



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **ÇOK FAZLI AKIŞLARDA PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**FUAT TAN  
İRFAN KARAGÖZ  
ATAKAN AVCI  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ**





# ÇOK FAZLI AKIŞLARDA PERFORMANS KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Fuat TAN  
İrfan KARAGÖZ  
Atakan AVCI

## ÖZET

Siklonlar, çok fazlı akışlar için merkezkaç kuvveti yardımıyla yoğun fazın diğer fazdan ayrılmasında kullanılan cihazlardır. Ucuz, basit ve etkili yapılarından dolayı oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler. Ancak siklonun performans karakteristiklerinden olan toz toplama veriminde ve basınç kaybında etkili parametrelerin çokluğu, çalışmaların çok boyutlu olarak deneysel ve nümerik incelenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, üretimi yapılan klasik bir siklonda farklı çalışma parametreleri altında deneysel olarak elde edilen performans karakteristik eğrileri incelenecektir. Toz toplama ünitesindeki tozlar, lazer difraksiyon prensibiyle çalışan partikül analiz cihazında test edilmiş ve partikül boyutuna bağlı olarak performans karakteristik eğrileri klasik bir siklon için ortaya konularak, elde edilen deneysel verilerle ilgili çeşitli yorumlarda bulunulmuştur.

**Anahtar kelimeler;** Partikül boyutu, partikül dağılımı, siklon, çok fazlı

## ABSTRACT

Cyclones are the devices which are used leaving the dense phase from the other phases in multi-phase flow by centrifugal forces. They have a quite wide range of applications due to their cheap, simple and effective construction. However, the multiplicity of the effective parameters on the performance characteristics of cyclone dust collection efficiency and pressure loss, it requires a multidimensional investigation of experimental and numerical studies. In this study, a manufactured conventional cyclone will be analyzed for performance characteristic curves which obtained experimentally under different operating parameters. Dust in the dust collection unit has been tested in particle analyzer working with laser diffraction principle and performance characteristic curves were introduced depending on the size of particles for a conventional cyclone, also regarding the obtained experimental data, some numerous reviews have been introduced.

**Keywords;** Particle size, particle distribution, cyclone, multiphase

## 1. GİRİŞ

Siklonlar, gaz akışlarından parçacık toplamak amacıyla 1800'lerden beri, çok fazlı akışlar için merkezkaç kuvveti yardımıyla yoğun fazın diğer fazdan ayrılmasında kullanılan cihazlardır. Bu toplayıcıların oynar parçaları yoktur ve çok az bakım gerektirmektedir. Gaz girişine ek olarak siklonlarda gaz çıkışı ve toz tahliye yeri de olmalıdır. Bu üç bölgenin farklı konfigürasyonları için çeşitli

tipte siklonlar üretilmiştir. Genel düzenlemede teğetsel gaz girişi ve aksel çıkış vardır ve ters akışlı siklon olarak adlandırılır. Ticari amaçlı siklon 50-50000 m<sup>3</sup>/h gaz akış debilerinde çalışmaktadır.

Parçacık toplamanın çeşitli amaçları vardır. Bunlardan ilki, sanayileşmenin büyük bir hızla artmasına bağlı olarak ortaya çıkan hava kirlenmesi problemidir. Ardından imalat için gerekli temizliği sağlamak, çeşitli tesislerdeki kullanılan makine ve ekipmanların bakım ve işletme masraflarını azaltmak, endüstriyel üretimde oluşan imalat atıklarını toplamak, çimento tesislerinde olduğu gibi toz mamulleri biriktirmek ve değerli parçacıkları toplamak gibi çeşitli amaçlara ulaşmak açısından önem arz etmektedir.

Siklonun performans karakteristikleri basınç kaybı ve verim değerleridir. Bunlardan maliyet açısından basınç kaybının minimum, toz toplama veriminin ise maximum düzeyde olması beklenir. Bu yüzden siklon optimizasyonu için siklon akışının ve geometrik parametrelerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Son yıllarda siklonlarda akış ve siklonlarda değişik parametrelerin verim ve basınç kaybına etkisinin nümerik yolla incelenmesi üzerinde daha yoğun çalışmalar gözlenmektedir. Bunun yanında deneysel ve ampirik, istatistikî yaklaşımlar da bulunmaktadır.

Bingtao ve ark. (2012) çalışmasında ise siklonlarda ayırma veriminin ve fraksiyonel verimlerin tahmini için parçacıkların siklonda kalış zamanlarını esas alan ve siklon geometrisine ve çalışma parametrelerine bağlı matematik model geliştirilmiştir. Sonuçlar deneysel sonuçlarla ve diğer matematik modellerle karşılaştırılmıştır.[1]

Elsayed ve ark.(2012) yaptıkları çalışmada, siklon performansında önemli olan basınç kaybı ve verimi açısından optimizasyon çalışması yapılmıştır. Sonuçta giriş ve çıkış kesiti ile çıkış kanalı dalma yüksekliğinin en önemli geometrik parametreler olduğu sonucuna varılmıştır.[2]

Shi ve ark. [3] geçici rejim yaklaşımı ile siklonlarda basınç düşümü üzerine analitik ve deneysel olarak çalışmışlardır. Ta Chih ve ark. [4] ise hava içerisinde bulunan 0.3 ve 1 mikron üzerindeki parçacıkları tutmak için minyatür siklonlar üzerinde çalışarak değişik şartlarda yeni tür siklonun verim ve basınç kaybını araştırmışlar ve bu yeni siklonun kullanılabilirliğini incelemişlerdir.

Benzer olarak Safikhani ve ark. [5] farklı üç standart siklonda nümerik olarak çalışarak farklı parçacık dağılımlı tozlar için kritik çapların hesabı üzerinde durmuşlardır. Benzer amaçlı bir çalışma Chang ve ark. [6] tarafından analitik çözüm üzerinde çalışarak elde edilmeye çalışılmıştır.

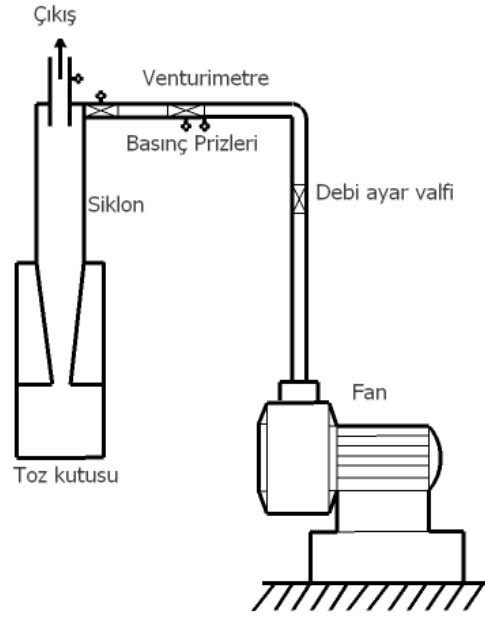
Chu ve ark. [7] büyük parçacık konsantrasyonlarında siklonların davranışını, verim ve basınç kayıplarını nümerik olarak incelemişlerdir.

Xuezhi ve ark. (2011) hava içindeki katı konsantrasyonunun basınç düşümüne etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar uygun bir bağıntı ile verilmiştir.[8]

Bu çalışmada, ölçüleri verilmiş olan klasik bir siklon için deneysel olarak elde edilen bir kısım basınç kaybı ve verim eğrileri incelenmiştir. Performans karakteristiklerine siklon boyunun, farklı giriş hızlarının etkisine göre grafikler elde edilmiş ve elde edilen grafiklere göre çeşitli yorum ve tavsiyelerde bulunularak, sonraki deneysel veya nümerik çalışmalara yön verilmesi amaçlanmıştır.

## 2. DENEYSEL METODOLOJİ

Siklon deney sistemi Şekil 1’de görülmektedir. Sistem; silindirik boyu değiştirilebilen, şeffaf plexiglas malzemeden imal edilmiş teğetsel girişli bir siklondur. Siklonun boyu uzatılabilmektedir. Siklon girişi ve çıkışında, ayrıca siklon gövdesi üzerinde uygun basınç prizleri açılmıştır. Basınç ölçümü dijital ölçüm cihazı (TESTO 521) (Şekil 2) ile yapılmaktadır. Debi ölçümü ise venturimetre ile yapılmıştır (Şekil 1). Ayrıca hem hız ölçümü hem de kalibrasyon amacıyla pitot tüpü kullanılmıştır.



**Şekil 1.** Siklon deney sistemi

Siklona gönderilecek toz ve toz kutusunda siklon tarafından tutulan tozun çap dağılımlarının tespiti için ise Mastersizer 2000 modeli analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 3). Kuru ve ıslak tip numunelerle ölçüm yapabilen Partikül Analiz Cihazı 0,02  $\mu\text{m}$  ile 2000  $\mu\text{m}$  arasındaki partiküllerin boyutlarını ölçebilmektedir.



**Şekil 2.** Dijital basınç ölçer

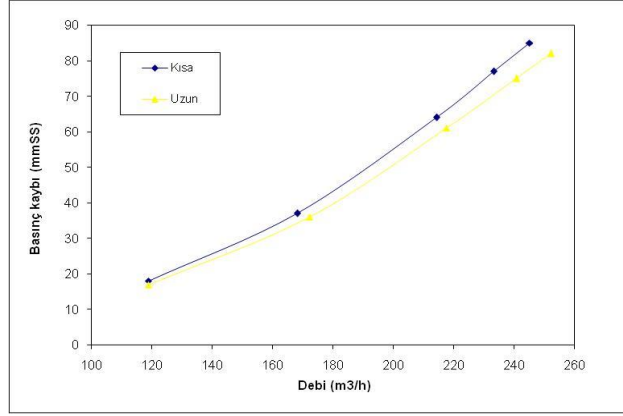


**Şekil 3.** Partikül Analiz Cihazı

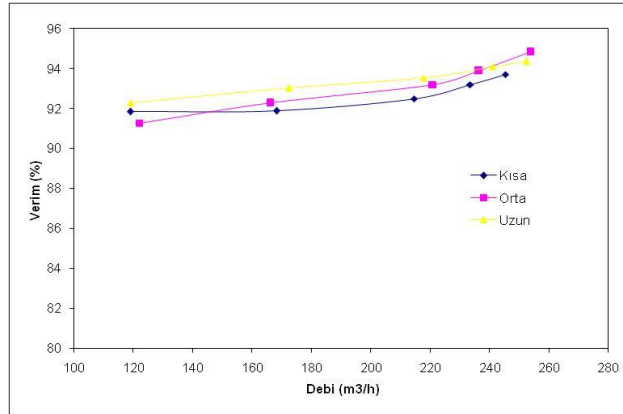
Deneylerde dolamit tozu kullanılmıştır. Yapılan analizde tozun partikül çapı 0.4 ile 200 mikron arasında değişmekte olup ortalama çap 65.8 mikrondur. Siklon gövde çapı 190 mm'dir. Siklonun silindirik kısmının boyu değiştirilerek üç farklı siklon boyu-koni kımı dahil (H= 585, 790, 980 mm) için deneyler yapılmış, siklonda basınç düşümü ve verim değerleri hesaplanmıştır. Her deneyde 500 gr dolamit kullanılmış, hava debisi 100-260  $\text{m}^3/\text{h}$  arasında değiştirilmiştir. Giriş kesit alanı  $75 \times 150 \text{ mm}^2$  olduğundan bu değerler için giriş hızı 3-6.5 m/s arasında kalmaktadır. Çıkış bacası çapı ise 101 mm'dir. Baca dalma derinliği, siklon yüksekliği ile aynıdır. Koni dip çapı ise yaklaşık 70 mm'dir. Basınç kayıpları ve verimin siklon boyuna göre değişimi Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.

### 3. DENEY BULGULARI

Basınç kayıpları giriş hızına göre parabolik artarken, bu artış uzun siklonda bir miktar daha düşük kalmıştır (Şekil 5). Uzun siklonda basınç kayıplarının daha düşük çıkması siklonda oluşan girdabin toz kutusuna ulaşmadan geriye dönmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Siklonda tutulan tozun tartılmasıyla elde edilen toplam tutma verim değerleri Şekil 6'da görülmektedir.

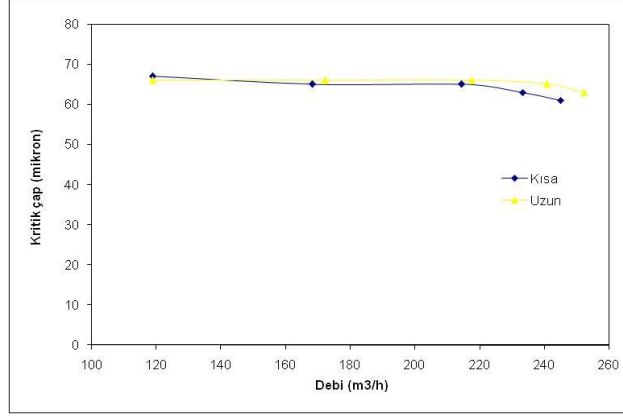


Şekil 5. Basınç kayıplarının siklon boyuna göre değişimi



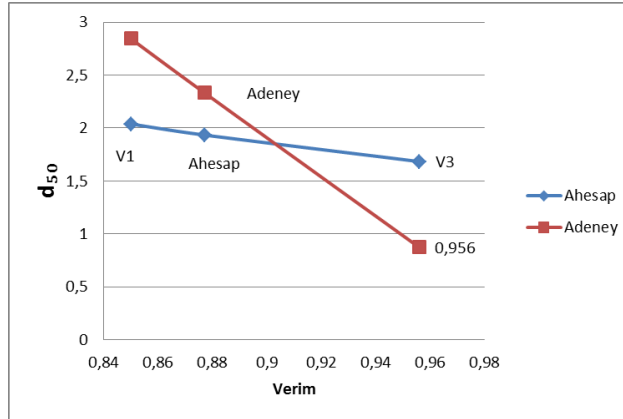
Şekil 6. Toplam verimin siklon boyuna göre değişimi

Görüldüğü gibi verim değerleri %90'larda olup belirgin bir farklılık yoktur. Yüksek hızlarda her üç boydaki siklon için verimde belirgin bir artış olmaktadır. Kısa boylu siklonda verim genelde düşüktür. Bunun, toz kutusuna giren kuvvetli girdabin toz kutusunda biriken tozu tekrar iç girdaba verdiği için kaynaklandığı düşünülmektedir. Orta boy siklonun yüksek hızlarda daha verimli olduğu görülmektedir. Siklonda tutulan tozun partikül dağılım analizleri yapılmış ve her üç boy siklon için de analizler gerçekleştirilmiştir. Burada, genelde 4 mikronun altındaki tozun tutulamadığı gözlenmiştir. Bu analizlerden elde edilen sonuçlara göre kritik partikül çapının (%50 verimle tutulan partikül çapı) giriş hızıyla bir miktar azaldığı söylenebilir (Şekil 8). Görüldüğü gibi yüksek hızlarda kritik partikül çapı azalmakta bir başka ifadeyle küçük partiküller daha yüksek verimle tutulabilmektedir.



Şekil 7. Kritik çap değerinin debiye göre değişimi

Kesin bir yargıya varabilmek için bu deneylerin farklı siklon boylarında tekrarlanması, deneylerde farklı polydispers tozların kullanılması ve fraksiyonel verim değerlerinin de elde edilmesi faydalı olacaktır. Genel itibarıyla ve özellikle verim için deneysel değerler ile model değerleri arasında iyi bir uyum olmakla beraber kritik çap değerleri deneysel verilere göre hesaplandığında daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Bu değerlerden yüksek verim alınan 790 mm boyları için sonuçlar grafikler halinde aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 8. verim ve kritik çap için deneysel ve model değerlerin karşılaştırılması (H=790 mm)

Verim için model ve deneysel değerler oldukça yakın olduğu görülmektedir. Hız değişimi ile kritik çapta oluşan değişim modele göre az deneysel değerlere göre daha fazladır. Düşük hızlarda kritik çap için deneysel ve model değerler birbirine yakın ve model değerler biraz düşük iken yüksek hızda model değer deneysel değerden daha yüksektir.

Çok yüksek hızda verimin yüksek olduğu çok küçük partiküllerin toplandığı görülmektedir. Optimum tasarım için yüzde 95 civarında verim değerleri çok başarılı sonuç olarak görülmektedir.

## SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkabilir.

- Siklon performansını etkileyen önemli unsurlardan basınç kaybı ve toplam ayrıştırma veriminin siklon



yüksekliği ve giriş hızının değişmesiyle ne şekilde etkilendiği incelenmiştir. Deneysel verilerin analizi yapılarak karşılaştırmalı parametrelerle performansa etkisi tayin edilmiştir.

- İşletme maliyetini düşürmek için basınç kayıplarının azaltılması gerekmektedir. Endüstride çevresel etmenlerin etkisi sıcaklık, viskozite gibi değerler daha değişkendir. Optimum tasarım için bu değişimler dikkate alınmalıdır.
- Genel olarak siklon boyunun uzamasıyla basınç kayıplarında azalma görülmüştür. Özellikle en uzun iki boyda kayıp değerleri birbirine yakındır. Bunun nedeni çok uzun boylarda girdabın siklon alt ucuna ulaşmadan geri döndüğü ve kayıpların azaldığı söylenebilir. Hız arttığında ise daima basınç kayıpları artmaktadır.
- Verim ifadelerinde ise daha değişken eğriler elde edilmiştir. En verimli boy olarak  $H=790$  mm siklon gövdesi tespit edilmiştir. Bu durumda  $H/D$  oranı 4 civarında olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1]. BINGTAO, Z ., "Prediction of gas-particle separation efficiency for cyclones: A time-of-flight model", Separation and Purification Technology, 85: 171-177, 2012.
- [2]. ELSAYED, K., LACOR C., "Numerical modeling of the flow field and performance in cyclones of different cone-tip diameters", Computers & Fluids, 51(1) : 48-59, 2011.
- [3]. YANG, S., YANG, H. , ZHANG, H., LI, S., YUE, G., "A transient method to study the pressure drop characteristics of the cyclone in a CFB system", Powder Technology, 192 : 105–109 , 2009.
- [4]. HSIAOA, T., DA-RENCHENA, SON, S., "Development of mini-cyclones as the size-selective inlet of miniature particle detectors", Aerosol Science, 40 : 481 – 491, 2009.
- [5]. SAFIKHANI H., M.A. AKHAVAN-BEHABADI , M. SHAMS , M.H. RAHIMYAN., "Numerical simulation of flow field in three types of standard cyclone separators. ", Advanced Powder Technology, 2010.
- [6]. JUNGA, C., SEOL, H., P. KIM, Y., "Analytic solution to estimate overall collection efficiency and the size distribution change of polydispersed aerosol for cyclone separator.", Separation and Purification Technology, 68 : 428–432, 2009.
- [7]. K.W. CHU, B. WANG, A.B. YU , A. VINCE, CFD-DEM, "Modelling of multiphase flow in dense medium cyclones", Powder Technology, 193 : 235–247, 2009.
- [8]. XUEZHİ W., JİE L., XİANG X., " Modeling and Experimental Validation on Pressure Drop in a Reverse-flow Cyclone Separator at High Inlet Solid Loading", J. Thermal Science , 20(4) : 343-348, 2011.

## ÖZGEÇMİŞ

### Fuat TAN

1979 yılı Balıkesir doğumludur. 1997 yılında, Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümünde başladığı yükseköğrenimini, 2002 yılında tamamladı. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalından 2005 yılında yüksek lisans derecesini aldı. Bir süre özel sektörde görev alan yazar, 2010 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine





Mühendisliği Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Doktora çalışmalarına devam eden Fuat TAN, evli ve bir çocuk babasıdır.

### **İrfan KARAGÖZ**

1959 yılında Trabzon Maçka'da doğan İrfan Karagöz, 1983 yılında U.Ü. Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1984 yılında aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünden 1986 yılında Yüksek Lisans, 1991 yılında Doktora derecelerini aldı. 1992 yılında Yardımcı Doçent olarak Makine Mühendisliği Bölümünde öğretim üyeliğine atanan İrfan Karagöz, 1996 yılında Akışkanlar Mekaniği ve Uygulamaları Bilim Dalında Doçent unvanını aldı. 2002 yılında Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında Profesörlüğe atanan İrfan Karagöz, evli ve üç çocuk babasıdır.

### **Atakan AVCI**

1959 yılında Artvin'de doğan Atakan AVCI, 1983 yılında U.Ü. Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1985 yılında İTÜ Fen bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği bölümünü bitirdi. 1989 yılında ise Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünden Doktora derecesini aldı. Evli ve iki çocuk babası olan Atakan AVCI, halen Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim dalında Profesör olarak görevine devam etmektedir. .

