



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 23.07.2023
Kabul Tarihi : 22.09.2023

Received Date : 23.07.2023
Accepted Date : 22.09.2023

EKSENEL AKIŞLI SIKLONLARDA KANAT SAYISININ AYIRMA VERİMİ VE BASINÇ KAYIPLARINA OLAN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF NUMBER OF GUIDE VANES ON SEPARATION EFFICIENCY AND PRESSURE DROPS IN THE AXIAL FLOW CYCLONES

Nihan BABAOĞLU^{1*} (ORCID: 0000-0003-3356-9407)
Ayşe Nur GÖKDUMAN¹ (ORCID: 0009-0009-2436-1138)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Nihan BABAOĞLU, nuygur@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, eksenel akışlı siklonlarda kanat sayısının ayırma verimliliği ve basınç kayıpları üzerindeki etkisi Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanılarak incelenmiştir. Eksenel akışlı siklonlar, yüksek partikül ayırma verimliliği ve basınç düşüşü sağlayan teğetsel ve ters akışlı siklon ayırıcılar ile karşılaştırılmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalar dikkate alınarak bu çalışmada eksenel akışlı siklonlar ele alınmıştır. Çalışmada 2 ile 10 arasında değişen kılavuz kanat sayıları dört farklı durum için incelenmiştir. Önerilen eksenel akış siklonundaki partikül ayırma verimi ve basınç kayıpları sayısal model kullanılarak hesaplanmıştır. İncelenen dört durum için, eksenel akışlı siklonun HAD sonuçları, sabit kanat açısı ve kanat dönüşünün kanat sayısı ile ters orantılı olduğu durumun diğer üç duruma kıyasla, kanat sayısı arttıkça performansın arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Eksenel siklon, kanat sayısı, kanat yüksekliği, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, kesme çapı, basınç kayıpları.

ABSTRACT

In this study, the effect of the number of guide vanes on separation efficiency and pressure drops in the axial flow cyclones was investigated using the Computational Fluid Dynamics (HAD). Axial flow cyclones were compared with the tangential and reverse flow cyclone separators, which provide high particle collection efficiency and pressure drop. Axial flow cyclones were considered in this study by taking into account the similar studies in the literature. In the study, guide vane numbers ranging from 2 to 10 were examined for four different situations. The particle separation efficiency and pressure drops in the proposed axial flow cyclone were computed by using numerical model. The HAD results of the axial flow cyclone are, for the four cases studied, the situation where the fixed vane angle and vane rotations are inversely proportional to the number of vanes, compared to the other three cases, it was observed that the performance increased as the number of vanes increased.

Keywords: Axial cyclone, number of guide vanes, swirler height, computational fluid dynamics, cut-off diameter, pressure drops.

GİRİŞ

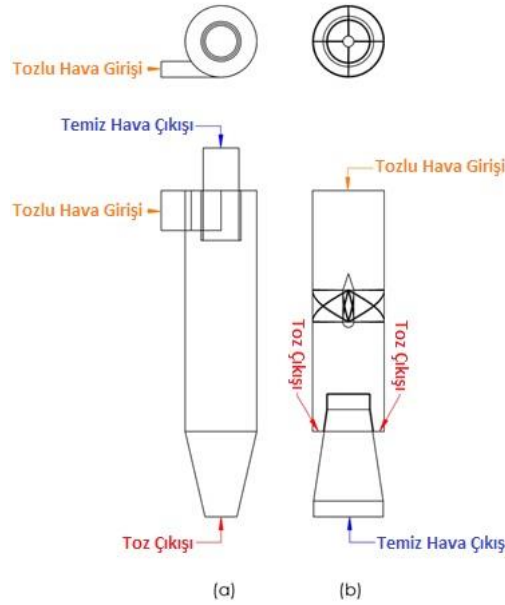
Hızla gelişmekte olan dünyamızda en önemli çevre sorunlarından biri de hava kirliliğidir. Hava kirliliğine neden olan maddeler ise partikül maddeler ve gaz halindeki kirleticilerdir (Babaoğlu vd., 2021). Partikül maddeler 2'ye ayrılır. Bunlar; Çapı 2,5 µm'den 10 µm'ye kadar olan kaba partikül ve çapı 2,5 µm'den daha küçük olan ince partikül maddelerdir. Kısa ve uzun maruziyet sürelerinde insan sağlığına olumsuz etkileri bulunmaktadır (Arkouli vd., 2010; Wilson & Suh, 2012). İnsan sağlığına yaptığı olumsuz etkilerden biri ve en önemlisi solunum sistemine zarar vererek çeşitli hastalıklara neden olmasıdır (Kreyling vd., 2006; Cheng, 2003; Pope vd., 2002; Morawska, vd., 1999; Dockery & Papa, 1996). Görüş mesafesini kısıtlaması ve iç ortam kalitesini düşürmesi gibi etkileri çevreye olan olumsuz etkilerinin en önemlilerinden bazılarıdır (Canha vd., 2014; Brewer & Belzer, 2001). İnsan sağlığı ve çevreye verdiği zarardan ötürü bunların kontrolü gerekmektedir.

Partikül maddelerin kontrolü için çeşitli hava kirliliği kontrol cihazları kullanılmaktadır. Bu cihazların çalışma prensipleri, verimlilikleri partikül ayırmada veya tutmada tercih sebebi olabilmektedir. Bu cihazlar gerek ön arıtma ve gerekse daha ileri arıtma için art arda kullanılabilir. Partikül madde kontrol cihazları; çökeltme odaları, siklonlar, ıslak arıtıcılar, torbalı filtreler ve elektro filtrelerdir. Bu cihazlarda partikül maddelerin tutulmasına etki eden bazı kuvvetler bulunmaktadır. Bunlar; yerçekimi kuvveti, santrifüj kuvveti, atalet, doğrudan çarpma, difüzyon ve elektrostatik kuvvetlerdir. Partikül madde kontrol yöntemleri bu kuvvetlerle tutma işlemi gerçekleştirirler. Bu yöntemlerden çökeltme odaları, yerçekimi kuvveti etkisiyle tutma gerçekleştirir. Bunlarda alan ihtiyacı çok fazladır ve küçük çapta partikül madde tutma verimi düşüktür. Islak arıtıcılarda atalet kuvveti etkisiyle tutma gerçekleşirken, küçük çapta partikül tutma verimi yüksek olmasına rağmen bunların dezavantajı olarak atıksu oluşur ve bu atık suyun uzaklaştırılması gerekmektedir. Aynı zamanda sürekli temiz su gerekebilir ve buharlaşma kayıpları olabilir. Torbalı filtrelerde ise doğrudan çarpma kuvveti ile gerçekleşir. Toplanan tozun giderilmesi için filtre değişimi yani yüksek bakım maliyeti, asitli ortamlarda tozun patlama ya da yangın riski gibi dezavantajları bulunmaktadır. Elektro filtrelerde elektrik alan kuvveti ile gerçekleşir. Çok fazla elektrik enerjisine ihtiyaç duyarlar ve kirleticiler nemli ve yapışkan değilse kullanılabilir. Bu yöntemlerin dezavantajları nedeniyle siklonlar ön plana çıkmaktadır (US EPA, 1999).

Partikül madde kontrol yöntemlerinden olan siklonlar; kolay temin edilebilen malzemeden oluşması, basit ve tek parçadan oluşması, oluşabilecek korozyona karşı kimyasallarla kaplanabilir olması ve düşük işletme maliyeti gibi avantajları bulunmaktadır (Hoffmann vd., 1992; Karakaş, 2020; Oruç, 2020). Bu avantajları nedeniyle birçok alanda tercih edilmektedir. Maden ve mermer ocakları, elektrikli süpürgeler, yem sanayi, inşaat, gıda üretim tesisleri ve toplu taşıma araçları bunlara örnek verilebilir (Karakaş, 2020; Oruç, 2020). Siklonlar genel olarak bir ön arıtma cihazı olarak düşünülebilir. Ancak son yıllarda siklonlarda siklon tipi, siklon geometrisi, akış hızı ve giriş geometrisi üzerinde yapılan bir takım değişiklikler ayırma veriminin artırılıp, basınç kayıplarının azaltılmasını hedeflemektedir (Kuo, Kung-Yu, 2001). Bir siklon ayırıcıda toplama verimi ve basınç kayıpları siklon performansını ifade eden iki parametredir (Babaoğlu vd., 2021; Wasilewski & Brar, 2017). Ayırma veriminin yüksek olmasının yanında basınç kayıplarının düşük olması bu cihazlarda en önemli kriterlerdendir (Babaoğlu vd., 2021). Siklonlar basit yapılarının ve ekonomik olmalarının yanı sıra, sürekli faz (gaz-partikül karışımı) bakımından oldukça kompleks cihazlar olup, halihazırda bu yönde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte, siklonlardaki sürekli fazın hareketi oldukça karmaşıktır ve hala tam olarak anlaşılamamıştır. Siklonik akışlar, daha yoğun parçacıkları daha hafif olanlardan ayırmak için ikili bir girdap oluşturur (Elsayed vd., 2020). Siklona giren gaz-partikül karışımı ve siklon tasarımı bu girdap oluşumlarında etkilidir. Bunlardan bir tanesi akışkanın siklona girdiği anda aşağı inerken oluşturduğu hareket, diğeri ise aşağıda oluşan akışkanın yukarı çıkmasına neden olan harekettir. Özellikle tasarım şekline bağlı olarak ortaya çıkan merkezkaç kuvveti girdap oluşumları üzerinde etkilidir. Gaz-partikül karışımı siklon duvarlarından sürtünerek aşağı doğru inerken, temiz hava borudan yukarı doğru hareket eder ve partiküller partikül toplama haznesinde toplanır (Babaoğlu vd., 2021; Brar & Elsayed, 2017; Demir & Karadeniz 2016).

Çalışma prensiplerine göre siklonlar incelendiğinde içerisinde gaz-partikül karışımının akış şekline göre teğetsel akışlı ve eksenel akışlı siklonlar olmak üzere başlıca iki grupta incelenirler. Öte yandan eksenel akışlı siklonlarında akışkanın yönüne bağlı olarak kendi arasında ters akışlı ve düz akışlı olmak üzere iki grupta incelenir. Teğetsel siklonlar ayırma verimleri daha yüksek oldukları için çokça tercih edilen siklon türleri olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Ancak gerek ters akışlı olsun gerekse normal eksenel siklon olsun bu yapıların kullanım kolaylığı nedeniyle bu türlerinde kullanımına ve optimizasyon çalışmalarına literatürde çokça rastlanmaktadır. Eksenel siklonlar akış yönü, geometrisi ve içinde bulundurduğu vorteks oluşturucu nedeniyle teğetsel siklondan farklılıkları bulunmaktadır (Babaoğlu vd., 2022; Hsiao vd., 2011).

Ters akışlı ve aksel olmak üzere, bu iki tür aksel siklon içinde yapılan karşılaştırmalarda, aksel siklonların daha düşük bir basınç düşüşüne maruz kaldığı ve daha küçük bir boyutta oldukları görülmüştür. Aksel siklonlar diğer siklonlara oranla daha az basınç düşüşü, daha düşük türbülans seviyesi ve enerji kayıplarını azaltan mekanizmaya sahip olduğundan daha fazla tercih edilmektedir (Babaoğlu vd., 2021; Babaoğlu vd., 2022; Parvaz vd., 2020). Bu nedenle aksel siklonlar üzerine artan bir ilgi vardır ve özellikle gaz-sıvı ayırma alanında gelecekte oldukça fazla kullanılır hale geleceklerdir. Kılavuz kanatlar, bir aksel siklonda temel bileşenlerdir. Bu kanatların yapısal parametreleri, aksel siklonun ayırma performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, aksel siklon kullanarak yüksek ayırma performansı elde etmek için kılavuz kanadı incelemek çok önemlidir (Deng vd., 2020).

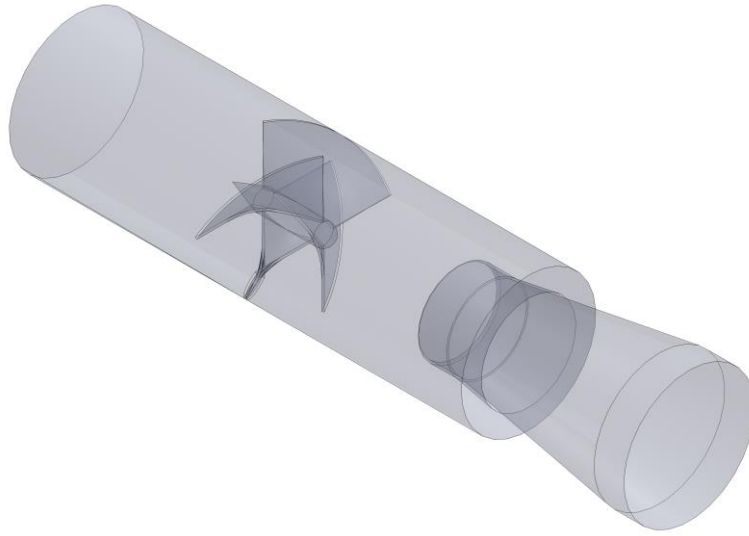


Şekil 1: Giriş Şekillerine Göre Çalışma Prensibi (N. U. Babaoğlu vd., 2022).

Siklonların kullanılacağı alana göre tasarım kriterleri değişkenlik gösterebilir. Bu bağlamda aksel siklonlardaki kanat yapıları da farklı konfigürasyonlarda olabilirler. Daha öncede belirtildiği gibi siklonlarda basınç kaybı ve partikül ayırma verimi parametrelerini yapılacak olan konfigürasyonlar şekillendirmektedir (Babaoğlu vd., 2021; Demir vd., 2016). Son yıllarda bu iki kriterin sonucunun incelenmesi için matematiksel bir model olarak HAD analizi kullanılmaktadır (Babaoğlu vd., 2021; Babaoğlu vd., 2021; Parvaz vd., 2020; Brar & Elsayed, 2017; Zhao vd., 2006) Bu çalışmada da HAD metodu kullanılarak aksel siklondaki kanat sayısının, partikül ayırma verimi ve basınç kaybına etkisi incelenmiştir.

MATERYAL METOD

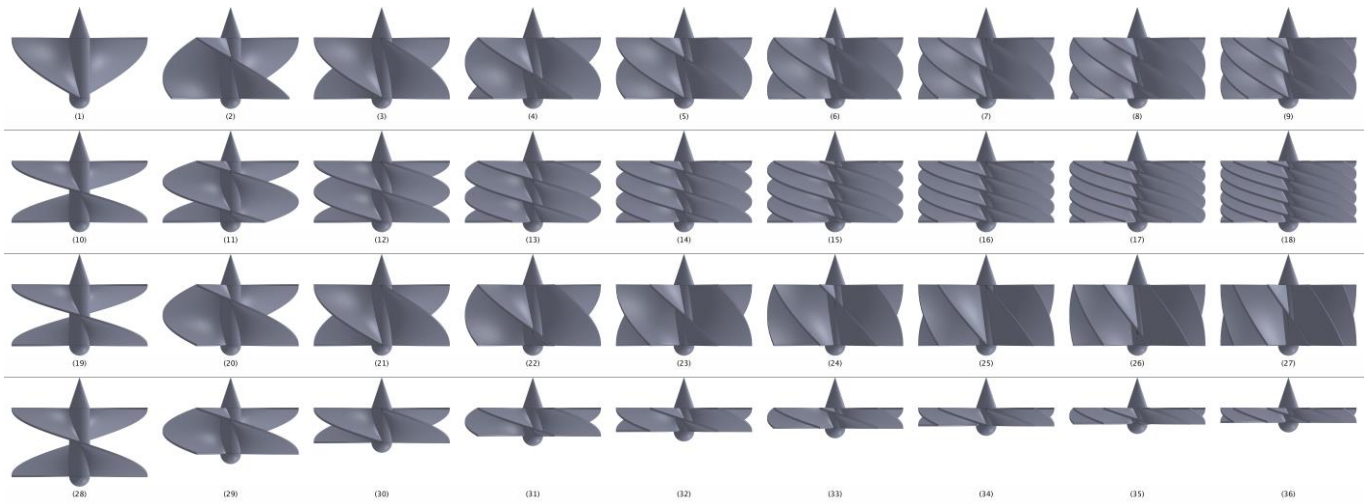
Bu çalışma kapsamında aksel siklonlarda kanat sayındaki değişimin siklon performansına olan etkisi araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan siklon geometrisi Şekil 2'de görülmektedir. Aksel siklonlarda bulunan kanat yapısı, aksel yöndeki akışa teğetsel yönde hız kazandırmakta böylece partiküller üzerinde santrifüj etkisi oluşturarak partiküllerin siklon duvarına doğru sürüklenmesini sağlamaktadır. Bu etkinin sonucunda gaz-partikül karışımında, partiküllerin akışkan gazdan ayrılması sağlanmaktadır. Bu özelliği sebebiyle kanat geometrisi bir aksel siklonun en önemli kısmıdır denilebilir. Ancak aksel siklon içerisinde yer alan kanadın akışa karşı direnç göstermesi sebebiyle basınç kaybına neden olması mutlaklıdır. Bu çalışmada kanat sayısı ile kesme çapı ve basınç kayıpları arasındaki ilişki incelenmiştir. Dört farklı durumda inceleme yapılarak detaylı bir çalışma yapılmıştır. İlk olarak 0,25 tur yapan kanatlara sahip kanatlarla oluşturulan geometri 2'den 10'a kadar değişen kanat sayıları ile incelenmiştir. İkinci durumda 0,5 tur yapan kanatlar kullanılarak çalışma genişletilmiştir. Üçüncü durumda kanatların tur sayıları toplamı 1'e eşit olacak şekilde çalışılmıştır. Dördüncü durumda ise üçüncü durumda olduğu gibi çalışılmıştır ancak bu durumda kanat açıları sabitlemiştir.



Şekil 2. Eksenel Siklon Geometrisi (N. Babaoğlu vd., 2021).

Yukarıda anlatılan dört duruma göre oluşturulan kanat geometrileri Şekil 3’de yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla verilmiştir. Dört durum, 2’den 10’a kadar değişen kanat sayılarıyla incelenmiş, böylece 36 farklı siklon geometrisi üzerinde çalışılmıştır. HAD çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar ki grafiklerden yararlanılmıştır. Şekil 4’te verilen grafiklerde sırasıyla 1’den 9’a, 10’dan 18’e, 19’dan 27’ye ve 28’den 36’ya kadar numaralandırılmış geometriler için (a-b), (c-d), (e-f) ve (g-h) kesme çapı ve basınç kayıplarının değişimleri sırasıyla verilmiştir. Burada kesme çapı küçüldükçe siklondaki toplama veriminin artması sözkonusu olmaktadır. Siklon ayırıcılar her ne kadar tutabildikleri partikülün çapı nisbetinde, ki bu tutma aralığı genel olarak 5 ila 10 mikrondan büyük olmak üzere, bir ön arıtma cihazı olarak görülselerde, yapılan modifikasyonlar ile bu kesme çapının azaltılıp toplama veriminin artması arzu edilen bir durumdur (Kuo & Kung-Yu, 2001). Bu bağlamda grafiklerden görüleceği üzere, kesme çapı birinci durum ve dördüncü durumlar için azalan yönde bir trend göstermiştir. Ancak bir siklonda sadece kesme çapları na bağlı olarak performanstan bahsedilemez. Bu anlamda basınç kayıplarının da kapsamlı olarak ele alınması gerekir. Basınç kayıpları bahsi geçen dört durum için incelendiğinde, birinci durumda basınç kayıpları artan bir eğilim gösterirken; iki, üç ve dördüncü durumlarda azalan eğilimler olduğu görülmektedir. Özellikle dördüncü durumun diğer üç duruma göre nispeten daha anlamlı değerlerden meydana geldiği söylenebilir.

Tablo 1’de sunulmuştur.



Şekil 3. Çalışmada Kullanılan Eksenel Siklon Kanatları.

Tablo 1’de sunulan verilerin daha anlaşılır hale gelmesi için Şekil 4’deki grafiklerden yararlanılmıştır. Şekil 4’te verilen grafiklerde sırasıyla 1’den 9’a, 10’dan 18’e, 19’dan 27’ye ve 28’den 36’ya kadar numaralandırılmış geometriler için (a-b), (c-d), (e-f) ve (g-h) kesme çapı ve basınç kayıplarının değişimleri sırasıyla verilmiştir. Burada kesme çapı küçüldükçe siklondaki toplama veriminin artması sözkonusu olmaktadır. Siklon ayırıcılar her ne kadar tutabildikleri partikülün çapı nisbetinde, ki bu tutma aralığı genel olarak 5 ila 10 mikrondan büyük olmak üzere, bir ön arıtma cihazı olarak görülselerde, yapılan modifikasyonlar ile bu kesme çapının azaltılıp toplama veriminin artması arzu edilen bir durumdur (Kuo & Kung-Yu, 2001). Bu bağlamda grafiklerden görüleceği üzere, kesme çapı birinci durum ve dördüncü durumlar için azalan yönde bir trend göstermiştir. Ancak bir siklonda sadece kesme çapları na bağlı olarak performanstan bahsedilemez. Bu anlamda basınç kayıplarının da kapsamlı olarak ele alınması gerekir. Basınç kayıpları bahsi geçen dört durum için incelendiğinde, birinci durumda basınç kayıpları artan bir eğilim gösterirken; iki, üç ve dördüncü durumlarda azalan eğilimler olduğu görülmektedir. Özellikle dördüncü durumun diğer üç duruma göre nispeten daha anlamlı değerlerden meydana geldiği söylenebilir.



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences

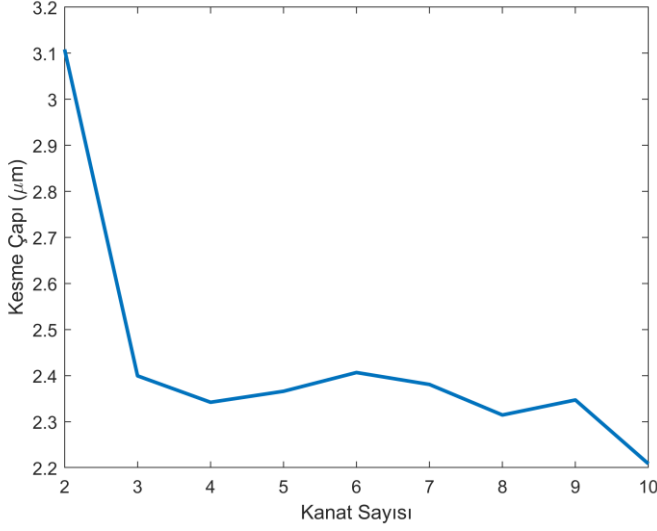


Geliş Tarihi :
Kabul Tarihi :

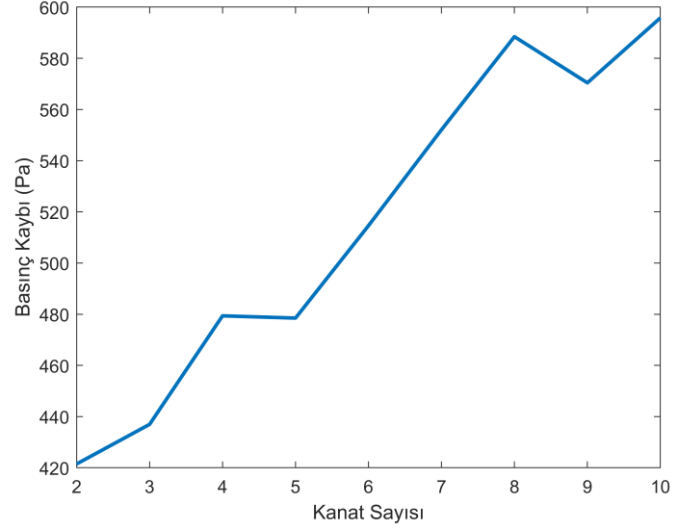
Received Date :
Accepted Date :

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Geometrik Veriler ve HAD Sonuçları.

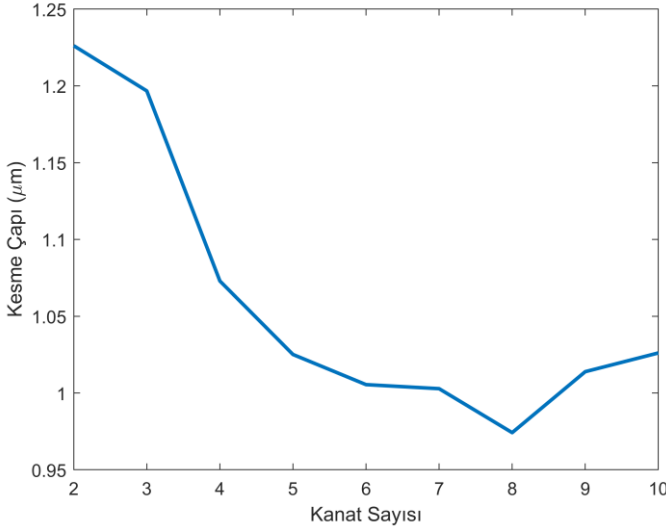
No.	Kanat Sayısı	Kanat Tur Sayısı	Kanat Yüksekliği	Kesme Çapı (μm)	Basınç Kaybı (Pa)
1	2	0,250	0,444	3,108	421,477
2	3	0,250	0,444	2,399	436,958
3	4	0,250	0,444	2,342	479,364
4	5	0,250	0,444	2,366	478,490
5	6	0,250	0,444	2,407	514,587
6	7	0,250	0,444	2,381	552,059
7	8	0,250	0,444	2,315	588,442
8	9	0,250	0,444	2,347	570,421
9	10	0,250	0,444	2,209	595,792
10	2	0,500	0,444	1,226	1269,516
11	3	0,500	0,444	1,197	1395,400
12	4	0,500	0,444	1,073	1520,249
13	5	0,500	0,444	1,025	1502,673
14	6	0,500	0,444	1,005	1411,385
15	7	0,500	0,444	1,003	1324,992
16	8	0,500	0,444	0,974	1249,909
17	9	0,500	0,444	1,014	1240,817
18	10	0,500	0,444	1,026	1336,995
19	2	0,500	0,444	1,224	1275,690
20	3	0,333	0,444	1,879	752,998
21	4	0,250	0,444	2,344	485,827
22	5	0,200	0,444	3,415	420,570
23	6	0,167	0,444	3,240	418,282
24	7	0,143	0,444	7,189	407,181
25	8	0,125	0,444	7,817	438,772
26	9	0,111	0,444	9,054	509,861
27	10	0,100	0,444	9,131	568,362
28	2	0,500	0,500	1,838	1235,477
29	3	0,333	0,333	1,483	1231,722
30	4	0,250	0,250	1,359	1217,415
31	5	0,200	0,200	1,306	1231,479
32	6	0,167	0,167	1,380	1186,956
33	7	0,143	0,143	1,340	1165,758
34	8	0,125	0,125	1,415	1142,218
35	9	0,111	0,111	1,324	1087,675
36	10	0,100	0,100	1,261	1083,802



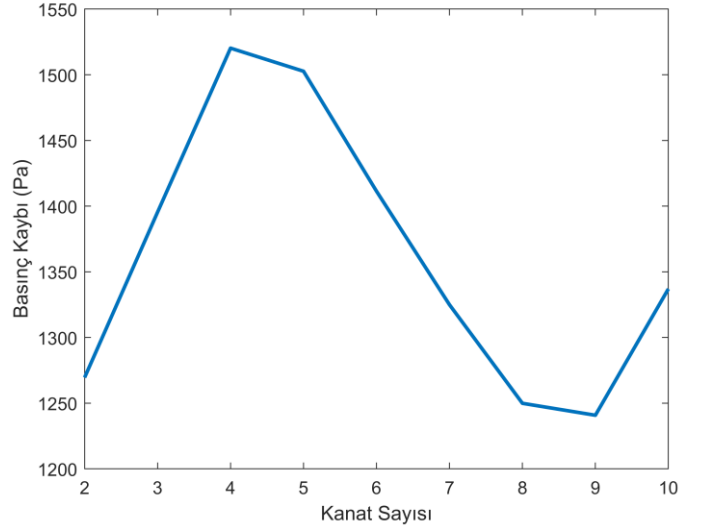
(a) No. 1-9 için Kesme Çapları



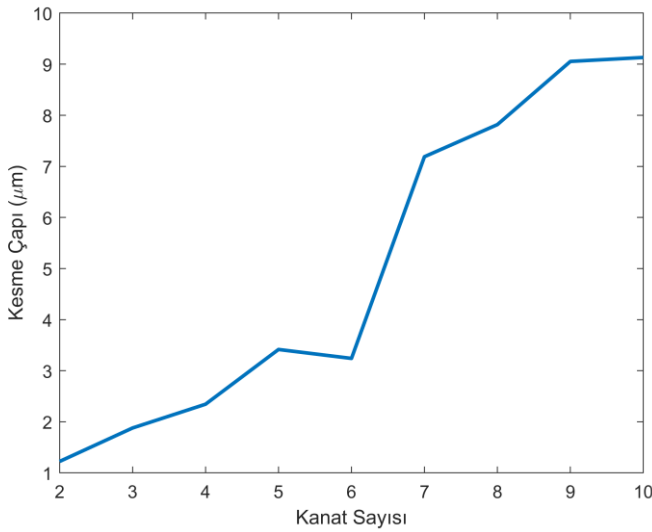
(b) No. 1-9 için Basınç Kayıpları



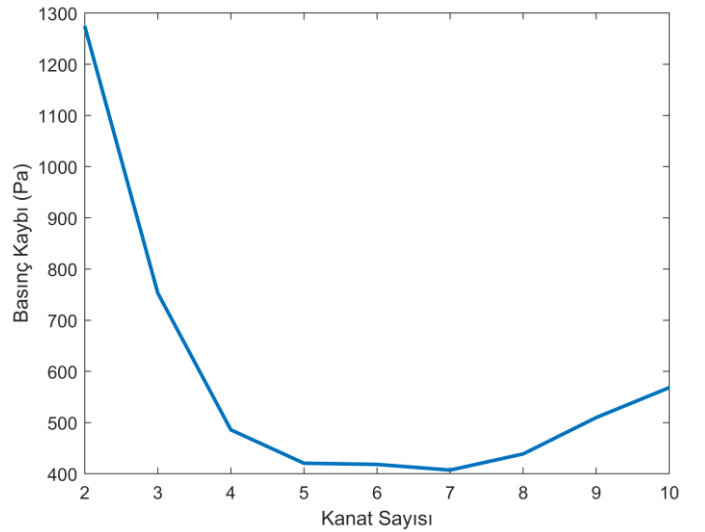
(c) No. 10-18 için Kesme Çapları



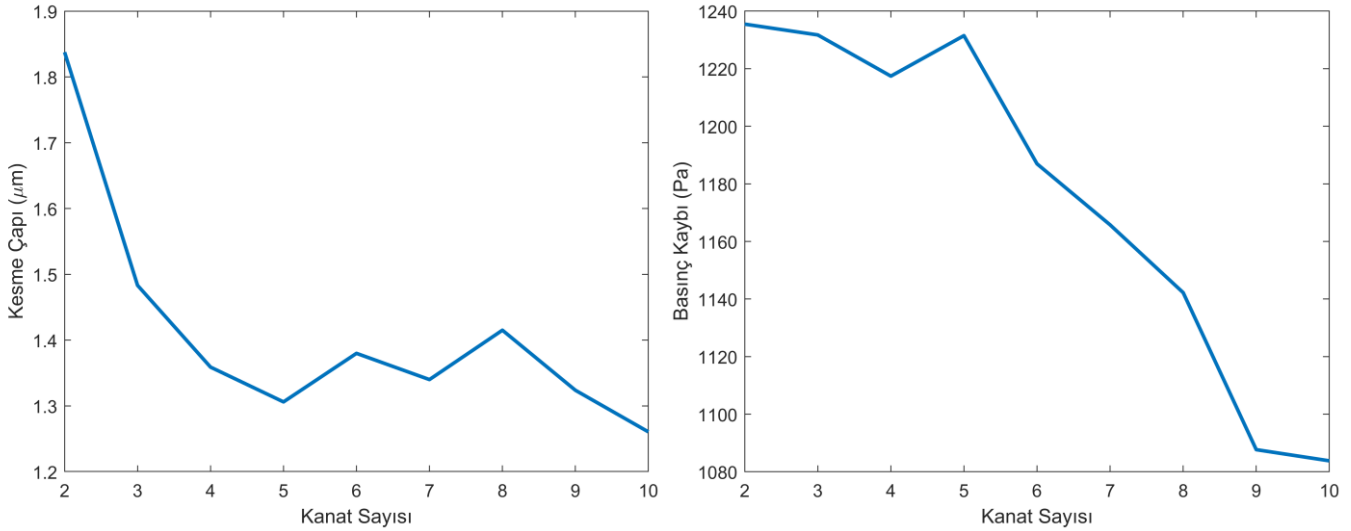
(d) No. 10-18 için Basınç Kayıpları



(e) No. 19-27 için Kesme Çapları



(f) No. 19-27 için Basınç Kayıpları



(g) No. 28-36 için Kesme Çapları (h) No. 28-36 için Basınç Kayıpları
Şekil 4. Kanat Sayıları İle Kesme Çapı ve Basınç Kayıpları Arasındaki Değişimlerin Grafikleri

SONUÇLAR

Eksenel siklonlarda kanat sayısının performansa etkisinin araştırıldığı bu çalışmada toplama verimi ve basınç kayıpları detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Eksenel siklonlarda bulunan kanatların yapısal özelliklerine bağlı olarak, siklon içerisinde santrifüj kuvvetlerin oluşumu ve sonuç olarak partiküllerin gaz-partikül akışından ayrılarak tutulma mekanizmaları incelenmiştir. Bir eksenel siklonda partikül tutulmasında en etkili faktörlerden biri olarak kanat yapıları gösterilebilir. Kanatlar ayrıca basınç kayıplarına sebep olan yine en önemli bileşenlerdir denilebilir. Çünkü eksenel siklon içerisinde yer alan kanadın akışa karşı direnç göstermesi sebebiyle basınç kayıpları oluşmaktadır. Bu çalışmada kanat sayısı ile toplama verimi ya da kesme çapı ve basınç kayıpları arasındaki ilişki incelenmiştir. Yapılan çalışmada dört farklı durumda inceleme yapılarak detaylı bir sonuç ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Bahsi geçen dört farklı durum kanat sayısı, kanat tur sayısı ve kanat yüksekliği baz alınarak meydana getirilmiştir. İlk durumda girdap oluşturucu 0,25 tur yapan kanatlar ve 2'den 10'a kadar değişen kanat sayıları ile; ikinci durumda 0,5 tur yapan kanatlar ve 2'den 10'a kadar değişen kanat sayıları ile; üçüncü durumda tur sayıları toplamı 1'e eşit olacak şekilde ayarlanması ile ve dördüncü durumda üçüncü durumdan farklı olarak kanat yüksekliği tur sayısı ile orantılı şekilde değiştirilerek kanat açısı sabit tutulmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen ana bulgular aşağıda listelenmiştir;

- Sabit tur sayısı ve kanat yüksekliğine sahip kanatlar için kanat sayısının artışı ayırma verimini artırırken; basınç kayıplarını da arttırmıştır.
- Aynı kanat sayısına sahip girdap oluşturucular için tur sayısının artması ayırma verimi ve basınç kayıplarını arttırmaktadır.
- Sabit kanat yüksekliği ve kanat sayısı ile orantılı şekilde azalan tur sayısına sahip kanatlar için kanat sayısının artışı ayırma verimini ve basınç kayıplarını azaltmaktadır.
- Kanat eğiminin korunduğu ve kanat sayısı ile orantılı şekilde azalan tur sayısına sahip kanatlar için kanat sayısının artışı ayırma verimini artırırken basınç kayıplarını da azaltır. Bu durum performansın iki ölçüsünün de artması anlamını taşır.
- İncelenen durumlar için kanat eğiminin korunduğu ve kanat sayısı artarken kanat tur sayısının orantılı şekilde azaldığı durumun diğer durumlara göre daha performanslı olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

Arkouli, M., Ulke, A. G., Endlicher, W., Baumbach, G., Schultz, E., Vogt, U., ... Scheffknecht, G. (2010). Distribution and temporal behavior of particulate matter over the urban area of Buenos Aires. *Atmospheric Pollution Research*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.5094/APR.2010.001>

Babaoğlu, N., Parvaz, F., Hosseini, S., & Elsayed, K. (2021). Giriş kesit şeklinin çok girişli bir gaz siklonun performansı üzerindeki etkisi. *Powder Technology*.

Babaoğlu, N. U., Hosseini, S. H., Ahmadi, G., & Elsayed, K. (2022). The effect of axial cyclone inlet velocity and geometrical dimensions on the flow pattern, performance, and acoustic noise. *Powder Technology*, 407(July).

<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117692>

Babaoğlu, N. U., Parvaz, F., Hosseini, S. H., Elsayed, K., & Ahmadi, G. (2021). Influence of the inlet cross-sectional shape on the performance of a multi-inlet gas cyclone. *Powder Technology*, 384, 82–99. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.02.008>

Brar, L. S., & Elsayed, K. (2017). Analysis and optimization of multi-inlet gas cyclones using large eddy simulation and artificial neural network. *Powder Technology*, 311, 465–483. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.02.004>

Brewer, R., & Belzer, W. (2001). Assessment of metal concentrations in atmospheric particles from Burnaby Lake, British Columbia, Canada. *Atmospheric Environment*, 35(30), 5223–5233. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00343-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00343-0)

Canha, N., Almeida, S. M., Freitas, M. D. C., Trancoso, M., Sousa, A., Mouro, F., & Wolterbeek, H. T. (2014). Particulate matter analysis in indoor environments of urban and rural primary schools using passive sampling methodology. *Atmospheric Environment*, 83, 21–34. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.061>

Cheng, Y. S. (2003). Aerosol deposition in the extrathoracic region. *Aerosol Science and Technology*, 37(8), 659–671. <https://doi.org/10.1080/02786820300906>

Demir, S., Karadeniz, A., Teknolojisi, M. A.-P., & 2016, U. (2016). Silindirik ve konik yüksekliklerin siklonlardaki basınç ve hız alanlarına etkileri. *Elsevier*.

Deng, Y., Yu, B., & Sun, D. (2020). Multi-objective optimization of guide vanes for axial flow cyclone using CFD, SVM, and NSGA II algorithm. *Powder Technology*, 373, 637–646. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.06.078>

Dockery, D., & Papa, B. (1996). *Akut sağlık etkilerinin epidemiyolojisi : zaman serisi çalışmalarının özeti*.

Elsayed, K., Parvaz, F., Hosseini, S. H., & Ahmadi, G. (2020). Influence of the dipleg and dustbin dimensions on performance of gas cyclones: An optimization study. *Separation and Purification Technology*, 239(September 2019). <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.116553>

Hoffmann, A. C. A., Santen, A. Van, Allen, R. W. K., Technology, R. C.-P., 1992, undefined, van Santen, A., ... Clift, R. (1992). Effects of geometry and solid loading on the performance of gas cyclones. *Powder Technology*, 70(1), 83–91. [https://doi.org/10.1016/0032-5910\(92\)85058-4](https://doi.org/10.1016/0032-5910(92)85058-4)

Hsiao, T. C., Chen, D., Greenberg, P. S., & Street, K. W. (2011). Effect of geometric configuration on the collection efficiency of axial flow cyclones. *Journal of Aerosol Science*, Vol. 42, pp. 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2010.11.004>

Karakaş, C. (2020). *YÜKSEK VERİMLİ FARKLI GEOMETRİDEKİ MİNİ SİKLONLARIN PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ*. Bursa Uludağ Üniversitesi.

Kreyling, W. G., Semmler-Behnke, M., & Möller, W. (2006). Health implications of nanoparticles. *Journal of Nanoparticle Research*, 8(5), 543–562. <https://doi.org/10.1007/S11051-005-9068-Z/METRICS>

Kuo, Kung-Yu, T. C.-J. (2001). Kuo AAQR2001. *Aerosol and Air Quality Research*, 1, 47–56.

Morawska, L., Thomas, S., Gilbert, D., & Greenaway, C. (1999). Yoğun bir yola göre mikrometre altı parçacıkların yatay ve dikey profilinin incelenmesi. *Atmosferik*.

Oruç, E. (2020). *EKSENEL SİKLON AYIRICILARIN PERFORMANS PARAMETRELERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ Emre ORUÇ*. Bursa Uludağ Üniversitesi.

Parvaz, F., Hosseini, S. H., Elsayed, K., & Ahmadi, G. (2020). Influence of the dipleg shape on the performance of gas cyclones. *Separation and Purification Technology*, 233(May 2019), 116000. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116000>

Pope, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D. (2002). Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA*, 287(9), 1132–1141. <https://doi.org/10.1001/JAMA.287.9.1132>

US EPA. (1999). *APTI 413: Control of Particulate Matter Emissions, fifth ed.*

Wasilewski, M., & Brar, L. S. (2017). Optimization of the geometry of cyclone separators used in clinker burning process: A case study. *Powder Technology*, 313, 293–302. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.03.025>

Wilson, W. E., & Suh, H. H. (2012). Fine Particles and Coarse Particles: Concentration Relationships Relevant to Epidemiologic Studies. *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/10473289.1997.10464074*, 47(12), 1238–1249. <https://doi.org/10.1080/10473289.1997.10464074>

Zhao, B., Su, Y., & Zhang, J. (2006). Simulation of gas flow pattern and separation efficiency in cyclone with conventional single and spiral double inlet configuration. *Chemical Engineering Research and Design*, 84(12 A), 1158–1165. <https://doi.org/10.1205/cherd06040>