



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 22.07.2024
Kabul Tarihi : 23.08.2024

Received Date : 22.07.2024
Accepted Date : 23.08.2024

YÜKSEK VERİMLİ STAIRMAND SİKLONDA SICAKLIK ETKİSİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE TEMPERATURE EFFECT ON THE STAIRMAND HIGH EFFICIENCY CYCLONE

Nihan BABAĞLU^{1*} (ORCID: 0000-0003-3356-9407)
Mesut ARI¹ (ORCID: 0000-0002-5738-3079)

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

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Nihan BABAĞLU, nuygur@ksu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, yüksek verimli Stairmand (HE) tipi siklonda akışkan sıcaklığının toplama verimi ve basınç kayıplarına olan etkileri nümerik yöntemler kullanılarak ortaya koyulmuştur. 273,15 – 373,15 K (0 – 100 °C) aralığında altı farklı sıcaklık değeri için çalışmalar yapılmıştır. Sonuçların tutarlı olması için siklon geometrisi küçük elemanlar kullanılarak gridlenmiştir. Türbülanslı akışın çözülmesi için Reynolds Stress Model (RSM) kullanılmıştır. Çözümleme transient olarak 5 ms'lik 1000 adım ile 10000 iterasyon sonucunda ortaya koyulmuştur. Partikül boyut dağılımı için Rosin-Rammler boyut dağılımı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda sıcaklık artışının toplama verimini olumsuz yönde etkilediği ve basınç kayıplarını azalttığı görülmüştür. Sıcaklık artışı akışkan viskozitesini artırdığı için akışkan-partikül etkileşimi artmıştır. Buda partiküllerin akışkanla birlikte hareket etmesine ve toplama veriminin azalmasına neden olmuştur. Sıcaklık artışı ile birlikte, dönen akışın zayıflaması dolayısıyla basınç kaybının ve toplama verimliliğinin gözle görülür şekilde azaldığı görülmektedir. Sıcaklık artışıyla birlikte siklon duvarlarında oluşan basınçlar düşmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yüksek verimli Stairmand siklon, basınç kaybı, toplama verimi, sıcaklık etkisi, akışkan viskozitesi.

ABSTRACT

The present study aims at investigating numerically the effect of fluid temperature on the high-efficiency Stairmand type cyclone collection efficiency and pressure drop. Studies were conducted for six different temperature values in the range of 273.15 – 373.15 K (0 – 100 °C). Discretization of the solution domain generated fine meshes for consistent results. Reynolds Stress Model (RSM) was used to solve turbulent flow. The solution was performed as a transient in 1000 time-steps of 5 ms and 10000 iterations. Rosin-Rammler size distribution was used for particle size distribution. It was seen that the temperature increases negatively affected the collection efficiency and pressure drops. Fluid viscosity is increased effectively by increasing fluid temperature, then fluid-particle interaction increased. Increasing in temperature causes the particles move with the fluid and thus, collection efficiency decreased. Because of swirling flow weakening, conclusive results clearly seen that increasing the temperature of fluid reduces the pressure drop and collection efficiency. When increase the temperature, the pressures on the cyclone walls decreased.

Keywords: High efficiency Stairmand cyclone, pressure drop, collection efficiency, temperature effect, fluid viscosity

ToCite: Babaoğlu, N., & Arı, M., (2025). YÜKSEK VERİMLİ STAIRMAND SİKLONDA SICAKLIK ETKİSİNİN İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(1), 104-111.

GİRİŞ

Siklon ayırıcılar, gaz ve katı partikülleri ayırmada etkili, yaygın olarak kullanılan endüstriyel ekipmanlardır. Bu ayırıcılar, gaz akışını dönme hareketiyle yönlendirerek, merkezkaç kuvveti etkisiyle partiküllerin gazdan ayrılmasını sağlarlar. Siklon ayırıcılarda iç ve dış akış olmak üzere iki farklı akış türü mevcuttur. Dış akış, siklon duvarı boyunca toz haznesinin tabanına doğru dönerek iner ve toz haznesinin ucundan başlayıp ters yönde meydana çıkan bir iç akış oluşur. Merkezkaç kuvveti, partikülü siklon duvarına doğru iterken, sürüklenme kuvveti partikülü siklonun merkezine doğru iter. Başka bir deyişle, partiküllere etki eden merkezkaç kuvveti sürüklenme kuvvetinden büyük olduğunda partiküller sistemde tutulurlar (Wasilewski & Brar, 2019; Park & Go, 2020).

Siklonlar, çeşitli endüstrilerde bir hava ön arıtma prosesi olarak, hava temizleme ve toz toplama, amacıyla çok fazla tercih edilirler. Çimento fabrikaları, çelik fabrikaları, ziraat, eczacılık, enerji santralleri, gıda işleme tesisleri ve kimya endüstrisi gibi alanlarda toz toplama, hava temizleme, gaz soğutma ve ürün geri kazanımı amacıyla yaygın olarak kullanılırlar. Siklonların basit tasarımı ve düşük maliyetleri, onları endüstriyel uygulamalarda cazip bir seçenek haline getirir ve bu hava kirliliği kontrol ünitesini avantajlı kılar. Bir diğer önemli avantajları ise hareketli parçalar içermedikleri için bakım gereksinimlerinin çok fazla olmaması ve düşük enerji tüketimleri dolayısıyla işletme maliyetlerinin az oluşudur. Öte yandan siklonlar, yüksek sıcaklıklarda ve aşındırıcı ortamlar gibi zorlu koşullarda etkin bir şekilde çalışabilmektedirler. Tüm bu avantajlar bu ekipmanları daha kullanışlı hale getirirken, özellikle 5 µm ve daha küçük partiküllerin ayrıştırılmasında etkinliklerinin az olması, proseste yaşanan basınç kayıpları siklonlara ait dezavantajlar olarak sıralanabilir. Ayrıca, çok büyük veya çok küçük siklonların tasarimsal ve operasyonel zorlukları olabilmektedir (Abrahamson vd., 2002; Misiulia vd., 2017; Brar & Elsayed, 2018; Chen vd., 2018; Hosseini vd., 2022; Surahmanto vd., 2024).

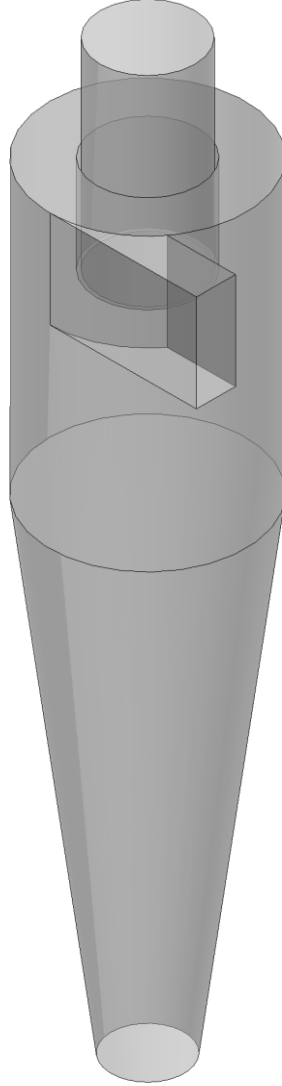
Basit yapılarına rağmen siklon ayırıcılar son derece karmaşık akışkan dinamiği ve akış modellerine sahiptirler. Siklon içerisindeki gaz-partikül karışımının güçlü türbülanslı akışı anizotropik bir karaktere sahiptir. Siklon ayırıcılar için en popüler araştırma yöntemleri arasında deneysel çalışmalar, analitik modellere dayalı hesaplamalı yöntemler (klasik siklon tasarımı) ve akışların sayısal modellenmesi (hesaplamalı akışkanlar dinamiği, CFD) yer alır (Parvaz vd., 2017; Wasilewski & Brar, 2019; Elsayed vd., 2020; Babaoğlu vd., 2022).

Literatürde, siklon performansını artırmak ve optimize etmek amacıyla birçok deneysel ve sayısal çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, siklonun geometrik özellikleri ve siklonun çalışma şartlarının değiştirilmesi ile basınç kaybı ve partikül ayırma verimi (performans) analizleri yapılmıştır ki, siklonlarda performans parametrelerini yapılacak olan bu konfigürasyonlar şekillendirmektedir (Demir, 2014; Babaoğlu vd., 2021). Zhao ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bir siklonda spiral çift girişin siklon performansı üzerine olan etkisini değerlendirmişler ve spiral çift giriş kullanan siklon ayırıcının parçacık ayırma verimliliğini artırabileceği sonucunu elde etmişlerdir (Zhao vd., 2006). Balestrin ve arkadaşları, girdap bulucu çıkış kanalının yanı sıra gerilmiş silindirik gövdenin siklonun performansı üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda girdap bulucunun kesitinin azalmasıyla desteklenen ikincil bir girdap akışıyla siklonun verimliliğinin arttığını ortaya koymuşlardır (Balestrin vd., 2017). Safikhani ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, bir siklon ayırıcının performansını belirlemek için parçacık dinamiğini ve akışkan akışını sayısal olarak araştırmışlardır ve girdap bulucunun girişinde türbülans kinetik enerjisinin yüksek değerlere sahip olduğunu belirtmişlerdir (Safikhani vd., 2018) Brar ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmada Stairmand HE siklonların hem silindirik hem de konik segmentinin uzunluğunun artırılmasının performans ve akış alanı üzerindeki bireysel etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, siklon uzunluğunun toz toplama verimliliği ve basınç kayıpları üzerinde belirleyici bir rol oynadığı bulunmuştur (Brar vd., 2015). Gimbin ve arkadaşları siklon basınç düşüşünde sıcaklık ve hızın rolünü araştırdıkları çalışmalarında, giriş sıcaklığı arttığında basınç kayıplarının azaldığını belirlemişlerdir (Gimbin vd., 2005).

Bu çalışmada, Stairmand HE tipi siklonlarda sıcaklığın toplama verimliliği ve basınç kayıplarına olan etkileri, sayısal yöntemlerle incelenecektir. Bu siklon geometrisi birçok yeni siklon tasarımına ilham veren ve en iyi optimize olmuş siklon türü olarak tanımlanabilir (Brar vd., 2015). Kimyasal madde imalatı, endüstriyel ünitelerin baca çıkış gazının temizlenmesi ve termik santrallerdeki çeşitli işlemler gibi çeşitli endüstriyel işlemlerde, yüksek sıcaklıktaki bir gazdan katı parçacıkların uzaklaştırılması önemlidir ve siklon ayırıcı performansını da etkileyebilmektedir (Siadaty vd., 2017). Bu çalışmanın amacı, sıcaklık değişimlerinin siklon performansı üzerindeki etkilerini belirlemektir.

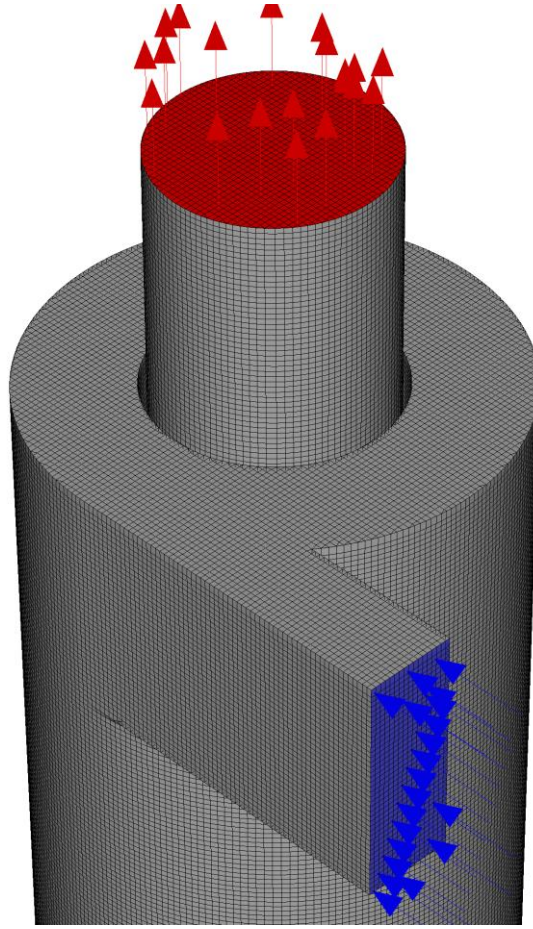
MATERYAL VE METOT

Yapılan bu çalışmada 290 mm çapa (D) sahip Stairmand HE siklonda sıcaklığın ayırma verimi ve basınç kayıplarına olan etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda kullanılan siklon geometrisinin izometrik görünümü Şekil 1’de verilmiştir. Akışkan (hava) sıcaklığının etkisini ortaya koymak amacıyla 273,15 – 373,15 K (0 – 100 °C) aralığında altı farklı sıcaklık değeri için çalışılmıştır. CFD tekniği kullanılarak yapılan çalışma ANSYS 2019 R0 programının Fluent modülü kullanılarak ortaya koyulmuştur. Çalışma transient olarak gerçekleştirilmiş, 5 milisaniyelik adımlarla 1000 adım sonucunda elde edilen veriler sunulmuştur.



Şekil 1. Stairmand HE Siklon Geometrisi (D = 290 mm)

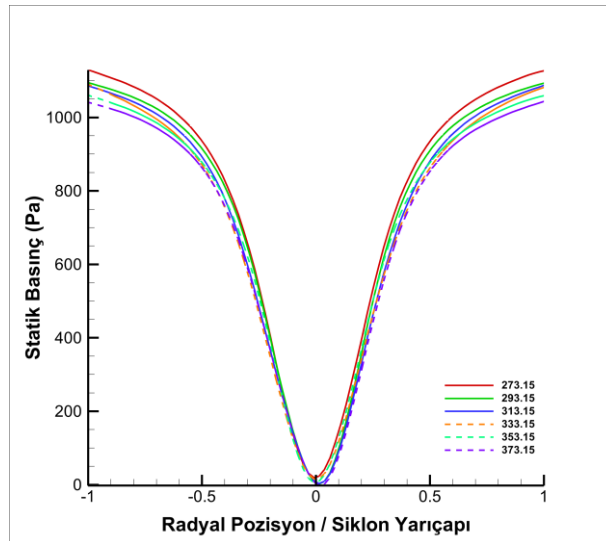
Sonuçların daha tutarlı olması için siklon geometrisi maksimum skewness değeri 0,7 olan 1386629 adet altı yüzlü elemanlar kullanılarak gridleme işlemine tabi tutulmuştur Şekil 2. Giriş sınır koşulu Velocity-Inlet, çıkış sınır koşulu Pressure-Outlet ve diğer yüzeyler Wall olarak ayarlanmıştır. Rosin-Ramler boyut dağılımı metodu kullanılarak 0,1 µm ile 5 µm arasındaki 200 farklı çapa ve 2700 kg/m³ yoğunluğa sahip partiküller akışkan ile aynı sıcaklık ve hızla giriş yüzeyine dik şekilde siklona enjekte edilmiştir. Türbülanslı akışı hesaplamak için Reynold Stress Model kullanılmıştır. Partikül hareketlerinin modellenmesinde Discrete Random Walk (DRW) ve Random Eddy Lifetime (REL) ayarları yapılmıştır. Sınır koşullarının partikül kısmında giriş için Reflect, çıkış için Escape ve toz çıkışı için Trap olarak seçilmiştir. Çalışmada her geometri için 10000 iterasyon gerçekleştirilmiş olup süreklilik hatası 10⁻⁵ ‘ten küçüktür. Siklon üst yüzeyinden 0,75D kadar aşağıda yatay eksen doğrultusunda statik basınç, teğetsel ve aksel hız profilleri elde edilmiştir. Elde edilen profiller Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5’te sunulmuştur.



Şekil 2. Stairmand HE Siklon Grid Görünümü (1386629 eleman)

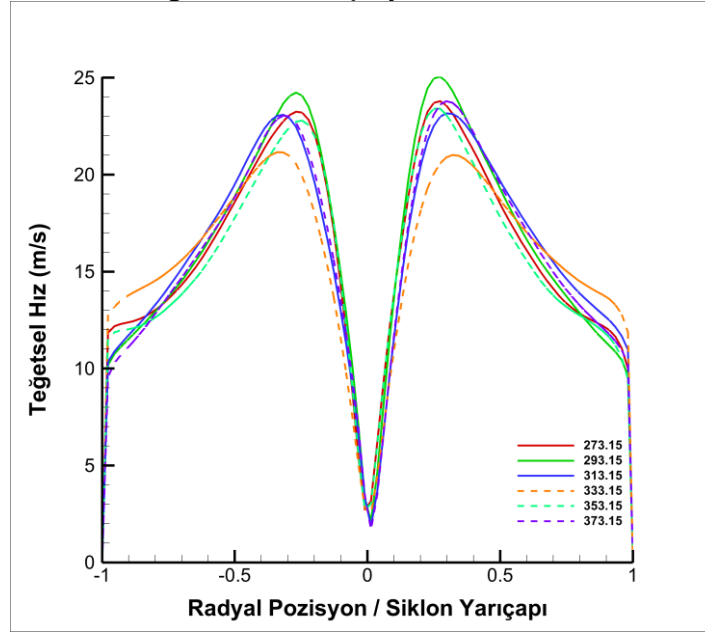
BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında Stairmand HE siklonda sıcaklığın toplama verimi ve basınç kayıplarına olan etkisi ortaya koyulmuştur. Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5 siklon üst yüzeyinden $0.75D$ kadar uzakta, siklon merkezinden geçen yatay eksen doğrultusunda statik basınç, teğetsel ve aksenal hız profilleri sırasıyla sunulmuştur. Şekil 3 incelendiğinde siklon duvarlarından merkeze doğru basıncın düştüğü görülür. Sıcaklıkla birlikte siklon duvarlarındaki basınç azalmaktadır. Farklı sıcaklıklardaki basınç profilleri benzer trendler ortaya koymuştur. Siklon duvarından doğru gidildikçe basınç düşüşü artarak meydana gelmiştir.



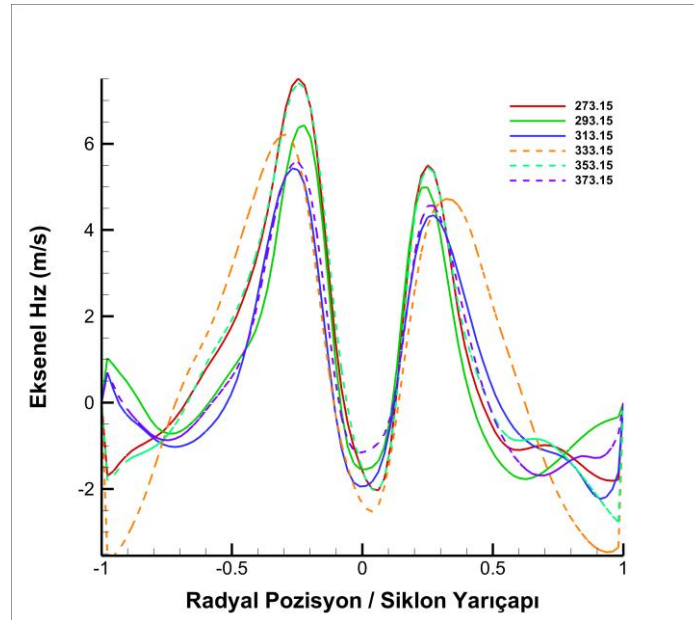
Şekil 3. Statik Basınç Profilleri Farklı Sıcaklıklar İçin ($Z = 0,75D$)

Şekil 4’de görülen teğetsel hız profilleri incelenecek olursa hız profillerinde M şekli gözlemlenir. Teğetsel hız duvarla akışkan arasındaki sürtünme nedeniyle siklon duvarına doğru sıfıra yaklaşmaktadır. Siklon merkezine doğru gidildikçe önce arttığı sonra azalarak sıfıra yaklaştığı görülür. Bununla birlikte sıcaklık etkisiyle maksimum teğetsel hızın azaldığı söylenebilir. Siklonlarda teğetsel hızın artışı ayırma verimini artırmaktadır.



Şekil 4. Teğetsel Hız Profilleri Farklı Sıcaklıklar İçin ($Z = 0,75D$)

Şekil 5’te ise aksel hız profilleri mevcut olup, teğetsel hızla benzer şekilde siklon duvarına doğru aksel hızında sıfıra yaklaştığı görülür. Ayrıca bu profiller siklonda dış vorteksin aşağı yönde, iç vorteksin ise yukarı yönde olduğu görülür. Ayrıca siklon merkezine yakın yerlerde aşağı yönde akış görülür. Yukarı yöndeki akışın daha yüksek hızda olduğu görülür. Sıcaklıkla aksel hız arasında ilişki ise daha karmaşık olmakla birlikte 273,15 K’de maksimum aksel hızı ulaşılır.



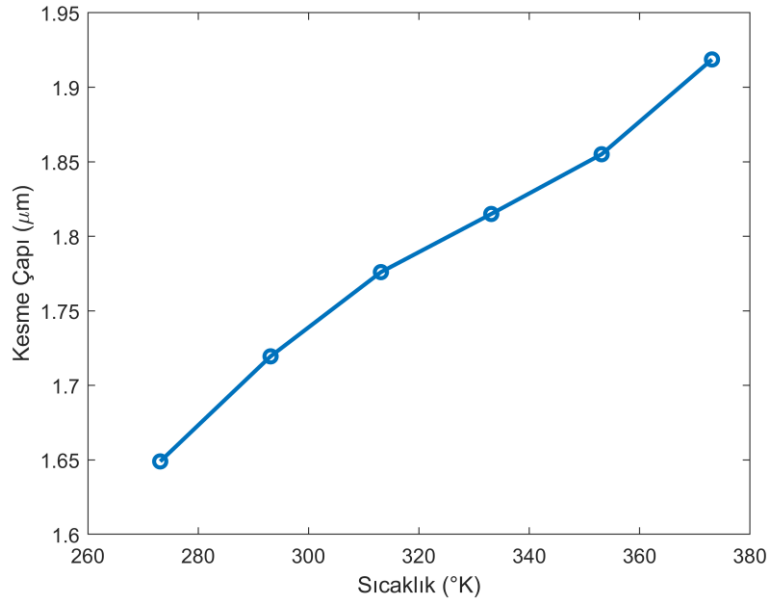
Şekil 5. Aksel Hız Profilleri Farklı Sıcaklıklar İçin ($Z = 0,75D$)

Tablo 1’de sıcaklıkla kesme çapı ve basınç kaybının nasıl değiştiği görülmektedir. Şekil 6 ve Şekil 7’de bu durum grafik halinde sunulmuştur. Şekil 6’ya bakıldığında sıcaklık artışı ile kesme çapının arttığı, toplama veriminin azaldığı anlaşılır. Bu değişim neredeyse lineer olarak nitelendirilebilir. Şekil 7’ye bakıldığında ise basınç kayıplarının sıcaklık arttıkça azaldığı açıkça görülür. Buradaki durumda aynı kesme çapında olduğu gibi lineerlik özelliğine sahip, fakat azalan yöndedir. Sıcaklığın artışı dönen akışın zayıflaması dolayısıyla basınç kaybının ve toplama verimliliğinin

gözle görülür şekilde azaldığını göstermektedir. Ayrıca viskozitenin artması katı faz ile gaz faz arasındaki etkileşimin artmasına neden olduğu için, toplama verimi de azalma eğilimine girmiştir. Teğetsel hız ile toplama verimi arasında da bir ilişkiden söz edilebilir. Burada durum biraz daha farklıdır. Aynı teğetsel hıza sahip olan iki farklı akışkan içerisinde hareket eden partiküller göz önüne alınırsa, viskozitenin yüksek olduğu akışkan içinde hareket eden partiküller akışkandan daha fazla etkileneceklerdir ve tutulma verimleri daha düşük olacaktır. Ancak burada Şekil 4'ten de görüleceği üzere sıcaklık artışı ile teğetsel hız azalmıştır. Bu da toplama verimini olumsuz yönde etkilemiştir.

Tablo 1. Sıcaklığa Bağlı Kesme Çapı ve Basınç Kayıpları Değerleri

Sıcaklık (K)	Kesme Çapı (μm)	Basınç Kaybı (Pa)
273,15	1,649	540,11
293,15	1,719	534,28
313,15	1,776	529,24
333,15	1,815	524,38
353,15	1,855	519,13
373,15	1,919	514,42



Şekil 6. Sıcaklığa Bağlı Olarak Kesme Çapının Değişimi

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, Stairmand HE siklonda sıcaklık artışının toplama verimi ve basınç kaybına olan etkileri çalışılmıştır. Çalışma 6 farklı sıcaklık değerinde yapılmış olup, sıcaklıkla akış özellikleri arasındaki ilişkiler ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen ana bulgular aşağıda listelenmiştir.

Sıcaklık artışıyla birlikte akışkan viskozitesi artmaktadır toplama veriminin düşüşüne sebep olmuştur.

Sıcaklık artışının teğetsel hızı azalttığı gözlemlenir.

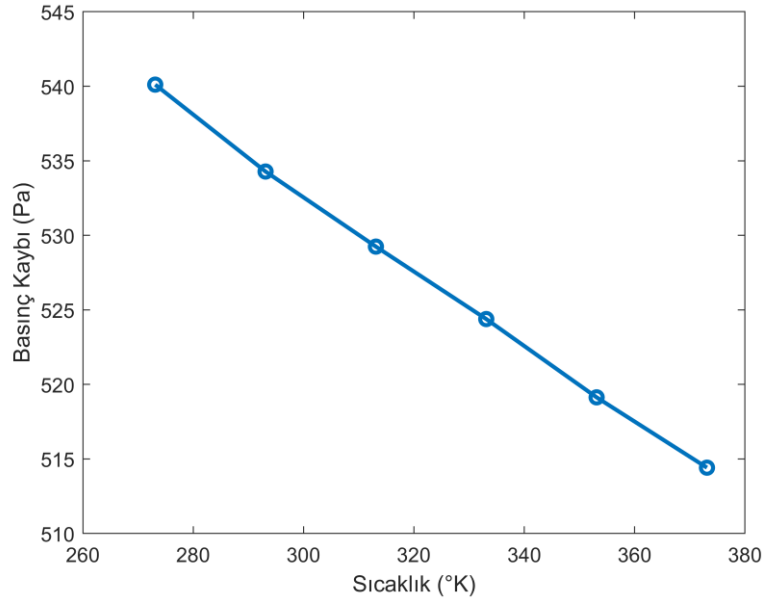
Sıcaklık artışı neticesinde meydana gelen viskozite artışı partikül madde ile akışkan arasındaki etkileşimin artmasına neden olmuştur. Bu durum toplama veriminin azalmasına neden olmaktadır.

Sıcaklık artışı dönen akışın azalmasına, böylece basınç kayıplarının da azalmasına neden olmaktadır.

273.15 K'de maksimum aksenal hıza ulaşılmıştır.

Sıcaklık artışıyla basınç kayıpları lineer olarak azalmıştır.

Sıcaklık artışıyla kesme çapının lineer olarak arttığı söylenebilir.
Siklon duvarlarındaki basınç sıcaklık artışıyla birlikte azalmıştır.



Şekil 7. Sıcaklığa Bağlı Olarak Basınç Kaybının Değişimi

KAYNAKLAR

- Abrahamson, J., Jones, R., Lau, A., & Reveley, S. (2002). Influence of entry duct bends on the performance of return-flow cyclone dust collectors. *Powder Technology*, 123(2–3), 126–137. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(01\)00435-1](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(01)00435-1)
- 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>
- Balestrin, E., Decker, R. K., Noriler, D., Bastos, J., & Meier, H. F. (2017). An alternative for the collection of small particles in cyclones: Experimental analysis and CFD modeling. *Separation and Purification Technology*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.04.023>
- Brar, L. S., & Elsayed, K. (2018). Analysis and optimization of cyclone separators with eccentric vortex finders using large eddy simulation and artificial neural network. *Separation and Purification Technology*, 207, 269–283. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.06.013>
- Brar, L. S., Sharma, R. P., & Elsayed, K. (2015). The effect of the cyclone length on the performance of Stairmand high-efficiency cyclone. *Powder Technology*, 286, 668–677. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.09.003>
- Chen, L., Xie, H., Xu, J., Dai, R., & Chen, J. (2018). Experimental and numerical study on the performance of an axial fan with a Gurney flap. In *Advances in Mechanical Engineering* (Vol. 10, Issue 10, p. 9). <https://doi.org/10.1177/1687814018803804>
- Demir, S. (2014). A practical model for estimating pressure drop in cyclone separators: An experimental study. *Powder Technology*, 268, 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.08.024>
- 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>

- Gimbun, J., Chuah, T. G., Fakhru'l-Razi, A., & Choong, T. S. Y. (2005). The influence of temperature and inlet velocity on cyclone pressure drop: A CFD study. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 44(1), 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2004.03.005>
- Hosseini, E., Fatahian, H., & Fatahian, E. (2022). New understanding of the effect of particle mass loading on the performance of a square cyclone at low and high gas temperatures. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 39(12), 3482–3496. <https://doi.org/10.1007/s11814-022-1205-1>
- Misiulia, D., Andersson, A. G., & Lundström, T. S. (2017). Effects of the inlet angle on the collection efficiency of a cyclone with helical-roof inlet. *Powder Technology*, 305, 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.09.050>
- Park, D., & Go, J. S. (2020). Design of cyclone separator critical diameter model based on machine learning and cfd. *Processes*, 8(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/pr8111521>
- Parvaz, F., Hosseini, S. H., Ahmadi, G., & Elsayed, K. (2017). Impacts of the vortex finder eccentricity on the flow pattern and performance of a gas cyclone. *Separation and Purification Technology*, 187, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.06.046>
- Safikhani, H., Zamani, J., & Musa, M. (2018). Numerical study of flow field in new design cyclone separators with one, two and three tangential inlets. *Advanced Powder Technology*, 29(3), 611–622. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2017.12.002>
- Siadaty, M., Kheradmand, S., & Ghadiri, F. (2017). Study of inlet temperature effect on single and double inlets cyclone performance. *Advanced Powder Technology*, 28(6), 1459–1473. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apt.2017.03.015>
- Surahmanto, F., Pamungkas, A., Agung Mutoha, D., Leman Soemowidagdo, A., Tri Sasongko, B., Sukardi, S., Lutfianto, R., & Rizky Pratama Hakim, M. (2024). Performance Evaluation of Square Cyclone Separator with Cone Geometry Variations. *CFD Letters*, 16(7), 136–149. <https://doi.org/10.37934/cfdl.16.7.136149>
- Wasilewski, M., & Brar, L. S. (2019). Effect of the inlet duct angle on the performance of cyclone separators. *Separation and Purification Technology*, 213(December), 19–33. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.12.023>
- 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>