

Silindir Art İzindeki Daimi Olmayan Girdapların Kılavuz Plakalar Yardımı ile Bastırılması

Fırat EKİNCİ*¹ ORCID 0000-0002-4888-7881

Tahir DURHASAN² ORCID 0000-0001-5212-9170

Hüseyin AKILLI³ ORCID 0000-0002-5342-7046

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Adana

²Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Adana

³Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 24.05.2023

Kabul tarihi: 29.09.2023

Atıf şekli/ How to cite: EKİNCİ, F., DURHASAN, T., AKILLI, H., (2023). Silindir Art İzindeki Daimi Olmayan Girdapların Kılavuz Plakalar Yardımı ile Bastırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(3), 593-601.

Öz

Dairesel kesitli silindirin art izindeki daimi olmayan girdapların kılavuz plakalar kullanılarak bastırılması deneysel olarak araştırılmıştır. Kılavuz plakalar yay şeklinde imal edilmiş ve üç farklı açıklık oranı ($G/D=0,1, 0,3$ ve $0,5$) ve plaka açısı değerleri $60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında incelenmiştir. Silindir art izindeki akış yapıları PIV ölçümü ile Reynolds sayısının 7500 değerinde elde edilmiştir. Akış ölçümünden elde edilen Reynolds kayma gerilmeleri, girdap konturları, hız bileşenleri ve girdap kopması frekans sonuçları yalnız silindir durumu ile kıyaslanarak açıklanmıştır. Düşük plaka açısı değerlerinin girdap kopma frekansları üzerinde daha etkin olduğu, yüksek plaka açısı değerlerinin ise girdap sönümlemede daha etkin olduğu gözlemlenmiştir. Reynolds kayma gerilmelerinin bastırılmasında açıklık oranı $G/D=0,1$ değerinin diğer açıklık oranları ile kıyaslandığında daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pasif akış kontrol, Girdapların bastırılması, PIV, Silindir

Vortex Suppression Downstream of a Cylinder via Guide Vanes

Abstract

It is experimentally investigated that vortex suppression of the circular cylinder in the wake region by guide vanes. Three distinct gap ratios ($G/D=0.1, 0.3$, and 0.5) and plate angle values in the range of $60^\circ-90^\circ$ were examined for the guide vanes, which were fabricated in arc form. Flow structures of the cylinder in the wake region were obtained by PIV measurement at Reynolds number of $Re=7500$. The obtained results such as Reynolds shear stress, velocity components, vortex contours, and vortex shedding frequency are explained in comparison with the bare cylinder. It was observed that low plate angle values are more effective on the vortex shedding frequencies, and higher plate angle values are more effective on vortex

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Fırat EKİNCİ, fekinci@atu.edu.tr

suppression. It was observed that the gap ratio of $G/D=0.1$ is more effective on suppression of Reynolds shear stresses when compared to the other gap ratios.

Keywords: Passive flow control, Suppression of vortex, PIV, Cylinder

1. GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında sürekli akışa maruz kalan yapılar veya küt cisimler etrafında meydana gelen daimi olmayan girdap yapılarının incelenmesi ve bastırılması uzun zamandır araştırmacıların ilgisini çeken bir konudur. Bu yapılara örnek olarak açık deniz platformları, yüksek binalar, bacalar, köprü ayakları, rüzgar türbin kuleleri ve ısı eşanjörleri verilebilir. Daimi olmayan girdapların bastırılması, özellikle açık deniz platformları üzerinde yapısal hasarlara yol açabilecek akış kaynaklı daimi olmayan yüklerin ve girdap kaynaklı titreşimlerin engellenmesi veya azaltılması için önem arz etmektedir. Bu bağlamda, sınır tabakanın veya cismin art izindeki akış yapısının değiştirilmesi için çeşitli akış kontrol yöntemleri uygulanmaktadır.

Dong ve arkadaşları [1] silindire gelen akış bölgesinden akış emmesi ve art izi bölgesinden ise akış üfleme yapma sureti ile Karman girdap caddesini ve girdap kaynaklı titreşimlerin engellenebileceğini göstermişlerdir. Lee ve Feng [2] yapmış oldukları çalışma ile silindirin sınır tabaka ayrılma noktalarına konumlandırılan yapay jet akışı yardımı ile taşıma kuvveti sapınçlarının bastırıldığını ispatlamışlardır. Literatürde pek çok aktif akış kontrol yöntemi [3-6] önerilmesine rağmen aktif akış kontrol yöntemlerinin aksine pasif akış yöntemlerinin harici enerji gerektirmemesi nedeni ile uygulamada pasif akış yöntemlerine olan ilgiyi arttırmaktadır.

Pasif akış kontrol yöntemi olarak art izinde ayırıcı plaka kullanımı en bilenen tekniklerden bir tanesidir. Kwon ve Choi [7] plaka uzunluğu ve Reynolds sayısına bağlı olarak silindir art izindeki girdap kopmalarının tamamen bastırıldığını gözlemlemişlerdir. Hwang ve arkadaşları [8] silindir çapı ile aynı uzunluktaki ayırıcı plakayı silindir art izinde farklı konumlara yerleştirmenin sürüklenme katsayısı ve taşıma kuvveti sapınçları

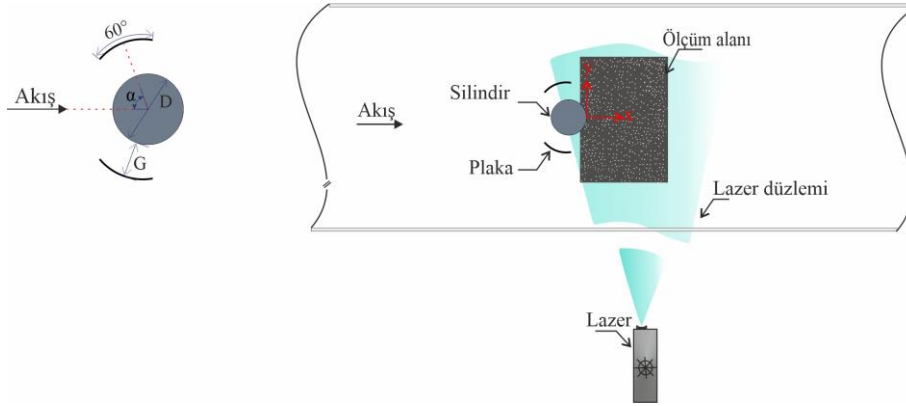
üzerine etkilerini araştırmışlardır. Elde ettikleri bulgular uygun seçilen konum ile silindirin sürüklenme katsayısının ve taşıma kuvveti sapınçlarının azaldığını göstermiştir. Akıllı ve ark. [9] sığ suda gerçekleştirmiş oldukları deneysel çalışmada ayırıcı plakanın art izinde silindir çapının iki katı değerindeki mesafeye kadar konumlandırılması girdap bastırılmasında etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca literatürde yapılan çalışmalar ile farklı geometriye sahip ayırıcı plakaların silindir art izindeki girdapları bastırılması üzerine etkinliği ortaya koyulmuştur [10-12]. Gao ve arkadaşları [13] yapmış oldukları deneysel çalışmada silindir üzerine açılan yarıkların art izindeki girdap etkileşimlerini aşağı akımın uzak bölgelerine ötelediğini ve silindirin sürüklenme katsayısını önemli ölçüde azalttığını göstermişlerdir. Trim ve arkadaşları [14] silindir yüzeyinde helis biçiminde sarmal çıkıntı oluşturulmasının girdap kaynaklı titreşimlerin bastırılmasında etkili olduğunu ispatlamışlardır. Zhou ve arkadaşları [15] silindir üzerine açılan yivlerin silindir sürüklenme katsayısını, art izindeki Reynolds kayma gerilmeleri ve türbülans kinetik enerji değerlerini azalttığını deneysel çalışma ile gözlemlemişlerdir. Fırat ve arkadaşları [16] içi boş silindir üzerine açılan deliklerin art izindeki akış yapısı üzerine etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Elde ettikleri bulgular silindir art izindeki girdap oluşum uzunluğunun arttığını, taşıma kuvveti sapınçlarının ve sürüklenme katsayısının azaldığını göstermiştir. Durhasan ve arkadaşları [17] silindir etrafının delikli silindir ile çevrelenmesinin silindir art izindeki daimi olmayan girdapların bastırılmasında etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Lee ve arkadaşları [18] gelen akış bölgesine konumlandırılan kontrol çubuğunun silindir art izindeki akış yapısı ve sürüklenme katsayısı üzerine etkisini deneysel olarak çalışmışlardır. Elde ettikleri bulgular art izindeki akış yapısının kontrol çubuğu tarafından önemli ölçüde etkilendiği ve silindir sürüklenme katsayısının %29'a kadar azaldığını göstermiştir.

Deneyssel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada mühendislik uygulamalarında yaygınca kullanılan dairesel kesitli silindirin art izindeki daimi olmayan girdapların kılavuz plakalar yardımı ile bastırılması hedeflenmiştir. Kılavuz plaka olarak iki adet çember yayı geometrisi kullanılmıştır. Deneylerde kılavuz plakaların konumlanma açısı, α ve plaka ile silindir arasındaki dik mesafenin silindir çapına oranı (G/D) temel araştırma parametreleri olarak belirlenmiştir. Deneyler Reynolds sayısının $Re=7500$ değerinde parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular kılavuz plakaların silindirin art izindeki girdapları önemli ölçüde bastırıldığını ortaya koymuştur.

2. YÖNTEM

Deneyler Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda kurulu $1000\text{mm}\times 750\text{mm}$ kesit ölçülerine sahip su kanalında gerçekleştirilmiştir. Deneyler süresince kanalın su derinliği 500 ± 0.2 mm'de sabit tutulmuştur. Serbest akım hızı santrifüj pompa ile bağlantılı frekans konvektörü yardımı ile

Reynolds sayısının 7500 değerine karşılık gelen 140 mm/s değerine sabitlenmiştir. Reynolds sayısı $Re=\rho UD/\mu$ formülü ile hesaplanmış olup formülde ρ suyun yoğunluğunu (kg/m^3), U serbest akım hızını (m/s), D silindir çapını (m) ve μ suyun dinamik viskozitesini (kg/m.s) ifade etmektedir. Test modeli olarak dış çapı, $D= 50\pm 0,1$ mm ve et kalınlığı 2 mm değerine sahip dairesel kesitli silindir kullanılmıştır. Kılavuz plakalar dış çap değeri 80 mm ve et kalınlığı 2 mm değerine sahip şeffaf pleksiglas dairesel kesitli silindirden 60° yay ölçüsüne sahip plakaların kesilmesi ile elde edilmiştir. Deneylerde kılavuz plakaların konumlanma açısının, α ve plaka ile silindir arasındaki dik mesafenin, G silindir art izindeki girdap yapıları üzerine etkileri incelenmiştir. Konumlanma açısı, serbest akım hızı doğrultusu ile plaka arasındaki açı değeri olarak belirlenmiş ve konumlanma açısının $\alpha=60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$ ve 90° değerleri test edilmiştir. Plaka ile silindir arasındaki dik mesafe silindir çapı ile boyutsuzlandırılmış (açıklık oranı) ve $G/D=0,1, 0,3$ ve $0,5$ değerleri incelenmiştir. Test modelinin ve deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Kılavuz plakaların ve deney düzeneğinin şematik gösterimi

Deneylerde kılavuz plakaların silindir art izindeki akış karakteristikleri ve türbülans istatistikleri iki-boyutlu, parçacık görüntülemeli hızölçer (PIV) ile elde edilmiştir. PIV tekniği akışkan içerisinde akış ile aynı hızda hareket eden parçacık hareketlerinin takip edilmesi suretiyle ölçüm yapılan bölgenin hız

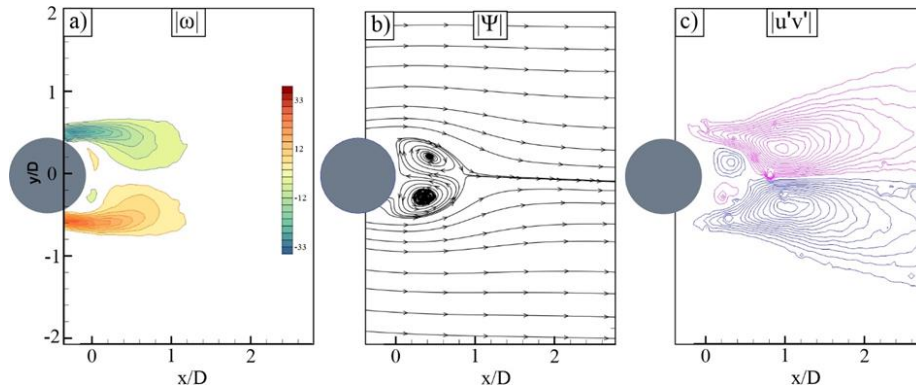
alanının elde edilmesine olanak vermektedir. Bunu gerçekleştirebilmek için ilk olarak kanal içerisinde nominal boyutu $10\ \mu\text{m}$ olan gümüş kaplı, içi boş cam küreler bırakılmıştır. Ölçüm yapılan bölgenin aydınlatılması amacı ile kanal tabanına paralel ve tabandan 25 cm yukarıdan geçen, 2 mm kalınlığa

sahip ışık düzlemi oluşturulmuştur. Işık kaynağı olarak 120 mJ maksimum çıkış gücüne sahip, çift darbeli bir Nd:YAG lazer ünitesi kullanılmıştır. Her bir deney için ölçüm alanı 8-bit CCD kamera aracılığıyla 1000 adet çift fotoğraf ile kayıt altına alınmıştır. Deneylerde örnekleme oranı 10 Hz seçilmiş ve buna bağlı olarak her bir deney için kayıt süresi 100 saniyedir. Her bir çift fotoğraf ticari yazılım (Dantec DynamicStudio) yardımı ile analiz edilerek 7326 adet anlık hız vektörleri içeren hız vektör alanına dönüştürülmüştür. Her bir test için silindirin art izindeki akış yapısı ve türbülans istatistikleri 1000 adet hız vektör alanının analizi ile elde edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kılavuz plakasının silindirin art izindeki akış yapısı üzerindeki etkinliğini ortaya koyabilmek için

deneyler öncelikle yalın silindir (plakasız) için gerçekleştirilmiştir. Şekil 2, yalın silindir için art izi bölgesinde elde edilen zaman ortalamalı girdap ($|\omega|$) konturlarını, akım çizgilerini ($|\Psi|$) ve Reynolds kayma gerilmesi konturlarını ($|u'v'|$) göstermektedir. Elde edilen girdap konturları dağılımlarından silindirin alt ve üst bölgelerinde oluşan kayma tabakalarının aşağı akım doğrultusunda uzayarak birbiri ile etkileşime girdiği gözlemlenmiştir. Bu etkileşimin silindirin aşağı akımında von-Karman girdap caddesine neden olduğu bilinmektedir. Akım çizgileri incelendiğinde iki adet odak noktasının (ters akış bölgesinin) olduğu ve durma noktasının aşağı akım bölgesinin $x/D=1$ değerinde konumlandığı gözlemlenmiştir. Kayma tabakalarının birbiri ile etkileşimi sonucunda Reynolds kayma gerilmelerinin silindirin art izinde kümelenmesi ve maksimum büyüklüğünün 0,156 değerine ulaştığı tespit edilmiştir.



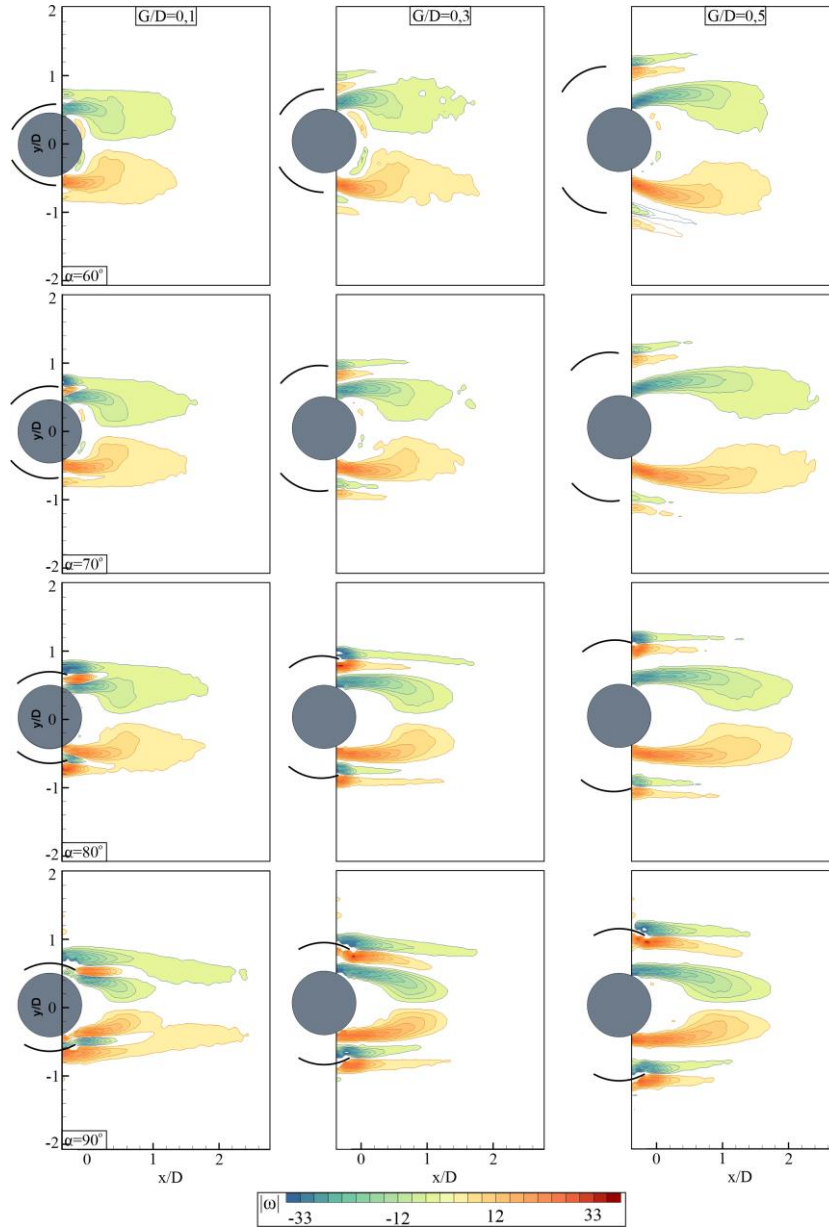
Şekil 2. Yalın silindir art izindeki zaman ortalamalı a) girdap konturları b) akım çizgileri c) Reynolds kayma gerilmesi konturları

Şekil 3'de kılavuz plakaların $G/D=0, 1, 0,3$ ve $0,5$ ve açı değerlerinin $60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığı için elde edilen zaman ortalamalı girdap kontur dağılımları sunulmuştur. Konturların çizdirilmesinde en düşük ve en yüksek değer ± 36 ve artırım değeri 3 seçilmiştir. $G/D=0,1$ durumu için özellikle plaka açısı $\alpha=60^\circ$ ve 70° değerlerinde plakaların gelen akışı önemli ölçüde etkilediği ve silindirin alt ve üst bölgelerinde oluşan kayma tabakalarının uzunluğunun yalın silindire kıyasla kısalttığı gözlemlenmiştir. Artan plaka açısı ile silindir ve kılavuz plakalar arasındaki ters işaretli girdap konturlarının kümelenmesi gözlemlenmiştir. Bu

durum silindirden kaynaklı oluşan kayma tabakalarının yanı sıra kılavuz plakaların da bir çift kayma tabakası oluşumuna neden olduğunu göstermektedir. Özellikle plaka açısının $\alpha=90^\circ$ değerinde plakalarının dış bölgesindeki kayma tabakalarının aşağı akım yönünde uzayarak silindirden kaynaklı kayma tabakalarından bağımsız bir yapı oluşturduğu gözlemlenmiştir. Açıklık oranının $G/D=0,3$ değerlerinde, silindir ile plaka arasındaki mesafenin artmasına bağlı olarak bu bölgeden gerçekleşen momentum transferinin arttığı ve kılavuz plakaların silindirden bağımsız kendi kayma tabakalarını oluşturduğu açıkça

gözlenmektedir. Kılavuz plaklardan kaynaklı oluşan pozitif ve negatif değerlere sahip girdap yapılarının neredeyse simetrik bir yapı oluşturduğu ve artan plaka açısı ile aşağı akım yönünde uzadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kılavuz plakaların artan plaka açısı ile silindir art izindeki akış yapısı

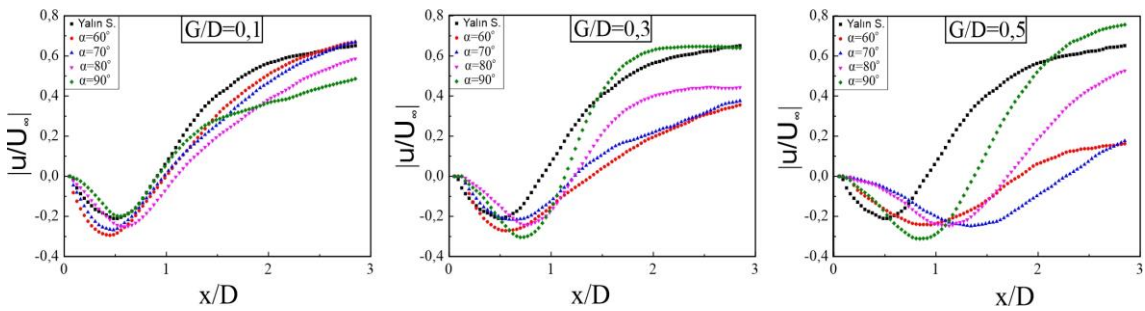
üzerinde daha etkin olan gözlemlenmiştir. Açıklık oranının $G/D=0,5$ ve plaka açısının $\alpha \geq 70^\circ$ değerlerinde kılavuz plakaların silindirden kaynaklı kayma tabakalarının yalnız silindir durumuna kıyasla aşağı akım yönünde uzamasına neden olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3. Farklı kılavuz plaka durumları için silindir art izinde elde edilen zaman ortalamalı girdap kontur dağılımları

Şekil 4’de silindir merkezinden art izi boyunca elde edilen boyutsuz aşağı akım yönündeki hız değişimleri sunulmuştur. Hız değişimlerinde negatif değerler ters akışın oluştuğunu, aşağı akım yönünde tekrar sıfır değerine ulaştığı konum ise girdap oluşum uzunluğunun değerini işaret etmektedir. $G/D=0,1$ ve plaka açısının $\alpha=60^\circ$ ve 70° değerlerinde yalnız silindire kıyasla negatif hız değerlerin daha küçük değerler aldığı artan plaka açısı ile yalnız silindir değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir. $G/D=0,3$ değerinde kılavuz

plakaların silindir art izinde ters akış bölgesinin uzamasına neden olduğu açıkça görülmektedir. Diğer taraftan plaka açısının $\alpha=90^\circ$ değerinde hız değerlerinin $x/D=1$ ’den itibaren önemli ölçüde artması art izinin hızlı bir biçimde toparlandığını göstermektedir. Kılavuz plakaların ters akış bölgesi üzerindeki etkisi $G/D=0,5$ ’de daha belirgin biçimde gözlemlenmiştir. Ters akış bölgesinin uzaması kayma tabakalarının birbiri ile etkileşiminin dolayısıyla periyodik girdap dökülmelerinin silindirin art izinde uzak bölgelere taşındığını göstermektedir.



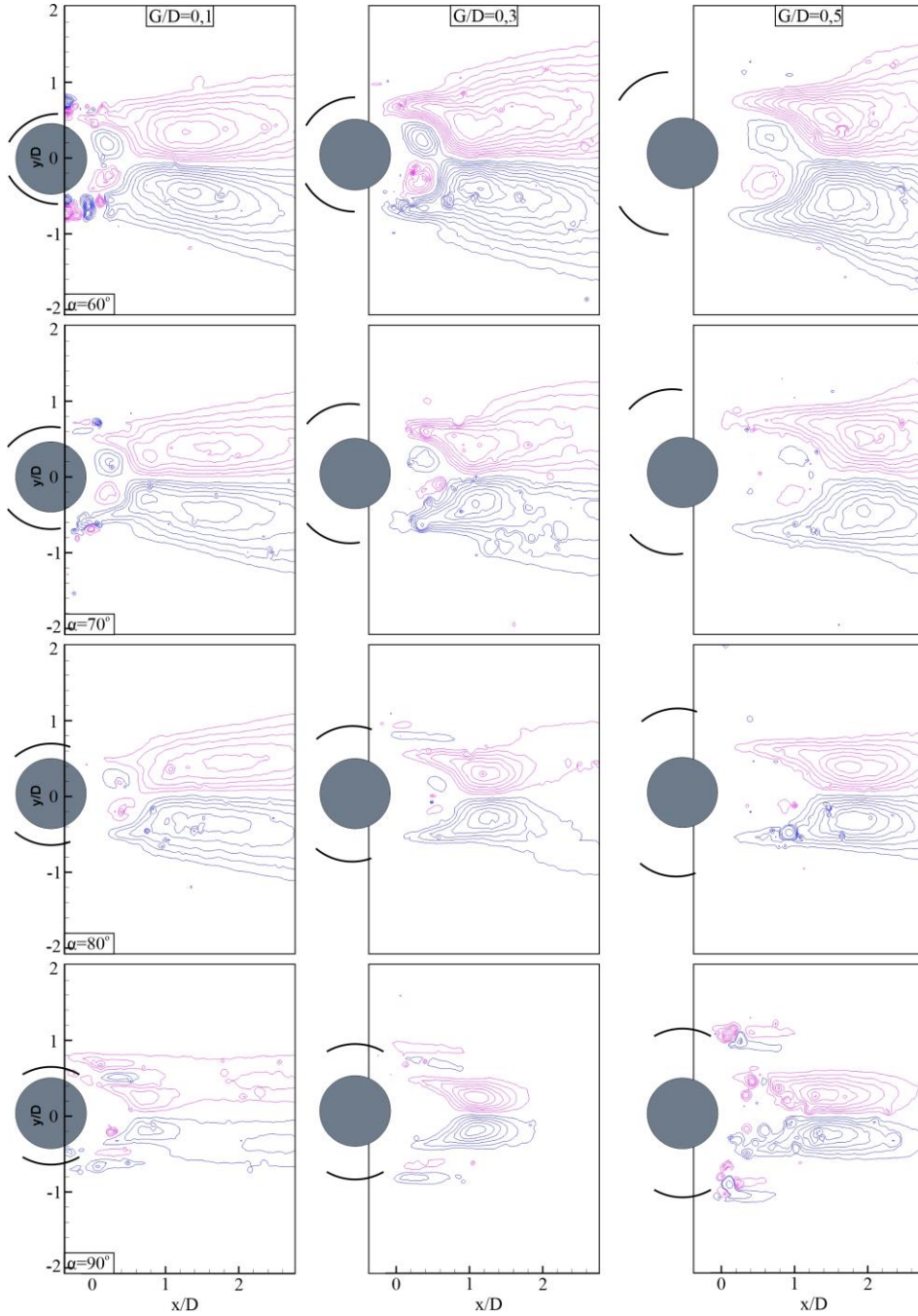
Şekil 4. Farklı kılavuz plaka durumları için art izi boyunca elde edilen boyutsuz aşağı akım yönündeki hız değişimleri

Şekil 5’de farklı açıklık oranı ve plaka açı durumları için silindir art izinde elde edilen Reynolds kayma gerilmesi konturları sunulmuştur. Konturların çizilmesinde en düşük ve en yüksek değer $\pm 0,18$ ve artırım değeri $0,01$ seçilmiştir. Plaka açısının $\alpha=60^\circ$ değerinde Reynolds kayma gerilmelerinin silindirin yakın art izinde kümelendiği en yüksek değerlerinin açıklık oranı $G/D=0,1$, $G/D=0,3$ ve $G/D=0,5$ için sırası ile $0,09$, $0,1$ ve $0,11$ olarak elde edilmiştir. Yalnız silindir durumu ile kıyaslandığında Reynolds kayma gerilmelerinin en yüksek değerinin $\%30$ ’kadar azaldığı gözlemlenmiştir. Artan plaka açısı ile Reynolds kayma gerilmesinin en yüksek değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Plaka açısının $\alpha=90^\circ$ değerinde Reynolds kayma gerilmelerinin en yüksek değerlerinin açıklık oranı $G/D=0,1$, $G/D=0,3$ ve $G/D=0,5$ için sırası ile $0,03$, $0,07$ ve $0,08$ olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler kılavuz plakaların kullanımının silindir art izinde girdap etkileşimlerini bastırmada etkili olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

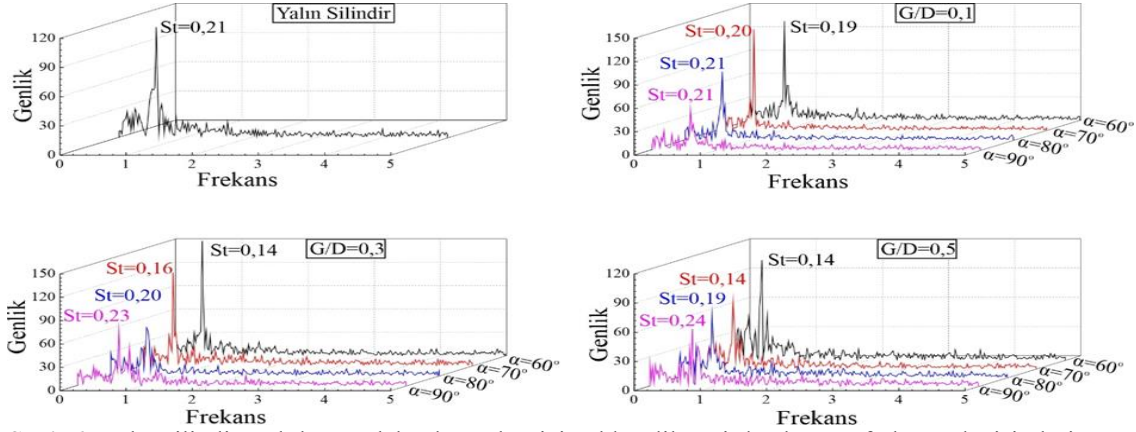
Kılavuz plakaların girdap kopma frekansları üzerine etkisini ortaya çıkarabilmek için yalnız

silindir ve kılavuz plaka durumları için art izi bölgesinde elde edilen girdap kopma frekansları Şekil 6’da sunulmuştur. Girdap kopma frekanslar Strouhal sayısı ile boyutsuz olarak ifade edilmiş ve Strouhal sayısı $St=fD/U$ formülü ile hesaplanmıştır. (f girdap kopma frekansını, D silindir çapını ve U serbest akım hızını ifade etmektedir.) Yalnız silindir için girdap kopma frekansının karşılık geldiği Strouhal sayısı $0,21$ olarak elde edilmiştir ve bu değer literatürdeki çalışmalar ile uyumludur. Bütün açıklık oranlarında plaka açısının $\alpha=60^\circ$ ve 70° değerinde Strouhal sayısının yalnız silindire kıyasla azaldığı gözlemlenmiştir. Artan plaka açısı ile Strouhal sayısının arttığı hatta açıklık oranı $G/D=0,3$ ve $G/D=0,5$ değerlerinde yalnız silindire kıyas ile daha yüksek Strouhal sayısı elde edilmiştir. Ancak elde edilen verilen dikkat ile incelendiğinde plaka açısının $\alpha=80^\circ$ ve 90° değerlerinde Strouhal sayısının artmasına rağmen genlik büyüklüklerinin yalnız silindire kıyasla önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Bu durum yüksek plaka açılarında meydana gelen girdapların daha küçük ölçekli olduğunu ve girdap şiddetlerinin sönümlendiğini ortaya koymaktadır. Bu neden ile

silindir art izinde türbülans şiddetleri azalmaktadır. Reynolds kayma gerilmesi konturları ile Elde edilen bu bulgular Şekil 5’de sunulan uyumludur.



Şekil 5. Farklı kılavuz plaka durumları için elde edilen zaman ortalamalı Reynolds kayma gerilmesi konturları



Şekil 6. Yalın silindir ve kılavuz plaka durumları için elde edilen girdap kopma frekansı değişimleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada mühendislik uygulamalarında yaygınca kullanılan dairesel kesitli silindir art izindeki daimi olmayan girdapların kılavuz plakalar yardımıyla bastırılması deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular kılavuz plakaların silindir art izindeki akış karakteristiğini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Yalın silindir durumu ile kıyaslandığında girdap kopma frekansının %33'e kadar ve Reynolds kayma gerilmesi değerlerinin %80'kadar azaldığı gözlemlenmiştir. Artan plaka açısı ile büyük ölçekli girdapların küçük ölçekli girdaplara dönüştüğü ve şiddetlerinin sönmüldüğü gözlemlenmiştir. Yalın silindir ile kıyaslandığında Reynolds kayma gerilmelerini bastırmada en etkili plaka açısının $\alpha=90^\circ$ olduğu elde edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda kılavuz plakalar kullanımı silindir art izindeki girdapların bastırılmasında başarılı bir pasif akış kontrol yöntemi olduğu ortaya konulmuştur. Elde edilen bu bulguların mühendislik uygulamalarında kullanılan diğer küt cisimler etrafındaki akış kontrolü çalışmaları için referans oluşturacağı beklenmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Dong, S., Triantafyllou, G.S., Karniadakis, G.E., 2008. Elimination of Vortex Streets in Bluff-Body Flows. *Physical Review Letters*, 100(20), 204501.

2. Feng, L.H., Wang, J.J., 2010. Circular Cylinder Vortex-Synchronization Control with a Synthetic Jet Positioned at the Rear Stagnation Point. *Journal of Fluid Mechanics*, 662, 232-259.
3. Corke, T.C., Enloe, C.L., Wilkinson, S.P., 2010. Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuators for Flow Control. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 42(1), 505-529.
4. Chan, A.S., Dewey, P.A., Jameson, A., Liang, C., Smits, A.J., 2011. Vortex Suppression and Drag Reduction in the Wake of Counter-Rotating Cylinders. *Journal of Fluid Mechanics*, 679, 343-382.
5. Lecordier, J.C., Hamma, L., Paranthoen, P., 1991. The Control of Vortex Shedding Behind Heated Circular Cylinders at Low Reynolds Numbers. *Experiments in Fluids*, 10, 224-229.
6. Posdziech, O., Grundmann, R., 2001. Electromagnetic Control of Seawater Flow Around Circular Cylinders. *European Journal of Mechanics - B/Fluids*, 20, 255-274.
7. Kwon, K., Choi, H., 1996. Control of Laminar Vortex Shedding Behind a Circular Cylinder Using Splitter Plates. *Physics of Fluids*, 8(2), 479-486.
8. Hwang, J.Y., Yang, K.S., Sun, S.H., 2003. Reduction of Flow-Induced Forces on a Circular Cylinder Using a Detached Splitter Plate. *Physics of Fluids*, 15(8), 2433-2436.
9. Akıllı, H., Şahin B., Filiz Tümen, N., 2005. Suppression of Vortex Shedding of Circular Cylinder in Shallow Water by a Splitter Plate.

- Flow Measurement and Instrumentation, 16(4), 211-219.
10. Zhu, H., Liu, W., 2020. Flow Control and Vibration Response of a Circular Cylinder Attached with a Wavy Plate. *Ocean Engineering*, 212.
 11. Özkan, G.M., Fırat, E., Akıllı, H., 2017. Passive Flow Control in the Near Wake of a Circular Cylinder Using Attached Permeable and Inclined Short Plates. *Ocean Engineering*, 134, 35-49.
 12. Şahin, S., Durhasan, T., Pınar, E., Akıllı, H., 2021. Experimental Study on Passive Flow Control of Circular Cylinder via Perforated Splitter Plate. *Wind and Structures*, 32(6), 613-621.
 13. Gao, D.L., Chen, W.L., Li, H., Hu, H., 2017. Flow Around a Circular Cylinder with Slit. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 82, 287-301.
 14. Trim, A.D., Braaten, H., Lie, H., Tognarelli, M.A., 2005. Experimental Investigation of Vortex-Induced Vibration of Long Marine Risers. *Journal of Fluids and Structures*, 21(3), 335-361.
 15. Zhou, B., Wang, X., Guo, W., Zheng, J., Tan, S.K., 2015. Experimental Measurements of the Drag Force and the Near-Wake Flow Patterns of a Longitudinally Grooved Cylinder. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 145, 30-41.
 16. Fırat, E., Özkan, G.M., Akıllı, H., 2017. PIV Measurements in the Near Wakes of Hollow Cylinders with Holes. *Experiments in Fluids*, 58(5).
 17. Durhasan, T., Pınar, E., Özkan, G.M., Akıllı, H., Şahin, B., 2019. The Effect of Shroud on Vortex Shedding Mechanism of Cylinder. *Applied Ocean Research*, 84, 51-61.
 18. Lee, S.J., Lee, S.I., Park, C.W., 2004. Reducing the Drag on a Circular Cylinder by Upstream Installation of a Small Control Rod. *Fluid Dynamics Research*, 34(4), 233-250.

