

Dönen Bir Silindir Etrafındaki Akış Yapısının PIV Yöntemi ile Deneysel Olarak İncelenmesi

Cemre POLAT^{1*}, Doğan Burak SAYDAM², Mustafa SÖYLER³, Coşkun ÖZALP⁴

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Düziçi Meslek Yüksekokulu, Raylı Sistemler Makine Teknolojisi Programı, 80600, Osmaniye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, 80000, Osmaniye

³Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye

⁴Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0002-7001-1042>

²<https://orcid.org/0000-0001-8453-2917>

³<https://orcid.org/0000-0003-4767-5825>

⁴<https://orcid.org/0000-0003-2249-7268>

*Sorumlu yazar: cemrepolat@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 12.07.2021

Kabul tarihi: 01.10.2021

Online Yayınlanma: 15.12.2021

Anahtar Kelimeler:

Aktif akış kontrolü

Silindir

Rotasyon

PIV

ÖZET

Bu çalışmada 25 mm çaplı düz yüzeyle bir silindire saat yönü ve saatin tersi yönünde farklı dönme oranları ($\alpha=0.5, 1, 1.5, 2, 4$) uygulandığında silindir etrafında oluşan akış yapısı deneysel olarak incelenmiştir. Öncelikle silindirin sabit olduğu durum için deneyler gerçekleştirilmiş, daha sonra da silindire farklı hızlarda ve yönlerde silindirin merkezinden dönme hareketi verilerek silindir etrafındaki akış yapısının değişimi incelenmiştir. Düşük dönme oranlarının (α) akış kontrolünde yetersiz olduğu, dönme oranının artması ile akış kontrol etkinliğinin arttığı görülmüştür. Sonuç olarak, düşük dönüş hızlarında silindirin dönme oranının olmadığı duruma benzer girdaplar oluşmaya başlamış ve Karman girdap caddesi dönme yönüne doğru sapmıştır. Fakat dönmenin etkisiyle oluşan girdapların küçülmesi Karman girdap caddesi boyutunu dönmeyen silindire göre daralmıştır. Yüksek dönme oranlarında sınır tabaka ayrılmasının ötelendiği, ölü akış bölgesinin silindire doğru daraldığı ve akış yönünde oluşan Karman girdap caddesinin oluşmadığı gözlenmiştir. Yüksek dönme oranları akış yönünde oluşan girdap kopmalarının tamamıyla ortadan kaybolmasına ve akışın dönme yönüne doğru bozulmadan ilerlemesine neden olmuştur.

Experimental Investigation of Flow Around a Rotating Cylinder with PIV Technique

Research Article

Article History:

Received: 12.07.2021

Accepted: 01.10.2021

Published online: 15.12.2021

Keywords:

Active flow control

Cylinder

Rotation

PIV

ABSTRACT

In this study, the flow structure around a cylinder with active flow control has been experimentally investigated. A cylinder which has 25 mm diameter smooth surface at different rotational ratios ($\alpha=0.5, 1, 1.5, 2, 4$) both clockwise and counterclockwise directions, was investigated. First, experiments were made for its non-rotational state, then the cylinder was rotated from the center at different ratios clockwise and counterclockwise, changes in the flow structure were obtained. It has been observed that lower rotational ratios (α) are insufficient in flow control, but flow control efficiency increases with increasing rotational ratios. As a result, vortices began to form at low rotational speeds and the Karman vortex street was bent in the direction of rotation. However, the shrinkage of the vortices formed by the effect of the rotation narrowed the Karman vortex street compared to the non-rotating cylinder. It was observed that the boundary layer separation was shifted at high rotational ratios, the thickness of wake region reduces, and the Karman vortex Street formed in the flow direction did not occur. High rotational ratios caused the vortex separations in the flow direction to disappear completely, and the flow diverge towards the direction of rotation without distortion.

To Cite: Polat C., Saydam DB., Söyler M., Özalp C. Dönen Bir Silindir Etrafındaki Akış Yapısının PIV Yöntemi ile Deneysel Olarak İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2021; 4(3): 431-440.

Giriş

Akış kontrolü, akış-girdap kaynaklı titreşimlerin ve akış ayrılmasının istenmeyen etkilerini ortadan kaldırmak için hayati bir öneme sahiptir (Akbiyık ve ark., 2007). 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 artırabilir. Bu yönde üretilecek verimli tasarımlar neticesinde tasarruf sağlanabilir. Bunun yanı sıra daha ekonomik, çevreye uyumlu ve rekabetçi endüstriyel üretim süreci elde edilebilir (Wang ve ark., 2012).

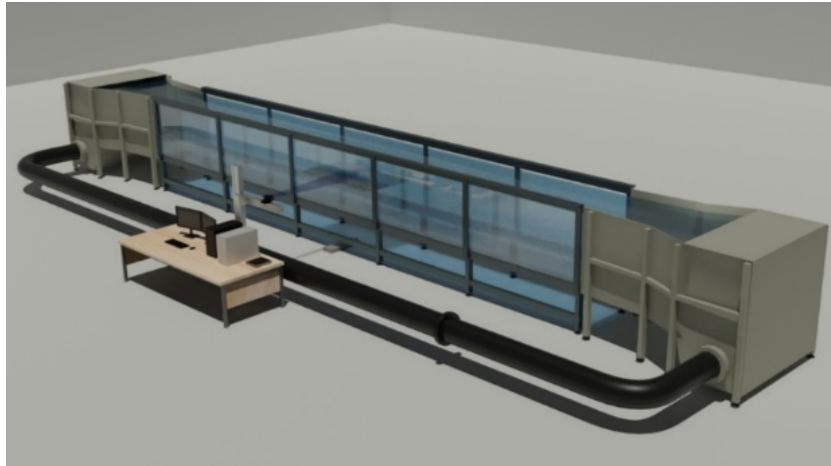
Akış kontrol yöntemleri, mühendisler, bilim adamları ve ürün geliştiriciler için iç ve dış akışlarda istenen hedeflere ulaşmak özelinde güçlü bir araçtır (Firat ve ark., 2017) . Akış kontrol yöntemleri aktif kontrol ve pasif kontrol olarak iki ana grupta incelenmektedir (Xu ve ark., 2019). Bu çalışmada saat ve saatin tersi yönünde dönme hareketi verilerek aktif akış kontrol yöntemi uygulanan bir silindirin etrafındaki akış yapısı deneysel olarak incelenmiştir. Literatürde aktif ve pasif kontrol yöntemlerinin ayrı ayrı ya da birlikte kullanıldığı farklı çalışmalar görmek mümkündür. (Pralits ve ark., 2010) dönen bir silindirin etrafındaki iki boyutlu akışı $Re = 100$ 'de incelemiştirlerdir. Araştırmacılar, silindirin dönme oranının arttıkça Von Karman girdap caddesinin art izi akış bölgesindeki kayma tabasının zayıflamasından dolayı kaybaldığını göstermişlerdir. (Hassanzadeh ve ark., 2020) tarafından yapılan çalışmada , araştırmacılar, kare bir kavite içinde dönen silindirin ısı transferine etkilerini incelemiştirlerdir. (Mittal ve Kumar, 2003), düzgün bir akışa yerleştirilen dönen bir silindir etrafındaki akışı sayısal olarak incelemiştirlerdir. (Kumar ve ark., 2013), kendi ekseninde sinüzoidal döner salımlar gerçekleştiren bir silindirin arka bölgesindeki akış yapısını deneysel olarak incelenmiştirlerdir. (Schulmeister ve ark.,2017) akış yapısını kontrol etmek için kullanılan küçük ters dönen silindirleri incelemiştirlerdir. Deneyleri bir su kanalında PIV yöntemi ile $Re=47000$ sayısında gerçekleştirmişlerdir. (Wang ve ark., 2018) $Re=10000$ 'de türbülanslı bir duvar sınır tabakası yakınında dönen dairesel bir silindir etrafındaki akışı deneysel olarak incelemiştirlerdir. Yapılan çalışma sonucunda artan dönme oranının girdap bölgesi uzunluğunu neredeyse orantılı olarak azalttığını görmüşlerdir.

Literatür taramasında da görüldüğü gibi aktif akış kontrol tekniğinin uygulandığı farklı birçok çalışma görmek mümkündür. Bu çalışmada ise $D=25\text{mm}$ çaplı bir silindire $Re=1000$ sayısında farklı dönme oranları ($\alpha=0.5, 1, 1.5, 2, 4$) uygulanması ile silindir etrafındaki akış yapısı Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm Tekniği (PIV) ile detaylı bir şekilde incelenmiştir.

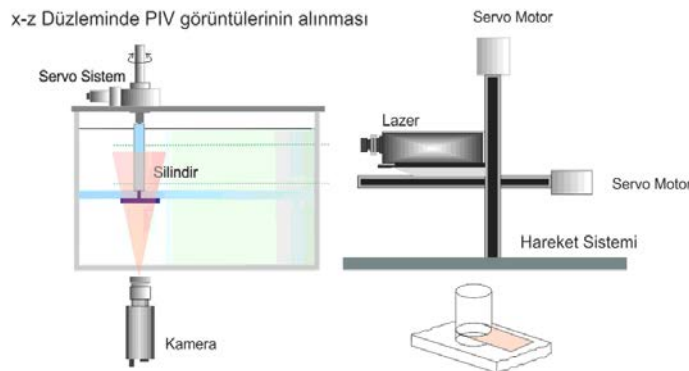
Materyal ve Metot

Çalışmada $D=25\text{mm}$ çaplı düz bir silindir etrafındaki akış yapısı incelenmiştir. Deneyler yapılırken, suyun akış hızı ve kinematik viskozitesi göz önünde bulundurularak $Re=U_{\infty} \cdot D/\nu$ eşitliği ile Reynolds sayısı 1000 olarak hesaplanmıştır. Şekil 1'de deneylerin gerçekleştirildiği, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İleri Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda bulunan, devir daim yapan açık su kanalına ait görsel yer almaktadır. Su kanalı, iki adet devir kontrolüne sahip aksenal pompa, iki adet toplama havuzu, bir adet bal peteği desenli ve ızgaralı akış düzenleyici bileşenler ve pleksiglas görüntü alanı malzemelerinden oluşmaktadır. Su tüneli 15 m uzunluğa, 1,8 m yüksekliğe ve 1 m genişliğe sahiptir. Akış, test odasına girmeden önce, bir akış çökme deposundan, bir bal peteğinden ve 2:1 oranında bir daralmadan geçmekte ve akışın tam gelişmiş

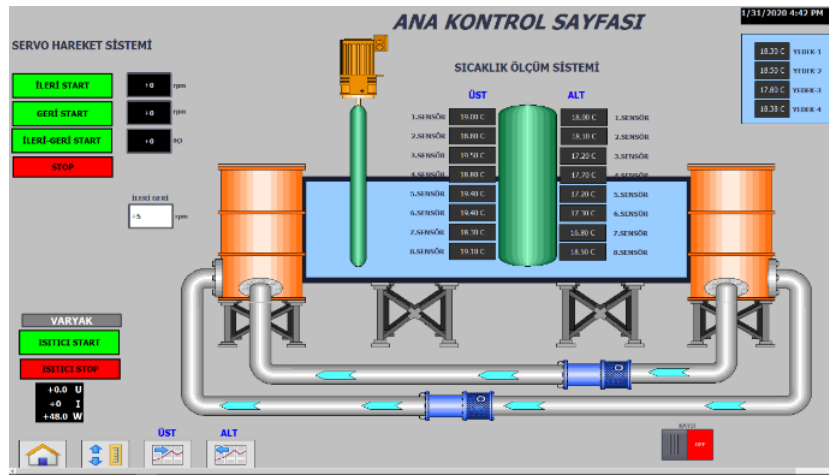
olması sağlanmaktadır. Şekil 2’de x-z düzleminde PIV görüntülerinin alınmasının şematik gösterimi yer almaktadır. PIV sistemi her biri 145 mJ güce sahip 2 adet Nd:YAG lazer kaynağı, yüksek çözünürlüklü dijital kamera ve bunların senkronize çalışmasını sağlayan bir USB senkronizasyon arabiriminden oluşmaktadır. Dijital kamera 1600x1186 piksel çözünürlüğünde olup, saniyede 15 adet görüntü çekmektedir. Ayrıca kamera, 50 mm’lik f:1/8 diyafram açıklığına sahip objektifle donatılmıştır. Her bir PIV deneyi için akış topolojisinin elde edilmesinde, saniyede 15 kare olmak üzere toplam 1000 görüntü alınmıştır. Akış içerisine 20 mikron çapında küresel polyamid kaplı parçacıklar serpiştirilmiştir. Ölçüm alanı yaklaşık 2 mm kalınlığındaki lazer huzmesiyle aydınlatılmıştır. PIV sistemi için belirsizlik analizi literatürde yer alan çalışmalardan alınmıştır ve %2 olarak tespit edilmiştir (Alnak ve ark, 2019). Çalışmada dönüş özelliklerine dair tüm kontrollerin yapıldığı SCADA sistemine ait görsel Şekil 3’te yer almaktadır. Şekilde, deneylerin yapıldığı su kanalının ve kontrol silindirin bağlandığı hareket sisteminin kontrol edildiği ana kontrol sayfası yer almaktadır. SCADA sisteminde silindirin hareket mekanizması anlık olarak izlenebilmekte ve istenildiği zaman dönme oranı değiştirilebilmektedir. Akış kontrolü için boyutsuz bir parametre olan dönme oranı hesaplanırken $\alpha = \omega D / 2U_{\infty}$ hesabı uygulanmıştır. Burada “ ω ”, silindirin açışal hızını, D silindir çapını, U_{∞} ise serbest akış hızını ifade etmektedir.



Şekil 1. Kapalı devre açık su kanalının şematik gösterimi (Özalp ve ark., 2020)



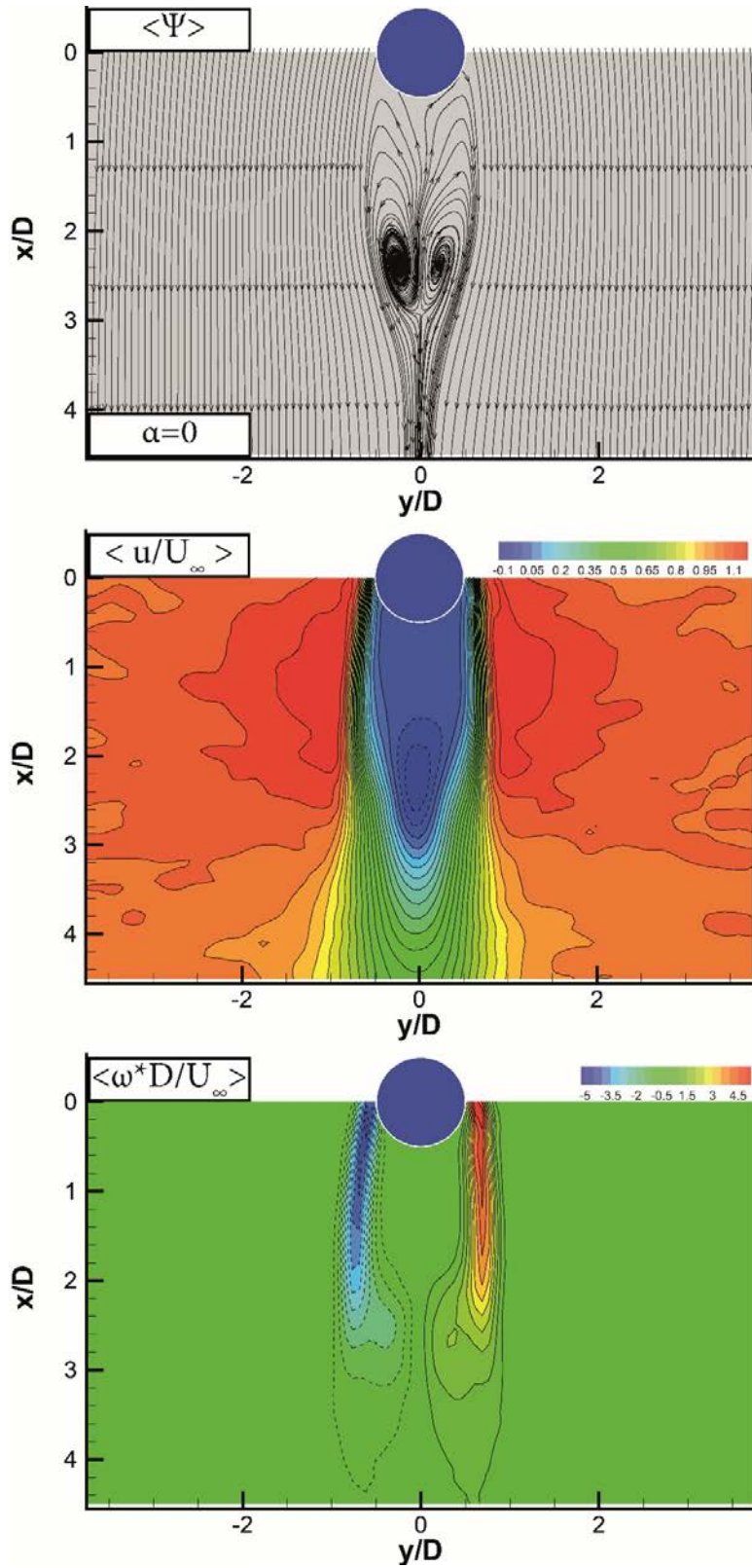
Şekil 2. x-z düzleminde PIV görüntüsünün elde edilmesi



Şekil 3. SCADA sistemi üzerinden kontrollerinin gerçekleştirildiği anlık ekran görüntüsü

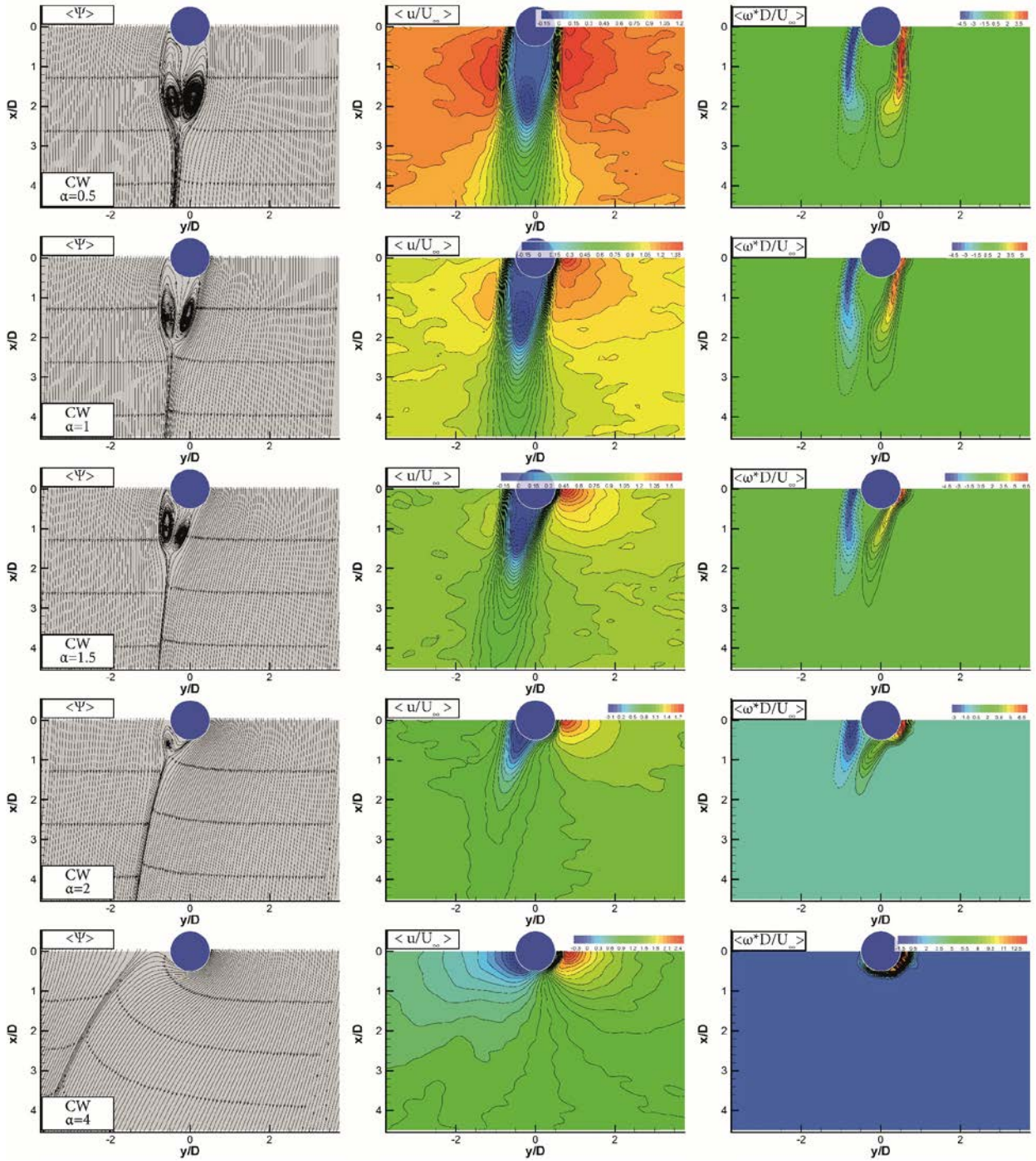
Bulgular ve Tartışma

Çalışmada $D=25\text{mm}$ çaplı düz bir silindirin önce dönme hareketi vermeden, sonra da saat yönü ve saatin tersi yönünde farklı dönme oranlarında ($\alpha=0.5, 1, 1.5, 2, 4$) akış karakteristiği incelenmiştir. Akış hızına bağlı olarak $Re=1000$ sayısında PIV deneyleri yapılmış ve silindirler için akış yönü boyutsuz hız bileşeninin ortalama değeri ($\langle u/U_\infty \rangle$), vortisite ortalama boyutsuz değeri ($\langle \omega^*D/U_\infty \rangle$), akım çizgileri ($\langle \Psi \rangle$), incelenmiştir. Vortisite ortalama boyutsuz değeri, oluşan girdap frekansının silindir çapı ile çarpılıp, serbest akış hızına bölünmesi ile elde edilmiştir (Dai ve ark., 2016; Jalalisendi ve ark., 2016). Bu boyutsuzlaştırma işlemleri, deney sonuçlarının analizini ve diğer literatür sonuçları ile kıyaslamasını kolaylaştırmak için yapılmıştır. Şekil 4'te sabit silindirin ortalama akım çizgisi, boyutsuz ortalama akış yönü hız konturu ve ortalama boyutsuz vortisite konturu verilmiştir. Sabit silindirin akış yapısı incelendiğinde silindirin alt bölgesinde $x/D=2,92$ konumunda bir ayrılma bölgesi olduğu ve bunun da bir ölü alan meydana getirdiği görülmektedir. Ayrılmış akış bölgesinde iki adet birbirinin simetrisi şeklinde odak noktaları $x/D=2,38$ olan girdap noktaları oluşmaktadır. Akış yönü boyutsuz hız grafiği incelendiğinde, silindirin yanlarında kalan kayma tabakası üzerinde maksimum hızın serbest akış hızınının 1.2 katına çıktığı, silindirin hemen arkasındaki ölü alanda durağan hale geldiği, girdap odak noktalarının arasında ise ters yöne döndüğü görülmüştür. Vortisite boyutsuz konturu incelendiğinde silindirin arka akış bölgesinde birbirine simetrik olan fakat zıt yöne dönen iki adet vortisite bölgesi gözlemlenmiştir. Bütün konturlarda düz çizgiler pozitif değerleri, kesikli çizgiler ise negatif değerleri göstermektedir.



Şekil 4. Sabit silindire ait akım çizgileri, ortalama boyutsuz akış yönü hız bileşeni ve vortisite konturları

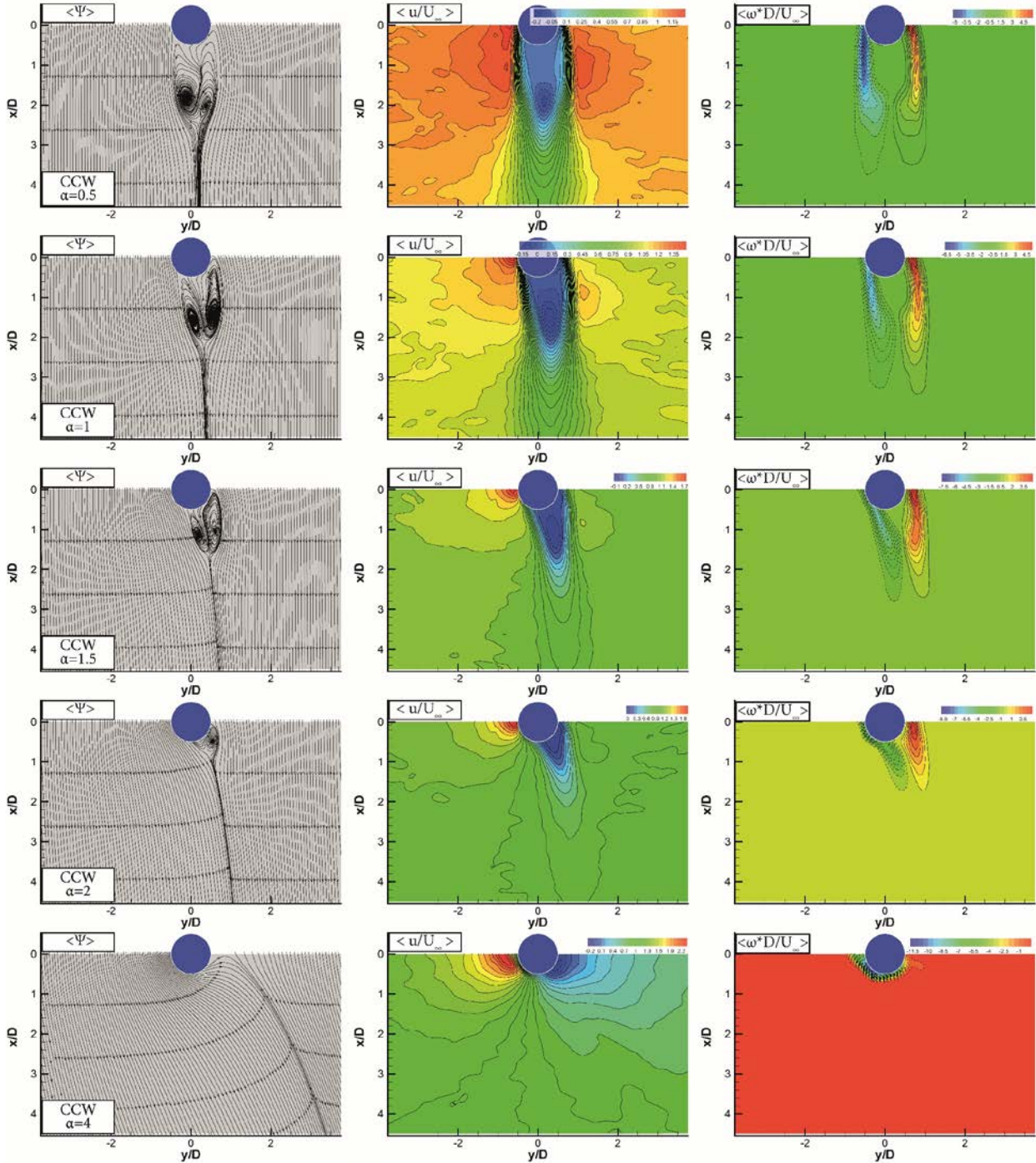
Şekil 5 ve 6'da sırasıyla silindirlerin saat yönü (CW), saatin tersi yönü (CCW) ve farklı dönme oranlarının ($\alpha=0.5, 1, 1.5, 2, 4$) ortalama akım çizgilerine, ortalama boyutsuz akış yönü hız bileşeni ve vortisite konturlarına etkileri görülmektedir. Silindir dönme oranı arttıkça oluşan girdaplar küçülerek dönme yönüne doğru yönelmektedir.



Şekil 5. Saat yönünde dönmekte olan silindire ait akım çizgileri, ortalama boyutsuz akış yönü hız bileşeni ve vortisite konturları

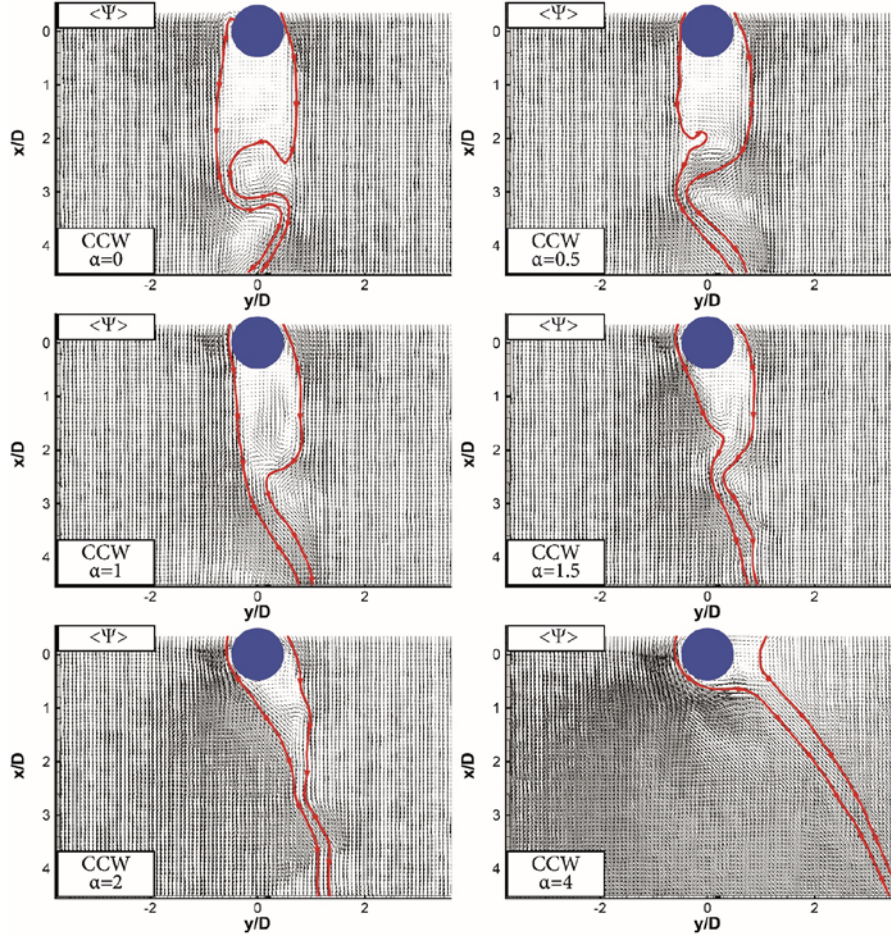
Akış yönü hız bileşeni incelendiğinde silindirin etrafındaki bölgede artan dönme oranları ile serbest akış hızının 2.4 katına kadar bir artış gözlemlenmiştir. Artan dönme oranı, silindirin arka akış bölgesindeki ölü akış alanını daraltmış, $\alpha=4$ 'te ise tamamen silindirin arka bölgesinden yan bölgesine taşımıştır. Silindir alt akış bölgesinde oluşan vortisite yapılarının simetrikliğinin bozulduğu görülmektedir (Şekil 5-6). Dönme oranı arttıkça, silindir art izindeki vortisite kollarının uzunluğu azalırken, dönme yönüne eşdeğer vortisite değerinin dönme oranı ile hemen hemen lineer olarak artmakta olduğu, zıt yöndeki vortisite değerinin ise aynı şekilde azaldığı görülmüştür. Yapılan deneyler incelendiğinde düşük dönme oranlarında ($\alpha=0.5, 1, 1.5$) akışın kontrol edildiği fakat bu oranların akış kontrollünde yetersiz kaldığı görülmüştür. Yüksek dönme

oranlarında ($\alpha=2, 4$) akışın kontrol edildiği ve $\alpha=4$ 'te akış ayrılmasının tamamen ortadan kaldırıldığı görülmektedir.



Şekil 6. Saat yönü tersine dönmekte olan silindire ait akım çizgileri, ortalama boyutsuz akış yönü hız bileşeni ve vortisite konturları

Şekil 7’de dönmekte olan silindire ait hız vektörleri ve art izi bölgesinde seçilmiş anlık akım çizgileri verilmiştir. Sabit silindire kıyaslandığında, dönme oranı ($\alpha=0.5, 1, 1.5$)’ta silindirin arka bölgesinde oluşmakta olan Von Karman girdap caddesinin etkisi azalmıştır. $\alpha=2$ ’de anlık görüntülerde görülmemesine rağmen ortalama akış incelendiğinde (Şekil 6) gözlemlenen bu durum $\alpha=4$ ’te tamamen yok olmuştur.



Şekil 7. Saat yönü tersine dönmekte olan silindire ait anlık vektörler ve akım çizgileri

Sonuç

Bu çalışmada, aktif akış kontrol tekniği uygulanan 25mm çaplı bir silindirin sabit, saat yönü ve saatin tersi yönünde farklı dönme oranlarında ($\alpha=0.5, 1, 1.5, 2, 4$) döndürülmesi ile silindir çevresindeki akış karakteristiği $Re=1000$ 'de PIV yöntemi ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda;

- Artan dönme oranının akış bölgesindeki ortalama hız bileşenini, serbest akış hızının 2.4 katına kadar arttırdığı ve girdap yapılarındaki simetrikliği değiştirerek dönme yönüne doğru saptırdığı,
- Dönen silindirde girdap oluşum yapısının sabit silindire göre farklılıklar gösterdiği,
- Dönme hareketi uygulandığında sabit silindire göre dönme yönü ile aynı yöndeki vortisite bileşeninin zıt yöndeki vortisite bileşenine göre arttığı,
- Silindirin döndürülmesi ile silindir çevresindeki akış yapısının kontrol edildiği fakat düşük dönme oranlarının yüksek dönme oranlarına göre akış kontrolünde etkinliğinin daha az olduğu,
- Dönme oranının artmasının akış kontrolünde daha etkin olduğu,
- Dönme oranının artmasının, silindirin arka akış bölgesindeki ölü akış alanını daralttığı ve $\alpha=4$ 'te ise ölü akış bölgesini tamamen silindirin arka bölgesinden yan bölgesine (dönüş yönünde) taşıdığı görülmüştür.

Yapılan çalışma sonucunda aktif akış kontrol yöntemi ile silindir çevresindeki akış yapısı incelenmiş ve dönme oranının artmasının silindir arkasındaki ölü akış bölgesini daralttığı ve akış karakteristiklerini dönme

yönünde değiştirdiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların özellikle döndürülen (CW, CCW) silindir özelinde yapılacak olan deneysel veya sayısal çalışmalara referans olması hedeflenmektedir.

Teřekkür

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından sırasıyla OKÜBAP-2019-PT3-010 ve TÜBİTAK-218M357 olarak adlandırılan projeler kapsamında desteklenmiştir. OKÜBAP ve TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarların makaleye olan katkıları eşitir.

Kaynakça

- Akbiyık H., Akansu Y., Yavuz H. Active control of flow around a circular cylinder by using intermittent DBD plasma actuators, *Flow Measurement and Instrumentation* 2007; 53: 215-220.
- Alnak DE., Varol Y., Firat M., Oztop HF., Ozalp C. Experimental and numerical investigation of impinged water jet effects on heated cylinders for convective heat transfer. *International Journal of Thermal Sciences* 2019; 135: 493-508.
- Dai C., Jia L., Zhang J., Shu Z., Mi J. On the flow structure of an inclined jet in crossflow at low velocity ratios. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 2016; 58: 11-18
- Firat E., Ozkan GM., Akilli H. PIV measurements in the near wakes of hollow cylinders with holes. *Experiments in Fluids* 2017; 58(5): 39.
- Hassanzadeh R., Rahimi R., Khosravipour A., Mostafavi S., Pekel H. Analysis of natural convection in a square cavity in the presence of a rotating cylinder with a specific number of roughness components, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2020; 116: 104708.
- Jalalisendi M, Panciroli R, Cha Y, Porfiri M. A particle image velocimetry study of the flow physics generated by a thin lamina oscillating in a viscous fluid. *Journal of Applied Physics* 2016; 115(5): 054901.
- Kumar S., Lopez C., Probst O., Francisco G., Askari D., Yang Y. Flow past a rotationally oscillating cylinder, *Journal of Fluid Mechanics* 2013; 735: 307.
- Mittal S., Kumar B. Flow past a rotating cylinder. *Journal of Fluid Mechanics* 2003; 476: 303-334.
- Ozalp C, Polat C, Saydam D, Söyler M. Dye Injection flow visualization around a rotating circular cylinder. *European Mechanical Science* 2020; 4(4): 185-189 .
- Pralits JO., Brandt L., Giannetti F. Instability and sensitivity of the flow around a rotating circular cylinder, *Journal of Fluid Mechanics* 2010; 650: 513.

- Schulmeister JC., Dahl JM., Weymouth GD., Triantafyllou MS. Flow control with rotating cylinders, *Journal of Fluid Mechanics* 2017; 825: 743-763.
- Wang L., Luo Z., Xia Z., Liu B., Deng XR review of actuators for high speed active flow control. *Science China Technological Sciences* 2012; 55(8): 2225-2240.
- Wang XK., Li YL., Yuan SQ., Tan SK. Flow past a near-wall retrograde rotating cylinder at varying rotation and gap ratios. *Ocean Engineering* 2018; 156: 240-251.
- Xu C., Mao Y., Hu Z. Control of cylinder wake flow and noise through a downstream porous treatment, *Aerospace Science and Technology* 2019; 88: 233-243.