



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİKLON AYIRICILARDA PERFORMANSIN TAHMİNİ VE
OPTİMİZASYONU**

Ufuk DEMİR

Prof.Dr. Atakan AVCI

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2011

Her Hakkı Saklıdır.

TEZ ONAYI

Ufuk DEMİR tarafından hazırlanan ‘Siklon Ayırıcılarda Performansın Tahmini ve Optimizasyonu’ adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.,

Danışman : Prof. Dr. Atakan AVCI

Başkan: Prof. Dr. Atakan AVCI

U.Ü. Müh.-Mim. Fak.

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ

U.Ü. Müh.-Mim. Fak.

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Yusuf ULCA Y

U.Ü. Müh.-Mim. Fak.

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Kadri ARSLAN

Enstitü Müdürü

././....

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

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

beyan ederim.

29/04/2011

Ufuk DEMİR

ÖZET

Yüksek Lisans

SIKLON AYIRICILARDA PERFORMANSIN TAHMİNİ VE OPTİMİZASYONU

Ufuk DEMİR

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Atakan AVCI

Bu çalışmada önce teğetsel girişli siklon ayırıcı için geliştirilen basınç düşüşü ve verim tahmini modelleri karşılaştırılarak model seçimi yapılmış ve bu model üzerinde iyileştirme çalışması yapılmıştır. Daha sonra bu model yardımıyla iki farklı referans siklon kullanılarak optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Siklon ayırıcı, hidrolik çap , basınç düşüşü , performans tahmini

2011, xii + 68 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

ESTIMATION AND OPTIMISATION OF CYCLONE SEPARATORS' PERFORMANCE

Ufuk DEMİR

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Atakan AVCI

In this study, firstly due to choice cyclone model , pressure drop and collection efficiency models for tangential inlet cyclones analysed and improvement on this model have been studied. According to this model , optimisation study have been done on two different cyclone models.

Key words: Cyclone separators , hydraulic diameters , pressure drop , collection efficiency

2011, xii + 68 page

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi ve tezin oluşması aşamasında değerli bilgi ve zamanını benimle paylaşan saygıdeğer hocam ve danışmanım Prof. Dr. Atakan Avcı ve makaleleri ile çalışmamda katkılarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. İrfan Karagöz 'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen eşim ve aileme şükranlarımı sunuyorum.

Bu çalışmayı ; üzerimde emeği çok olan rahmetli Babaannem Ayşe Demir'e ithaf ederek , çalışmanın onun adına bundan sonraki çalışmalara yardımcı olmasını diliyorum.

Ufuk DEMİR

29/04/2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR.....	III
SİMGELER DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
1. GİRİŞ.....	1
2. SİKLON AYRIŞTIRICILARDA AKIŞ.....	3
3. SİKLONLARDA AKIŞ ALANI	6
3.1 Siklon İçi Hız Dağılımı.....	6
3.2. Hız Dağılımı Modelleri.....	11
4. SİKLONLARDA BASINÇ KAYIPLARI.....	16
4.1. Girdaplı Akışlardaki Basınç Dağılımı.....	16
4.2. Siklonlarda Basınç Kayıpları.....	18
5. SİKLONLARDA TOPLAMA VERİMİ.....	23
5.1. Siklonda Parçacık Toplama.....	23
5.2. Toplama Verimi Modelleri.....	25
5.3. Toplama Verimi İçin Avcı ve Karagöz Modeli.....	28
6. SONUÇLAR	33
6.1. Siklonlarda Basınç Kaybı ve Verim Tahmin Modellerinin Deneysel Verilerle Karşılaştırılması.....	33
6.2. Avcı ve Karagöz Modelinin ve Revize Edilen Modelin Deneysel Verilerle Karşılaştırılması.....	37
6.3. Siklon Optimizasyonu.....	52
6.4. Sonuç ve Tartışma.....	63
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	68

SİMGELER DİZİNİ

a	-giriş kesit genişliği,m
a_d	-düzeltilen boyutsuz akış genişliği,m
a_3	-koni tepesinde akış genişliği,m
A_0	-giriş alanı, m^2
A_1	-siklon gövdesi kesit alanı, m^2
A_p	-parçacık kesit alanı, m^2
A_s	-siklon içi sürtünme yüzey alanı, m^2
b	-iç kesit yüksekliği,m
c	-siklon silindirik kesit boyu,m
cs	-boyutsuz parametre
C	-parçacık yüklemesi , kg/m^3
C_{cu}	-Cunningham düzeltme faktörü
C_{cr}	-kritik yükleme , kg/m^3
C_D	-sürüklenme katsayısı
C_{si}	-giriş parçacık yükleme, kg/m^3
d	-siklonlardaki parçacık çapı,m
d_{50}	-kritik çap,m
d_m	-parçacık ortalama kütle çapı,m
d_p	-malzemeye göre değişen parçacık çapı,m
D	-çap,m
D_1	-siklon çapı,m
D_2	-çıkış borusu çapı,m
D_3	-vorteks bitimindeki siklon koni çapı,m
D_{3m}	-değiştirilen koni tepesi çapı,m
D_{10}	-siklon gövde eşdeğer çapı,m

D_d	-boyutsuz siklon çapı,m
D_h	-hidrolik çap,m
D_L	-ortalama siklon çapı,m
D_s	-ortalama sürtünme yüzeyleri çapı,m
f	-sürtünme katsayısı
f_0	-ortalama sürtünme katsayısı
$f(x)$	-parçacık boyut dağılımı
f_g	-Alexander basınç düşüşü parametresi
Fr_c	-giriş Froude sayısı , $Fr_c = V_i^2 / g D_c$
Fr_e	-çıkış borusu Froude sayısı , $Fr_e = V_{ze}^2 / g D_e$
g	-yerçekimi ivmesi, m/s^2
h	-çıkış borusu yüksekliği,m
h^*	-Barth modeli ayrışma yüzeyi yüksekliği,m
k	-yüzey pürüzlülüğü
K	-basınç düşüş katsayısı
L	-iki fazlı akışta parçacık arası boşluk,m
L_0	-siklon toplam boyu,m
L_v	-siklon vorteks uzunluğu,m
m	-sürtünme eğrisi eğimi
m_p	-parçacık kütlesi,kg
N	-güç
n	-vorteks sayısı
p	-basınç,Pa
Q	-volümetrik akış debisi, m^3/s
Q_0	-giriş volümetrik akış debisi, m^3/s
Q_3	-koni tepesinde volümetrik akış debisi, m^3/s
r	-yarıçap,m
r_a	-max. Teğet hız yarıçapı,m

r_e	-çıkış borusunun yarıçapı,m
r_c	-siklon yarıçapı,m
Re_c	-siklon Reynolds sayısı , $Re_c = D_c \rho_g v_i / \mu_g$
R_0	-sürtünme faktörü
r_t	-geçiş yarıçapı,m
S_t	-siklon Strouhal sayısı
S_w	-girdap sayısı
t	-zaman,s
T	-sıcaklık,K
V	-akış doğrultusundaki hız,m/s
V_0	-ortalama giriş hızı , m/s
V_b	-siklon gövdesindeki ortalama eksenel hız , $v_b = 4 V' / \tau D_c^2$, m/s
V_i	-giriş gaz hızı, m/s
V_r	-radyal gaz hızı, m/s
V_t	-teğetsel gaz hızı, m/s
V_{tmax}	-max teğetsel hız, m/s
V_{te}	-iç vortexdeki teğetsel gaz hızı, m/s
V_{tw}	-cidar civarı hızı, m/s
V_{tw}^*	-hemen girişten sonraki duvar hızı, m/s
V_z	-eksenel gaz hızı, m/s
V_{z0}	-eksenel ortalama hız , $v_{z0} = V' / \tau (r_c^2 - r_t^2)$, m/s
V_{ze}	-çıkış borusudaki eksenel gaz hızı, m/s
ν	-kinematik viskozite,m ² /s
χ	-Meissner ve Löffler katsayısı
Λ	-Parametre
α	-Barth teori katsayısı
α_p	-hacimsel parçacık sürtünmesi
ϵ_{str}	-kıyı gözenekliliği

$\eta(x)$	-sürtünmesel toplama verimi
η	-toplam toplama verimi
λ	-sürtünme faktörü
μ_g	-dinamik gaz viskozitesi,Pas
ρ_b	-yığın yoğunluğu,kg/m ³
ρ_g	-gaz yoğunluğu,kg/m ³
ρ_s	-katı yoğunluğu ,kg/m ³
ξ_c	-siklon basınç katsayısı $\xi_c = \Delta p_c / 0.5 \rho_g v_i$
Φ_c	-siklon koni açısı, ⁰
Γ	-sabit
Ω	-açısal hız,rad/sn

Alt Simgeler

b	-	siklon gövdesi
c	-	siklon
e	-	çıkış borusu
g	-	gaz
i	-	giriş
r	-	açısal bileşen
s	-	katı
t	-	teğet bileşen
w	-	duvar
z	-	eksenel bileşen

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.(a) Siklonlarda akış	4
Şekil 1.(b) Ters akışlı bir siklonun ana parçaları ve ölçüleri.....	4
Şekil 2. Ana giriş düzenlemeleri.....	5
Şekil 3. Şekil 1 deki siklon tasarımlarının ölçekli çizimleri.....	7
Şekil 4. Ters akışlı siklonlarda hız bileşenlerinin ölçülmüş profilleri.....	8
Şekil 5. Siklon hız profil şeması.....	9
Şekil 6. Siklonlarda teğetsel hız profili diyagramı.....	9
Şekil 7. Barth teorisindeki hayali silindir.....	10
Şekil 8. Karakteristik kısmi verim eğrisi.....	24
Şekil 9. Parçacık kütle korunumu kontrol hacmi.....	30
Şekil 10. Optimizasyon Çalışması Yapılan Siklon Ölçüleri.....	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1. Birkaç Standart Siklon Tasarımlarının Geometrik Ölçüleri.....	6
Çizelge 2. Siklonlarda Hız Alanlarının Cebirsel Modelleri.....	13
Çizelge 3. Siklonlarda Basınç Düşüşünün Cebirsel Modelleri.....	18
Çizelge 4. Siklonlarda Toplama Veriminin Cebirsel Modelleri	27
Çizelge 5. Avcı ve Karagöz Modelinin 12 Farklı Siklon Modeli İçin Basınç Düşüş Katsayısı (K) Açısından Karşılaştırılması.....	34
Çizelge 6. Avcı ve Karagöz Modeli Kritik Çap Tahmininin Farklı Modellerle Karşılaştırılması.....	35
Çizelge 7. Stairmand Yüksek Verimli Siklonu İçin Siklon Boyutunun d_{50} 'ye Etkisi.....	38
Çizelge 8. 305 mm Çaplı Stairmand Siklonu İçin Giriş Hızının Cut-Off Boyutu	
Üzerindeki Etkisi.....	38
Çizelge 9. Kim ve Lee Modeli 31.1 mmÇaplı Siklon İçin Giriş Hızının Cut-Off Boyutu	
Üzerindeki Etkisi.....	39
Çizelge 10. 30.5 mm. Çaplı Stairmand Siklonundaki Giriş Hızının Cut-Off Çapı	
Üzerindeki Etkisi.....	40
Çizelge 11. Parker'ın kullandığı deneysel parametreler	41
Çizelge 12. Patterson'ın kullandığı deneysel parametreler	41
Çizelge 13. Parker ve Patterson'un Kullandığı Boyutsuz Siklon Geometrileri.....	41
Çizelge 14. Revize Basınç Kaybı Modelinin Deneysel Verilerle Karşılaştırılması.....	41
Çizelge 15. Deneysel, Teorik ve Güncel Modelin Farklı Çaplarda Basınç Düşüşü	
Tahminlerinin Karşılaştırılması.....	42

Çizelge 16. Fassani ve Goldstein'in kullandığı deneysel parametreler.....	43
Çizelge 17. 154.05 mm.Çaplı Siklonda Giriş Hızının Basınç Düşüşü Üzerine Etkisi...	43
Çizelge 18. Giriş Hızının Basınç Düşüş Katsayısına Etkisi.....	44
Çizelge 19. Deneysel , Teorik ve Güncel Modellerin Farklı Hızlarda Basınç Düşüş Tahminlerinin Karşılaştırılması.....	44
Çizelge 20. Hoffmann'ın kullandığı deneysel parametreler.....	45
Çizelge 21. 200 mm. Çaplı Siklonda Siklon Yüksekliğinin Basınç Düşüşü Üzerine Etkisi.....	45
Çizelge 22. Siklon Yüksekliğinin Basınç Düşüş Katsayısına Etkisi.....	46
Çizelge 23. Deneysel , Teorik ve Güncel Modellerin Farklı Siklon Yüksekliklerinde Basınç Düşüş Tahminlerinin Karşılaştırılması.....	46
Çizelge 24. Modeli Test Etmek İçin Kullanılan Geometri Listesi.....	47
Çizelge 25.12 Farklı Siklon Modeli İçin Basınç Düşüş Katsayısı (K) Karşılaştırılması	48
Çizelge 26. Akış Genişliğinin (a_0) Üç Farklı Şekilde Hesaplanmasının Basınç Düşüş Katsayısı (K) Üzerine Etkisinin 12 Farklı Deneysel Çalışmayla Karşılaştırılması.....	50
Çizelge 27. Basınç Düşüş Katsayısının (K) Sürtünme Faktörüne (R_o) Bağlı Değişimi	51
Çizelge 28. Basınç Düşüş Katsayısının (K) Reynolds Sayısı (Re) Bağlı Değişimi.....	51
Çizelge 29. Fassani ve Goldstein'in kullandığı deneysel parametreler (2).....	53
Çizelge 30. Silindir Gövde Yüksekliğinin Basınç Düşüşüne Etkisi.....	53
Çizelge 31. Silindir Gövde Yüksekliğinin Toplama Verimine Etkisi.....	54
Çizelge 32. Çıkış Borusu Çapının Basınç Düşüşüne Etkisi	54

Çizelge 33. Çıkış Borusu Çapının Toplama Verimine Etkisi.....	55
Çizelge 34. Koni Tepesi Çapının Basınç Düşüşüne Etkisi.....	55
Çizelge 35. Koni Tepesi Çapındaki Değişimin Toplama Verimine Etkisi.....	56
Çizelge 36. Deneysel ve Optimize Edilen Siklon Parametrelerinin Değerlendirilmesi..	56
Çizelge 37. Optimizasyon Parametrelerinin Boyutsuz Değerlendirilmesi.....	57
Çizelge 38. Hoffmann'ın kullandığı deneysel parametreler.....	57
Çizelge 39. Silindir Gövde Yüksekliğinin Basınç Düşüşüne Etkisi (2).....	58
Çizelge 40. Silindir Gövde Yüksekliğinin Toplama Verimine Etkisi (2).....	58
Çizelge 41. Çıkış Borusu Çapının Basınç Düşüşüne Etkisi (2).....	59
Çizelge 42. Çıkış Borusu Çapının Toplama Verimine Etkisi (2).....	60
Çizelge 43. Koni Tepesi Çapının Basınç Düşüşüne Etkisi (2).....	61
Çizelge 44. Koni Tepesi Çapındaki Değişimin Toplama Verimine Etkisi (2).....	61
Çizelge 45. Deneysel ve Optimize Edilen Siklon Parametrelerinin Değerlendirilmesi (2).....	62
Çizelge 46. Optimizasyon parametrelerinin Boyutsuz Değerlendirilmesi (2).....	62

1. GİRİŞ

Siklonlar , kömür kullanılan yanmalı teknolojilerin gelişmesinde her zaman yön verici bir faktör olmuştur. Sıcak gaz temizleme hususundaki çeşitli uygulamalar arasında siklonlar , ayıklama verimi ve yatırım , çalışma ve bakım masrafları arasında optimum verimi tuttururlar. Herhangi bir basınç , sıcaklık ve yüksek miktarda katı yüklemesi kombinasyonunu kaldırmak için karşılaştırıldığı diğer efektif ayrıştırıcı ekipmanlara (örneğin seramik) göre performansı tolere edilebilir , bunun sebebi öncelikle basit,sağlam ve güvenilir olmasıdır. Şu durumda , siklonlar çok gelişmiş kömüre dayalı sistemlerde örneğin basınçlı ve girdaplı tabaka yanma sistemlerinde anahtar parça konumundadır. PFBC (basınçlı girdaplı tabaka türü yanma) lerde , siklonlar , gaz türbinlerinin bütünlüğünü sürdürmek için gereklidir ve bu da kendi konseptinin avantajıdır. [Ivarez M. 1995]

Sonuç olarak, hala işletme prensipleri açısından ciddi miktarda gürültü bilgisine ihtiyaç var. 19. yüzyılın sonlarına doğru siklonlar geliştirildiğinden bu yana , akış karakterini açıklamak için büyük deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, basınç düşüşünü ve ayıklama verimini anlayabilmek için önemli adımlardır. Aynı zamanda, bu uygulamaların dalarına dayanarak, teorik modeller akış alanının ana hatlarını öngörmek için genellikle yarı-empirik zeminlerde geliştirilmiştir. Bu özel modelleme metodu hala kullanılmaktadır , aslında, günümüzde tasarım esasları için kullanılan çok kullanışlı formüller ve metodlar geliştirilmiştir. Buna rağmen , çalışmanın diğer alanlarında , geliştirilen deneysel ve hesaplamalı metodlar bir çok ek detaya ve sorulara ışık tutacaktır.

Kararsızlık ve asimetri, büyük bir alanda hız dağılımını etkileyen , klasik siklon teorisinde düşünülmeyen iki örnek özelliktir, böylece bu iki özellik toplama mekanizma modelini değiştirebilir. Siklonlarda vorteks hala araştırılan bir konudur. Son araştırmalar gösteriyor ki, bu bölge civarında akış kararsızdır ve vorteks duvar etrafında dönerken duvara tutunabilir. Sonuç olarak vorteksin toplam uzunluk tahmini ciddi bir belirsizlik taşır. (vorteksin toplam uzunluğu ayrıca siklonun doğal uzunluğu diye de adlandırılır.) Literatürde bulunan değişik hesaplama metotları arasında ciddi çelişkiler bulunmaktadır. Bu parametre , optimum bir tasarım için gereklidir.

Siklon ayırıştırıcılarında en önemli performans değişkenleri toplama verimi ve basınç düşüştür. Çalışmaların çoğunluğu basınç düşüşünden çok toplama verimi hakkındadır. Çeşitli matematiksel modeller , siklonda basınç düşüşünü tahmin etmek için literatürde yayınlanmıştır. Çoğu deneyseldir. Basit modeller sadece gaz giriş ve çıkış boyutlarını dahil ederler, ve bu nedenle siklonun diğer boyutlarıyla basınç düşündeki herhangi bir değişikliği tahmin etmezler. Ancak, Stairmand modeli momentum eşitliğinde herhangi bir andaki siklondaki hız dağılımına dayanır ve vorteks tepesindeki statik kayıplarla kombine edilen giriş ve çıkış kayıplarını basınç düşüşü şeklinde hesaplar. Barth , siklon iç sürtünme yüzeyini hesaba katarak siklon giriş,gövde ve çıkış borularındaki kayıplardan basınç kaybını hesaplamıştır. Stairmand ve Barth modelleri Iozza ve Leith ve Muschelknautz tarafından ayrı ayrı geliştirilmiştir. Alexander siklon gövde çapı ve çıkış borusu çapı , giriş ölçüleri ve sıcaklığa dayalı bir korelasyon öne sürmüştür.

Mothes ve Löffler , siklonu dört parçaya ayırarak ve sürtünme katsayısını sabit alarak bir model geliştirilmiştir. Bu modelden elde edilen sonuçlar özellikle oda sıcaklığında tatmin edicidir. Lorenz , Mothes ve Löffler modelini geliştiren bir model sunmuştur. Bu model test edilen geometriler için yeterli sonuçları verir fakat karmaşık bir hesaplama prosedürüne ihtiyacı vardır. Bu model tekrar girişi, ikincil akışı ve sıcaklığı , difüzyon katsayısı ve sürtünme faktörü üzerindeki etkileri dikkate almıştır.

Bu çalışmadaki amaç, siklon verimi ve basınç kaybı için Avcı ve Karagöz tarafından oluşturulan modeli geliştirmek ve kullanımı kolay olan, küçük veya büyük siklonlara uygulanabilen ve tüm geometrik ve akış parametrelerinin etkilerini simüle eden eşitlikler geliştirmektir. Toplama verimi tahmini için başarılı olan bu model teğetsel girişli bir siklonda geometrik boyutları ve çalışma şartları dikkate alındığından tasarım ve optimizasyon amaçları için kolay bir tahmin yolu olarak kullanılabilir. Bu çalışmadaki ikinci amaç , optimum siklon boyutlarını tahmin etmektir.

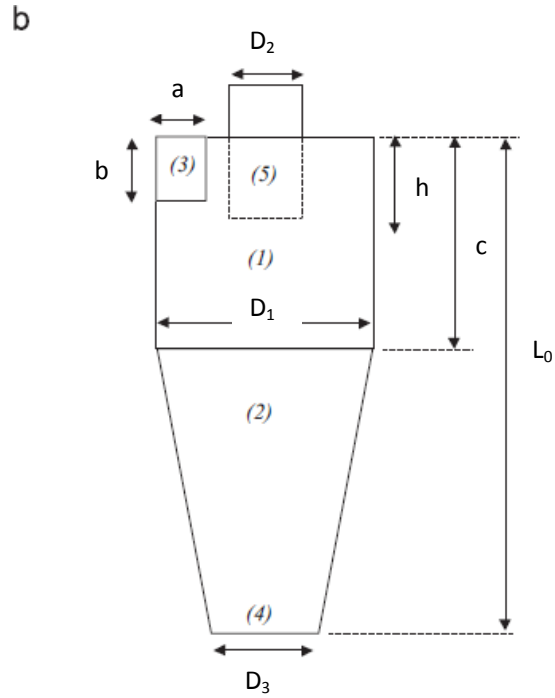
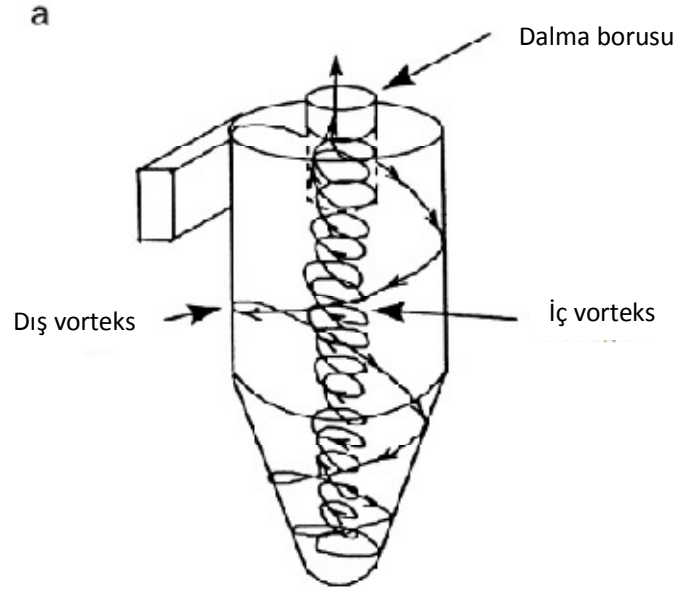
2. SIKLON AYRIŞTIRICILARDA AKIŞ

Siklonlarda akışkan, yüksek rotasyonel bir hızla silindirik gövdeye teğetsel biçimde girer. Akış , aksenal hız bileşeni ters döndüğü yere kadar duvar kıyısında dönerek alçalır, bu seviyeden sonra akış yukarı döner. Akış olayı ve karakteristik boyutlar Şekil 1 de verilmiştir. Bu durum vorteks dip pozisyonu diye adlandırılır. Yükseliş , akışın rotasyonu devam ettiği sürece siklon eksenine doğru ilerler, dolayısıyla şekilde de görüldüğü gibi çift vorteks yapısı oluşur. İç vorteks , akışa çıkış borusu diye adlandırılan merkezi bir tüpten dışarı çıkaracak şekilde yol gösterir. Siklon gövdesinde çıkıntı yapacak şekilde birleşik olan çıkış borusu, iç vorteksi yüksek giriş hızından korur ve stabilize eder. Bahsetmeye değer bir nokta da şudur; bu özel akış yapısına sebep olan ters dönüş, konik şekil ya da geometrik uzunluktan doğrudan etkilemeyip belli ki siklon içindeki basınç alanından kaynaklanmaktadır.[Cortes C. ve Gil A. 2007]

Gerçekte , santrifüsel kuvvet , seyreltilmiş akışlardaki parçacıkların ayrıştırılmasının sebebidir. Bilinen bir gerçek şu ki ciddi parçacık yüklemelerinde , parçacıklar sisteme girer girmez toplanır ve toz kümeleri oluşturarak duvar boyunca aşağıya doğru iner. Santrifüsel kuvvet , genellikle toplamın küçük bir kısmı olan , arta kalan toz kümesinin üzerine etki eder. Daha sonra da göreceğimiz gibi , bu etki aslında atalet ve parçacıklar arası etkileşimle açıklanmıştır.

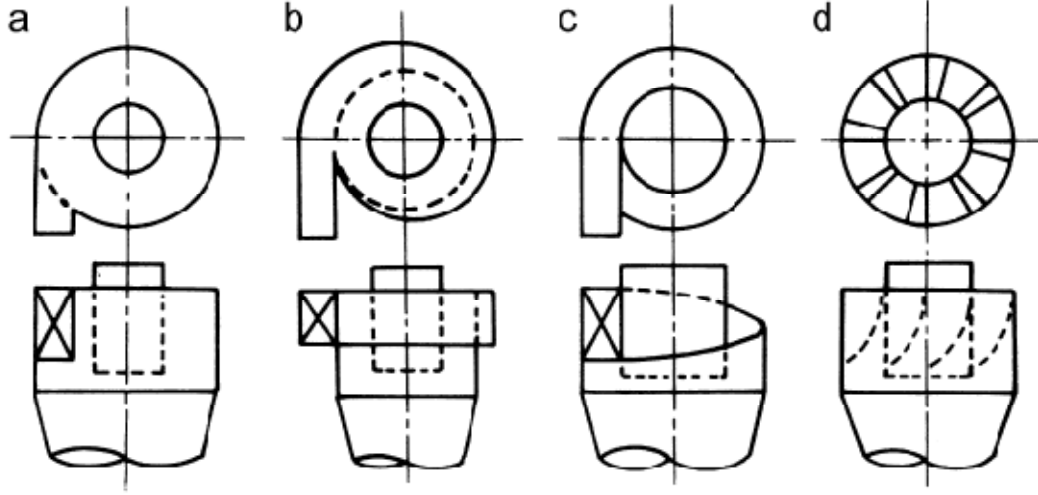
Yüksek teğet hız bileşenine sahip akışların siklona giriş yaptığı çeşitli sistemler vardır; bazı giriş tasarımları Şekil 2 de gösterilmiştir. En yaygın olanı teğet ve döner konfigürasyonlardır. Döner giriş , genellikle silindirik kesit alanının 180 derecesini saracak şekilde tasarlanır. Büyük kavisler kullanılmaz , çünkü efektif değillerdir ve gereksizce basınç düşüşünü artırır, dolayısıyla küçük olanlar kullanışlıdır. Kullanımlarına ve tozların parçacık özelliklerine dayanarak, çeşitli siklon tasarımları yıllar boyunca geliştirilmiştir. Örneğin ; Çizelge 1 ve Şekil 3 de verilen bir giriş hızında

aynı görevi yapan, aynı giriş kesitli (0.01 m^2) 16 değişik tasarım gösterilmektedir, bunlar Hoffmann ve Stein tarafından derlenmiştir. [Hoffmann A.C. 2002]



Şekil 1. (a) Siklonlarda akış (b) ters akışlı bir siklonun ana parçaları ve ölçüleri (1) siklon gövdesi (2) konik kısım (3) giriş borusu (4) çıkış borusu (5) çıkış borusu

Mühendislik açısından bakacak olursak , siklon performansı toplama verimi (ayrıştırılan katı parçalar kısmı) ve basınç düşüşüyle ölçülür. Bu iki parametre sistemin içinde gelişen akışın doğrudan çıktılarıdır, siklonlar verilen çok çeşitli katı yüklemelerinin üstesinden gelebilir, akış genellikle iki fazlıdır, parçacıklar arası etkileşim ve iki yönlü bağlantı düşük katı konsantrasyonları da ihmal edilebilir.[Cortes C. ve Gil A. , 2007]



Şekil 2. Ana giriş düzenlemeleri a) teğetsel b) dönerli c) helezonik d) aksel [8]

Geleneksel siklon modelleri , ölçülen verim ve basınç düşüşünün tahmini için temiz gaz hız ölçümlerinden , gözlemlenen akış profillerinden yararlanır. Bunun yanında CFD hesaplamaları yaygın olarak kullanılarak temiz gaz ve çift-fazlı akış simülasyonlarıyla olayın anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

3. SIKLONLARDA AKIŞ ALANI

3.1. Siklon İçi Hız Dağılımı

Siklon içi akış özellikleriyle alakalı ilk çalışmalar 1930 ila 1950 yılları arasında yapılmıştır , [Alexander R. , 1949] konuyla alakalı teorik ve deneysel çalışmaların çokluğu olayın fevkalade karışık olduğunu gösterir. Şekil 4 ve 5 , siklon ayırıştırıcı içerisindeki üç hız bileşeninin kesit ve uzunluk boyunca değişimini vermektedir.[Cortes C. ve Gil A. 2007]

Çizelge 1. Birkaç Standart Siklon Tasarımlarının Geometrik Ölçüleri

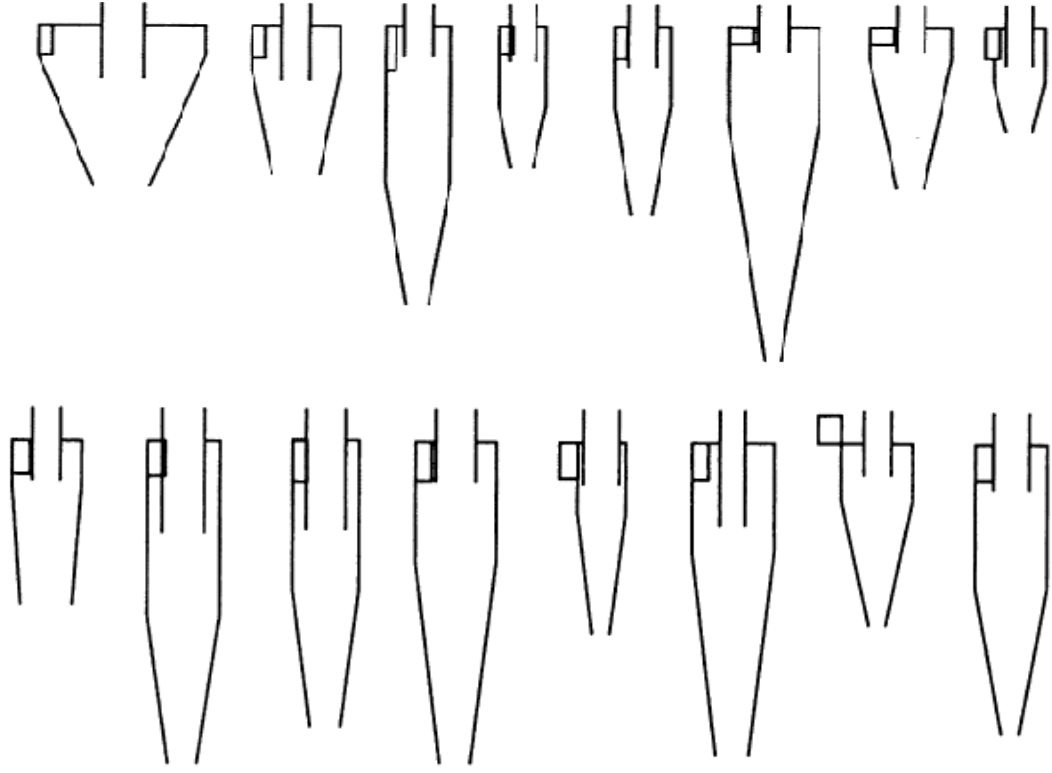
Name	D_c	D_e	S	H	h	A	b	B
Muschelknautz E	680	170	311	934	173	173	58	228
Muschelknautz D	357	119	318	863	262	187	54	195
Storch 4	260	117	176	1616	909	260	38	91
Storch 3	192	107	200	821	462	167	60	92
Storch 2	225	108	239	1097	464	188	53	84
Storch 1	365	123	142	1943	548	100	100	64
Tengbergen C	337	112	145	930	187	100	100	112
Tengbergen B	210	112	224	604	324	179	56	112
Tengbergen A	277	112	157	647	180	135	74	202
TSN-11	348	136	242	959	219	184	54	154
TSN-15	266	158	350	1124	589	166	60	119
Stairmand high efficiency	316	158	158	1265	474	158	63	119
Stairmand high flow	190	141	165	755	283	141	71	71
VanTongeren AC	325	100	325	1231	436	149	67	130
Vibco	286	111	124	720	228	111	90	66
Lapple GP	283	141	177	1131	566	141	71	71

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

$$v_t r^n = C \quad (3.1)$$

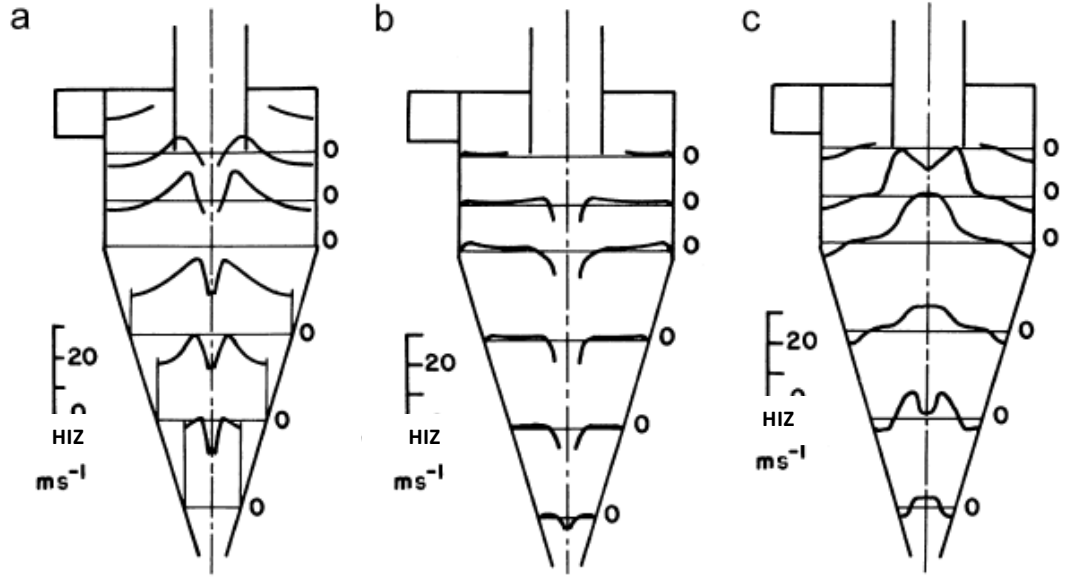
Daha genel bir varsayım da v_t de aksenal yönde değişim olmamasıdır , en azından ana ayrılma bölgesi böyle düşünülebilir.

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



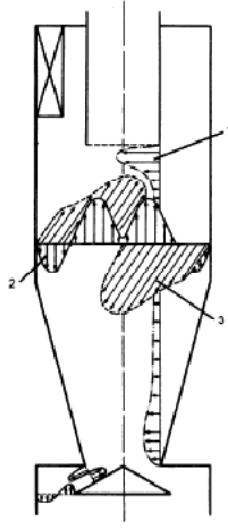
Şekil 3. Şekil 1 deki siklon tasarımlarının ölçekli çizimleri

Diğer iki hız bileşeni de ayrı öneme sahiptir. Eksenel hız, siklondaki parçacıkların taşınması için yer çekiminden daha gereklidir.[Ter Linden A.J., 1949] Basit bir sayısal model de çift vorteks yapısı düşünülür ve dış vorteks/aşağıya doğru akış ve iç vorteks/yukarıya doğru akış bölgeleri için radyal sabit değerler tanımlanır. Vorteks bitimindeki eksenel pozisyonda her iki bölgedeki hız değerleri 0 olmalıdır. Çözüm için tüm akış yapısıyla alakalı bazı zorlayıcı varsayımlar gerekmektedir , bu varsayımlardan biri Şekil 7'de gösterildiği gibi çıkış borusunun konik kısmını kesen hayali silindir uzunluğudur. [Cortes C. ve Gil A. 2007]



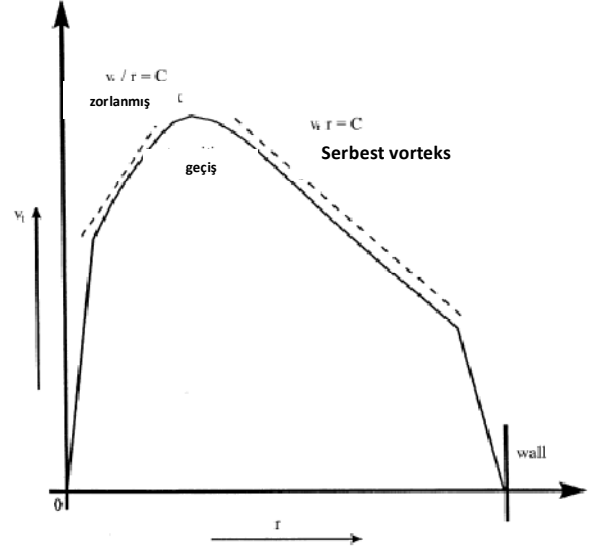
Şekil 4. Ters akışlı siklonlarda hız bileşenlerinin ölçülmüş profilleri:
 (a) teğetsel (b) radyal (c) aksenal

Belli ki gerçek profiller sabit olmamakla birlikte maksimumu ortaya koyar. Umulduğu gibi, aşağı doğru akış her zaman duvara en yakın pozisyondadır, fakat iç vorteksteki aksenal hız ters V ya da ters W şeklindeki profil şeklinde görünür, örneğin, şekil 4 ve 5 de gösterildiği gibi simetrik olarak bir dip ve ya bir maximuma sahiptir. W şeklindeki model, çıkış borusunun radyal konumunda sert bir maksimum gösterir; bazen momentumdaki düşüş çok sert olur bu da geri akışa sebep olur.[Hoffmann A.C. 2002]



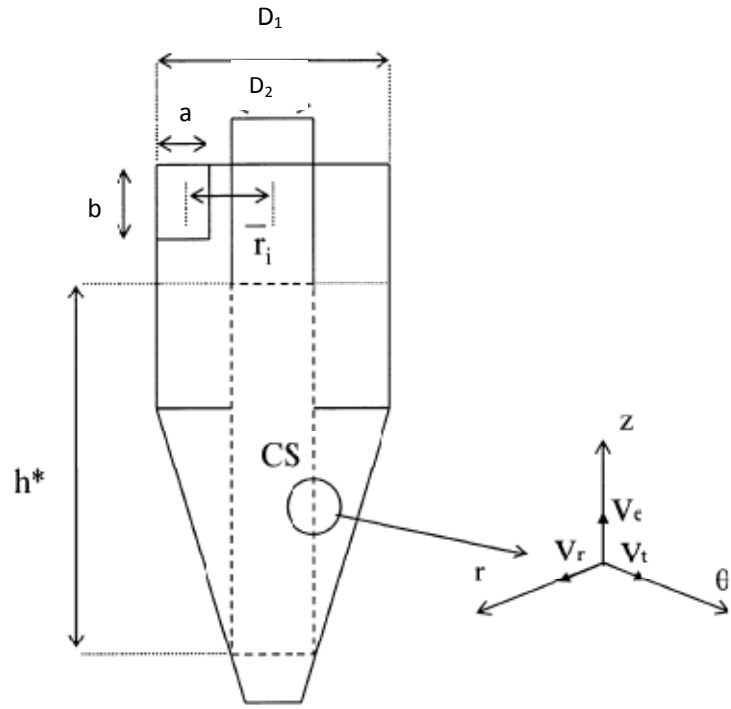
Şekil 5. Siklon hız profil şeması:

1-radyal 2-eksenel 3-teğetsel



Şekil 6. Siklonlarda teğetsel hız profili diyagramı

Bazı parçacık toplama modellerinde radyal hız çok önemlidir , mesela ,radyal hız verim kayıpları ve by-pass ı analiz ederken devamlı bir faktör olarak karşımıza çıkar. Çoğunlukla , diğer bileşenlerden daha az öneme sahip olduğu farz edilir, fakat bu dış vorteksle ilgili bir gerçektir. Radyal hız , iç kısımları özellikle çıkış borusu civarını hedefleyerek vorteksin merkezine doğru aşırı şekilde büyür. Önceden bahsi geçen tahminlere ihtiyaç duyan bir ortalama değer,belki de karakteristik bir değer, gaz akışının şekil 7 de görülen hayali silindir CS nin tam olarak içinden geçtiği varsayılarak hesaplanabilir.[Ogawa A. 1997]



Şekil 7. Barth teorisindeki hayali silindir

3.2. Hız Dağılımı Modelleri

Çizelge 2 , bazı siklon akış modellerini özetler. Burada modellerle ilgili varsayımlar ve ana bağıntılar gösterilmiştir. Siklon akış modelleri, vorteks akışı üzerindeki basit düşüncelerle başlamıştır, ve daha karmaşık kabuller ilavesiyle geliştirilmiştir. Birçok model , sadece teğetsel bileşenle ilgilenir; aksenal ve radyal hızlar genellikle yukarıda da bahsedilen daha basitleştirilmiş çözümler şeklinde ele alınır.

Alexander (1949) , eşitlik (2)-(4) : Bu model tamamen empirik bir model olup iki ayrı soruya işaret eder. İlk olarak, cidar civarındaki teğetsel hız bileşeni v_{tw} nin , (verilen) ortalama giriş hızı v_i ye oranını hesaplar. Genellikle pratikte bulunan yüksek Reynolds sayıları açısından mantıklı bir değer olan bu oran sadece geometrik bir parametre olarak düşünülür. İkinci olarak, bir korelasyon da dış vorteksteki teğetsel hızın radyal profilini karakterize eden n değişkeni için oluşturulmuştur.

Barth (1956) , eşitlik (5)-(8): Bu model siklon modellemede sürtünmenin ilk defa sunulduğu modeldir, kolay ve hala kullanışlıdır. Barth'ın hız profilleri toplama verimi tahmini için direkt olarak uygulanan ilk düzenlemelerdir. Alexander modeline benzer olarak , bu model girişteki gazın ortalama açısız momentumunun siklonun silindirik gövdesinin içinde cidara yakın kısımdaki dönen gazın ortalama açısız momentumuna oranı olan α yı geometrik bir sabit olarak dikkate alır. Bu sabit, çeşitli giriş geometrileri için elde edilir; döner ve 360° girişler için tektir ve dikkate değer hızlanmanın elde edildiği teğetsel girişlerde tek değildir.

Cidardaki teğetsel hız v_{tw} , Şekil 7 deki kontrol yüzeyi CS deki teğetsel hıza bağlıdır, ve iç vorteks girdap şiddetini yaklaşık olarak temsil eder. Metod , tüm sürtünme kayıplarının yoğunlaştığı h^* yüksekliği ve $\sqrt{D_1} \sqrt{D_2}$ çapındaki başka bir hayali yüzeyi farzeden açısız momentum dengesidir; bu analiz eşitlik (3.6) ya götürür. Kayıplar, deneysel olarak düzeltilmiş olan, yığılmış cidar sürtünme katsayısı λ_g ile tanımlanır. h^* yüksekliği doğal olarak vorteksin uzunluğu olarak tanımlanır, Barth bu parametreye eşitlik (3.8) üzerinden sadece geometrik bir açıklama getiriyor.

Muschelknautz (1972) : Muschelknautz ve birlikte çalışanlar, Barth'in fikirleri üzerinden çalışarak basitlik ve gerçeklik esasına dayalı olarak modellerini geliştirmişlerdir. Hız dağılımıyla alakalı olarak, tablo Muschelknautz'un ilk çalışmasını özetler. Bu modelde α katsayısı ve sürtünme yüzeyi tamamlanmıştır. Daha sonra α parametresi Eşitlik (3.9) ve (3.10) la ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, gaz sürtünme sabiti λ_g tekrar düzeltilmiştir.

Ayrıca, bu model iki-fazlı akış sistemlerindeki katı yoğunluğu etkilerinin sayısal tahminine imkan sağlamıştır. Giriş parçacık yüklemesi C_{si} ile λ_g artışı için Muschelknautz'un ifadeleri eşitlik (3.11) de tablo halinde verilmiştir. Bu , basınç düşüşü ve ayıklama veriminin de içinde olduğu katı yükleme etkilerini modelleme açısından yeni ufuklar açmıştır.

Meissner ve Loffler (1978) : Barth teorisine benzer olarak, siklon cidarındaki teğetsel hızla V_{tw}^* iç kısımdaki hız V_i arasındaki geometrik ilişki için , Eşitlik (3.12) , ve duvar sürtünmesini hesaba katacak bir momentum dengesi için Eşitlik (3.13), kullanarak bir ifade çıkarmışlardır. Teğetsel hızın hesabı için: hızlanmanın olduğu hemen giriş kesitindeki hız V_{tw}^* ve siklon gövdesindeki geliştirilmiş hız değeri V_{tw} kullanılmıştır. Sadece dairesel giriş bu modelde incelenmiştir; helezonik girişler açıkça dahil edilmemiştir.

İkinci bir açıl momentum dengesi , λ_g den farklı olarak iki adet ilave sürtünme faktörü kullanımını içerir: bunlar, kontrol hacmini sınırlayan siklonun üst ve alttaki metal yüzeylerini hesaba katar. Aynı değer üç katsayıyla verilmiştir, bu fiziksel olarak önemlerinin eşit olduğu anlamına gelmez. Bu sebepten dolayı, bu model sadece seyreltilmiş akışlarda tam olarak geçerlidir; katı yükleme etkilerini kapsamaması Barth ve Muschelknautz' unkilere göre daha zordur.

Reydon ve Gauvin (1981) : Teorik ve deneysel akış çalışmalarından, çeşitli çalışma koşullarında daha genel V_i elde etmek için, geometrik parametreler α 'a bağlı olarak çalışılmıştır. Sonuçta, iç ve dış vorteks iki kısma ayrılmıştır, eşitlik (3.20) ve (3.21) ve katsayılar , lineer regresyon yöntemiyle deneysel veriler kullanılarak düzeltilmiştir.

Ogawa (1997) : Ogawa , şu ana kadar teorik düşüncelere dayalı en karmaşık matematiksel modeli geliştirmiştir. Önceki çalışmalarda ara değişken olarak kullanılan

çidar teğetsel hızı V_{tw} bu çalışmada yoktur. Klasik dış ‘serbest vorteks’ alanı , Reynolds sayısı ve geometriye bağlı n ve K_0 sabitiyle modellenmiştir Eşitlik (3.22). İç vortekste etkili olan katı gövde dönüşündeki herhangi bir radyal pozisyon r_a daki teğetsel max. hız v_{tmax} tanıtılarak zorlanmış vorteks alanı kuralı da modellenmiştir Eşitlik (3.23) . İki akış bölgesindeki eksenel ve radyal hızlar da Eşitlik (3.25)-(3.27) deki şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 2

Siklonlarda hız alanlarının cebirsel modelleri

Model	Eşitlik	Açıklamalar
Alexander (1949)	$\vartheta_t = \vartheta_{tw} \left(\frac{r_c}{r}\right)^n$	(3.2) Helezonik ve teğetsel giriş deneyleri
	$\frac{\vartheta_{tw}}{\vartheta_i} = 2,15 \left(\frac{A_i}{D_c D_e}\right)^n$	(3.3) Hava ve yanma gazları , 1100 ⁰ e kadar sıcaklıkta
	$n = 1 - (1 - 0,67 D_c^{0,14}) \left(\frac{T}{283}\right)^{0,3}$	(3.4) T , K cinsinden ve D_c , m cinsinden
Barth (1956)	$\alpha = \frac{2\vartheta_i r_i}{\vartheta_{tw} D_c}$	(3.5) Helezonik girişlerde $\alpha \approx 1$
	$\vartheta_{te} = \frac{\frac{\vartheta_{tw} r_c}{r_e}}{1 + \left(\frac{h^* r_c \pi \lambda \vartheta_{tw}}{V}\right)}$	(3.6)
	$r_i = \frac{(D_c + b)}{2}$	(3.7) Teğetsel girişler için α değerleri grafiklerde verilmiştir
	$h^* = H - S , D_e \leq B$	(3.8.a)
	$h^* = \frac{(H-h) - (D_c - D_e)}{D_c - B} + h - S , D_e > B$	(3.8.b) $\lambda = \lambda_g \approx 0.02$

Muschkelnautz (1972) $\alpha = 1 - 1,2b/D_c$ teğetsel giriş

(3.9) Eşitlik (3.9) şu durumda geçerlidir.

$$\alpha = 1 + \sqrt{3}\pi\lambda r_i / \sqrt{ab} \quad \text{helezonik giriş}$$

$$0,9 < \frac{ab}{\pi r_i^{-3}} < 1,8$$

(3.10) ^a

$$\lambda = \lambda_g (1 + 2\sqrt{C_{si}}), C_{si} < 1$$

(3.11.a) C_{si} 'nin birimi kg katı/kg gaz

$$\lambda = \lambda_g (1 + 3\sqrt{C_{si}}), C_{si} > 1$$

(3.11.b) Yüksek Reynolds sayıları için $\lambda_g \approx 0.005$

Meissner ve Loffler (1978)

$$\frac{\vartheta_{tw}^*}{\vartheta_i} = \left[\frac{-0,204b}{r_c} + 0,889 \right]^{-1} \quad (3.12)$$

$$\frac{\vartheta_{tw}}{\vartheta_b} = \frac{1}{h_z^* \lambda_g} \left[\left(0,25 + \frac{\lambda_g h_z^* \vartheta_{tw}^*}{\vartheta_b} \right)^{0,5} - 0,5 \right] \quad (3.13)$$

$$\vartheta_b = 4V' / \pi D_c^2 \quad (3.14)$$

$$h_z^* = \frac{a}{r_c} \left[\frac{2\pi - a \cos\left[\left(\frac{b}{r_c}\right) - 1\right]}{2\pi} - 1 \right] + \frac{h}{r_c} \quad (3.15)$$

(3.15) χ cidarla gaz arasındaki açısal momentum değişimini açıklar.

$$\vartheta_t = \frac{\vartheta_{tw}}{r/r_c [1 + \aleph (1 - r/r_c)]} \quad (3.16)$$

(3.16) Oda sıcaklığında pürüzsüz duvarlar $\lambda_g, \lambda_x, \lambda_k \approx 0.0065-0.0075$

$$\aleph = \frac{\vartheta_{tw}}{v_b} \left[\lambda_x + \frac{\lambda_k}{\sin(\vartheta_c)} \right] \quad (3.17)$$

$$\text{Açısal hız: } \vartheta_r(r_c) = 0, \quad \vartheta_r(r_c) = \frac{V}{2\pi r_e(H-S)} \quad (3.18.a, 3.18.b)$$

$$\text{Eksenel hız: } \vartheta_{zo} = \frac{V(H-z)}{\pi(r_c^2 - r_e^2)(H-S)} \quad (3.19)$$

Reydon ve Gauvin (1981)

$$\text{Serbest vorteks: } \vartheta_t = 14,79 v_i r^{-0,72} \quad (3.20) \text{ r cm. cinsinden}$$

$$\text{Zorlanmış vorteks: } \vartheta_t = 1,35 v_i r \exp[-0,153 v_i^{-0,17} r] \quad (3.21)$$

Ogawa (1997)

Serbest vorteks: $\vartheta_t r^n = K_0 \vartheta_i (r_c - b)^n$ (3.22) $K_0, n=f$ (Re, geometri)

Zorlanmış vorteks: $\vartheta_t = Kr(1 - \Lambda r)$ (3.23)

$$K = \frac{2\vartheta_{tmax}}{r_a} \quad (3.24.a)$$

$$\Lambda r_t = \frac{1+n}{2+n} \quad (3.24.b)$$

$$\Lambda r_a = 0,5 \quad (3.24.c)$$

$$K = 66,5 D_e^{-2,65} \dot{V} \quad (3.24.d)$$

Ortalama aksel hız: $\vartheta_{z0} = \frac{\dot{V}}{\pi(r_c^2 - r_t^2)}$ (3.25)

Vorteksteki açısal ve aksel hızlar:

$$\frac{\vartheta_r}{\vartheta_{z0}} = \frac{r_c}{2h^*} \left(\frac{r}{r_c} - \frac{r_c}{r} \right), \quad \frac{\vartheta_z}{\vartheta_{z0}} = 1 - \frac{z}{h^*} \quad (3.26.a, 3.26.b)$$

Zorlanmış vorteksteki açısal ve aksel hızlar:

$$\frac{\vartheta_r}{\vartheta_{z0}} = -\frac{r_c^2 - r_t^2}{2r_t^2 h^*} r, \quad \frac{\vartheta_z}{\vartheta_{z0}} = \frac{r_c^2 - r_t^2}{r_t^2} \left(\frac{z}{h^*} - 1 \right) \quad (3.27a, 3.27.b)$$

4. SIKLONLARDA BASINÇ KAYIPLARI

4.1. Girdaplı Akışlardaki Basınç Dağılımı

Girdaplı akışlardaki basınç dağılımı ile ilgili tartışmalar bu bölümde sırasıyla verilmiştir. Santrifüj kuvvetle radyal basınç gradyeni arasındaki ilişki aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\rho \frac{\partial^2}{r} = \frac{dp}{dr} \quad (4.1)$$

Eksenel olarak simetrik tek-boyutlu akışlar için iyileştirilmesi gereken bu denklem hatırlamaya değerdir , ayrıca bu denklem doğrudan radyal yöndeki momentum denkleminde türetilmiştir. Diğer bir deyişle , bu ideal veya viskoz, tabakalı veya türbülanslı ve sürekli akışlarda aynı derecede geçerli kabul edilebilir. İç bölgeyi temiz kabul edersek , zorlanmış vorteksteki hız $v_t(r) = \Omega r$ olur. Burada $\Omega =$ sabittir, buradan eşitlik (4.1) kolayca entegre edilerek alttaki denklem elde edilir:[Cortes C. ve Gil A. 2007]

$$p(r) = p_0 + \frac{1}{2} \rho \Omega^2 r^2 \quad (4.2)$$

Burada $p_0 = p(0)$ siklon eksenindeki basıncı temsil eder. Benzer bir şekilde, dış bölge için de temiz kuralını uygularsak, serbest vorteks kuralı $v_t(r) = \Gamma/r$ burada $\Gamma = \text{sabit}$, integral sonucu;

$$p(r) = p_a + \frac{1}{2} \rho \Gamma^2 \left(\frac{1}{r_a^2} - \frac{1}{r^2} \right) \quad (4.3)$$

Burada r_a keyfi çaptır ve $p_a = p(r_a)$ dir. Her iki basınç ve hız kurallarını $r = r_a$ kabul ederek basitçe birleştirirsek;

$$\Gamma = \Omega r_a^2$$

$$p_a = p_0 + \frac{1}{2} \rho \Omega^2 r_a^2 \quad (4.4)$$

denklemlerini elde ederiz ve Eşitlik (4.4) i Eşitlik (4.3) da yerine koyarsak , dış basınç aşağıdaki denklem şeklini alır.

$$p(r) = p_0 + \frac{1}{2}\rho\Omega^2r_a^2 \left(2 - \frac{r_a^2}{r^2}\right) \quad (4.5)$$

Siklonlarda basınç kayıplarının tahmini kolay değildir. Genel denklemlerin analitik çözümü hemen hemen mümkün değildir. Bu açıdan araştırmacılar bir çok basitleştirici kabuller yanında deneysel verilerden de yararlanarak çözüm üretmeye çalışmışlardır.

Çizelge 3 'te değişik araştırmacılar tarafından önerilen basınç kaybı bağıntıları verilmiştir. Bunlara ilave olarak Avcı ve Karagöz 'ün geliştirdiği bağıntı ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Siklonların giriş ve çıkış noktaları arasındaki basınç kaybı (ΔP) , aşağıdaki faktörlerden kaynaklanır;

1. Giriş borusundaki sürtünme kayıpları
2. Siklonun silindirik kısmına girişteki ani genişlemeden dolayı meydana gelen kayıplar,
3. Siklonun iç duvarlarındaki sürtünme kayıpları,
4. Siklonun içindeki türbülansdan dolayı meydana gelen kinetik enerji kayıpları,
5. Çıkış borusuna girişte ani daralmadan dolayı meydana gelen kayıplar,
6. Giriş ve çıkış boruları arasındaki seviye farklarından dolayı meydana gelen statik kayıplar,
7. Çıkış borusundaki sürtünme kayıpları.

Buradaki en kompleks formülasyon Barth'ın denklemleridir. Eşitlik 4.11 , teorik olarak siklon gövdesindeki kayıpları ifade eder. Eşitlik 4.12 ise tamamen deneysel olan dalma borusundaki kayıpları ifade eder. Bu denklemler çalışmanın ilerleyen bölümlerinde özellikle değerlendirme kısmında kullanılacaktır. Modelimizin etkinliği araştırmacıların denklemlerinin sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

Bu çalışmalara ilave olarak Avcı ve Karagöz modeli ve bunun üzerinde yapılan iyileştirme çalışmaları ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.2. Siklonlarda Basınç Kayıpları

Çizelge 3

Siklonlarda basınç düşüşünün cebirsel modelleri

Model	Eşitlik	Açıklamalar
<i>Shepherd ve Lapple (1939)</i>	$\xi g = \frac{16ab}{D_2^2}$	(4.6) Teğetsel giriş; N.Ş.A.
<i>Alexander</i>	$\xi g = 4,62 \left(\frac{ab}{D_1 D_2} \right) \left[\left(\left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{2\pi} - 1 \right) \left(\frac{1-n}{n} \right) + f_g \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{2n} \right]$	(4.7) Teğetsel giriş
	$f g = 0,8 \left[\frac{n}{n(1-n)} \left(\frac{4-2^{2n}}{3} \right) - \left(\frac{1-n}{n} \right) \right] + 0,2 \left[(2^{2n} - 1) \left(\frac{1-n}{n} \right) + 1,5(2^{2n}) \right]$	(4.8)
	$n = 1 - (0,67 D_c^{0,14}) \left(\frac{T}{283} \right)^{0,8}$	(4.9)
<i>Barth (1956)</i>	$\xi(\lambda = \lambda_g) = \left(\frac{ab}{\pi D_2^2 / 4} \right)^2 (\xi_b + \xi_e)$	(4.10)
	Siklon gövdesindeki kayıp;	
	$\xi_b = \frac{D_2}{D_1} \left(\frac{1}{\left(\frac{V_{ze}}{V_{te}} - ((H-S)/(0,5D_2)) \lambda \right)^2} - \left(\frac{V_{te}}{V_{ze}} \right)^2 \right)$	(4.11) 3.41 < K < 4.4
	Dalma borusundaki kayıp;	
	$\xi_e = K \left(\frac{V_{te}}{V_{ze}} \right)^{4/3} + \left(\frac{V_{te}}{V_{ze}} \right)^2$	(4.12)
<i>Muschelknautz ve Kambrock (1970)</i>	$\xi(\lambda = \lambda_g) = \left(\frac{ab}{\pi D_2^2 / 4} (\xi_b + \xi_e) \right)$	(4.13) Teğetsel ve döner giriş
	$\xi_b = \lambda \frac{A_s}{0,9V} \frac{\rho g}{2} (V_{tw} V_{te})^{1,5}$	(4.14) Barth model akış alanı
	$\xi_b = 2 + 3 \left(\frac{V_{te}}{V_{ze}} \right)^{4/3} + \left(\frac{V_{te}}{V_{ze}} \right)^2$	(4.15) Ortam P,T şartları
<i>Casal et. al. (1989)</i>	$\xi_g = 11,3 \left(\frac{ab}{D_2^2} \right)^2 + 2,33$	(4.16) Altı korelasyonun kar

Siklonda basınç düşüşü , siklon geometrisine , yüzey pürüzlülüğüne ve gaz sıcaklığı , giriş hızı ve katı yüklemesi gibi çalışma şartlarına bağlıdır. Bu çalışmada basınç düşüşünü lokal kayıplar ve siklon gövdesindeki sürtünme kayıpları olarak iki kısma ayırıyoruz .

Siklon içindeki akışı spiral akış borusu olarak incelersek, dış vorteksin girişindeki l uzunluğundan türetilen akış borusu diferansiyel elemanı dl deki sürtünmeye bağlı basınç düşüşü;

$$dp = \rho \frac{f}{D_{hl}} \frac{V^2}{2} dl \quad (4.17)$$

Burada f, D_{hl} ve V sırasıyla sürtünme katsayısı, hidrolik çap ve bu elemandaki akış hızıdır. Başlangıçta $a_0 \times b$ olan bu akış borusunun kesit alanı (örneğin, giriş alanı) akış yoluyla deformasyona uğrar. Bu yüzden, f , D_{hl} ve V nin hepsi l uzunluğunun fonksiyonlarıdır.[Avcı A. ve Karagöz İ., 2005]

Kestirme akışlar ve çıkış borusu ve dış vorteks arasındaki etkileşimler nedeniyle, akış borusu genişliğindeki (a) deformasyon akış yüksekliğinden (h) daha büyüyebilir. Akış yüksekliğinin hidrolik çap değişimi üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir olduğu kabul edilirse, $D_{hl} = D_h^2/D_{h0}$ yazmamız mümkündür, burada D_h girişteki hidrolik çaptır:

$$D_h = \frac{2bD_{h0}}{D_{h0}+b} \quad (4.18)$$

Sabit hızlanma şartları altında koni tepesindeki girişte a_0 dan a_3 e kadar olan akış genişliğindeki değişimleri incelerken, l nin bir fonksiyonu olan akış genişliğindeki değişim aşağıdaki doğrusal ilişkiye benzetilebilir.[Avcı A. ve Karagöz İ. 2005]

$$D_h = D_{h0} \left(1 + \frac{D_h - D_{h0}}{D_{h0}} \frac{1}{L_v} \right) = D_{h0}(1 - \alpha l_n) \quad (4.19)$$

burada $\alpha = (D_{h0} - D_h)/D_{h0}$, ve boyutsuz uzunluk $l_n = l/L_v$, ve L_v ise vorteks uzunluğudur.

Sürtünme katsayısı Reynolds sayısı ve yüzey pürüzlülüğünün bir fonksiyonudur. Koni tepesine doğru olan akış hızlanması sebebiyle , akış hızı , akış kesit alanı genişliği (a) küçüldükçe ve b yüksekliği sabit kaldıkça artar. Bu nedenle aV (veya $D_h V$) ve Reynolds sayısı sabit alınabilir. Reynolds sayısı sabit kabul edildiği sürece, sürtünme katsayısı , ortalama değerler yardımıyla hesaplanır ve sabit çalışma şartlarında sabit kabul edilir. Buradan, eşitlik (4.17) şu şekilde yazılır:

$$dp = \rho R_0 \frac{D_{h0} V^2}{D_h^2} dl_n \quad (4.20)$$

Burada $R_0 = f_0 L_v / D_h$ sürtünme faktörü diye adlandırılır.

Diğer taraftan , sadece akışın bir tarafı siklon cidarı tarafından sınırlanır. Bu nedenle akışkanın küçük bir kısmı dış vorteksten iç vortekse kaçır ve doğrudan çıkışa gider. Bu kestirme akış neticede dış vorteksin akış debisinde azalmaya sebep olur. Dış vorteksin herhangi bir pozisyonundaki akış debisi l nin iç akış debisine oranı hidrolik çap hesaba katılarak şu şekilde yazılabilir.

$$\frac{Q}{Q_0} = \left[\frac{D_h}{D_{h0}} \right]^{(R_0/\alpha)} \quad (4.21)$$

Eşitlik (3.8) yi Eşitlik (4.21) de yerine koyarsak şu denklemi verir;

$$\frac{Q}{D_h} = \frac{Q_0}{D_{h0}} (1 - \alpha l_n)^{-(1 - \frac{R_0}{\alpha})} \quad (4.22)$$

Bu eşitlik , Eşitlik (4.20) de yerine koyulursa ve girişte $Q_0 = D_{h0} b V_0$ akış debisi ve $Q = D_h b V$ kullanılarak , aşağıdaki denklem elde edilir.

$$dp = \rho R_0 \frac{V_0^2}{2} (1 - \alpha l_n)^{-(3 - \frac{2R_0}{\alpha})} dl_n \quad (4.23)$$

Bu eşitliği spiral akış borusunda girişten dış vorteks bitimine kadar entegre edilmesi sürtünmeye bağlı basınç düşüşünü verir;

$$\Delta p = \rho R_0 \frac{V_0^2}{2} \int_{l_n=0}^1 (1 - \alpha l_n)^{-(3 - 2R_0/\alpha)} dl_n$$

$$\Delta p = \rho R_0 \frac{V_0^2}{2} \left(\frac{1 - (1 - \alpha)^{-2(1 - R_0/\alpha)}}{2R_0 - 2\alpha} \right) \quad (4.24)$$

Sürtünme yüzeyi daha geniş olan dış vortekste , akış hızı iç vorteksten daha düşüktür. İç ve dış vortekslerin kendilerini aerodinamik olarak ayarladıkları düşünülür bu yüzden iç ve dış vorteksteki kayıplar eşitlenebilir. Koni tepesinden çıkışa kadar olan iç vorteksteki basınç kayıplarının dış vorteksteki basınç kaybı ile eşit olduğu kabul edilir. Bu nedenle teğetsel girişli bir vorteksteki basınç kayıp katsayısı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$K = \frac{2\Delta p}{0,5\rho V_0^2} = \frac{R_0}{\alpha - R_0} \left((1 - \alpha)^{-2(1-R_0/\alpha)} - 1 \right) \quad (4.25)$$

D_h cinsinden α , eşitlik (4.24) de yerine koyulursa denklem şu şekli alır;

$$\Delta p = \rho R_0 \frac{V_0^2}{2} \left(\frac{D_{h0} - D_h \left(\frac{D_h}{D_{h0}} \right)^{-2(D_{h0} - D_h - R_0 D_{h0}) / (D_{h0} - D_h)}}{(D_{h0} R_0 - D_{h0} + D_h)} \right) \quad (4.26)$$

$$\Delta p = \rho R_0 \frac{V_0^2}{2} \left(\frac{a_0 - a_0 \left(\frac{a_3}{a_0} \right)^{-2(a_0 - a_3 - R_0 a_0) / (a_0 - a_3)}}{(a_0 R_0 - a_0 + a_3)} \right) \quad (4.27)$$

Eşitlik 4.27 referans alınan modelin basınç kayıp denklemdir, referans alınan denklem ile revize edilen arasındaki farklar koyu renkle yazılan parametrelerdir.

Diğer taraftan, çıkış borusunun geometrisi basınç düşüşünü ve vorteks yapısını etkiler. Bundan dolayı, eşitlik (4.19) gerekli olan alt kısımdaki akış borusu genişliği (a_3) bu bağlamda hesaplanabilir. Alt kısımdaki vorteks dış çapı olan koni tepesinde akıştaki kesit alanı çapı D_3 e eşit değildir, ve D_2 , D_3 ve siklon yüksekliğinden etkilenebilir. Bundan dolayı , bu efektif çap D_2 ve D_3 ün $(L_0 - h)/L_0$ ile modifiye edilmesiyle geometrik bir anlam kazanır, şu şekilde gösterilir;

$$D_{3m} = \sqrt{D_2 D_3} \quad (4.28)$$

ve modifiye koni tepesi çapı diye adlandırılır. Alt kısımdaki akış genişliği a_3 ü $0.1 D_{3m}$ diye kabul edersek α katsayısı şu şekilde yazılır:

$$\alpha = 1 - \frac{0,1D_{3m}}{a_0} \quad (4.29)$$

Eşitlik (4.28) , Eşitlik (4.29) de yerine koyulursa ve a_0 yerine D_{h0} yazılırsa denklem D_3 ve D_h cinsinden şu şekli alır;

$$\alpha = 1 - \frac{0,1\sqrt{D_2 D_3}}{D_{h0}} \quad (4.30)$$

5. SIKLONLARDA TOPLAMA VERİMİ

5.1. Siklonda Parçacık Toplama

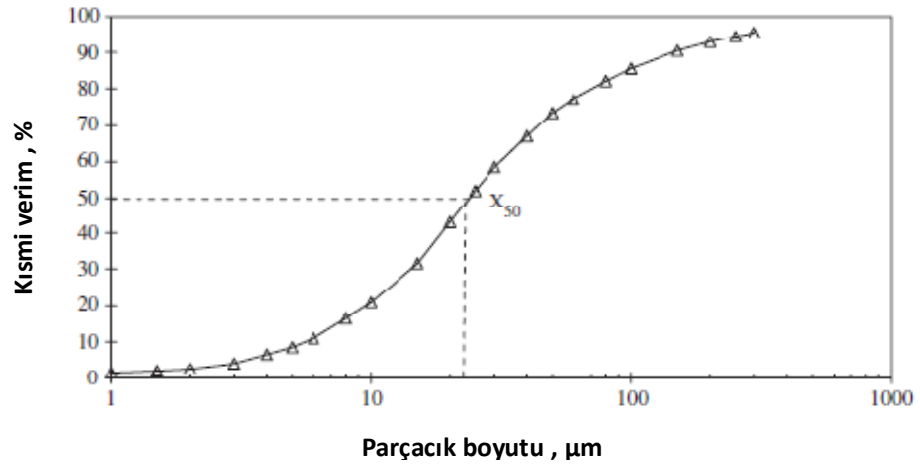
Siklonda parçacık toplama doğal olarak parçacıklara etki eden kuvvetlerin bir sonucudur , bu kuvvetler onları siklon cidarlarına iter. Literatür sürekli santrifüj , sürükleyen ve yerçekimsel kuvvetleri listeler fakat bunlara ek olarak , tam olarak anlaşılamayan veya ihmal edilen başka kuvvetler de olmalıdır, örneğin parçacık-parçacık ve parçacık cidar etkileşimleri, bunlar gerçek anlamda toplama prosesini etkiler.[Cortes C. ve Gil A. 2007]

Bir siklonun toplama kabiliyeti , ayrıştırılan giriş havasındaki parçacık oranı tanımlar. Bir siklon geniş bir boyut aralığına sahip parçacıkları topladığı sürece, değişik verimliliklerde çalışma normaldir, her bir verimlilik özel ve dar bir parçacık boyut aralığında tanımlıdır. Belirsiz küçük aralıkları hayal edersek, parçacık boyutu x için bölgesel veya sınıfsal olarak düşünebileceğimiz sürekli bir $\eta(x)$ fonksiyonu elde edebiliriz.[Cortes C. ve Gil A. 2007]

Verim η ile bağlantılı matematiksel bir bağıntı $\eta(x)$ i verir, eğer $f(x)$ siklon girişinde parçacık boyut dağılımıysa (PBD) , belli aralıkta toplanan parçacık oranı aşağıdaki gibi verilebilir;

$$\dot{\eta} = f(x)\dot{\eta}(x)dx \quad (5.1)$$

Bu aynı zamanda çok açık ki çok büyük parçacıklar sürekli ayrıştırılacaktır, halbuki çok küçük parçacıklar sürekli kaçacaktır. Eğer akışkan ve parçacıklı akış sürekli laminer ve düzgünse, bazı ortalama x boyutlu parçacıklarda ani bir kesinti (dilim) olacaktır, bu kesintinin sebebi parçacıkların ayıklanmaları vb. dir. Sonuç olarak, $\eta(x)$, $\eta(0) = 0$ ve $\eta(\infty) \rightarrow 1$ limitleri arasında Sigma fonksiyonunun genel bir şekline sahiptir. Sonra, d_{50} dilimi diye adlandırılan basit bir niteleme oluşur, bu dilim %50 verimle ayıklanan parçacık boyutudur, $\eta(50)= 0.5$, ve bu noktadaki verim derecesi eğrisinin eğimidir. Şekil 8 , siklon toplama verimi ile ilişkili grafiği verir.



Şekil 8. Karakteristik kısmi verim eğrisi

5.2. Toplama Verimi Modelleri

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

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

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

$$\eta_i = \frac{1}{1+(d_{50}/d_i)^m} \quad (5.2)$$

Burada farklı boyutlar d_i ve kısmi verim η_i dir. m üssü eğrinin eğimidir.

Cebirsel verim modelleri her iki sınıfa da uygundur. Prensip olarak, girişte Eşitlik (5.2) i integre etmek ve parçacığın cidara ulaşması için yeterli zamanı olup olmadığını görmek için bir fikir oluşturulabilir. Bunu tam olarak yapacak bir model ‘uçuş-zamanı’ diye adlandırılır. Başarılı çalışmalardan biri, ilk defa Barth tarafından yayınlanmıştır.[Cortes C. ve Gil A. 2007]

Lapple (1950) : Bu model, uçuş zamanı fikirlerinin en basiti olan çökelme odasında boyut belirleme metoduna benzerdir. İlk radyal pozisyon toz girişinin orta noktasıdır, $(b/2)$, giriş kesitindeki parçacık dağılımının homojen olduğu kabul edilir ve sabit bir teğetsel hız kullanılır. Bütün bu formülasyon verilen boyuttaki bir parçacığın cidara ulaşma zamanını hesaplamaya yarar. Parçacığın akışkan içinde bulunma süresi cidara ulaşma zamanına eşitse %50 verimlilikle toplandığı anlamına gelir, ve böylelikle parçacığın boyutu d_{50} dir.

Barth (1956) : Barth kavramı göreceli bir şekilde ortaya koyar; CS yüzeyinde radyal kuvvetler eşitliği etkisi altındaki bir parçacık, uygun şartlar olduğu sürece cidara ulaşma zamanının yarısında toplanır. Barth CS yüzeyinde kendi teğetsel hızını kullanmıştır. Bu metodu önemli bir parametre olan vorteks giriş çapına D_2 göre tanımlanmıştır; bu geometrik özellik siklon verimliliğini çok etkiler. Tam tersi, Lapple modelinde olduğu gibi genellikle uçuş-zamanı modellerinde sadece giriş hızı kullanılır; dolayısıyla bu önemli kapasiteden yoksunlardır.

Leith ve Licht (1972) : Bu model , verim oranı eğrisinin tamamını hesaplamaya izin veren uçuş-zamanı modelinin üzerinde durulmuş halidir. Buna göre, araştırmacılar tek parçacıklar yerine sürekli bir toz akışı üzerinde çalışmışlardır. Diğer önemli kabuller ihmal edilebilir radyal gaz hızı ve çap boyunca sabit parçacık konsantrasyonudur.

Verimden ziyade d_{50} çap hesabı yaygındır. Bu alanda yapılan çalışmalardan elde edilen bağıntıların bir kısmı Çizelge 4 ' te verilmiştir. İlave olarak Avcı ve Karagöz'ün kritik çap yaklaşımı ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 4

Siklonlarda toplama veriminin cebirsel modelleri

Model	Eşitlik	
<i>Lapple (1950)</i>	$d_{50} = \sqrt{\frac{9\mu_g b}{N_c^2 2\pi \rho_s v_i}}$	$N_c = \frac{h+(H-h)/2}{b} \quad (5.3)$
<i>Barth (1956)</i>	$d_{50} = \sqrt{\frac{9\mu_g D_e v_{re}}{v_{tw}^2 \rho_s}} \quad (5.4)$	
<i>Leith ve Licht (1972)</i>	$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{\rho_s}{9\mu_g} \left(\frac{2xv_i}{D_1}\right)^2 t_{res}\right] \quad (5.5)$	
	$t_{res} = \frac{V}{V'} \quad (5.6)$	

5.3. Toplama Verimi İçin Avcı ve Karagöz Modeli

Siklon verimi hesaplamasındaki problemlerden biri de siklonlardaki akış karakteri etkisidir. Genellikle, büyük siklonlarda akış türbülanslıdır ve farzedilen sürtünme faktörleri ve uygun gelen sonuçlar anlamlıdır. Fakat bu durum, hız , sıcaklık, basınç,viskozite ve siklon çapı gibi akış ve çalışma şartlarının daha önemli olabildiği küçük siklonlar için uygun değildir. Etkileri siklondan siklona değişiklik gösterebilir, Blachman ve Lippman modelindeki siklonlarda akış laminer , türbülanslı yada geçiş modunda olabilir. Başlangıçta türbülanslı olan akış daha sonra laminer olabilir, siklonda üç çeşit akış da oluşabilir. Saltzman ve Hochstrasser'a göre laminer akışta, çalışma şartları siklon verimliliğini türbülanslı durumdan daha çok etkiler. Akış rejiminin verim ve basınç kaybı üzerindeki etkilerinin tahminleri küçük siklonlarda çok zordur.[Avcı A. ve Karagöz İ. 2001]

Siklon gövdesi silindirik, eliptik veya farklı bir şekilde olabildiği için , siklonun eşdeğer çapı;

$$D_{10} = \frac{2D_1D_2}{D_1+D_2} \quad (5.7)$$

şeklinde tanımlanabilir. (Avcı ve Karagöz)

D_{01} ve D_{02} sırasıyla eliptik siklon gövdesinin birinci ve ikinci çaplarıdır. Konik parçaya bağlı olarak siklon çapının siklon boyunca değiştiği durumda, ortalama siklon çapı, D_L , eşdeğer çapın ve koni tepesi çapının, D_3 , bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir, öyleyse,

$$D_L = D_d \sqrt{D_{10} D_3} \quad (5.8)$$

burada boyutsuz çap D_d , yüksekliği L_0 olan ve yüzeyi siklonun sürtünme yüzeyine eşit olan silindir çapının D_{10} a oranıdır, ve aşağıdaki şekilde hesaplanır,

$$D_d = \frac{c}{L_0} + 0,5 \left(1 + \frac{D_3}{D_1}\right) 0,25 \left(1 - \frac{D_3}{D_1}\right)^2 \left(\frac{D_1}{L_0}\right)^2 + \left(1 - \frac{c}{L_0}\right)^2 \quad (5.9)$$

Girişte akış kesit alanı b yüksekliğine ve a_0 genişliğine sahiptir. Bu akış kesit alanı siklon çıkışındaki vorteks borusu geometrisine bağlı olarak deforme olabilir. Vorteks borusunun kısa olması bir kısım karışımın ana akıştan çıkışa kaçmasına sebep olur. Bu durumun etkisi akış kesit alanını genişletecek şekilde modellenilebilir. Bu yüzden, boyutsuz akış genişliğinin düzeltilmesi şu şekilde tanımlanmıştır;

$$a_d = \left[0,5 + 1,25 \frac{a_0}{D_d(D_{10} - D_2)} \sqrt[3]{\frac{b}{h}} \right] \quad (5.10)$$

Sürtünme direnci çıkış borusunun iç ve dış yüzeyleri tarafından artırılır. Bu etki, sürtünme yüzeylerinin boyutsuz ortalama çapının tanımlanmasında dikkate alınır, D_s

$$D_s = D_d + \frac{D_2}{D_{10}} \frac{h}{L_0} \quad (5.11)$$

D_d nin modifiye halidir.

Vorteks sayısı n , dış vorteksteki dönüş sayısıdır, aşağıdaki yarı-deneysel denklem sayesinde hesaplanabilir (Avcı,2000)

$$n = 0,38 \ln \left(\frac{D_3}{D_{10}} \right) \ln \left(\frac{L_0/D_{10}}{L_0/D_{10} - D_3/D_{10} + 1} \right) \quad (5.12)$$

Diğer önemli parametre de tahmini zor olan vorteks uzunluğudur. Çeşitli deneysel çalışmalardan vorteks uzunluğunun dış vortekste genellikle $3L_0$ ve iç vortekste biraz daha düşük olduğu bilinir. Bu yüzden, 2 çarpanı ortalama bir değer olarak kullanılabilir. Diğer taraftan, vorteks uzunluğu , koni ve çıkış borusu tarafından etkilenir. Sonuç olarak, vorteks uzunluğu basitlik açısından $L_v = 2D_d a_d L_0$ na benzetilir. Veya diğer bir yaklaşım ise eşitlik 5.13 te verilmiştir.

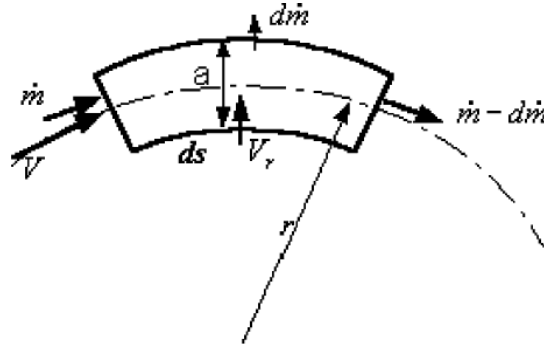
$$L_v = 1,5 a_d \frac{D_s}{D_d} L_0 = \pi D_d a_d n \quad (5.13)$$

$$L_v = \pi D_{10} D_d^2 n \quad (5.14)$$

D_1 ve D_2 sırasıyla eliptik siklon gövdesinin birinci ve ikinci çaplarıdır, Eşitlik (5.9) Eşitlik (5.8) de yerine koyulursa denklem şu şekli alır;

$$L_v = \pi \left(\frac{2D_1 D_2}{D_1 + D_2} \right) D_d^2 n \quad (5.15)$$

Akışkanın içindeki herhangi bir parçacık dış vortekste bir hızlanma hareketi içine girer. Herhangi bir parçacığın akışına eşit bir teğetsel hız bileşenine (V_t) sahip olduğu ve bu bağlı harekette sabit bir sürüklenme katsayısıyla akışa bağlı bir radyal hız bileşenine (V_r) sahip olduğu kabul edilir. [Avcı A. ve Karagöz İ. 2001]



Şekil 9. Parçacık kütle korunumu kontrol hacmi

V_t yaklaşık olarak V ye eşit alınırsa, parçacığa etkiyen kuvvetler dengesi şu denklemi verir (Avcı & Karagöz)

$$m_p \frac{V^2}{r} = C_D A_p \rho \frac{V_r^2}{2} + m \frac{V^2}{r} \quad (5.16)$$

m_p parçacık kütlesi, m ve ρ kütle ve parçacıkla aynı hacmi işgal eden akışkanın yoğunluğu, ve A_p parçacık kesit alanıdır.

Kontrol hacmine giren ikinci fazın kütlesi $m=abVC$ şeklinde yazılabilir ve dt zaman aralığında katedilen mesafe $ds=Vdt$ dir. Cidara ulaşan ikinci fazın kütle akış debisi, ayrıca kontrol hacminde ikinci faz kütle değişimine eşittir. Bu nedenle, kütle korunumu şu denklemlerle ifade edilebilir;

$$-\frac{dm}{m} = \frac{V_r}{a} dt \quad (5.17)$$

Parçacıklar için toplama verimi aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$\eta = 1 - \frac{m_0}{m_e} = 1 - \frac{C_0}{C_e} \quad (5.18)$$

Bu denklemde ; m_0 : giriş parçacık akış debisi (kg/s)

m_e : çıkış parçacık akış debisi (kg/s)

C_0 : giriş parçacık konsantrasyonu (kg/m³)

C_e : çıkış parçacık konsantrasyonu (kg/m³)

Eşitlik (5.18) entegre edilerek aşağıdaki denklem elde edilir;

$$\eta = 1 - \exp\left(-\left[\frac{4d}{3r_{or}C_D}\left(\frac{\rho_p}{\rho} - 1\right)\right]^{0,5} \frac{L_v}{a_{or}}\right) \quad (5.19)$$

Siklonlardaki en önemli parametrelerden biri %50 verimlilikle toplanan parçacık çapına karşılık gelen kritik çaptır. Kritik çap, (d_{50}) $\eta=0.5$ alınarak Eşitlik (5.19) den çıkartılabilir;

$$d_{50} = 0,36C_D \frac{\rho r_{or} a_{or}^2}{(\rho_p - \rho)L_v^2} \quad (5.20)$$

Önemli bir problem sürüklenme katsayısının tespitidir. Küresel parçacıklar için, $C_D = 0.44$ değeri $1000 < Re_r < 300000$ için ve $C_D = 0.1$ değeri $Re_r > 300000$ için kullanılabilir. Buna rağmen, parçacık Reynolds sayısı genellikle 1000 den küçüktür ve sürtünme katsayısı $Re_r < 1000$ şu şekilde hesaplanabilir ;

$$C_D = \frac{24}{Re_r} (1 + 0.15Re_r^{0,687}) \quad (5.21)$$

Diğer taraftan, özellikle küçük siklonlarda küçük parçacıklar için akış laminer kabul edilebilir. Laminer akışlar için, sürtünme katsayısı $C_D = 24/Re^k$ formülüyle hesaplanabilir. Burada k parçacık şekline bağlı sabittir.[Avcı A. ve Karagöz İ. 2001]

Eşitlik (5.16) ve (5.20) , $C_D = 24/Re_r = 24v / (dV_r)$ ile birlikte denklem yeniden düzenlenirse;

$$d_{50} = 2,5 \left(\frac{\rho V}{(\rho_p - \rho) C_{cu}} \right)^{0,5} \left(\frac{D_L a_{or}}{V L v_s} \right)^{0,5} \quad (5.22)$$

elde edilir.

Yine Eşitlik (5.8) , Eşitlik (5.14) ve Eşitlik (5.22) ile birlikte düzenlenirse , Stokes bölgesi için kritik çap boyutu aşağıdaki gibi elde edilebilir;

$$d_{50} = 4,46 D_{h0} a_d D_s \left(\frac{\rho V}{(\rho_p - \rho) C_{cu}} \right)^{0,5} \left(\frac{D_{h0} D_a^2 \pi}{V_0 L_v \sqrt{D_2 D_3}} \right)^{0,5} \quad (5.23)$$

$$d_{50} = 0,446 a_d D_s \left(\frac{\rho V}{(\rho_p - \rho) C_{cu}} \right)^{0,5} \left(\frac{\sqrt{D_3 D_{10}}}{V_0 D_{10} n} a_0 \right)^{0,5} \left(10 \frac{a_0}{D_3} \right)^{cs} \quad (5.24)$$

Eşitlik 5.24 referans alınan modelin kritik çap denklemidir, referans alınan denklem ile revize edilen arasındaki farklar koyu renkle yazılan parametrelerdir.

6. SONUÇLAR

6.1. Siklonlarda Basınç Kaybı ve Verim Tahmin Modellerinin Deneysel Verilerle Karşılaştırılması

Siklon dizaynında birden fazla parametre etkili olmaktadır. Bunlar ;

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

Geometrik parametrelerin yanında bu etkilerde önemlidir. Bazı çalışma şartlarında ciddi etkilere sahip olurken farklı çalışma şartlarında etkisiz görülebilir. Bütün parametreleri dikkate alarak analitik çözümler elde etmek mümkün olmadığından yaklaşık çözümler elde edilmektedir. Bu çözümler arasında seçim yapmak üzere deneysel sonuçlarla farklı çözümler arasında bir karşılaştırma yaparak en uygun çözümü belirleyerek optimizasyonda kullanmak üzere önce basınç düşümü ve sonra verimle ilgili çalışma bu kısımda yapılmıştır.

Basınç kayıpları;

Teğetsel girişli siklonda basınç düşüşünün ve toplama veriminin tahmini için Avcı ve Karagöz tarafından geliştirilen model ile dört farklı modelin çözümleri, geometrik oranları Çizelge 5 de listelenen 12 değişik siklon için yapılmış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5. Avcı ve Karagöz Modelinin 12 Farklı Siklon Modeli İçin Basınç Düşüş Katsayısı (K) Açısından Karşılaştırılması

Geometri	K	Barth	Lapple	Casal	Alexander	Avcı Karagöz
1	2,3 (Xiang)	1,2	4,1	3,1	2,8	3,15
2	4,6 (Patterson ve Munz)	3,3	8	5,2	5,9	6,23
3	24,2 (Lim)	9	23,5	26,7	15,3	24,37
4	6,7 (Lim)	0,4	2,2	2,5	1,5	7,07
5	9,8 (Obermaier ve Staudinger)	11,9	12,5	9,2	11,4	8,2
6	11,5 (Kim)	2,6	8,1	5,2	5,7	6,44
7	3,9 (Fassani ve Goldstein)	8,4	12,9	9,6	10,8	3,84
8	5,6 (Griffith ve Boysan)	4,5	6,4	4,1	5,1	5,75
9	3,4 (Kim ve Lee)	5,5	18	16,6	12,1	4,3
10	12,7 (Bohnet)	10,7	10,2	6,9	8,1	12,93
11	6 (Gupta)	3,4	8	5,2	5,6	5,85
12	11,6 (Gil)	14,8	15,8	13,4	13,7	8

Çizelge 5'teki karşılaştırmadan anlaşılın Avcı ve Karagöz modelinin 12 farklı geometri için karşılaştırıldığı Barth , Lapple , Casal ve Alexander modellerine göre çok daha iyi sonuçlar vermektedir.

Ele alınan Avcı ve Karagöz modelinde siklonun her bölgesinde önemli olan akış genişliği yerine hidrolik çap kullanılarak kritik çap ve basınç düşüşü eşitlikleri revize edildi. Bölüm 4.2 ve 5.3 de revize edilen eşitlikler ve ele alınan modelle arasındaki farklar verilmiştir.

Siklon verimi veya kritik çap tahmini;

Siklonlardaki tutma verimi sıcaklık ve basınç ile değişmektedir. Bu parametrelerin artırılması özellikle 10 µm' dan küçük partiküllerin tutma verimini etkilemektedir. Basınç arttıkça tutma verimi artarken, sıcaklığın artması ile verim azalmaktadır.

Çizelge 6. Avcı-Karagöz Modeli Kritik Çap Tahmininin Farklı Modellerle Karşılaştırılması

Siklon Tipi ve	<u>Modeller</u>				
	<u>Deneysel Veri Barth(1956) Leicht ve Licht (1972) Ioza ve Leith (1989) Avcı ve Karagöz (2003)</u>				
Kim					
ve Lee(1990)	2.90	2.00	0.80	1.40	2.60
Upton(1994)	1.45	1.90	0.70	1.30	1.40
Dirgo ve					
Leith (1985)	3.00	7.20	1.00	3.30	2.90
Bohnet(1995)	1.10	0.70	0.60	0.80	1.10
Xiang(2001)	2.36	1.72	2.30	1.24	2.38

Bu siklon çalışmalarından görüleceği üzere tahmin değerleri deneysel verilerle karşılaştırıldığında Avcı-Karagöz modeli diğerlerine göre daha başarılıdır. Bu sonuca göre gerek basınç düşüşü ve gerekse verim tahmini için bu modelin kullanılmasının uygun olacağına karar verilmiştir.

Modelin daha iyileştirilmesi açısından giriş genişliği ve çıkış parametreleri için farklı çözümler gözönüne alınarak Avcı-Karagöz modelleri revize edilmiş ve etkisi değerlendirilmiştir. Bu kısımda bu amaçla yapılan karşılaştırmalar verilmiştir.

İleriki aşamada modelimizin basınç düşüşü ve kritik çap tahmin denklemleri kullanılarak farklı parametrelerin etkileri incelendi. İncelenen parametrelerin artış ve azalışlarının etkileri de ayrıntılı olarak incelendi. Daha sonra seçilen bu siklon modelinde iki adet optimizasyon çalışması yapıldı. Optimizasyon sonuçları literatürde verilen deneysel verilerle karşılaştırıldı, artıları ve eksileri değerlendirildi.

6.2. Avcı ve Karagöz Modelinin ve Revize Edilen Modelin Deneysel Verilerle Karşılaştırılması

Karşılaştırma amacıyla, 15 m/s ortalama giriş hızıyla 305,205 ve 30,5 çapındaki Stairmand siklonu incelenmiştir. Modelde pürüzsüz yüzey kabullü test şartları uygulanmıştır. Çizelge 8 hesaplanan sonuçlar ve literatürde verilen deneysel değerler gösterilmiştir. Çizelge 8 'de görüldüğü gibi ortalama boyutlardaki siklonlarda modelin verim tahmini sadece %13'lük bir sapmaya sahiptir. Büyük ve küçük siklonlarda modelin tahmin kapasitesi yaklaşık %25-%30 'luk bir sapmaya sahiptir. Burada referans model daha başarılıdır.

Çizelge 7. Stairmand Yüksek Verimli Siklonu İçin Siklon Boyutunun d_{50} 'ye Etkisi

	d_{50} (μm)	Referans Model	Revize
	Literatür	(Avcı&Karagöz,2003)	Model
$D_1=305$ mm	3.0 (Dirgo&Leith)	2.9	2.27
$D_1=205$ mm	2.0 (Stairman)	2.5	1.74
$D_1=30,5$ mm	1.3 (Zhue ve Lee)	1.3	0.92

Ortalama giriş hızı çeşitli akışkan-siklon cidarı etkileşimleri akış rejimlerinde farklı etkiler gösterir. Boyut etkilerine benzer olarak , sürtünme faktörü giriş hızına bağlıdır ve kritik çapın tersine hızın kare köküyle değişiklik gösterir. Yüksek akış debisinde ve büyük parçacık çaplarında, sürtünme katsayısı sabit bir değere ulaşır , bu nedenle, giriş hız etkileri azalır. Çizelge 8, 305 mm çaplı Stairmand siklonu için , türbülanslı rejime sebep olan 5 farklı giriş hızında , hesaplanan sonuçların deneysel değerlerle karşılaştırılmasını gösterir. Revize modelin bulduğu sonuçları deneysel değerlerle karşılaştırırsak düşük hızlarda tahminin %30'luk sapmaya sahip iken , siklona giriş hızı arttıkça modelin verim tahmini iyileşerek yaklaşık %5 lik sapma değerine inmektedir. Referans modelde ise hata daha az olup sapma büyük hızlarda artmaktadır.

Çizelge 8. 305 mm Çaplı Stairmand Siklonu İçin Giriş Hızının Kritik Çap Boyutu Üzerindeki Etkisi

Hız (m/s)	d_{50} (μm)	Referans Model	Revize
	Literatür (Dirgo & Leith)	(Avcı&Karagöz,2003)	Model
5	6.0	6.0	3.98
10	3.8	3.8	2.81
15	2.8	2.9	2.27
20	2.1	2.4	1.99
25	1.8	2.1	1.78

Diğer bir karşılaştırma , laminer akışa tekabül eden 2.03,2.86 ve 4.25 m/s giriş hızlarındaki ve küçük boyutlu siklonda çalışan Kim ve Lee 'nin deneysel verileriyle yapılmıştır.

Çizelge 9. Kim ve Lee Modeli 31.1 mm Çaplı Siklon İçin Giriş Hızının Kritik Çap Boyutu Üzerindeki Etkisi

Hız (m/s)	d_{50} (µm)	Referans Model	Revize
	Literatür(Kim&Lee)	(Avcı&Karagöz,2003)	Model
2.03	6.2	6.4	6.7
2.86	5.0	5.0	5.78
4.25	2.9	2.6	2.7

Bu verilere bakıldığında referans modelin daha başarılı olduğu görülmektedir.

Diğer bir karşılaştırma Zhu ve Lee'nin deneysel verileri ile yapılmıştır. Bu deneyler 30.5 mm lik Stairmand siklonunda uygulanmıştır , ortalama giriş hızları 13.4-24.6 m/s arasında değişiklik göstermiştir. Deneysel sonuçlarla hesaplananlar arasında muhtemelen geçiş bölgesi akışı nedeniyle yüksek hız bölgesinde sapma artmıştır. Bu verilere göre düşük hızlarda referans model başarılı görünürken hız arttıkça revize model daha başarılı olmaktadır.

Çizelge 10. 30.5 mm. Çaplı Stairmand Siklonundaki Giriş Hızının Kritik Çap Üzerindeki Etkisi

Hız (m/s)	d_{50} (μm)	Referans Model	Revize
	Literatür (Zhue&Lee)	(Avcı&Karagöz)	Model
13.4	1.5	1.42	1.8
15.6	1.2	1.26	1.7
17.7	0.91	1.14	0.84
20.1	0.61	1.04	0.56
22.3	0.42	0.95	0.55
24.6	0.3	0.89	0.52

Buraya kadar verim açısından yapılan değerlendirmeye bu kısımda basınç kaybı ile devam edilecektir. İlk değerlendirme Parker ve Patterson 'un yaptığı deneysel çalışmalarla yapılmıştır.

Çizelge 11 . Parker'ın kullandığı deneysel parametreler

D_1 (m)	ρ (kg/m ³)	V (m/s)	a_0 (m)	b (m)	D_2 (m)	D_3 (m)	L_0 (m)	c (m)
0,058	2300	10	0,022	0,011	0,018	0,022	0,1	0,065

Çizelge 11 . Patterson'ın kullandığı deneysel parametreler

D_1 (m)	ρ (kg/m ³)	V (m/s)	a_0 (m)	b (m)	D_2 (m)	D_3 (m)	L_0 (m)	c (m)
0,102	3900	10	0,06	0,02	0,051	0,051	0,13	0,059

Çizelge 13. Parker ve Patterson'ın kullandığı boyutsuz siklon geometrileri

Geometriler	a/D_1	b/D_1	D_3/D_1	D_2/D_1	L_0/D_1	c/D_1	h/D_1
Geometri 1	0,5	0,25	0,25	0,5	3,98	1,06	1,99
Geometri 2	0,38	0,19	0,38	0,31	4,31	1,13	1,81

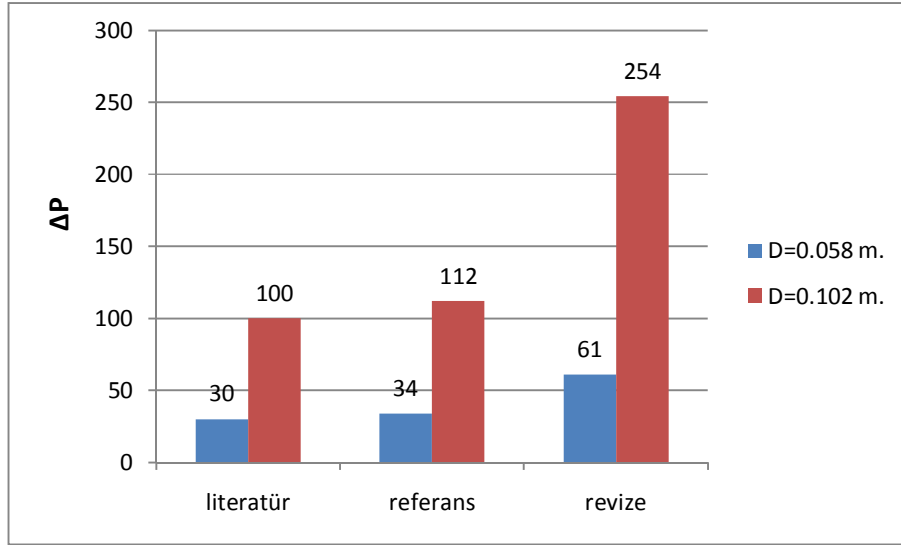
Çizelge 14.Revize basınç kaybı modelinin deneysel verilerle karşılaştırılması

Model	ΔP (Pa)	Revize Model	Revize Model	Referans Model
	Literatür	($a_3=0.1D_3$)	($D_1=0,1\sqrt{D_2D_3}$)	(Avcı&Karagöz,2003)
Parker ($D_c=0,058m$)	30	61	58	34
Patterson ($D_c=0,102m$)	100	254	256	112

Bu deneysel çalışmalar sırasıyla 58 mm ve 102 mm lik siklonlarda yapılmıştır. Deneysel çalışmada sıcaklıklar 293 K , parçacık yoğunlukları sırası ile 3900 kg/m³ ve 2300 kg/m³ dür. Güncel model , Parker'ın deneysel sonucuna daha yakın bir sonuçla tahmin imkanı sağlamıştır. Bu sonuca göre güncel modelin , daha küçük çaplı siklon

modellerinde gerçeğe daha yakın sonuçlar vermekte olduğu anlaşılmıştır. Fakat referans alınan Avcı&Karagöz modeline göre sapma oranı daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Parker'ın deneysel çalışmasında basınç düşüş katsayısı (K) 1,012 ve Patterson'ın deneysel çalışmasında ise bu değer 4,26 bulunmuştur. Bu sonuç basınç düşüş katsayısındaki değişiminin siklon çapının karesi ile doğru orantılı olduğunu gösterir, diğer bir deyişle siklon çapı iki kat artarken basınç düşüş katsayısı dört kat artmaktadır.



Çizelge 15. Deneysel, Teorik ve Güncel Modelin Farklı Çaplarda Basınç Düşüşü Tahminlerinin Karşılaştırılması

Yukarıdaki tabloda görülen daha küçük çaplı siklonda güncel modelin tahmin performansının daha iyi olduğudur.

Diğer bir deneysel karşılaştırma , siklona giriş hızı değişimine bağlı basınç düşüşünün deneysel verilerle modelin tahmin verilerinin karşılaştırılması şeklinde yapılmıştır. Deneysel verilerin alınmasında 154.05 mm. çaplı bir siklon kullanılmış. Deneysel çalışmalar yapılırken atmosfer basıncı 92.46 kPa , ortam sıcaklığı 293 K ve nem oranı da % 75 dir.

Çizelge 16 . Fassani ve Goldstein'in kullandığı deneysel parametreler

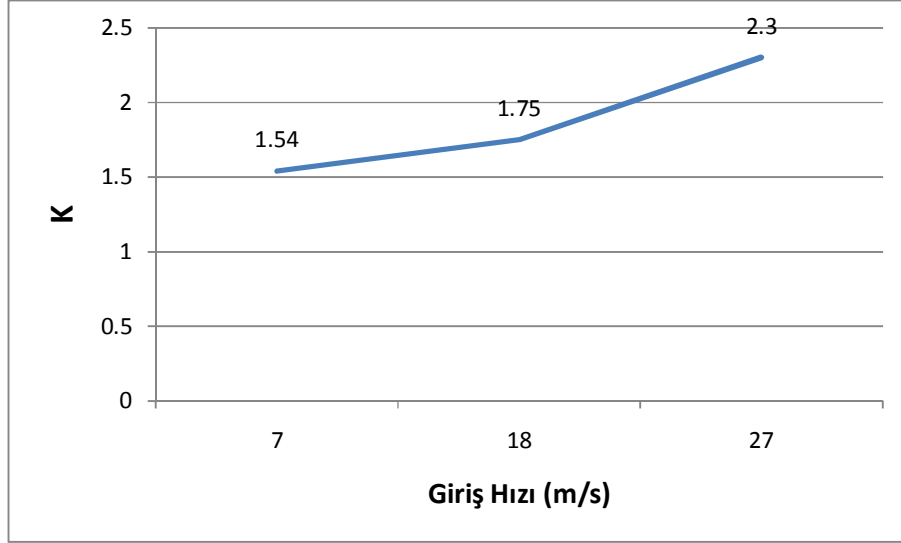
D ₁ (m)	ρ (kg/m ³)	c (m)	a ₀ (m)	b (m)	D ₂ (m)	D ₃ (m)	h (m)	L ₀ (m)
0,154	1310	0,21	0,021	0,048	0,035	0,076	0,052	0,55
		c / D ₁	a ₀ / D ₁	b / D ₁	D ₂ / D ₁	D ₃ / D ₁	h / D ₁	L ₀ / D ₁
		1,36	0,13	0,31	0,22	0,49	0,33	3,5

Çizelge 17 'da görüldüğü üzere 7 , 18 ve 27 m/s lik hızlar için ortalama basınç düşüşü 115 , 953 ve 1876 Pa olarak ölçülmüştür.

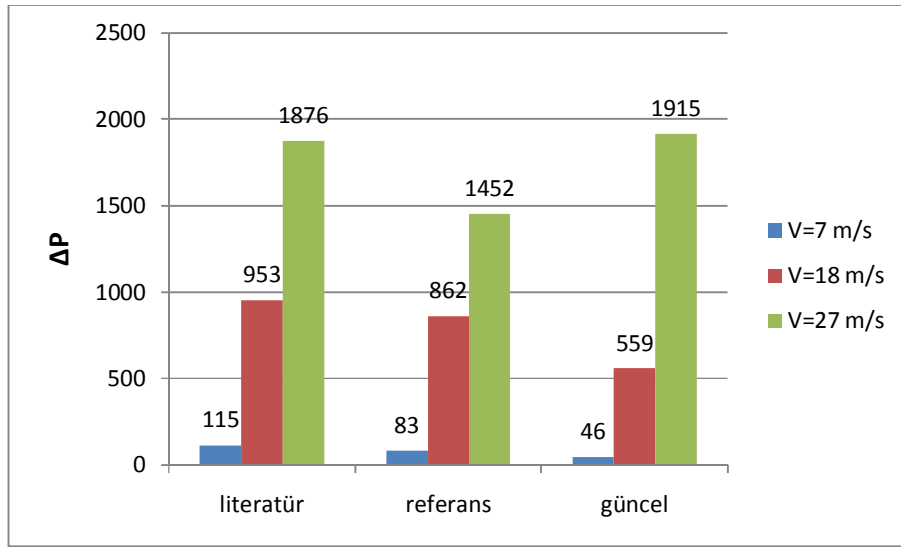
Çizelge 17. 154.05mm. çaplı siklonda giriş hızının basınç düşüşü üzerine etkisi

Giriş Hızı (m/s)	ΔP (Pa)	Revize Model	Revize Model	Referans Model
		(a ₃ =0.1D ₃)	(D _h =0.1√D ₂ D ₃)	(Avcı&Karagöz,2003)
<u>(Fassani&Goldstein) Literatür</u>				
7	115	46	56	83
18	953	559	1128	862
27	1876	1915	9226	1452

Parçacık yüklemesinin bir parametresi olan hızdaki değişimin basınç düşüşünü etkilediğini yukarıdaki tablodan çıkarabiliriz. Güncel modelin tahmin performansı deneysel verilere göre giriş hızı arttıkça iyileşmektedir. Siklona giriş hızı arttıkça basınç düşüşü de artmaktadır ve verilen herhangi bir hızda basınç düşüşü basitçe parçacık yüklemesine bağlıdır. Giriş hızı arttıkça referans alınan modele göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.



Çizelge 18. Giriş Hızının Basınç Düşüş Katsayısına Etkisi



Çizelge 19. Deneysel , Teorik ve Güncel Modellerin Farklı Hızlarda Basınç Düşüş Tahminlerinin Karşılaştırılması

Farklı bir çalışma da siklon yüksekliğindeki değişimin basınç kaybı üzerindeki etkilerinin deneysel çalışmalar ile güncel modelin karşılaştırılması şeklinde yapılmıştır. Deneysel veriler A.C. Hoffman tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır. Deneysel çalışmalar Perspex modeli ile yapılmıştır , parçacık boyutları 0.3 ile 60 μm arasında değişmektedir ve parçacık yoğunluğu 2730 kg/m^3 tür. Parçacık yüklemesi 1.6 ila 1.7 g

parçacık/m³ gaz aralığındadır , volümetrik akış oranı yaklaşık 390 m³/h tir ve giriş hızı 19 m/s olarak verilmiştir.

Çizelge 20 . Hoffmann'ın kullandığı deneysel parametreler

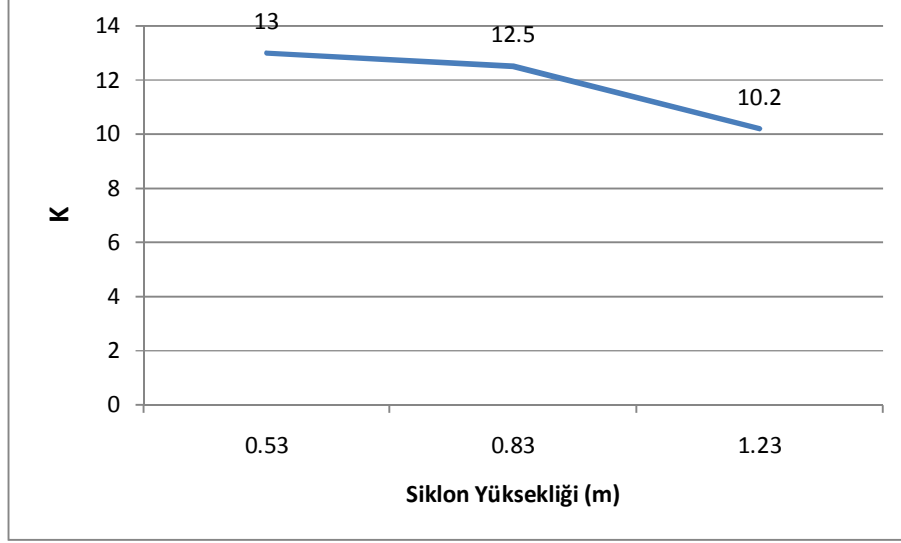
D ₁ (m)	V (m/s)	c (m)	a ₀ (m)	b (m)	D ₂ (m)	D ₃ (m)	h (m)	L ₀ (m)
0,2	19	0,14	0,114	0,05	0,065	0,011	0,41	0,53-0,83-1,23
		c / D ₁	a ₀ / D ₁	b / D ₁	D ₂ / D ₁	D ₃ / D ₁	h / D ₁	L ₀ / D ₁
		0,7	0,57	0,25	0,325	0,055	2,05	2,65-4,15-6,15

Çizelge 21. 200 mm. çaplı siklonda siklon yüksekliğinin basınç düşüşü üzerine etkisi

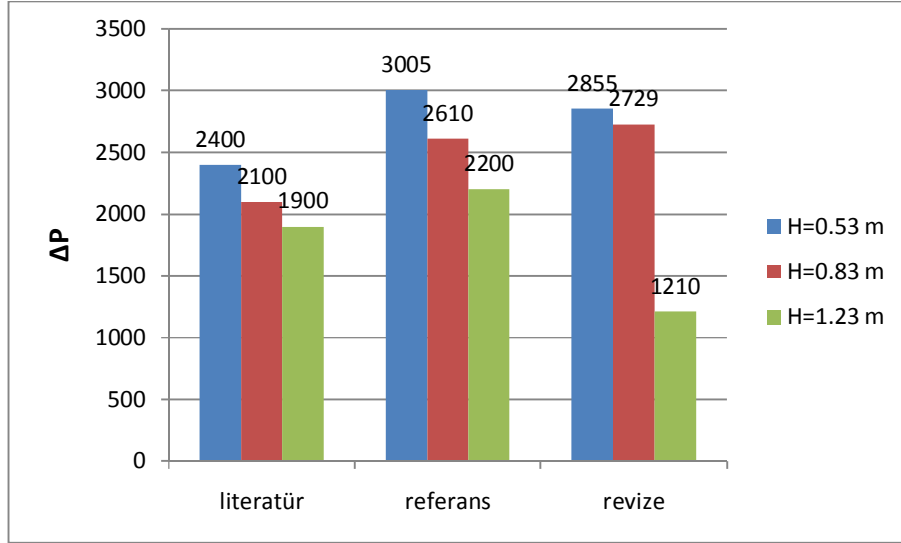
Siklon Yüksekliği (m)	ΔP (Pa)	Revize Model	Revize Model	Referans Model
	(Hoffmann) Literatür	(a ₃ =0.1D ₃)	(D _h =0,1√D ₂ D ₃)	(Avcı&Karagöz,2003)
0,53	2400	2855	1000	3005
0,83	2100	2729	1502	2610
1,23	1900	556	967	2200

Bu karşılaştırmada görülen güncel modelin , siklon yüksekliği azaldıkça yani kısa siklonlarda gerçeğe daha yakın değerler verdiği görülmüştür. Siklon yüksekliği azaldıkça güncel modelin basınç düşüşü tahmini deneysel verilere daha yakın sonuçlar vermektedir. Referans modele göre de siklon yüksekliği azaldıkça revize modelin basınç düşüşü tahmini iyileşmektedir.

Modelin hesapladığı verilere göre siklon yüksekliği üç kat arttıkça basınç düşüş katsayısı beş kat azalmaktadır.



Çizelge 22. Siklon Yüksekliğinin Basınç Düşüş Katsayısına Etkisi



Çizelge 23. Deneysel , Teorik ve Güncel Modellerin Farklı Siklon Yüksekliklerinde Basınç Düşüş Tahminlerinin Karşılaştırılması

Çizelge 25’da 12 farklı geometrik model ve farklı akış parametreleri için deneysel ve diğer araştırmacıların yaptığı çalışmalarla yapılan karşılaştırılmaya yer verilmiştir. Bu amaçla kullanılan siklonların geometrik oranları çizelge 24’te verilmiştir.

Çizelge 24. Modeli Test Etmek İçin Kullanılan Geometri Listesi

		D_1							
		(mm)	a_0/D_1	b/D_1	D_2/D_1	D_3/D_1	h/D_1	c/D_1	L_0/D_1
Geometry 1	31	0,16	0,4	0,5	0,63	0,5	1	2,5	
Geometry 2	102	0,25	0,5	0,5	0,25	1,06	2	4	
Geometry 3	46	0,13	0,26	0,15	0,15	1,5	1,5	2,15	
Geometry 4	46	0,13	0,26	0,5	0,15	1,5	1,5	2,15	
Geometry 5	400	0,25	0,44	0,38	0,45	0,45	1,5	2,48	
Geometry 6	60	0,17	0,33	0,33	0,16	0,58	2,33	2,83	
Geometry 7	154	0,14	0,31	0,23	0,49	0,34	1,36	3,57	
Geometry 8	305	0,2	0,5	0,5	0,38	0,5	1,5	4	
Geometry 9*	31	0,18	0,41	0,26	0,48	1,17	1,45	3,05	
Geometry 10	150	0,13	0,53	0,33	0,13	0,73	0,69	2,58	
Geometry 11	205	0,38	0,75	0,75	0,58	0,88	1,5	4	
Geometry 12	200	0,20	0,46	0,31	0,4	0,7	1,31	3,8	

Çizelge 25. 12 Farklı Siklon Modeli İçin Basınç Düşüş Katsayısı (K) Karşılaştırılması

Geometri	K	Barth	Lapple	Casal	Alexander	Avcı	Revize
						Karagöz	Model
1	2,3 (Xiang)	1,2	4,1	3,1	2,8	3,15	1,61
2	4,6 (Patterson ve Munz)	3,3	8	5,2	5,9	6,23	5,48
3	24,2 (Lim)	9	23,5	26,7	15,3	24,37	12,85
4	6,7 (Lim)	0,4	2,2	2,5	1,5	7,07	1,87
5	9,8 (Obermair ve Staudinger)	11,9	12,5	9,2	11,4	8,2	2,45
6	11,5 (Kim)	2,6	8,1	5,2	5,7	6,44	1,99
7	3,9 (Fassani ve Goldstein)	8,4	12,9	9,6	10,8	3,84	3,17
8	5,6 (Griffith ve Boysan)	4,5	6,4	4,1	5,1	5,75	5,75
9	3,4 (Kim ve Lee)	5,5	18	16,6	12,1	4,3	1,62
10	12,7 (Bohnet)	10,7	10,2	6,9	8,1	12,93	4,38
11	6 (Gupta)	3,4	8	5,2	5,6	5,85	4,62
12	11,6 (Gil)	14,8	15,8	13,4	13,7	8	14,7

Avcı ve Karagöz'ün çalışmasındaki en yakın tahmin % 0,7'lik hata payı ile 3 no'lu geometrinin tahminidir, tüm geometrilerin basınç kayıp katsayısı tahmini açısından hata oranı % 17,08 dir. Barth'ın en yakın tahmini % 15,75 'lik hata payı ile 10 no'lu geometrinin basınç kayıp katsayısı tahminidir, tüm geometrilerin basınç kayıp katsayısı tahmini açısından hata oranı % 51,27 dir. Lapple'ın en yakın tahmini % 2,89'lik hata payı ile 3 no'lu geometrinin basınç kayıp katsayısı tahminidir, tüm tüm geometrilerin basınç kayıp katsayısı tahmini açısından hata oranı %86,92 dir. Casal'ın en yakın tahmini % 6,12'lik hata payı ile 5 no'lu geometrinin basınç kayıp katsayısı tahminidir, tüm geometrilerin basınç kayıp katsayısı tahmini açısından hata oranı % 61,88 dir. Alexander'ın en yakın tahmini % 6,67 lik hata payı ile 11 no'lu geometrinin basınç kayıp katsayısı tahminidir, tüm geometrilerin basınç kayıp katsayısı tahmini açısından hata oranı % 61,16 dir.

Çalışmamızda Avcı ve Karagöz'ün çalışması üzerinden geliştirilen modelin en yakın tahmini % 2,68 hata payı ile 8 no'lu geometrinin basınç kayıp katsayısı tahminidir, tüm geometrilerin basınç kayıp katsayısı tahmini açısından hata oranı % 42,90 dır. Çalışma , üzerinde değişiklik yapılarak oluşturulan Avcı ve Karagöz'ün çalışmasına göre basınç düşüş katsayısı tahmini açısından hata oranı daha yüksek sonuçlar vermektedir , fakat karşılaştırılan modellere göre hala daha yakın sonuçlara ulaşmaktadır.

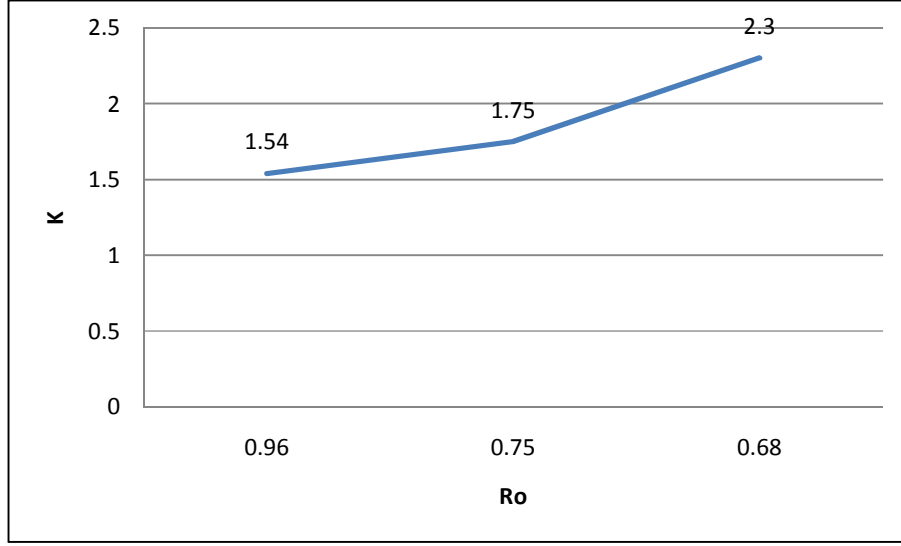
Çizelge 26. Akış Genişliğinin (a_0) Üç Farklı Şekilde Hesaplanmasının Basınç Düşüş Katsayısı (K) Üzerine Etkisinin 12 Farklı Deneysel Çalışmayla Karşılaştırılması

<i>Geometri</i>	<i>K</i>		<i>Revize Model ($a_3=0,1D_3$)</i>	<i>Revize Model ($D_h=0,1\sqrt{D_2D_3}$)</i>
1	2,3	(Xiang)	1,61	2.19
2	4,6	(Patterson)	5,48	6.32
3	24,2	(Lim)	12,85	58.78
4	6,7	(Lim)	1,87	1.85
5	9,8	(Obermair)	2,45	4.36
6	11,5	(Kim)	1,99	1.75
7	3,9	(Fassani)	3,17	6.55
8	5,6	(Griffith)	5,75	5.33
9	3,4	(Kim)	1,62	1.55
10	12,7	(Bohnet)	4,38	3.65
11	6	(Gupta)	4,62	3.78
12	11,6	(Gil)	14,7	18.52

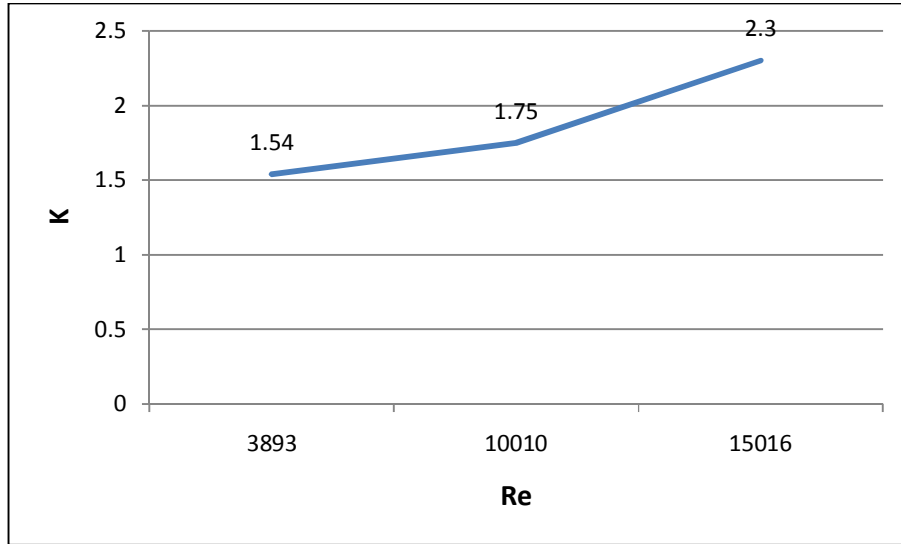
Çizelge 26 , iki farklı şekilde hesaplanan akış genişliğinin basınç düşüş katsayısı üzerindeki etkilerinin 12 farklı geometri için tahmin performansını göstermektedir. İlk modelde en yakın tahmin % 2,68 hata payı ile 8 no'lu geometrinin basınç kayıp katsayısı tahminidir, tüm geometrilerin basınç kayıp katsayısı tahmini açısından hata oranı % 42,90 dır. İkinci model % 4,78 'lik hata payıyla 1 no'lu geometriyi en hatasız tahmin eder, tüm geometrilerin basınç kayıp katsayısı tahmini açısından hata oranı % 57,74 dür.

Bu değerlendirmeden anlaşılan $a_3=0,1D_3$ modelinin diğer modele nazaran daha az hatalı sonuçlar vermektedir. Basınç düşüşü hesapladığımız çalışmada da bu modelin diğerlerine göre daha efektif sonuçlar verdiğini görmüştük, basınç düşüş katsayısı açısından yaptığımız değerlendirmede de benzer sonuca ulaşılmıştır

Diğer bir karşılaştırma basınç düşüm katsayılarının değişimi ile ilgili olup aşağıda verilmiştir.



Çizelge 27. Basınç Düşüş Katsayısının (K) Sürtünme Faktörüne (Ro) Bağlı Değişimi

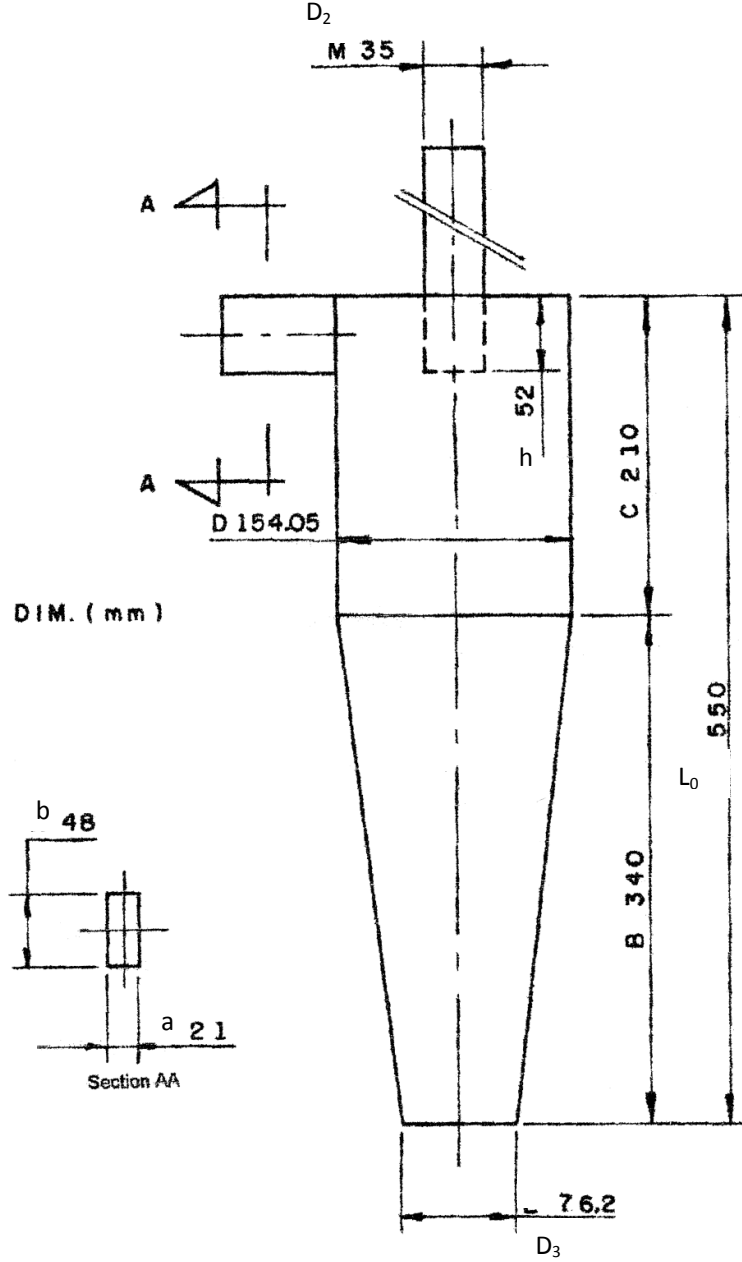


Çizelge 28. Basınç Düşüş Katsayısının (K) Reynolds Sayısı (Re) Bağlı Değişimi

Değerlendirilen deneysel çalışmalara göre yukarıdaki tablolar da ortaya çıkmıştır, ilkinde sürtünme faktörü Ro ' ın artışı ile basın düşüş katsayısının azaldığı görülmektedir. Çizelge 28 de Reynolds sayısının artışı ile basınç düşüş katsayısının arttığı görülmektedir. Benzer sonuca hız artışında da ulaşılmıştır.

6.3. Siklon Optimizasyonu

Optimizasyon çalışması yapılacak referans siklonun birincisi Fabio Luis Fassani ve Leonardo Goldstein'in çalışmasında değerlendirdiği siklondur. Siklon ebatları aşağıdadır.



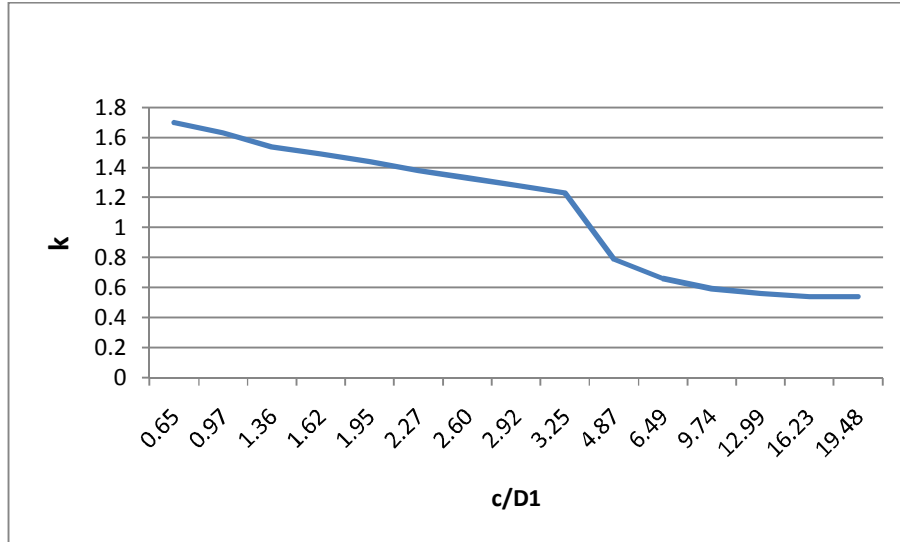
Şekil 10. Optimizasyon Çalışması Yapılan Siklon Ölçüleri

Deneysel verilerin alınmasında 154.05 mm. çaplı bir siklon kullanılmış. Deneysel çalışmalar yapılırken atmosfer basıncı 92.46 kPa , ortam sıcaklığı 293 K ve nem oranı da % 75 dir.

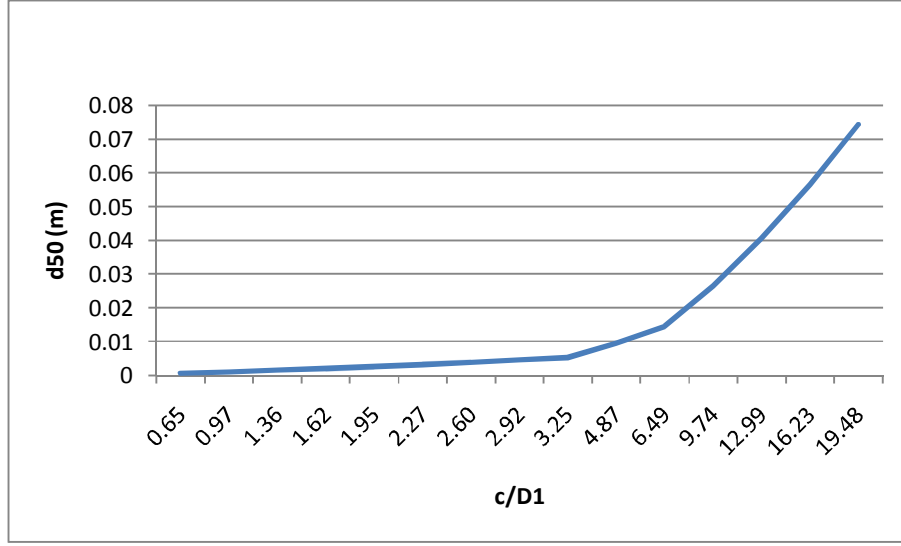
Çizelge 29 . Fassani ve Goldstein'ın kullandığı deneysel parametreler (2)

D_1	ρ_p	ρ	μ	V	a_0	b	D_2	D_3	h	L_0	c
m	kg/m ³	kg/m ³		m/s	m	m	m	m	m	m	m
0,154	1310	1,48	15	7	0,021	0,048	0,035	0,076	0,052	0,55	0,21
					a_0/ D_1	b/ D_1	D_2/ D_1	D_3/ D_1	h/ D_1	L_0/ D_1	c/ D_1
					0,13	0,31	0,22	0,49	0,33	3,57	1,36

İlk değerlendirilen ebat optimizasyonu silindir gövde yüksekliğidir. Konu edilen siklonun silindir gövde yüksekliği (c) 0,21 m dir.



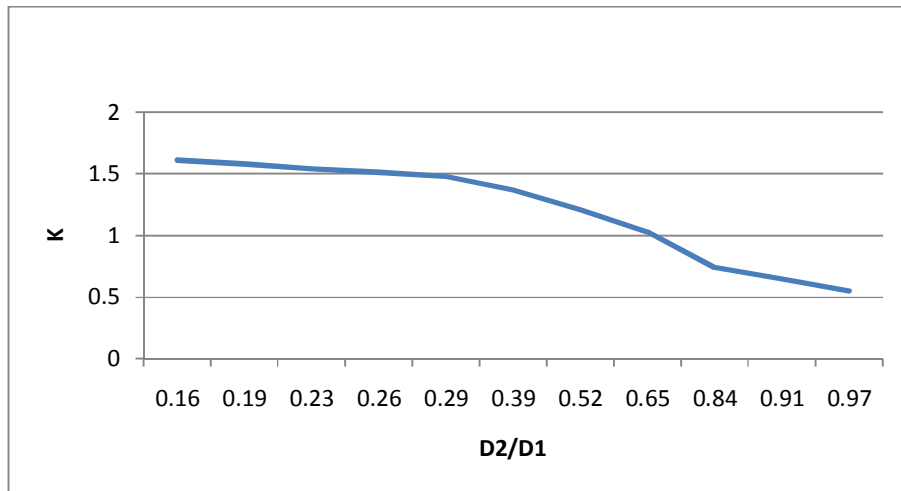
Çizelge 30. Silindir Gövde Yüksekliğinin Basınç Düşüşüne Etkisi



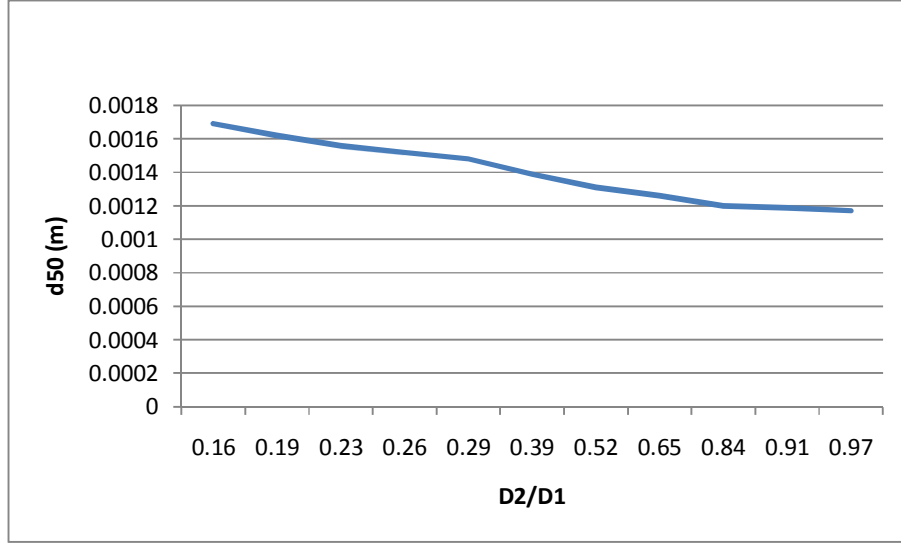
Çizelge 31. Silindir Gövde Yüksekliğinin Toplama Verimine Etkisi

Çizelge 30 ve 31 'da değerlendirilen siklon için silindir gövde yüksekliği 0,75 m üstü için basınç düşüşü parametresi iyileşmektedir, 0,75 altı için ise toplama verimi parametresi iyileşmektedir. Toplama verimi ve basınç düşüşü optimizasyonu için silindir gövde yüksekliğinin 0,75 ÷ 1 m arası olması gerekmektedir.

İkinci değerlendirilen parametre çıkış borusu çapıdır. (D_2) Deneysel siklonda çıkış borusu çapı 0,035 m. dir.



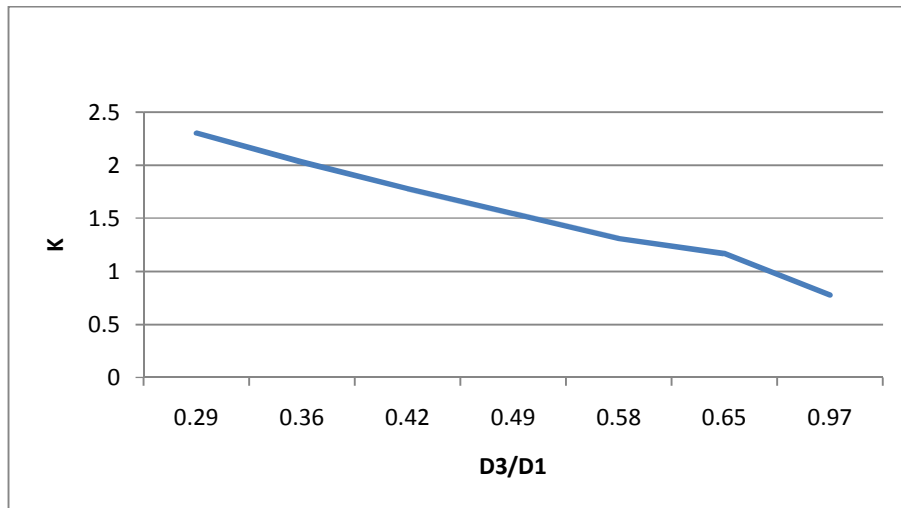
Çizelge 32. Çıkış Borusu Çapının Basınç Düşüşüne Etkisi



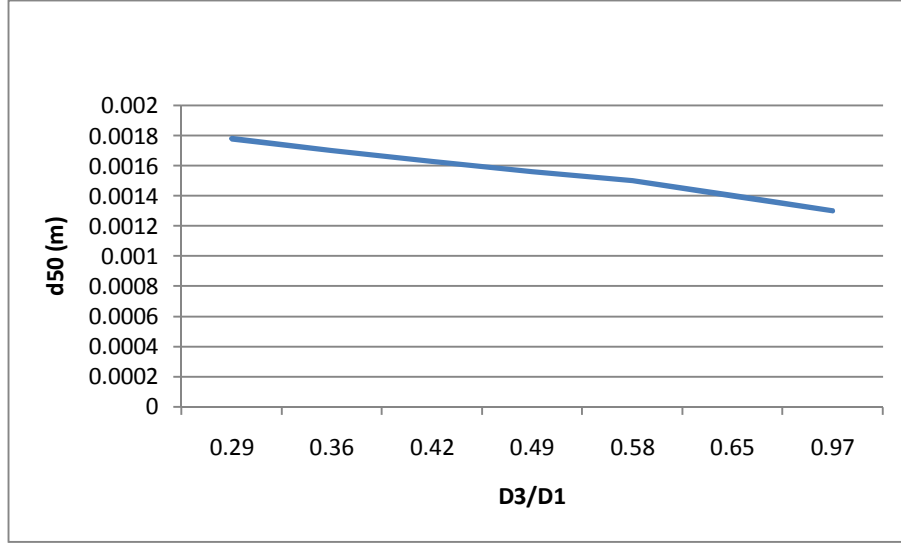
Çizelge 33. Çıkış Borusu Çapının Toplama Verimine Etkisi

Çizelge 32 ve 33 'da çıkış borusu çapı açısından değerlendirilen deneysel siklonda çıkış borusu çapı 0,13 m. ve üstü için basınç düşüşü iyileşmektedir, toplama verimi de aynı şekilde 0,13 m. ve üstü için iyileşmektedir. Her iki parametre açısından da çıkış borusu çapının 0,13 m. ve üstü için optimum verimi sağlamaktadır.

Değerlendirilen son parametre optimizasyonu koni tepesi çapıdır. (D_3) Deneysel siklonda koni tepesi çapı 0,076 m. dir.



Çizelge 34. Koni Tepesi Çapının Basınç Düşüşüne Etkisi



Çizelge 35. Koni Tepesi Çapındaki Değişimin Toplama Verimine Etkisi

Çizelge 34 ve 35 ' deki değerlendirmede basınç düşüşü ve toplama verimi açısından koni tepesi çapının 0,09 m. ve üstü için optimum değerleri vermekte olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki optimizasyon çalışması grafiklerle ve verilerle değerlendirildiğinde optimum siklon parametreleri aşağıdaki şekilde olmuştur.

	D_1	D_2	D_3	c	a_0	b	h	L_0	ΔP	d_{50}
Literatür (Fassani&Goldstein)	0.154	0.035	0.076	0.210	0.021	0.048	0.052	0.550	45.400	0.001568
optimizasyon	0,154	0,120	0.090	0.260	0.021	0.048	0.052	0.550	22.990	0.001556

Çizelge 36. Deneysel ve Optimize Edilen Siklon Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Deneysel çalışmada elde edilen 45,4 Pa basınç düşüşü siklon çıkış borusu çapının (D_2) % 243 büyütülmesi , koni tepesi çapının (D_3) % 18 büyütülmesi , silindir gövde yüksekliğinin (c) % 24 uzatılması ile 22,99 Pa indirilmiştir. Toplama verimi açısından da d_{50} 0,001568 mm.'den 0,001556 mm. 'ye düşürülmüştür.

	D_1	D_2/D_1	D_3/D_1	c/D_1	a_0/D_1	b/D_1	h/D_1	L_0/D_1	ΔP	d_{50}
Literatür (Fassani&Goldstein)	1	0,22	0,49	1,36	0,14	0,31	0,33	3,5	45.4	0.001568
optimizasyon	1	0,78	0,58	1,69	0,14	0,31	0,33	3,5	22.90	0.001556

Çizelge 37. Optimizasyon Parametrelerinin Boyutsuz Değerlendirilmesi

Yapılan optimizasyon ile basınç düşüşünde % 49 luk ve toplama verimi açısından da % 0,08 'luk iyileşme sağlanmıştır.

Bu yapılan optimizasyonda basınç düşüşünde ve toplama veriminde belli oranda iyileşme sağlanmıştır. Harcanan enerji açısından da değerlendirirsek;

$$N = \frac{(\Delta PQ)}{\eta} \quad (6.1)$$

$$N = \frac{(\Delta PV a_0 b)}{\eta} \quad (6.2)$$

Basınç kaybı ile harcanan enerjinin doğru orantılı olduğunu kabul edersek Eşitlik 6.2 den deneysel veri ile optimizasyon sonrası karşılaştırabiliriz. Yaptığımız optimizasyon çalışmasında giriş kesit alanı , hız ve debi deneysel çalışmada ve optimizasyon çalışmasında eşittir. Dolayısıyla basınç düşüşündeki iyileşme harcanan enerjide de aynı oranda iyileşme sağlayacaktır. Enerji harcamasında da basınç düşüşünde olduğu gibi %49 luk bir iyileşme sağlanmıştır.

Optimizasyon çalışmasının ikincisi A.C.Hoffmann'ın siklon üzerinde yapılmıştır.

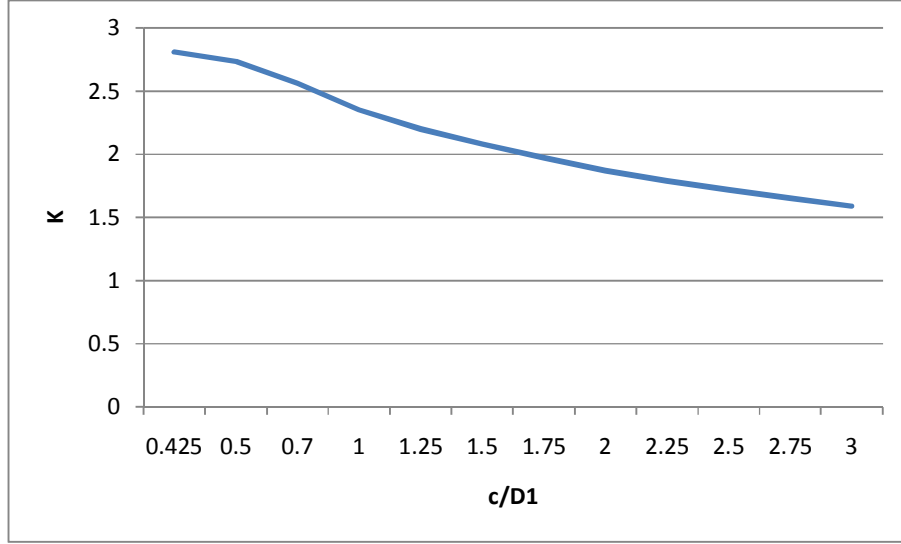
Deneysel verilerin alınmasında 200 mm. çaplı bir Perspex siklon kullanılmış. Deneysel çalışmalar yapılırken parçacık yoğunluğu (ρ) 1,7 g/ m³ , volümetrik akış oranı (Q) 390 m³/h ve giriş hızı (V_0) 19 m/s 'dir .

Çizelge 38 . Hoffmann'ın kullandığı siklona ait deneysel parametreler

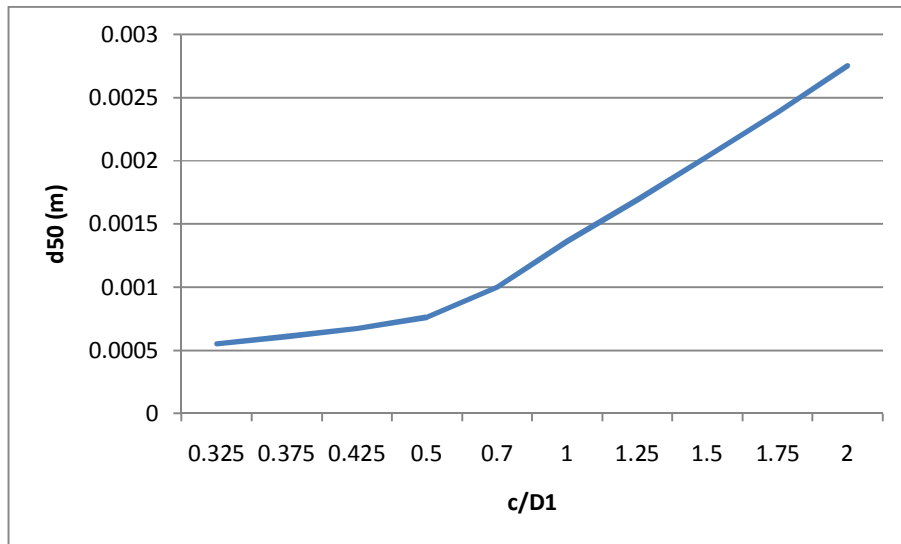
D_1	ρ_p	ρ	μ	V	a_0	b	D_2	D_3	h	L_0	c
m	kg/m ³	kg/m ³		m/s	m	m	m	m	m	m	m
0,200	2730	1,7	15	19	0,114	0,05	0,065	0,011	0,41	1,23	0,14

İlk olarak giriş genişliği optimizasyonu değerlendirilecektir. Deneysel siklonda giriş genişliği 0,114 m. dir.

İlk değerlendirilen ebat optimizasyonu silindir gövde yüksekliğidir. Konu edilen siklonun silindir gövde yüksekliği (c) 0,14 m dir.



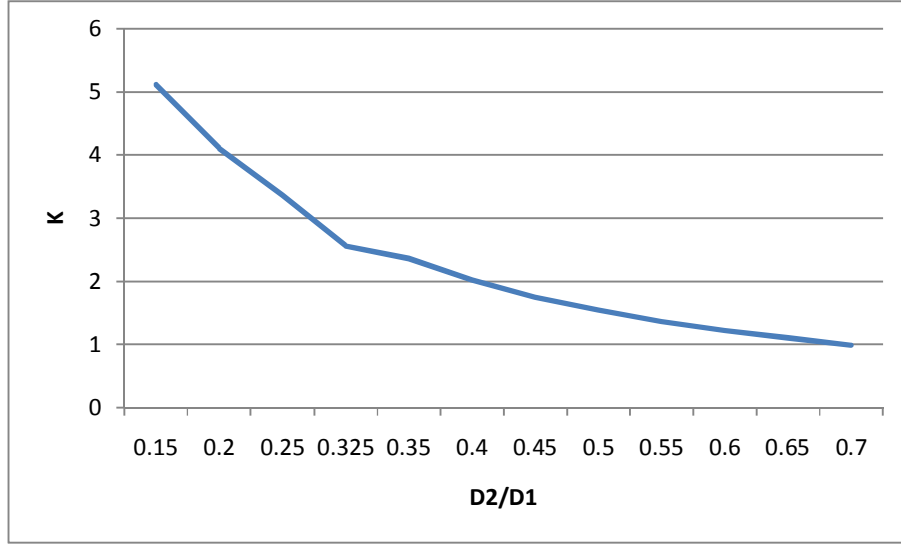
Çizelge 39. Silindir Gövde Yüksekliğinin Basınç Düşüşüne Etkisi (2)



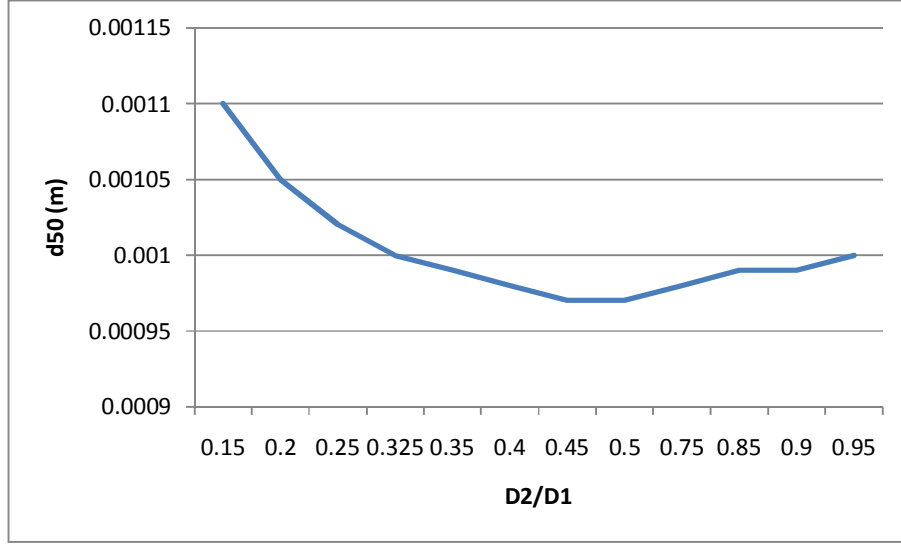
Çizelge 40. Silindir Gövde Yüksekliğinin Toplama Verimine Etkisi (2)

Çizelge 39 ve 40 değerlendirilirse ; silindir gövde yüksekliğinin 0,10 ila 0,20 m. arasında olması optimum verimi sağlayabilmektedir. Bu değerdeki artış basınç düşüşünü azaltmakta , azalışta kritik çap boyutunu azaltıp verimi artırmaktadır.

İkinci değerlendirilen parametre çıkış borusu çapıdır. (D_2) Deneysel siklonda çıkış borusu çapı 0,065 m. dir.



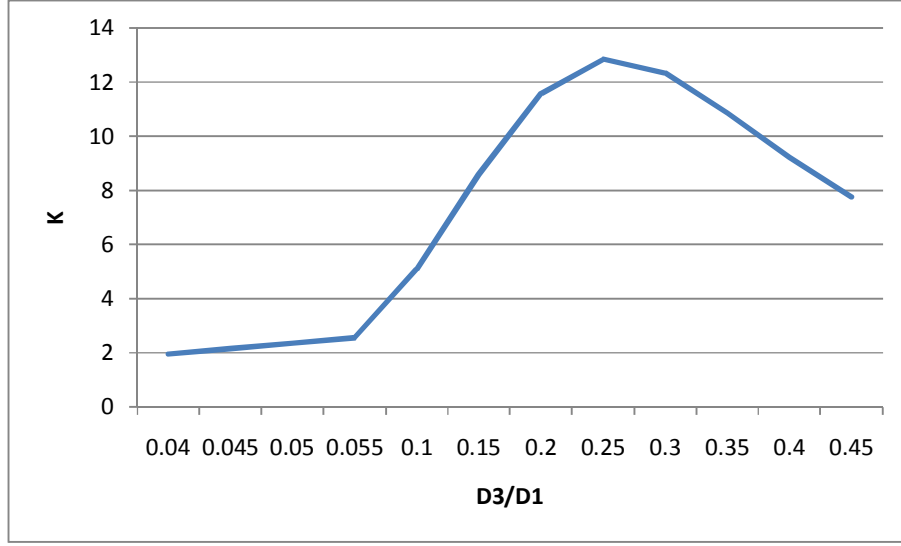
Çizelge 41. Çıkış Borusu Çapının Basınç Düşüşüne Etkisi (2)



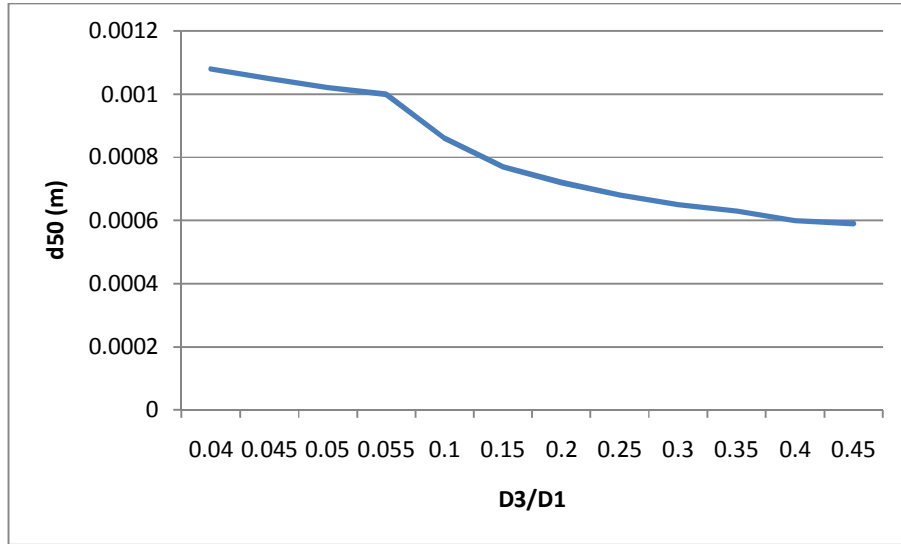
Çizelge 42. Çıkış Borusu Çapının Toplama Verimine Etkisi (2)

Çizelge 41 ve 42 değerlendirilirse ; çıkış borusu çapının 0,07 ila 0,17 m arası olması optimum verimi sağlamaktadır. Çıkış borusu çapı arttıkça basınç düşüşü azalmaktadır, kritik çap boyutu da çıkış borusu çapının artması ile azalmakta daha sonra da 0,1 m. değerinden itibaren artmakta ve verim azalmaktadır.

Değerlendirilen son parametre optimizasyonu koni tepesi çapıdır. (D₃) Deneysel siklonda koni tepesi çapı 0,09 m. dir.



Çizelge 43. Koni Tepesi Çapının Basınç Düşüşüne Etkisi (2)



Çizelge 44. Koni Tepesi Çapındaki Değişimin Toplama Verimine Etkisi (2)

Çizelge 43 ve 44 değerlendirilirse ; koni tepesi çapı 0,02 m. ve altı için basınç düşüşü parametresi azalmaktadır , 0,01 m. ve üstü için ise kritik çap boyutu azalmakta ve verim artmaktadır. Bu iki parametre açısından değerlendirildiğinde 0,01 ila 0,03 m. arasında olan koni tepesi çapı optimum verimi sağlamaktadır.

Yukarıdaki optimizasyon çalışması grafiklerle ve verilerle değerlendirildiğinde optimum siklon parametreleri aşağıdaki şekilde olmuştur.

	D_1	D_2	D_3	c	a_0	b	h	L_0	ΔP	d_{50}
Literatür (Hoffmann)	0.200	0.065	0.011	0.14	0.114	0.05	0.41	1.23	556.43	0.001000
optimizasyon	0.200	0.110	0.025	0.18	0.114	0.05	0.41	1.23	420.90	0.000979

Çizelge 45. Deneysel ve Optimize Edilen Siklon Parametrelerinin Değerlendirilmesi (2)

	D_1	D_2/D_1	D_3/D_1	c/D_1	a_0/D_1	b/D_1	h/D_1	L_0/D_1	ΔP	d_{50}
Literatür (Hoffmann)	1	0,325	0,055	0,7	0,57	0,25	2,05	6,15	556.4	0.001
optimizasyon	1	0,55	0,125	0,9	0,57	0,25	2,05	6,15	420.9	0.000979

Çizelge 46. Optimizasyon parametrelerinin Boyutsuz Değerlendirilmesi (2)

Deneysel çalışmada elde edilen 556.43 Pa basınç düşüşü çıkış borusu çapının (D_2) % 70 büyütülmesi , koni tepesi çapının (D_3) % 127 büyütülmesi , silindir gövde yüksekliğinin (c) % 28 uzatılması ile 420.90 Pa indirilmiştir. Toplama verimi açısından da d_{50} 0,001000 mm.'den 0,000979 mm. 'ye düşürülmüştür.

Yapılan optimizasyon ile basınç düşüşünde % 25 lik ve toplama verimi açısından da % 0,2 'luk iyileşme sağlanmıştır.

Aynı şekilde Eşitlik 6.2 deki iş denkleminde yararlanarak ilk optimizasyon çalışmamızda yaptığımız gibi basınç düşüşündeki iyileşmeyi enerji kazanımı ile doğru orantılıysak bu çalışmada da enerji harcamasında %25 lik bir iyileşme sağlanmıştır.

6.4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada teğetsel girişli bir siklon için geliştirilen basınç kaybı modelleri değerlendirilmiş ve bunlar arasında en başarılı model belirlenmiştir. Seçilen model referans alınarak bu model üzerinde iyileştirme yapılmıştır. Referans alınan modelde geometrik giriş şartlarından giriş genişliği (a_0) kullanılmış , modelin tahmin performansını iyileştirmek için bu çalışmada giriş genişliği yerine girdap boyunca akış geometrisini daha iyi simüle edengiriş hidrolik çap (D_h) tanımı kullanılarak model revize edilmiştir.

Genel olarak referans model revize modele göre daha başarılı sonuçlar vermekte ise de bazı akış rejimlerine bağlı olarak özellikle geçiş bölgesi civarında revize model daha başarılı görünmektedir.

Hızın etkisi ile basınç kayıpları belli hız bölgelerinde hızlı artarken diğer bölgelerde daha yavaş değişmektedir. Bunun sürtünme kayıp katsayısındaki değişimle ve geçiş bölgesiyle ilgili olabileceği düşünülmektedir. Benzer bir davranış kritik çap değişiminde de gözlenmektedir. Özellikle küçük siklonlarda ve düşük hızlarda referans modele göre revize model daha başarılı görünmektedir.

Geometrik oranlar açısından bakıldığında özellikle çıkış çapında bir ekstremum bölge göze çarpmaktadır. Diğer parametrelerde bu durum çıkış çapı kadar belirgin değildir.

Referans alınan siklon üzerinde farklı boyutlara göre yapılacak optimizasyon farklı optimum oranlar vermektedir. Dolayısıyla genel optimum siklondan ziyade çalışma ve sabit geometrik parametrelere göre farklı optimum siklonlardan bahsetmek daha doğru görünmektedir. Bu çalışmada iki farklı referans siklondan iki farklı optimum siklon tasarımı elde edilmiştir.

Çalışma parametreleri basınç kaybı ve verimi etkileyen parametreler olduğundan optimizasyon üzerine önemli etkiye sahiptir. Siklon büyüklüğü ve çalışma şartlarına bağlı farklı optimum değerler tanımlanabilecektir.

Kullanılacak matematik modellerde önemli etkiye sahiptir. Her bir modelin tahmin hassasiyet bölgesi farklı olduğundan sonuçlar üzerine önemli etkisi olacaktır. Bu çalışmada en uygun tahmin açısından avcı ve karagöz modelleri referans olarak alınmıştır. Bu modellerin zayıf görünen yönlerinde iyileşme yapılmışsa da bu iyileşme her alanda gözlenememiştir. Bu açıdan referans haliyle kullanılmasının daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte farklı modellerde farklı tanımlanan bazı parametrelerin ortak parametreye dönüştürülmesi yararlı olacaktır.

Bu çalışmadan anlaşılabilceği gibi siklonlarda optimizasyon ile performansında önemli iyileştirmeler sağlanabilir. Genel tanımlı siklonu her yerde kullanmak yerine uygulamaya uygun optimum siklon kullanımı özellikle enerji kayıpları açısından önemli kazançlar sağlayabilir.

KAYNAKLAR

ALEXANDER , R. 1949.Fundamentals of cyclone design and operation. Proc Australas Inst Min Metall;152: 203–28.

ALTMeyer , S. , MATHIEU , V. 2003. Comparison of different models of cyclone prediction performance for various operating conditions using a general software ; Chemical Engineering and Processing ; 00 (2003) 1-13

AVCI , A. , KARAGOZ , İ. 2001. Effects of flow and geometrical parameters on the collection efficiency in cyclone seperators; Journal of Aerosol Science, Pergamon;34:937-955

AVCI , A. 1985 . Hava kirliliğinde siklonların rolü ve baca gazını siklonla temizleme çabası ; Yüksek Lisans Tezi; İ.T.Ü

BARTH , W. 1956. Berechnung und Auslegung von Zyklonabscheidern auf Grund neuerer Untersuchungen. Brennst- Waerme-Kraft 8:1–9.

CORTES , C. , GIL , A. 2007. Modeling the gas and particle flow inside cyclone seperators , Science Direct, Elsevier; 33:409-452.

COŞAR , Ş. 2007 . Erdemir sinter ünitesi siklon tasarımı optimizasyonu; Yüksek Lisans Tezi ; Yıldız Teknik Üniversitesi

DIRGO , J. , LEITH , D. 1986. Design of cyclone separators. In: Cheremisinoff NP, editor. Encyclopedia of fluid mechanics, vol. 4—gas solid flows. Houston: Gulf Publishing Company;.

FASSANI F.L. , GOLDSTEIN L. 2000. A study of the effect of high inlet solids loadings on a cyclone separator pressure drop and collection efficiency ; Powder Technology ; 107 (2000) 60-65

GIL , A. 2000 .Experimental cold flow model of a PFBC primary cyclone. PhD thesis, University of Zaragoza, 2000.

HOFFMANN , A. , STEIN , L. 2002. Gas cyclones and swirl tubes. Principles, design and operation. Berlin: Springer,;

HOFFMAN A.C., DE GROOT M., PENG W., DRIES H.W.A., KATER J. 2001. Advantages and risks in increasing cyclone separator length ; ProQuest Science Journals ; (2001) 11-47

IVAREZ , M. , ANTHONY , E.J. editors. 1995 Pressurized fluidized bed combustion. Blackie Academic & Professional.

KARAGOZ , İ. , AVCI , A. 2005 . Modelling of the pressure drop in tangential inlet cyclone separators; Aerosol Science and Technology, 39:857-865

KIVANÇ , A. 2006 . Siklonlarda dip çıkış çapının akış parametrelerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi ; Yüksek Lisans Tezi ; Sakarya Üniversitesi

LEITH , D. , LICHT , W. 1972. The collection efficiency of cyclone type particle collectors—a new theoretical approach. AIChE Symp Ser;68:196–206.

MEISSNER , P. , LOFFLER , F. 1978. Zur Berechnung des Strömungsfeldes im Zyklonabscheider. Chem-Ing-Tech;50:471.

MOTHES , H. , LOFFLER , F. 1985. Motion and deposition of particles in cyclones. Ger Chem Eng;8:223–33.

OGAWA , A. 1984. Separation of particles from air and gases, I and II. Florida: CRC Press;

OGAWA , A. 1997. Mechanical separation process and flow patterns of cyclone dust collectors. Appl Mech Rev; 50:97–129.

REYDON , R. , GAUVIN , W. 1981. Theoretical and experimental studies in combined vortex flow. Can J Chem Eng;59:14–23.

REZNIK V. , MANTSEV , V. 1971 Comparing the characteristics of the elements in batteries of cyclones. Therm Eng;18: 34–9.

ROBERTSON , A. , FAN , Z. , GOLDSTEIN , H. , HORAZAK , D. , NEWBY , R. , BOSE , A.C. 2005. Second generation PFB plant with super critical pressure. In: Proceedings of International Pittsburgh Coal Conference.

TER LINDEN , A. 1949. Investigations into cyclone dust collectors. Proc Inst Mech Eng;160:233–51.

VENALAINEN , I. , PSIK , R. 2004. 460MWe supercritical CFB boiler design for Lagisza power plant. In: Proceedings of Power- Gen Europe,.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ufuk DEMİR
Doğum Yeri ve Tarihi : Balıkesir 23/09/1983
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Susurluk Anadolu Lisesi 1994-2001
Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Müh. 2001-2006
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Makine Müh. 2007-2011

Çalıştığı Kurum ve Yıl : BORÇELİK A.Ş. 2010 -
İletişim : udemir@borcelik.com

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	Ufuk DEMİR
Tez Adı	SİKLON AYIRICILARDA PERFORMANSIN TAHMİNİ VE OPTİMİZASYONU
Enstitü	FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Anabilim Dalı	MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Türü	YÜKSEK LİSANS
Tez Danışman(lar)ı	PROF. DR. ATAKAN AVCI
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	<input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimin sadece içindekiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	<input type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasının ertelenmesini istiyorum 1 yıl <input type="checkbox"/> 2 yıl <input type="checkbox"/> 3 yıl <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin vermiyorum

Hazırlamış olduğum tezimden belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dökümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih :

İmza :