

YÜKSEK BLOKAJLI KANAL İÇİNDE ART ARDA İKİ SİLİNDİR ETRAFINDA SÜREKLİ LAMİNER AKIŞ İÇİN ISI VE AKIŞ KARAKTERİSTİKLERİNİN NÜMERİK OLARAK İNCELENMESİ*

Neslihan Güneş**

Arş., Gör.,

Uludağ Üniversitesi,

Mühendislik Fakültesi,

Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa

nslhngunes@uludag.edu.tr

Alper Özalp

Prof. Dr.,

Uludağ Üniversitesi,

Mühendislik Fakültesi,

Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa

aozalp@uludag.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, art arda silindirler etrafında yüksek blokaj etkisinde laminar akış için ısı ve akış karakteristikleri nümerik olarak incelenmiştir. Blokaj oranı ($\beta=B/H$) 0.6 ve Reynolds sayısı (Re) 40 olarak belirlenmiştir. Silindirler arası mesafe sabit silindir çapı ile orantılı olarak 0.2-0.7-1.0-1.5-3.0-4.0 D olarak seçilmiştir. Ön ve arka silindirler için tüm silindirler arası mesafe oranlarında statik basınç, kayma gerilmesi ve ısı transfer katsayıları değerleri hesaplanıp tartışılmıştır. Ayrıca çift silindir için elde edilen sonuçlar, aynı senaryolar tek silindir için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Hesaplama sonuçlarına göre akım çizgi ve vortekslerin direk olarak hidrodinamik ve termal parametreleri etkilediği anlaşılmıştır. Silindir etrafındaki ayrılmalar ise kayma gerilmesi ve ısı transferi değerlerini etkilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Blokaj oranı, silindirler arası mesafe, kayma gerilmesi, ayrılma noktası, art arda silindirler

NUMERICAL INVESTIGATION OF HEAT AND FLOW CHARACTERISTICS CONTINUOUS LAMINAR CHANNEL FLOW WITH HIGH BLOCKAGE AROUND TWO TANDEM CIRCULAR CYLINDERS

ABSTRACT

In this study, heat and flow characteristics of laminar steady flow across two tandem circular cylinders (CC) were numerically investigated. The blockage ratio ($\beta=B/H$) were held 0.6 and the Reynolds number (Re) was 40. The distance between circular cylinders were chosen 0.2-0.7-1.0-1.5-3.0-4.0 D and static pressure, shear stress and heat transfer coefficients on the upstream (front) and downstream (back) cylinders were calculated and discussed. Otherwise the results that were obtained for two tandem cylinders were compared with the results that were obtained for single cylinder for the same scenarios. According to the calculations it is understood that wakes and vortices between cylinders directly affect hydrodynamic and thermal parameters. Separations of the flow around the cylinder also effect on shear stress and convective heat transfer values.

Keywords: Blockage ratio, distance between cylinders, shears stress, separation point, tandem cylinders

** İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 09.06.2015

Kabul tarihi : 24.07.2015

* 8-11 Nisan 2015 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından İzmir'de düzenlenen 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi'nde sunulan bildiri, dergimiz için yazarlarınca makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

Güneş, N., Özalp, A. 2015. "Yüksek Blokajlı Kanal İçinde Art Arda İki Silindir Etrafında Sürekli Laminar Akış İçin Isı ve Akış Karakteristiklerinin Nümerik Olarak İncelenmesi," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 667, s. 53-63.

1. GİRİŞ

Kanal içi akışta blokaj etkisinde dairesel cisimler üzerindeki akışlar ve bu alanda yapılan sayısal çalışmalar son yıllarda önemli bir araştırma konusu olmuştur. Silindirik elemanlar etrafındaki akışın yapısı; akışın hızına, derinliğine, akışkanın viskozitesine, silindirik yapının şekil ve boyutlarına, silindirin akış içerisindeki konumuna ve silindirin katı sınırına olan uzaklığına bağlı olarak değişmektedir.

Akışın laminer veya türbülanslı bir yapıya sahip olması, dairesel yapılarda etkin bir rol oynamaktadır. Bir dairesel yapı üzerinde oluşan akış yapısının bilinmesi, dairesel yapı üzerindeki enerji değişimlerinin anlaşılmasında etkin rol oynamaktadır. Bir akışkan yüksek bir hızla eğrisel bir yüzey üzerine akarsa, katı ile akışkanın birleşme noktalarında akışkan kendini yüzeye sarmaya başlar. Silindir üst yüzeyinde oluşan düşük basınç ile akış, içe doğru ters şekilde dönmeye başlar. Silindir üst yüzeyinde oluşan düşük basınç ile akış, içe doğru ters şekilde dönmeye başlar. Silindirden akışın koptuğu noktaya ayrılma noktası denilmektedir. Ayrılma bölgesi ne kadar büyük olursa, basınç kaybı o kadar artar. Akışın, ayrılma bölgesinden sonra akışına düzensiz devam etmesi ve silindir geometrisine bağlı olarak hızını kaybetmesi ölü akış bölgesini oluşturmaktadır. Ayrılma bölgesi, akışın iki koldan birbiri ile yeniden birleşmesiyle; tekrar birleşme noktasında biter; fakat ölü akış bölgesi, akış hızını tekrar kazanana kadar gelişerek devam eder (Şekil 1) [1].

Akış olayları genellikle katı yüzeyler ile sınırlanırlar. Bu nedenle, katı yüzeyin akışı nasıl etkileyeceğini kavramak

önemlidir. Viskoz etkilerinin, dolayısıyla hız profiline önemli olduğu yüzeye yakın akış bölgelerine sınır tabaka adı verilir. Sınır tabaka üzerinde oluşan akış yapısı, düzlem plaka ve dairesel yapılarda bazı fiziksel özelliklerinden dolayı farklılık göstermektedir. Akış yapısında önemli değişkenlerden biri, akışın laminer veya türbülanslı oluşudur. Laminer akıştan türbülanslı akışa geçişte; yüzey geometrisi, yüzey pürüzlülüğü, akıntıya karşı olan hız, yüzey sıcaklığı, akışkan tipi ve bunlarla beraber en çok Reynolds sayısının karakteristiği önemli rol oynamaktadır [1].

Birçok önemli mühendislik uygulamasında karşımıza çıkan art arda dizili çift silindir etrafındaki akışın karmaşık fiziksel yapısını incelemek ve silindirler etrafındaki akış fenomenlerini anlayabilmek için günümüze kadar pek çok deneysel ve nümerik çalışma yapılmıştır.

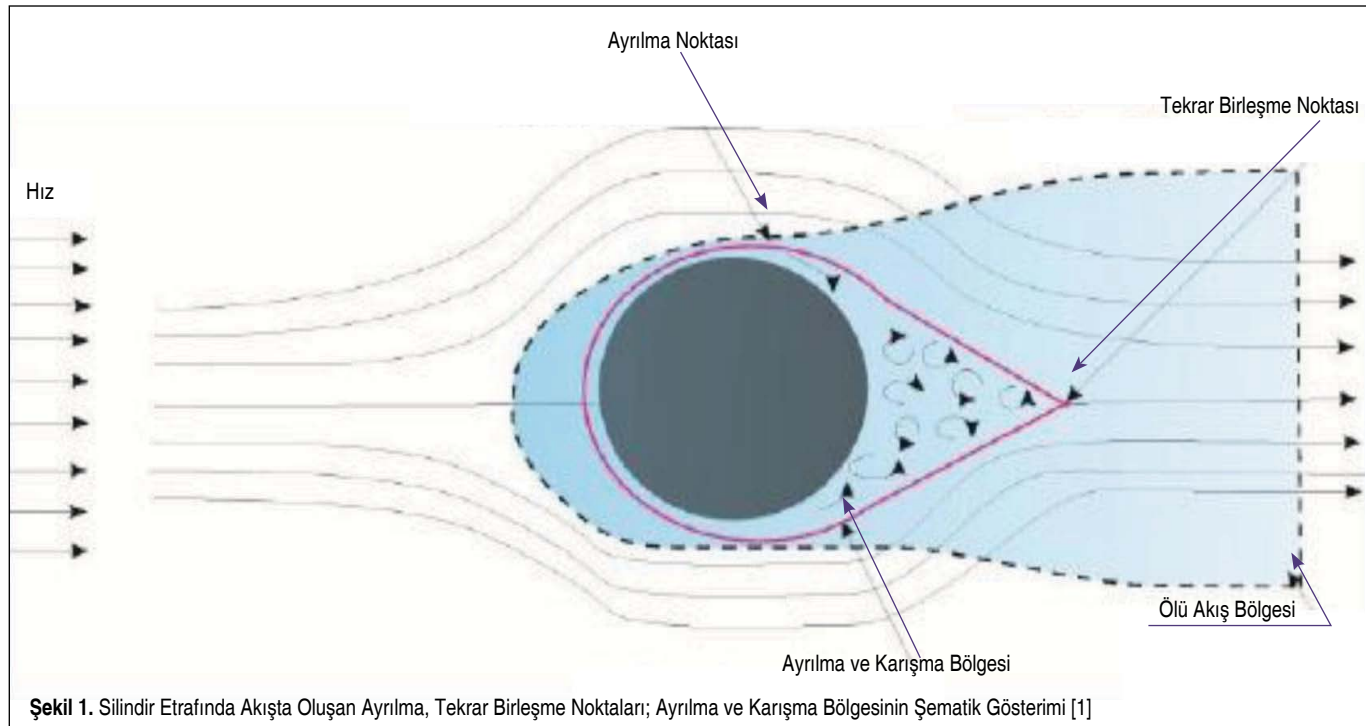
Genellikle deneysel olarak yürütülmüş olan bu çalışmalar da nümerik olarak analiz programı kullanarak ard arda iki silindir etrafında akışın dinamik olarak yapısının incelenmesi daha nadirdir. Önceki pek çok çalışma araştırıldığında, kısıtlı olarak bir ya da iki tane silindirler arasındaki mesafe değiştirilerek incelenmiş, aynı şekilde, Reynolds sayıları bir iki defa değiştirilerek sabit blokaj oranında araştırmalar yapılmıştır. Sabit silindirler arası mesafede blokaj oranı değiştirilerek silindirler arası akışın etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Örneğin Zdravkovich [2], silindirlerin değişik konumlandırılmaları için iki silindir etrafındaki akış etkilişimini ayrıntılı incelemiştir. Buna müteakiben Zdravkovich, silindir merkezleri arasındaki mesafe (L) ve eş çaplı silindirlerin silindir çapı (D) bu ikisinin oranına göre

L/D akışı sınıflandırmıştır. Zdravkovich' in yaptığı bu çalışmaya göre, eğer bu oran silindirler arası mesafe oranı $1 < L/D < 1.3-1.8$ olduğunda, silindirler tek küt bir cisim gibi davranıyor ve yalnızca öndeki silindirde akım çizgileri silindiri sıyrıp geçiyor ve akış boyunca arkadaki silindire tekrar bağlanmadan akım çizgileri tek silindir varmış gibi yoluna devam ediyor. Silindirler arası mesafe artmaya başladığında ise $1.2-1.8 < L/D < 3.4-3.8$ akım çizgileri öndeki silindir etrafından sıyrıp geçerek arkadaki silindirde akım çizgileri bağlanıyor. Bu durumda Zdravkovich, sadece arkadaki silindiri etkilediğini saptamıştır. L/D oranı daha da arttırıldığında ise akımın, silindirler arası mesafede vortex oluşturmaya başladığı ve bu oluşan vortexin arkadaki silindirin arkasında oluştuğunu gözlemlemiştir. Chang ve arkadaşları [3], Reynolds sayısı $Re=100$ için yan yana konumlandırılmış iki silindir için, sonlu eleman ve sonlu fark metodu ile simetrik ve asimetric oluşan akım çizgilerini gözlemlemiştir. Slauouti ve arkadaşları [4], iki boyutlu laminer akış için Reynolds sayısı $Re=200$ değerinde silindirlerin konumlarını yan yana ve üst üste değiştirerek akış karakteristiklerini vorteks metodu ile hesaplamışlardır. Yaptıkları bu çalışma, ileride daha yüksek Reynolds sayılarının akış yapılarının belirlenmesinde yol gösterici sonuçlar sağlamada yardımcı olmuştur. Li ve arkadaşları [5], Reynolds sayısı 100 için art arda silindir etrafındaki akışı Galerkin Hız-Basınç Sonlu Eleman yöntemiyle kaba mesh için çalışmıştır. Dört farklı silindirler arasındaki mesafe için akış, simule edilip deneysel çalışmalarla kıyaslanmıştır. Deneysel çalışmalar ile nümerik çalışmaların uyumluluğu fark edilip ayrıca akışın türbülans ve üç boyutluluğunun akışın silindirler arasındaki mesafeye etki ettiğini gözlemlemiştir. Mittal ve arkadaşları [7], değişik Reynolds sayılarında ($Re=100$ ve $Re=1000$) bir çift silindirin akış dinamiğini hem sıralı art arda akış dizilimi hem de silindirlerin çapraz dizilimi için akış fenomenlerini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak incelemiştir. Art arda akış için silindirler arası mesafe (L/D), sırasıyla 2.5 ve 5.5 seçilerek akış karakteristikleri irdelenmiştir.

Meneghini ve arkadaşları [8], Reynolds sayısı 100 ve 200 için iki silindiri farklı konumlarda art arda ve üst üste gibi farklı konumlarda yerleştirilerek silindirlerin etrafındaki akışı ve bu akımın oluşturduğu vortekslerin değişimini nümerik olarak detaylıca çalışmışlardır. Art arda silindirler için sürüklenme katsayıları ve kaldırma katsayılarını hesaplamışlardır. Vorteks kontürlerini art arda silindirlerin Reynolds değerleri için göstermişlerdir. Ayrıca iki silindir arasındaki mesafenin silindirlerin çapından üç kat büyük olduğunda ortalama sürüklenme katsayısının negatiften pozitifte geçtiğini gözlemlemiştir.

Chakraborty [9], kanal içi blokaj oranı $\beta=0.05-0.65$ arasında değişen değerler için dairesel silindir etrafındaki sürtünme ve toplam sürüklenme katsayılarını hesaplamıştır. Sharman ve arkadaşları [10], Reynolds sayısı 100 için tek silindire uygun meshi bulup doğrulamak için çalışmış ve art arda iki silindir

etrafındaki akış karakteristiklerini de kaldırma ve sürüklenme katsayılarını iki silindir arasındaki mesafeyi çok farklı aralıklarda değiştirilerek metod olarak da hesaplamalı akışkanlar mekaniği metodunu kullanarak incelemiştir. Griffith ve arkadaşları [11], kanal içinde blokaj oranı $\beta=0.05-0.9$ arasında değişen değerler için silindir etrafındaki akım davranışlarını vorteks oluşumlarını, resirkülasyon ve ayrılma uzunluklarını irdelenmiştir. Zhou ve arkadaşları [12], art arda iki silindir etrafındaki akış için SBA (Small-Big Arrangement) arkada silindiri büyük ve çapı $D=25\text{mm}$ sabit tutmuşlar, öndeki silindir için ise $d=0.24-1.0 D$ aralığında değiştirilerek akış karakteristikleri ayrılma noktaları tayin etmişlerdir. Patil ve arkadaşları [13], art arda dizili bir çift silindir etrafındaki akışı sonlu hacim metodunu kullanarak durgun akış yapısını incelemiştir. Silindirler arası mesafe $g=2-10 D$ ve Reynolds sayısı $Re=1-40$ arasında değiştirilerek akım hız profilleri, silindir yüzeyindeki basınç katsayıları, toplam sürüklenme katsayıları gibi lokal ve global akış karakteristikleri hesaplanmıştır. Singha ve arkadaşları [14], Reynolds sayısının $Re=40-150$ arasında değişen değerleri ve silindirler arası mesafe, $g=0.2-4.0 D$ arasında değişecek şekilde tasarlanarak silindirler etrafından akışı nümerik olarak incelemiştir. Akışın, silindir etrafından ayrılma noktasına blokaj oranının önemli ölçüde etkilediğini saptamıştır. Kanal yüksekliğinin azalması ile birlikte, ayrılma noktasının da geriye doğru gittiği bulunmuştur. Ayrıca kanal açıklığının değişmesinin resirkülasyon bölgesinin uzunluğunu da önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Harichandan ve arkadaşları [15], teorik olarak, hesaplama alanı içerisinde düz bir duvar üzerindeki tek ve art arda yerleştirilmiş silindirler üzerindeki akışı incelemiştir. Hesaplamalarını, iki boyutlu daimi olmayan akışı sonlu hacimler metodu ile Re sayısı 100 ve 200 için yapmışlardır. Akış karakteristiği Re sayısının yanı sıra, silindirlerin duvara olan uzaklığı ve iki silindir arasındaki uzaklığa bağlı olduğu görülmüştür. Çalışmaların, üç boyutlu analiz için faydalı noktalar içerdiğini ileri sürmüşlerdir. Ayrıca bu çalışmanın, ileriki zamanlarda daha ayrıntılı üç boyutlu bir çalışma ile karşılaştırmalar için faydalı olacağı düşünülmüştür. Gao [16], PIV (Partikül Hız Görüntüleme) yöntemiyle de farklı çaplardaki bir çift silindir etrafındaki akış yapısını incelemiştir. Bu çalışmada, Reynolds sayısının değeri $Re=1200$ ve silindirler arası mesafe $L/D=1.2$ ve çap oranı $d/D=2/3$ seçilmiştir. Bu değerler altında akış rejimi ve vorteks oluşumları gözlemlenmiştir. Zhou ve arkadaşları [17], art arda silindirler etrafından akış, orta büyüklükte Reynolds değerleri için nümerik olarak çözümlenmiştir. Silindirler arasındaki mesafe küçük tutulduğunda, her iki silindir etrafında durgun akış oluşmaktadır. Ayrıca ikinci silindirde periyodik vorteks oluşumları gözlemlenmiştir. İkincil olarak, az bir miktar silindirler arası mesafe arttırıldığında bütün akış rejimi her iki silindir etrafından akışta durgun akış rejimi sergilemektedir. Üçüncü olarak da silindirler arası mesafe arttırıldığında, durgun olmayan akış oluşmaya başlamış ve vorteks kopmaları meydana



Şekil 1. Silindir Etrafında Akışta Oluşan Ayrılma, Tekrar Birleşme Noktaları; Ayrılma ve Karışma Bölgesinin Şematik Gösterimi [1]

geldiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, Reynolds değerleri $Re=80-320$ ve silindirlere arası mesafe silindir çapı ile orantılı olarak $g=2.0-8.0 D$ arasında değiştirilerek nümerik sonuçlara ulaşılmıştır. Jiang ve arkadaşları [18], paralel iki duvar arasında farklı oranlardaki çaplarda (D/d , D =Büyük silindir çapı, d =Küçük silindir çapı) art arda konumlandırılmış BSA (Big-Small arrangement) silindirler etrafından akışı, Lattice-Boltzman metodunu kullanarak nümerik olarak incelemişlerdir. Silindir çapları arasındaki oran, sırasıyla 0.5-0.625-0.75 ve 0.875 seçilmiştir. Reynolds sayısının etkisi, çap oranı, silindirler arası mesafe, alan sınırlarının blokaj oranını akış üzerine etkisi detaylıca incelenmiştir. Ayrıca nümerik sonuçlar, SBA (Small-Big Arrangement) şeklinde, silindir çap oranları sırası değiştirilerek büyük-küçük çaplarda denenmiştir. Bu model için de sürüklenme katsayısı ve kaldırma katsayısı değerleri hesaplanmıştır.

Bu çalışmada ise iki boyutlu sürekli sıkıştırılmaz akış, $\beta=0.6$ ve $Re=40$ sabit değeri için farklı silindirler arası mesafelerde $g=0.2-0.7-1.0-1.5-3.0-4.0 D$ akış ve ısı karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çıkan sonuçlar ayrıca, tek silindir $\beta=0.6$ sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. TEORİK VE SAYISAL METOT

Şekil 2'de, bu çalışmada incelenen akışın geometrisi ve ölçümleri detaylı bir şekilde verilmiştir. Şekil 2'de, dairesel silindir, adyabatik duvarlar arasında konumlandırılmış ve ortadaki dairesel silindir, alt ve üst adyabatik kanal duvarlarına eşit uzaklıktadır ($H/2$). Adyabatik kanal duvarlarına ve dairesel silindirlerin duvarlarına kaymama sınırı şartı ($u=v=0$) uygulanmıştır. Dairesel silindirlerin yüzeyleri sabit sıcaklıkta kabul edilmiş (T_s) ve havanın kanala giriş sıcaklığı (T_∞) olarak verilmiştir. Hava, kanala tam gelişmiş laminer akış hızı profilinde;

$$u(y) = \frac{3}{2} U_c \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^2 \right] \quad (1)$$

şeklinde sağlanmıştır. Burada U_c kanal girişindeki havanın aksel hızıdır.

Ayrıca Şekil 2'de, silindirin arkası ve önündeki kesitler tanımlanmıştır. Kanal içi akışta silindir çapları sabit, $D=0.04$ m ve blokaj oranı, $\beta=D/H=0.6$ ve silindirler arası mesafe, silindir çapları ile orantılı olarak 0.2-0.7-1.0-1.5-3.0-4.0 D arasında değiştirilerek nümerik hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 2'de, iki boyutlu dairesel silindir etrafındaki açıl koordinat sistemi, sırasıyla $\theta=0^\circ-90^\circ-180^\circ$ olarak tanımlanmıştır.

Dairesel silindirler etrafından akış için temel akışkanlar mekaniği teorisine bakıldığında, kritik Reynolds sayısının değerini $Re_c \leq 2 \times 10^5$ den küçük olduğu durumda akış, laminardır [19]. Şahin ve arkadaşları [20], akış rejimini Reynolds sayısının değeri, $Re=100$ için, blokaj oranlarını $\beta=0.33-0.800$ arasındaki oranlarda değiştirerek akışkan karakteristiklerini incelemişlerdir.

Reynolds sayısı $Re=40$ blokaj oranları $\beta=0.6$ ($\beta=D/H$) (D =Dairesel silindir çapı, H =Kanal yüksekliği) için silindir çapı sabit ve $D=40$ mm olacak şekilde girişteki hava hızı $U_\infty=15.68 \times 10^{-3}$ m/s, girişteki havanın sıcaklığı $T_\infty=333$ K ve silindirin yüzeyindeki sıcaklık $T_s=293$ K'de sabit tutulmuştur. Burada, silindirler arası mesafenin akış yapısına etkisi ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

Kanal yüksekliği blokaj oranı $\beta=0.6$ için $H=66.6$ mm alınarak ve silindirler arası mesafe silindir üzerine akışın etkisi incelenmiştir. Silindir konum, olarak kanalın girişinden 0.5 m, çıkışından ise 1 m uzaklığa konulmuş ve kanal yüksekliğinin ise tam ortasında ($H/2$) konumlandırılmıştır. Kartezyen koordinatlardaki xy eksen takımı ise silindirin merkezi olarak belirlenmiştir. Koordinatlar belirlenirken amaç, akışın neredeki yapısı incelenecekse oraya yakın bir yer seçmektir. Bu çalışmada, silindir etrafındaki akış yapısı inceleneceği için silindir merkezi, koordinat eksenini olarak tanımlanmıştır.

Sayısal hesaplamalarda akışkan, durgun ve sıkıştırılmaz iki boyutlu akış alanı olarak kabul edilmiştir. Ayrıca termal akış özellikleri içinde akış, zamanla değişmeyen durgun akış ($\frac{\partial}{\partial t}=0$) olarak tanımlanmıştır. Bu kabuller altında, Navier-Stokes (Korunum Denklemleri) çözümlenmiştir. Korunum

denklemleri iki boyutlu, sürekli laminer akış için Kartezyen koordinatlarda şu şekilde yazılabilir:

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

Momentum Denklemi:

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

Enerji Denklemi:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

Akış ve ısı transfer simülasyonları ANSYS-CFX v13.0 programı kullanılarak çözümlenmiştir. Ayrıca yukarıdaki korunum denklemleri çözümlenilerek istenilen basınç, kayma gerilmesi ve ısı transferi katsayı değerleri programdan alınmıştır. Temel olarak, incelenen akış ve ısı transferi parametreleri ise sırasıyla şu şekildedir:

$$Re = \frac{\rho U_\infty d}{\mu} \quad (6)$$

$$\tau = \frac{C_f}{2\rho U^2} \quad (7)$$

$$Nu_\theta = \frac{h_\theta d}{k} \quad (8)$$

Burada Re , Reynolds sayısını; τ , kayma gerilmesini; Nu_θ , lokal Nusselt sayısını; h_θ , ısı transfer katsayısını ifade eder.

3. HESAPLAMALI ANALİZ SONUÇLARI

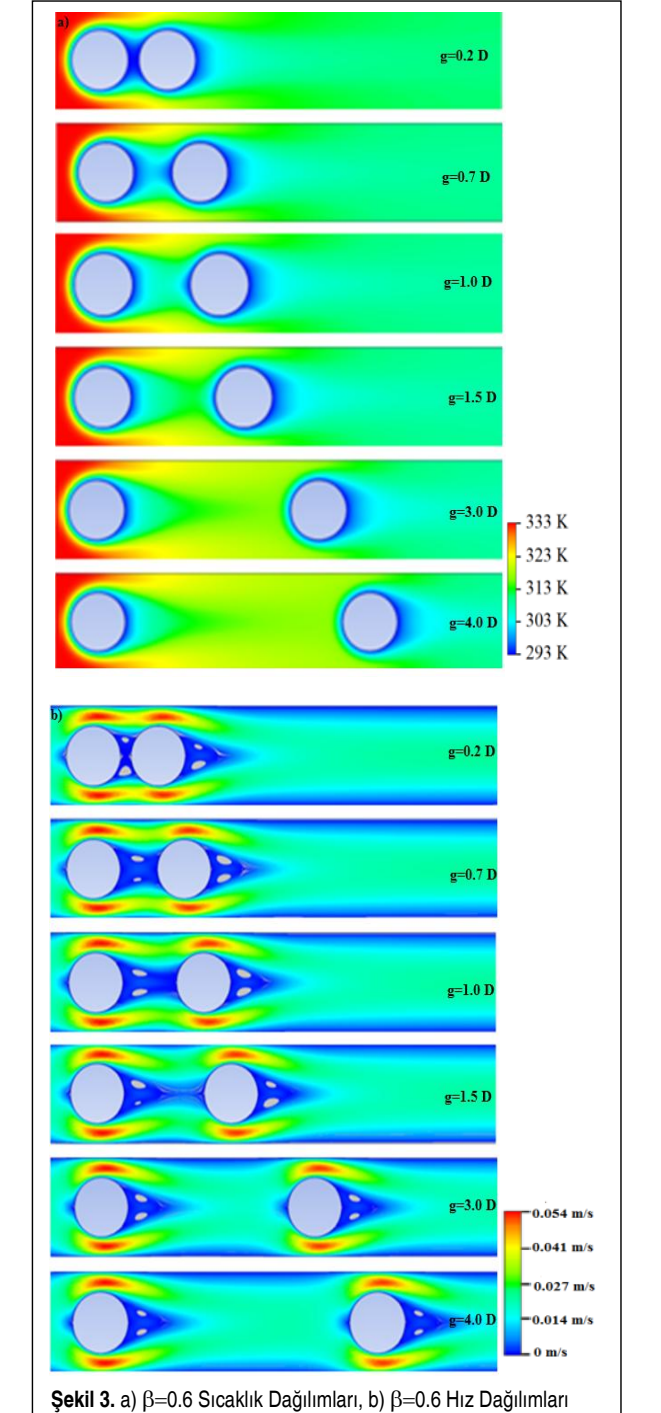
Bu çalışmayı oluşturabilmek için bazı fiziksel, hidro dinamik ve termal veriler önceki çalışmalardan araştırılıp faydalanılmıştır. Bu çalışmanın sınır şartları ve koşulları bu şekilde belirlenmiştir. Özellikle silindir çapı silindirler arası mesafe ve blokaj oranını belirlerken önceki literatür çalışmaları temel alınmıştır.

Çalışmayı ısı ve akış karakteristikleri bakımından dört ana başlıkta inceleyebiliriz: Ön ve arka silindirlerdeki statik basınç dağılımları, kayma gerilmesi dağılımları, ısı transfer kat-

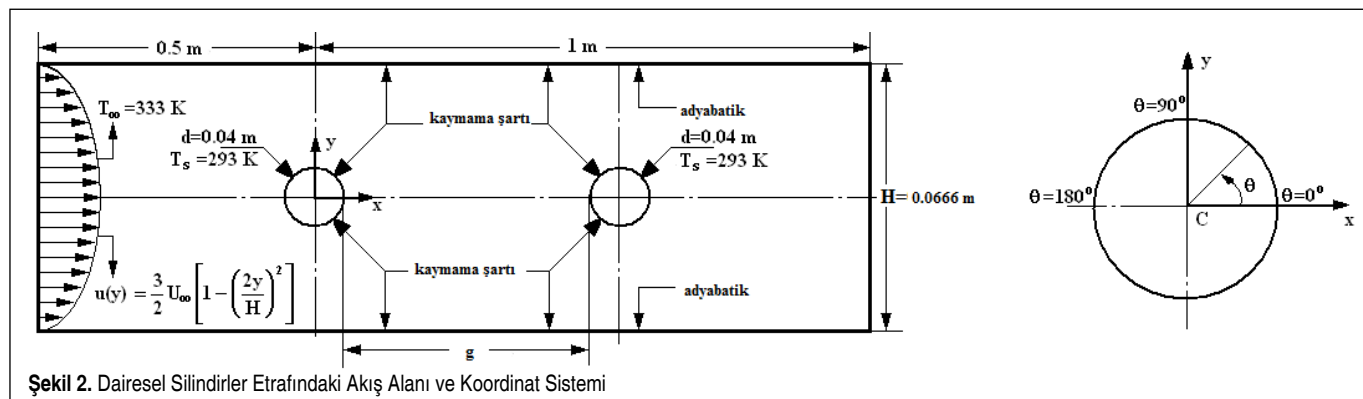
sayıları dağılımları ve sürüklenme katsayıları dağılımları. Ayrıca ANSYS-CFX programından tüm silindirler arası mesafe değişiminde $g=0.2-4.0 D$ için sıcaklık ve hız dağılımları alınmıştır.

3.1 $\beta=0.6$ Sıcaklık ve Hız Dağılımları

Sıcaklık kontürleri ve hız vektörleri incelenecek olursa; mavi renkler en düşük sıcaklık ve hız değerlerini, sarı ve



Şekil 3. a) $\beta=0.6$ Sıcaklık Dağılımları, b) $\beta=0.6$ Hız Dağılımları



Şekil 2. Dairesel Silindirler Etrafındaki Akış Alanı ve Koordinat Sistemi

yeşil renk ile gösterilenler orta, kırmızı renk ile gösterilen değerler ise en yüksek sıcaklık ve hız değerlerini göstermektedir. Şekil 3a ve Şekil 3b birlikte incelendiğinde, ön ve arka silindir arkalarında minimum sıcaklık ve hız değerleri oluştuğu gözlemlenebilir. Silindirler arası mesafe arttıkça öndeki silindirde oluşan hız ve sıcaklık düşümlerinin arkadaki silindire çarpmadığı ve her bir silindirin tek bir silindirmiş gibi davrandığı anlaşılmıştır. Hız dağılımlarının direk sıcaklık dağılımlarını etkilediği sonucuna varılabilir yani sıcaklık dağılımındaki benzer sonuçlar hız dağılımında da açıkça görülebilir. Silindirler arası mesafe düştükçe ise ön silindirin arkasında oluşan sıcaklık düşümlerinin arkadaki silindire çarptığı ve arka silindirin sıcaklık dağılımını etkilediği gözlemlenebilir. Aynı şekilde hız dağılımlarına bakıldığında, düşük silindirler arası mesafede $g=0.2-1.5$ D aralığında, öndeki silindirin arkasında oluşan vortekslerin arka silindirin ön yüzüne çarptığı ve buradaki hız dağılımlarını etkilediği gözlemlenmektedir. Bu değerlerden sonra ise $g=3.0$ D ve 4.0 D değerinde, öndeki silindirden kaynaklı sıcaklık ve hız dağılımının arkadaki silindire etki etmediği anlaşılmıştır. Ayrıca hız dağılımları incelendiğinde, ön ve arka silindirde oluşan vorteks uzunluklarının ön silindir için birbirine eşit ve simetrik arka silindir içinde vorteks büyüklüğü ve uzunluğunun eşit ve simetrik olduğu görülmektedir. Akış tam silindirlere temas ettiği noktada hız, sıfır, ön ve arka silindir için gözlemlenebilir. Aynı şekilde, duvarlarda kaymama şartı verildiğinden dolayı hızın sıfır ya da minimum değerlerde olduğu anlaşılmaktadır.

3.2 Statik Basınç Dağılımları

Şekil 4a, ön silindir yüzeyindeki statik basınç dağılımlarını

silindirler arası mesafenin değişmesi ile birlikte dağılımını göstermektedir. Şekil 4a'dan görüldüğü üzere, silindirler arası mesafe arttıkça, statik basınç dağılımları da artmıştır. Bu artış, tüm silindirler arası mesafede görülebilir. Ayrıca bu grafikten silindirin $\theta=45^\circ-90^\circ$ arasında açılal konumunda minimum değerlere ulaştığı, 90° itibaren tekrar arttığı gözlemlenebilir. Ön silindirde $0-4.25 \times 10^{-3}$ Pa değişen değerlerdedir. $\theta=0^\circ-45^\circ$ arasında ön silindir basınç değişimi $1.8 \times 10^{-3}-2.2 \times 10^{-3}$ Pa arasında silindirler arası mesafe ile artmış, açı arttıkça da azalmıştır; $\theta=45^\circ-135^\circ$ arasında önce azalan daha sonra ise artan bir basınç dağılımı grafiği göstermiştir. Minimum 1.5×10^{-3} Pa değerine kadar düşmüş bu değerden sonra, açılal konum arttıkça, basınç değerleri de 4.25×10^{-3} Pa maksimum değerine kadar çıkmıştır. Akışın silindirden ayrıldığı yerden itibaren, statik basınç değerleri de tekrardan pozitif değerlere yükselmiştir. Bernoulli ve süreklilik denklemleri çözümlendiğinde, hız değerleri süreklilikten yükseldikçe, statik basınç değerleri de git gide azalacaktır. Ayrıca tek silindir sonuçları ile karşılaştırıldığında, aynı trend de bir dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Nümerik olarak bakıldığında, tek silindir sonuçlarında değer olarak $0-2.52 \times 10^{-3}$ Pa arasında aynı şekilde, başlangıçta 5×10^{-4} Pa değerinden başlayarak azalan $\theta=45^\circ-90^\circ$ arasında minimum seviyelere düşen ve bu değerden sonra, aynı çift silindirde olduğu gibi artan doğrultuda dağılım gösteren bir grafik elde edilmiştir. Maksimum $\theta=135^\circ-180^\circ$ arasında 2.52×10^{-3} Pa değerine kadar çıkmıştır. Şekil 4b'de ise başlangıçta statik basınç değerleri, silindirler arası mesafe arttıkça azalmış, ardından, belli bir açılal konumundan sonra ise ($\theta=135^\circ-145^\circ$ arasında) silindirler arası mesafe arttıkça artmıştır. Aynı şekilde, öndeki silindirde olduğu gibi ($\theta=45^\circ-90^\circ$ arasında) minimum seviye düşmüş, bu açılal konumdan sonra,

yaklaşık $\theta=75^\circ-80^\circ$ den sonra tekrardan statik basınç değerleri artmıştır. Burada önemli olan diğer bir nokta, özellikle arka silindirde hissedilen $g=3.0-4.0$ D değerlerinde statik basınç dağılımı öndeki silindirden etkilenmemesi ve tek silindir gibi davranmasıdır. Bu önemli sonucu Bernoulli ile bağdaştırarak diğer analiz sonuçları ile karşılaştırdığımızda şunları söyleyebiliriz: Hız değerleri arttıkça, statik basınç değerleri düşmüş, statik basınç değerleri arttıkça ise hız değerleri minimuma yaklaşmıştır.

3.3 Kayma Gerilmesi Dağılımları

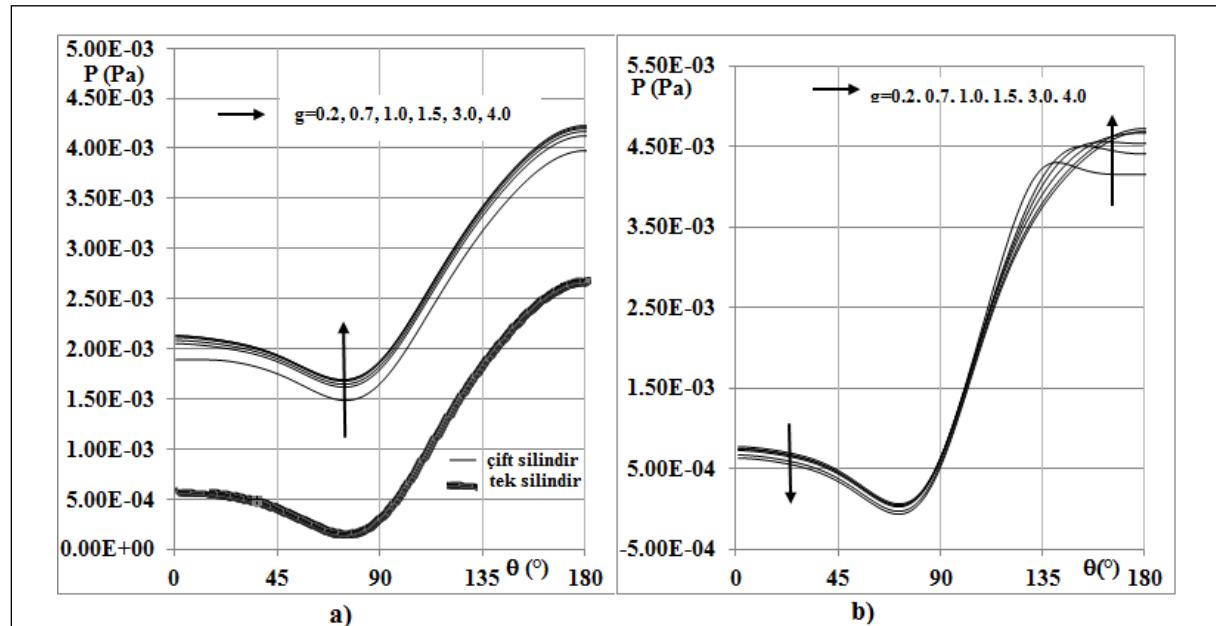
Şekil 5a, ön silindir için silindirler arası mesafe değişimi ile kayma gerilmesinin değişimini göstermektedir. Görüldüğü gibi, ön silindir için silindirler arası mesafe arttıkça artmış, ancak, özellikle açılal konum $\theta=45^\circ$ den itibaren silindirler arası mesafe ile bir değişim görülmemiştir. Sadece küçük silindirler arası mesafede $g=0.2$ D için ayrılma açısına kadar çok ufak bir değişim söz konusudur. Ayrıca ön silindirde yaklaşık $\theta=95^\circ-105^\circ$ açılal konumunda, silindir yüzeyinde en yüksek $\tau=4 \times 10^{-4}$ Pa kayma gerilmesi değerlerine ulaşmış, bu konumdan sonra git gide azalarak sıfır değerine ulaşmıştır. Kayma gerilmesinin minimum olduğu yer, ayrılma açısının olduğu yer olarak düşünülebilir. Bu durumda, bu blokaj oranı $\beta=0.6$ için ön silindirde tüm silindirler arası mesafede $\theta_s=41.37^\circ$ olarak bulunmuştur. Bu ayrılma açısı değerinden sonra kayma gerilmesi değerleri de artarak devam etmiştir. Ayrıca Şekil 5a'dan da görüldüğü gibi, ön silindir üzerindeki kayma gerilmelerinde tek silindir sonuçlarına çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 5.b'de ise arka silindir için silindirler arası mesafenin değişimi ile kayma gerilmesinin dağılımı gösterilmektedir. Arka silindir için kayma gerilmeleri dağılımları incelendiğinde, başlangıçta aynı ön silindirde olduğu gibi, silindirler arası mesafe ile herhangi bir değişim olmamış; ancak yaklaşık $\theta=90^\circ$

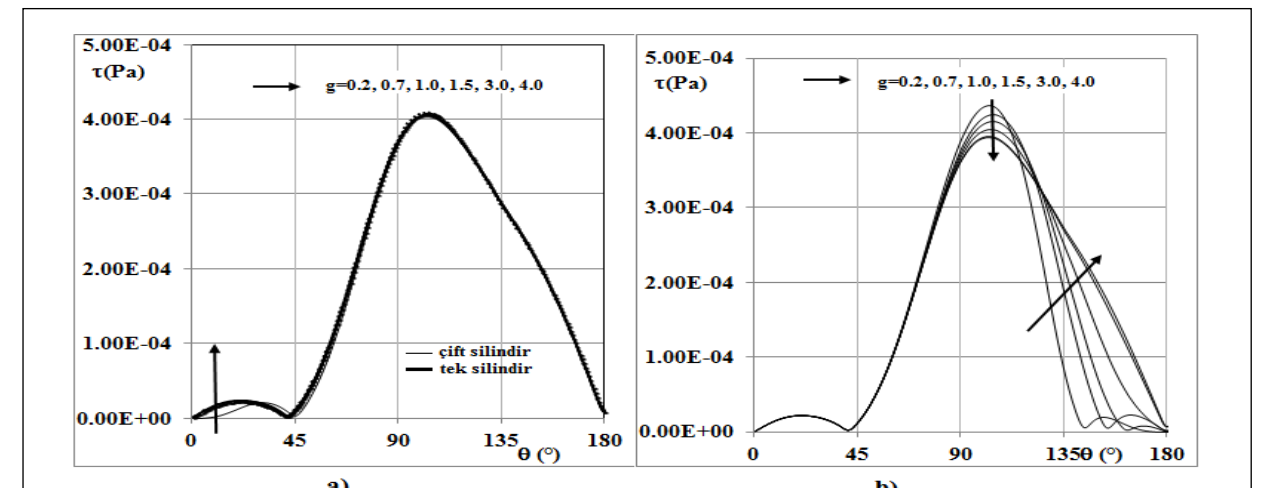
değerinden itibaren silindirler arası mesafe ile önce azalan, daha sonra ise yaklaşık $\theta=120^\circ-125^\circ$ den itibaren artan bir eğilim göstermiştir. Bunun sebebi, hız dağılımı grafiğinden de görebileceğimiz üzere, silindir arkasında oluşan vortekslerdir. Özellikle küçük silindirler arası mesafede $g=0.2-0.7$ D gibi oluşan vorteksler, arkadaki silindire çarpmakta ve arka silindirde daha düşük hızların oluşmasına neden olmaktadır. Büyük silindirler arası mesafede $g=3.0-4.0$ D ise ön silindirin arkasında oluşan vorteksler, kendi içinde son bulup, arka silindire temas etmeden, yani etkilemeden arka silindirde daha yüksek hızların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Kayma gerilmesi değerleri de bu ayrılma noktasında $\theta_s=41.37^\circ$ değerinde minimum, yani yaklaşık sıfır değerine ulaşmaktadır ve bu değerden sonra tekrardan yükselmeye başlamıştır. Ayrıca öndeki silindirde oluşan vortekslerin arkadaki silindire çarpmasından dolayı arkadaki silindirde çıkan kayma gerilmesi değerleri, önde çıkan kayma gerilmesi değerlerinden bir miktar daha fazladır. Nümerik olarak inceleyecek olursak, arka silindirde ön silindirde bulunan kayma değerleri gibi yaklaşık olarak $\theta=120^\circ-125^\circ$ de ön silindirden bir miktar yüksek ve silindirler arası mesafe ile azalacak doğrultuda değişmiş, $\tau=4.25 \times 10^{-4}$ Pa maksimum değerine ulaşmıştır. Arka silindirde açılal konum $\theta=135^\circ-140^\circ$ arasında bir düşüş olmuş ve bu değerden sonra da bir dalgalanma olmuştur.

3.4 Isı Transfer Katsayıları Dağılımları

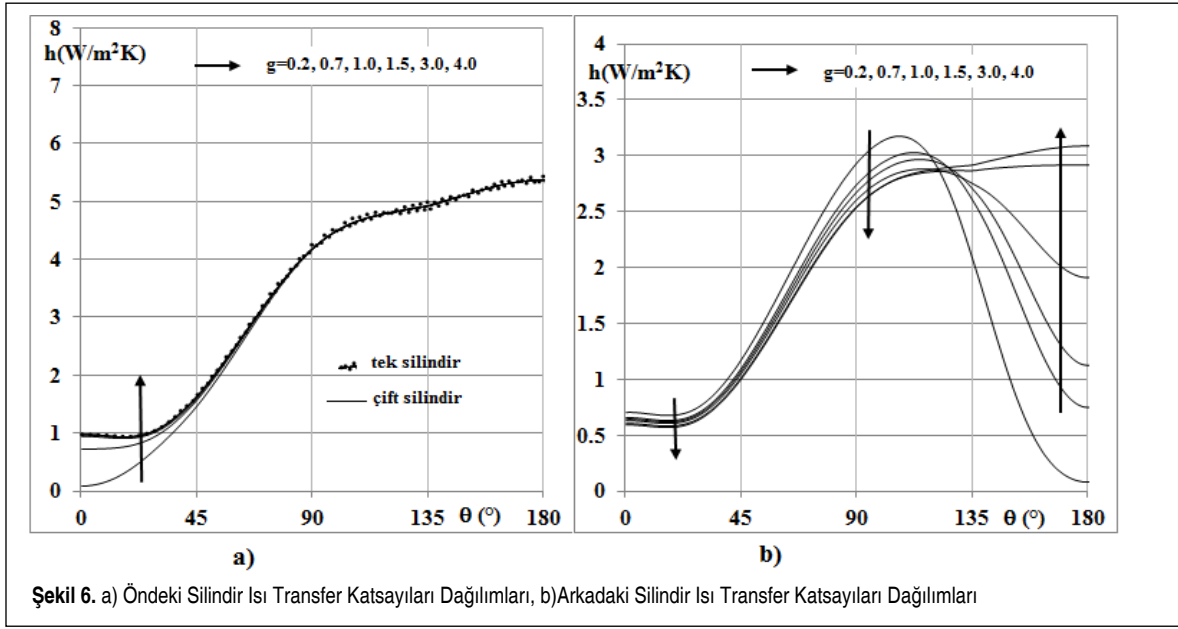
Şekil 6a, ön silindir yüzeyindeki ısı transfer katsayılarının dağılımını göstermektedir. Kayma gerilmesi değerlerinde olduğu gibi, ön silindir yüzeyinde küçük silindirler arası mesafede $g=0.2-0.7$ D değerlerinde farklı, daha büyük diğer silindirler arası mesafelerde $g=1.0-4.0$ D arasında silindirler arası mesafe ile pek bir değişim olmamıştır. Ayrıca kayma gerilmesi dağılımlarında olduğu gibi ısı transfer katsayılarının dağılımlarına bakıldığında tek silindir için çok yakın sonuçlar



Şekil 4. a) Öndeki Silindir Statik Basınç Dağılımları, b) Arkadaki Silindir Statik Basınç Dağılımları



Şekil 5. a) Öndeki Silindir Kayma Gerilmesi Dağılımları, b) Arkadaki Silindir Kayma Gerilmesi Dağılımları



Şekil 6. a) Öndeki Silindir Isı Transfer Katsayıları Dağılımları, b) Arkadaki Silindir Isı Transfer Katsayıları Dağılımları

elde edilmiştir. Ön silindir de yaklaşık $\theta=45^\circ$ açısal konumuna kadar silindirler arası mesafe ile artmış, bu açısal konumdan sonra artmaya devam etmiş; fakat silindirler arası mesafe ile değişmemiştir. Ön silindir için maksimum ısı transfer katsayısı $h=5.5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ olarak bulunmuştur. Ön silindir yüzeyinde $\theta=0^\circ-45^\circ$ açısal pozisyonunda, $h=0-1.5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ arasında silindirler arası mesafe ile artmıştır. $\theta=45^\circ$ açısal değerinden itibaren ise öndeki silindirde $h=1.5-5.5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ arasında artarak devam etmiştir. Buradan, sıcaklık dağılımının direk olarak hız dağılımından etkilendiği söylenebilir. Düşük silindirler arası mesafede $g=0.2-0.7 \text{ D}$ gibi silindirler arasında oluşan vorteksler gelişmemiştir. Bunun sonucunda, daha düşük hız değerleri arka silindirde oluşmuş, öndeki silindirde oluşan hız değerleri arka silindiri etkilemiş ve arka silindirde daha düşük sıcaklık ve dolayısıyla daha düşük ısı transfer katsayıları değerleri oluşmuştur.

Şekil 6b, arka silindir için silindirler arası mesafenin değişimi ile ısı transfer katsayılarının dağılımını göstermektedir. Başlangıçta, silindirler arası mesafe arttıkça azalan öndeki silindire göre daha yüksek ısı transfer katsayıları elde edilmiştir. Yaklaşık olarak $\theta=120^\circ-125^\circ$ aynı kayma gerilmesi sonuçlarında olduğu gibi, silindirler arası mesafe ile azalan bir eğilim göstermiştir. Her bir silindir arası mesafe incelendiğinde, açısal konumla birlikte artan bir dağılım oluşmuştur. Arka silindir için ısı transfer katsayıları $h=0.5-3.2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ değerine kadar çıkmıştır. Ancak $\theta=120^\circ-125^\circ$ değerinden sonra, özellikle düşük silindirler arası mesafede açısal konum artmaya devam ederken ısı transfer katsayıları azalmış, yüksek silindirler arası mesafe değerlerinde ise $g=3.0-4.0 \text{ D}$ ısı transfer katsayıları artmaya devam etmiştir. Buradan, arkadaki silindirin $g=3.0-4.0 \text{ D}$ değerlerinde, öndeki silindirden etkilenmediği sonucu da görülebilir. Arka silindir de ısı transfer katsayısı maksimu

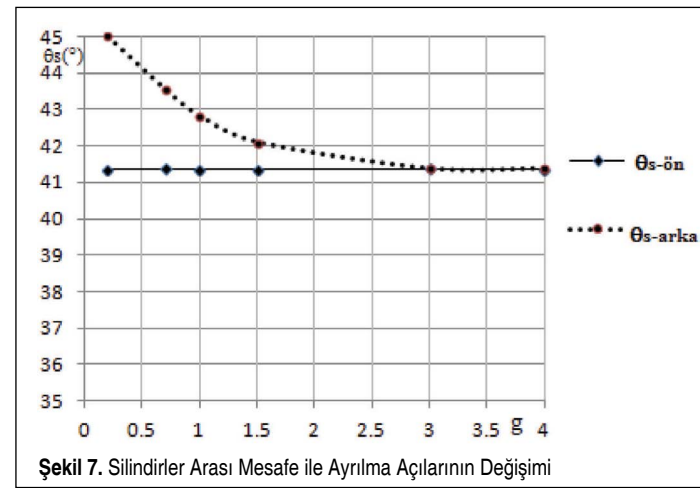
$g=4.0 \text{ D}$ değerinde açısal konum $\theta=135^\circ-180^\circ$ arasında $h=3.2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ değerine kadar yükselmiştir. Ayrıca sıcaklık dağılımı grafikleri incelenecek olursa, arka silindirde ön silindirden kaynaklanan sıcaklık düşüşünün ısı transfer katsayılarının, dağılım grafiklerinde olduğu gibi, oradan da bu değişim görülebilir.

3.5 Ayrılma Açılarının Değişimi

Ayrılma açılarının değişimi ön ve arka silindir için ayrı ayrı incelendiğinde, baştan beri bahsedilen bazı olumlu sonuçları görmek mümkündür. Tablo 1 incelendiğinde, ayrılma

Tablo 1. Silindirler Arası Mesafe ile Ayrılma Açılarının Değişimi (ξ =Tek Silindir)

| g | 0.2 D | 0.7 D | 1.0 D | 1.5 D | 3.0 D | 4.0 D | ξ |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------------------|
| θ_s -ön | 41.37° | 41.37° | 41.37° | 41.37° | 41.37° | 41.37° | ξ θ_s 41.34° |
| θ_s -arka | 45° | 43.54° | 42.82° | 42.09° | 41.37° | 41.37° | |



Şekil 7. Silindirler Arası Mesafe ile Ayrılma Açılarının Değişimi

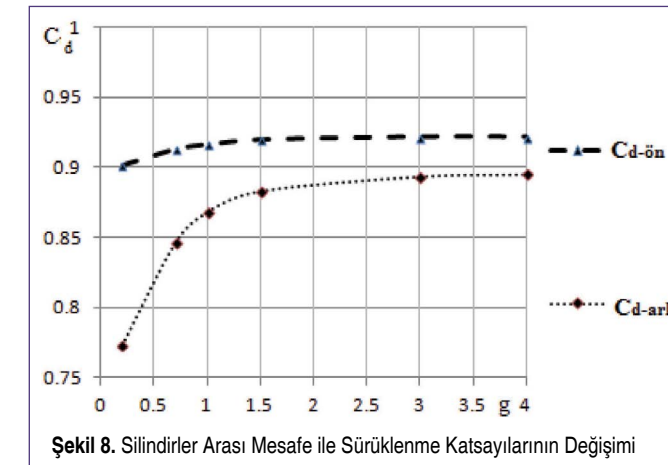
açıları öndeki silindir için, silindirler arası mesafe ile değişmemiş ve tek silindir için bulunan değerle aynı çıkmıştır (θ_s -ön=41.37°). Tek silindir için bu değer $\theta_s=41.34^\circ$ Tabloda verilmiştir. Ayrıca arka silindir için bakıldığında, ön silindirden silindirler arası mesafe dolayısıyla etkilendiğinden, başlangıçta bir miktar ön silindir ayrılma açısı değerinden yüksek çıkmış fakat silindirler arası mesafe arttıkça, ayrılma açısı değerleri de küçülerek, özellikle baş sözünü ettiğimiz, $g=3.0-4.0 \text{ D}$ değerlerinde θ_s -ön= θ_s -arka=41.37° bulunmuştur (Şekil 7). Buradan da silindirler arası mesafe arttıkça, öndeki silindirin arkadaki silindiri etkilemediği söylenebilir.

3.6 Sürüklenme Katsayılarının Değişimi

Tablo 2'de, silindirler arası mesafe ile sürüklenme katsayılarının değişimi, sayısal değerleri verilmiş; ayrıca Şekil 8'de, sürüklenme katsayılarının eğilimi, ön ve arka silindir için gösterilmiştir. Tablo 2 ve Şekil 8 ortak incelendiğinde, ön silindirde arka silindire göre bir miktar daha yüksek sürüklenme katsayıları bulunmuştur (C_d -ön=0.90-0.92). Silindirler arası mesafe arttıkça, sürüklenme katsayıları değerleri de artmış ve $g=3.0-4.0 \text{ D}$ için tek silindir sonucuyla eşit $C_d=0.92$ değeri hesaplanmıştır. Buradan da görüldüğü gibi, artık bu değerler de $g=3.0-4.0 \text{ D}$ için öndeki silindirden kaynaklı basınç, sıcaklık değişimleri ve oluşan vorteksler arkadaki silindiri etkilemeyecektir. Arka silindir sürüklenme katsayıları incelendiğinde ise ön silindire göre bir miktar daha düşük; fakat yine de silindirler arası mesafe ile artan değerler elde edilmiştir (C_d -arka=0.77-0.89). Aynı şekilde, arka silindir için de $g=3.0-4.0 \text{ D}$ değerlerinde ön silindir sürüklenme katsayılarına yaklaşmış ve bu iki silindirler arası mesafe de eşit çıkmıştır (C_d -arka=0.89).

Tablo 2. Silindirler Arası Mesafe ile Sürüklenme Katsayılarının Değişimi (ξ =Tek silindir)

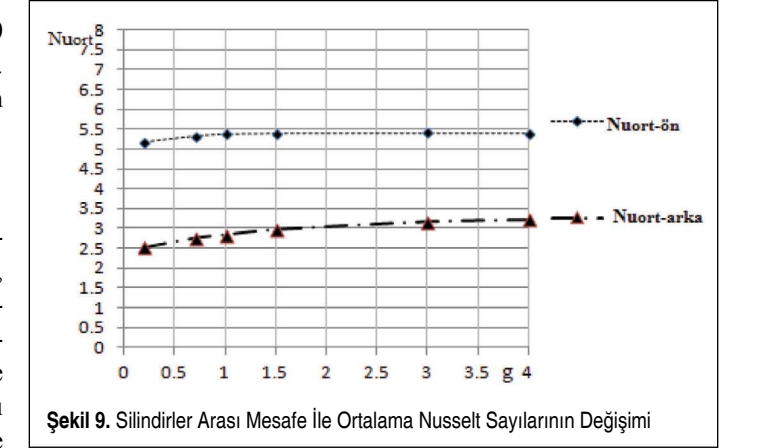
| g | 0.2 D | 0.7 D | 1.0 D | 1.5 D | 3.0 D | 4.0 D | ξ |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| C_d -ön | 0.90 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.92 | 0.92 | ξ C_d 0.92° |
| C_d -arka | 0.77 | 0.84 | 0.86 | 0.88 | 0.89 | 0.89 | |



Şekil 8. Silindirler Arası Mesafe ile Sürüklenme Katsayılarının Değişimi

Tablo 3. Silindirler Arası Mesafe ile Ortalama Nusselt Sayılarının Değişimi (ξ =Tek silindir)

| g | 0.2 D | 0.7 D | 1.0 D | 1.5 D | 3.0 D | 4.0 D | ξ |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|
| Nu_{ort} -ön | 5.16 | 5.33 | 5.38 | 5.40 | 5.41 | 5.41 | ξ Nu_{ort} 5.408° |
| Nu_{ort} -arka | 2.53 | 2.76 | 2.85 | 2.98 | 3.17 | 3.22 | |



Şekil 9. Silindirler Arası Mesafe ile Ortalama Nusselt Sayılarının Değişimi

3.7 Ortalama Nusselt Sayılarının Değişimi

Tablo 3, ortalama Nusselt sayılarının değişimi, silindirler arası mesafenin değişimi ile verilmiştir. Sürüklenme katsayılarında çıkan sonuçlara benzer bir eğilim burada da mevcuttur. Silindirler arası mesafe arttıkça, ön ve arka silindirde ortalama ısı transferi, dolayısıyla ortalama Nusselt sayıları da artmıştır (Nu_{ort} -ön=5.16-5.41, Nu_{ort} -arka=2.53-3.21). Sürüklenme katsayılarında olduğu gibi, burada da ön silindir, silindirler arası mesafe $g=3.0-4.0 \text{ D}$ için eşit ve tek silindir için bulunan değere çok yakın bir sonuç bulunmuştur (Nu_{ort} -ön=5.41). Arka silindir için ortalama Nusselt sayılarının değişimi incelendiğinde ise aynı sürüklenme katsayılarındaki değişim gibi azalan bir eğilim göstermiştir. Fakat yine de silindirler arası mesafe arttıkça, ısı transfer katsayıları artmış, dolayısıyla ortalama Nusselt değerleri de artmıştır (Nu_{ort} -arka=2.53-3.22). Ayrıca Şekil 9'da, ortalama Nusselt sayılarının dağılımı gösterilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde, ön silindirde arka silindire göre daha büyük ortalama Nusselt sayıları elde edilmiştir. Bu değişimi sıcaklık dağılımı grafiğinden de görmek mümkündür. Arkadaki silindir öndeki silindirin arkasında oluşan sıcaklık değişiminden etkilenmiş ve bundan dolayı arkadaki silindirin ön yüzeyinde daha düşük sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Bunun sonucunda da arka silindir de oluşan ortalama Nusselt sayıları, öndeki silindirde oluşan ortalama Nusselt sayılarından neredeyse yarıya düşmüştür. Yine de özellikle $g=3.0-4.0 \text{ D}$ silindirler arası mesafede artmış; ama öndeki silindir ortalama Nusselt sayıları değerlerine ulaşamamıştır (Nu_{ort} -arka=3.17-3.22).

4. SONUÇ

Bu çalışmada, blokaj oranı $\beta=0.6$ ve Reynolds sayısı $Re=40$ sabit değerlerinde silindirler arası mesafe, silindir çapları ile orantılı olarak $g=0.2-4.0$ D aralığında seçilerek art arda dizili kanal içerisindeki silindirler etrafındaki akış ve ısı karakteristikleri nümerik olarak çözdürülmüştür. Hesaplamalarda, iki boyutlu sıkıştırılmaz laminer akış için Navier-Stokes ve enerjinin korunum denklemleri ANSYS-CFX v13.0 programı kullanılarak çözümlenmiştir. Silindirler arası mesafe değiştirilerek ön ve arka silindir yüzeyinde açılma konuma göre statik basınç dağılımları, kayma gerilmesi, ısı transfer katsayıları değerleri elde edilmiştir. Ayrıca ön ve arka silindir için silindirler arası mesafe değişimi ile ayrılma açıları, sürüklenme katsayıları değişimi ve Nuort sayılarının değişimleri irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara genel olarak bakılacak olursa şunları söyleyebiliriz:

- Statik basınç dağılımları özellikle ön silindirde silindirler arası mesafe arttıkça artmıştır. Akışın silindirden ayrıldığı yerden itibaren, statik basınç değerleri de tekrardan pozitif değerlere yükselmiştir. Bernoulli ve süreklilik denklemleri çözümlendirildiğinde hız değerleri süreklilikten yükseldiçe, statik basınç değerleri de git gide azalacaktır. Ayrıca tek silindir sonuçları ile karşılaştırıldığında, aynı trend de bir dağılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Arka silindir de başlangıçta azalan eğilimde, fakat belli bir açılma konumundan sonra ($\theta=135^\circ-145^\circ$ arasında) silindirler arası mesafe arttıkça artmıştır.
- Kayma gerilmesi dağılımları incelendiğinde, silindirler arası mesafeden bağımsız, yalnızca küçük silindirler arası mesafede $g=0.2-0.7$ D de çok az bir sapma göstermiş onun haricinde tüm silindirler arası mesafelerde aynı dağılımı göstermiştir. Arka silindirdeki kayma gerilmesi dağılımı incelendiğinde, başlangıçta, silindirler arası mesafe ile azalan; ancak açılma konuma göre artan bir eğilim göstermiştir; fakat açılma konum $\theta=120^\circ-125^\circ$ de ön silindirden bir miktar daha yüksek ve silindirler arası mesafe ile azalacak doğrultuda değişen kayma gerilmesi değerleri elde edilmiştir. Bu değerden sonra, artık kayma gerilmesi değerleri silindirler arası mesafe arttıkça, artan şekilde değişmiştir. Buradan da silindirler arası mesafe arttıkça arka silindir öndeki silindirden etkilenmediği sonucuna varılabilir.
- Isı transfer katsayılarının dağılımları ön ve arka silindir için incelendiğinde, özellikle ön silindir için neredeyse tüm silindirler arası mesafede ısı transfer katsayılarının dağılımı benzer çıkmıştır. Aynı kayma gerilmesi sonuçlarında olduğu gibi, düşük silindirler arası mesafelerde çok az bir sapma olmuştur. Bunun nedeni de silindirler arasında oluşan düşük hızlı vortekslerin etkisidir. Arka silin-

dir de ise başlangıçta, silindirler arası mesafe arttıkça, ısı transfer katsayıları azalarak; fakat açılma konum arttıkça artmıştır; daha sonra, belli bir açılma konumunda ise kayma gerilmesi dağılımına benzer şekilde $\theta=120^\circ-125^\circ$ de ön silindirden bir miktar daha düşük ve silindirler arası mesafe ile azalmıştır. Ancak bu değerden sonra açılma konum arttıkça, silindirler arası mesafe arttıkça ısı transfer katsayıları de artmıştır.

- Ayrılma açıları değerleri hesaplandığında ön silindir için ayrılma açısı tek silindir ile aynı değer hesaplanmıştır ($\theta_{\text{ön}}=41.37^\circ$). Ayrıca arka silindir için ayrılma açıları incelendiğinde, başlangıçta ön silindirden daha yüksek değerler elde edilmiştir; ancak silindirler arası mesafe arttıkça azalan bir dağılım ve sonunda $g=3.0-4.0$ D değerinde ön silindirdeki değerle aynı sonuç elde edilmiştir ($\theta_{\text{s-arka}}=45^\circ-41.37^\circ$).
- Sürüklenme katsayıları değerlerine bakıldığında, ön silindir için yine tek silindir sonucuna benzer sonuç elde edilmiş, arka silindir de ise ön silindire göre daha düşük; fakat silindirler arası mesafe arttıkça artan değerler elde edilmiştir ($Cd_{\text{ön}}=0.90-0.92$). Arka silindirde silindirler arası mesafe arttıkça $g=3.0-4.0$ D yine ön silindirdeki değere yaklaşmıştır ($Cd_{\text{arka}}=0.89$).
- Ortalama Nusselt sayıları ayrıca hesaplanmıştır ve sürüklenme katsayıları ve ayrılma açılarında olduğu gibi, ön silindir için tek silindir sonucuna çok yakın bir değer elde edilmiştir ($Nu_{\text{ort-ön}}=5.41$). Arka silindir de ise yine silindirler arası mesafe ile artan bir eğilimde; fakat ön silindire göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir ($Nu_{\text{ort-arka}}=2.53-3.22$).
- Genel olarak bu blokaj oranının silindirler arası mesafeye etkisi incelenecek olursa, silindirler arası mesafe $g=3.0-4.0$ D değerlerinde her bir silindir tek silindir gibi davranmaya başlamıştır. Yani öndeki silindirin arkasında oluşan vortekslerden arkadaki silindir etkilenmemiştir.

KAYNAKÇA

1. Cengel, Y. A. 2003. Heat Transfer: A Practical Approach, McGraw-Hill, ISBN no: 0072458933.
2. Zdravkovich, M. M. 1977. "Review of Flow Interference Between Circular Cylinders in Cross Flow," ASME Journal of FLUIDS Engineering, vol. 99, p. 618-633.
3. Chen, J. H., Pritchard, W. G., Tavener, S. J. 1995. "Bifurcation of Flow Past a Cylinder Between Paralel Planes," J. Fluid Mech., vol. 284, p. 23-41.
4. Slaoutti, A., Stansby, P. K. 1992. "Flow Around Two Circular Cylinders by the Random-Vortex Method," Journal of Fluids and Structures, vol. 6, p. 641-670.
5. Li, J., Chambarel, A., Donneaud, M., Martin, R. 1991.

"Numerical Study of Laminar Flow Past One and Two Cylinders," Comput. Fluids, vol. 19, p. 155-170.

6. Mittal, S., Kumar, V., Raghuvashi, A. 1997. "Unsteady Incompressible Flows Past Periodic Arrays of Cylinders in Tandem and Staggered Arrangement," Comput. Mech., vol. 25, p. 1315-1344.
7. Meneghini, J. R., Saltara, F., Siqueira, C. L. R., Ferrari, J. A., Jr. 2001. "Numerical Simulation of Flow Interference Between Two Circular Cylinders in Tandem and Side-by-Side Arrangements," J. Fluids Struct., vol. 15, p. 327-350.
8. Chakraborty, J., Verma, N., Chhabra, R. P. 2004. "Wall Effects in Flow Past a Circular Cylinder in a Plane Channel: A Numerical Study," Chem. Eng. Process. vol. 43, p. 1529-1537.
9. Sharman, B., Lien, F. S., Davidson, L., Norberg, C. 2005. "Numerical Predictions of Low Reynolds Number Flows Over Two Tandem Circular Cylinders," Int. J. Numer Methods Fluids, vol. 47, p. 423-47.
10. Griffith, M. D., Thompson, M. C., Leweke, T., Hourigan, K., Anderson, W. P. 2007. "Wake Behaviour And Instability of Flow Through a Partially Blocked Channel," Journal of Fluid Mechanics, vol. 582, p. 319-340.
11. Zhou, S., Zhou, Z., Yan, S., Yuan, Y., Xi, G. 2014. "Numerical Study on Characteristics of Flow and Thermal Fields of Tandem Cylinders," Taylor and Francis, Heat Transfer Engineering, vol. 35 (11-12), p. 1144-1151.

12. Patil, C. R., Bharti, P. R., Chhabra, R. P. 2008. "Steady Flow of Power Law Fluids over a pair of Cylinders in Tandem Arrangement," Ind. Eng. Chem. Res., vol. 47, p. 1660-1683.
13. Singha, S., Sinhamahapatra, K. P. 2010. "High Resolution Numerical Simulation of Low Reynolds Number Incompressible Flow About Two Cylinders in Tandem," Journal of Fluids Engineering, vol. 132, p. 1-10.
14. Harichandan, A. B., Roy, A. 2010. "Numerical Investigation Of Low Reynolds Number Flow Past Two And Three Circular Cylinders Using Unstructured Grid CFR Scheme," International Journal of Heat And Fluid Flow, vol. 31, p. 154-171.
15. Gao, Y., Wang, X., Tan, D. S., Keat, T. S. 2013. "Particle Image Velocimetry Technique Measurements of the Near Wake Behind a Cylinder-Pair of Unequal Diameters," Fluid Dyn. Res., vol. 45, 045504.
16. Jiang, R., Lin, J., Ku, X. 2014. Numerical Prediction of Flows Past Two Tandem Cylinders of Different Diameters under Unconfined and Confined Flows," The Japan Society of Fluid Mechanics, Fluid Dyn. Res., vol. 46, 025506.
17. Incropera, F. P., De Witt, D. P. 2001. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Wiley, New York, USA.
18. Sahin, M., Owens, R. G. 2004. "A numerical Investigations of Wall Effects up to High Blockage Ratios on Two-Dimensional Flow Past a Confined Circular Cylinder," Physics of Fluids, vol. 16, p. 1305-1320.

<http://omys.mmo.org.tr/muhendismakina/>

TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

Mühendis ve Makina Dergisi

Online Makale Yönetimi



ANA SAYFA (GİRİŞ SAYFASI) |

YAZAR

HAKEM

EDİTÖR

HOŞGELDİNİZ

YAZAR GİRİŞİ

e-Posta :

Şifre :

[Yeni Kullanıcı](#) | [Şifremi Unuttum](#)

MÜHENDİS VE MAKİNA DERGİSİ'ne makale gönderebilmek için sisteme kayıt olmanız gerekmektedir. Kayıt olabilmek için sol kısımda yer alan [Yeni Kullanıcı] bağlantısına tıklayınız.

Daha önce kayıt olduysanız, e-posta adresiniz ve şifrenizi girmeniz yeterlidir.

Şifrenizi hatırlamıyorsanız, şifrenizin e-posta adresinize gönderilebilmesi için [Şifremi Unuttum] bağlantısına tıklayınız.

Sistemle ilgili sorularınızı yayin@mmo.org.tr e-posta adresine gönderebilirsiniz.

makalelerinizi online sistem üzerinden ulaştırabilirsiniz