

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KES İLETİMİNDE ALTERNATİF SİKLON KONSTRÜKSİYONLARININ
CFD MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Nurullah ÖZPOLAT
DANIŞMAN: Doç. Dr. Tamer UÇAR

VAN-2009

ÖZET

KES İLETİMİNDE ALTERNATİF SİKLON KONSTRÜKSİYONLARININ CFD MODELLEMESİ

ÖZPOLAT, Nurullah

Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Tamer UÇAR

Şubat 2009 , 59 Sayfa

Gaz-Katı faz ayırıcı siklonlarda ayırıcı performansın saptanmasına yönelik olarak , hava ile taşınan kes materyalinin siklonda ayrılması ve kes'in durutulması işlevine yönelik (Özkan, 2001) çalışmasında tasarım ve imalatı gerçekleştirilerek test edilen model siklon ile alternatif siklon konstrüksiyonlarının CFD simülasyonları oluşturulup karşılaştırması yapılmıştır.

CFD simülasyonları , geometri ve mesh için GAMBİT 2.3. , koşulları ve niteliği belirlenen akışkan koşulları ile katı parçacık tanımlamalarının yüklenmesi ve test sonuçlarını elde etmek için de FLUENT 6.3. programları kullanılmıştır.

Model siklona ilişkin geometrik boyutlar ve akış koşulları aynen oluşturularak bilgisayarda test edilmiştir. Ayrıca tasarlanan alternatif siklon geometrilerine ilişkin CFD test sonuçları ile de karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kes, Siklon, CFD, Akış

ABSTRACT

MODELLING (CFD) OF ALTERNATIVE CYCLONE CONSTRUCTION AT COPPED HAY CONVEYING

ÖZPOLAT, Nurullah

Msc, Mechanical Engineering Department

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tamer UÇAR

February 2009, 59 pages

In this project, CFD simulations of alternative cyclone constructions have been created and compared with the model cyclone which has been designed and tested by production at the project (Özkan, 2001) oriented towards determining the performance of separator at gas-solid phases separator cyclones, function of separating of chaff material that is carried with air at the cyclone and towards function of purifying the chopped hay.

GAMBIT 2.3 software has been used for CFD simulations, geometry, and for creating mesh. Also, FLUENT 6.3 software has been used for loading air-chaff two phased fluid which of conditions and attributes are predetermined and to get the test results.

Geometric dimensions and fluid conditions related to cyclone has been created exactly same and tested by computers. Furthermore, these dimensions and conditions are compared with the CFD test results related to geometrics of designed alternative cyclone.

Key Words: Copped hay, Cyclone, CFD, Fluid

ÖN SÖZ

Siklon ayırıcılar pek çok endüstriyel alanda başarı ile kullanılmaktadırlar. Yapısının basit, imalat ve kullanım maliyetlerinin ucuz ve verimlerinin yüksek olması artan bir kullanım sürekliliği sağlamaktadır

Mühendislik alanının en zor dallarından biri olan akışkanlar dinamiği'nde prototip ve test süreçlerini azaltmak, zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlamak amacıyla CFD (Computational Fluid Dynamic - Hasaplamalı Akışkanlar Dinamiği) kullanılmaktadır. CFD çözümlenmeleri gerçek test ve ölçümlerle oldukça örtüşmekte, son yıllarda hızla gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde diğer yöntemlere göre daha hassas ve güvenilir sonuçlar ortaya koyduğu kabul edilmektedir.

TÜBİTAK 108M179 nolu proje ile desteklenen bu çalışmada CFD çözümlenmelerini sağlamak amacıyla grafik simülasyon ve mesh için GAMBİT 2.3, akışkan davranışlarının sayısal verilerle elde edilmesi için de FLUENT 6.3 programları kullanılmıştır.

Bu çalışmamın her aşamasında yönlendiren, programların kullanımı konusunda derin bilgi ve deneyimini esirgemeyen, çok yoğun işleri arasında değerli vakitlerini ayırarak takıldığım, ilerleyemediğim ve hatta ümitsizliğe kapıldığım noktalarda problemleri aşmamı sağlayan, moral ve motivasyon desteğini her zaman sunan çok değerli hocam Doç.Dr. Sn.Tamer UÇAR'a içten şükranlarımı sunarım. Ayrıca tezimin yazımında ve yürütülmesinde her türlü desteğini sunan Y.Y.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekan Yardımcısı ve Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı Prof.Dr.Sn.Hasan YUMAK'a samimi ve içten tavrı dolayısıyla şükranlarımı sunarım.Tez sürecinde yoğun çalışmam dolayısıyla gereğince ilgilenemediğim değerli aileme katkıları ve sabırlarından dolayı minnettarım. Bu çalışmamın bu alana yönelik çalışmalara bir nebze de olsa ışık tutmasını, fayda sağlamasını ve faydalanılabilecek bir kaynak olmasını temenni ederim.

Nurullah ÖZPOLAT

İÇİNDEKİLER

	sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	4
2.1. Kes'in Tanımı ve Elde Edilmesi	4
2.2. Pnömatik Kes İletimi	5
2.3. Siklonun Geometrik Yapısı ve Fonksiyonu	6
2.3.1. Optimum siklon tasarımları ve performansları	7
2.3.2. CFD modelleme çalışmaları	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. Ayrıştırıcı Siklon Belirlenmesi	15
3.2. Katı Parçacık Belirlenmesi	17
3.3. GAMBİT 2.3 ve FLUENT 6.3 Programları	19
3.3.1. Gambit 2.3 programı	19
3.3.2. Fluent 6.3 programı	21
3.4. CFD Modellemeleri	23
3.4.1. Realizable $k-\epsilon$ Model	23
3.4.2. RSM Türbülans modeli	24
3.4.3. Kesikli ve sürekli faz model	26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	28
4.1. Siklon Geometrileri ve Grid Yapıları	28
4.2. CFD Simülasyonları İçin Akışkan Modellemeleri	30
4.3. Katı Parçacık Modellemesi	35

4.3.1. Materyalin sap ve yaprak kısımlarının davranışları	36
4.3.2. Materyalin kritik çapının belirlenmesi	39
4.4. Özkan Siklonu İçin Alternatif Hızlarda Katı Parçacık Modellemeleri	43
4.4.1. Sap ve yaprak kısımlar için simülasyonlar	43
4.4.2. Kritik çap simülasyonları	45
4.5. Kes Ayrıştırmasında Optimum Siklon Dizaynı	47
4.6. Uygulanan Akış ve Katı Parçacık Modellemelerinin Uygunluğunun İlgili Literatür İle Karşılaştırılması	52
4.6.1. Wang ve ark(2003) çalışması ile karşılaştırılması	52
4.6.2. Yoshida (1995) çalışması ile karşılaştırılması	53
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

	sayfa
Şekil 2.1. İmalatı yapılan siklon ayırıcı	8
Şekil 2. 2. Model Karşılaştırmaları	10
Şekil 2.3. Verimlilik eğrilerinin karşılaştırması	11
Şekil 2.4. Siklondaki parçacık davranışları	12
Şekil 2.5. $Z=0.4$ m, 180° teğetsel hızın nümerik ve teğetsel değerleri	13
Şekil 2.6. Hıza bağlı siklon verim eğrisi	13
Şekil 2.7. Siklonda farklı çaplardaki parçacık davranışları	14
Şekil 3.1. Teğetsel girişli gaz-katı faz ayırıcı siklon	15
Şekil 3.2. Teğetsel girişli siklonlarda geometrik parametreler	16
Şekil 3.3. Silindir hacmi oluşturma formu	20
Şekil 3.4. Hacimsel mesh formu	21
Şekil 3.5. Akışkan giriş koşulları belirlenmesi	22
Şekil 3.6. Parçacık özellikleri tanımlama	22
Şekil 3.7. Hava fazı ile bu faza ayrıca atılan parçacığın Isı, Kütle ve Momentum transferi.	27
Şekil 4.1. Özkan siklonunu için oluşturulan geometri ve grid yapısı	28
Şekil 4.2. Stairman high efficiency modeli için oluşturulan siklon geometri ve grid yapısı	29
Şekil 4.3. Kim and Lee modeli için oluşturulan siklon geometri ve grid yapısı	29
Şekil 4.4. Bohnet modeli için oluşturulan siklon geometri ve grid yapısı	30
Şekil 4.5. Özkan siklonunda X eksenine doğrultusunda, 180° kesitteki hız ve basınç konturları.	31
Şekil 4.6. Özkan siklonunda Y eksenindeki kesitte akışkan giriş yönüne göre hız	32
Şekil 4.7. Siklonda ve siklon kısımlarındaki hız dağılımları.	33
Şekil 4.8. Kesit alınan bölgenin konumu	34
Şekil 4.9. Konik alt gövde başlangıcı kesitlerde teğetsel hızlar	35
Şekil 4.10. Materyalin sap kısımlarının parçacık yörüngeleri ve zamansal konturları	37
Şekil 4.11. Materyalin yaprak kısımlarının parçacık yörüngeleri ve zamansal	37

konturları	
Şekil 4.12. Özkan siklonunda kes materyali için kritik çap simülasyonları	39
Şekil 4.13. Stairdman high efficiency siklonunda parçacık kritik çap simülasyonları	40
Şekil 4.14. Kim and Lee siklonunda parçacık kritik çap simülasyonları	40
Şekil 4.15. Bohnet siklonunda kes materyali için parçacık kritik çap simülasyonları	41
Şekil 4.16. Sap kısımların alternatif hızlardaki parçacık davranışları	43
Şekil 4.17. Yaprak kısımların alternatif hızlardaki parçacık davranışları	44
Şekil 4.18. 24m/s hızda kes materyali için kritik çap simülasyonları	45
Şekil 4.19. 30m/s hızda kes materyali için kritik çap simülasyonları	46
Şekil 4.20. 40m/s hızda kes materyali için kritik çap simülasyonları	46
Şekil 4.21. Kes ayrıştırması için geliştirilen siklon ve ölçüleri	48
Şekil 4.22. Sap ve yaprak kısımlara ilişkin parçacık simülasyonları	49
Şekil 4.23. Kes ayrıştırması için dizayn edilen siklonda kritik çap simülasyonları	50
Şekil 4.24. Parçacık davranışları	52
Şekil 4.23. 30m/sn hızda Kantoloam materyali ile yapılan simülasyon sonuçları	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

	sayfa
Çizelge 2.1. Diskli tip kıyıcıdan alınan örneklerin boyutsal analizi	4
Çizelge 2.2. Diskli tip ot kıyıcı makinada çıkış karakteristikleri	5
Çizelge 2.3. Çeşitli yem bitkilerinin pnömatik iletimi için kritik hız değerleri	6
Çizelge 2.4. D Çapına göre belirlenen optimum siklonların boyutsal oranları	9
Çizelge 2.5. Yoshida (1995), Kaya ve Karagöz (2007) ve Wang ve ark.(2003) siklonlarına ilişkin boyutsal oranlar	12
Çizelge 3.1. D çapına göre siklon boyutları	17
Çizelge 3.2. Kes materyalinin boyutsal tanımlama değerleri	19
Çizelge 4.1. Akışkan giriş hızlarına göre yakınsama tekrar sayıları	31
Çizelge 4.2. Siklon geometrilerinde akışkanın hız dağılımları	32
Çizelge 4.3. Siklon modellerinde dinamik basınç değerleri	34
Çizelge 4.4. Materyalin sap ve yaprak kısımlarına ilişkin CFD simülasyon sonuçları	38
Çizelge 4.5. Model siklonlarda alt gövde koniklik değerleri	38
Çizelge 4.6. Katı parçacıklarda kritik çap için CFD simülasyon sonuçları	42
Çizelge 4.7. Özkan siklonunda alternatif hızlardaki parçacık kritik çap CFD simülasyon sonuçları	47
Çizelge 4.8. Kes ayrıştırması için geliştirilen siklon boyutları	49
Çizelge 4.9. Model siklonlarda kritik çap ve basınç değerlerine ilişkin CFD simülasyon sonuçları	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	Siklon giriş uzunluğu (m)
a_1, a_2, a_3	Küresel tanecikleri düzeltme sabitleri
b	Siklon giriş genişliği (m)
B	Siklon alt çıkış çapı (m)
C_D	Sürüklenme katsayısı
$C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_1', C_2', C_\mu$	Ampirik sabiler
D	Siklon gövde silindir çapı(m)
Db	Siklon topama kabı çapı (m)
De	Siklon daldırma borusu çapı (m)
d_p	Parçacık çapı (m)
F	Momentum değişimi
G_b	Kaldırma kuvvetinden kaynaklanan türbülans kinetik enerji üretim terimi
G_k	Ortalama hız düşümlerine bağlı türbülans kinetik enerji terimi
h	Siklon silindirik gövde boyu (m)
H	Siklon boyu (m)
h_d	Dinamik basınç (kPa)
k	Türbülans kinetik enerjisi (m^2/s^2)
u	Akışkan hızı (m/s)
u_p	Parçacık hızı (m/s)
Q	Debi (m^3/h)
Re	Reynolds sayısı
S	Daldırma borusu siklon içi uzunluğu (m)
S	Parçacığın gerçek yüzey alanı (m^2)
s	Parçacık ile aynı hacme sahip bir kürenin yüzey alanı (m^2)

S_k, S_ε	Kullanıcı tanımlı kaynak terimler
V	Hız (m/s)
Y_M	Türbülans enerji yitim oranı
Zb	Siklon toplama kabı yüksekliği (m)
Γ_ε	Difüzyon terim
ϕ	Biçim faktörü
ε	Dissipasyon oranı
η	Verim
κ	Von Karman sabiti
μ	Akışkanın dinamik viskozitesi (Pa.s)
ρ	Akışkan yoğunluğu (kg/m ³)
ρ_p	Parçacık yoğunluğu (kg/m ³)
$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$	Prandtl sayıları

Kısaltmalar

CFD	Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
RSM	Reynolds Stres Model (Reynolds Gerilim Modeli)
DPM	Discrete Phase Model (Ayrık Faz Modeli)
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Kurumu
CPU	İşlemci

1. GİRİŞ

Siklon ayırıcılar iki fazlı akışlarda ve bilhassa endüstride önemli bir uygulama alanı olan partiküler gaz-katı akışlarda, katı parçacıkları ayırmak ve toplamak amacıyla sıkça ve başarı ile kullanılmaktadırlar.

Endüstride gaz siklonlar olarak da adlandırılan bu siklonların gövde kısmı içi boş bir yapıda olup, üst kısmı silindirik ve alt kısmı da koniktir. Siklona akışkan girişi genellikle gövdeye teğetsel konumdadır. Ayırılan havanın çıktığı aksel daldırma borusu üst kısımda yer alır. Alt kısımda ise katı parçacık çıkışı ve bu çıkışa bağlı toplama kabı mevcuttur. İmalat malzemesi olarak metal ve plastik malzemeler tercih edilmektedir. Yapısının basit, imalat ve kullanım maliyetlerinin düşük olması ve 5 µm den büyük katı partikül toplama verimliliğinin %99.5 'a kadar yükselmesi nedeni ile yaygın ve artan bir kullanım sürekliliğine sahiptirler.

Belirli bir hızda siklon içine gönderilen hava-katı faz akışkan, teğetsel girişin etkisiyle siklon içinde girdap oluşturur. Bu sayede siklon cidarına doğru artan ve siklon merkezine doğru da azalan bir teğetsel hız profili oluşur. Bu hız değerlerine bağlı olarak siklon içindeki akışkanda merkezkaç kuvvetler oluşur. Gaz-katı faz akışkanda oluşan sürtünme ve atalet kuvvetlerine bağlı olarak kinetik enerjilerini yitiren katı partiküller kütle ve ağırlığa bağlı olarak küçükten büyüğe doğru artan bir yoğunlukta ve verimde konik gövdeden kayarak aşağı toplanma kabına toplanırlar. Ayırılan hava ise daldırma borusundan çıkarak siklonu terk eder (Perdeci, 1992).

Literatürde siklonlarla ilgili yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazılarının konusunu, siklon içindeki akışkan davranışlarını analiz etmek amacıyla CFD modellemelerinin kullanılması oluşturmaktadır. Computational Fluid Dynamics (Hesaplama Akışkanlar Dinamiği), niteliği ve koşulları belirlenen bir akışkanın sınır koşulları belirlenmiş bir ortamdaki davranışlarını analiz etmek amacıyla bilgisayarların kullanılmasıdır. Akışkanlar mekaniği, mekanik bilim alanının en teorik ve modellenmesi en zor alanlarından biridir. Bu alanda ortaya konan ana denklemler ve formülasyonlara bağlı olarak yapılan hesaplamalar, geliştirilen CFD yazılımları sayesinde çok daha kısa sürede yapılır hale gelmiştir. Deneysel sonuçlarla da örtüşen CFD modellemeleri pek çok alanda yaygın bir kullanıma sahiptirler. Gelişen bilgisayar

teknolojisi sayesinde son zamanlarda CFD modellemeleri ile elde edilen çözümlerin ve alınan sonuçların doğruluğu ve güvenilirliği tartışılmaz durumdadır.

Bir CFD çözücüsü problemin gerçek geometrisini değil akış alanında oluşturulan mesh'leri tanımlayıp algılayabilir (Karakaş, 1998). Dolayısıyla mesh oluşturma işlemi CFD simülasyonlarında en önemli ve vazgeçilmez evredir. Oluşturulan sistem geometrisinin bir ağ yapısı içinde küçük parçacıklara bölünme işlemine mesh denir. Sistem için kullanıcı tarafından tayin edilen mesh sayısının CFD çözümlemesi için yeterli olup olmadığı yapılan testler ve nümerik sonuçlarla karşılaştırıldığında anlaşılabilir. Akışkan koşulları belirlenerek sisteme akışkan yüklendiğinde mesh'lerdeki akışkan davranışları kullanılan program yazılımına bağlı olarak sayısal veriler ortaya koyar. Bu sayısal veriler kullanılan programın özelliklerine göre değişik biçimlerde alınabilir.

Bu çalışmada, "kes" olarak isimlendirilen katı materyal, hayvancılıkta yem olarak kullanılan yonca ve korunga bitkilerinin kıyıcı makinada doğranması sonucu elde edilmektedir. Kes elde etmek için yaygın olarak kullanılan klasik ot doğrama makinalarının yanı sıra, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesinde prototip olarak kıyıcı makina da üretilmiştir. (Yumak ve ark.,2000). Kes materyalinin pnomatik iletim sonucunda havadan ayrılıp durtulması amacıyla siklonların kullanılması, hayvancılıkla uğraşan kesimde bilinmeyen bir yöntemdir. Bu amaçla Özkan (2001) yaptığı çalışmada, endüstride daha çok toz tutucu olarak kullanılan gaz siklonların, kes materyalinin pnomatik iletimi sonucu durutulması amacıyla da başarı ile kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Bu çalışmanın amacı, kes materyalinin havadan ayrıştırılmasında, belli hız aralığında kullanılacak en iyi performansa sahip siklon geometrisinin saptanmasıdır. Belirlenmiş standart optimum bir siklon modellemesi olmadığı, siklonlarda verimin siklon geometrisi yanı sıra akışkan koşullarına (giriş hızı, debi, parçacık yoğunluğu ve boyutları vb) bağlı olarak da değiştiği literatür bilgilerinden anlaşılmaktadır. Bu bilgiler ışığında, Özkan (2001) siklonu ile alternatif olarak optimum modellerden seçilen, Stairdman high efficiency, Bohnet ve Kim and Lee modellerinin kes ayrıştırmasındaki performansları bilgisayar ortamında simüle edilerek sonuçları itibariyle karşılaştırılmıştır. Alternatif siklon modellerinde, siklon gövde çapına bağlı oransal boyutların hesaplanmasında kes makinasının ürün çıkış karakteristikleri dikkate

alınmıştır. Özkan (2001) siklonunda alternatif hız kademelerinde deneyler gerçekleştirilerek katı parçacık davranışları karşılaştırılmıştır. Ayrıca kes ayrıştırması için optimum performans sağlayacak bir siklon tasarımı yapılarak diğer modellerle karşılaştırılmıştır. Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen çalışmalarda, grafik simülasyon ve mesh oluşturmak için GAMBİT 2.3 programı, akışkan ve katı parçacık modellemeleri için de CFD çözücüsü olarak FLUENT 6.3 programları kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

2.1. “Kes” in Tanımı ve Elde Edilmesi

Kaba yemlerin hayvancılıktaki önemi kesif yemlere göre oldukça fazladır. Üretim maliyetlerinin en önemli kısmını teşkil eder (Culpin, 1992; Kanafojski ve Karwowski,1976; Jekendra ve Singh,1991; Şahin,1999; Yumak ve ark.,1999; Soya ve Avcıoğlu, 1999). Kes, hayvancılık sektöründe otçul hayvanlara yönelik besin amaçlı olarak üretilen yonca, korunga ve diğer kaba yem bitkilerinin kıyılarak elde edilmesidir. Kıyım büyüklüğü, hayvan sindirim sistemi açısından oldukça kritiktir. Özellikle yaprak kısımları toz formuna gelecek kadar inceltilmemelidir (Minson, 1990; Kılıç,1997). Bazı durumlarda kaba yemler kıyılmaksızın da kullanılabilir. Ancak bu durumda hacim ağırlığı düşük olduğundan depolama için kapalı alanlar yetmez, çoğu kez açıkta depolama yapılır (Rider ve Barr,1976). Kes kıyıcı makinalarda elde edilen kesin istenen yere taşınabilmesi için akışkan olarak hava kullanılmaktadır. Hafif olması nedeniyle pnömatik iletme elverişlidir.

Çizelge 2.1. Diskli tip kıyıcıdan alınan örneklerin boyutsal analizi (Yumak ve ark,2000)

ÜRÜN ÇEŞİDİ	Çalışma Hızları(dev/dak)	SINIF ARALIKLARI				
		(0-1)cm	(1-4)cm	(4-7)cm	(7-12)cm	12<cm
YONCA	1450	0.527	1450	0.120	0.047	0.020
	1800	0.568	1800	0.223	0.220	-
	2150	0.418	2150	0.278	0.028	0.014
	2500	0.556	2500	0.157	0.010	-
KORUNGA	1450	*	*	*	*	*
	1800	0.375	0.300	0.275	0.450	0.010
	2150	0.463	0.248	0.256	0.018	0.015
	2500	0.537	0.247	0.170	0.100	-

*Aspiratörde tıkanma meydana geldiğinden sistem çalışmadı.

Kes elde etmek için yaygın olarak klasik tip kıyıcı makinalar kullanılmaktadır. Ancak bu makinalardan elde edilen kes'in bilhassa yaprak kısımları aşırı ufalanıp toz haline gelmektedir. Bu amaçla Yumak ve ark.(2000) kaba yem bitkilerinin istenilen

büyükliklerde doğranabilmesi amacıyla kıyıcı makinalar geliştirmişlerdir. Bu amaçla geliştirdikleri diskli tip kıyıcı makinadan alınan örneklerin boyutsal analizi çizelge 2.1 de, bu makinada yaptıkları ölçümler sonucu elde ettikleri hız, debi ve yoğunlukla ilgili bulgular da çizelge 2.2 de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Diskli tip ot kıyıcı makinada çıkış karakteristikleri (Yumak ve ark.,2000)

Tahrik Dönüsü (min^{-1})	Üfleç çıkışındaki			Yoğunluk (kg/m^3)	
	h_d (kPa)	V(m/s)	Q (m^3/s)	Yonca	Korunga
1450	0.37	24.9	0.41	70	66
1800	0.57	30.9	0.51	76	75
2150	0.79	36.3	0.60	82	83
2500	1.01	41.0	0.68	93	90

2.2. Pnömatik Kes İletimi

Kıyılan kes'in kıyıcı makinadan bir depoya üflenmesi veya belli bir yerde durultulması gerekmektedir. Bu amaçla yöntem olarak pnömatik iletim kullanılmaktadır. Uygun bir iletim ortamına hızlandırılarak gönderilen havanın, iletimi amaçlanan materyali taşıyarak iletmesi, katı materyaller için belirlenmiş kritik hız değerlerinin aşılması ile mümkün olmaktadır. Burada sözü edilen kritik hız, pnömatik iletimin sağlanabilmesi için aşılması gereken minimum hız limitini ifade etmektedir.

Evcim (1983) tarafından pnömatik iletimde çeşitli tip yem bitkileri ile ilgili kritik hız belirleme çalışmaları yapılmış, ancak yonca ve korunga kesi için kritik hız değerleri bulunmamıştır. Yıldız (1993) yaptığı çalışmada yonca ve korunga kesi'nin pnömatik iletiminde en az 16-18 m/s hava hızı gerektiğini belirtilmektedir. Çeşitli yem bitkilerinin pnömatik iletimi için gerekli kritik hız değerleri çizelge 2.3 de verilmiştir

Çizelge 2.3. Çeşitli yem bitkilerinin pnömatik iletimi için kritik hız değerleri
(Evcim,1991)

Materyal	Kritik Hız (m/s)
Buğday kesmiği	5.5-7.5
Buğday kavuzu	0.75-5.0
Küçük ot tohumları	4.5-5.2
50-100 mm uzunlukta buğday sapı parçaları	2.0-3.3
Arpa samanı	0.67-3.1
Yulaf samanı	0.74-3.86
Darı kavuzu	0.16-2.73
Yonca	-----
Korunga	-----

2.3. Siklonun Geometrik Yapısı ve Fonksiyonu

Siklon geometrik olarak içi boş formda, üst kısmı silindirik ve alt kısmı da konik yapıdadır. Genellikle teğetsel bir akışkan girişi,atta ayrıştırılan materyalin çıktığı alt çıkış ve üstte ise ayrışan havanın çıktığı daldırma borusu mevcuttur. Siklonlar işlev itibariyle gaz siklonlar ve hidrosiklonlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Gaz siklonlar, gaz akışkanı içinde siklona gönderilen katı partikülleri ve sıvı damlacıkları ayırmada kullanılırlar. Hidrosiklonlar ise sıvı akışkan ortamında siklona gönderilen katı parçacıklar ile akışkan ortamda farklı yoğunlukta bulunan sıvı damlacıkları ayırırlar. Gaz siklonlarda akışkan olarak genellikle hava kullanılırken, hidrosiklonlarda ise akışkan olarak genellikle su kullanılmaktadır. Ayrıca siklonların kurutucu olarak kullanıldığı da bilinmektedir. Karakaş (1998) yaptığı çalışmada trona minerelini su kullanarak çözelti haline getirmiş ve bir ön ısıtıcıda ısıtılan hava ile beraber kurutucu siklona püskürtüp desülfürizasyonunu sağlamıştır. Elde edilen ürün alt çıkıştan çıkarak toplama kabına giderken sisteme bağlı ikinci bir gaz siklonda ise sıcak hava ile beraber kurutucu siklonu terk eden daha küçük boyutlardaki ürün parçacıklarının ayrıştırılması sağlanmıştır.

Bir gaz siklonda katı parçacıkların ayrıştırılması, Özkoca (2001) çalışmasında şu şekilde açıklanmıştır. Hava- katı fazlı akışkan, giriş kısmından belli bir hız ve debide siklon içine gönderilir. Siklona giren akışkan yüksek teğetsel hızda bir girdap oluşturur. Bu teğetsel hız, gaz içinde sürüklenen parçaları silindirik gövde cidarına doğru büyük bir merkezkaç kuvveti ile savurur. Katı partiküllerde küçükten büyüğe doğru kinetik enerji kaybı gerçekleşir. Kütleli ve hacimsel olarak daha büyük partiküllerde enerji kaybı daha uzun sürede gerçekleşirken, küçük parçacıklar daha erken enerjilerini kaybederler. Siklon hava çıkış borusu alt ucundan itibaren ilerleyen girdap akışı, kademeli olarak merkezci bölgeye geçer ve bu andan sonra ters istikamette ilerleyerek hava çıkış borusu yardımıyla siklonu terk eder. Bu noktada enerjilerini çok erken yitiren 5 µm den küçük parçacıklar hava ile beraber hava çıkışından çıkarak siklonu terk ederler. Siklon duvarına savrulan katı partiküller türbülans akış ve yerçekimi etkisiyle konik alt gövde cidarından kayarak katı materyal çıkışına giderler.

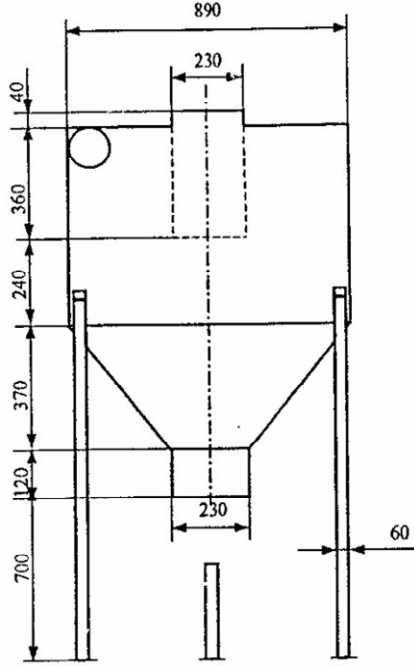
2.3.1. Optimum siklon tasarımları ve performansları

Belli bir iş için öngörölmüş standart bir siklon tasarımı yoktur. Siklon ana gövde silindir çapının tayini tasarımda başlangıç için belirleyicidir. Tasarlanan bir siklon için uygun çap, siklona giren akışkan yükü (Q) üzerinden veya deneyimlerden faydalanılarak belirlenir. Çap bulunduktan sonra diğer boyutlar çapa göre tayin edilir. Hacimsel akışın 20000 m³/h veya daha büyük olduğu durumlarda paralel çalışan birkaç siklon kullanmak, genellikle geniş bir siklondan daha iyidir. Büyük siklon çapı, verimi azaltmakta ve ayrıca yer sorununa neden olmaktadır (Özkoca, 2001).

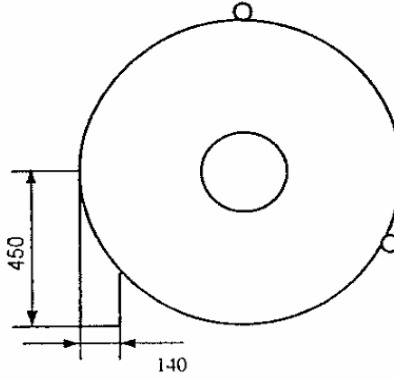
Özkan (2001), yaptığı çalışmada kes kıyım makinasının 1450, 1800, 2150 ve 2500 min⁻¹ devir sayılarında, siklona giriş hızlarına karşılık gelen sırası ile 25,31,36 ve 41 m/s hızlarında siklon verimini test etmiştir. Test sonuçlarına göre en ideal çalışma hızının 2150 min⁻¹ olduğu, ancak siklon giriş akışkan hızına göre imalatı yapılan siklon boyutlarının yetersiz kaldığı ve buna bağlı olarak da ortalama 0.032 kg/h küçük materyalin, ayrışmadan hava çıkış borusundan çıkarak siklonu terk ettiğini belirlemiştir. Bu çalışma hızına göre siklonun daha verimli olabilmesi için siklon boyutlarının orantılı olarak artırılması gerektiğini ifade etmiştir.

(Ölçüler mm olarak verilmiştir.)

Ön Görünüş



Üst Görünüş



Şekil 2.1. İmalatı yapılan siklon ayırıcı (Özkan, 2001).

Gimbun ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada Stairdman, Bohnet ve Kim and Lee siklonlarının boyutsal oranlarını karşılaştırmışlardır. Silindir çapına (D) göre siklon boyutları çizelge 2.4 de gösterilmiştir.

Burada, siklonun ana gövde çapı (D), siklon tam boyu (H), silindirik üst gövde boyu (h), dalma borusunun siklon içinde kalan kısmının boyu (S), dalma borusunun siklon dışında kalan kısmının boyu (a_d), dalma borusu çapı (D_e), alt çıkış çapı (B), giriş kısmının boyu (a) ve eni de (b) olarak gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. D Çapına göre belirlenen optimum siklonların boyutsal oranları (Gimbur ve ark. 2005)

Geometri	a/D	b/D	De/D	S/D	h/D	H/D	B/D
Stairmand High Efficiency	0.5	0.2	0.5	0.5	1.5	4	0.375
Kim and Lee cyclone I	0.33	0.225	0.257	1.157	1.447	3.05	0.482
Bohnet	0.533	0.133	0.333	0.733	0.693	2.58	0.333

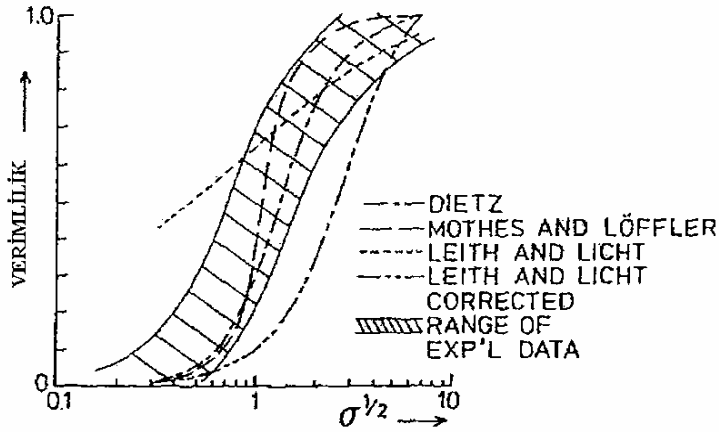
Kütükçeken (2001), yaptığı çalışmasında siklon verimlilikleri ile ilgili bazı literatür çalışmalarını aşağıdaki gibi sıralamıştır.

Salcedo, Stairmand tip siklonlarını kullanarak toplama verimliliklerini ve partikül boyutlarını dört modelin tahminleri ile kıyaslamıştır. Bu modeller ,Bart, Dietz, Leith modelleridir. Mothes ve Loffer 'in geliştirdiği teoriye göre siklonda çıkış rejimlerinin dikkate alındığı ve partiküllerin türbülans yayınımları ile ilgili olarak gerçekçi tahminlerde bulunduğunu ortaya koymuştur. Siklonun partikül boyut dağılımına dayalı ortaya konan verimlilik eğrilerinde iyi tahminler yapılabildiğini ortaya koymuştur.

Kim ve Lee , siklon duvarında oluşan sınır tabaka karakteristiklerine dayanan yeni bir verimli toplama modeli ortaya koymuşlardır. Türbülanslı kor rejimi ve duvar rejimi olmak üzere siklonu iki bölgeye ayırmışlardır. Türbülanslı kor rejiminde partikül hareketi, basitleştirilmiş geometride , sanki daimi sürüklenme ve türbülanslı gaz akış alanında olduğu kabul edilerek incelenmiştir. Ortaya konan modelde geometri, hız alanı ve partikül hareketi ile ilgili tanımlanmamış basitleştirmeler olsa da sınır tabaka etkisinin hesaba katıldığı modelin sonuçlarının toplama verimliliği tahmininde oldukça iyi sonuçlar ortaya koyduğu belirlenmiştir.

Clift , Ghaldiri ve Hoffman gaz siklonlarında partikül toplama verimliliğinin hesabında kullanılan Leith ve Licht modeli ile Dietz modellerini tekrar incelemişlerdir.

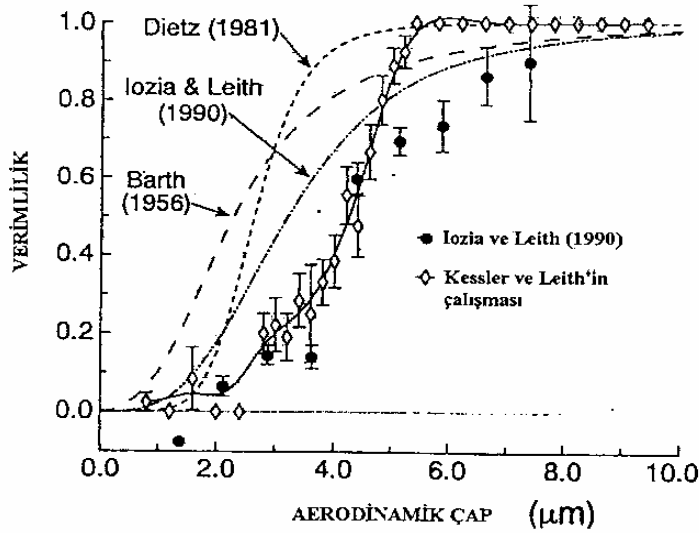
Leith ve Licht modelindeki partikül toplama oranı ile gazın siklon içindeki ortalama hareket zamanı ile ilgili zorlukları ifade etmekle birlikte çoğunlukla bu iki modeli savunmuşlardır. Dietz' in modelinde türev almadaki zorluklar giderilerek, bu modelin verimlilik eğrilerinin gerçekçi olduğu gösterilmiştir. Ayrıca bu iki model Mothes ve Loffer yaklaşımları ile de karşılaştırılmıştır. Şekil 2.2 de gösterilen verimlilik eğrilerinin karşılaştırmasında σ ifadesi vorteks korundaki siklon radyal kayma hızının vortex koruna giren gazın radyal hızına oranıdır.



Şekil 2.2. Model karşılaştırmaları (Kütükçeken, 2001)

Kessler ve Leith , Stairmand yüksek verimli siklonundaki gaz akışını hava ile aynı yoğunluğa sahip içi helyum doldurulmuş küçük baloncuklarla görsellemişlerdir. Baloncuklar modülasyonlu ark lambası kullanılarak aydınlatılmıştır. Bileşke akım borusu fotoğraflanarak teğetsel ve radyal hız bileşenlerini bulmak için analiz edilmiştir. Ölçümlerin kararsızlığını giderebilmek için radyal ve teğetsel hız profillerine düzgün bir eğri uygulanmıştır.

25 cm çapında ve 1cm uzunluğunda, saydam ve akrilik plastik malzemedan imal edilmiş siklonda ölçümler $0.0095 \text{ m}^3/\text{s}$ debisinde gerçekleştirilmiştir. Sage Action görselleme sistemi kullanılmış ve nicel hız ölçümü yapmak için yeterli akış detayı ortaya çıkmıştır. Bu modelin uygunluğu Barth, Dietz ve Loza ve Leith modelleriyle kıyaslanmıştır. Sonuçlar şekil 2.3 de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Verimlilik eğrilerinin karşılaştırması (Kütükçeken, 2001).

Loza ve Leith, ayarlanabilir giriş, çıkış uzunluk ve akış debisine sahip bir siklon geliştirerek, bu örnek siklonda akışın teğetsel hız profilini incelemişlerdir. Maximum teğetsel hızı ve iç korun uzunluğunu siklon boyutlarına göre, statik parçacık teorisiyle birlikte verimsel tahmin amacıyla kullanılmışlardır. Bu yaklaşımın verimlilikle ilgili literatürdeki Lapple, Barth, Leith ve Licht ve Dietz teorilerinden daha iyi sonuçlar elde edilmesini ifade etmişlerdir.

2.3.2. CFD modelleme çalışmaları

Literatürde bu alanda yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Bunlardan Yoshida (1995), Kaya ve Karagöz (2007) ve Wang ve ark.(2003) çalışmaları incelenmiştir. Bu çalışmalarda CFD analizleri yapılan siklonlara ilişkin geometrik boyutlar çizelge 2.5 de topluca gösterilmiştir. Bunlardan Yoshida (1995) ile Wang ve ark.(2003) çalışmalarında hava akışkanı ile beraber siklona gönderilen katı partikül simülasyonları gerçekleştirilerek sonuçları analiz edilmiştir. Kaya ve Karagöz (2007) çalışmasında ise katı parçacık modellemesi yapılmayıp, hava akışkanının siklondaki davranışları değişik modellemeler karşılaştırılarak sonuçları itibarıyla analiz edilmiştir.

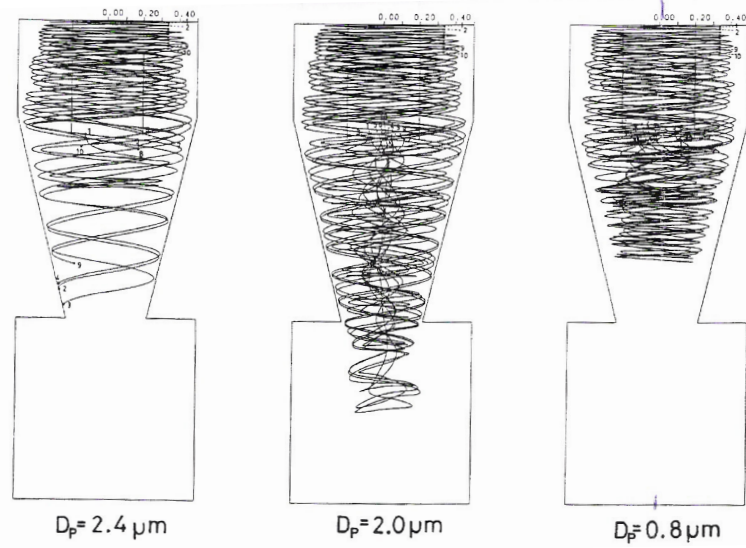
Çizelge 2.5. Yoshida (1995), Kaya ve Karagöz (2007) ve Wang ve ark.(2003) siklonlarına ilişkin boyutsal oranlar

Geometri	D(mm)	a/D	b/D	De/D	S/D	h/D	H/D	B/D	Zb*	Db**
Yoshida	40	0.6	0.2	0.5	0.85	1	3	0.4	1	1
Kaya ve Karagöz	170	0.5	0.18	0.5	0.5	1.5	4	0.18		
Wang ve ark.	200	0.5	0.25	0.5	0.625	2	4	0.25		

* Toplama kabı yüksekliği.

**Toplama kabı çapı.

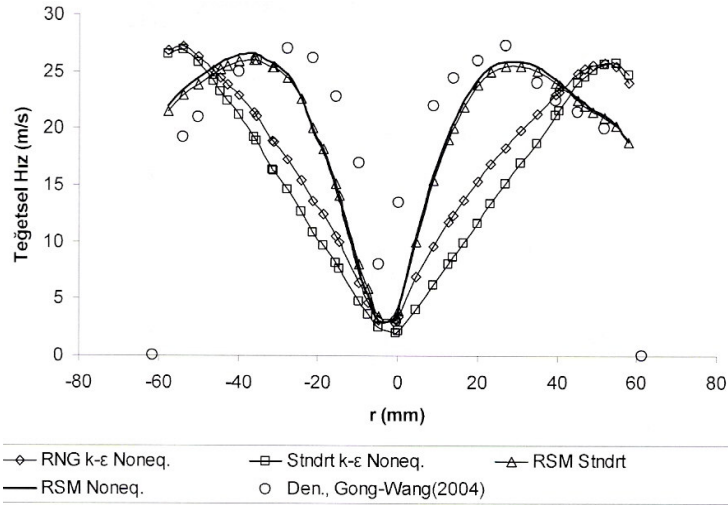
Yoshida (1995) yaptığı çalışmada farklı geometrilerdeki üç alternatif siklon modeliyle CFD simülasyonları gerçekleştirmiştir. Akışkan modellemesinde k- ϵ model uyguladığı çalışmasında, siklon içine 30 m/sn hızında ve 2.4 μm ile 0.8 μm çap aralığında, yoğunluğu 2780 kg/m³ olan Kantoloam parçacıkları göndererek siklon verimlerini analiz etmiştir. Yaptığı inceleme sonunda 40 mm çapındaki siklonda, Kantoloam materyali için kritik çapın 2.0 μm olduğu sonucuna varmıştır. (Şekil 2.4)



Şekil 2.4. Siklondaki parçacık davranışları (Yoshida, 1995).

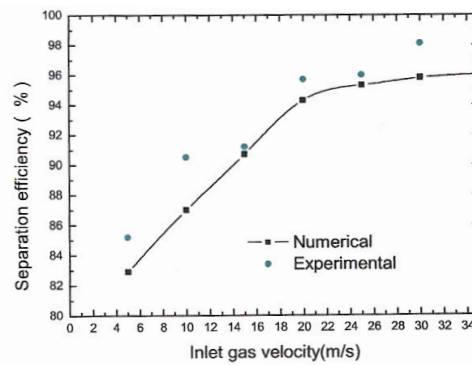
Kaya ve Karagöz (2007) yaptıkları çalışmada akışlarda, standart k- ϵ , RNG k- ϵ ve RSM türbülans modellerini karşılaştırmışlardır. Standart ve non-equilibrium duvar fonksiyonları ile yaptıkları analizlerde siklonlarda akışı gerçeğe en uygun olarak

modelleyen yaklaşımın RSM türbülans modeli olduğu, duvar fonksiyonları açısından da en uygun modelin nonequilibrium duvar fonksiyonu olduğu sonucuna varmışlardır.



Şekil 2.5. Z=0.4 m, 180° teğetsel hızın nümerik ve teğetsel değerleri (Kaya ve Karagöz, 2007).

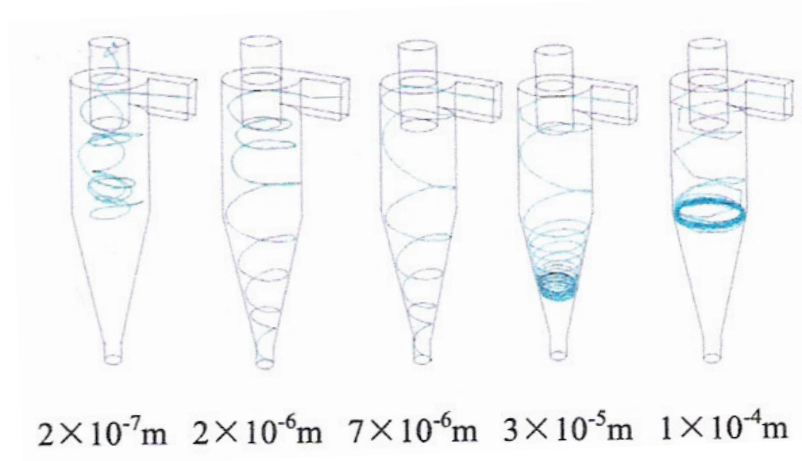
Wang ve ark.(2003) yaptıkları çalışmada 0.2 m silindir çapında bir siklon kullanmışlardır. Bu siklonda RSM modeliyle 1 atm basınç ve 20 m/s hızda hava akışkanı için CFD simülasyonları gerçekleştirmişlerdir. Simülasyonlar için 45750 hücre sayısında grid oluşturulmuştur. Giriş hızına bağlı ayırma etkinliği şekil 2.6 da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Hıza bağlı siklon verim eğrisi (Wang ve ark., 2003).

3320 kg/m³ yoğunlukta, ve sırası ile 2×10^{-7} m, 2×10^{-6} m, 7×10^{-6} m, 3×10^{-5} m ve 1×10^{-4} m çaplarındaki katı partikülleri siklona göndererek akışkan ortamındaki

simülasyon sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Fluent programında elde ettikleri bulgulara göre siklon performansının 2×10^{-6} m ile 7×10^{-6} m arasındaki parçacık çaplarında iyi olduğu sonucuna varmışlardır.



Şekil 2.7 Siklonda farklı çaplardaki parçacık davranışları (Wang ve ark.,2003).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

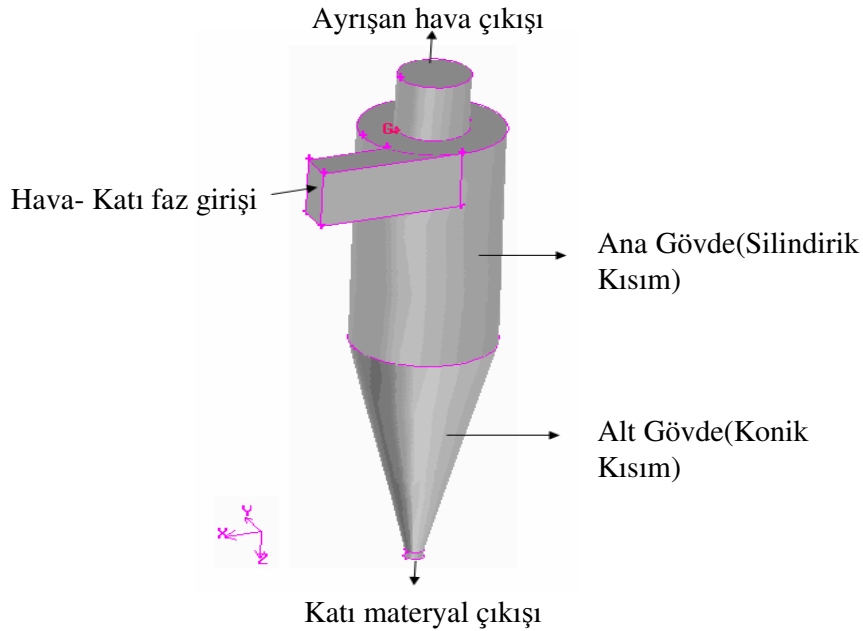
CFD çözümlmeleri için uygun siklon geometrileri, akışkan ve katı parçacık tanımlamaları yapılmıştır. Simülasyonlar P4 2.8 GHz ve 1GB ram belleğe sahip bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Hava-su buharı karışımı akışkan seçilerek yapılan çözümleme için, 20 C° sıcaklık ve yerçekim ivmesi değerleri girilmiştir

3.1. Ayırıştırıcı Siklon Belirlenmesi

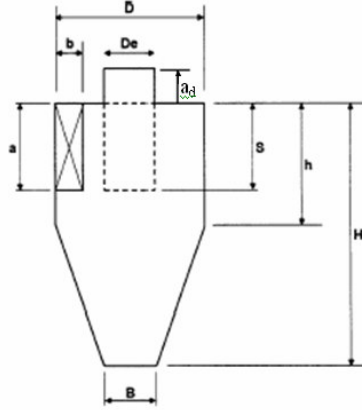
Teğetsel girişli ve ters akışlı olarak bilinen gaz siklonlar geometrik olarak beş ana kısımdan oluşmaktadırlar. Bunlar,

- Hava-katı faz akışkan girişi
- Ana gövde (silindirik kısım)
- Alt gövde (konik kısım)
- Ayırışan hava çıkışı
- Katı materyal çıkışıdır.

Siklon geometrisi ve kısımları şekil 3.1 de, bir siklon ayırıcının geometrik parametreleri ise şekil 3.2 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Teğetsel girişli gaz-katı faz ayırıcı siklon



Şekil 3.2. Teğetsel girişli siklonlarda geometrik parametreler. (Gimbun ve ark. 2005)

Fluent 6.3 programında CFD çözümlenmesi yapılması amaçlanan siklonlar, Özkan siklonu ile alternatif diğer optimal modeller olan Stairdman high efficiency, Bohnet ve Kim and Lee siklonlarıdır.

Optimum siklonlar için boyutsal tasarımda gövde çapı (D), akışkan yükü (Q) esas alınarak,

$$D = \frac{Q^{1/2}}{80} \quad (3.1)$$

eşitliğinden hesaplanabilir (Kütükçeken, 2001). Burada,

D = Siklon gövde çapı (m)

Q = Girişteki akışkan debisi (m^3/h) olarak ifade edilmiştir.

Özkan siklonu için orijinal ölçüleri esas alınmıştır (Bkz. Şekil 2.1) . Diğer optimum modeller için ise, girişteki akışkan debisi (Q)= $0.60 m^3/s$ esas alınarak ana gövde çapı (D) hesaplanmıştır. (D) çapına göre geliştirilen oransal değerler kriter alınarak (Bkz. Çizelge 2.4) siklon elemanları boyutlandırılmıştır. Bu boyutsal ölçüler çizelge 3.1 de gösterilmiştir. Boyutsal ölçülerine göre GMBİT 2.3 programında geometrileri oluşturulan siklonlar ağ yapısı içinde küçük hacimlere bölünmüş (mesh oluşturulmuş) ve FLUENT 6.3 programında CFD analizlerine hazır hale getirilmiştir.

Çizelge 3.1. D çapına göre siklon boyutları ($\pm 0.1mm$)

Geometri	D	a	b	De	S	h	H	B	a _d
Özkan (2001)	890	160	140	230	360	600	970	230	40
Stairdman High Efficiency	580	290	120	290	290	870	2280	220	-
Kim and Lee	580	190	130	150	670	840	1770	280	-
Bohnet	580	310	80	190	430	400	1500	190	810

3.2. Katı Parçacık Belirlenmesi

CFD analizleri için akışkan koşullarının ve siklonda ayrıştırılacak olan katı materyal özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Akışkan olarak hava, katı materyal olarak da yonca ve korunga bitkilerinin kıyıcı makinada kıyılması sonucu elde edilen ve “kes” olarak adlandırılan materyal kullanılmıştır. Hava yardımıyla siklona pnömatik olarak iletilen kes’in, kıyıcı makina çıkış karakteristikleri (Bkz. Bölüm 2.1) de açıklanmıştır. Özkan siklonunda akış için 24, 30, 36 ve 40 m/s hızları, diğer modeller olan Stairdman high efficiency, Kim and Lee ve Bohnet siklonlarında ise 36 m/s hız değeri esas alınmıştır.

Fluent CFD çözümleyicisi parçacıkların çapını, parçacık hacmi ile eşdeğer hacme sahip bir kürenin çapı olarak kabul edip simule etmektedir. Bizim burada kullandığımız kes materyali küresel biçimde olmayıp, sap ve yapraklardan oluşan çeşitli geometrik biçim ve boyutların bir karışımıdır. Dolayısıyla kes kıyıcı makinada kıyılan parça uzunluklarının bilinmesi, parçacık hacminin tayininde yeterli olmamaktadır. Bu nedenle kes materyali için yapılan basit ölçümler sonucunda silindirik biçimde olan sap kısımlarda çapın 0.46 mm ile 3.58 mm arasında olduğu ancak yaklaşık % 65 inin 1.2 mm ile 2.4 mm arasında olduğu görülmüştür. Yaprak kısımlarının kalınlığı 0.16 mm olduğu, ancak kes kıyıcı makinada kıyılma sonucu bilhassa yaprak kısımlarda yüzeyin belirgin bir geometrik yapıda olmadığı gözlenmiştir. Parçacık boyları ile ilgili yapılan araştırmada, kes kıyıcı makinanın 2150 min^{-1} devri dikkate alındığında kıyılan parça uzunluklarının 0 ile 120 mm arasında olduğu, bunun yaklaşık %70 inin 0-40 mm arasında % 0.02 kısmının da 120 mm den büyük olduğu anlaşılmaktadır (Bkz. Çizelge 2.1).

Bu bilgilere göre sap kısımlarda uzunluğu 0.5 mm den büyük, yaprak kısımlarda ise çapı 0.20 mm den büyük parçacıklar küresel olmayan (nonspherical) biçimde tanımlanmıştır. Burada biçim faktörü (shape factor) belirlemek önem arz etmektedir. Parçacıklar küre kabul edilirse shape factor 1, küresellikten uzaklaştıkça $0 < \text{shape factor} < 1$ arasında olduğundan, karışımdaki tüm değişik biçimlere ilişkin ayrı ayrı shape factor belirlenip Fluent'te test edilmesi mümkün değildir. Dolayısıyla tüm siklonlar için , sap kısımlara ilişkin 1.4 mm çap ve 16 mm uzunluk, yaprak kısımlara ilişkin ise 0.16 mm kalınlık ve 4 mm çap değerleri esas alınarak katı parçacık hacmi hesaplanmıştır.

Fluent 6.3, katı parçacıkların shape factor değerlerini, sürüklenme katsayılarını hesaplarken değerlendirmektedir. Shape factor ve bağlı olarak sürüklenme katsayıları aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmaktadır (Fluent Inc.,2006).

Sürüklenme Katsayısı, C_D

$$C_D = a_1 + \frac{a_2}{\text{Re}} + \frac{a_3}{\text{Re}^2} \quad (3.2)$$

burada a_1 , a_2 ve a_3 küresel tanecikleri düzeltme sabitleridir (Morsi ve Alexander, 1972).

$$C_D = \frac{24}{\text{Re}_{sph}} \left(1 + b_1 \text{Re}_{sph}^{b_2} \right) + \frac{b_3 \text{Re}_{sph}}{b_4 + \text{Re}_{sph}} \quad (3.3)$$

burada, (Haider ve Levenspiel, 1989)

$$b_1 = \exp(2.3288 - 6.4581\phi + 2.4486\phi^2) \quad (3.4)$$

$$b_2 = 0.0964 + 0.5565\phi \quad (3.5)$$

$$b_3 = \exp(4.905 - 13.8944\phi + 18.4222\phi^2 - 10.2599\phi^3) \quad (3.6)$$

$$b_4 = \exp(1.4681 + 12.2584\phi - 20.7322\phi^2 + 15.8855\phi^3) \quad (3.7)$$

Shape Factor, ϕ

$$\phi = \frac{s}{S} \quad (3.8)$$

burada

s = Parçacık ile aynı hacme sahip bir kürenin yüzey alanı

S = Parçacığın gerçek yüzey alanını ifade etmektedir.

Simülasyonlarda kullanılan kes materyalinin parçacık boyutsal değerleri, shape factor değerleri ile eşdeğer küre çapı, sap ve yaprak kısımlar için hesaplanarak çizelge 3.2 de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kes materyalinin boyutsal tanımlama değerleri

Kes Materyali	Boyutlar(mm)			Biçim faktörü	Eşdeğer küre çapı (mm)
	Uzunluk	Çap	Kalınlık		
Sap kısımlar	16	1.4	-	0.55	3.60
Yaprak kısımlar	-	4	0.16	0.28	1.56

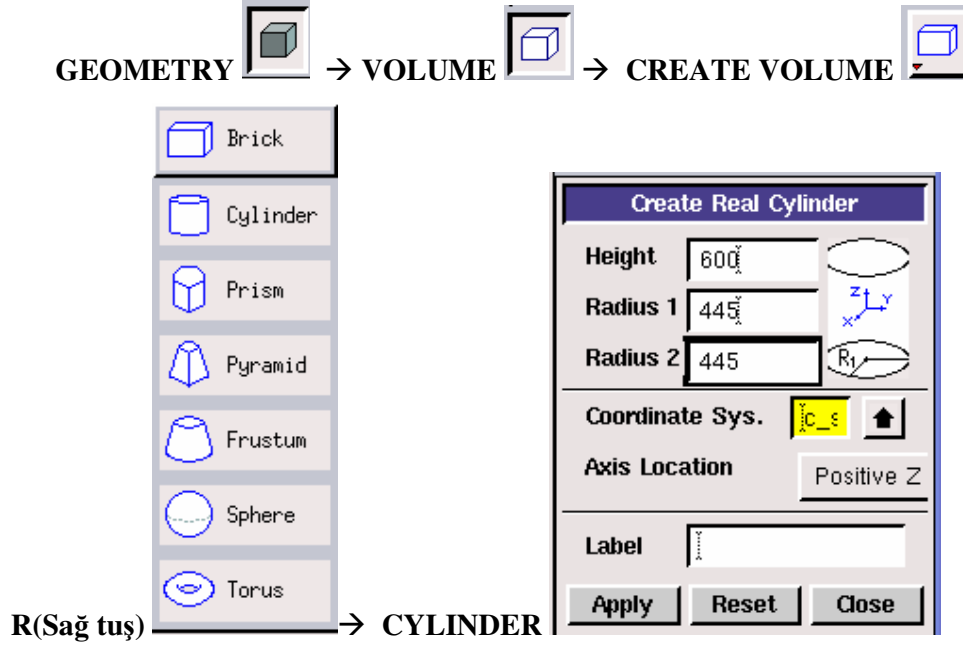
Kes materyalinin yoğunluğu sap kısımlar için 120 kg/m^3 , yaprak kısımlar için 360 kg/m^3 ve parçacıkların siklonda tutulamayıp üst daldırma borusundan kaçarak siklon dışına çıktıkları çap olan kritik çap civarında ise 360 kg/m^3 olarak alınmıştır. Materyalin sap ve yaprak kısımlarına ilişkin iki farklı yoğunluk değeri öngörülmesinin nedeni sap kısımlarda iç kanal boşlukların oldukça fazla olması, yaprak kısımlarda ise bu boşlukların oldukça az olmasıdır. (Anonim, 2009)

3.3. GAMBİT 2.3 ve FLUENT 6.3 Programları

3.3.1. Gambit 2.3 programı

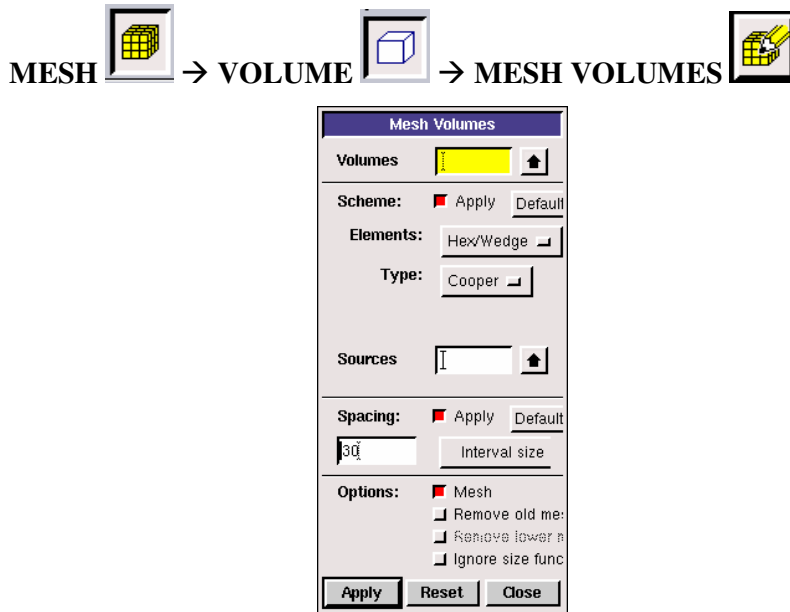
Gambit 2.3 programının iki ana işlevi vardır. Bunlardan birincisi geometri oluşturma, ikincisi ise oluşturulan geometride akışkan giriş çıkış yerlerinin ve özelliklerinin tanımlanarak mesh oluşturma (geometrinin ağ yapısı içinde küçük hücrelere bölünmesi) işlemidir.

Geometri oluşturma işlemi iki boyutlu veya üç boyutlu düzlemde çeşitli biçimlerde yapılabilir. Alansal ve hacimsel olarak istenilen geometriler açılan formlardan seçilerek uygulanır. Her türlü ihtiyaca cevap verebilecek alternatif seçenekler kullanılarak geometrik tercihler detaylandırılabilir. Şekil 3.3 de silindir oluşturma formu, şekil 3.4 de ise hacimsel mesh formu gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Silindir hacmi oluşturma formu.

Mesh oluşturma, Giriş-Çıkış ve duvar tanımlama işlemleri geometri oluşturulduktan sonra gündeme gelir. Geometride oluşacak akışın türü ve niteliklerine göre giriş çıkış yüzeyleri belirlenir. Gambit'te adlandırılmayan yüzeyler duvar (Wall) olarak değerlendirilir.

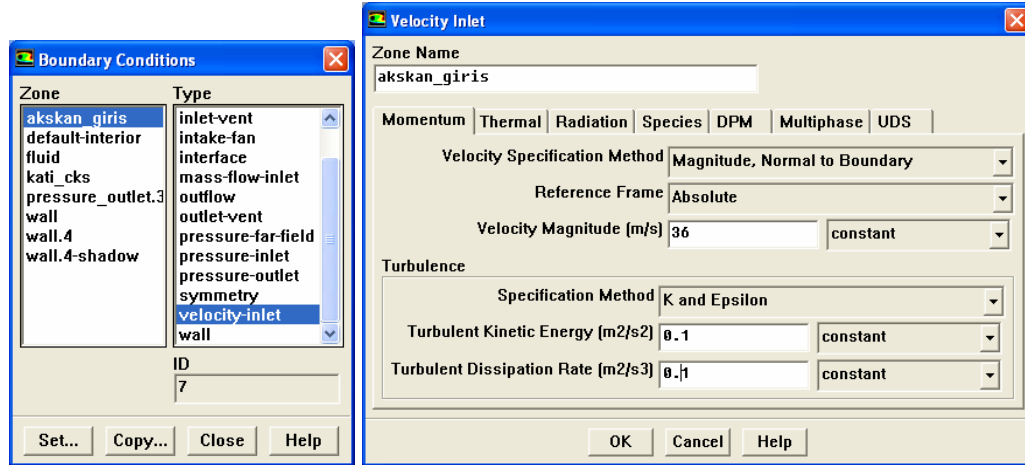


Şekil 3.4. Hacimsel mesh formu.

Mesh oluşturma işlemi Gambit ile diğer grafik çizim programları arasında en belirleyici özelliştir. CFD çözücüsü program akışkana ilişkin çözümleme yapabilmesi için grid yapısındaki mesh'leri esas almaktadır. Çeşitli geometriler için değişik mesh oluşturma yöntemleri programda mevcuttur.

3.3.2. Fluent 6.3 programı

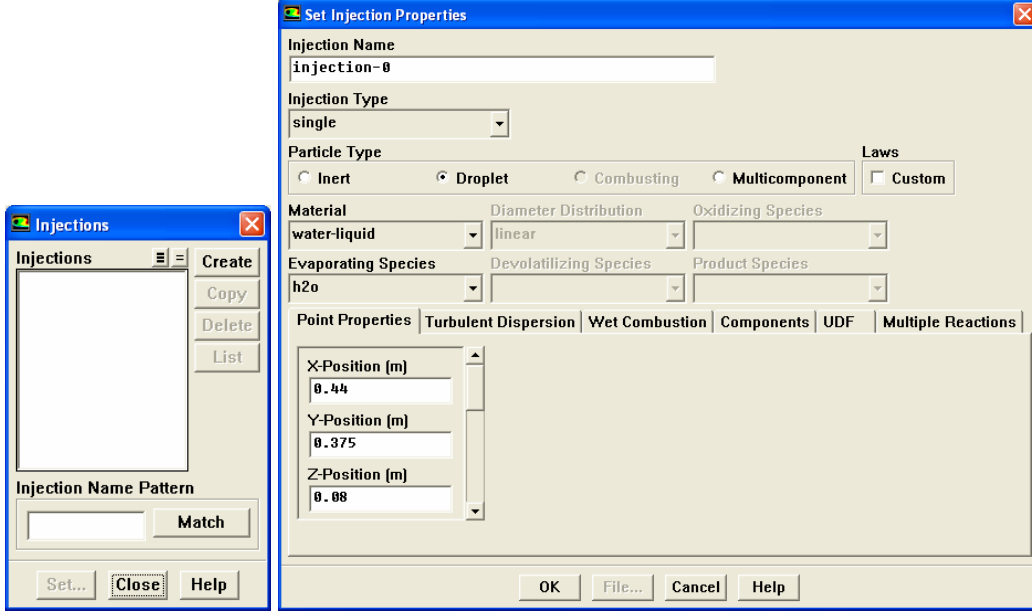
Fluent 6.3 programı bir CFD çözücüsüdür. Uygun koşullarda grid yapısı içinde oluşturulan geometrilerdeki akışkan davranışlarını, öngörülen modellemelere bağlı olarak çözümler. Gaz ve sıvı akışkan davranışları, hava ve sıvı ortamdaki katı, sıvı ve gaz davranışları, ısı transferi ve yanma, aşınma ve buharlaşma gibi konularda başarı ile gerçeğe çok yakın sonuçlarda simülasyonlar gerçekleştirmektedir. Sağlıklı bir simülasyon için uygun koşullarda mesh oluşturmanın yanı sıra akışın doğru modellenmesi ve akışkan koşullarının eksiksiz tanımlanması gerekmektedir.



Şekil 3.5. Akışkan giriş koşulları belirlenmesi.

Gambit'te oluşturulan .msh dosyası Fluent'te açıldığında, eğer dosyanın mesh yapısı CFD simülasyonunda sorunlar çıkartacak ise uyarı mesajları dikkati çeker. Grid'i check edip yapısının izlenmesi gerekir. Herhangi bir sorun görünmüyor ise birim

dönüştürme skalası yardımıyla boyusal uzunluklar uygun birimlerde uyarlanıp akışkan giriş koşullarına geçilebilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.6. Parçacık özellikleri tanımlama.

Akışkan ile beraber ortama gönderilen katı parçacıkların davranışları incelenip bu davranışlara ilişkin sayısal veriler elde edilebilir. Bunlar hız, basınç gibi değerler olabileceği gibi yörüngeler, zamansal boyutlar, kütle ve çapta azalmalar gibi davranışlar da olabilir. Şekil 3.6 da parçacık özelliklerini tanımlama sayfası gösterilmiştir.

3.4. CFD Modellemeleri

Hava akışı için Realizable k-epsilon – Standard duvar fonksiyonu modeli ile Reynolds Gerilim Modeli (RSM)- non equilibrium duvar fonksiyonları modeli uygulanmıştır. Özkan siklonu için dört ayrı akış hızlarında simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Parçacık davranışlarını modellemek için DPM (Kesikli Faz Modeli) uygulanmıştır. Oluşturduğumuz akış ve parçacık modellemelerinin uygunluğu ilgili literatür ile de karşılaştırılmıştır. Ayrıca Özkan siklonunda modifiye çalışmaları yapılarak parçacık davranışları karşılaştırılmıştır.

Fluent CFD çözücüsü modellemeler için geçerli formülasyonları kullanarak akışkan ve akış içindeki parçacık davranışlarına ilişkin sayısal sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Böylece nümerik hesaplamalarda yapılabilecek hesaplama hataları söz konusu olmamaktadır.

3.4.1. Realizable k - ϵ Model (Fluent Inc., 2006)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b + \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (3.9)$$

ve

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (3.10)$$

Burada

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \quad \eta = S \frac{k}{\epsilon}, \quad S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (3.11)$$

Bu denklemlerde

G_b Kaldırma kuvvetinden kaynaklanan türbülans kinetik enerji üretim terimi

G_k Ortalama hız düşümlerine bağlı türbülans kinetik enerji terimi

S_k ve S_ϵ Kullanıcı tanımlı kaynak terimler

C_2 ve $C_{1\epsilon}$ Sabiteler

σ_k ve σ_b Türbülans prandtl sayıları

Y_M Türbülans enerji yitim oranını ifade eder.

Türbülans Viskositesi girdaplı akışlarda aşağıdaki formülle hesaplanır

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3.12)$$

burada

$$C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s \frac{k U^*}{\epsilon}} \quad (3.13)$$

burada

$$U^* \equiv \sqrt{S_{ij}S_{ij} + \tilde{\Omega}_{ij}\tilde{\Omega}_{ij}} \quad (3.14)$$

Ve

$$\tilde{\Omega}_{ij} = \Omega_{ij} - 2\varepsilon_{ijk}\omega_k \quad (3.15)$$

$$\Omega_{ij} = \overline{\Omega}_{ij} - \varepsilon_{ijk}\omega_k \quad (3.16)$$

bu modelde Ao ve As sabitleri

$$Ao = 4.04, \quad As = \sqrt{6} \cos \phi$$

burada

$$\phi = \frac{1}{3} \cos^{-1}(\sqrt{6}W), \quad W = \frac{S_{ij}S_{jk}S_{ki}}{\tilde{S}^3}, \quad \tilde{S} = \sqrt{S_{ij}S_{ij}}, \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (3.17)$$

Sabiteler, $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_2 = 1.9$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.2$ olarak alınmıştır.

3.4.2. RSM Türbülans modeli

Reynolds gerilme modeli (RSM), Reynolds türbülans gerilimlerinin doğrudan transport denklemlerinin çözümüyle hesaplanması esasına dayanır. Reynolds süreklilik ve momentum denklemlerinin ifadesi

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3.18)$$

$$\rho \left(u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (3.19)$$

şekindedir. Burada u_i hız bileşenlerini, $(\overline{\rho u'_i u'_j})$ ise türbülans gerilimlerini göstermektedir.

Transport denklemler kaldırma kuvvetinin etkisi ihmal edildiğinde aşağıdaki formda yazılabilir (Kaya ve Karagöz 2007).

$$\frac{\partial}{\partial t} (\overline{\rho u'_i u'_j}) + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k \overline{u'_i u'_j}) = D_{t,ij} + D_{ij} + P_{ij} + \phi_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (3.20)$$

Denklemin sağ tarafındaki terimler sırası ile;

$$\text{Türbülans difüzyon terimi: } D_{t,ij} = -\frac{\partial}{\partial x_k} \left[\overline{\rho u'_i u'_j u'_k} + p(\delta_{kj} u'_i + \delta_{ik} u'_j) \right] \quad (3.21)$$

$$\text{Moleküler difüzyon terimi: } D_{i,j} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\mu \frac{\partial}{\partial x_k} \overline{u'_i u'_j} \right) \quad (3.22)$$

$$\text{Türbülans gerilmeleri üretimi terimi: } P_{i,j} = -\rho \left(\overline{u'_i u'_k} \frac{\partial u'_j}{\partial x_k} + \overline{u'_j u'_k} \frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \right) \quad (3.23)$$

$$\text{Basınç-uzama terimi: } \phi_{i,j} = p \left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u'_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.24)$$

$$\text{Dissipasyon terimi: } \varepsilon_{i,j} = -2\mu \overline{\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \frac{\partial u'_j}{\partial x_i}} \quad (3.25)$$

Skıştırılabilirlik ihmal edildiğinde dissipasyon (enerji yitimi) terimi

$$\varepsilon_{ij} = \frac{2}{3} \rho \varepsilon \delta_{ij} \text{ olur.} \quad (3.26)$$

Genelleştirilmiş gradiyent difüzyon hipotezinin basitleştirilmiş formu

kullanılarak türbülans gerilmelerinden kaynaklanan üretim terimi, Lien ve Lechziner'e göre

$$D_{t,ij} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_k} \right) \quad (3.27)$$

şeklinde modellenebilir. Gibson ve Launder'e göre lineer yaklaşım kullanılarak basınç-uzama teriminin, yavaş ve hızlı basınç-uzama bileşenleri ile cidar tepkisini ifade eden $\phi_{ij,w}$ üç bileşenin toplamı olarak ifade edilebilir. Buna göre basınç-uzama terimi

$$\begin{aligned} \phi_{ij} = & -C_1 \rho \frac{\varepsilon}{k} \left(\overline{u'_i u'_j} - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \right) \\ & - C_2 \left[\left(P_{ij} - \frac{\partial}{\partial x_l} (\rho u_l \overline{u'_i u'_j}) \right) - \frac{1}{3} \left(P_{kk} - \frac{\partial}{\partial x_l} (\rho u_l \overline{u'_k u'_k}) \right) \delta_{ij} \right] + \phi_{ij,w} \end{aligned} \quad (3.28)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $C_1=1.8$, $C_2=0.6$ alınmıştır. Duvar tepkisi terimi olan $\phi_{ij,w}$ bileşeni aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.(Fluent Inc.,2006)

$$\phi_{ij,w} \equiv C_1 \frac{\varepsilon}{k} \left(\overline{u'_k u'_m n_k n_m} \delta_{ij} - \frac{3}{2} \overline{u'_i u'_k n_j n_k} - \frac{3}{2} \overline{u'_j u'_k n_i n_k} \right) \frac{C_1 k^{3/2}}{\varepsilon d}$$

$$+C_2' \left(\phi_{km,2} n_k n_m \delta_{ij} - \frac{3}{2} \phi_{ik,2} n_j n_k - \frac{3}{2} \phi_{jk,2} n_i n_k \right) \frac{C_1 k^{3/2}}{\varepsilon d} \quad (3.29)$$

burda $C_1' = 0.5$, $C_2' = 0.3$, $C_l = C_\mu^{3/4} / \kappa$, $C_\mu = 0.09$ ve κ (von Karman sabiti) = 0.4187

Bu denklemlerde geçen, türbülans kinetik enerjisi $k = \overline{u_i u_i} / 2$ eşitliğinden bulunabilir. k nin dissipasyonu olan ε fonksiyonu kaldırma kuvvetleri etkisi ihmal edildiğinde

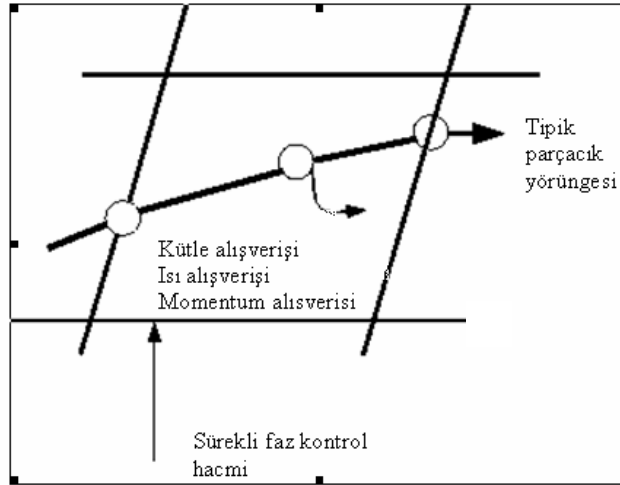
$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R \quad (3.30)$$

şeklinde yazılabilir. Difüzivite terim

$$\Gamma_\varepsilon = \mu + \mu_t / \sigma_\varepsilon$$

burada $R=0$ olup diğer ampirik sabitler $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, Prandtl sayısı $\sigma_\varepsilon = 1.0$ ve türbülans üretimi terimi $G_k = 0.5P_{ij}$ alınmıştır.

3.4.3. Kesikli ve sürekli faz modeli



Şekil 3.7. Hava fazı ile bu faza ayrıca atılan parçacığın ısı, kütle ve momentum transferi.(Fluent Inc.,2006)

Önce koşulları belirlenen hava fazında modelleme yapılarak akışkan koşulları sağlanır. Daha sonra hava faz akışkan ortamına şartları ve özellikleri belirtilen çeşitli

parçacıklar atılarak, bu parçacıkların davranışları hava faz akışkan ortamında incelenir. Bununla ilgili modelleme aşağıda açıklanmıştır. Şekil 3.7 de hava fazı içerisindeki katı parçacığın ısı, kütle ve momentum transferi arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.

Momentum değişimi aşağıdaki gibi hesaplanır. (Fluent Inc., 2006)

$$F = \sum \left(\frac{18\mu C_D \text{Re}}{\rho_p d_p^2 24} (u_p - u) + F_{other} \right) \dot{m} \Delta t \quad (3.23)$$

Burada

μ = Akışkan viskozitesi

ρ_p = Parçacık yoğunluğu

d_p = Parçacık çapı

Re = Reynolds sayısı

u_p = Parçacık hızı

u = Akışkanın hızı, olarak ifade edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Siklon Geometrileri ve Grid Yapıları

Model siklonlar olan, Özkan, Stairdman high efficiency, Kim and Lee ve Bohnet siklonları Gambit 2.3 programında oluşturularak ağ yapısı içinde mesh edilmiştir. Özkan siklonunun oluşturulmasında orijinal ölçüler, diğer optimum modellerde ise akışkan giriş debisine göre hesaplanan boyutsal ölçüler esas alınmıştır (Bkz. Çizelge 3.1). Model siklonlar için oluşturulan grid değerler ve geometrik yapılar aşağıda açıklanmıştır.

a. Özkan siklonunda:

39367 hexahedral hücre, 42780 düğüm noktası

Boyutsal alan:

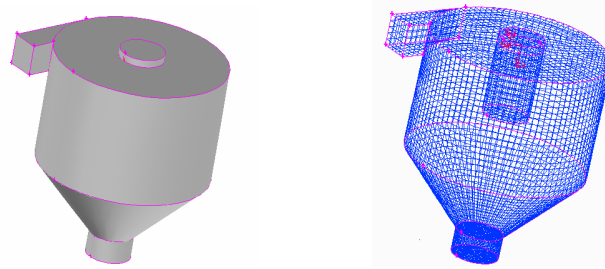
x-coordinate: min (m) = -4.450000e-001, max (m) = 4.500000e-001

y-coordinate: min (m) = -4.448891e-001, max (m) = 4.450000e-001

z-coordinate: min (m) = -4.000000e-002, max (m) = 1.090000e+000

Hacim olarak:

Toplam hacim (m³): 4.862941e-001 olduğu görülmüştür (Şekil 4.1)



Şekil 4.1. Özkan siklonunu için oluşturulan geometri ve grid yapısı

b. Stairdman high efficiency siklonunda:

11651 hexahedral hücre, 13510 düğüm noktası

Boyutsal alan:

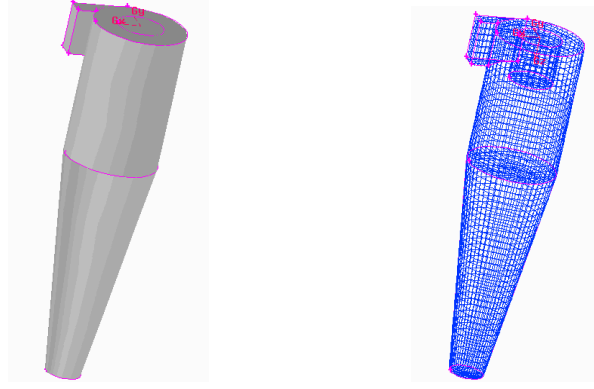
x-coordinate: min (m) = -2.900000e-001, max (m) = 3.500000e-001

y-coordinate: min (m) = -2.896906e-001, max (m) = 2.900000e-001

z-coordinate: min (m) = 0.000000e+000, max (m) = 2.280000e+000

Hacim olarak:

Toplam hacim (m³): 4.241931e-001 olduğu görülmüştür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Stairman high efficiency modeli için oluşturulan siklon geometri ve grid yapısı.

c. Kim and Lee siklonunda:

18894 hexahedral hücre, 21217 düğüm noktası

Boyutsal alan:

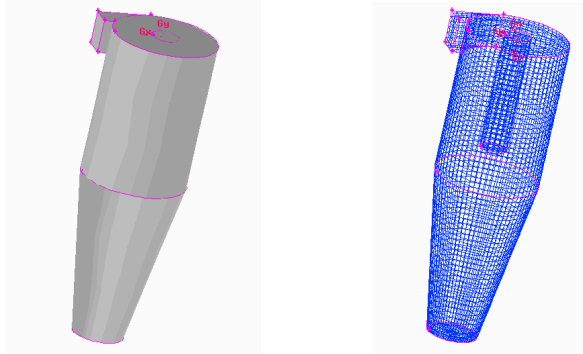
x-coordinate: min (m) = -2.900000e-001, max (m) = 3.000000e-001

y-coordinate: min (m) = -2.898309e-001, max (m) = 2.900000e-001

z-coordinate: min (m) = 0.000000e+000, max (m) = 1.770000e+000

Hacim olarak:

Toplam hacim (m³): 3.650655e-001 olduğu görülmüştür (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Kim and Lee modeli için oluşturulan siklon geometri ve grid yapısı.

d. Bohnet siklonunda:

17690 hexahedral hücre, 20055 düğüm noktası

Boyutsal alan:

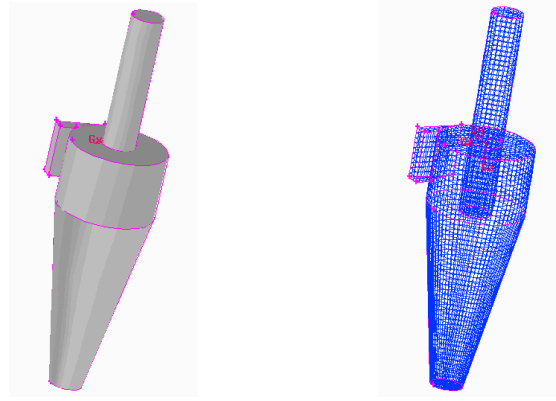
x-coordinate: min (m) = -2.900000e-001, max (m) = 3.000000e-001

y-coordinate: min (m) = -2.898309e-001, max (m) = 2.900000e-001

z-coordinate: min (m) = -8.100000e-001, max (m) = 1.500000e+000

Hacim olarak:

Toplam hacim (m³): 2.709096e-001 olduğu görülmüştür (Şekil 4.3).



Şekil 4.4. Bohnet modeli için oluşturulan siklon geometri ve grid yapısı

4.2. CFD Simülasyonları İçin Akışkan Modellemeleri

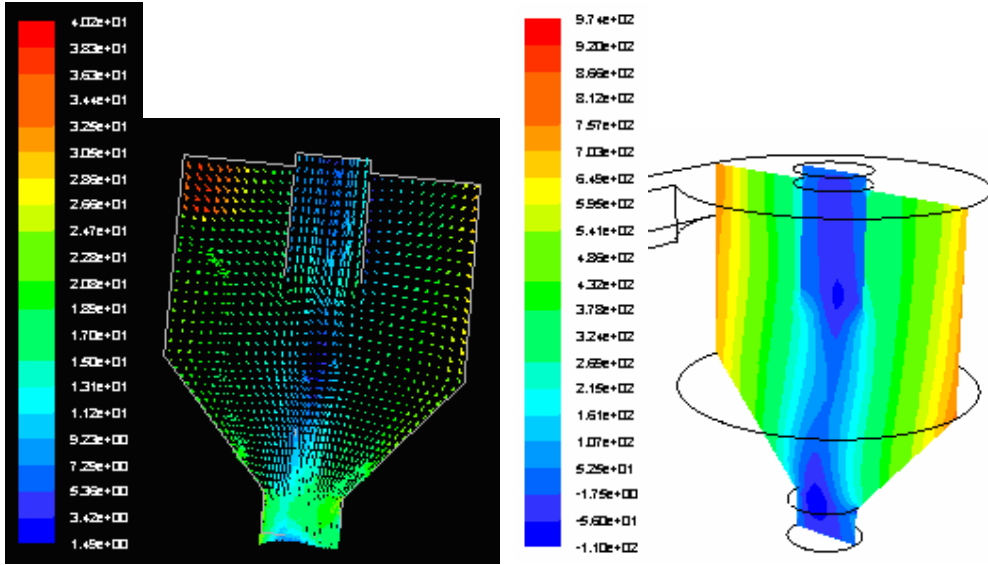
Hava ve su buharı karışımı akışkan kullanılarak yapılan simülasyonlar için, sıcaklık 20 C° ve yerçekim ivmesi 9.81 ve basınç 1 atm olarak ortam koşulları belirlenmiştir. Özkan siklonunda dört ayrı hız kademesinde, diğer siklonlar için ise bir hız kademesinde simülasyonlar gerçekleştirilmiştir (Bkz. Bölüm 3.2).

Fluent'te CFD simülasyonları Realizable k-epsilon - Standart duvar fonksiyonu modellenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Yakınsamada (converge) ortaya çıkan problemler giderilerek tüm model siklonlarda yakınsama sağlanmıştır. Yakınsama sağlanıncaya kadar gerçekleşen tekrar sayıları çizelge 4.1 de verilmiştir. Özkan siklonunda hız ve basınç konturları şekil 4.5 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Akışkan giriş hızlarına göre yakınsama tekrar sayıları

Model siklonlar	Akışkan giriş hızları (m/s)	Tekrar sayıları
	24	237
	30	237
Özkan *	36	239
	40	240
Stairman high efficiency	36	128
Kim and Lee	36	145
Bohnet	36	125

* Özkan siklonunda çıkışlarda ters akış olduğu gözlenmiştir.



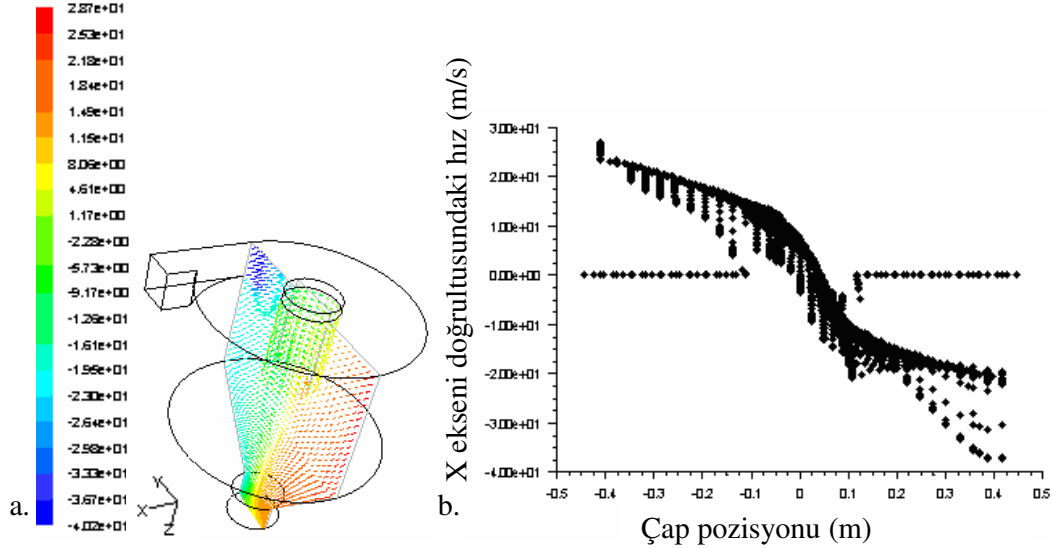
Şekil 4.5. Özkan siklonunda X eksenini doğrultusunda, 180° kesitteki hız ve basınç Konturları.

Söz konusu siklon geometrilerinde hız dağılımları incelendiğinde, ilk girişte 36 m/s olan akışkan hızının, giriş kanal içinde akışın yaklaşık %1 lik kısmında 37-40 m/s arasına yükseldiği görülmüştür. Çıkışlarda hızların merkeze doğru azaldığı, cidara doğru da arttığı gözlenmiştir. Akışkan için hızlar, siklonda hız büyüklüğü, giriş kısmında X eksenindeki hız, çıkışlarda ise Z eksenindeki hız olarak incelenmiş ve gözlem sonuçları çizelge 4.2 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Siklon geometrilerinde akışkanın hız dağılımları (m/s)

	Siklonda	Giriş kısmında	Alt Çıkışta	Üst çıkışta
Model siklonlar	min-max	min-max	min-max	min-max
Özkan Siklonu	0-40.1	5,7-40.1	1.3-19.8	1.7-11.0
Stairdmad High Efficiency Siklonu	0-40.8	5.9-40.8	5.5-18.3	3.9-10.3
Kim and Lee Siklonu	0-39.0	5.7-39.0	5.6-19.3	2.5-7.9
Bohnet Siklonu	0-40.2	5.2-40.2	7.5-23.4	4.3-16.2

Çizelge 4.2 incelendiğinde, 36 m/s giriş hızında gerçekleştirilen simülasyonlarda, siklon ve kısımlarındaki hızların değer aralıkları görülmektedir. Siklondaki ve giriş kısmındaki akışkan hızlarının tüm modellerde yakın sonuçlarda olduğu görülmüştür. Ancak Özkan siklonunun çıkışlarındaki hız alt sınır değerlerinin diğer modellere göre düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeninin siklon çapının diğer modellere göre büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Özkan siklonunda Y eksenindeki hız profili incelenerek şekil 4.6 da gösterilmiştir



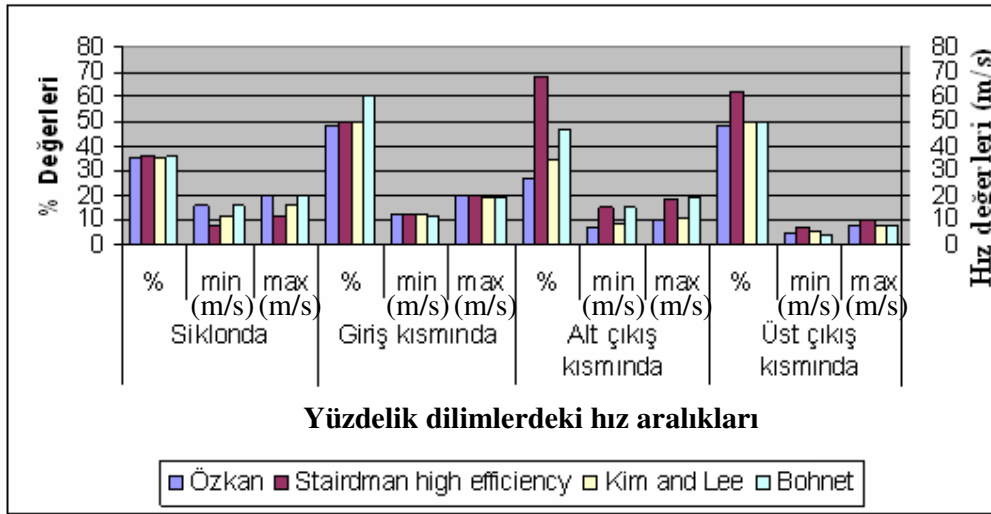
Şekil 4.6. Özkan siklonunda Y eksenindeki kesitte akışkan giriş yönüne göre hız dağılım profili.

a. Hız konturları

b. Çapa göre hız dağılımı

Burada akışkanın giriş yönü X eksenine göre (-) doğrultuda olduğu için , giriş doğrultusundaki hız vektörleri de (-) değer almakta ve (yeşil- mavi) renklerde görünmektedir. Akış Y eseni etrafında 180 derece döndüğü zaman hız vektörleri (+) değer almakta ve (kahverengi-kırmızı) renklerde görünmektedir. Hız , siklon merkezinde yer yer sıfıra kadar düşmekte, akışkanın siklona girdiği kısımda ise 40 m/s nin üzerine çıkabilmektedir (Şekil 4.6)

Model siklonlarda, siklon genelinde ve kısımlarındaki akışkan hız büyüklüklerinin, ilgili geometrilerin her yerinde aynı değerlerde olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, şekil 4.7 de , model siklonlarda, siklonun tümü ve kısımlarını oluşturan geometrilerdeki hız büyüklükleri, yüzdelerle en fazla paya sahip oranları dikkate alınarak topluca gösterilmiştir. Bu grafikte X eksenini siklon geneli ve başlıca kısımlarında incelenen hız aralıklarını ve bu hız aralıklarının yüzdelerle dilimdeki paylarını göstermektedir. Y eksenini ise m/s cinsinden hız büyüklükleri ve yanı sıra % değerlerini de ifade etmektedir.



Şekil 4.7. Siklonunda ve siklon kısımlarındaki hız dağılımları.

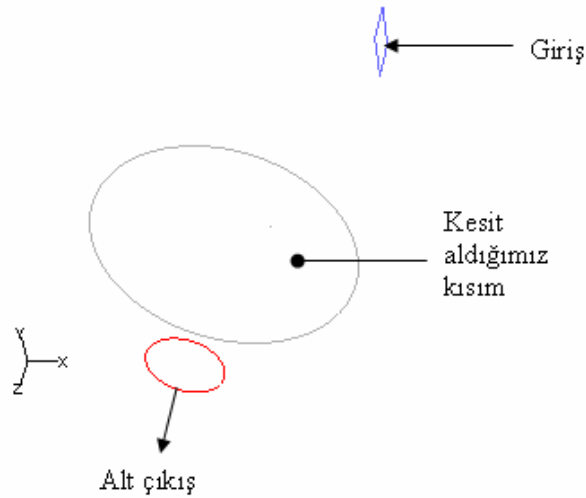
Basınçlar dinamik basınç olarak incelenmiştir. Model siklonlardaki basınç dağılımları incelendiğinde, merkeze doğru yaklaşıldıkça basınç değerlerinde azalma, cidara doğru yaklaşıldığında artma olduğu gözlenmiştir. CFD çözümlemesinde elde edilen basınç değerlerinden bazıları çizelge 4.3 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Siklon modellerinde dinamik basınç değerleri (pascal)

	Siklonda	Giriş kısmında	Alt Çıkışta	Üst çıkışta
Model siklonlar	min-max	min-max	min-max	min-max
Özkan Siklonu	1.2-972.2	778.0-875.1	1.2-389.6	1.2-98.3
Stairdman High Efficiency Siklonu	0.03-1005.6	703.9-804.5	100.5-301.7	0.03-301.7
Kim and Lee Siklonu	0.1-919.8	735.8-827.8	0.1-368.0	0.1-92.1
Bohnet Siklonu	0.07-976.6	683.8-781.5	97.7-488.5	0.07-97.7

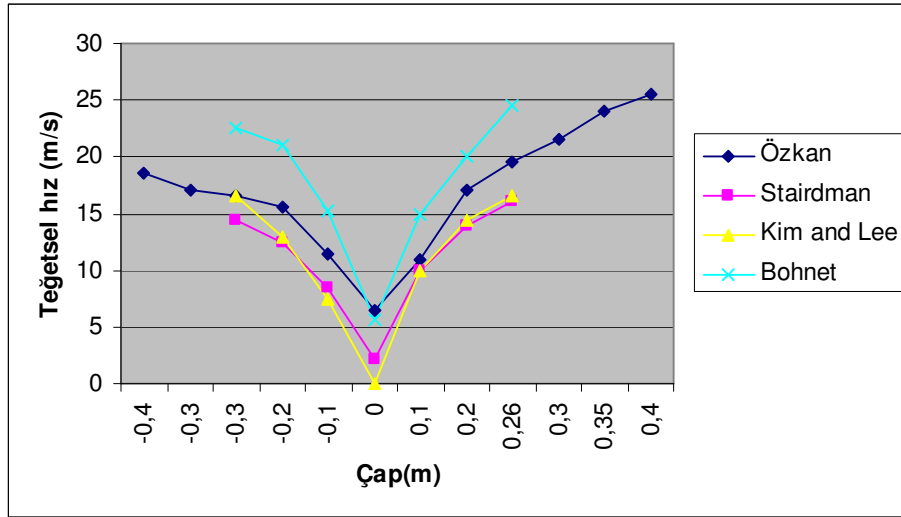
Çizelge 4.3 incelendiğinde, model siklonlarda, siklon genelinde ve giriş kısımlarındaki basınç değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu, Özkan ve Kim and Lee siklonlarının alt çıkış kısımlarında, basınç alt sınır değerinin diğer iki modele göre düşük olduğu, Stairdman high efficiency siklonunun üst çıkış kısmında basınç üst sınır değerinin diğer modellere göre yüksek olduğu görülmüştür.

Model siklonlarda, konik alt gövde başlangıcı bölgenin Z eksenine doğrultusundaki kesitleri alınarak, Y eksenindeki teğetsel hızları incelenmiştir. İncelenen hızların alt sınır değerleri dikkate alınmıştır. Kesit alınan bölgenin aksel konumu ile giriş kısmı ile çıkış kısmı arasındaki konumu şekil 4.8 de gösterilmiştir



Şekil 4.8. Kesit alınan bölgenin konumu

Konik alt gövde başlangıçları Özkan siklonunda $Z=0.628$ m, Stairman high efficiency siklonunda $Z=0.882$ m, Kim and Lee siklonunda $Z=0.867$ m ve Bohnet siklonunda $Z=0.462$ m olarak belirlenmiştir. Y ekseninde çapın sıfır olduğu noktadan çevreye doğru, belirli çapsal değerlerde hız büyüklükleri karşılaştırılmıştır. Bu çap değerlerin limitleri, Özkan siklonunda -0.4 m ila 0.4 m arasında, diğer siklonlarda ise -0.26 m ila 0.26 m arasındadır. Söz konusu kesitteki hız karşılaştırmalarına ilişkin sonuçlar şekil 4.9 da verilmiştir. Grafik incelendiğinde Stairman high efficiency siklonu ile Kim and Lee siklonlarında kesit alınan bölgeye ilişkin çapsal değerlere karşılık gelen hız büyüklüklerinin genelde eşit düzeyde olduğu, Özkan ve Bohnet siklonlarında ise cidara yakın çap değerlerine karşılık gelen hız büyüklüklerinde farklılık olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin Özkan ve Bohnet siklonlarında üst silindirik gövde boyunun, tüm silindirik gövde boyuna oranının diğer modellere göre daha az oluşundan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.9. Konik alt gövde başlangıcı kesitlerde teğetsel hızlar.

4.3. Katı Parçacık Modellemesi

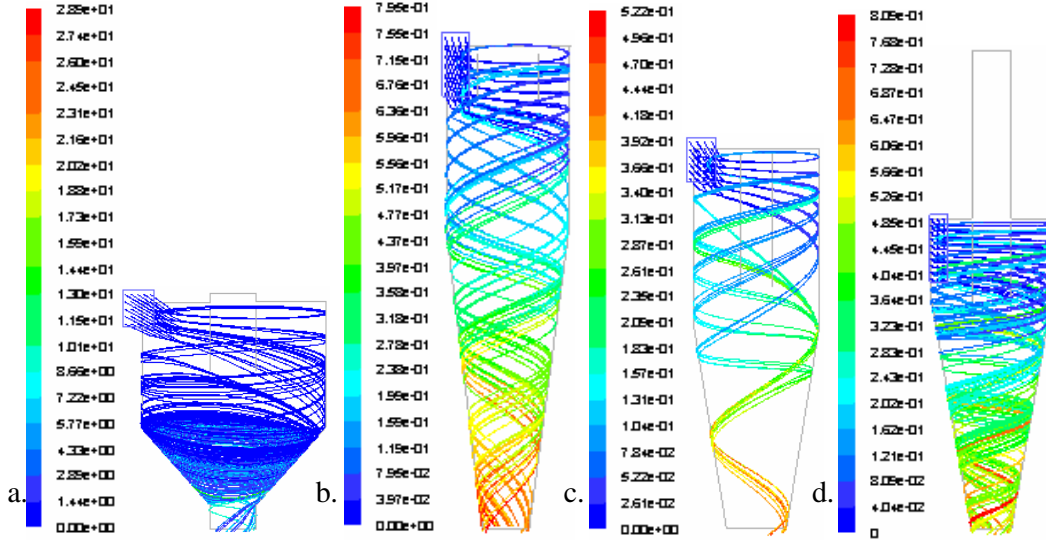
Bu modelde hava-su buharı fazındaki akışkan koşullarında çözümlemesi yapılan siklonlara, kesikli faz modelinde (Discrete Phase Model), giriş kanalından katı parçacık (yonca ve korunga kesi) atılmış ve katı parçacıkların akışkan ortam içindeki davranışları

gözlenmiştir. Katı parçacık yoğunluğu sap kısımlar için 120 kg/m^3 , yaprak kısımlar için ise 360 kg/m^3 olarak alınmış ve bu değerler katı parçacık yoğunluğu olarak girilmiştir. Giriş hızı akışkan hızında kabul edilerek 36 m/s , sıcaklık ortam sıcaklığında kabul edilerek 20 C° olarak girilmiştir. Giriş debisi $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ olduğundan, kg/s cinsinden 0.029 kg/s olarak hesaplanıp girilmiştir, materyal nemi %15 alınmıştır. Sıçrama vektörel büyüklüğünün duvarla yaptığı açının azaltılması amacıyla normal bileşen 0.6 , teğetsel bileşen 0.8 olarak alınmıştır.

4.3.1. Materyalin sap ve yaprak kısımlarının davranışları

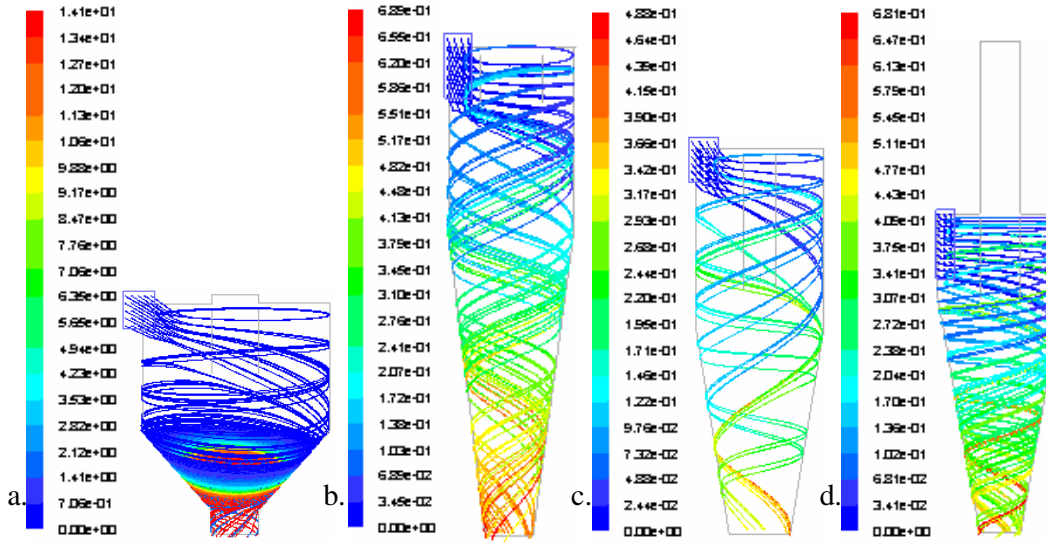
Katı materyal bitki olduğundan sap ve yaprak kısımlardan oluşmaktadır. Dolayısıyla küresel biçimde olmayıp değişik geometrik biçimlerin bir karışımıdır. Fluent CFD çözücüsü parçacıkları küresel kabul ettiğinden, materyalin sap kısımları için 1.4 mm çap ve 16 mm uzunluk değerleri ortalama kabul edilerek, buna karşılık gelen 0.55 biçim faktör değeri ile 3.60 mm eşdeğer küre çapı esas alınmıştır. Yaprak kısımları için ise 4 mm çap ve 0.16 mm kalınlık değerleri ortalama kabul edilerek, buna karşılık gelen 0.28 biçim faktörü değeri ile 1.56 mm eşdeğer küre çapı esas alınmıştır (Bkz. Çizelge 3.3). Giriş kısmından Özkan siklonunda 25 parça, Stairman high efficiency siklonunda 28 parça, Kim and Lee siklonunda 24 parça ve Bohnet sklonunda ise 30 parça bırakılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Materyalin sap kısımları için yapılan simülasyonlar şekil 4.10 da, yaprak kısımları için simülasyonlar ise şekil 4.11 de gösterilmiştir.

Model siklonlarda, materyalin sap ve yaprak kısımları için yapılan simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında, materyalin sap kısımlarının Özkan siklonunun konik alt gövde bölümünde 28.8 s süre ile kaldığı, 24 parçacık siklonu alt çıkıştan terk ederken 1 parçacığın siklonu terk etmediği, yaprak kısımlarının ise 14.1 s süre ile siklonda kaldıktan sonra siklonu terk ettiği görülmüştür. Diğer modellerde, materyalin sap ve yaprak kısımlarının 0.48 s ile 0.80 s aralığında siklonda kaldığı ve bu zaman aralığında siklonu terk ettikleri görülmüştür. Model siklonlarda materyalin sap ve yaprak kısımları için gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre belirlenen maximum süreler çizelge 4.4 te gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Materyalin sap kısımlarının parçacık yörüngeleri ve zamansal konturları.

- a. Özkan siklonu b. Stairman high efficiency siklonu c. Kim and Lee siklonu d. Bohnet siklonu



Şekil 4.11. Materyalin yaprak kısımlarının parçacık yörüngeleri ve zamansal konturları.

- a. Özkan siklonu b. Stairman high efficiency siklonu c. Kim and Lee siklonu d. Bohnet siklonu

Çizelge 4.4. Materyalin sap ve yaprak kısımlarına ilişkin CFD simülasyon sonuçları

SİKLONLAR	KES MATERYALİ	
	Sap kısımlar için	Yaprak kısımlar için
	Maximum süre (s)	Maximum süre (s)
Özkan siklonu	28.8	14.1
Stairdman high efficiency siklonu	0.79	0.68
Kim and Lee siklonu	0.52	0.48
Bohnet siklonu	0.80	0.68

Özkan siklonunda, siklon içindeki materyalin diğer modellere göre oldukça fazla zaman harcamasının nedeninin, geometrik yapısındaki orantısızlık olduğu düşünülerek diğer modellerle geometrik yönden karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre gövde silindir çapı ile alt konik gövde konikliğinin diğer modellere göre oldukça yüksek olduğu anlaşılmıştır. Model siklonların alt gövde koniklik değerleri ve koni açıları hesaplanarak çizelge 4.5 de verilmiştir.

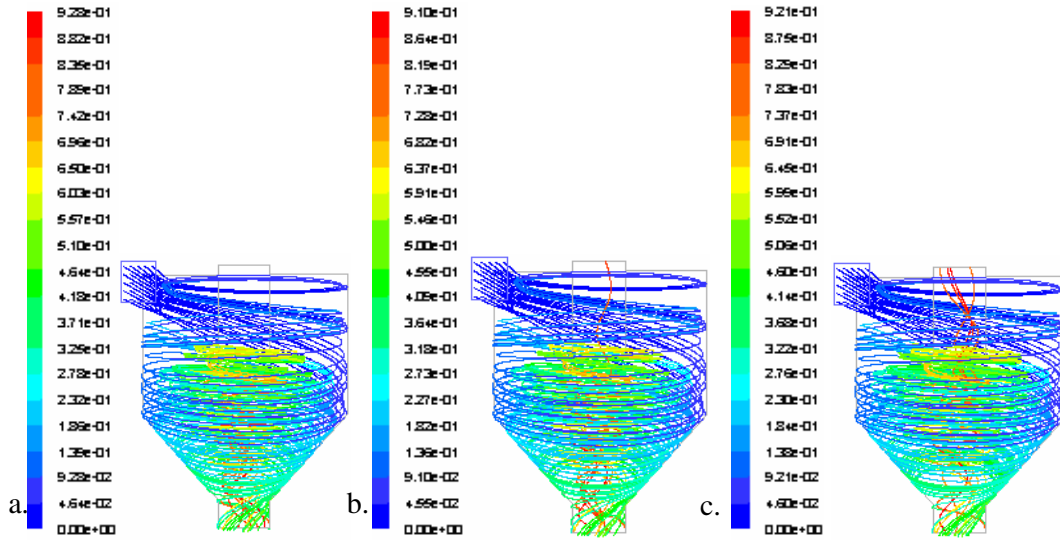
Çizelge 4.5. Model siklonlarda alt gövde koniklik değerleri

Geometri	Koniklik değeri	Koni açısı
Özkan	1.78	82 ⁰
Stairdmand High Efficiency	0.25	14 ⁰
Kim and Lee	0.32	18 ⁰
Bohnet	0.35	19 ⁰

Özkan siklonunda alt gövde konikliğinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülen tıkanmanın, siklon içinde materyal birikimini arttıracak ve buna bağlı olarak parçacık kritik çapın üzerinde bazı parçacıkların da üst çıkış borusundan çıkabileceği söylenebilir.

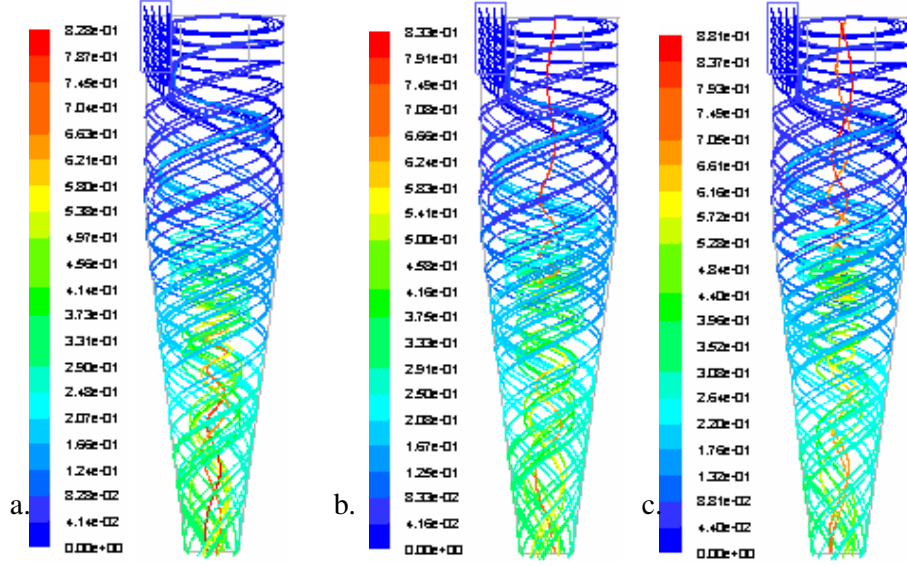
4.3.2. Materyalin kritik çapının belirlenmesi

Model siklonlarda, katı parçacığın üst daldırma borusundan çıktığı en büyük çap olan kritik parçacık çapının belirlenmesi için, 0.050 mm çap değerinden başlamak üzere, çap yaklaşık 5'er µm azaltılarak kritik çapa yaklaşılmıştır. Daha sonra parçacık çapı 1'er µm artırılıp azaltılarak simülasyonlara devam edilmiş ve bu suretle kritik çap için tolerans aralığı iyice daraltılmıştır. Son aşamada ise parçacık çapı 0.1'er µm artırılıp azaltılarak kritik çap belirlenmiştir. Kritik çapa ilişkin her model siklon için ayrı ayrı olmak üzere parçacığın siklon alt çıkışından çıktığı en küçük çap, parçacığın siklon daldırma borusundan çıktığı en büyük çap (kritik çap) ve daldırma borusundan parçacık çıkışlarının arttığı gözlemek için kritik çaptan daha küçük bir çap değeri için simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir. Bu sonuçlar sırası ile Özkan siklonu için şekil 4.12 de, Stairdman high efficiency siklonu için şekil 4.13 de, Kim and Lee siklonu için şekil 4.14 te ve Bohnet siklonu için de şekil 4.15 te gösterilmiştir.



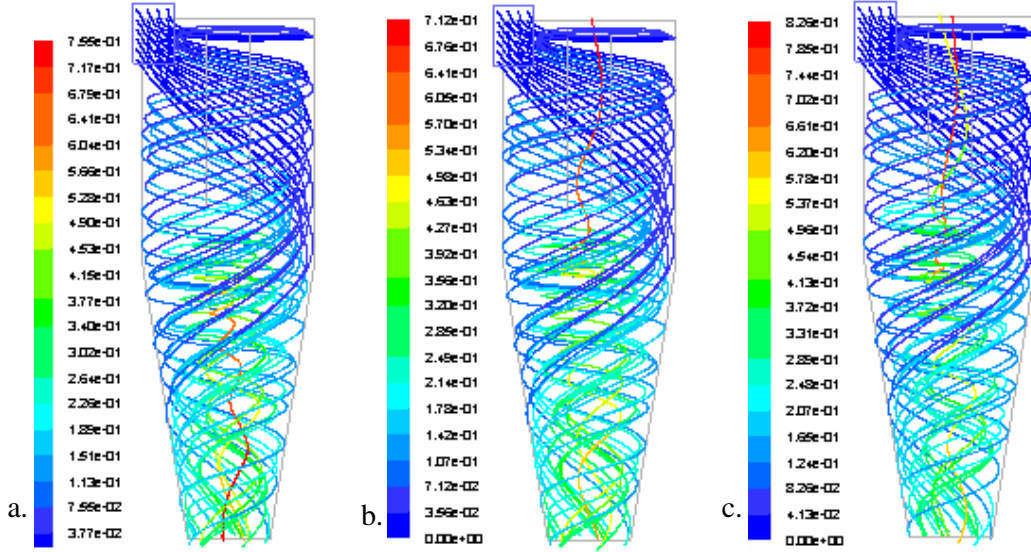
Şekil 4.12. Özkan siklonunda kes materyali için kritik çap simülasyonları.

- Tüm parçacıkların alt çıkıştan çıktığı en küçük parçacık çapı (12.8 µm)
- Kritik çap değeri (12.7 µm)
- Daldırma borusundan çıkışların arttığı parçacık çap değeri (12.6 µm)



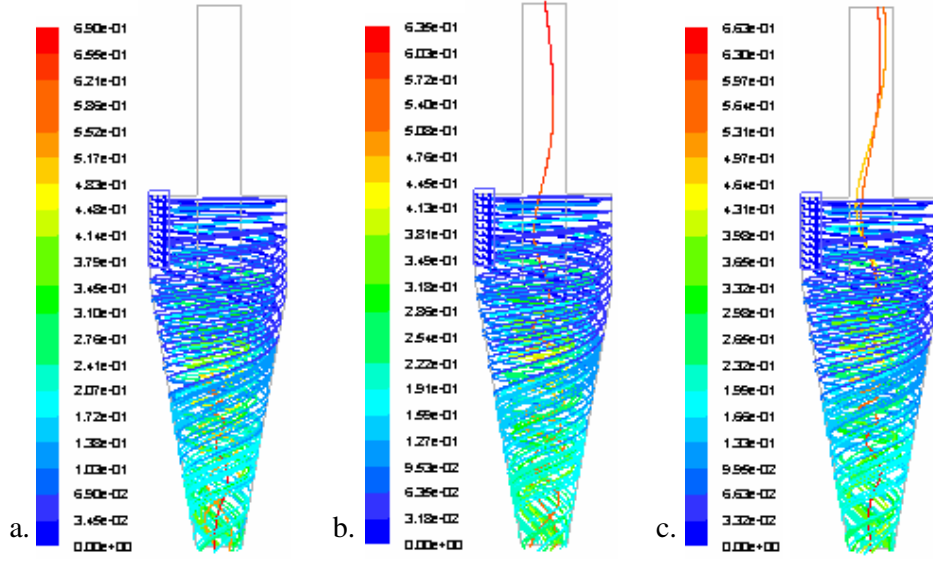
Şekil 4.13. Stairman high efficiency siklonunda parçacık kritik çap simülasyonları.

- Tüm parçacıkların alt çıkıştan çıktığı en küçük parçacık çapı ($16.5 \mu\text{m}$)
- Kritik çap değeri ($16.4 \mu\text{m}$)
- Daldırma borusundan çıkışların arttığı parçacık çap değeri ($16.1 \mu\text{m}$)



Şekil 4.14. Kim and Lee siklonunda parçacık kritik çap simülasyonları.

- Tüm parçacıkların alt çıkıştan çıktığı en küçük parçacık çapı ($5.1 \mu\text{m}$)
- Kritik çap değeri ($5.0 \mu\text{m}$)
- Daldırma borusundan çıkışların arttığı parçacık çap değeri ($2.7 \mu\text{m}$)



Şekil 4.15. Bohnet siklonunda kes materyali için parçacık kritik çap simülasyonları.

- Tm parçacıkların alt çıkıştan çıkığı en küçük parçacık çapı (12.8 μm)
- Kritik çap değeri (12.7 μm)
- Daldırma borusundan çıkışların arttığı parçacık çap değeri (12.3 μm)

Kritik çapın belirlenmesi için yapılan simülasyonlarda, katı parçacıkların geometrik biçimi küresel kabul edilmiş ve yoğunluğu da 360 kg/m^3 olarak alınmıştır. Model siklonlarda, siklon giriş kısmının farklı noktalarından birer parçacık olmak üzere aynı anda bırakılan , Özkan siklonunda 25 adet parçacık, Stairman high efficiency siklonunda 28 parçacık, Kim and Lee siklonunda 24 adet parçacık ve Bohnet siklonunda ise 30 adet parçacık ile simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, parçacıklar için elde edilen çap ve siklonda kaldığı maximum süre değerleri çizelge 4.6 da gösterilmiştir.

Simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde, kritik çap civarındaki parçacıkların siklonlarda kaldıkları maximum süreler 1 s nin altında olmak üzere tüm modellerde birbirine yakın olduğu görülmüştür. Parçacık çap değerleri açısından bakıldığında, Kim and Lee siklonunda parçacık çap değerlerinin diğer modellere göre oldukça düşük olduğu görülmüştür. Bu durum siklon alt çıkışından çıkan parçacıkların minimum çaplarında küçülme ve dolayısıyla üst daldırma borusundan çıkan yani siklonda tutulamayan parçacıkların maximum çaplarında da küçülme anlamına gelmektedir.

Özellikle kritik çap ile üstten çıkışın arttığı en büyük parçacık çapı arasındaki fark diğer modellerde 0.2 μm ile 0.5 μm arasında iken, Kim and Lee siklonunda bu farkın 2.4 μm ye yükseldiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre ayrıştırılmayıp üst daldırma borusundan kaçarak dış ortama karışan parçacık çapı Kim and Lee siklonunda diğer model siklonlara göre oldukça düşük değerlerde olduğu için, Kim and Lee model siklonun diğer model siklonlara göre daha küçük çaplardaki parçacıkları ayrıştırdığı, başka bir deyişle daha verimli olduğu söylenebilir. Bunun nedeni araştırıldığında Kim and Lee siklonunun üst daldırma borusunun diğer modellere göre uzun ve çapının da küçük olduğu ve ayrıca alt çıkış çapının da diğer modellere göre büyük olduğu görülmüştür. Bu geometrik siklon biçiminin 36 m/s giriş hızı için, oldukça düşük yoğunlukta olan kes materyalinin ayrıştırılmasında iyi performans sergilediği söylenebilir.

Çizelge 4.6. Katı parçacıklarda kritik çap için CFD simülasyon sonuçları

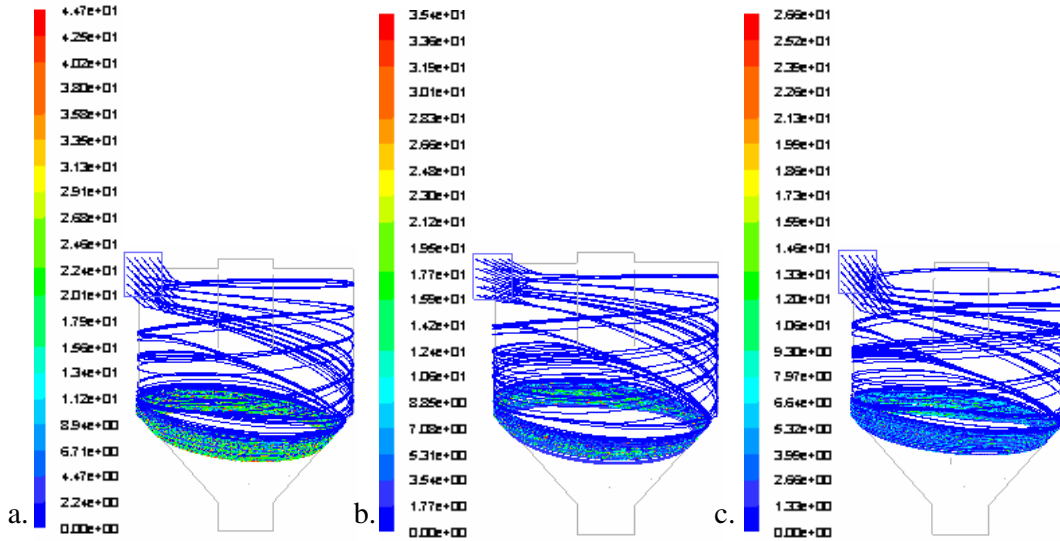
SİKLONLAR	PARÇACIK DEĞERLERİ					
	Alttan çıkan en küçük parçacık		Kritik çaptaki parçacık		Üstten çıkışın arttığı en büyük parçacık	
	Çap (μm)	Max. Süre (s)	Çap (μm)	Max. Süre (s)	Çap (μm)	Max. Süre (s)
Özkan siklonu	12.8	0.92	12.7	0.90	12.6	0.92
Stairdman high efficiency siklonu	16.5	0.82	16.4	0.83	16.1	0.88
Kim and Lee siklonu	5.1	0.75	5.0	0.71	2.7	0.82
Bohnet siklonu	12.8	0.68	12.7	0.63	12.3	0.66

4.4. Özkan Siklonu İçin Alternatif Hızlarda Katı Parçacık Modellemeleri

Özkan (2001) çalışmasında, siklonun kes kıyıcı makinasının dört farklı hız kademesinde test edildiğini belirtmektedir. Dolayısıyla bu farklı hız kademelerinde akış ve katı parçacıklar için CFD çözümlerinin yapılması gereği ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla 24 m/s, 30 m/s ve 40 m/s hız değerlerinde katı parçacık davranışları simüle edilmiştir. Yoğunluk sap kısımlar için 120 kg/m^3 , yaprak kısımlar için ise 360 kg/m^3 olarak alınmıştır. Discrete Phase Model de maximum adım sayısı 50000 'e göre simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

4.4.1. Sap ve yaprak kısımlar için simülasyonlar

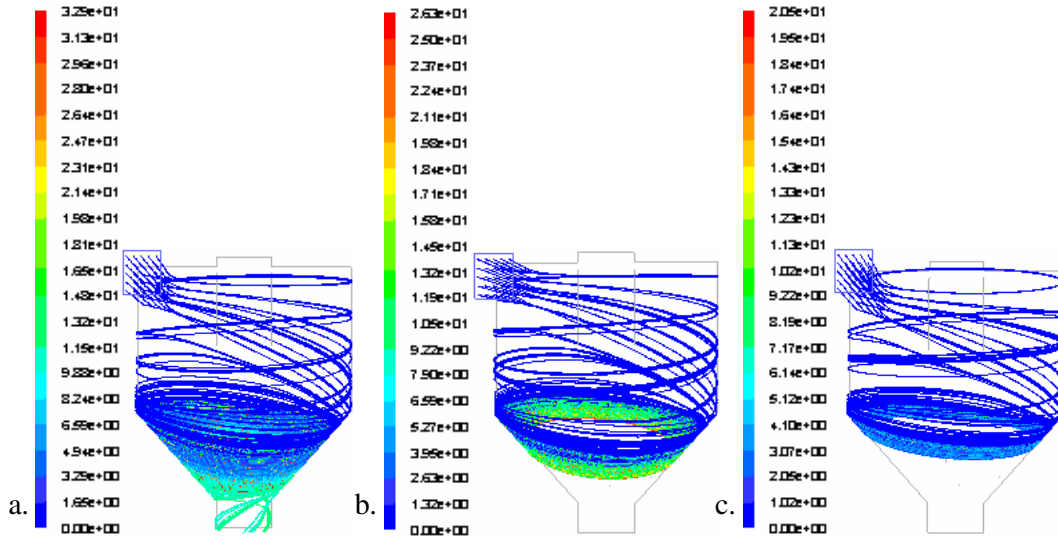
Gerçekleştirilen simülasyonlarda sap kısımlar için çap 3.60 mm, biçim faktörü 0.55, yaprak kısımlar için ise çap 1.56 mm, biçim faktörü de 0.28 olarak alınmıştır (Bkz. Çizelge 3.3). Sap kısımlar için yapılan simülasyonlar şekil 4.16 da, yaprak kısımlar için ise yapılan simülasyonlar ise şekil 4.17 de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Sap kısımların alternatif hızlardaki parçacık davranışları

- 24 m/s hızda
- 30 m/s hız
- 40 m/s hız

Sap kısımlar için alternatif hızlardaki paçacık simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında, 24 m/s, 30 m/s ile 40m/s hızlarında siklona giren 25 paçacığın da siklondan çıkmadığı görülmüştür. Zamansal olarak değerlendirildiğinde, 24 m/s hızında siklona giren paçacıkların 44.7 s süresince hareketli oldukları, 30 m/s hızında siklona giren paçacıkların da 35.4 s süre ile hareketli oldukları, 40 m/s hızında siklona giren paçacıkların ise 26.5 s süre ile hareketli oldukları ve siklon içindeki hareketlerini sürdürdükleri görülmüştür.



Şekil 4.17. Yaprak kısımların alternatif hızlardaki paçacık davranışları.

- 24 m/s hız
- 30 m/s hız
- 40 m/s hız

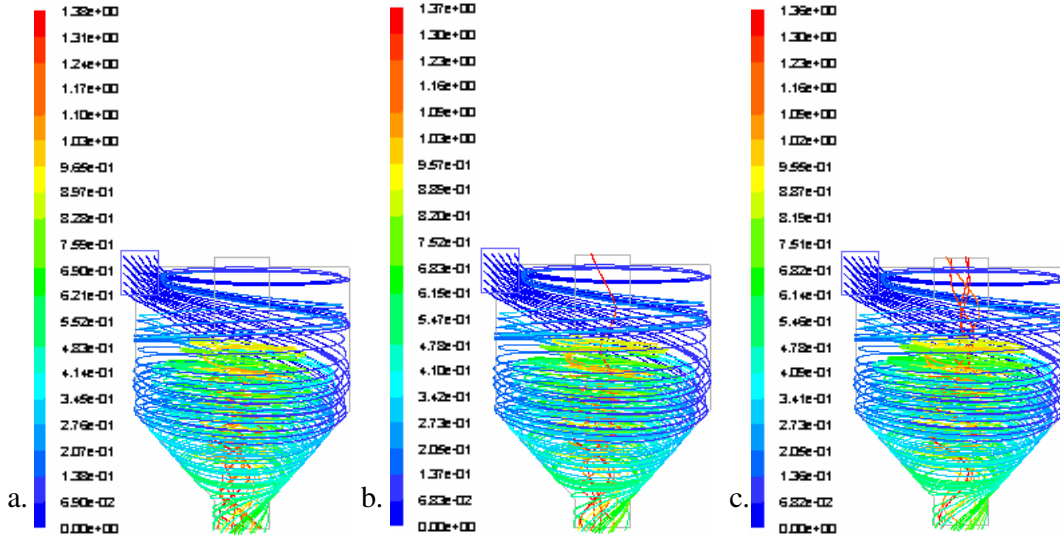
Yaprak kısımlar için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında, 24 m/s hızında siklona giren 25 paçacıktan 22 sinin alt çıkıştan çıktığı 3 paçacığın ise siklonda kaldığı, 30 m/s ile 40 m/s hızlarında siklona giren 25 paçacığın da siklonda kaldığı görülmüştür. Zamansal olarak paçacıkların siklonda kaldıkları maximum süreler karşılaştırıldığında, 24 m/s hızında 32.9 s süre ile, 30 m/s hızında 26.3 s süre ile, 40 m/s hızında ise 20.4 s süre ile siklonda kaldıkları görülmüştür.

Optimum model siklonlar olan Stairdman high efficiency, Kim and Lee ve Bohnet siklonlarında, materyalin sap ve yaprak kısımları için yapılan simülasyonlarda

parçacıkların siklondan çıkış süresinin 1 saniyenin altında gerçekleştiği görülmektedir (Çizelge 4.4). Özkan siklonunda ise bu sürenin, sap kısımlar için 26.5 saniye ile 44.7 saniye arasında, yaprak kısımlarda için ise 20.4 saniye ile 32.9 saniye arasında oldukça yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.

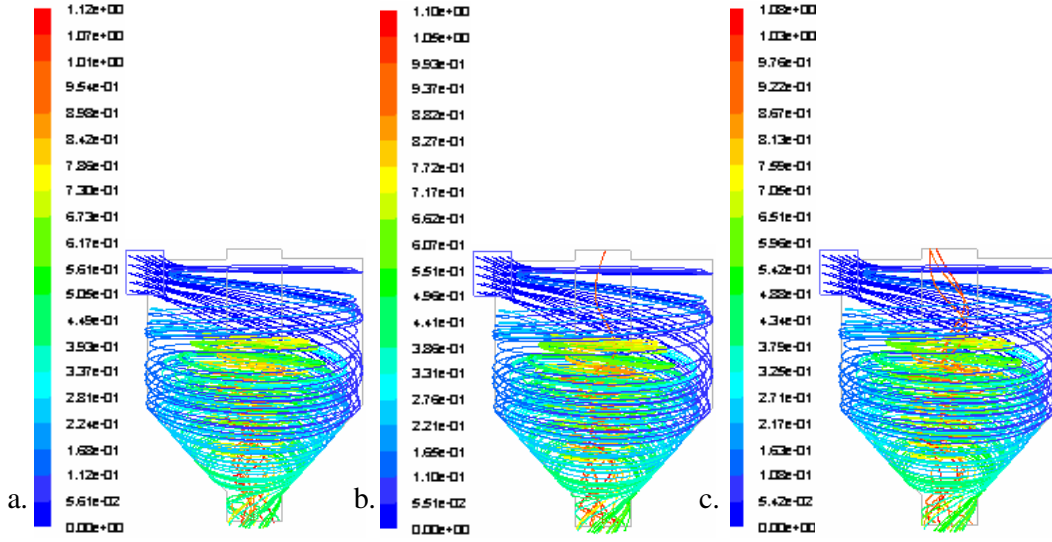
4.4.2. Kritik çap simülasyonları

Özkan siklonunda alternatif hız kademeleri olan 24 m/s, 30 m/s ve 40 m/s hızlarda 360 kg/m^3 yoğunluk değerlerine göre parçacık kritik çapının belirlenmesi için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Giriş kısmından 25 parçacık atılarak gerçekleştirilen simülasyonlarda, parçacıklar biçimsel olarak küresel kabul edilmiştir. Parçacık çap değeri $50 \mu\text{m}$ den başlamak üzere 5'er μm azaltılarak yapılan simülasyonlarla kritik çapa yaklaşılmış ve son aşamada ise çap değeri $0.1 \mu\text{m}$ artırılıp azaltılarak kritik çap belirlenmiştir. Parçacık kritik çapının belirlenmesi için yapılan simülasyonlar, 24 m/s hız için şekil 4.18 de, 30 m/s hız için şekil 4.19 da ve 40 m/s hız için de şekil 4.20 de gösterilmiştir.



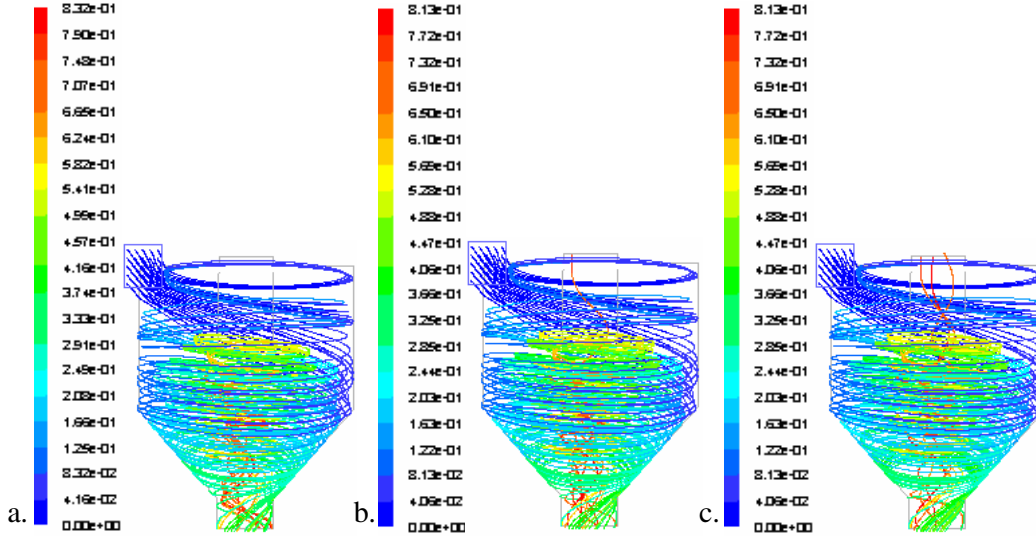
Şekil 4.18. 24m/s hızda kes materyali için kritik çap simülasyonları.

- Tüm parçacıkların alt çıkıştan çıktığı en küçük parçacık çapı ($15.8 \mu\text{m}$)
- Kritik çap değeri ($15.7 \mu\text{m}$)
- Daldırma borusundan çıkışların arttığı parçacık çap değeri ($15.6 \mu\text{m}$)



Şekil 4.19. 30m/s hızda kes materyali için kritik çap simülasyonları.

- Tüm parçacıkların alt çıkıştan çıktığı en küçük parçacık çapı ($13.9 \mu\text{m}$)
- Kritik çap değeri ($13.85 \mu\text{m}$)
- Daldırma borusundan çıkışların arttığı parçacık çap değeri ($13.7 \mu\text{m}$)



Şekil 4.20. 40m/s hızda kes materyali için kritik çap simülasyonları.

- Tüm parçacıkların alt çıkıştan çıktığı en küçük parçacık çapı ($12.1 \mu\text{m}$)
- Kritik çap değeri ($12.0 \mu\text{m}$)
- Daldırma borusundan çıkışların arttığı parçacık çap değeri ($11.9 \mu\text{m}$)

Alternatif hızlardaki paçacık kritik çapının belirlenmesi için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında, giriş hızı arttıkça kritik paçacık çap değeri ile paçacıkları siklonunda kaldıkları sürelerin azaldığı belirlenmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde elde edilen CFD simülasyon sonuçları çizelge 4.7 de açıklanmıştır.

Çizelge 4.7. Özkan siklonunda alternatif hızlardaki paçacık kritik çap CFD simülasyon sonuçları

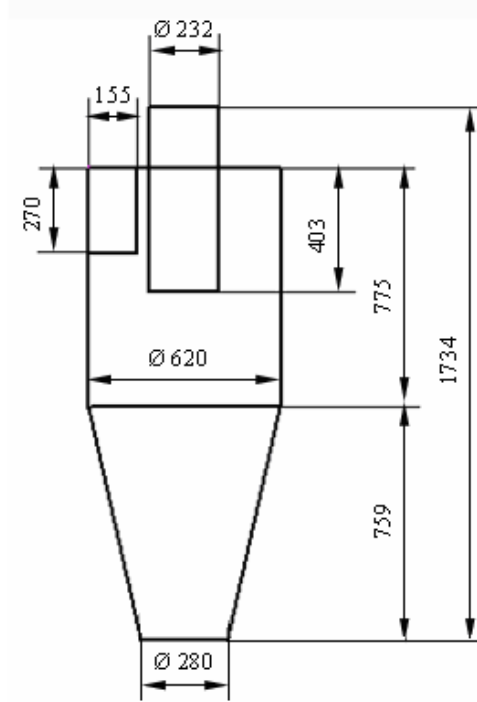
	PARÇACIK DEĞERLERİ					
	Alttan çıkan en küçük paçacık		Kritik çaptaki paçacık		Üstten çıkışın arttığı en büyük paçacık	
	Çap (μm)	Max. Süre (s)	Çap (μm)	Max. Süre (s)	Çap (μm)	Max. Süre (s)
Giriş hızları						
24 m/s hızda	15.8	1.37	15.7	1.36	15.6	1.36
30 m/s hızda	13.9	1.12	13.85	1.10	13.7	1.08
40 m/s hızda	12.1	0.83	12.0	0.81	11.9	0.81

Özkan siklonu için alternatif üç hız kademesi ve farklı paçacık yoğunluk değerlerinde gerçekleştirilen simülasyonlarda, katı paçacıkların siklon içinde benzer davranışlar gösterdikleri görülmüştür. Siklona giren akışkan hızında ve paçacık yoğunluk değerlerindeki değişimlerin paçacık davranışlarını belirgin olarak değiştirebilecek düzeyde olmadığı düşünülmektedir. Diğer optimum modellerde elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, paçacık davranışlarının daha çok siklon geometrisine bağlı olarak değiştiği söylenebilir.

4.5. Kes Ayırmasında Optimum Siklon Dizaynı

Endüstride genellikle toz tutucu olarak kullanılan gaz siklonlarda, yonca ve korunga bitkilerinin kıyılmasından elde edilen ve boyutları genellikle 1cm ila 12 cm

arasında olan kes materyalinin istenilen performansta ayrıştırılabilmesi hedeflenmektedir. Optimum performans sağlayabilmek için, siklon boyutlarının öncelikle akışkan giriş hızı ve debisi ile katı parçacık yoğunluğu, katı parçacık büyüklükleri ve katı parçacık biçimlerine bağlı olarak dizayn edilmesi gerekmektedir. Bu kriterlerin yanı sıra, CFD çözümlerini gerçekleştirdiğimiz model siklonların geometrik boyutları, katı parçacık verimlilikleri ve sağlanan siklon basınç değerleri de dikkate alınarak dizayn edilen siklon ve ölçüleri şekil 4.21 de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Kes ayrıştırması için geliştirilen siklon ve ölçüleri (mm).

Kes materyalinin ayrıştırılması için geliştirilen siklonun 24 m/s ila 40 m/s hız aralığında kullanılabilmesi düşünülerek 40 m/s hıza göre $0.68 \text{ m}^3/\text{s}$ giriş debisi değeri esas alınarak silindir çapı tayin edilmiştir. Silindir çapı (Bkz. Eşitlik 3.1) e göre 620 mm olarak hesaplanmıştır. İstenilen performansı sağlayabilecek için siklona giren parçacık büyüklükleri de dikkate alınarak giriş kısmı 270×155 mm ölçülerinde, alt çıkış kısmı ise 280 mm çapında tasarlanmıştır. Diğer boyutlar ise, siklon iç basıncını mümkün olduğunca yükseltmek ve bunun yanı sıra parçacık kritik çapını da kabul edilebilir değerlerde sağlayabilmek amacıyla değişik alternatifler test edilerek

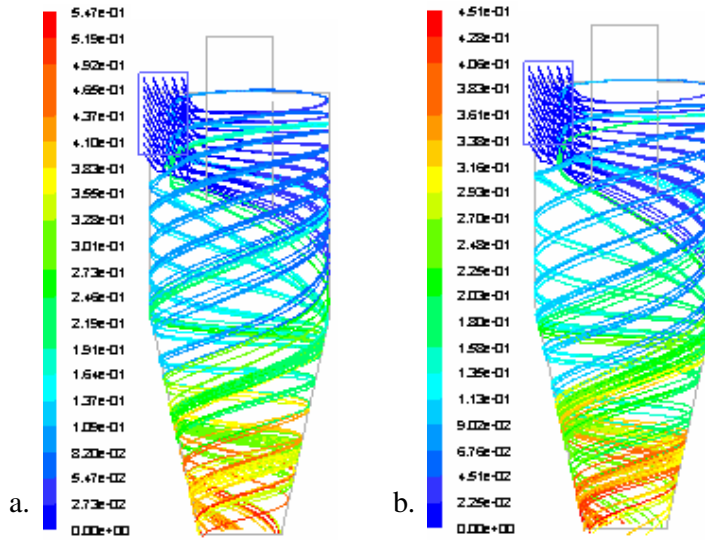
belirlenmiştir. Diğer optimum model siklonların geometrik oranlarından da faydalanarak geliştirilen siklonun boyutlarına ilişkin ölçüler çizelge 4.8 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Kes ayrıştırması için geliştirilen siklon boyutları

Boyutsal Uzunluklar (mm)								Koniklik	Koni açısı	
D	a	b	De	S	h	H	B	a_d	κ	α
620	270	155	232	403	775	1534	280	200	0.44	25°

Bu siklona ilişkin akış ve parçacık modellemeleri Fluent CFD çözücüsünde analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde akış için RSM model ve non-equilibrium duvar fonksiyonu tercih edilmiş, katı parçacık modellemesi için ise DPM model uygulanmıştır. Tasarlanan model siklon 22621 düğüm noktasından oluşmuş ve 121 tekrarda yakınsama sağlanmıştır.

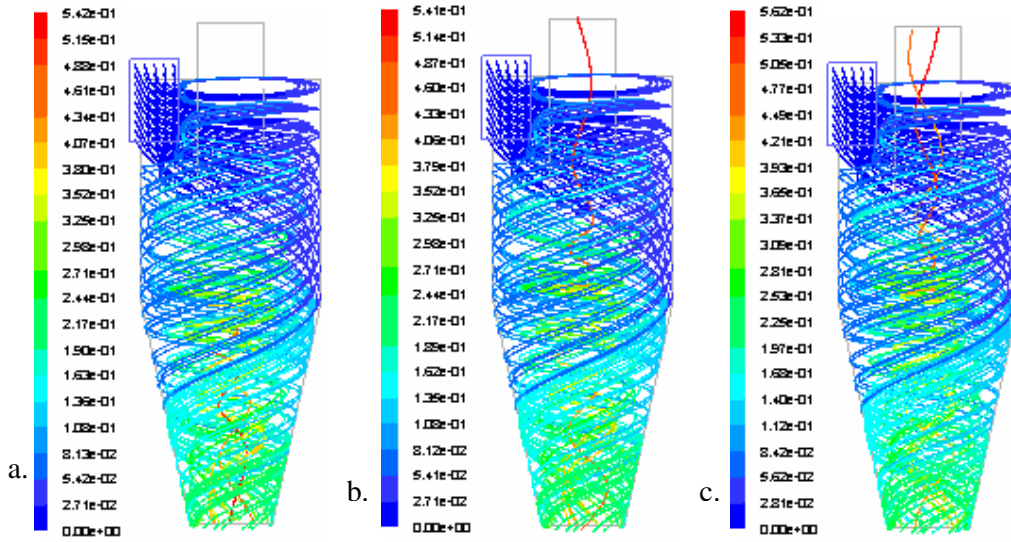
Sap kısımlarda 120 kg/m^3 yoğunluk ve 0.55 biçim faktörü, yaprak kısımlarda ise 360 kg/m^3 yoğunluk ve 0.28 biçim faktörü esas alınmıştır. Parçacık kritik çapının belirlenmesinde parçacıklar 360 kg/m^3 yoğunlukta ve küresel kabul edilmiştir. Sap ve yaprak kısımlara ilişkin simülasyonlar şekil 4.22 de, parçacık kritik çapın belirlenmesine ilişkin gerçekleştirilen simülasyon da şekil 4.23 de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Sap ve yaprak kısımlara ilişkin parçacık simülasyonları.

a. Sap kısımlar b. Yaprak kısımlar

Siklona giriş kısmından 45 parçacık atılarak gerçekleştirilen simülasyonlarda sap kısımların 0.54 saniye, yaprak kısımların ise 0.45 saniye süre ile siklonda kaldıkları ve alt çıkıştan çıkarak siklonu terk ettikleri görülmüştür. Bu sürelerin diğer optimum modellerle karşılaştırıldığında beklenen performans sağlandığı görülmektedir. Kritik parçacık çapın belirlenmesine ilişkin simülasyonlarda, kritik çap civarındaki parçacık çapının siklonda kalma süresinin 0.54 saniye ile 0.56 saniye aralığında ve makul değerlerde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.23. Kes ayrıştırması için dizayn edilen siklonda kritik çap simülasyonları.

- Tüm parçacıkların alt çıkıştan çıktığı en küçük parçacık çapı ($14.7 \mu\text{m}$)
- Kritik çap değeri ($14.6 \mu\text{m}$)
- Daldırma borusundan çıkışların arttığı parçacık çap değeri ($14.2 \mu\text{m}$)

Siklonda basınç ve hız değerleri incelendiğinde, dinamik basıncın 0.8 ila 1030.6 pascal arasında olduğu, siklon geometrisinin %37 ile en yüksek oranı ifade eden dilimde 206.8 ila 309.8 pascal arasında olduğu, teğetsel hızın ise siklon genelinde 4.5 m/s ila 39.4 m/s arasında olduğu, siklon geometrisinin %39 ile hız için en yüksek oranını ifade eden dilimde ise 17.4 m/s ila 21.8 m/s arasında olduğu görülmüştür.

Siklon performansı, siklonda tutulamayıp üst daldırma borusundan kaçarak siklonu terk eden parçacık çapı (kritik çap) ve siklonda oluşan basınç değerlerine göre

yorumlanmaktadır. Siklon performansı siklonda tutulamayan parçacık çapı ile ters orantılı ve siklon iç basıncı ile de doğru orantılı olarak değişmektedir. Siklon basınç kaybı fan gücünü belirlemekte ve işleme maliyetlerine doğrudan etki etmektedir. Dizayn edilen siklon diğer optimum modellerle karşılaştırıldığında siklonda parçacık tutma verimliliği açısından en verimli modelin 5 µm kritik çap değeri ile Kim and Lee modeli olduğu ancak siklondaki basınç kaybı ve siklon içi basınç değerleri açısından karşılaştırıldığında dizayn ettiğimiz model siklonun 1030 pascal iç basınçla oldukça iyi bir performans sergilediği görülmüştür. Siklonda hem parçacık tutma verimliliği yüksek ve hem de basınç kaybı az bir geometrinin tasarlanması oldukça zordur. Bu kriterlerden hangisinin daha ağırlıklı olacağı, ancak siklonun çalışma amacı çalışma ortamı ve ayrıştırdığı materyal gibi belirleyici unsurların optimum bir fayda sağlayacak biçimde analiz edilmesi sayesinde mümkün olabilir. Burada ayrıştırılan materyalin cinsi ve niteliği ile ayrıştırmanın yapıldığı ortam koşulları göz önüne alındığında 14.6 µm kritik çapla sağlanan verimliliğin makul değerlerde olduğu söylenebilir. Dizayn edilen siklon ile diğer model siklonlara ait kritik çap ve basınç değerleri çizelge 4.9 da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Model siklonlarda kritik çap ve basınç değerlerine ilişkin CFD simülasyon sonuçları

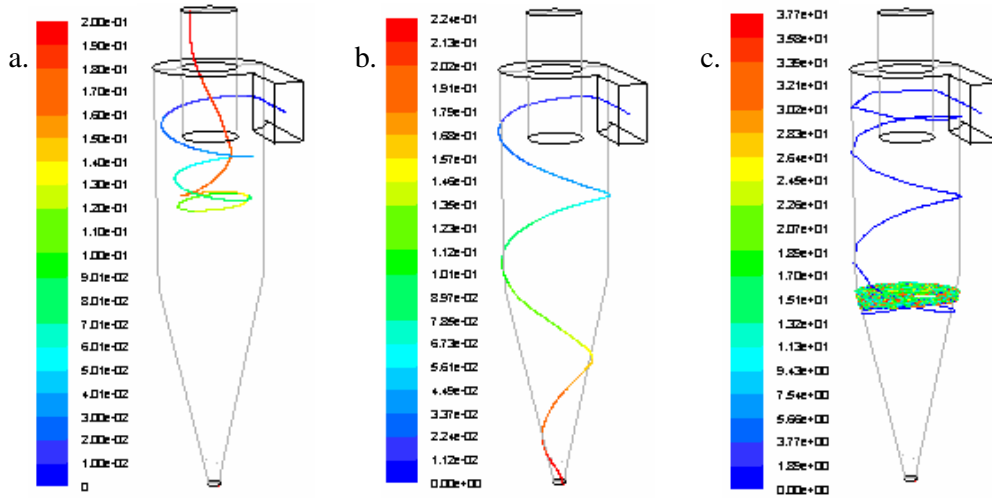
SİKLONLAR	Kritik çap (µm)	Dinamik basınç (Pascal)
		Min - Max
Özkan siklonu	12.7	1.2 - 972.2
Stairdman high efficiency siklonu	16.4	0.03 - 1005.6
Kim and Lee siklonu	5.0	0.1 - 919.8
Bohnet siklonu	12.7	0.07 - 976.6
Dizayn edilen siklon	14.6	0.87 - 1030.6

4.6. Uygulanan Akış ve Katı Parçacık Modellemelerinin Uygunluğunun İlgili Literatür İle Karşılaştırılması

Bu çalışmada uygulanan akış ve katı parçacık modellemeleri test edilmek amacıyla ilgili literatür ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada Wang ve ark. ile Yoshida çalışmaları dikkate alınmıştır. (Bkz. Bölüm 2.3.2)

Söz konusu çalışmalarda kullanılan siklonlar geometrik olarak aynı ölçülerde (Bkz. Çizelge 2.4) oluşturularak mesh edilmiştir. Mesh’de aynı hücre sayısı ve düğüm noktası sağlanamasa da yakın değerler elde edilmiştir. Wang ve ark. modeli için 31658 hexahedral hücre ve 3588 düğüm noktası, Yoshida modeli için ise 11404 hücre ve 13317 düğüm noktası değerlerinde grid yapısı oluşturulmuştur

4.6.1. Wang ve ark(2003) çalışması ile karşılaştırılması



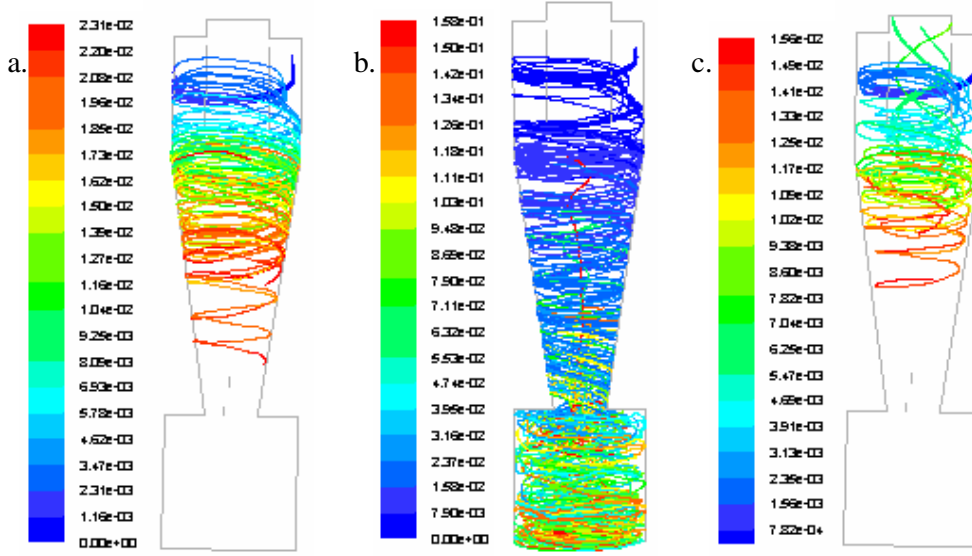
Şekil 4.24. Parçacık davranışları.

a. 2×10^{-7} m. b. 7×10^{-6} m. c. 1×10^{-4} m.

Yapılan CFD çözümlerinde, yoğunluğu 3320 kg/m^3 olan katı materyalin 2×10^{-7} m, 7×10^{-6} m ve 1×10^{-4} m parçacık çaplarındaki davranışların, (Wang ve ark.2003) çalışması ile oldukça yakın sonuçlarda olduğu görülmüştür. Gerçekleştirilen simülasyonlarda, 2×10^{-7} m çapta üst daldırma borundan kaçışın görüldüğü, 1×10^{-4} m

parçacık çapında ise siklonu terk etmeyerek konik alt gövde başlangıcı bölgesinde kaldığı görülmüştür. Elde edilen simülasyon sonuçları şekil 4.24 de gösterilmiştir.

4.6.2. Yoshida (1995) çalışması ile karşılaştırılması



Şekil 4.25. 30m/sn hızda Kantoloam materyali ile yapılan simülasyon sonuçları.

a. 2.4×10^{-6} m b. 2×10^{-6} m c. 0.8×10^{-6} m

Yoshida çalışması ile kıyaslandığında parçacık davranışlarının uygunluk gösterdiği (Bkz. Şekil 2.7) ancak, adım sayısının artırılması durumunda çapı $2 \mu\text{m}$ ve üzeri parçacıkların alt toplama kabına girerek bu bölümde hareketli halde oldukları görülmüştür. Yoğunluğu 2780 kg/m^3 olan Kantoloam maddesi kullanılarak yapılan simülasyonlarda $2 \mu\text{m}$ çap için bu durum şekil 4.25 b de gösterilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uygulanan modellemelerin uygun olup olmadığı ilgili literatür ile karşılaştırılmıştır. İki farklı model için aynı boyutsal ölçülerde geometri oluşturularak CFD analizleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre yöntemlerin uygun olduğu, ancak geometriler için hücre sayısı daha fazla grid yapısı oluşturulması durumunda daha hassas hesaplama yapılacağı sonucuna varılmıştır. Mesh sayısının artırılıp daha sıkı grid yapısı oluşturulması durumunda ise Fluent'te hesaplama tekrarı başına harcan CPU sürelerin artacağı unutulmamalıdır.

CFD çözümlenmeleri yapılan model siklonlarda, materyalin sap kısımları için 120 kg/m^3 yoğunluk değeri ve 0.55 biçim faktörü değeri, yaprak kısımlarda 360 kg/m^3 yoğunluk değerleri ve 0.28 biçim faktörü değeri, kritik çap civarında ise 360 kg/m^3 yoğunluk değerleri ve biçim faktörü küresel kabul edilerek simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Özkan siklonunda, alternatif hız kademeleri olan 24 m/s, 30m/s 36 m/s ve 40 m/s hızlar için gerçekleştirilen simülasyonlarda, siklondaki akışkan ve parçacık davranışların yakın değerlerde sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. Hız ve parçacık yoğunluğu değerlerindeki değişimin, siklondaki parçacık davranışlarını belirgin bir biçimde değiştirmeye yetmediği anlaşılmıştır. Bu hız ve yoğunluk değerlerindeki parçacık modellemeleri karşılaştırıldığında, dalma borusundan parçacık çıkışının başladığı kritik çap değerlerinin $12 \mu\text{m}$ ile $15.7 \mu\text{m}$ arasında olduğu ve hız değeri azaldıkça kritik çapta artış olduğu gözlenmiştir. Sap kısımların konik alt gövde cidarında 26.5 s ile 44.7 s arasında zaman harcadığı ve siklona giren 25 parçacığın da siklonu terk etmediği, yaprak kısımların ise 20.4 s ile 32.9 s süre ile siklonda kaldıkları ve 24 m/s hızında siklona giren 25 parçacıktan 22 sinin alt çıkıştan çıktığı 3 parçacığın ise siklonda kaldığı, 30 m/s ile 40 m/s hızlarında siklona giren 25 parçacığın da siklonda kaldığı görülmüştür görülmüştür. Özkan siklonunda en verimli hız kademesi olarak kabul edilen 36 m/s giriş hızı için oluşturulan akışkan ve parçacık modellemeleri diğer optimum modellerle karşılaştırılmıştır. Aynı akışkan ve parçacık koşullarında oluşturulan simülasyonlarda, diğer optimum üç modelde materyalin sap ve yaprak kısımlarının siklonu terk etme sürelerinin 0.48 s ile 0.80 s aralığında olduğu sap kısımların ayrıştırılmasında geçen sürenin yaprak kısımlara göre daha fazla olduğu,

kritik çap civarında bu sürenin 0.63 s ile 0.83 s arasında olduğu ve kritik çapın da 5 µm ile 16.4 µm arasında gerçekleştiği görülmüştür. Özkan siklonunda ise materyalin sap ve yaprak kısımlarının siklonu terk etme sürelerinin 14.1 s ile 28.8 s aralığında olduğu ve kritik çapın da 12.7 µm olduğu görülmüştür. Özkan siklonunda parçacıkların diğer modellere göre oldukça yüksek kabul edilebilecek sürelerde siklon içinde kalmasının nedeni olarak, geometrik yapı olarak diğer modellere göre siklon silindir çapının büyük ve alt konik gövde boyunun ise küçük oluşu ve sonuçta diğer optimum modellerde 14° ile 19° olan alt gövde koni açısının Özkan siklonunda 82° yükselmesi görülmektedir.

Kes ayrıştırılmasında optimum performans sağlamak amacıyla siklon dizayn edilmiştir. Bu amaçla incelenen model siklonlardaki belirgin geometrik boyutlar ve bunlara bağlı parçacık verimliliği ile siklon iç basınç değerleri dikkate alınmış ve boyutlandırma yapılmıştır. Dizayn edilen siklonda silindir çapı 620 mm, alt gövde konikliği 0.44 ve koni açısı da 25° sağlanmıştır. Toplam iç hacmi 0.377 m³ olan siklonda yapılan CFD analizlerinde katı parçacık tıkanıklıklarına rastlanmamıştır. Simülasyon sonuçları incelendiğinde materyalin siklonu terk etme sürelerinin sap ve yaprak kısımlarda 0.45 s ile 0.54 s, kritik çap civarında ise 0.54 s ile 0.56 s aralığında diğer modellere göre daha iyi olduğu görülmüştür. CFD çözümlenmeleri yapılan model siklonlar karşılaştırıldığında parçacık tutma verimliliği açısından 5 µm kritik çap değeri ile en verimli modelin Kim and Lee model siklonu olduğu, ancak siklon içinde sağlanan basınç değerleri açısından ise 1030.6 pascal ile en verimli modelin dizayn ettiğimiz siklon olduğu anlaşılmaktadır. Dizayn ettiğimiz model siklonda elde edilen 14.6 µm kritik çap değerinin, siklonun çalışma ortamı ve koşulları ile ayrıştırdığı materyalin nitelikleri de göz önüne alınarak çevre koşulları açısından bir olumsuzluğa neden olmaksızın verimli bir şekilde kullanılabilmesi düşünülmektedir.

Endüstride daha çok toz tutucu olarak kullanılan siklon ayırıcıların, yonca ve korunga kesinin pnömatik iletimi sonunda havadan ayrıştırılıp durutulması amacıyla da başarılı bir şekilde kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır. Bu amaçla kullanılacak siklonlarda, siklonda ayrışan materyalin büyüklüğü dikkate alınarak, silindirik gövde çapı, alt çıkış çapının ve giriş boyutlarının optimum diğer modellere göre daha büyük tutulması önerilmektedir. Ayrıca siklonun alt kısmına bir toplama kabı eklenerek burada biriken materyalin çeşitli mekanik iletim araçları yardımıyla taşıyıcılara yüklenmesi de öngörülebilir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2006. Tutorial Fluent V6.3 and Gambit 2.3
- Anonim, 2006 FLUENT 6.3 User's Guide. Fluent Inc 2006
http://www.ipt.ntnu.no/manuals/Fluent.Inc/fluent6.3.26/help/html/ug/main_pre_tm. Erişim tarihi: 10.01.2009
- Anonim, 2009 Bulk Specific Weight and Density
<http://www.deconvibrator.com/docs/BulkWtDensity.pdf>. Erişim tarihi: 11.01.2009
- Avacı, A., Erel, G.K., 2003. *Siklon Separatörlerde Uzunluğun Yük Kayıplarına ve Verime Etkisinin İncelenmesi*. Uludağ Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi, 8(1)
- Culpin, C. 1992. *Farm Machinery*, Twelfth Edition. Blackwell Scientific Publications Oxford, London. UK.
- Evcim, H.Ü., 1991 *Ürün Temizleme ve Sınıflandırma Tekniği*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, İzmir. 199 .
- Evcim, Ü. 1983. *Türkiye'de İmal Edilen Harman Makinaları Üzerinde Bir Araştırma*. TZDK Mesleki Yayınları. Ankara .
- Gimbun,J., Chuah,T.G., Choong,S.Y., Razi, A.F., 2005. A CFD study on the prediction of cyclone collection efficiency. *International for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics*, 6 : 161-168
- Haider,A., Levenspiel,O. Drag coefficient and terminal velocity of spherical and nonspherical particles, 1989. *Powder Technology*, 58: 63-70
- Jekendra, Y. P. Singh. 1991. Energetics of Forage Chopping. *AMA* Vol 22(1):59-63.
- Kanafojski Cz., Karwowski T. 1976. Cutting Blade and Stalk Materials, Agricultural *Machines, Theory and Construction, Vol.: 2*, National Science Foundations Dept., Washington, D.C. , p: 48-120.
- Kaya,F., Karagöz,İ., 2007. Girdaplı akışlarda türbülans modellerinin uygunluğunun incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Dergisi*, 12(1):85-94.
- Kılıç, A. 1997. *Sığırcılıkta Yemleme Pratiği*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, no:525. İzmir .

- Kütükçeken, E., 2001. *Teğetsel Girişli – Eksenel Çıkışlı Siklon Dizaynı* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Minson, D. J.1990. *Forage in Ruminant Nutrition* (Editor: T. S. Cunha). Academic Press, Inc. Har court Brace Javanovich, Publishers San Diego, NewYork.
- Morsi, S. A., Alexander, A. J. An Investigation of Particle Trajectories in Two-Phase Flow Systems, 1972. *J. Fluid Mech.*,55(2):193-208
- Owen, J. B. 1991. *Cattle Feeding*, Second Edition. Farming Press Books, Ipswich IP1 1RJ, UK.
- Özkan , İ. 2001. *Pnömatik Kes İletiminde Siklon Ayırıcı Performansının Saptanması*. (Yüksek Lisans Tezi, Basılmamış) Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Van.
- Özkoca, Ö., 2001. *Alternatif Siklon Konstrüksiyonlarının Yük Kayıplarına ve Verime Etkisinin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Perdecı, H.D.,1992. *Deneysel Siklonlarda Toz Dozajlama Sistemi Tasarım ve İmalatı* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Rider, A.R., Barr, S.D. 1976. *Hay and Forage Harvesting*, John Deere Service Publications, Illinois.
- Soya, H., Avcıoğlu, R., Çelen, A.E. 1999. Türkiye Hayvancılığında Kaliteli Kaba Yem Sorunu ve Yeni Mer'a Yasası Bağlamında Çözüm Önerileri. *Uluslararası Hayvancılık' 99 Kongresi*. İzmir, 631-636.
- Srivastava, A K.,C.E. Goering, R.P. Rohrbach. 1994. *Engineering Principles of Agricultural Machines*. ASAE Textbook Number 6. Editor: Pamela De Vore - Hansen, ASAE MI, USA.
- Şahin, K. 1999. Dođu Anadolu Hayvancılığının Olumsuz Yönde Etkileyen Yapısal ve Ekonomik Sorunlar ve Çözüm Önerileri. *Uluslararası Hayvancılık' 99 Kongresi*. İzmir, 590-595.
- Wang,B., Xu,D., Xıao,X.G., Chu,W.K., Yu,A.B. Numerical study of gas-solid flow in a cyclone seperetor. *Third International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO*. 10-12 Aralık 2003, Melbourne, Australia. 371-376.
- Yıldız, Y. 1993. *Hayvancılıkta Mekanizasyon*. Çukurova Üniv. Ziraat Fakültesi Yayınları, No:84, Adana.

- Yoshida, H. 1995 Three-dimensional simulation of air cyclone and particle separation by a revised-type cyclone. *Physicochemical and Engineering Aspects*, **109** :1-12.
- Yumak, H., Baydar, S., Altınay, B. 1999. Ağrı, Bitlis, Muş ve Van İllerinde Kaba Yem Üretiminde Uygulanan Mekanizasyon Durumu, Mevcut Sorunların saptanması ve Çözüm Önerileri. *Uluslararası Hayvancılık' 99 Kongresi*, 21-24 Eylül, İzmir, 728-733.
- Yumak, H., Demirkuş, T., Baydar, S., Altınay, B., Kurutulmuş yem bitkilerinin kıyılması (Kes yapılması)'na uygun makina geliştirilmesi. *TÜBİTAK Projesi No:TOTAG-1747*. Ağustos 2000, Van. 17:21
- Yumak, H. 2003. Design, Construction and Performance Analysis of Two Hay Chopping Machines. *Agricultural Mechanisation in Asya, Africa and Latin America (AMA)*, **34**(4): 50-54.

ÖZGEÇMİŞ

1963 yılında Bergama'da doğdu. İlk orta ve lise (Endüstri Meslek Lisesi) öğrenimini Batman'da tamamladı. 1982 yılında girdiği Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinden 1986 yılında mezun oldu. Milli Eğitim Bakanlığına Bağlı Ordu Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesinde 1987 yılında atölye ve meslek dersleri öğretmeni olarak göreve başladı. 1992 yılında Bitlis Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesine naklen atandı. 1993 yılında Ahlat Endüstri Meslek Lisesi Müdürü olarak naklen atandı. 1998 yılında Milli Eğitim Bakanlığı Bünyesinden ayrılarak aynı yıl Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ahlat Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. Halen bu kurumda görevini sürdürmektedir. 2005 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Evli ve üç çocukludur.