

Araştırma Makalesi / Research Article

Bir Akış Alanı İçerisine Sıralı Şekilde Yerleştirilen İki Silindir Arasındaki Mesafenin Alt Akış Bölgesindeki Silindire Olan Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Doğan Burak SAYDAM^{1,2*}, Coşkun ÖZALP¹, Cemre POLAT³, Ertaç HÜRDOĞAN^{1,2}

¹*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye*

²*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, Osmaniye*

³*Düziçi Meslek Yüksekokulu, Raylı Sistemler Makine Teknolojisi Bölümü, Osmaniye*

(ORCID: [0000-0001-8453-2917](https://orcid.org/0000-0001-8453-2917)) (ORCID: [0000-0003-2249-7268](https://orcid.org/0000-0003-2249-7268)) (ORCID: [0000-0002-7001-1042](https://orcid.org/0000-0002-7001-1042))
(ORCID: [0000-0003-1054-9964](https://orcid.org/0000-0003-1054-9964))

Öz

Bu çalışmada, bir akış alanı içerisine sıralı şekilde yerleştirilen iki silindir (kontrol silindiri ve ısıtılan silindir) arasındaki mesafenin alt akış bölgesindeki ısıtılan silindir etrafındaki ısı transferine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Isıtılan silindir alüminyumdan imal edilmiş olup, içerisine elektrikli rezistans yerleştirilerek silindir yüzeyinin ısıtılması sağlanmıştır. Çalışmada öncelikle, silindir yüzeyinde sabit sıcaklık elde etmek ve ölçümleri gerçekleştirmek için bir sıcaklık ölçüm ve kontrol sistemi tasarlanmış ve test edilmiştir. İlk ölçümlerin değerlendirilebilmesi amacıyla tek silindir (ısıtılmış silindir) için farklı Reynolds (Re) sayılarında silindir etrafındaki değişimler incelenmiştir. Daha sonra $Re=2700$ için pasif akış kontrolü sağlamak amacı ile ısıtılan silindirin üst akış bölgesine farklı mesafelerde (L/D oranı) bir kontrol silindiri yerleştirilerek silindir çevresindeki ısı transferi incelenmiştir. Farklı Re sayılarında yapılan deneylerden, Nusselt (Nu) sayısının akışa bağlı olarak silindir çevresi boyunca değişim gösterdiği ayrıca Re sayısının artması ile silindir çevresindeki akış yapısındaki düzensizliklerden kaynaklı olarak silindir yüzeyindeki sıcaklıkların düştüğü ve dolayısıyla Nu sayısının arttığı görülmüştür. Silindirler arasındaki L/D oranının artması ile kontrol silindirinin etkisinin azaldığı görülmüş ve $Re=2700$ için ısı transferi açısından optimum oranın $L/D=2.0$ olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Pasif akış kontrolü, Isı geçişi, Dairesel silindir, Açık su kanalı.

Experimental Investigation of the Effect of the Distance Between Two Cylinders Placed in Line in the Flow Area on the Cylinder in the Downstream Region

Abstract

In this study, the effect of the distance between two cylinders (control cylinder and heated cylinder) placed sequentially in a fluid flow on the heat transfer around the heated cylinder in the downstream region was investigated experimentally. The heated cylinder is made of aluminum, and the surface of the cylinder is heated by placing an electrical resistance inside. In the study, first, a temperature measurement and control system were designed and tested to obtain a constant temperature on the cylinder surface and to perform measurements. To evaluate the first measurements, the changes around the cylinder at different Reynolds (Re) numbers for a single cylinder were examined. Then, to provide passive flow control for $Re = 2700$, a control cylinder at different distance (L/D ratio) was placed in the upper flow area of the heated cylinder and the heat transfer around the cylinder was examined. It was determined from the experiments made with different Re numbers that the Nusselt (Nu) number changes along the circumference of the cylinder depending on the flow. In addition, it was observed that the temperature on the cylinder surface decreased due to the irregularities in the flow structure around the cylinder with the increase in the Re number and thus the Nu number increased. It was also observed that the effect of the control cylinder decreased with the increase of the L/D ratio between the cylinders, and it was determined that the optimum ratio for $Re = 2700$ in terms of heat transfer was $L/D = 2.0$.

*Sorumlu yazar: doganburaksaydam@osmaniye.edu.tr

Geliş Tarihi: 28.04.2021, Kabul Tarihi: 18.10.2021

Keywords: Passive flow control, Heat transfer, Circular cylinder, Open water channel.

1. Giriş

Akış ayrılması ve girdap atma gibi kararsız akış özellikleri, daldırılmış cisimler üzerinde akustik gürültü, yapısal titreşimler ve rezonans gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkarmakta ve aynı zamanda cisme etki eden sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerinde düzensizlikler meydana getirmektedir. Bu etkilerin ortadan kaldırılması veya sıklığının azaltılması, akış ayrılma noktasının ötelenmesi veya bastırılması, cisimler etrafındaki akışın kontrolü ile sağlanmaktadır [1–3]. Akış kontrol yöntemleri hem iç hem de dış akışlarda istenen hedeflere ulaşmak için mühendisler, bilim adamları ve ürün geliştiriciler için güçlü bir araçtır [4]. Bir akış alanının kontrol edilmesinin aerodinamik tasarımlara büyük faydası vardır. Verimli akış kontrol sistemleri, kara taşıtlarının, deniz taşıtlarının, uçakların, otomobillerin, yüksek katlı binaların, köprülerin vb. birçok cismin performansını artırabilmekte, aynı zamanda verimli tasarımlar neticesinde tasarruf sağlanabilmektedir. Bunun yanı sıra daha ekonomik, çevreye uyumlu ve rekabetçi endüstriyel üretim süreci elde edilebilmektedir [5]. Akış kontrolü araştırmaları, 1904'te sınır tabaka teorisi ile tanınan Prandtl'a kadar uzanmaktadır. İkinci Dünya Savaşı ve soğuk savaş döneminde, askeri talep nedeniyle akış kontrolü kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve bu dönemden sonra da daha fazla dikkat çekmiştir [6]. Akış kontrol yöntemleri kontrol mekanizmasının enerji harcamasına bağlı olarak, pasif akış kontrolü ve aktif akış kontrolü yöntemi olarak sınıflandırılabilir. Pasif kontrol yöntemlerinde enerji gereksinimi olmadan cisim ya da akış alanı içerisinde yapısal değişiklikler yapılarak, aktif kontrol yönteminde ise ana akışa dışarıdan farklı yöntemler ile enerji verilerek cisim etrafında oluşan girdapları kontrol etmek hedeflenmektedir [7, 8].

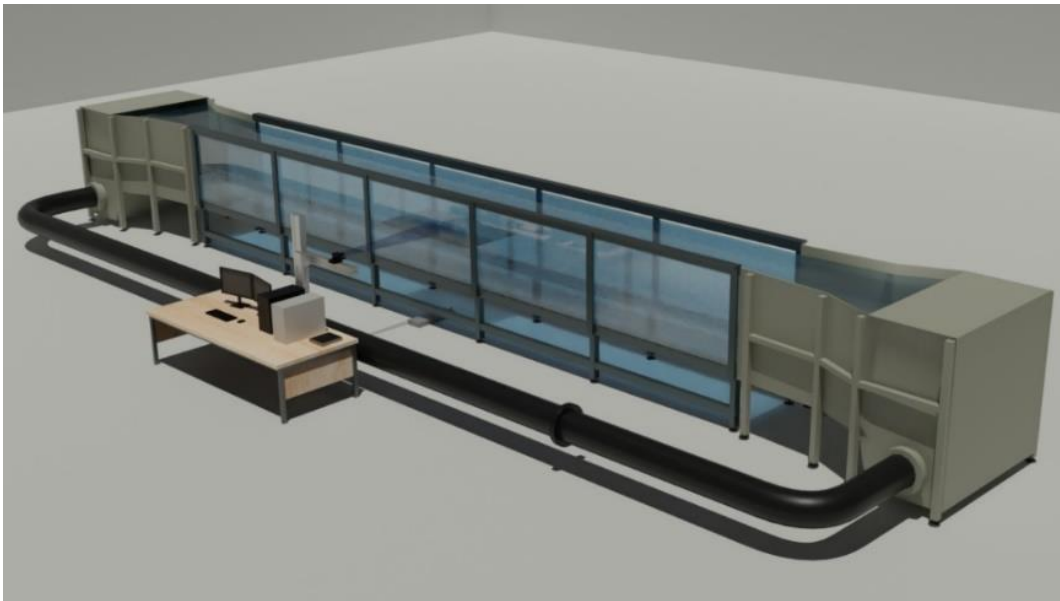
Akış içerisinde daldırılmış dairesel cisimler etrafındaki akış yapısı ve ısı geçişi teorik ve pratik mühendislik uygulamaları ile doğrudan ilişkilidir [2]. Isı geçişinin belirlenmesi, özellikle yüzeye erişimin her zaman mümkün olmadığı yanma odaları, endüstriyel kazanlar, döküm uygulamaları, ayrıca binaların termal yönetimi, havacılık mühendisliği gibi farklı teknoloji ve mühendislik uygulamalarında büyük öneme sahiptir. Ayrıca malzeme yüzey sıcaklığının doğru ölçümü, özellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında hayati bir rol oynamaktadır [9, 11].

Literatürde cisimlerin akış yapısının ve ısı geçişinin farklı yöntemler ile incelendiği pek çok farklı çalışma görmek mümkündür. Dipanakar vd. [12], düşük Reynolds sayılarında silindir arkasındaki vorteks kopmalarının, silindirin arkasına başka bir silindir yerleştirilerek kontrol edilebilmesini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda araştırmacılar kontrol silindirinin girdap kopmalarının bastırılmasına ve girdap dökülme sıklığının azaltılmasına bunun da sürüklenme kuvvetinin azalmasına neden olduğu göstermişlerdir. Al-Mdallal ve Mahfouz [13], çapraz akışta, dairesel hareket gerçekleştiren bir silindirin ve ısıtılmış dönmeyen dairesel silindirin zorlanmış konveksiyon ile ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Yazarlar, yüksek Reynolds (Re) sayısı, dairesel hareketin genliği ve frekans oranı aralığında ısı transferinin önemli ölçüde arttığını göstermişlerdir. Gao vd. [14], farklı çaplarda tandem sıralı iki dairesel silindirin etrafındaki akış yapısının farklı L/D oranlarında ve farklı Reynolds sayılarında Parçacık Görüntü Hız Ölçümü (PIV) tekniği kullanarak incelemişlerdir. Çalışmada ayrıca Reynolds sayısının ve merkezden merkeze boşluk oranının (L/D), akış yapısı ve türbülans özellikleri üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Yazarlar, çap oranının, farklı L/D oranlarında akış modelleri üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Lin vd. [15], art arda yerleştirilen iki silindirin akış yapısını, anlık ve ortalama hız, vortisite ve Reynolds stresi modellerine bağlı olarak PIV tekniği ile incelemişlerdir. Çalışmada, silindirlerin akış yapısının silindirlerin arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olarak değiştiği tespit edilmiş ayrıca silindirin alt akış alanı içerisinde başka bir silindir yerleştirilmesinin, girdap dökülmesinin sıklığını ve akış yapısını, tek bir silindirin kullanılması durumuna göre büyük ölçüde değiştiğini göstermişlerdir. Paramane ve Sharma [16], farklı Reynolds sayılarında (20-160) ve Prandtl sayısı 0.7 için, serbest akış içerisinde ve dönen bir silindir boyunca eşit ısı akışı verilerek zorlanmış taşınım ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda araştırmacılar, silindirin döndürülmesinin sadece akışın kontrolü için değil, aynı zamanda silindir yüzey sıcaklığının iyileştirilmesinde de etkili olarak kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir. Khanafer ve Aithal [17], kavite içerisinde döner bir silindiri, ısı transferinin iki önemli parametresi (Richardson sayısı, silindirin boyutsuz açılma hızı) için sayısal olarak analiz etmişlerdir. Araştırmacılar ortalama Nusselt sayısının, farklı Richardson sayıları için silindirin saat yönünde dönmesi ile açılma hızda meydana gelen artışla doğru orantılı bir şekilde arttığını göstermişlerdir.

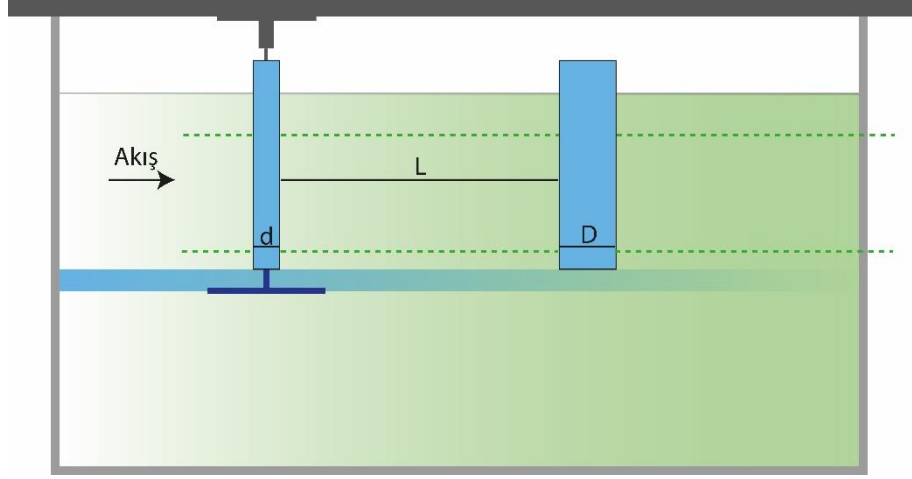
Literatürde, farklı kontrol yöntemleri kullanılarak silindirler etrafındaki akış yapısının kontrol edilmesi ile ilgili fazlasıyla çalışma olmasına karşın silindir etrafındaki ısı geçişinin deneysel olarak incelendiği kısıtlı çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada sıralı şekilde yerleştirilen iki silindir arasındaki mesafenin alt akış bölgesindeki ısıtılan silindire olan etkisinin deneysel olarak incelenmesi hedeflenmiştir. Makale kapsamında yapılan çalışmalar, bir su kanalı içerisine daldırılmış küt cisimler için yüzeyden sıcaklık ölçüm sistemi tasarımı ve uygulaması için gerekli deneysel destekleri sağlayacaktır. Çalışma bu yönüyle özellikle su kanalı içerisinde yüzeyden sıcaklık ölçümü yapılacak uygulamalara hem bir örnek hem de referans olmayı hedeflemektedir.

2. Materyal ve Metot

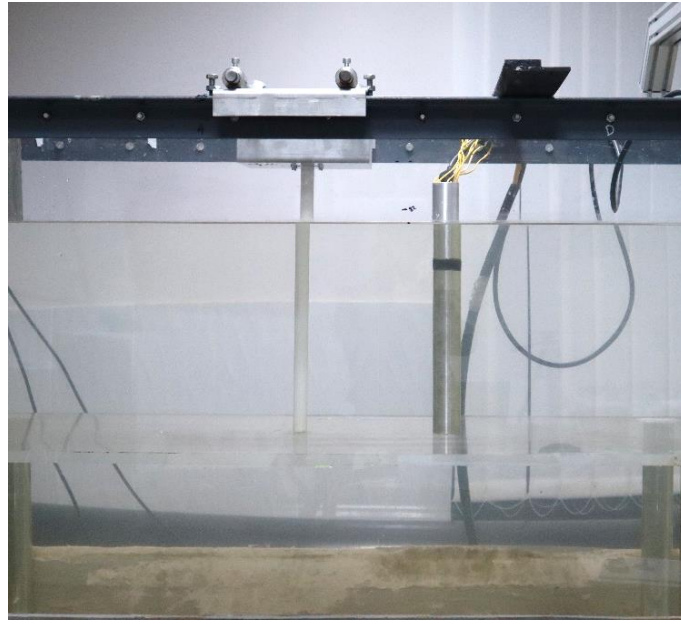
Deneyler Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İleri Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda bulunan, kapalı çevrim açık su kanalında gerçekleştirilmiştir. Kanalın şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Su kanalı, iki adet devir kontrolüne sahip (farklı Re sayılarında deneyler gerçekleştirebilmek için) aksenal pompa, iki adet toplama tankı, bir adet bal peteği desenli ve ızgaralı akış düzenleyici bileşenlerine sahiptir. Su kanalı tanklarla birlikte 15 m uzunluğa, 1.8 m yüksekliğe ve akış ölçümlerinin yapıldığı bölümde 1 m genişliğe sahiptir. Akış, test odasına girmeden önce, bir akış çökeltme deposundan, bir bal peteğinden ve 2:1 oranında bir daralmadan geçmekte ve akışın tam gelişmiş olması sağlanmaktadır. Şekil 2-a'da üst akış bölgesinde yer alan kontrol silindiri ile ısıtılacak silindirin ve masa üzerinde konumlandırılması için yapılan tasarımın teknik çizimi yer almaktadır. Şekil 2-b'de ise sıcaklık ölçüm sistemi ve akış kontrolü için tasarlanan sistemin, kurulurken yapılan örnek testlerine ait gerçek görseli yer almaktadır. Isıtılan silindir, iletimle olan ısı geçişinin yüksek olması için ısı iletim katsayısı, plastik esaslı malzemelere göre yüksek olan alüminyum malzemeden yüzeyi pürüzsüz olacak şekilde imal edilmiştir (Şekil 2-b). Silindir içerisine bir fişek rezistans yerleştirilerek silindir yüzeyinin ısıtılması sağlanmıştır. Silindir yüzeyinden merkeze 45° lik açılar (θ) ile sekiz farklı noktadan ısı eleman çiftleri yerleştirilerek sıcaklık ölçüm deneyleri yapılmıştır. Deney düzeneğinde, yüzey sıcaklıklarının istenilen değerde sabit tutulabilmesi için gerilimin ayarlandığı bir varyak sistemi ayrıca tüm kontrollerin ve sıcaklık ölçümlerinin anlık olarak izlendiği ve kaydedildiği bir Uzaktan Kontrol ve Gözleme Sistemi (SCADA) kullanılmıştır. Şekil 3'te sıcaklık kontrol ve ölçüm sistemine ait donanım yapısının akış şeması yer almaktadır. Sistem ana bilgisayar, güç kaynağı, elektrikli ısıtıcı, hareket kontrolcüsü ve tüm sistemin kontrol ve haberleşmesini sağlayan Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (PLC) sisteminden oluşmaktadır. Kontrol bilgisayarı üzerinden kullanıcı tarafından girilen veriler (Gerilim (V), Devir (devir/dk), vb.), kontrol sistemlerine iletilmekte ve sensörler vasıtasıyla ölçüm yapılmaktadır. Ölçülen ve hesaplanan veriler ise SCADA sistemi üzerinden bilgisayar ekranına yansımakta ve eş zamanlı olarak rapor halinde yine bilgisayara kaydedilmektedir.



Şekil 1. Kapalı devre açık su kanalının şematik gösterimi [18]

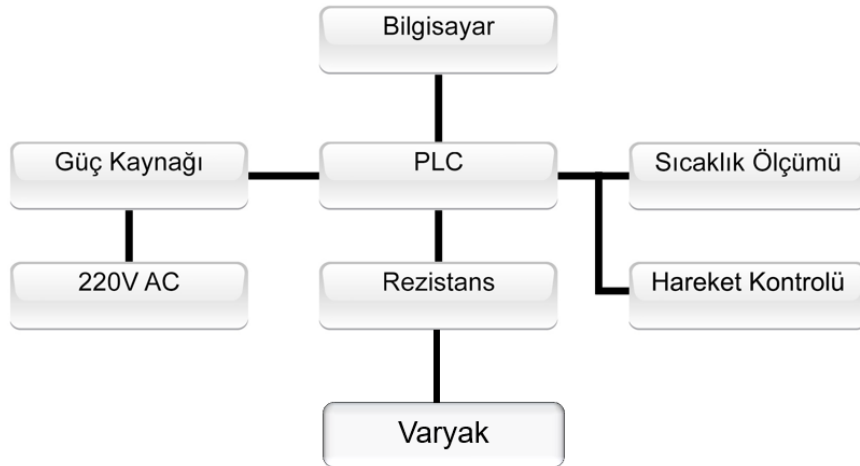


(a)



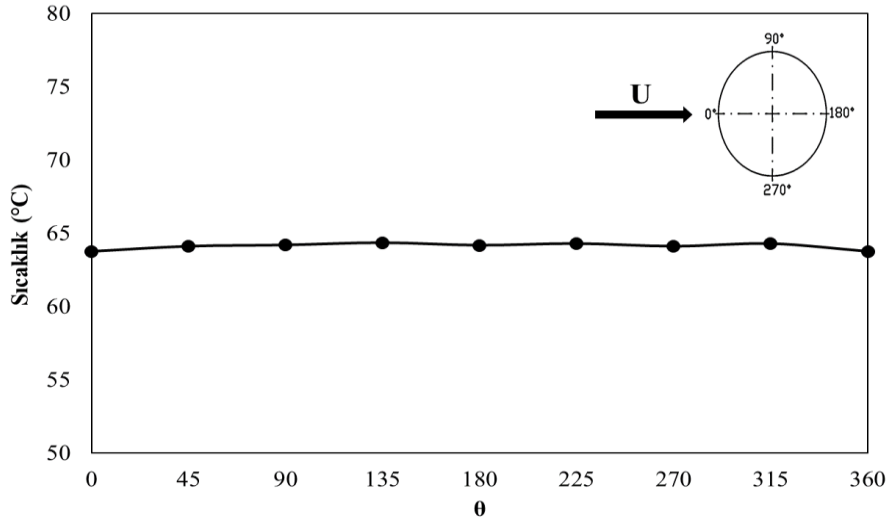
(b)

Şekil 2. Kanal içerisinde konumlandırılan silindirin (a) şematik gösterimi ve (b) kanal içerisindeki görseli [19]



Şekil 3. Sıcaklık kontrol ve ölçüm sistemine ait donanım yapısının akış şeması

Çalışmada sıcaklık ölçümlerinde kullanılacak ısı eleman çiftlerinin kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon çalışmalarında, referans sıcaklık tespiti için Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) standartlarına göre yapılmış güncel kalibrasyon sertifikasına sahip TESTO marka 435 model numaralı sıcaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Silindir etrafındaki sıcaklık değişiminin ölçümünde kullanılacak ısı eleman çiftlerinin kalibrasyonu farklı sıcaklıklar için yapılmıştır. Kalibrasyon yapabilmek için oluşturulan kalibrasyon düzeneği (su banyosu) içerisine farklı sıcaklıklarda (buzlu su, sıcak su, soğuk/sıcak su karışımı) akışkan gönderilerek kalibrasyon çalışmaları için gerekli farklı sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Kalibrasyon sonucunda her bir ölçüm noktası için oluşturulan eğrilerden elde edilen denklem ile ölçülen sıcaklık değerleri kalibre edilmiştir [19]. Deneylere geçilmeden önce kurulan deney düzeneğinin ve ölçüm sisteminin test edilmesi amacıyla belirli bir ısı akısında durgun kanalda ısıtılan silindir yüzeyindeki sıcaklıkların değişimi incelenmiştir (Şekil 4). Silindir etrafındaki farklı açılara karşılık gelen sıcaklık değişimleri incelendiğinde, silindir yüzeyinde homojen bir sıcaklık dağılımı olduğu görülmektedir. Çalışmada ölçülen parametreler sonucunda hesaplamaları yapılacak olan değerler için belirsizlik analizi yapılmıştır. Belirsizlik analizi Holman tarafından önerilen metot kullanılarak gerçekleştirilmiştir [20]. Yapılan analiz sonucunda Nusselt sayısı için belirsizlik değeri %3,75 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Durgun kanalda ısıtılan silindir için Sıcaklık-Açı grafiği

Isı transferi için gerekli olan hesaplamaları yapabilmek için öncelikle ısıtıcıya verilen birim alandaki (A) ısı akısının (\dot{q}) hesaplanması gerekmektedir. \dot{q} değeri, Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır [21, 22].

$$\dot{q} = \frac{V \cdot I}{\pi DL} = \frac{P}{\pi DL} \quad (1)$$

$$\dot{q} = h \Delta T \quad (2)$$

Burada V gerilim (V), I akım (A), P rezistans gücü (W), h ısı transfer katsayısı (W/m^2K), A silindir alanı (m^2), ΔT sıcaklık farkı ($^{\circ}C$), D silindir çapı (m), L ise silindirin uzunluğunu (m) ifade etmektedir. Isı transfer katsayısı ise Eşitlik 3 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$h = \frac{\dot{q}}{(\pi DL)(T_y - T_{su})} \quad (3)$$

Burada, T_y silindir dış yüzey sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), T_{su} su sıcaklığıdır ($^{\circ}\text{C}$). Nu sayısı için, Eşitlik 4 kullanılmaktadır.

$$\text{Nu} = \frac{hD}{k} \quad (4)$$

Burada k suyun ısı iletim katsayısıdır (W/m.K). Reynolds sayısı ise atalet kuvvetlerin viskoz kuvvetlere oranı olarak Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanmıştır.

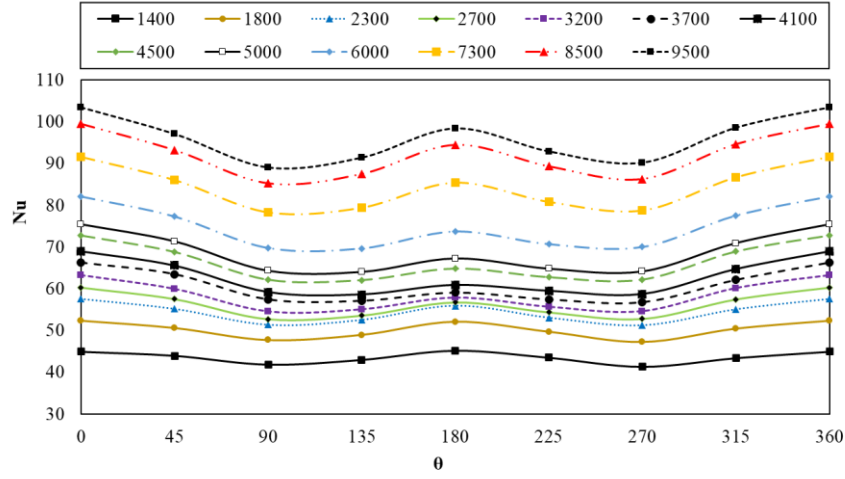
$$\text{Re} = \frac{\rho UD}{\mu} \quad (5)$$

Burada ρ akışkanın yoğunluğunu (kg/m^3), U akış hızını (m/s) ve μ akışkanın dinamik viskozitesini ($\text{Pa}\cdot\text{s}$) ifade etmektedir.

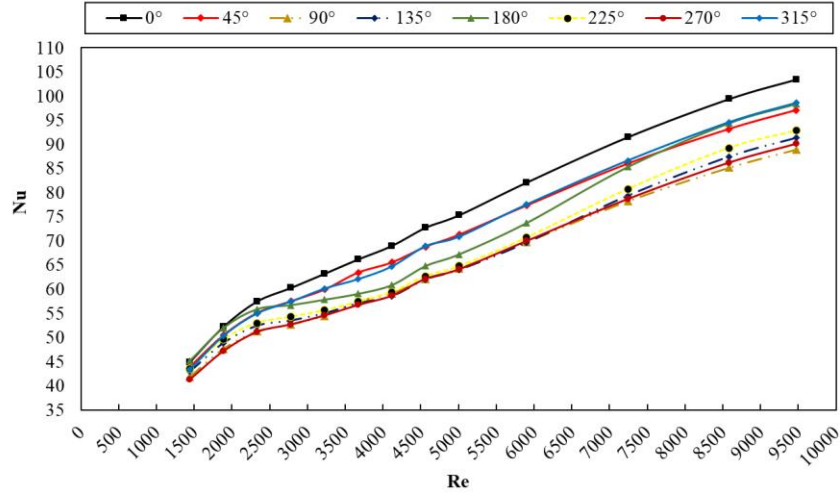
3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında, ısıtılan bir silindir etrafındaki Nu dağılımı ve pasif akış kontrol yönteminin ısı geçişine etkisi incelenmiştir. Tek silindir etrafındaki ısı geçişi öncelikle farklı Re sayıları için incelenmiştir. Şekil 5'te farklı Re sayılarında Nu-Açı grafiği yer almaktadır. Grafik incelendiğinde, Re sayısı arttıkça (kanaldaki su hızının artması ile artmakta) Nu değerlerinin arttığı dolayısıyla ısı geçişinin iyileştiği görülmektedir. Şekillerden ayrıca, 45° - 135° ve 225° - 315° açılara karşılık gelen ölçüm noktasında akış ayrılmasının başladığı ve bu noktalarda sıcaklık artışı ile Nu değerlerinin düştüğü görülmüştür. Şekil 6'da silindir etrafında ölçüm alınan her bir açı (0° - 45° - 90° - 135° - 180° - 225° - 270° - 315° - 360°) için Nu'in Re ile değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde her açıda Re sayısının artması ile Nu sayısının arttığı görülmektedir. Re sayısı arttıkça Nu değerlerinin arttığı dolayısıyla ısı geçişinin iyileştiği görülmektedir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde de Reynolds sayısının artması ile Nusselt sayısının arttığı görülmektedir. Bu durum Nusselt sayısındaki değişimin Reynolds sayısı değişimlerinden güçlü bir şekilde etkilendiğini göstermektedir [13,23].

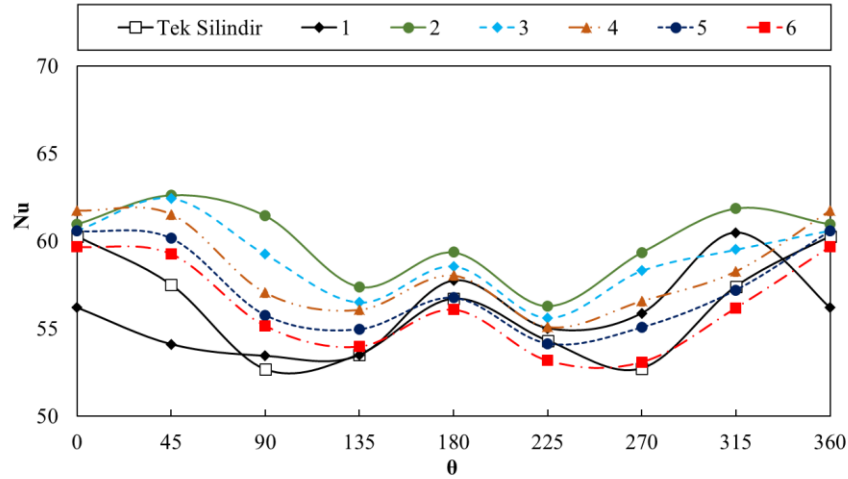
Çalışmada pasif akış kontrolü sağlamak amacı ile ısıtılan silindirin üst akış bölgesine farklı oranlarda (L/D) bir kontrol silindiri yerleştirilerek silindir çevresindeki ısı transferi incelenmiştir. $\text{Re}=2700$ için gerçekleştirilen deneylerde su sıcaklığı 23°C 'dir. Şekil 7'de farklı L/D oranında Nu-Açı değişimi grafiği yer almaktadır. Nu sayısı, silindirin ön durma noktasından (0°), termal sınır tabaka ayrılma noktasına (90° - 110°) kadar azalmakta, termal sınır tabaka noktasına ulaşıldığında ise Nu minimum değere düşmektedir. Bu durum termal sınır tabakasının devamlı artması ile ilgili bölgede (tek silindir 90° - 110° ve kontrol silindirinin kullanılması durumunda 135° ve 225°) bir termal direncin meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca silindirin arka noktasında yer alan 180° açısına sahip ölçüm noktasında da akış ayrılması sonucunda oluşan ölü akış bölgesinden kaynaklı sıcaklık değerlerinde bir azalma dolayısıyla Nu değerinde artma meydana gelmektedir. Silindirin arka bölgesinde Reynolds sayısının Nusselt sayısı üzerindeki etkisinin göreceli olarak ön bölgeye göre daha küçük olduğunu göstermektedir. Ayrıca üst akış bölgesinde yer alan kontrol silindiri, alt akış bölgesindeki ısıtılan silindirin akış yapısını silindirin sağ tarafına göre daha baskın bir yapıya getirmekte ve bu durumda ısı geçişine yansımaktadır. Özellikle L/D oranları içerisinde akış ve sıcaklık kontrolünde daha az etkisi olan L/D=1 için bu durum daha da belirgin bir hal almakta ve tek silindirde elde edilen simetrik yapı bozulmaktadır. Özellikle literatürde ısıtılan silindir etrafındaki ısı geçişi ile ilgili kısıtlı olan deneysel çalışmalarda da art arda yerleştirilen ikinci silindirde benzer durumlar görülmektedir [24,25]. Şekil 8'de farklı açılar için Nu'in L/D ile değişimi verilmiştir. Kontrol silindirinin ısıtılan silindirin üst akış bölgesinde kullanılması akış ayrılma noktasını öteleyerek, silindir alt akış noktasındaki ölü akış bölgesini daraltmıştır. Şekillerden iki silindir arasındaki L/D mesafesinin artması ile kontrol silindirinin etkisinin azaldığı görülmektedir. $\text{Re}=2700$ için optimum L/D oranının 2 olduğu görülmüştür.



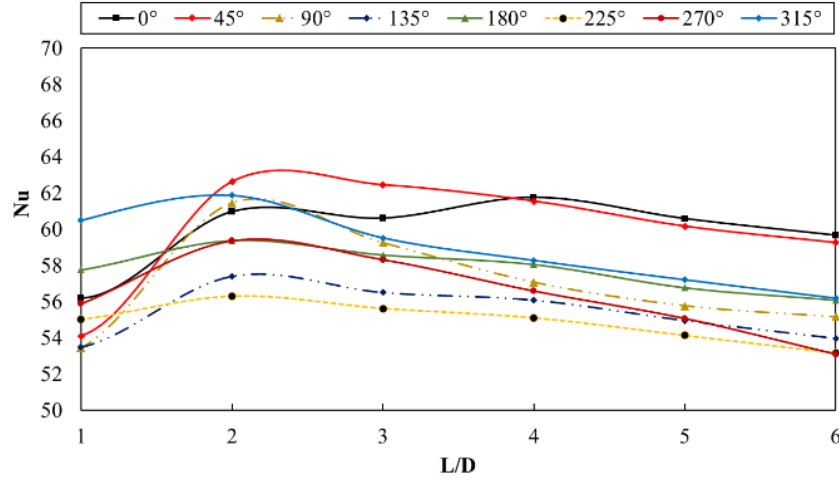
Şekil 5. Farklı Re sayılarında ısıtılan silindir için Nu-Açı grafiği



Şekil 6. Silindir etrafında sıcaklık ölçümü yapılan farklı açılar için Nu-Re grafiği



Şekil 7. Re=2700 için farklı L/D oranında Nu-Açı değişimi



Şekil 8. Re=2700'de farklı açılar için Nu-L/D değişimi

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, öncelikle sabit tek silindir (ana) etrafındaki ısı geçişi ve daha sonra ana silindirin üst akış bölgesinde bir kontrol silindirin kullanılması, alt akış bölgesinde bulunan ısıtılmış sabit bir silindirin etrafındaki ısı geçişine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Tek silindir için yapılan deneylerde Re sayısının artması ile Nu değerinin arttığı, dolayısıyla ısı geçişinin iyileştiği görülmüştür. Üst akış bölgesinde bulunan akış kontrol silindirin, alt akış bölgesine yerleştirilmiş olan ısıtılmış bir silindir etrafındaki ısı geçişi Re=2700'de farklı L/D oranlarında incelenmiş ve L/D=2.0 oranının, ısı geçişi açısından diğer L/D oranlarına göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından sırasıyla OKÜBAP-2019-PT3-021 ve TÜBİTAK-218M357 adlı proje kapsamında desteklenmiştir. OKÜBAP ve TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Semboller ve Kısaltmalar

A	Alan	(m ²)
d	Kontrol silindir çapı	(mm)
D	Isıtılan silindir çapı	(mm)
h	Isı transfer katsayısı	(Wm ⁻² K ⁻¹)
I	Akım	(Amper)

k	Isı iletim katsayısı	(W m ⁻¹ K ⁻¹)
L	Uzunluk	(m)
Nu	Nusselt sayısı	-
P	Güç	(W)
Re	Reynolds sayısı	-
T	Sıcaklık	°C
t	Zaman	s
V	Gerilim	(Volt)
U	Serbest akış hızı	(m/s)
\dot{q}	Isı akısı	(W/m ²)

Yunan Sembolleri

θ	Açı	(°)
ρ	Akışkanın yoğunluğu	(kg/m ³)
μ	Dinamik viskozite	(Pa·s)

Alt indisler

su	Su sıcaklığı	(°C)
y	Yüzey sıcaklığı	(°C)

Kaynaklar

- [1] Zhang X., Choi K., Huang Y., Li H. 2019. Flow control over a circular cylinder using virtual moving surface boundary layer control. *Experiments in Fluids*, 60 (6): 1-15.
- [2] Shams-Ul-Islam., Manzoor R., Khan U., Nazeer G., Hassan S. 2018. Drag reduction on a square cylinder using multiple detached control cylinders. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22 (5): 2023-2034.
- [3] Karasu İ. 2020. Flow control over a diamond-shaped cylinder using slits. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 112: 109992.
- [4] Firat E., Ozkan G.M., Akilli H. 2017. PIV measurements in the near wakes of hollow cylinders with holes. *Experiments in Fluids*, 58 (5): 39.
- [5] Wang L., Luo Z., Xia Z., Liu B., Deng X. 2012. Review of actuators for high speed active flow control. *Science China Technological Sciences*, 55 (8): 2225-2240.
- [6] Gad-el-Hak M. 2000. *Flow Control: Passive, Active and Reactive Flow Management*. Cambridge University Press, New York, 1-421.
- [7] Oruç V., Akilli H., Sahin B. 2016. PIV measurements on the passive control of flow past a circular cylinder. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 70: 283-291.
- [8] Feng J., Lin Y., Zhu G., Luo X. 2019. Effect of synthetic jet parameters on flow control of an aerofoil at high reynolds number. *Sādhanā*, 44 (8): 1-10.
- [9] Amiri S., Taher R., Mongeau L.G. 2014. Experimental study of the oscillatory velocity and temperature near a heated circular cylinder in an acoustic standing wave. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 69: 464-472.
- [10] Cebula A., Taler J., Ocloń, P. 2018. Heat flux and temperature determination in a cylindrical element with the use of finite volume finite element method. *International Journal of Thermal Sciences*, 127: 142-157.
- [11] An B. L., Qu Y., Song X. Y., Dong W., Yuan Z. D., Zhao Y. L., Levick A. 2021. On surface temperature measurement of low emittance artefact coating by active infrared laser radiation thermometry. *Infrared Physics & Technology*, 115: 103696.

- [12] Dipankar A., Sengupta T. K., Talla S. B. 2007. suppression of vortex shedding behind a circular cylinder by another control cylinder at low reynolds numbers. *Journal of Fluid Mechanics*, 573: 171.
- [13] Al-Mdallal Q.M., Mahfouz F.M. 2017. Heat transfer from a heated non-rotating cylinder performing circular motion in a uniform stream. *Int J Heat Mass Transf*, 112: 147–157.
- [14] Gao Y., Etienne S., Wang X., Tan S.K. 2014. Experimental study on the flow around two tandem cylinders with unequal diameters. *Journal of Ocean University of China*, 13 (5): 761–770.
- [15] Lin J.C., Yang Y., Rockwell D. 2002. Flow past two cylinders in tandem: instantaneous and averaged flow structure. *Journal of Fluids and Structures*, 16 (8): 1059–1071.
- [16] Paramane S.B., Sharma A. 2010. Heat and fluid flow across a rotating cylinder dissipating uniform heat flux in 2d laminar flow regime. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53 (21-22): 4672-4683.
- [17] Khanafer K., Aithal S. M. 2017. Mixed convection heat transfer in a lid-driven cavity with a rotating circular cylinder. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 86: 131-142.
- [18] Özalp C., Polat C., Saydam D. B., Söyler M. Dye injection flow visualization around a rotating circular cylinder. *European Mechanical Science*, 4 (4): 185-189.
- [19] Saydam D.B. 2020. Aktif Akış Kontrol Tekniği Uygulanan Bir Silindir Etrafında Sıcaklık ve Hız Dağılımlarının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Osmaniye, 1-163.
- [20] Holman J.P. 2001. *Experimental Methods for Engineers*. McGraw Hill, New York, 1-741.
- [21] Cengel Y., Boles M. 2010. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. McGraw Hill, New York, 1-1024.
- [22] Kamel M.S., Lezsovits F. 2020. Enhancement of pool boiling heat transfer performance using dilute cerium oxide/water nanofluid: an experimental investigation. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 114: 104587.
- [23] Alnak, D. E., Varol, Y., Firat, M., Oztop, H. F., Ozalp, C. 2019. Experimental and numerical investigation of impinged water jet effects on heated cylinders for convective heat transfer. *International Journal of Thermal Sciences*, 135, 493-508.
- [24] Wang, X., Qi, D., Li, T., Lin, M., Ke, H., Zeng, M., Wang, Q. 2020. Heat transfer characteristics of nonuniform flow around a circular cylinder in a t-junction duct. *Journal of Heat Transfer*, 142(10), 104502.
- [25] Sanitjai, S., Goldstein, R. J. 2004. Heat transfer from a circular cylinder to mixtures of water and ethylene glycol. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(22), 4785-4794.