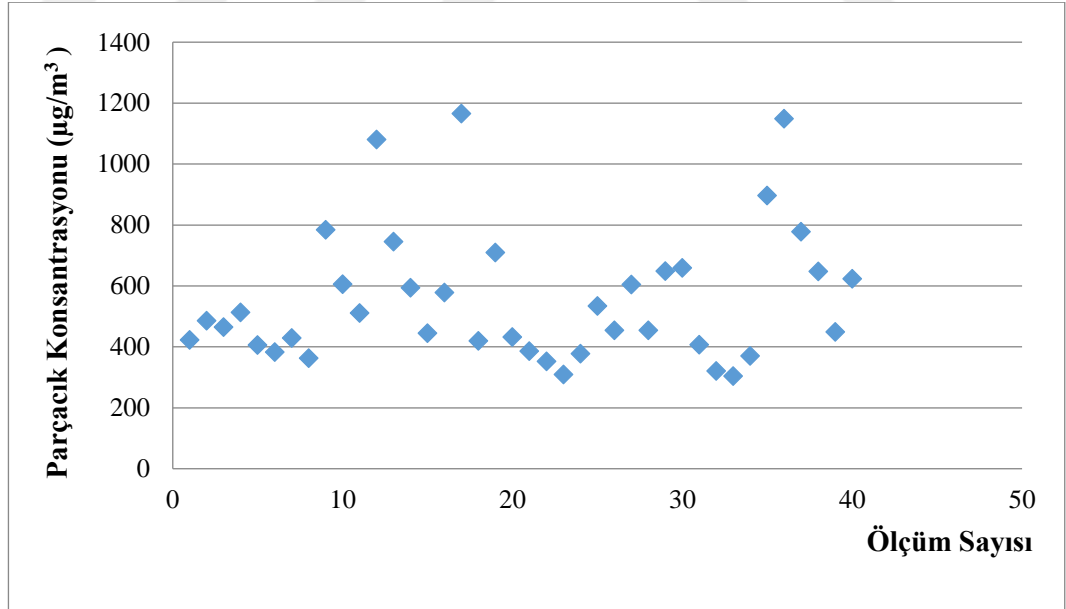
Erman (2017) gerçekleştirdiği çalışmada teğetsel girişli siklon kullanmış ve benzer sonuçlar elde etmiştir.

## 4.2. Deney 2 Sonuçları

Deneyin ikinci aşamasında siklonun laboratuvar ortamındaki tozlar için toplam tutma verimi ve fraksiyonel verimleri hesaplanmıştır. Havadaki partikül sayısını ölçmek için dijital partikül sayım cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz 0,3  $\mu\text{m}$ -10  $\mu\text{m}$  arasındaki partikül çapındaki tozlar için ölçüm yapabilmektedir. Ortamdaki partikül sayısı değişken olduğundan dolayı belli aralıklarla ortamdaki partikül sayısı ölçülmüştür. Deneyin ilk aşamasındaki değiştirilen parametreler bu aşama içinde geçerlidir.

Toplama Verimi ve Fraksiyonel Verim:

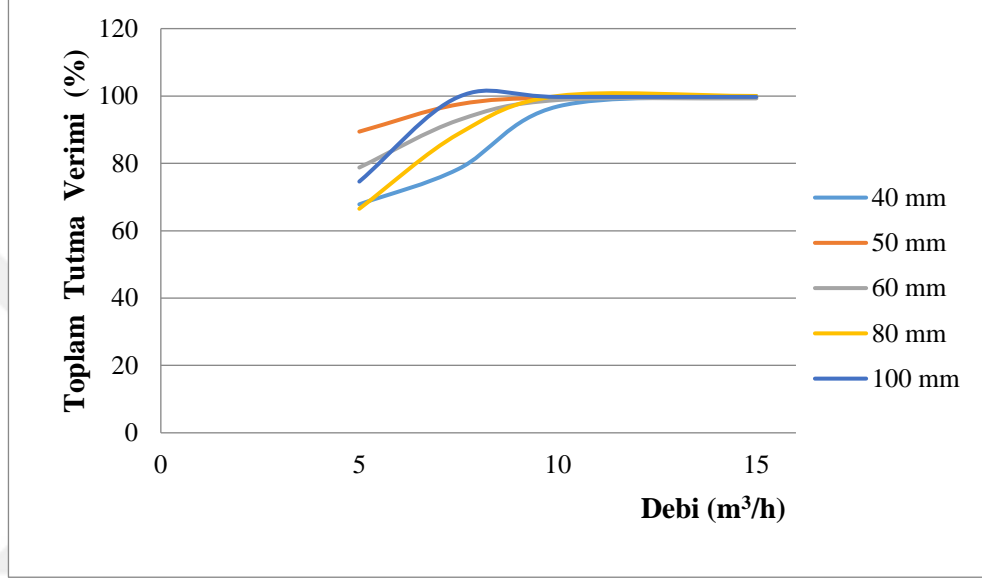
Değiştirilen her geometrinin etkisi farklı başlık altında incelenerek elde edilen sonuçlarla ilgili veriler grafik halinde sunulmuştur. Deneyin yapıldığı ortamdaki toz konsantrasyonunun sabit olmaması sebebiyle her çıkış borusu dalma yüksekliği değiştirildiğinde partikül sayısı ölçülmüştür. Ölçüm sayısına bağlı parçacık konsantrasyonu grafiği Şekil 4.51’de verilmiştir.



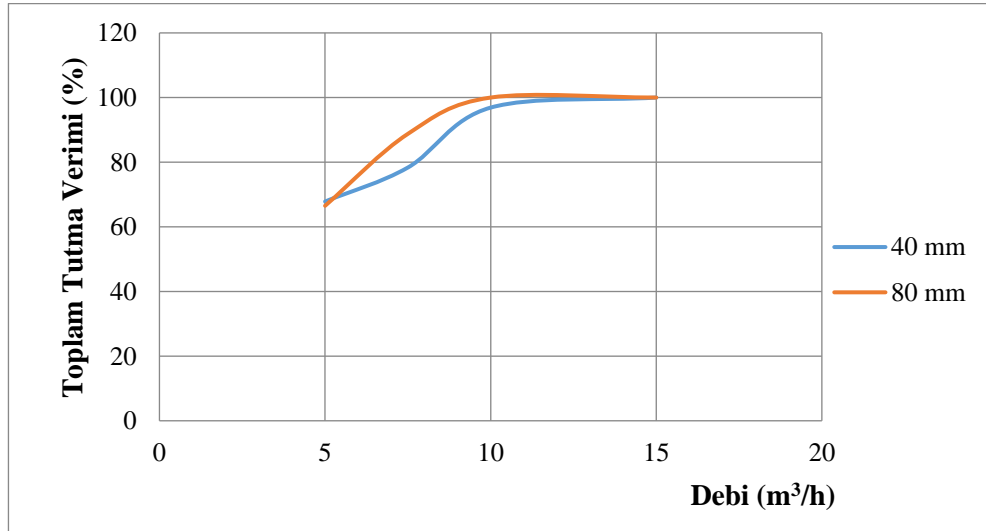
Şekil 4.51. Havadaki toz içindeki partikül konsantrasyonunun zamanla değişimi

#### 4.2.1. Sanal gövde çapı değişiminin verime etkisi

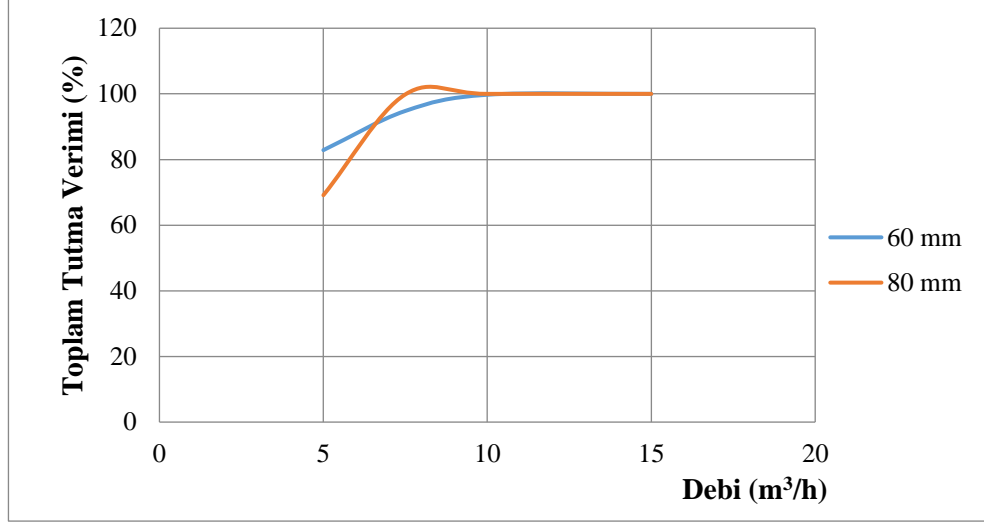
Siklon gövde çapı olan 100 mm dahil 4 farklı sanal gövde çapı (40 mm, 50 mm, 60 mm, 80 mm) kullanılmıştır. Şekil 4.51’de görüldüğü gibi konsantrasyonun çok değişken olmasından dolayı gövde çapı değişiminin etkisinin anlaşılabilmesi için birbirine yakın toplam partikül sayılarına sahip konsantrasyonlar için grafiklerde verilecektir.



Şekil 4.52. Sanal gövde çapının toplam tutma verimine etkisi (D<sub>2</sub>=10 mm)

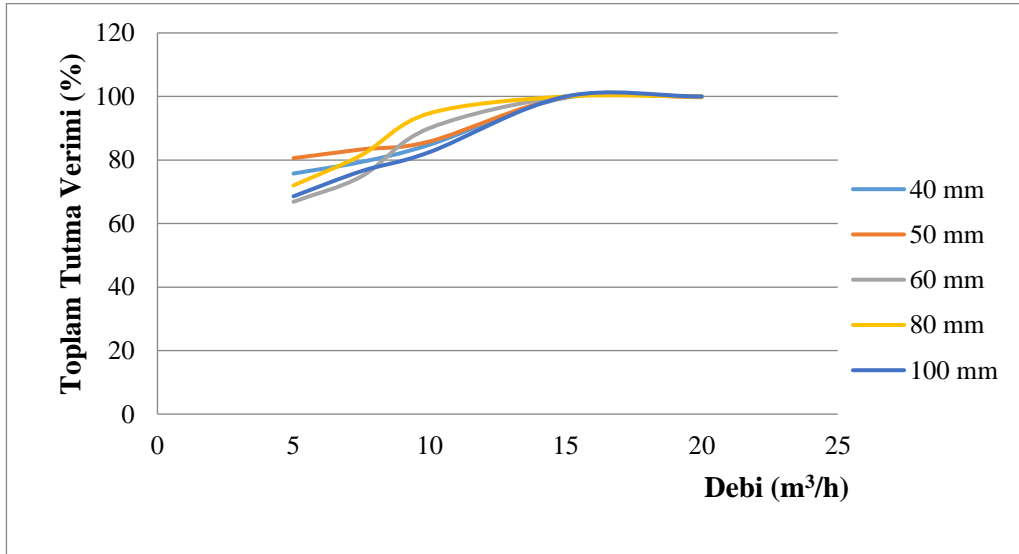


Şekil 4.53. Sanal gövde çapının toplam tutma verimine etkisi (S<sub>1</sub>=40 mm, S<sub>4</sub>=80 mm, D<sub>2</sub>=10 mm)

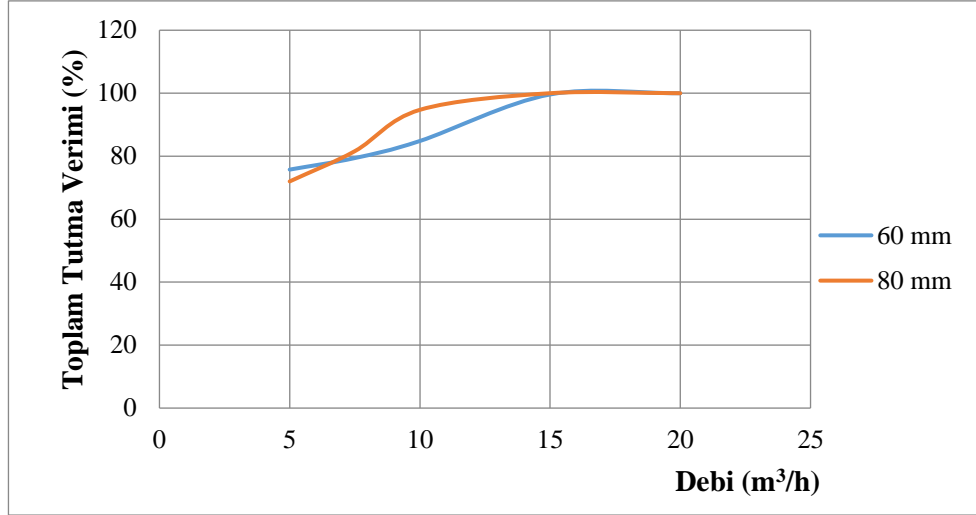


**Şekil 4.54.** Sanal gövde çapının toplam tutma verimine etkisi ( $S_3=60$  mm,  $S_4=80$  mm  $D_2=10$  mm)

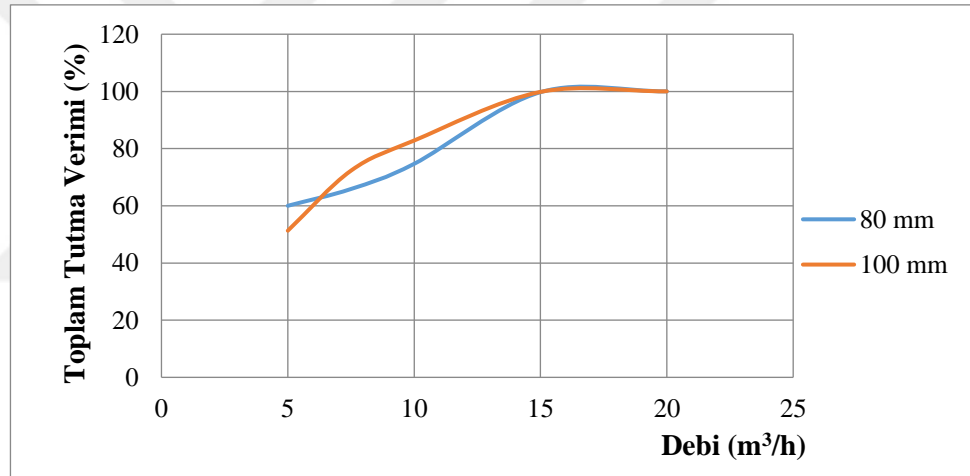
Şekil 4.52’de görüldüğü üzere tüm sanal gövde çaplarına ait eğimlerin bir arada verilmesi toplam tutma verimi için kesin bir yorum yapmayı zorlaştırmaktadır. Bunun sebebi olarak önceden belirtildiği ve Şekil 4.51’de gösterildiği üzere ortamdaki partikül sayısı değişiminin çok fazla olmasından dolayı konsantrasyonun sabit kalmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sebepten dolayı birbirine yakın konsantrasyon değerlerine sahip gövde çapları içinde grafikler vermekte yarar vardır (Şekil 4.53 ve Şekil 4.54).



**Şekil 4.55.** Sanal gövde çapının toplam tutma verimine etkisi ( $D_2=15$  mm)



**Şekil 4.56.** Sanal gövde çapının toplam tutma verimine etkisi ( $S_3=60$  mm,  $S_4=80$  mm  $D_2=15$  mm)

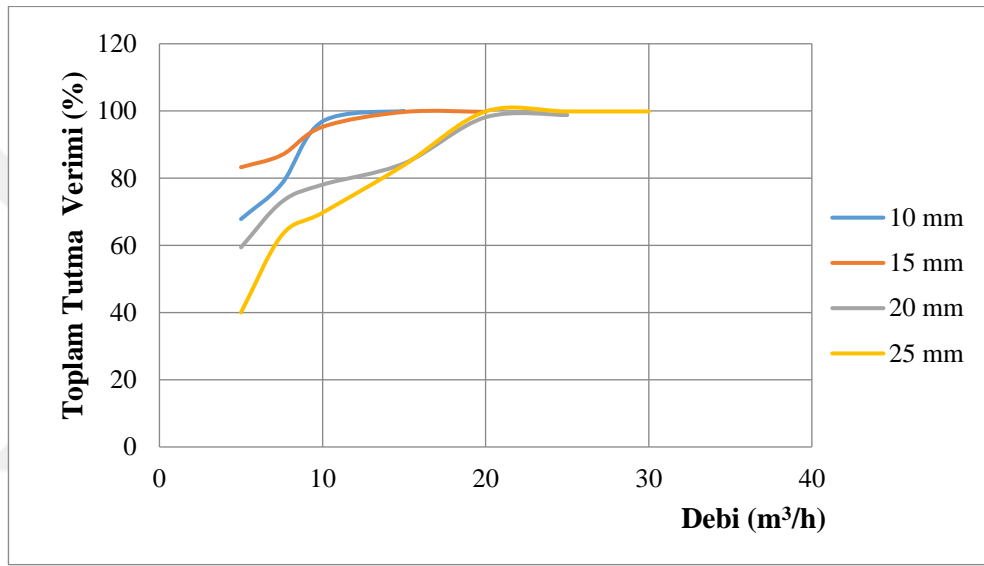


**Şekil 4.57.** Sanal gövde çapının toplam tutma verimine etkisi ( $S_4=80$  mm,  $S_5=100$  mm  $D_2=15$  mm)

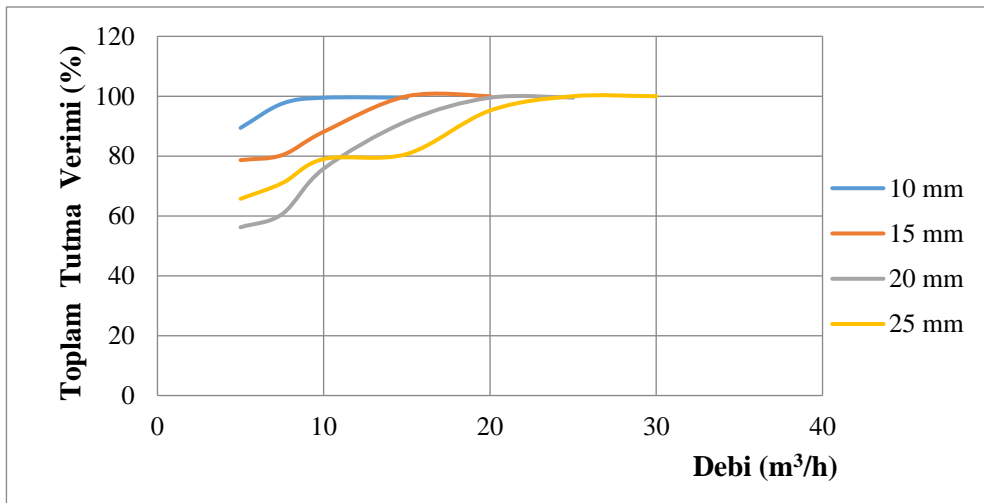
Her ne kadar ortamdaki partikül konsantrasyonunun fazla değişmesinden dolayı toplu olarak verilen sanal gövde çapı değişimi grafikleri (Şekil 4.55) için yorum yapmak zor olmasına rağmen yakın konsantrasyon değerleri için çizilen grafiklerde (Şekil 4.56 ve Şekil 4.57)  $5$  m<sup>3</sup>/h debi için sanal gövde çapının artmasına bağlı olarak verimde azalma gözlemlenirken debi arttıkça verimde artış gözükülmektedir. Toplu olarak sanal gövde çapı değişimindeki bu farklılığın ve toplam tutma veriminde bile verimin % 100'e ulaşmasının sebebi olarak da konsantrasyonun bu kadar değişken olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4.2.2. Çıkış borusu çapı değişiminin verime etkisi

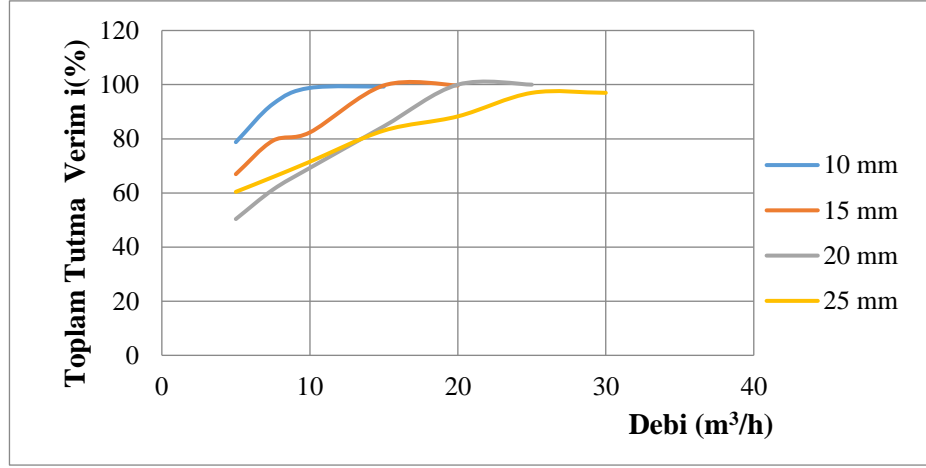
Deneylerde 10 mm, 15 mm, 20 mm ve 25 mm çaplarında dört farklı çıkış boru çapı kullanılmıştır. Her çıkış borusunun maksimum çıkabildiği debi farklı olmuştur. Bundan dolayı çıkış boru çapının azalması maksimum debiyi azaltmaktadır fakat bu azalmaya karşılık düşük hızlarda daha yüksek verim değerleri elde edilmiştir. Çıkış borusunun verime etkisinde her sanal gövde için benzer etkiler görülmektedir (Şekil 4.58-Şekil 4.62).



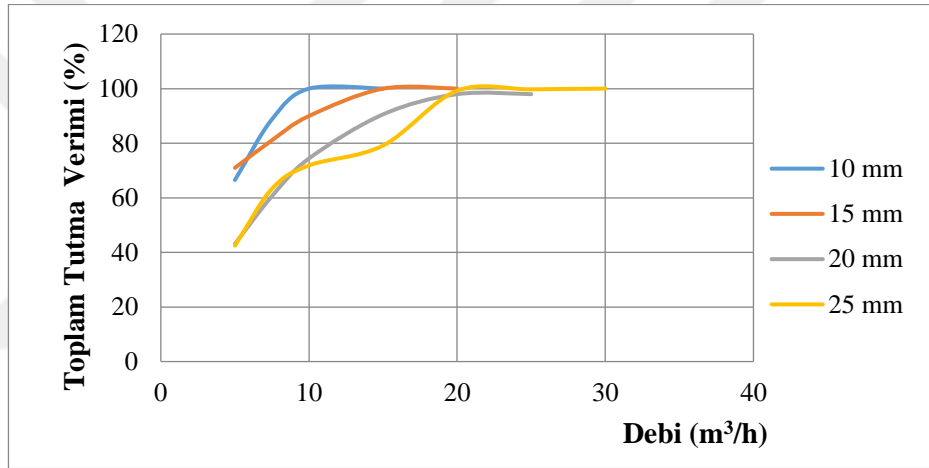
Şekil 4.58. Çıkış borusu çapı değişiminin toplam tutma verimine etkisi (S=40 mm)



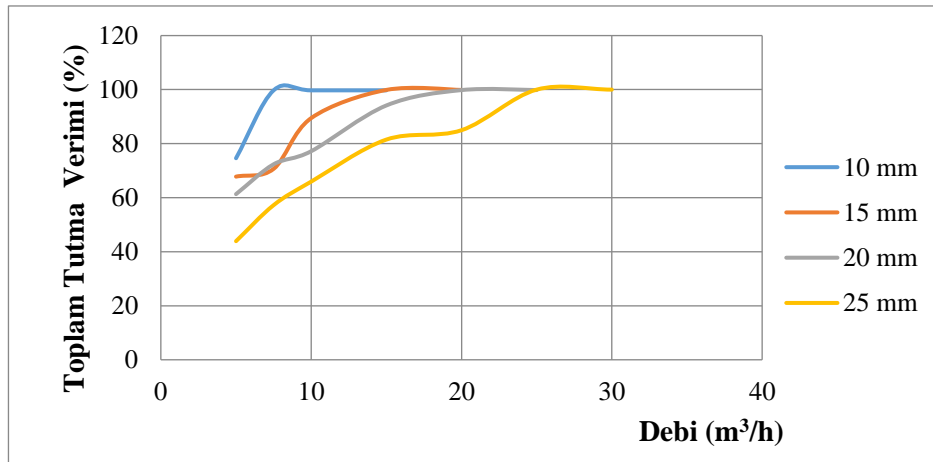
Şekil 4.59. Çıkış borusu çapı değişiminin toplam tutma verimine etkisi (S=50 mm)



Şekil 4.60. Çıkış borusu çap değişiminin toplam tutma verimine etkisi (S=60 mm)



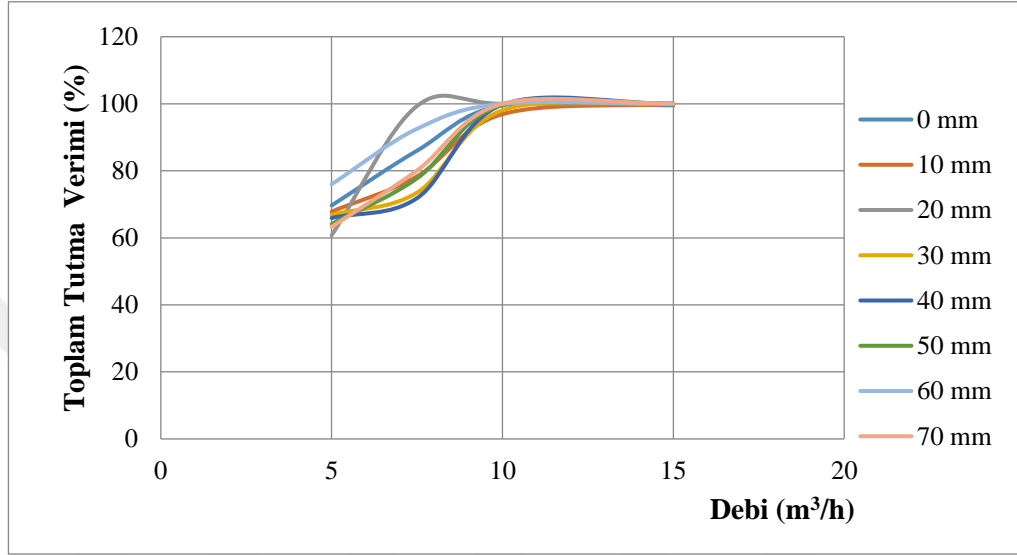
Şekil 4.61. Çıkış borusu çap değişiminin toplam tutma verimine etkisi (S=80 mm)



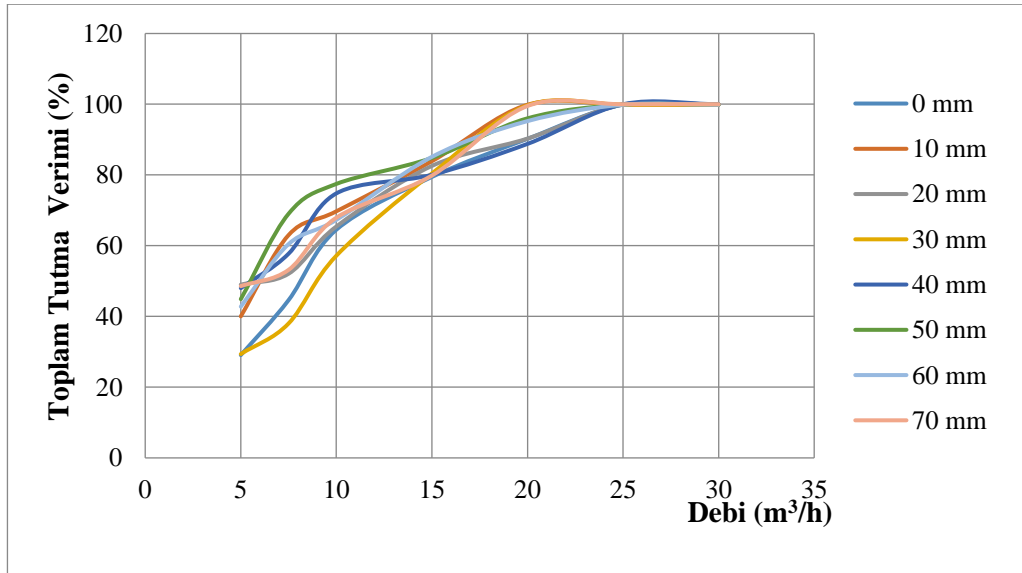
Şekil 4.62. Çıkış borusu çap değişiminin toplam tutma verimine etkisi (S=100 mm)

#### 4.2.3. Çıkış borusu yüksekliği değişiminin verime etkisi

8 farklı çıkış borusu yüksekliği için verim değerleri elde edilmiştir. Havadaki toz partikülleri için dalma borusu yüksekliğinin verime etkisi Şekil 4.63 ve Şekil 4.64'de verilmiştir.



Şekil 4.63. Çıkış borusu yüksekliği değişiminin toplam tutma verimine etkisi (S=40, D<sub>2</sub>=10 mm)

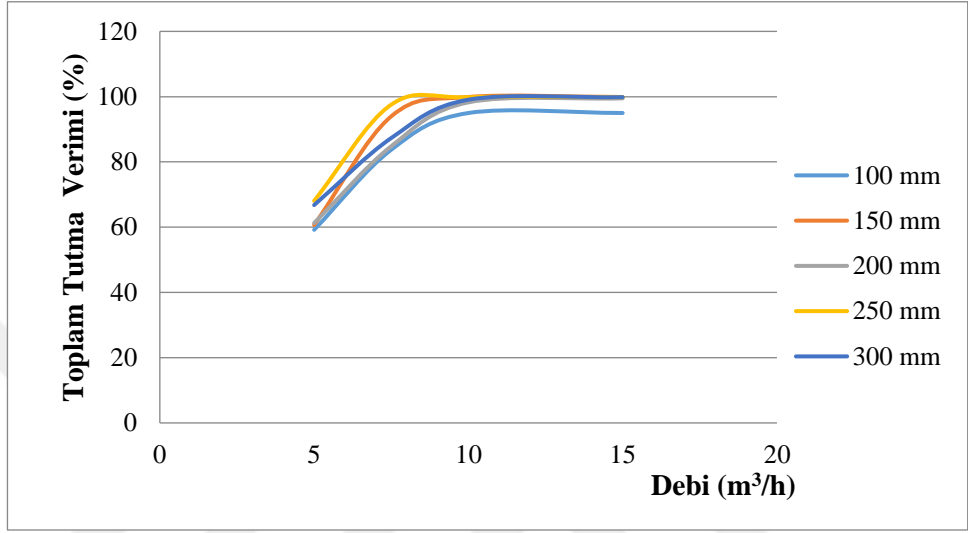


Şekil 4.64. Çıkış borusu yüksekliği değişiminin toplam tutma verimine etkisi (S=40, D<sub>2</sub>=25 mm)

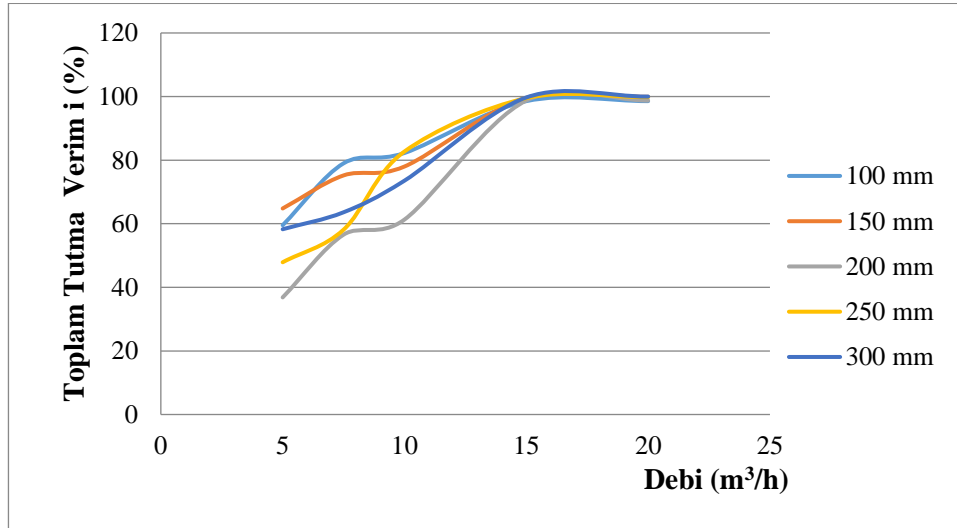


#### 4.2.4. Siklon gövde boyu değişiminin verime etkisi

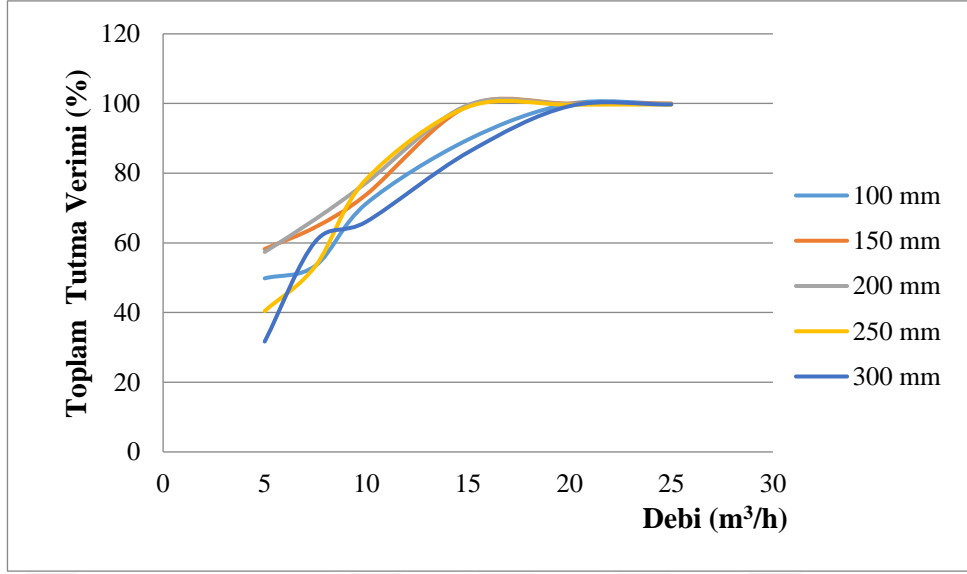
Siklon gövde boyunun verime etkisinin incelendiği deneylerde siklonun kendi gövde boyu olan 300 mm dahil 5 farklı gövde boyu (100 mm, 150 mm, 200, 250 mm) seçilmiştir.



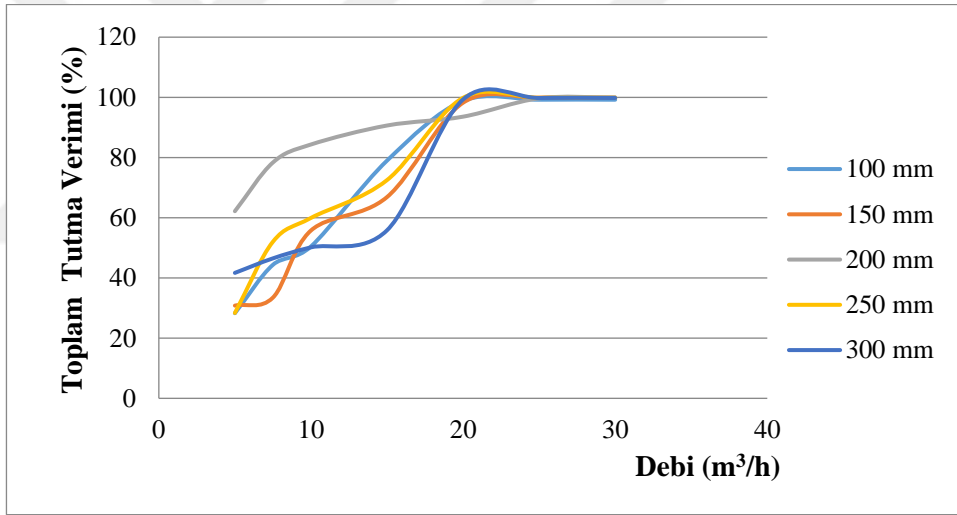
Şekil 4.65. Siklon gövde boyu değişiminin toplam tutma verimine etkisi (  $D_2=10$  mm)



Şekil 4.66. Siklon gövde boyu değişiminin toplam tutma verimine etkisi (  $D_2=15$  mm)



Şekil 4.67. Siklon gövde boyu değişiminin toplam tutma verimine etkisi (  $D_2=20$  mm)

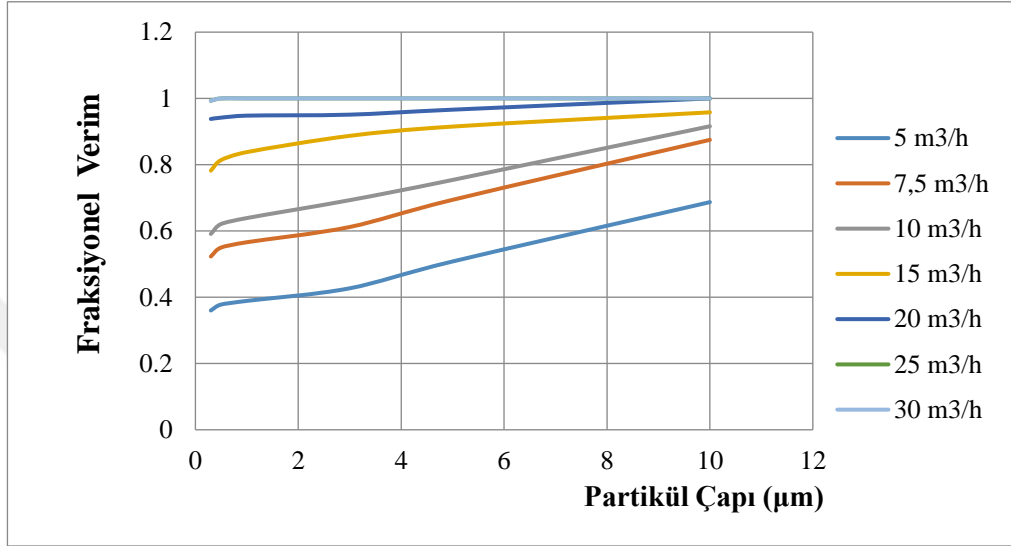


Şekil 4.68. Siklon gövde boyu değişiminin toplam tutma verimine etkisi (  $D_2=25$  mm)

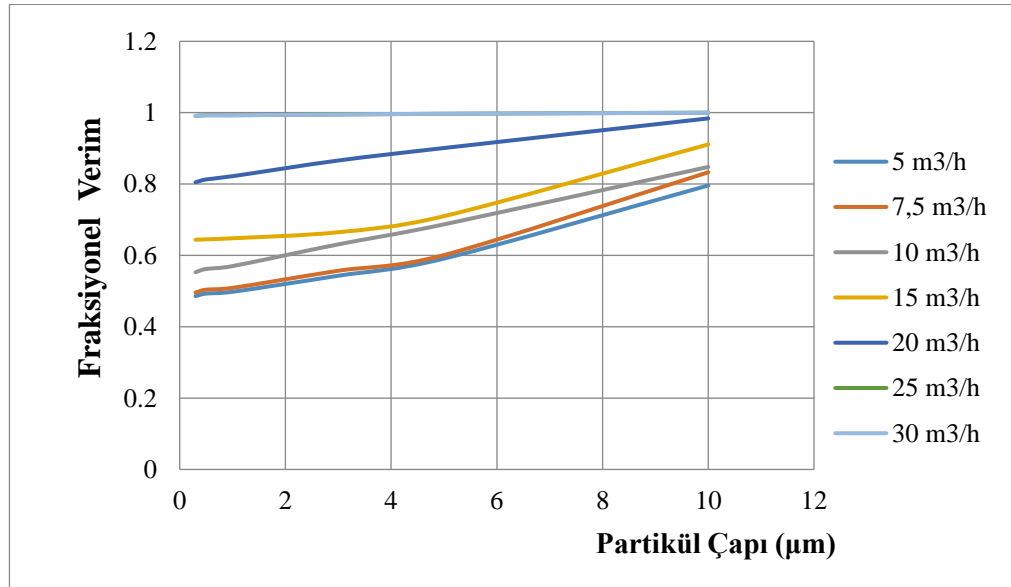
Çıkış boru çapının artmasına paralel olarak siklon gövde boyu değişiminde verimin alt ve üst değerleri arasında artış görülmektedir. 10 mm çıkış boru çapında en düşük hızda verim % 60'dan başlarken, 25 mm çıkış boru çapında verim %30'a kadar düşmüştür. Çıkış boru çapı azaldıkça, siklon gövde boyu değişiminde verim değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmüştür (Şekil 4.65-Şekil 4.68).

#### 4.2.5. Siklon giriş hızının verime etkisi

Debi artışına bağlı olarak verimde artış görülmektedir. Fraksiyonel verim eğrileri verilen grafiklerde (Şekil 4.69 ve Şekil 4.70) görülen etki toplam tutma verimi grafiklerinde de görülmektedir.



Şekil 4.69. Siklon giriş hızının verime etkisi (S=40 mm)



Şekil 4.70. Siklon giriş hızının verime etkisi (S=100 mm)

### 4.3. Deney 3 Sonuçları

Deneyin üçüncü ve son aşamasında ise kullanılan siklon için toz tutma verimi bulunmuştur. Deneyleerde toz olarak kalsit tozu kullanılmıştır. Kullanılan tozlar 8 µm ve 20 µm ortalama partikül çaplarına sahiptir. Tüm deneyler hassasiyetle yapılmış, değişen her debide önceki debide siklonda biriken toz miktarının sonuçları etkilememesi için özen gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar hakkında analiz yapılarak grafikler elde edilmiş ve bu grafikler üzerinden bulgular oluşturulmuştur. Yapılan deneylerde, elde edilen bulgular değişken parametre olan debiyle sanal gövde çapı ve çıkış boru çapı gibi değiştirilen geometrilerin kıyaslanması sonucu oluşturulan grafikler yorumlanmıştır.

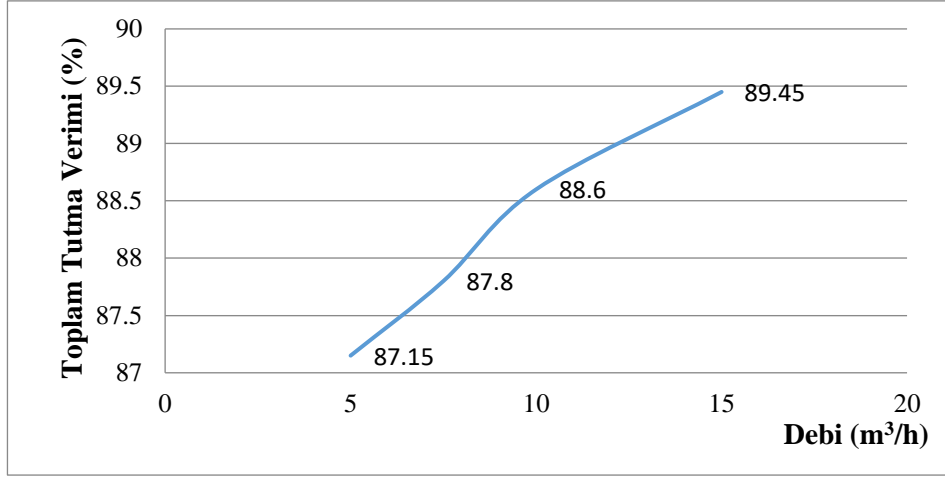
Deneyleer sonucunda siklonun içerisinde biriken tozların, toz besleme ünitesinden siklona verilen tozlara bölünmesiyle toplama verimi elde edilmiştir. Sonuçlardan elde edilen grafiklerde sanal gövde çapının kıyaslandığı grafikler ön plana çıkarılacaktır. Gövde çapının etkisinin tam olarak anlaşılabilmesi adına daha düşük partikül çapına sahip 8 µm tozlar ile yapılan deneylerde sadece sanal gövde çapı değişiminin etkisine yönelik grafikler elde edilmiştir.

#### 4.3.1. 20 µm ortalama partikül boyutuna sahip toz için verim sonuçları

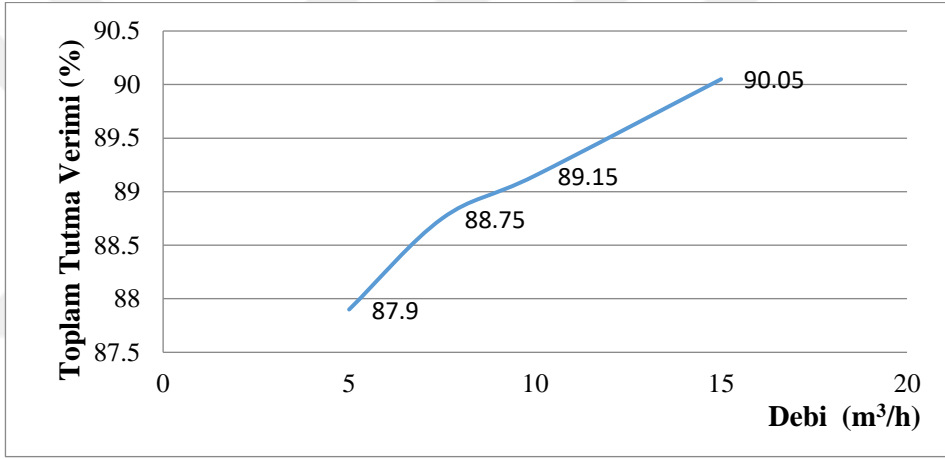
Deneyin 2. aşamasından farklı olarak bu kısımda yapılan deneyler tek bir dalma yüksekliği olan 50 mm dalma yüksekliğinde gerçekleştirilmiştir. Diğer değiştirilen geometrilerin verime etkisi ayrı başlıklar altında incelenecektir.

Sanal Gövde Çapı Değişiminin Verime Etkisi:

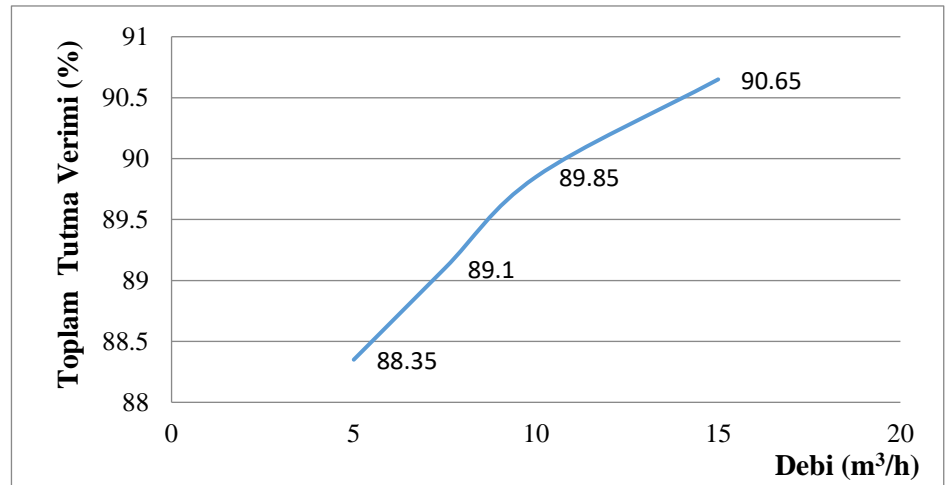
Her çıkış boru çapıyla değiştirilen sanal gövde çapının verime etkisini gösteren deney sonuçları grafik halinde sunulmuştur. Debi değişimiyle değişen verimin her sanal gövde çapı için gösterilmesi haricinde sanal gövde çaplarının birbiriyle kıyaslandığı toplu grafiklerde verilmiştir.



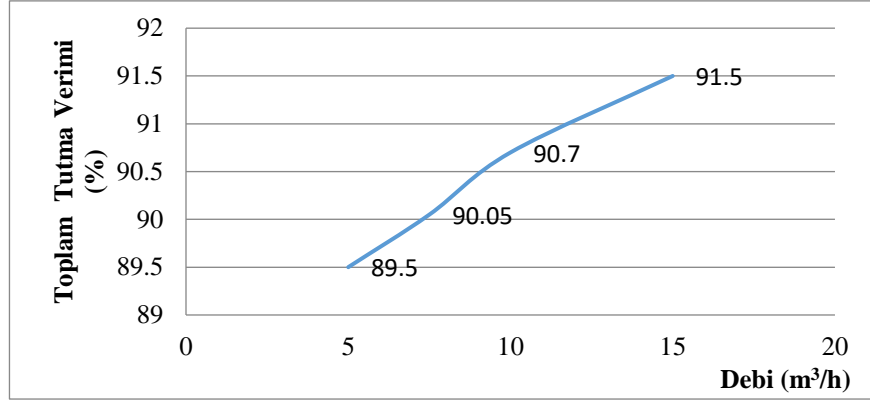
Şekil 4.71. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=40 mm, D<sub>2</sub>=10 mm)



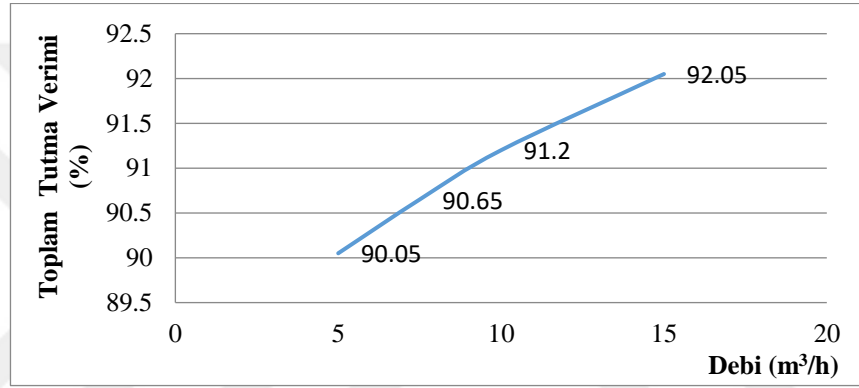
Şekil 4.72. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=50 mm, D<sub>2</sub>=10 mm)



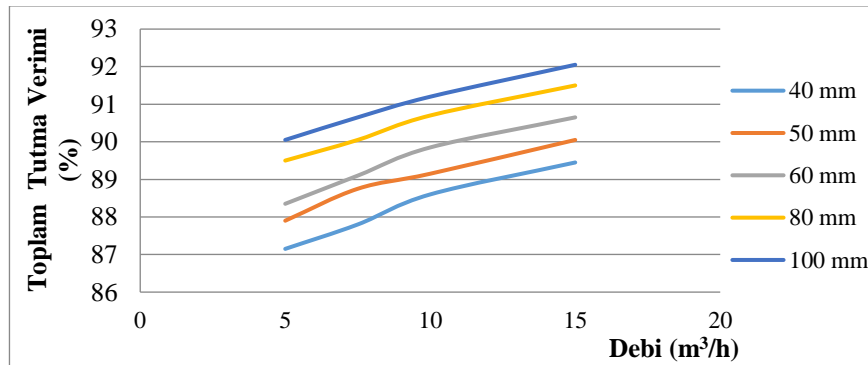
Şekil 4.73. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=60 mm, D<sub>2</sub>=10 mm)



Şekil 4.74. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=80 mm, D<sub>2</sub>=10 mm)

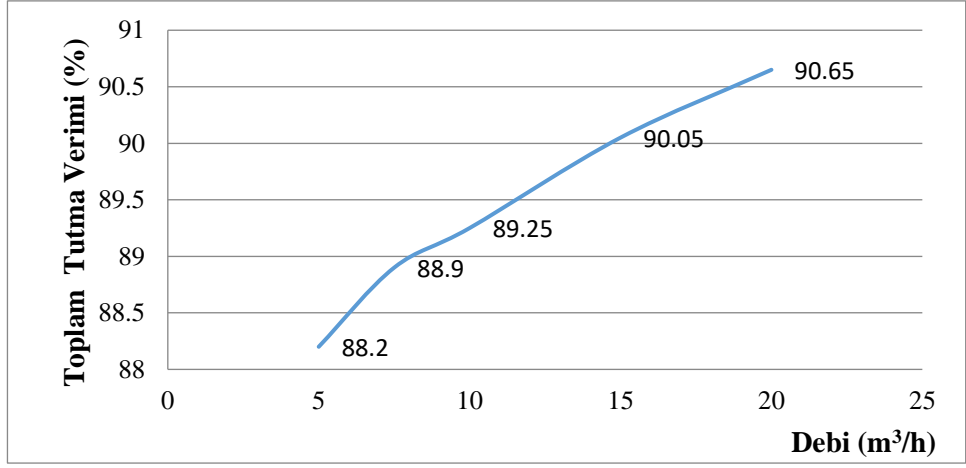


Şekil 4.75. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=100 mm, D<sub>2</sub>=10 mm)

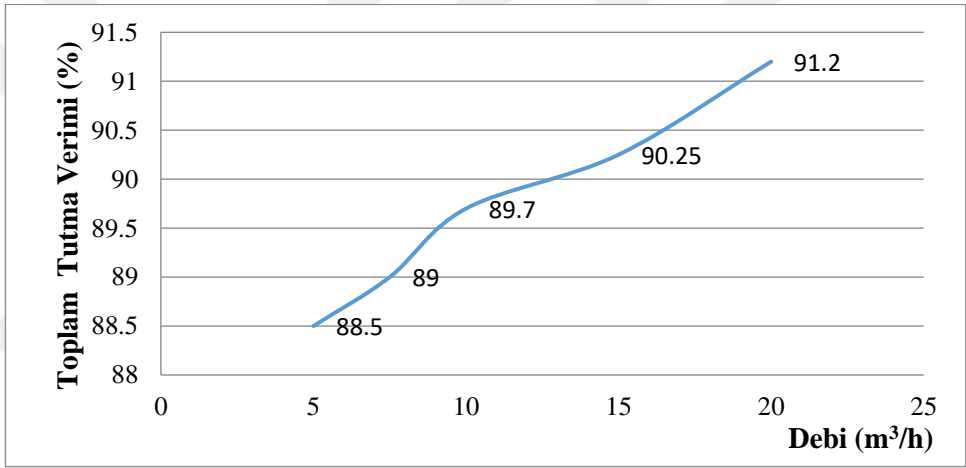


Şekil 4.76. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi ( D<sub>2</sub>=10 mm)

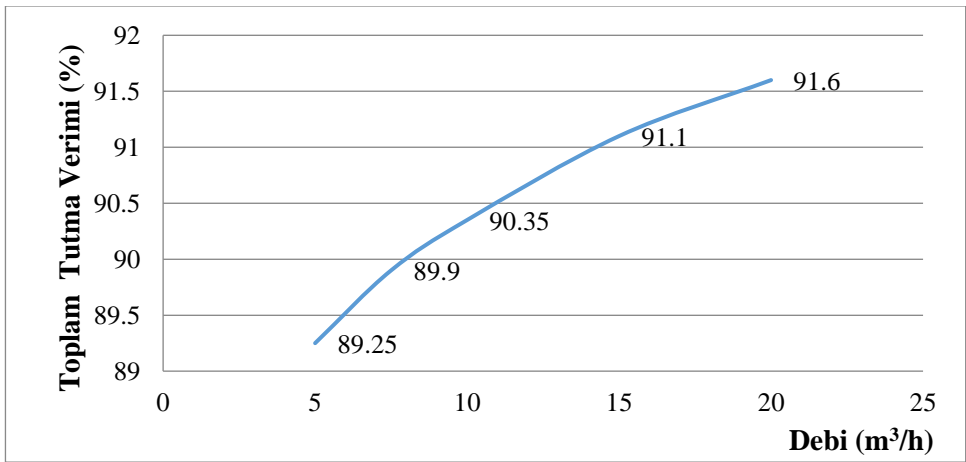
Çıkış boru çapı 10 mm için verilen toplam tutma verimi grafiklerinde debi arttıkça verimde artış görülmektedir (Şekil 4.71-Şekil 4.75). Ayrıca toplu olarak sanal gövde çaplarının verildiği Şekil 4.76'da sanal gövde çapının artışına bağlı olarak verimde artış olmaktadır.



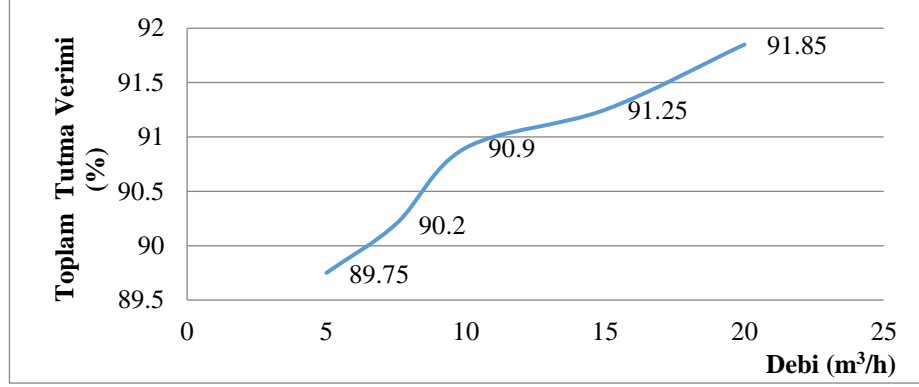
Şekil 4.77. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=40 mm, D<sub>2</sub>=15 mm)



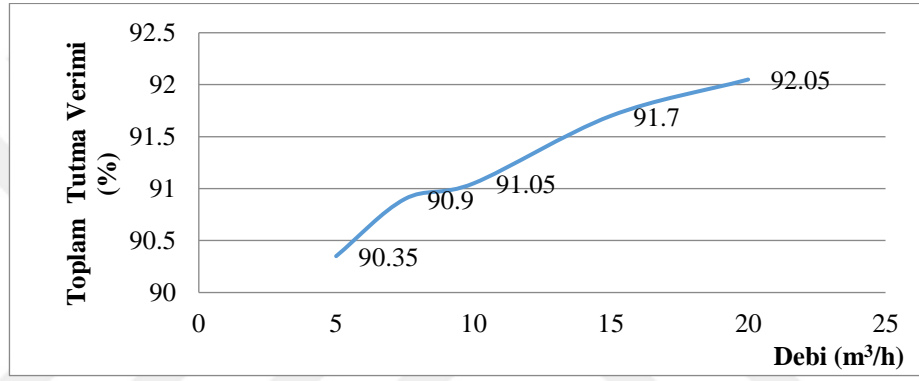
Şekil 4.78. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=50 mm, D<sub>2</sub>=15 mm)



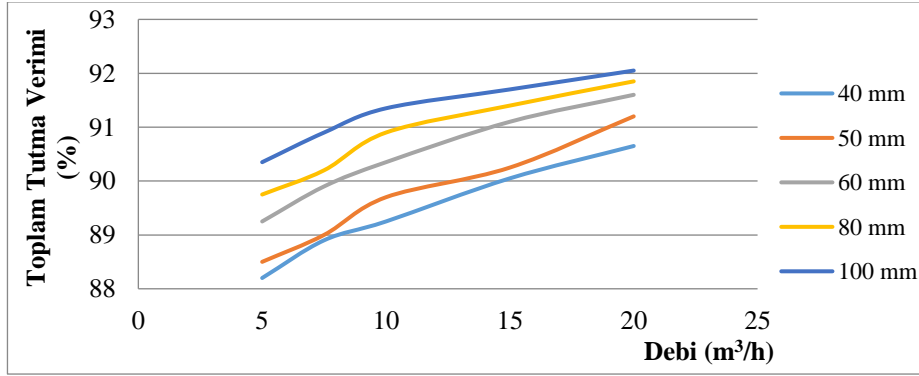
Şekil 4.79. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=60 mm, D<sub>2</sub>=15 mm)



Şekil 4.80. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=80 mm, D<sub>2</sub>=15 mm)



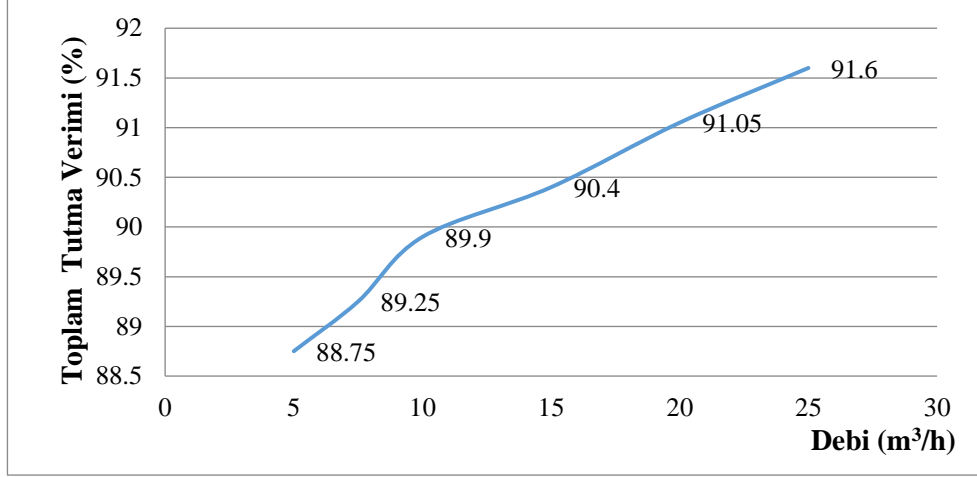
Şekil 4.81. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=100 mm, D<sub>2</sub>=15 mm)



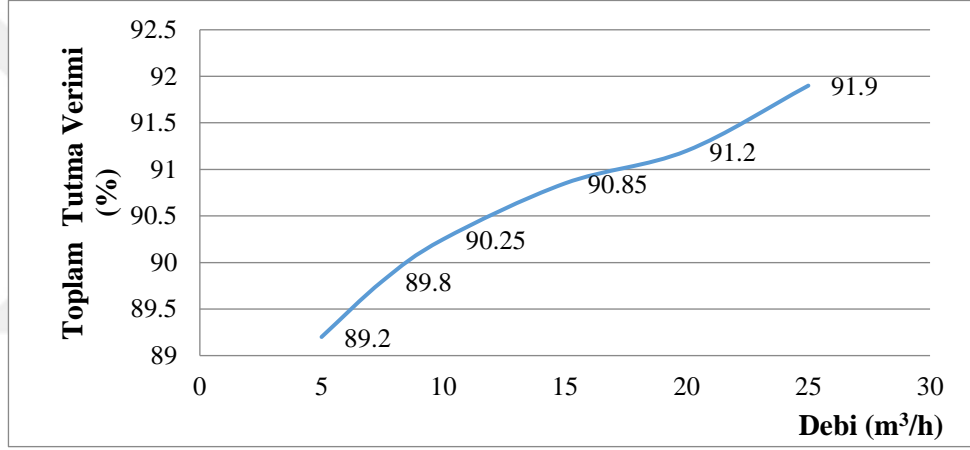
Şekil 4.82. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi ( D<sub>2</sub>=15 mm)

Çıkış boru çapı 15 mm için verilen toplam tutma verimi grafiklerinde debi arttıkça verimde artış görülmektedir (Şekil 4.77-Şekil 4.81). Ayrıca toplu olarak sanal gövde çaplarının verildiği Şekil 4.82’de sanal gövde çapının artışına bağlı olarak verimde artış olmuştur.

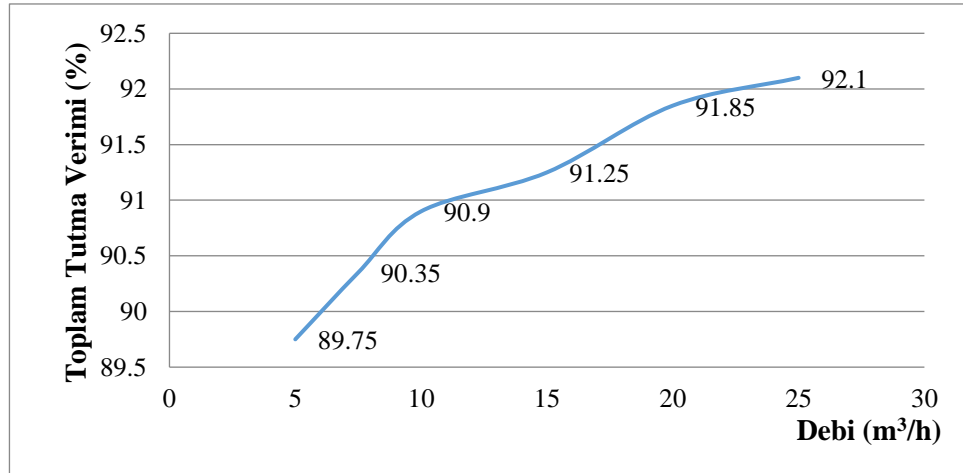




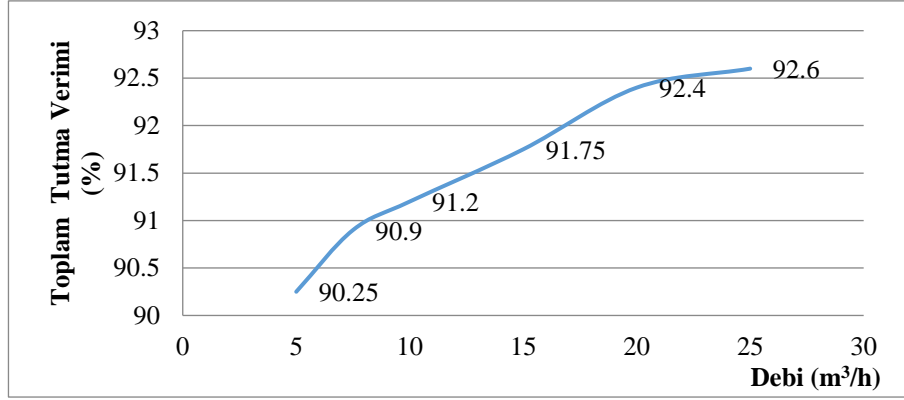
Şekil 4.83. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=40 mm, D<sub>2</sub>=20 mm)



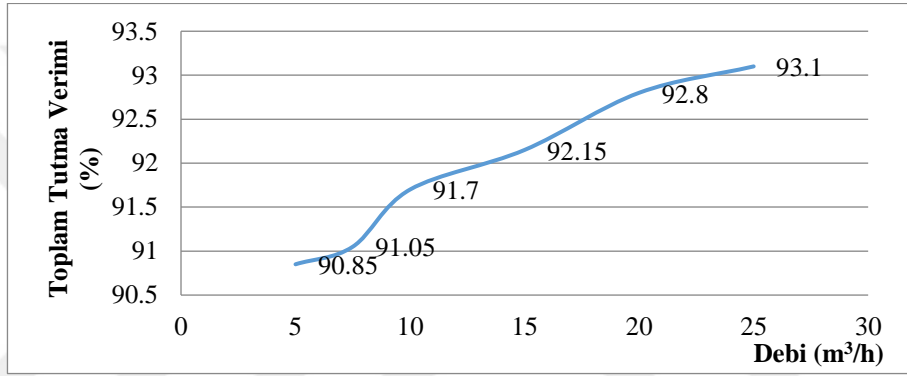
Şekil 4.84. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=50 mm, D<sub>2</sub>=20 mm)



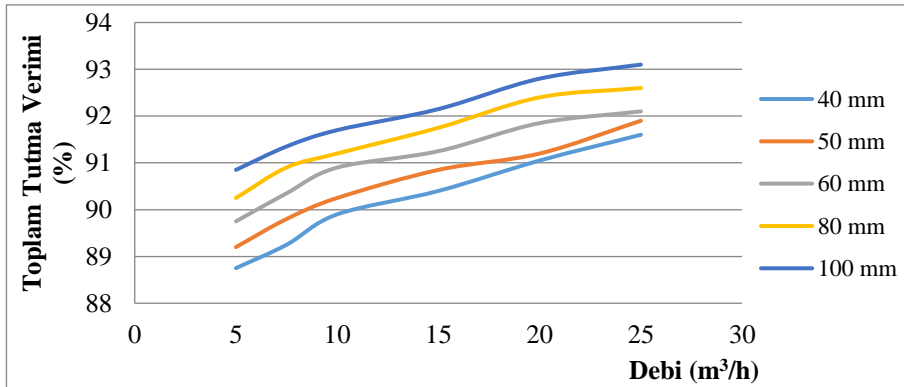
Şekil 4.85. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=60 mm, D<sub>2</sub>=20 mm)



Şekil 4.86. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=80 mm, D<sub>2</sub>=20 mm)

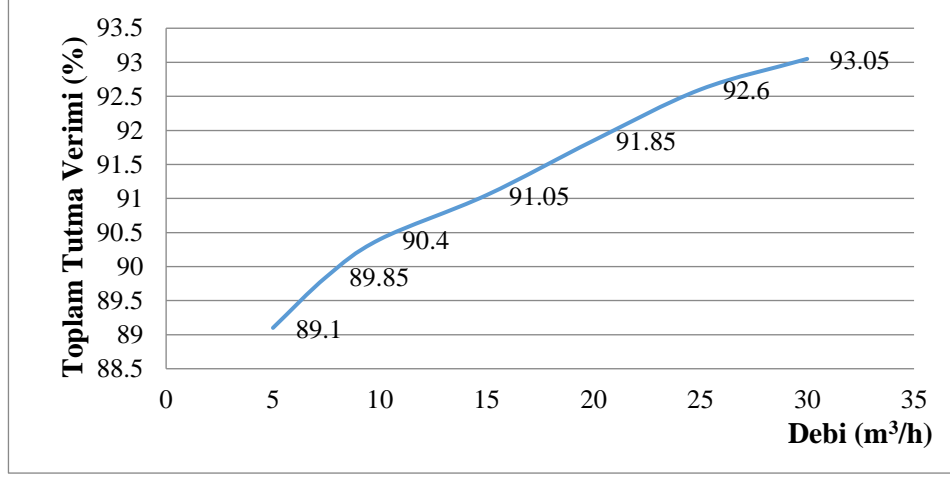


Şekil 4.87. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=100 mm, D<sub>2</sub>=20 mm)

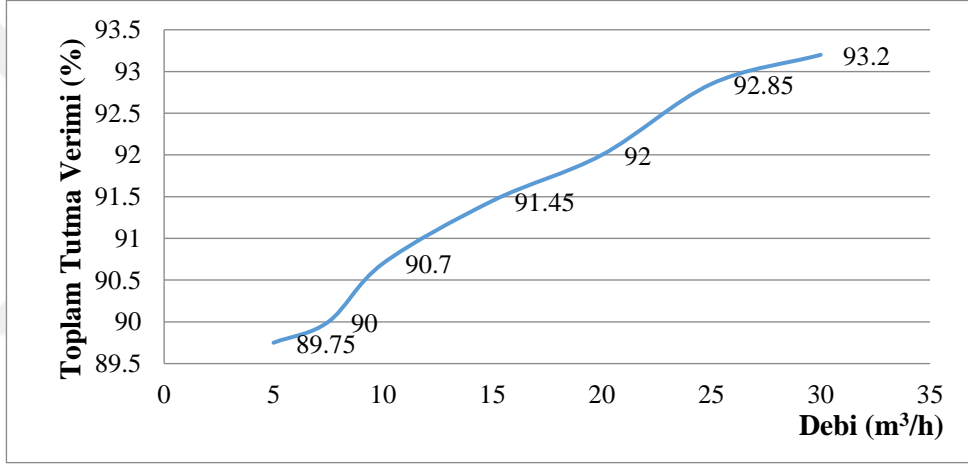


Şekil 4.88. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi ( D<sub>2</sub>=20 mm)

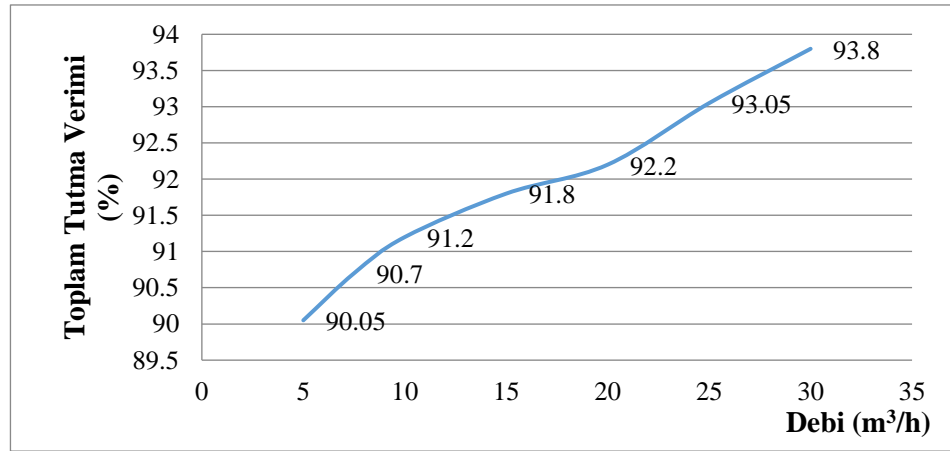
Çıkış boru çapı 20 mm için verilen toplam tutma verimi grafiklerinde debi arttıkça verimde artış görülmektedir (Şekil 4.83-Şekil 4.87). Ayrıca toplu olarak sanal gövde çaplarının verildiği Şekil 4.88’de sanal gövde çapının artışına bağlı olarak verimde artış olmuştur.



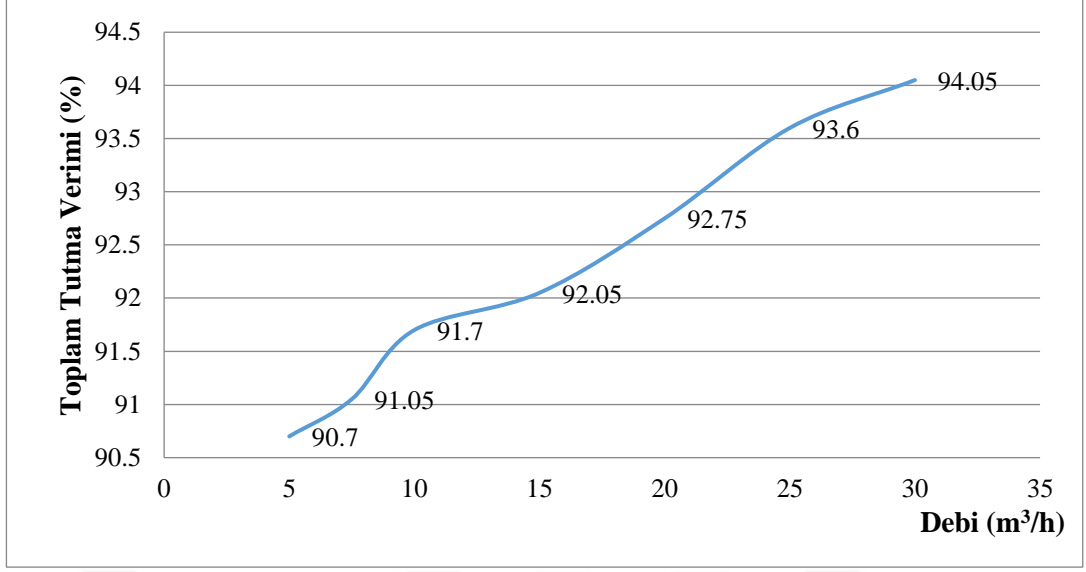
Şekil 4.89. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=40 mm, D<sub>2</sub>=25 mm)



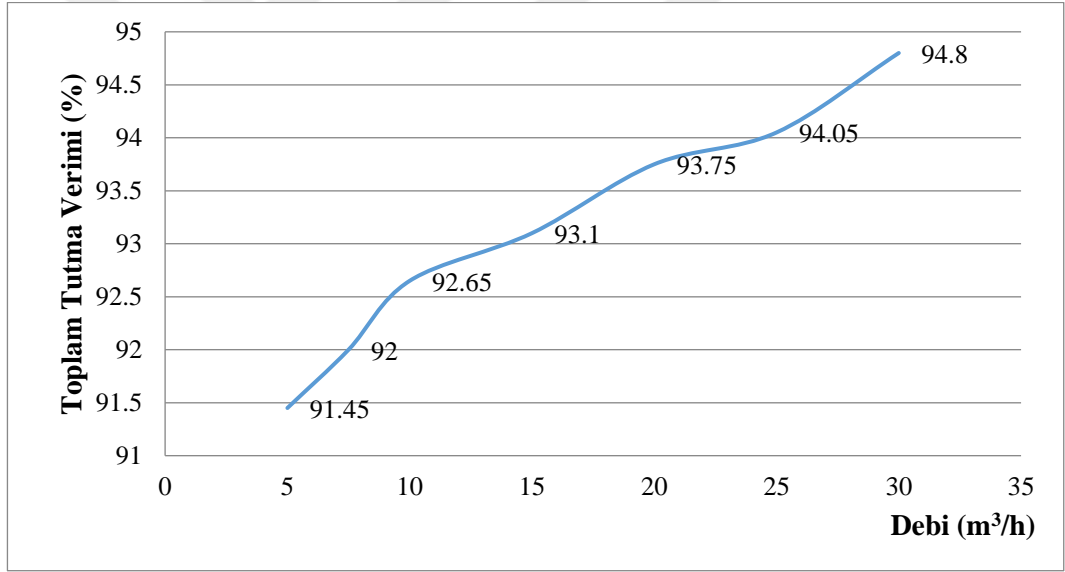
Şekil 4.90. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=50 mm, D<sub>2</sub>=25 mm)



Şekil 4.91. Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=60 mm, D<sub>2</sub>=25 mm)

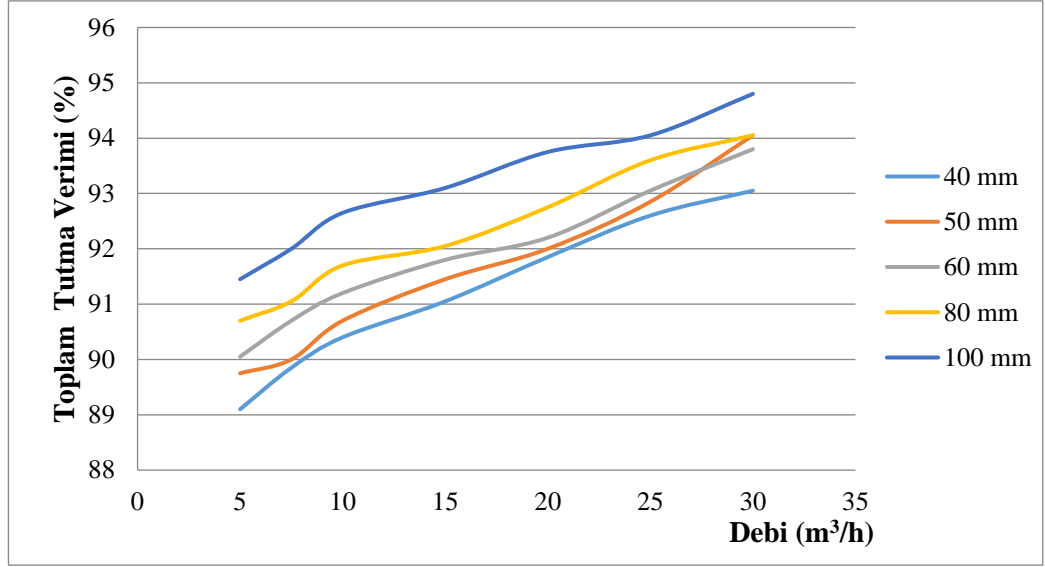


**Şekil 4.92.** Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=80 mm, D<sub>2</sub>=25 mm)



**Şekil 4.93.** Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (S=100 mm, D<sub>2</sub>=25 mm)

Çıkış boru çapı 25 mm için verilen toplam tutma verimi grafiklerinde debi arttıkça verimde artış görülmektedir (Şekil 4.89-Şekil 4.93). Ayrıca toplu olarak sanal gövde çaplarının verildiği Şekil 4.94'de sanal gövde çapının artışına bağlı olarak verimde artış olmuştur.



**Şekil 4.94.** Sanal gövde çapının toz tutma verimine etkisi (  $D_2=25$  mm)

Grafiklerde görüldüğü üzere sanal gövde çapının artışına paralel olarak tüm grafiklerde benzer eğilimler elde edilmiştir. Ayrıca verime en belirgin etkinin debinin artışına bağlı gerçekleştiği söylenebilir.

Fıçıcı (2006) siklon giriş hızının artışına bağlı olarak partiküller üzerine etki eden merkezkaç kuvveti ve girdap dönme sayısının artış göstermesinden dolayı tutma veriminde iyileşme olduğunu belirtmiştir.

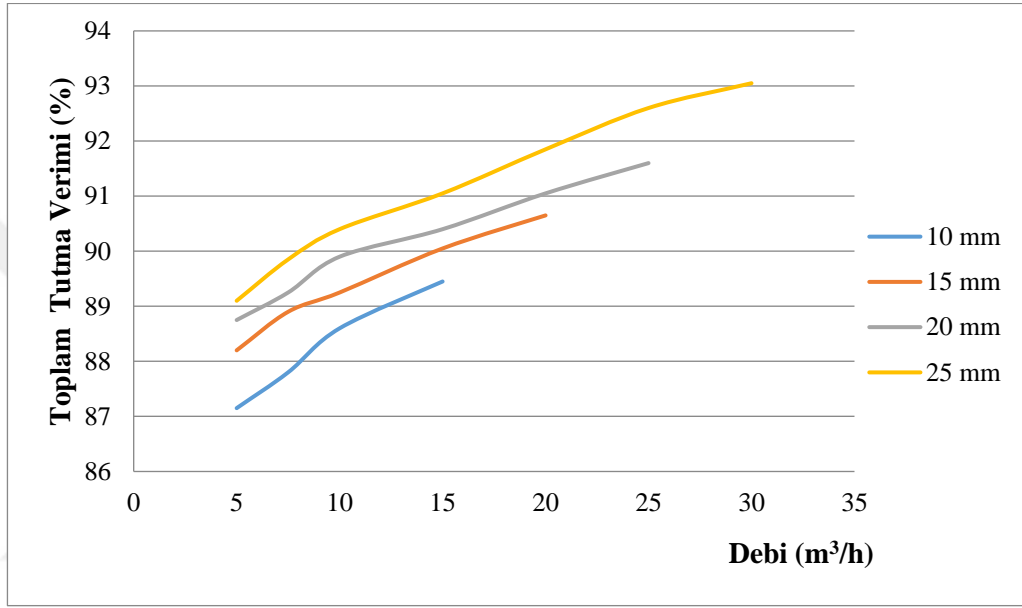
Okur (2011) verim eğrilerinde değişken eğriler elde ettiğini ve en verimli siklon gövde boyu olarak 790 mm siklon gövdesi olduğunu belirtmiştir. Ayrıca gövde çapının artmasının verime pozitif etki yarattığını söylemiştir.

Şendoğan (2012) üç farklı debide gerçekleştirdiği deneylerde debi artışına bağlı olarak verimde artış olduğunu söylemiştir.

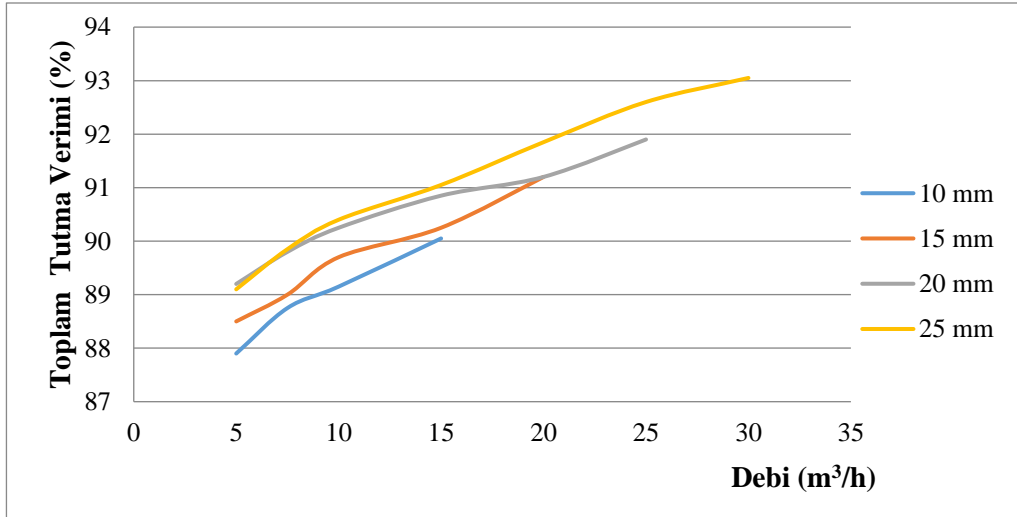
Erman (2017) iki farklı siklon ile yaptığı deneylerde toplama verimi değişimine en büyük etkinin debiden kaynaklandığını söylemiştir.

### Çıkış Boru Çapı Değişiminin Verime Etkisi:

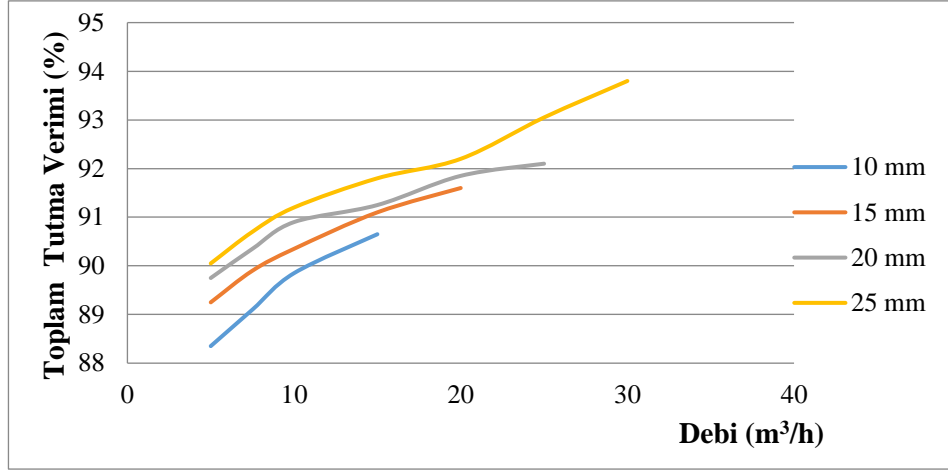
Farklı boru çaplarında ulaşılan maksimum debi farklı olduğundan dolayı boru çapının artışına bağlı olarak verimde artış gözlemlenmektedir. Ayrıca aynı debi değerleri birbiriyle kıyaslandığında da aynı eğilim görülmektedir. Tüm sanal gövde çapları için çizilen grafiklerde aynı durum ortaya çıkmıştır (Şekil 4.95-Şekil 4.99).



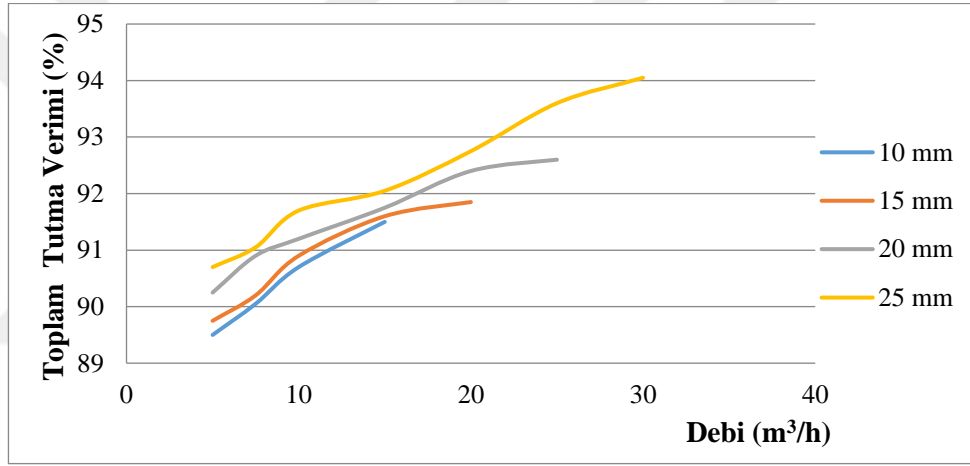
Şekil 4.95. Çıkış boru çapının toz tutma verimine etkisi ( S=40 mm)



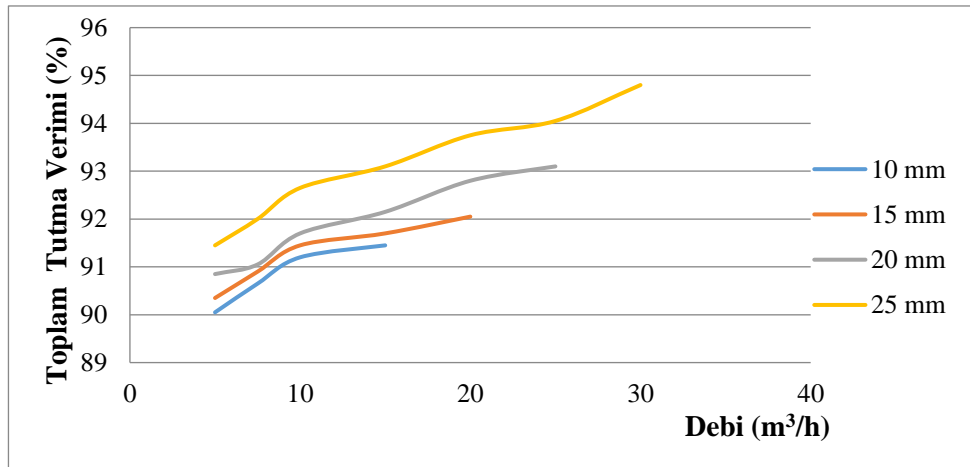
Şekil 4.96. Çıkış boru çapının toz tutma verimine etkisi ( S=50 mm)



Şekil 4.97. Çıkış boru çapının toz tutma verimine etkisi ( S=60 mm)



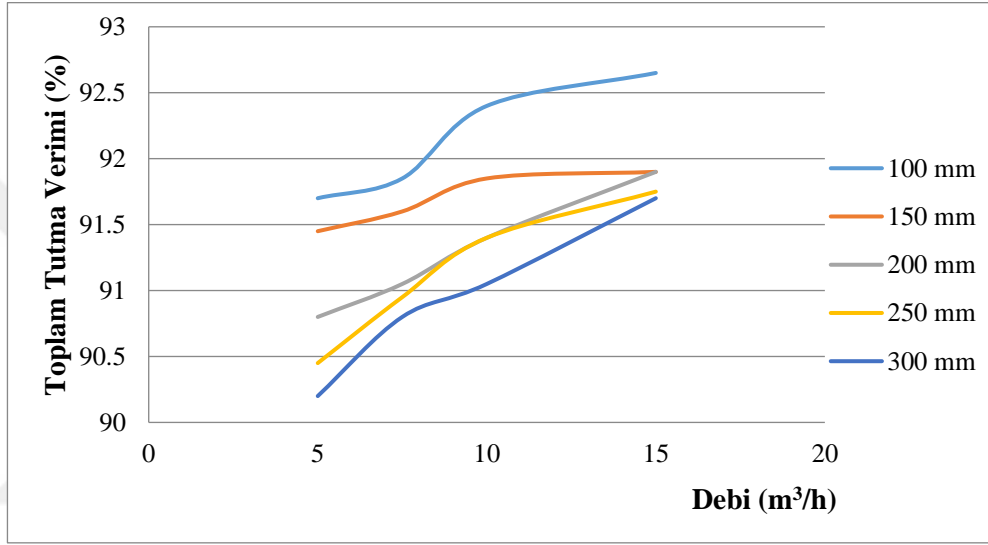
Şekil 4.98. Çıkış boru çapının toz tutma verimine etkisi ( S=80 mm)



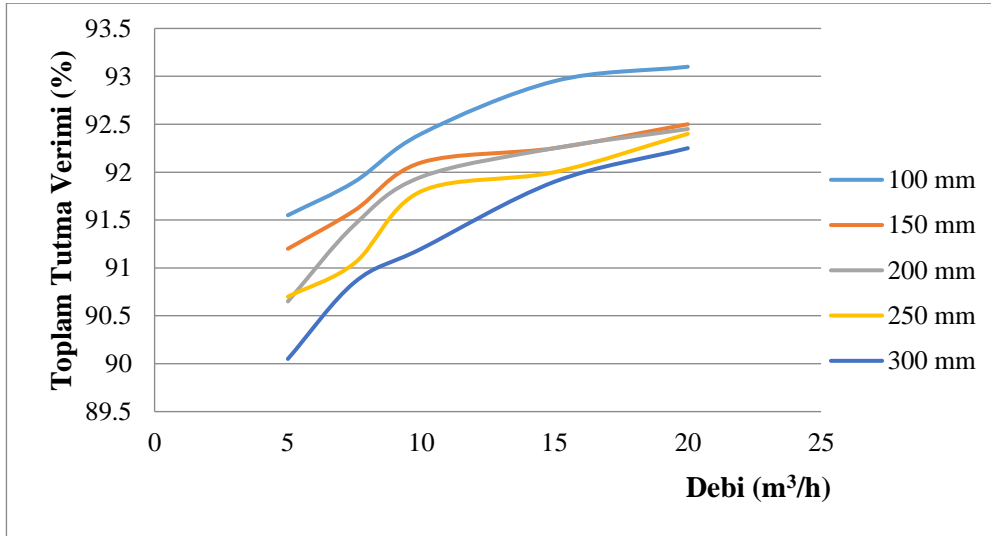
Şekil 4.99. Çıkış boru çapının toz tutma verimine etkisi ( S=100 mm)

### Siklon Gövde Boyu Değişiminin Verime Etkisi:

Siklon gövde boyunun azalmasına bağlı olarak verimde artış görülmektedir. Fakat bu artış % 0,4-1 arasında değişmekte olduğundan çok büyük bir etki olduğunu söylememiz doğru olmaz. Ayrıca çıkış boru çapı artmasına bağlı olarak verim değerlerinin birbirine daha fazla yaklaşma eğiliminde olduğu grafiklerde görülmektedir (Şekil 4.100-Şekil 4.103).

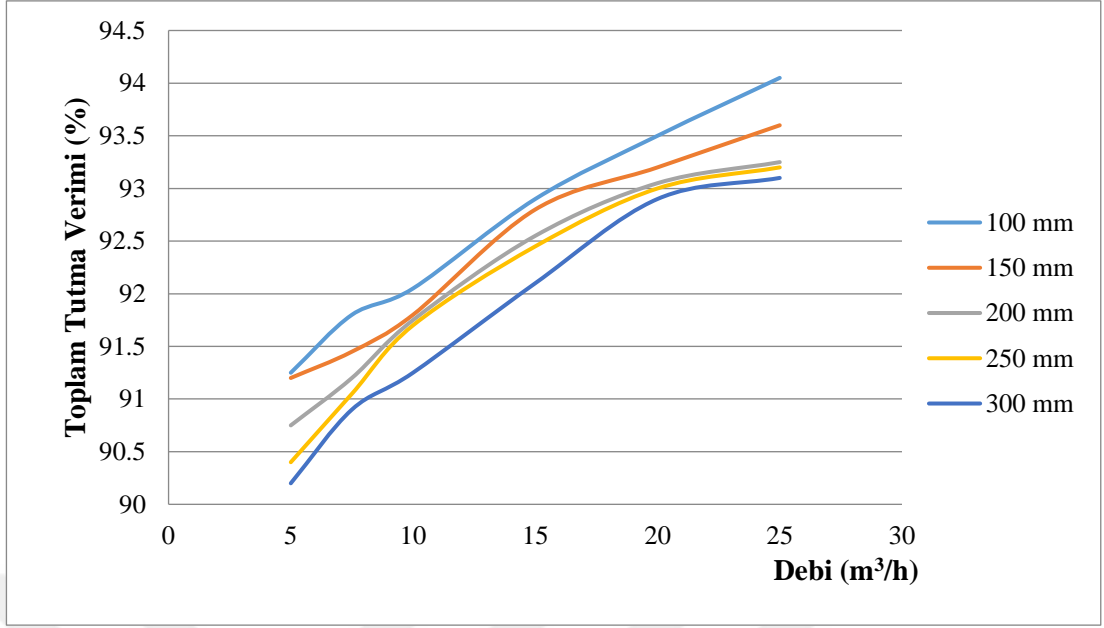


Şekil 4.100. Siklon gövde boyunun toz tutma verimine etkisi (  $D_2=10$  mm)

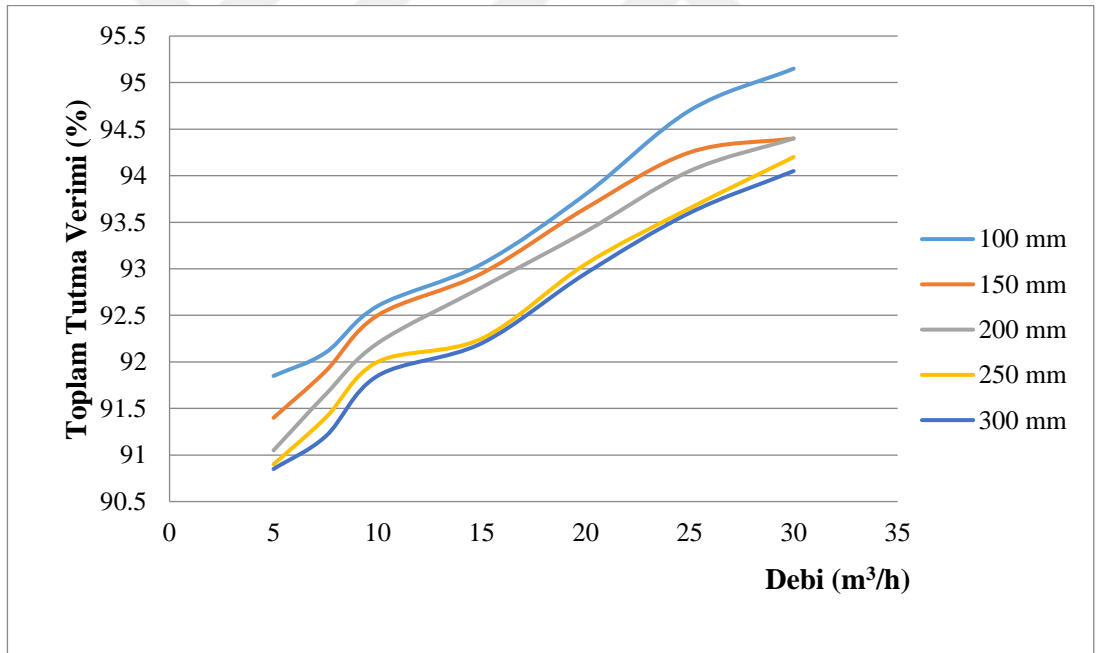


Şekil 4.101. Siklon gövde boyunun toz tutma verimine etkisi (  $D_2=15$  mm)





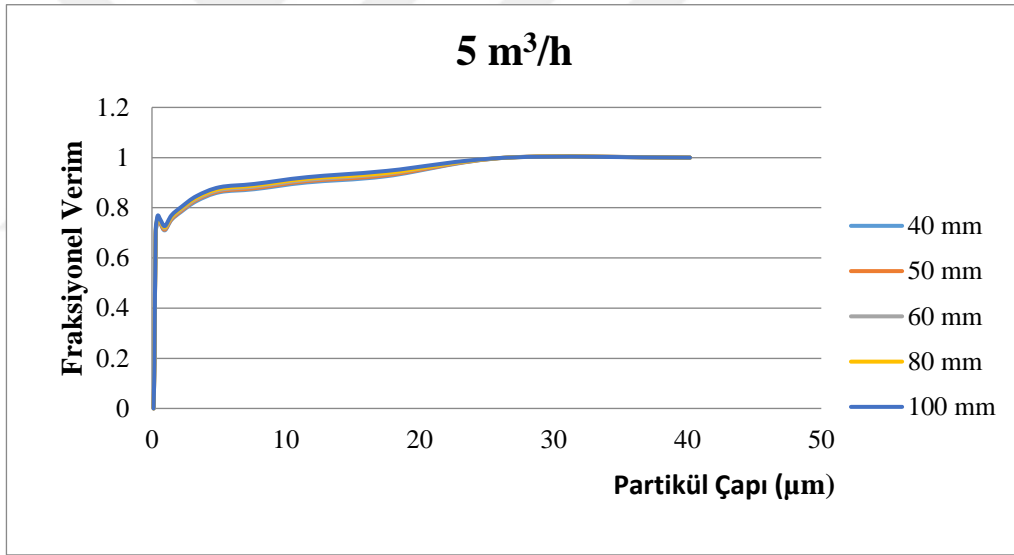
Şekil 4.102. Siklon gövde boyunun toz tutma verimine etkisi (  $D_2=20$  mm)



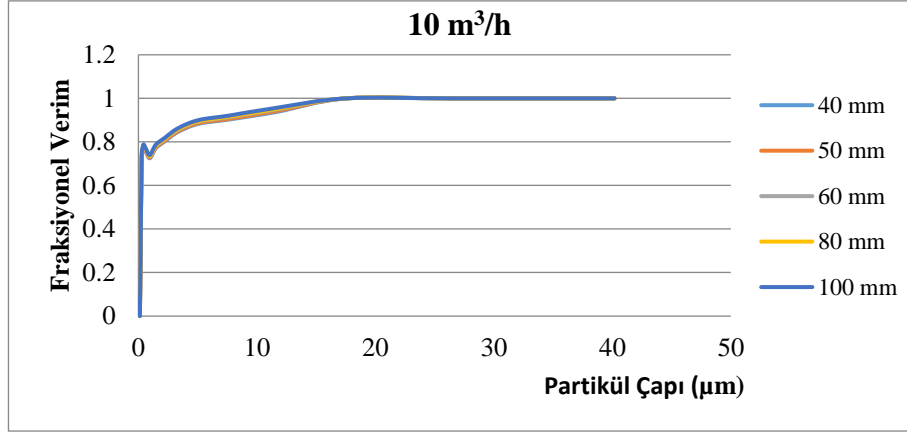
Şekil 4.103. Siklon gövde boyunun toz tutma verimine etkisi (  $D_2=25$  mm)

Fraksiyonel Verim:

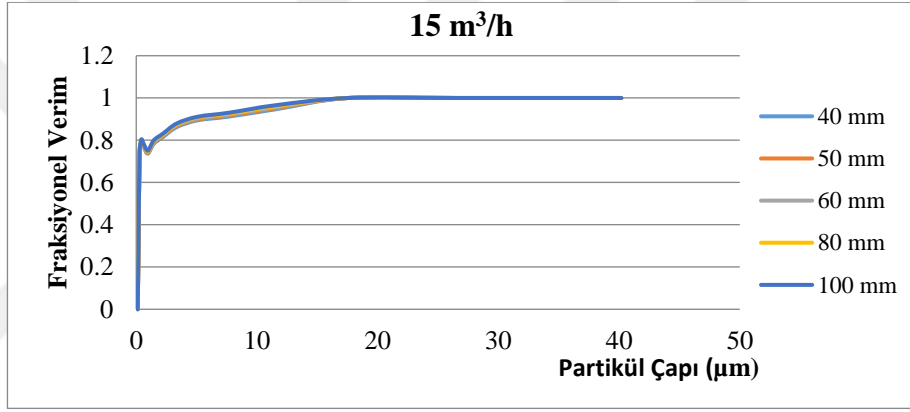
Deney sonucunda elde edilen toz numunelerinin her partikül boyutu için analizi yapılarak siklona giren toz miktarının detaylı analizi yapılabilir. Her debi değişiminde elde edilen tozlardan, tutulan en düşük toz boyutundan başlayarak her partikül boyutu için bulunan toplam tutma verimine göre o debideki siklonun ulaştığı fraksiyonel verim elde edilebilir. Elde edilen bu fraksiyonel verimlerden incelenen herhangi debide, hangi boyutta ne kadar toz tuttuğunu görmek mümkün olmaktadır. Çizilen bu fraksiyonel verim eğrilerinde fraksiyonel verim değeri belli bir partikül çapından sonra 1 e ulaşmaktadır. Bu durum siklon ayırıcıların büyük partikül boyutlarındaki tozları daha yüksek verimle tuttuğunu gösterir. Ek-2 kısmında 20  $\mu\text{m}$  boyutundaki deneyde kullanılan tozun numune analizi verilmiştir.



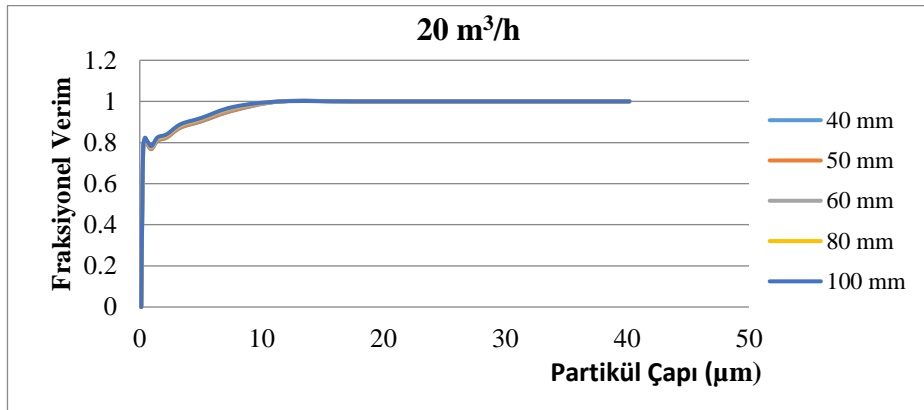
**Şekil 4.104.** Sanal gövde çapı değişimi için fraksiyonel verim eğrisi ( $Q=5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $D_2=25 \text{ mm}$ )



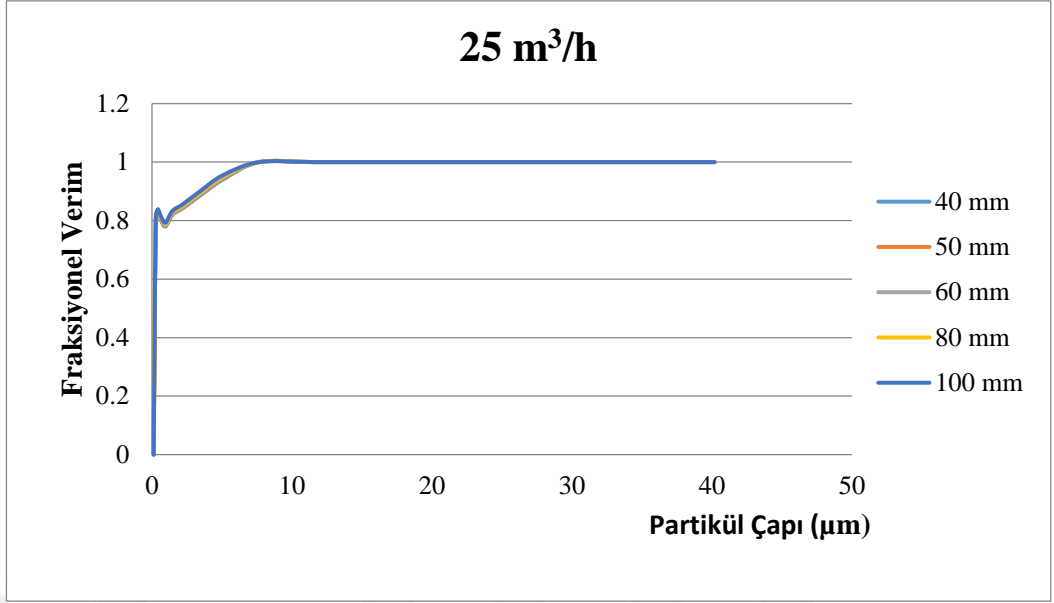
Şekil 4.105. Sanal gövde çapı değişimi için fraksiyonel verim eğrisi ( $Q=10 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $D_2=25 \text{ mm}$ )



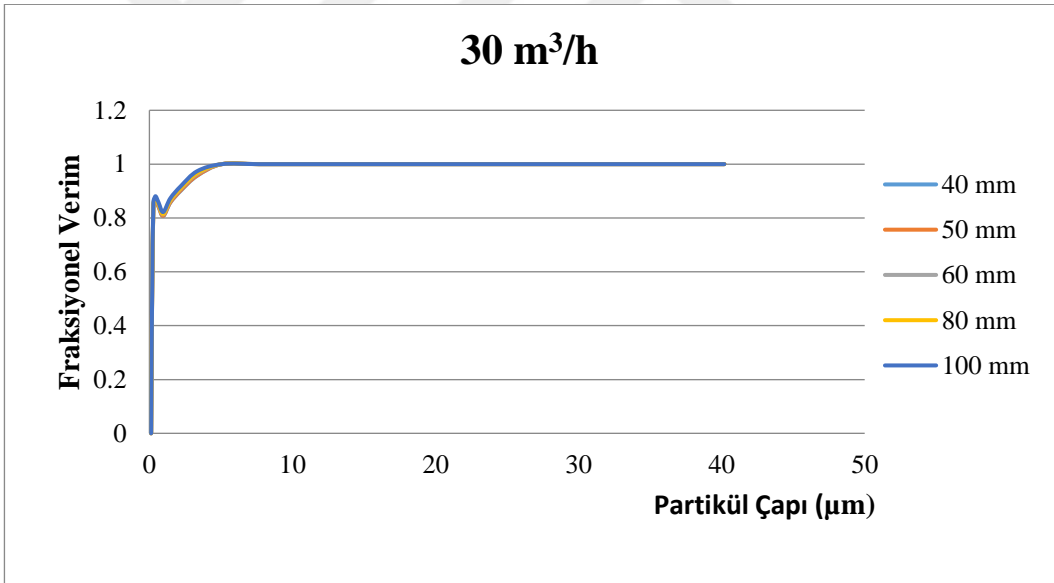
Şekil 4.106. Sanal gövde çapı değişimi için fraksiyonel verim eğrisi ( $Q=15 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $D_2=25 \text{ mm}$ )



Şekil 4.107. Sanal gövde çapı değişimi için fraksiyonel verim eğrisi ( $Q=20 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $D_2=25 \text{ mm}$ )



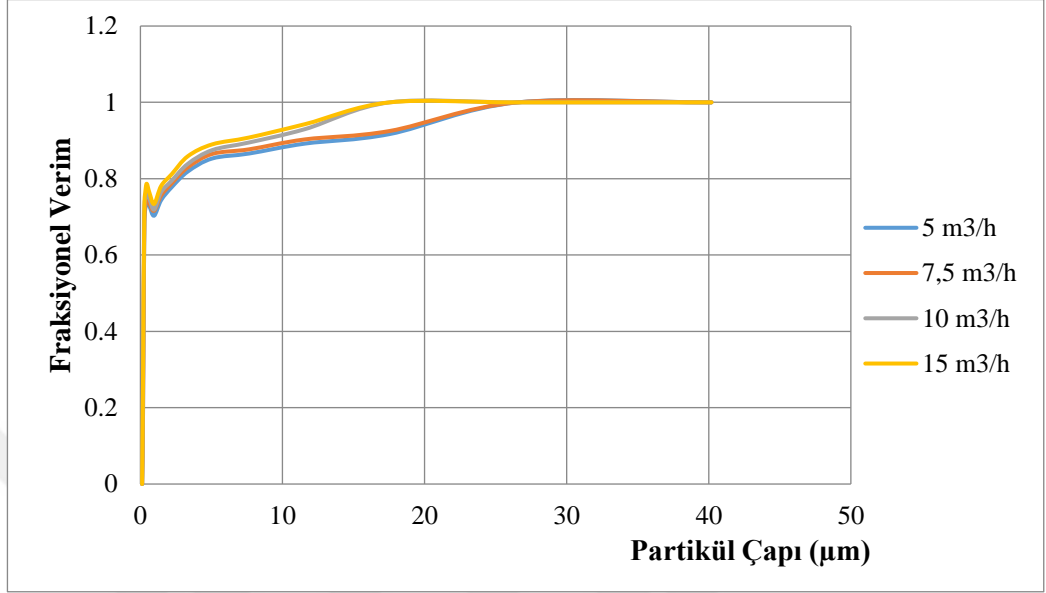
**Şekil 4.108.** Sanal gövde çapı değişimi için fraksiyonel verim eğrisi ( $Q=25 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $D_2=25 \text{ mm}$ )



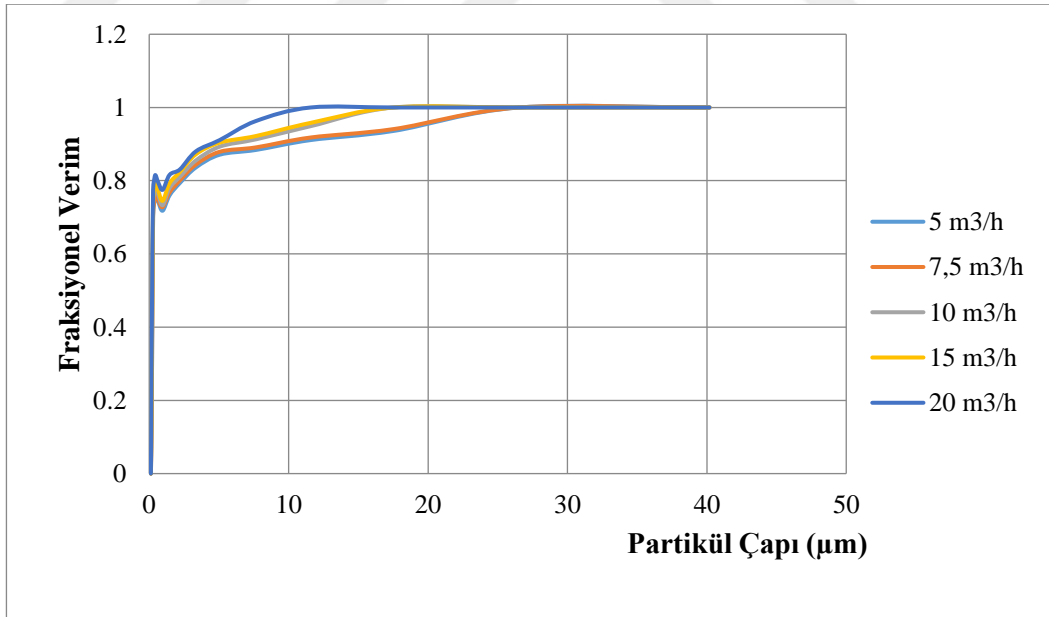
**Şekil 4.109.** Sanal gövde çapı değişimi için fraksiyonel verim eğrisi ( $Q=30 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $D_2=25 \text{ mm}$ )

Grafiklerde de görüleceği gibi belli mikron altındaki partiküllerde fraksiyonel verimde düşüş meydana gelmektedir. Fakat bu noktadan sonra belli bir değerde tekrar artışa geçmektedir. Gerçekleşen bu duruma literatürde Fish Hook etkisi denmektedir (Şekil 4.105-Şekil 4.109).

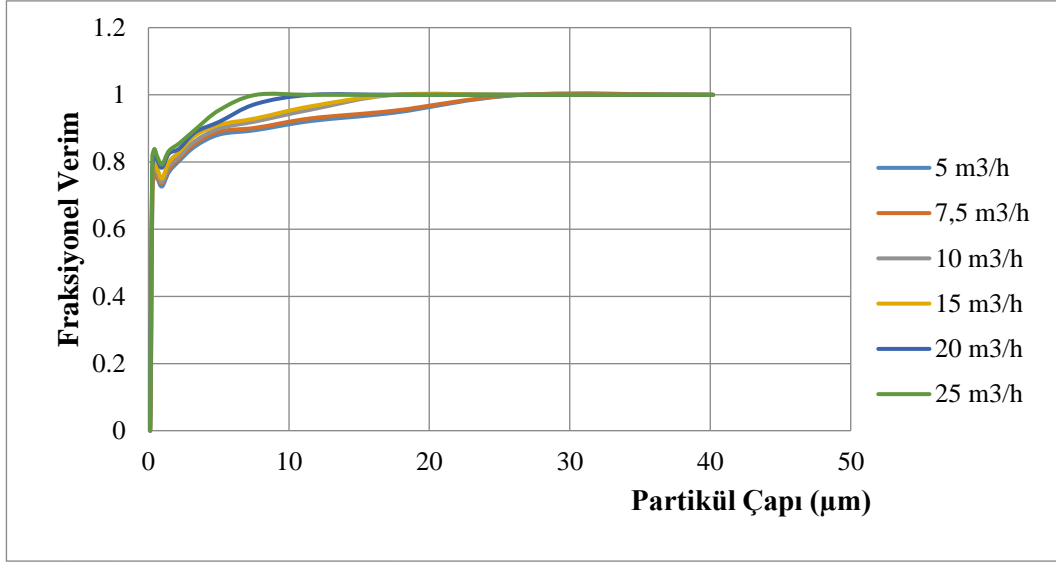
Tan (2016) yaptığı çalışmada benzer Fish Hook etkisini sonuçlarında gözlemlemiştir.



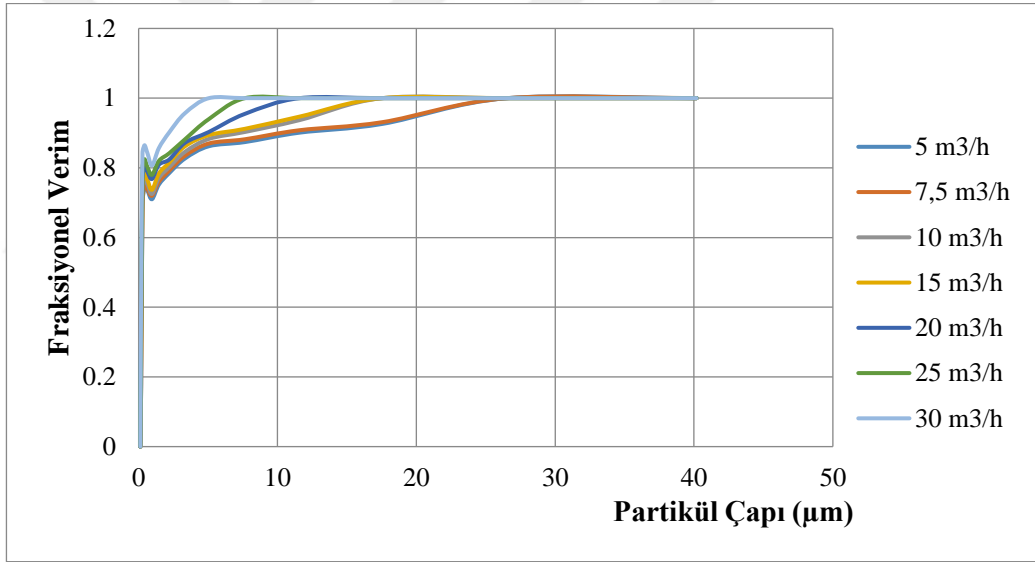
Şekil 4.110. Debi değişimi için fraksiyonel verim eğrisi ( $D_2=10$  mm)



Şekil 4.111. Debi değişimi için fraksiyonel verim eğrisi ( $D_2=15$  mm)



Şekil 4.112. Debi değişimi için fraksiyonel verim eğrisi ( $D_2=20$  mm)



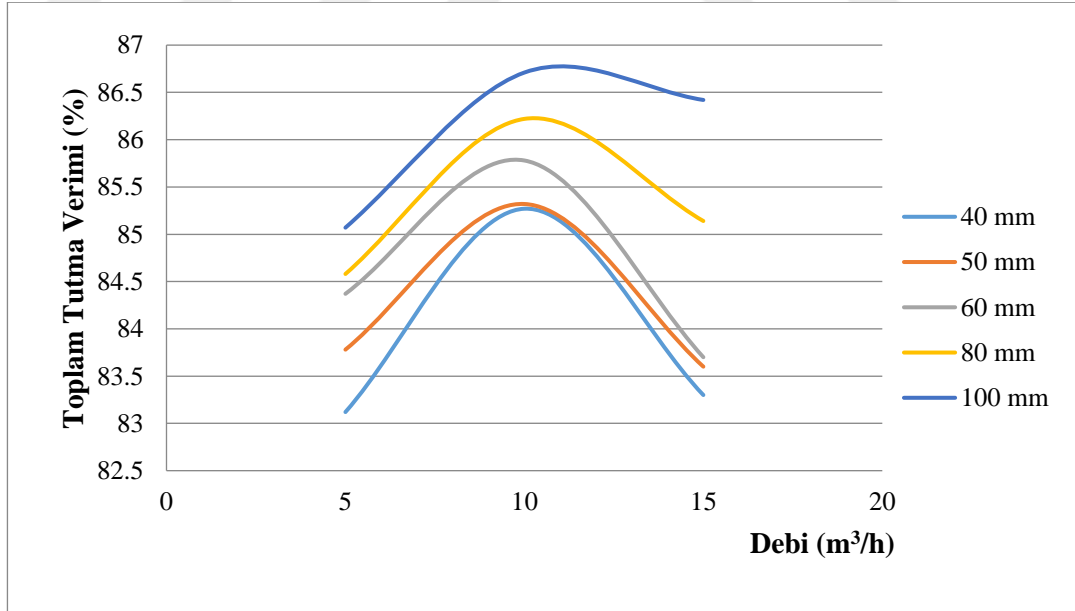
Şekil 4.113. Debi değişimi için fraksiyonel verim eğrisi ( $D_2=25$  mm)

Hız değerlerinin kıyaslandığı fraksiyonel verim eğrilerinde ise fraksiyonel verim değerinin 1'e ulaşması debi artışıyla daha küçük partikül çaplarında olmuştur (Şekil 4.100-Şekil 4.113). Yüksek debilere çıkıldıkça partikül tutma veriminin daha çok olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Bunun sebebi olarak daha önceden belirttiğimiz debi artışına paralel olarak artan santrifüj kuvvetler, siklon giriş hızı yükseldikçe daha büyük partikülleri siklon cidarına savurabilmektedir.

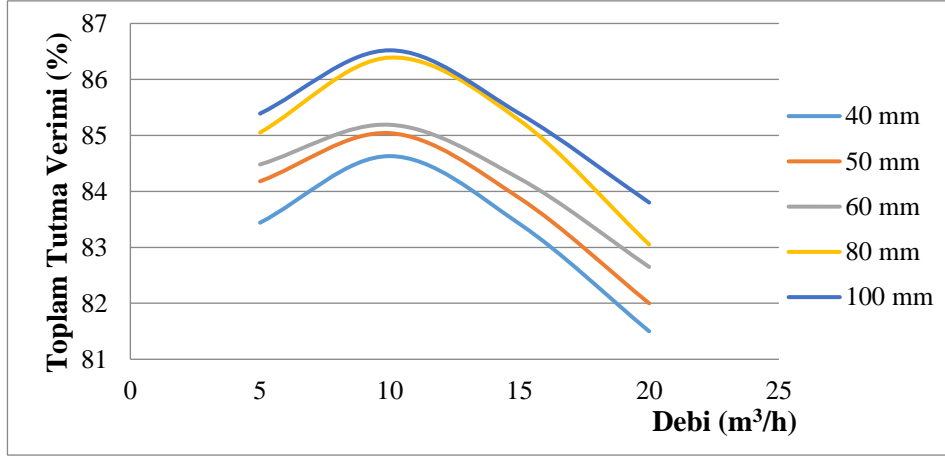
#### 4.3.2. 8 µm ortalama partikül boyutuna sahip toz için verim sonuçları

Ek-1 de partikül boyut analizi verilen toz içinde % 9,56 oranında 0-1 µm aralığında toz bulunmaktadır. Bu toz boyutunda yapılan deneylerde debinin artışına bağlı olarak belli bir debiye kadar verimde artma, daha sonra azalma görülmektedir. 20 µm toz ile yapılan deneylerde ve literatürde yapılan çalışmalarda böyle bir durum olmamasından dolayı bunun 0-1 µm aralığındaki tozların % 10'a yakın yer kaplaması olduğu düşünülmektedir. Yüksek hızlarda siklon toz toplama kapağında biriken düşük partikül boyutuna ait tozların, deney süresince tekrar iç girdaba yakalanarak siklon bacasından dışarı atıldığı düşünülmektedir.

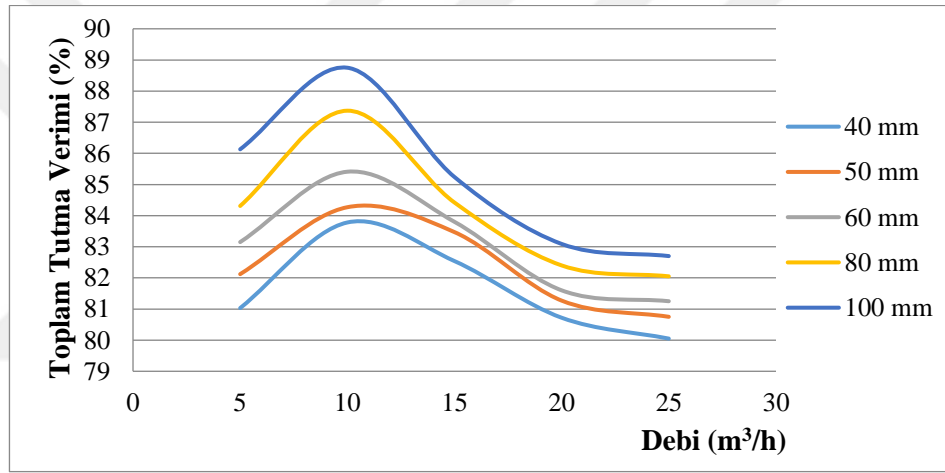
Bu sebepten bu partikül boyutuna sahip tozların çok yer kaplaması sebebiyle yüksek hızlarda verimde azalma olduğu yorumu yapılabilir. Buna rağmen sanal gövde çapı artışına bağlı olarak verimde artış gözlemlenmektedir. Bu durumda 20 µm partikül boyutuna sahip toz ile yapılan deneylerin sonuçlarıyla paralel niteliktedir (Şekil 4.114-Şekil 4.117).



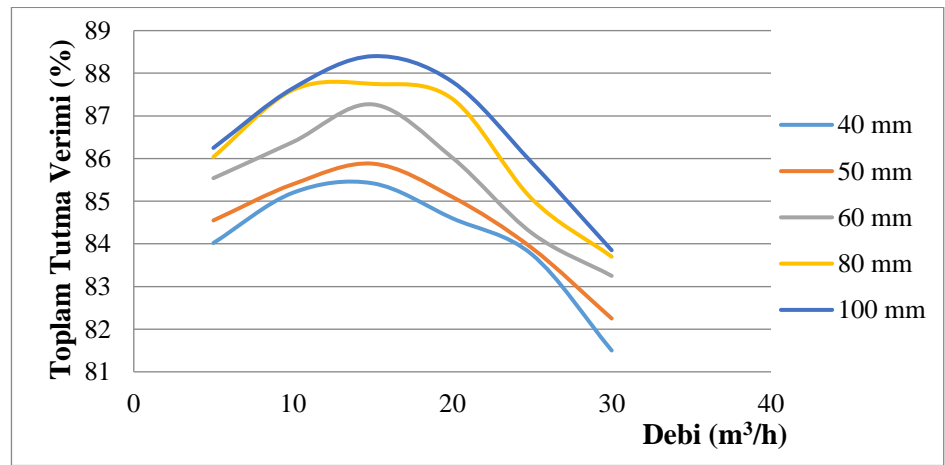
Şekil 4.114. 8 µm partikül boyutuna sahip toz için toplam tutma verimi ( D<sub>2</sub>=10 mm)



Şekil 4.115. 8 µm partikül boyutuna sahip toz için toplam tutma verimi ( D<sub>2</sub>=15 mm)



Şekil 4.116. 8 µm partikül boyutuna sahip toz için toplam tutma verimi ( D<sub>2</sub>=20 mm)



Şekil 4.117. 8 µm partikül boyutuna sahip toz için toplam tutma verimi ( D<sub>2</sub>=25 mm)



## 5. SONUÇ

Bu çalışmada teğetsel girişli sanal gövdeli bir siklon ayırıcının performansı, gövde çapı değişiklikleri temel değişken geometri olacak şekilde incelenmiştir. Basınç kaybı ve siklon ayırıştırma veriminin siklonda değiştirilen geometrilerle nasıl değiştiği araştırılmıştır. Sanal gövde çapı değişimi dışında siklon boyu, çıkış borusu çapı, giriş hızı ve çıkış borusu dalma yüksekliği de değiştirilerek bu değişkenlerin ne şekilde performansa etki ettiği deneysel çalışmalar neticesinde elde edilmiştir. Bu çalışmaların sonuçları analiz edilerek karşılaştırmalı olarak parametrelerin performansa etkisi bulunmuştur.

Sanal gövde çapı değişiminin, kullanılan dört çıkış boru çapı içinde gövde çapının azalmasına bağlı olarak basınç kayıplarının arttığı görülmüştür. Ayrıca çıkış boru çapının artışına bağlı olarak gövde çapları için basınç kayıp değerlerinin birbirine yaklaştığı söylenebilir. Bunlara paralel olarak sanal gövde çapı azaldıkça basınç kaybını boyutsuz olarak veren K değerinin arttığı görülmektedir.

Çıkış boru çapının azalmasına bağlı olarak giriş hızının ulaştığı maksimum değerde azalma gözlemlenmektedir. Ulaşılan maksimum debiler farklı olmasına rağmen aynı debiler için inceleme yapıldığında çıkış boru çapı küçüldükçe basınç kayıplarında artış görülmektedir.

8 farklı çıkış borusu yüksekliği seçilmiştir. Çıkış borusu yüksekliğinin belli bir yüksekliğe kadar basınç kayıplarında artış eğiliminde olduğu fakat çıkılan bu noktadan sonra bu eğilimin azalma yönünde olduğu gözlemlenmiştir.

Siklon gövde uzunluğunu değiştirmenin basınç kaybı üzerinde gözle görülür ciddi bir etkisi olduğu söylenemez. Buna karşılık gövde boyunun azalması neticesinde basınç kaybında azalma görülmüştür.

Basınç kaybını etkileyen en önemli parametrenin çıkış boru çapı olduğu tespit edilmiştir. Çıkış boru çapı azaldıkça basınç kaybı ve buna bağlı olarak K katsayısında artış olmuştur.

Havadaki toz partiküllerinin tutma veriminin incelendiği deneylerde 5 m<sup>3</sup>/h debi hariç diğer debilerde sanal gövde çapının artmasına bağlı olarak verimde artma gözlemlenmiştir.

8 µm ve 20 µm partikül boyutuna sahip kalsit tozuyla yapılan deneylerde sanal gövde çapı arttıkça siklon ayırma veriminde artış olmuştur. Dört çıkış borusu içinde yapılan deneylerde benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Siklon gövde boyunun azalmasına bağlı olarak verimde artış görülmektedir. Fakat bu artış % 0,4-1 arasında değişmekte olduğundan çok büyük bir etki olduğu söylenemez. Ayrıca çıkış boru çapı artmasına bağlı olarak verim değerlerinin birbirine daha fazla yaklaşma eğiliminde olduğu görülmüştür.

Belli mikron altındaki partiküllerde fraksiyonel verimde düşüşün meydana geldiği fakat bu noktadan sonra belli bir değerde tekrar artışa geçmektedir. Bu durum Fish Hook etkisi olarak açıklanabilir.

Fraksiyonel verimler hız veya debi arttıkça daha küçük parçacık çaplarında %100 verime ulaşmaktadır. Debi arttıkça toplam verim ve en küçük parçacık çapı için ayırma verimi de artmaktadır. Fish-Hook etkisinden dolayı genellikle fraksiyonel verimlerde kritik parçacık çapı gözlenmemektedir. Çünkü bütün verimler % 50 üzerinde görünmektedir.

## KAYNAKLAR

**Avci, A. and I. Karagoz. 2000.** A Mathematical Model for the Determination of A Cyclone Performance. *Int. Comm. in Heat and Mass Transfer*, 27(2): 263-272.

**Avci A., Karagoz I. 2001.** Theoretical investigation of pressure losses in cyclone separators. *Int. comm. heat and mass transfer*, 28(1): 107-117.

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

**Barth, W. 1956.** Design and layout of the cyclone separator on the basis of new investigations. *Brennstoff-Warme-Kraft*, Vol. 8, No. 4, 1956, 1-9

**Bohnet, M., Morweiser, M. 1997.** Modern Design of Aerocyclones. *Advanced Powder Technology*, Vol:8, pp.137-161.

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

**Chan, T., Lippman M. 1977.** Particle collection efficiencies of air sampling cyclones an ampirical theory. *Environmental Science & Technology*.11, 377-382.

**Çalışkan, M.E. 2017.** Sanal Gövdeli Mini Bir Siklon Ayırıcının Tasarlanması ve Deneysel İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Bursa

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

**Dirgo, J., Leith, D. 1985.** Cyclone Collection Efficiency: Comparison of Experimental Results with Theoretical Predictions. *Aerosol Sci.Tecnol.*, 4: 401-411.

**Dietz, P. W. 1981.** Collection efficiency of cyclone separators. *American Institute of Chemical Engineers Journal*, 27, 888-892.

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

**Elsayed, K., Lacor. C. 2013.** CFD modeling and multi-objective optimization of cyclone geometry using desirability function, artificial neural networks and genetic algorithms. *Applied Mathematical Modelling*, 37,5680–5704.

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

**Erol, H.İ. 2016.** Siklon Çıkış Boru Çapının Siklon Verimliliğine Etkisinin Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara

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

**Fıçıcı, F. 2006.** Siklonlarda Dalma Borusu Çap Değişiminin Akış Parametrelerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya

**Funk, P. A. 2015.** Reducing cyclone pressure drop with evasés. *Powder technology*, 272, 276-281.

**F. Tan, I. Karagoz, A. Avci. 2016.** Effects of Geometrical Parameters on the Pressure Drop for a Modified Cyclone Separator” *Chemical Engineering Communications* 39:3 576–581.

**Griffiths, W.D., Boysan, F. 1996.** Computational fluid Dynamics and empirical modeling of the performance of a number of cyclone samplers. *Aerosol Science and Technology*, 27, 281-304.

**IoZIA, D.L., Leith, D. 1990.** The logistic function and cyclone fractional efficiency. *Aerosol Science and Technology*, 12, 598-606.

**Ji, Z., Xiong, Z., Wu, X., Chen, H., Wu, H. 2009.** Experimental investigations on a cyclone separator performance at an extremely low particle concentration. *Powder Technology*, 191(3), 254-259.

**Karagoz I, Avci A. 2005.** Modelling of the pressure drop in tangential inlet cyclone separators. *Aerosol Science and Technology*, 39 (9): 857-865.

**Karagoz, I., Avci, A., Surmen, A., Sendogan O. 2013.** Design and performance evaluation of a new cyclone separator. *Journal of Aerosol Science*, 59, 57-64.

**Kaya, F., Karagöz, I. 2008.** Performance analysis of numerical schemes in highly swirling turbulent flows in cyclones. *Current Science*, 94(10), 1273-1278.

**Kaya F., Karagoz I. 2009.** Numerical investigation of performance characteristics of a cyclone prolonged with a dipleg. *Chemical Engineering Journal*, 151, 39-45.

**Kıvanç, A. 2006.** Siklonlarda Dip Çıkış Çapının Akış Parametrelerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya

**Kilmer, V. J., Alexander, L. T. 1949.** Methods of making mechanical analyses of soils. *Soil Science*, 68(1), 15-24.

- Kütükçeken, E. 2001.** Teğetsel Girişli-Eksenel Çıkışlı Siklon Dizaynı. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Koch, W.H., Licht W. 1997.** New design approach boosts cyclone efficiency. *Chem.Eng.*, 7:80.
- Lapple, C. E. 1951.** Processes use many collector types. *Chem. Engineering*. 58: 144-151.
- 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.
- Liden, G., Gudmundsson, A. 1997.** Semi-empirical modeling to generalise the dependence of cyclone collection efficiency on operating conditions and cyclone design. *Aerosol Science and Technology*, 28, 853-874.
- Mothes, H., Löffler, F. 1988.** Prediction of particle removal in cyclone separators. *International Journal of Chemical Engineering*, 28, 231–240.
- Okur, T. 2011.** Siklon Filtrelerde Verim-Basınç Kaybı ve Yükseklik Arasındaki İlişkinin Deneysel Olarak Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Bursa
- Oshitari, T., Yamamoto, K. Fukui, K., Yoshida, H. 2017.** Classification characteristics of a cyclone type classifier with improved collection boxes for separating particles near the wall surface. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 50(7):492-500.
- Ramachandran, G., Raynor, P.C., Leith, D. 1995.** Collection efficiency and pressure drop for a rotary flow cyclone. *Filtration Seperation*, pp: 631-636.
- Shepherd, C. B., Lapple, C. E. 1939.** Flow pattern and pressure drop in cyclone dust collectors. *Industrial & Engineering Chemistry*, 31(8), 972-984.
- Stairmand, C. J. 1951.** The design and performance of cyclone separators. *Trans. Instn.Chem. Engrs.*, 29, 356-383, 1951.
- Şendoğan, Ö. 2012.** Yüksek Verimli Siklon Tasarımı ve Performansının Deneysel İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Bursa
- Ta-Chih Hsiao, Da-RenChena, Sang Young Son. 2009.** Development of mini cyclones as the size-selective inlet of miniature particle detectors. *Aerosol Science*, 40:481 – 491.
- Xiang, R., Park S.H., Lee K.W. 2001.** Effects of Cone Dimension on Cyclone Performance, *J. Aerosol Sci.* , 32: 549–561.
- Zhu, Y., Lee, K.W. 1999.** Experimental Study on Small Cyclones Operating at High Flow Rates. *J. Aerosol Sci.*, 30: 1303–1315.

## **EKLER**

**EK-1** 8µm partikül boyutuna sahip toz için partikül analizi

**EK-2** 20 µm partikül boyutuna sahip toz için partikül analizi

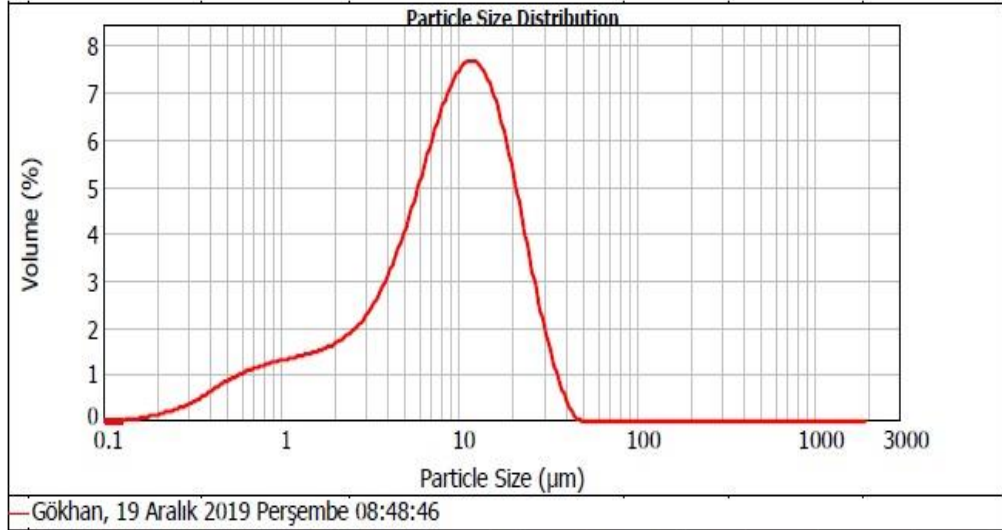


EK-1 8µm partikül boyutuna sahip toz için partikül analizi

d(0.1): 1.325 µm

d(0.5): 8.852 µm

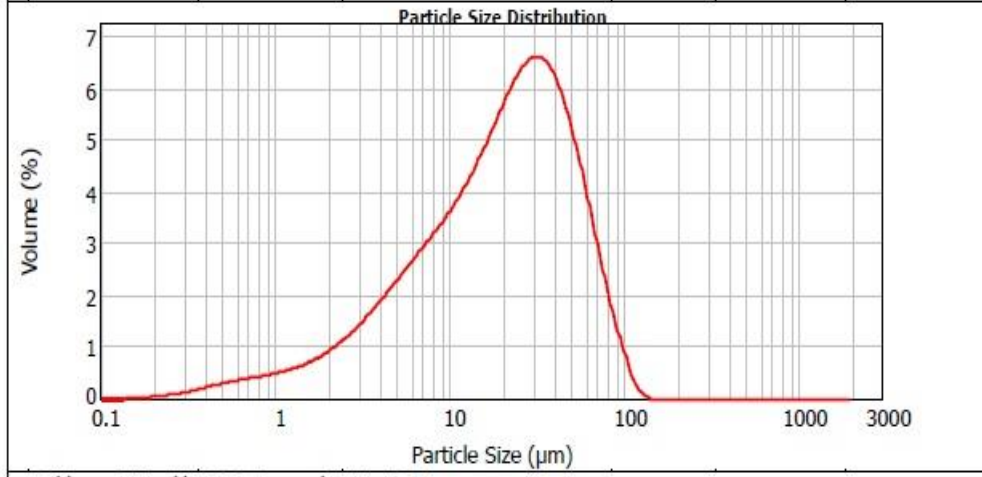
d(0.9): 21.358 µm



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	1.21	11.482	6.91	120.226	0.00	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	1.26	13.183	6.67	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.03	1.445	1.31	15.136	6.13	158.489	0.00	1659.567	0.00
0.015	0.00	0.158	0.05	1.660	1.39	17.378	5.33	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.09	1.905	1.49	19.953	4.36	206.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.15	2.188	1.62	22.909	3.31	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.21	2.512	1.81	26.303	2.29	275.423	0.00	2894.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.29	2.884	2.06	30.200	1.40	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.39	3.311	2.41	34.674	0.71	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.52	3.802	2.84	39.811	0.21	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.66	4.365	3.38	45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.78	5.012	4.01	52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.89	5.754	4.70	60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.97	6.607	5.39	69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	1.05	7.586	6.04	79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	1.11	8.710	6.55	91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	1.16	10.000	6.86	104.713	0.00	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925			

EK-2 20 µm partikül boyutuna sahip toz için partikül analizi

d(0.1): 3.403 µm                      d(0.5): 20.636 µm                      d(0.9): 56.850 µm



Gökhan, 04 Aralık 2019 Çarşamba 14:18:35

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	0.49	11.482	3.71	120.226	0.08	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.55	13.183	4.07	138.038	0.00	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.01	1.445	0.63	15.136	4.46	158.489	0.00	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.02	1.660	0.72	17.378	4.88	181.970	0.00	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.03	1.905	0.84	19.953	5.29	208.930	0.00	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.05	2.188	0.98	22.909	5.64	239.863	0.00	2511.866	0.00
0.023	0.00	0.240	0.08	2.512	1.14	26.303	5.88	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.10	2.884	1.32	30.200	5.95	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.14	3.311	1.52	34.674	5.80	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.19	3.802	1.73	39.811	5.42	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.24	4.365	1.96	45.709	4.82	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.28	5.012	2.19	52.481	4.05	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.32	5.754	2.42	60.256	3.19	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.35	6.607	2.65	69.183	2.34	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.38	7.586	2.89	79.433	1.54	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.41	8.710	3.13	91.201	0.91	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.45	10.000	3.40	104.713	0.33	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925	0.00		



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan Çelik  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa 27/01/1991  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Bursa Hürriyet Anadolu Lisesi (2009)  
Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi (2014)  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi (2020)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : TSK-Yedek Subay (2016)  
Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (2020-)

İletişim (e-posta) : gkn\_clk@windowlive.com

Yayımları :