

Kavisli Delikli Plaka ile Girdap Kaynaklı Türbülanslı Akışın Kontrolü

Göktürk Memduh ÖZKAN^{*1}, Tahir DURHASAN², Engin PINAR³

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

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

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

Geliş tarihi: 17.11.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

Öz

Bu çalışmada, dairesel bir silindir art izinde oluşan girdap kaynaklı türbülanslı akışın, farklı ve kısmi geçirgenlik oranlarına sahip kavisli delikli plaka (kontrol elemanı) ile kontrolü incelenmiştir. Ele alınan parametre aralıklarında PIV ile hız ölçümleri yapılmış, akış alanında Reynolds kayma gerilmeleri hesaplanmış ve kontrol durumu ile yalın silindir durumunun kontur dağılımları nicel olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ele alınan Reynolds sayılarının akış kontrolüne benzer oranda etki ettiği anlaşılmıştır. Bununla birlikte, incelenen tüm geçirgenlik oranları ve yay açıları için silindir art izinde oluşan kayma gerilmelerinin azaldığı görülmüştür. $120^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ yay açılarında ve $\beta=0,5$ ve $\beta =0,6$ geçirgenlik oranlarında, yalın silindire kıyasla maksimum Reynolds kayma gerilmelerinin %96'ya kadar düştüğü ve silindir art izindeki daimi olmayan akışın tamamen kontrol edildiği ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akış kontrol, Daimi olmayan akış, Girdap kopması, Küt cisim, PIV

Control of Vortex-Induced Turbulent Flow by Curved Perforated Plate

Abstract

In this study, the control of the vortex-induced turbulent flow in the wake of a circular cylinder was investigated using curved perforated plate (control element) having various and partial porosities. PIV measurements were performed for the considered parameter ranges, Reynolds shear stresses were calculated in the flow field and the contour distributions of the bare cylinder and controlled cases were compared quantitatively. According to the results, it was understood that the Reynolds numbers had identical effects on the flow control. However, it was observed that the shear stresses in the cylinder wake decreased for all examined cases of porosity and arc angle. It has been revealed that the maximum value of Reynolds shear stress is decreased by 96% compared with the bare cylinder and the unsteady flow in the cylinder wake is completely controlled at $120^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ for $\beta = 0.5$ and $\beta = 0.6$.

Keywords: Flow control, Unsteady flow, Vortex shedding, Bluff body, PIV

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Göktürk Memduh ÖZKAN, gmozkan@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Aerodinamik özelliklerin (yüksek taşıma ve sürüklenme katsayısı) ikinci planda tutulduğu birçok mühendislik uygulamasında incelenen yapılar, “küt cisim” olarak adlandırılabilir. Bir küt cisim akışa maruz bırakıldığında, yüzeyinin büyük bir kısmında akışın ayrıldığı görülür ve cismin art izinde ayrılmış akış bölgesi meydana gelir. Yüzeyden ayrılan akış, cismin akışa dik yöndeki alt ve üst noktalarından girdap oluşumuna sebebiyet verir. Oluşan bu girdaplar ayrılmış akış bölgesinde etkileşime girerek periyodik “girdap kopması” hareketine, devamında cismin aşağı akım yönünde giderek genişleyen Karman Girdap Caddesi’ni oluşturur. Bu akış yapısı, faydalı olabileceği gibi (ısı dönüştürücülerinde transfer katsayısını artırmak) yıkıcı etkiye sahip yüksek genlikli titreşimlere de sebep olmaktadır. Girdap kopma frekansı, cismin doğal frekansı ile çakıştığında rezonans devreye girerek yapıda tamiri mümkün olmayan hasarlar oluşturmaktadır. Deniz ve hava araçları, şiddetli rüzgâra maruz kalan bina, baca ve köprü gibi yapılar, deniz platformlarında petrolün yukarıya taşındığı borular, nükleer yakıt çubukları ve daha birçok uygulama, girdap kaynaklı titreşime (GKT) maruz kalan ve tasarımları esnasında yüksek mukavemet ve darbe dayanımına sahip olarak üretilmeleri planlanan yapılara örnek olarak verilebilirler.

Yine girdap kopmasına bağlı olarak cisim arkasında oluşan Karman Girdap Caddesi cisme kıyasla çok daha geniş bir alana yayıldığı için, özellikle yakıt taşıyan gemilerden olası bir sızıntı durumunda açık denizlerde kirliliğin çok daha büyük boyutlara ulaşmasına neden olarak, çevresel anlamda da problem teşkil etmektedir. Son olarak girdap kopma frekansına bağlı oluşan akustik gürültü, elektrik iletim hatları, köprü halatları ve endüstrideki bazı uygulamalarda önüne geçilmesi gereken sorunların başında gelmektedir.

Yukarıda sayılan sebeplerden ötürü GKT’lerin kontrolü son yıllarda mühendislerin üzerine çalıştıkları önemli bir konu haline gelmiştir. Tasarım esnasında seçilecek malzemenin sönümü artıracak veya rezonansı önleyecek özelliklere sahip olması her ne kadar çözüm sunsa da, daha

düşük maliyetli olan girdapların durumuna yönelik kontrol tekniklerinin gelişimi oldukça hız kazanmaktadır. Bu yöntemler aktif ve pasif kontrol olmak üzere ikiye ayrılmakta; aktif yöntemlerde sisteme dışarıdan enerji verilirken, pasif kontrol yöntemlerinde ise daha çok geometrik şekil değişikliklerine gidilmektedir. Şimdiye kadar literatürde yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, pasif kontrol tekniklerinin ilk yatırım maliyeti ve pratik uygulama olabilmesi bakımından daha avantajlı olduğu anlaşılmaktadır.

Küt cisimler etrafındaki akışı kontrol etmek için sınır tabaka ayrılmasının kontrolünü amaçlayan çok çeşitli yöntemler bulunmaktadır. İlgili çalışmalarda çoğunlukla, analizi nispeten kolay olan dairesel silindir ele alınmış ve uygulanan yöntem yalnız silindir durumu ile kıyaslanmıştır. Akış kontrol yöntemlerine örnek olarak; emme-üfleme, yüzey pürüzlülüğü, ayırıcı plaka vb. verilebilir [1-8].

Dairesel silindirden kopan girdapların bastırılması üzerine çeşitli teknikler uygulayan Zdravkovich [9], uygulanan metodun etkinliğini belirleyen temel faktörün girdap oluşum uzunluğu olduğunu belirtmiştir. Çalışmasında, cisim üzerine yerleştirilecek çıkıntılarının art izindeki akış yapısını ayırma çizgilerini ve/veya yüzey akışı yönünü değiştirmek suretiyle etkili bir şekilde kontrol elde edileceğini vurgulamıştır. Akıllı ve arkadaşları [10], silindir arkasına çeşitli uzunluklarda plakalar yerleştirerek oluşan girdapları kontrol etmeyi başarmışlardır. Ozkan ve arkadaşları [11], dairesel bir silindir (iç silindir) etrafındaki akışı kontrol etmek amacıyla dört farklı geçirgenlik ($\beta=0,4, 0,5, 0,6, 0,7$) ve beş farklı çap ($D/d = 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, 2,0$) oranına sahip ağ yapılı silindir (dış silindir) kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre geçirgen dış silindir, iç silindirden oluşan organize girdap kopma hareketini bastırılmış, ayrıca türbülans çalkantılarını kayda değer ölçüde azaltmıştır. İncelenen parametrelerin ($\beta, D/d$) akış kontrolü için önemli iki parametre olduğu, bununla birlikte $1,4 \leq D/d \leq 2,0$ ve $0,4 \leq \beta \leq 0,6$ aralıklarının uygulamada tavsiye edilebilir olduğu belirtilmiştir. Geçirgen plakaların ayırıcı olarak kullanılması ile girdap etkileşiminin kontrolü, farklı plaka açıları için Ozkan ve arkadaşları [12] tarafından

incelenmiş olup, $0,4 \leq \beta \leq 0,6$ geçirgenlik ve $\theta \geq 30^\circ$ plaka açısı aralıkları için GKT'lerin önemli derecede sönümlendiği rapor edilmiştir. Plakalarda geçirgenliğin sağlanmasının bir başka yolu de üzerine delikler açmaktır [13].

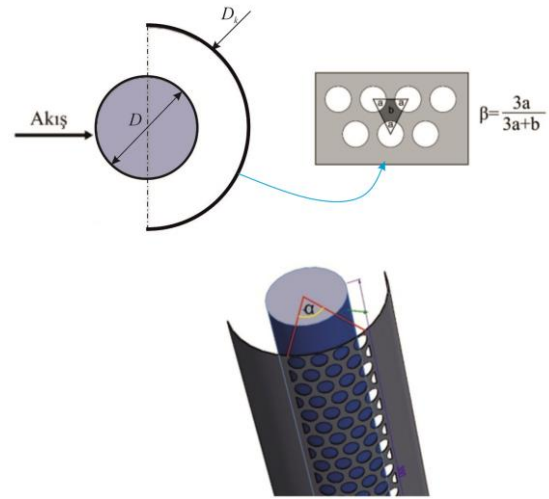
Bu çalışmada, akış içerisine yerleştirilen dairesel kesitli silindirin, art izinde oluşan daimi olmayan girdap yapılarını kontrol etmesi amaçlanmaktadır. Bu çerçevede, etkinliği önceki çalışmalarda belirtilmiş olan [14-16] delikli plakalar kullanılacaktır. Benzer çalışmalardan farklı olarak, 180° kavis verilmiş yarım daire şeklinde plakalar (kontrol elemanı) kullanılacak ve yüzey boyunca geçirgen bölge yay açısı belirlenmek suretiyle sınırlandırılacaktır. Tamamı geçirgen elemanlar kullanılan önceki çalışmalara kıyasla, kısmi geçirgenliğe sahip bu yöntemin, devamlı surette daimi olmayan kuvvetlere maruz kalacak kontrol elemanının rijitliğini artıracığı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında, silindir çapına bağlı Reynolds sayısı (U_∞ serbest akış hızı, D silindir çapı ve ν kinematik viskozite olmak üzere $Re_D = U_\infty D / \nu$), kontrol elemanının geçirgen bölgesi (yay açısı- α) ve kontrol elemanı geçirgenlik oranının (β) akış kontrolü üzerine etkisi incelenecektir (Şekil 1). Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda kurulu olan $(8\text{ m}) \times (1\text{ m}) \times (0,75\text{ m})$ boyutlarındaki kapalı devre açık su kanalında Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme (PIV) tekniği ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler çerçevesinde deneyler dört farklı geçirgenlik oranı ($\beta = 0,3, 0,5, 0,6$ ve $0,7$), altı farklı yay açıları ($\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ ve 180°) ve iki farklı Reynolds sayısı için gerçekleştirilmiştir. Serbest akış hızı, frekans kontrollü elektrik pompası ile sağlanmış olup, $Re_D = 5000$ ve $Re_D = 10000$ sayılarına karşılık gelecek şekilde, $U_\infty = 0,1\text{ m/s}$ ve $U_\infty = 0,2\text{ m/s}$ olarak ayarlanmıştır. Şekil 1'de geçirgenlik oranının tanımı, silindir-kontrol elemanı konfigürasyonu ve yay açısı gösterilmiştir. İç

silindirin çapı $D = 50\text{ mm}$, kontrol elemanının çapı $D_k = 100\text{ mm}$ ve su yüksekliği $h_w = 420\text{ mm}$ olarak belirlenmiştir. Levhalar paslanmaz çelik malzemeden olup, istenilen geçirgenlik oranına karşılık gelmek üzere lazer kesim yöntemi ile delikler açılmıştır. Daha sonra delikli levhalar 180° bükülerek kavisli hale getirilmiş ve silindir ile eş merkezli bir biçimde art izine yerleştirilmiştir (Şekil 1). Kısmi geçirgenliği sağlamak amacı ile, kontrol elemanına yay açısı tanımlanarak (α) geçirgenlik sınırlandırılmış ve akış kontrolüne etkisi incelenmiştir.

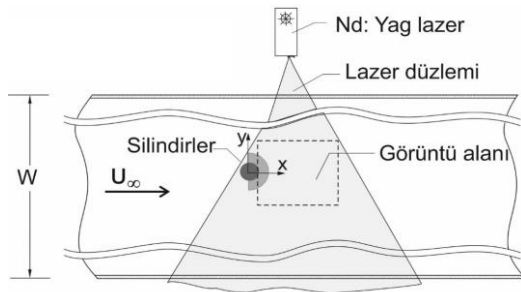


Şekil 1. Silindir çapı (D), kontrol elemanı çapı (D_k), geçirgenlik oranı β , ve yay açısının (α) şematik gösterimi

2.2. Metot

PIV ölçümleri için kurulan deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 2'de sunulmuştur. Ölçümler için, 120 mJ çift darbeli ve 15 Hz frekansta çalışabilen bir lazer ünitesi (Nd: YAG Lazer) kullanılmıştır. Optik elemanlar yardımıyla 2 mm kalınlığında lazer huzmesi oluşturulmuş ve akışa paralel düzlemde ayarlanmıştır. Ele alınan her iki Reynolds sayısı için de, Adrian ve Westerweel'e göre [17] iki lazer darbesi arasındaki zaman $\Delta t = 1750\text{ ms}$ olarak belirlenmiştir. Lazer düzleminde parlayan, ortalama $10\text{ }\mu\text{m}$ çapındaki gümüş kaplı parçacıklar (1600×1200) px çözünürlüklü 8-bit CCD kamera ile görüntü altına

alınmıştır. Kamera üzerinde Nikon AF Micro 60 f/2,8D lens kullanılmıştır. Dantec- Dynamic Studio programı ile korelasyon hesaplanmış, (32×32) px sorgulama alanı ve %50 üst üste bindirme kullanılarak toplam 7326 (99×74) adet hız vektörü, yaklaşık olarak $(150 \text{ mm} \times 200 \text{ mm})$ fiziksel alan içerisinde elde edilmiştir. Bu işlem kapsamında her bir görüntü çiftinin korelasyonu esnasında elde edilen hatalı vektör oranı, %2'nin altında kalmıştır. PIV ölçümlerinin belirsizliği, serbest akış hızına göre %2'nin altında hesaplanmıştır [18].

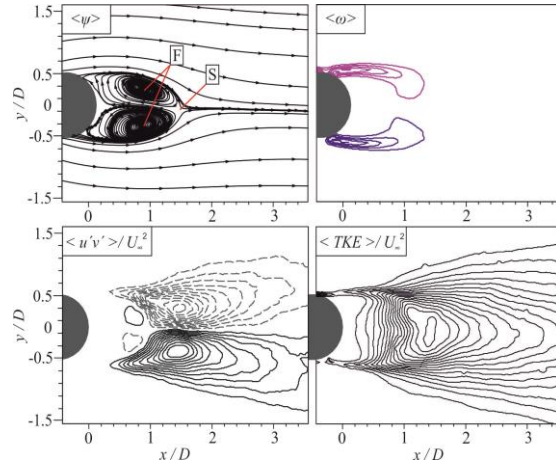


Şekil 2. PIV ölçümü için kurulan deney düzeneğinin üstten şematik görünümü

3. BULGULAR

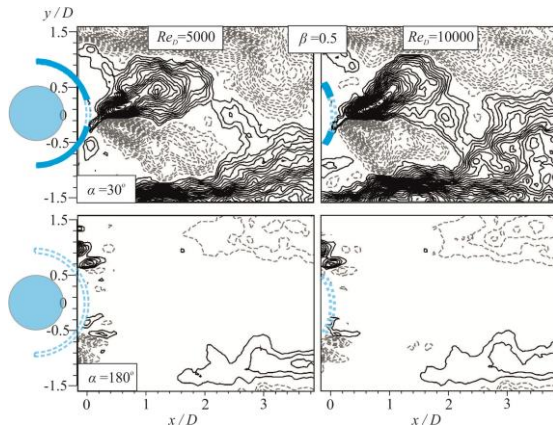
Yapılan çalışma bir akış kontrol çalışması olduğundan, sonuçların irdelenmesi için en iyi yöntem, kontrol elemanı sonuçları ile kontrolün olmadığı yalın silindir sonuçlarını kıyaslamak olacaktır. Bu nedenle, yalın silindire ait sonuçlar Şekil 3'de gösterilmiştir. Burada yalın silindire ait zaman-ortalama akım çizgileri, hemen yanında girdap konturları, ikinci satırda Reynolds kayma gerilmeleri ve türbülans kinetik enerji dağılımları gösterilmektedir. Her bir kontur gösterimi için minimum ve maksimum değerleri şekil alt başlığında belirtilmiştir. Zaman-ortalama akım çizgilerine, $\langle \psi \rangle$ bakıldığında silindirin ölü akış bölgesinde bir çift odak noktası (F), odak noktalarının hemen yanında ise durma noktası (S) oluşumu gözlenmektedir. Odak noktaları aşağıya doğru yönünde $x/D=0,8$ 'de oluşurken, hızın sıfır olduğu durma noktası ise $x/D=1,4$ 'de belirmektedir. Elde edilen sonuçlar ilgili literatür sonuçlarıyla uyumludur [12,19]. Girdap

konturlarına bakıldığında ise silindirin üst ve alt kayma tabakası boyunca oluşan pozitif (mavi) ve negatif (kırmızı) girdapların yaklaşık $x/D= 1,2$ 'de birbirlerine yaklaştığı görülmektedir ki bu durum, girdap çiftinin art izindeki etkileşiminin bir göstergesidir. Pozitif ve negatif girdap yapılarının birbirleriyle etkileşime girmesi, girdap kopması ile sonuçlanmakta ve Karman Girdap Caddesi'ni oluşturmaktadır. Bu etkileşim ve girdap kopmasının silindir art izindeki fiziksel sonucu ise türbülans çalkantılarının artışıdır. Hem yatay hem de dikey ekseninde oluşan çalkantılar, Şekil 3'ün ikinci satırında boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri, $\langle u'v' \rangle / U_\infty^2$ ve türbülans kinetik enerji, $\langle TKE \rangle / U_\infty^2$ dağılımları ile gösterilmiştir. Reynolds kayma gerilmelerine bakıldığında silindirin hemen ardında küçük ölçekli bir çift pozitif (düz çizgi) ve negatif (kesikli çizgi) gerilme kümesi görülmekle birlikte, çalkantıların artmasının beklediği daha uzak aşağıya doğru bölgelerde çok daha büyük ölçekte pozitif ve negatif kümelenmelere dönüşmektedir. Bu bölge, $x/D= 1,2$ olarak ölçülen durma, girdap etkileşim noktaları ile aynı noktadır ve burada hem Reynolds kayma gerilmesi, hem de türbülans kinetik enerji maksimum değerine ulaşmaktadır.



Şekil 3. Yalın silindir için elde edilen zaman-ortalama akım çizgileri, $\langle \psi \rangle$ ve girdap, $|\langle \omega \rangle|_{min} = |\langle \omega \rangle| = 2,1$, Reynolds Kayma Gerilmesi, $|\langle u'v' \rangle / U_\infty^2| = 0,01$, türbülans kinetik enerji, $|\langle TKE \rangle / U_\infty^2|_{min} = |\langle TKE \rangle| = 0,02$ dağılımları

Ele alınan önceki çalışmalara [12-13] göre, bilinen en etkin geçirgenlik oranı $\beta=0,5$ için Reynolds sayısının akış kontrol üzerine etkisi, $Re_D=5000$ ve $Re_D=10000$ değerlerinde incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Şekil 4’de sunulan Reynolds kayma gerilmesi dağılımlarından anlaşılacağı üzere, $\alpha=180^\circ$ ’lik yay açısı her iki Reynolds sayısında da gerilmeleri dramatik ölçüde azaltmıştır. Bununla birlikte $\alpha=30^\circ$ durumu ise kısmi geçirgenliğe sahip olmasına rağmen yalın silindirden (Şekil 3) bile daha şiddetli çalkantılar oluşturmaktadır. Şekil 4’de sunulan sonuçlara göre, kontrol elemanının akış üzerine etkisi, ele alınan Reynolds sayılarından bağımsızdır. Bu nedenle, çalışmaya yalnızca $Re_D=5000$ değeri ile devam edilmiştir.



Şekil 4. $\beta=0,5$ geçirgenliğinde, $\alpha=30^\circ$ ve $\alpha=180^\circ$ için $Re_D=5000$ ve $Re_D=10000$ değerlerinde boyutsuz Reynolds kayma gerilmeleri dağılımı, $|\langle u'v' \rangle|/U_\infty^2 = 0,01$

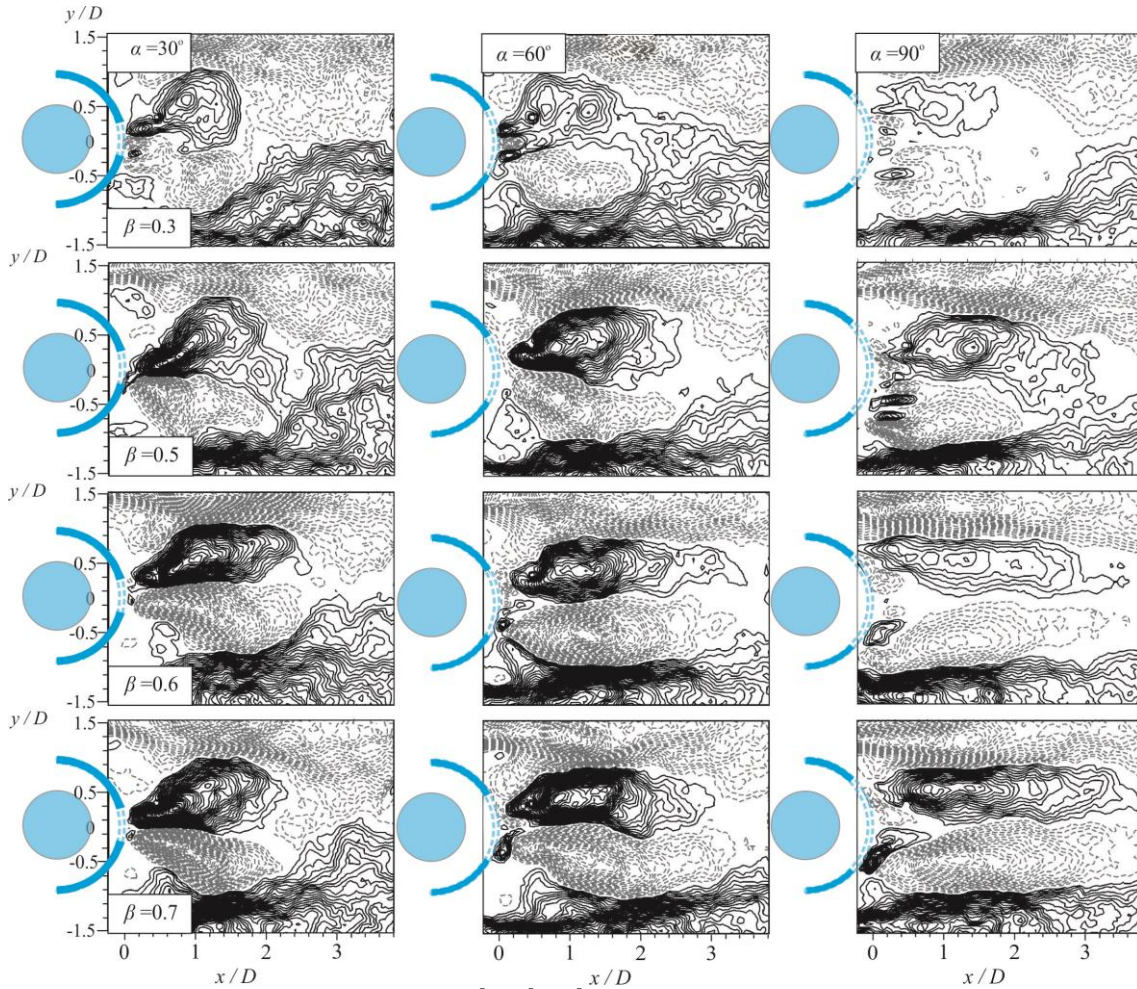
Delikli silindirin kontrol elemanı olarak kullanıldığı durumlar Şekil 5’de yine Reynolds kayma gerilmeleri göz önüne alınarak incelenmiştir. Burada tüm geçirgenlik oranları ve $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ yay açıları için elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Kontur dağılımlarına bakmadan önce Şekil 5’in alt başlığında dikkat çeken husus, kontur artırım miktarlarıdır ($|\langle u'v' \rangle|/U_\infty^2$). Kontrol elemanı kullanılan durumlar için sunulan Reynolds kayma gerilmeleri dağılımına ait artırım yalın silindir (Şekil 3) için kullanılan artırım miktarının beşte biri mertebesindedir. Bu nedenle hemen hemen her

durum için yalın silindir durumuna göre daha düşük çalkantılı bir akış yapısı oluştuğu söylenebilir. Tüm sonuçlara bakıldığında ilk göze çarpan nokta, silindir ve kontrol elemanı için ayrı ayrı art izi oluşumudur. Kontrol elemanına ait üst ve alt kayma tabakalarının görüntü alanı dışına taşarak oldukça geniş bir alana yayıldığı, silindire ait art izinin ise dış silindirden etkilenmek suretiyle, yay açısına da bağlı olarak, daha dar bir alanda çalkantı dağılımı gösterdiği anlaşılmaktadır. Deneysel, dış silindir akış yapısını da bir bütün olarak görmeye imkân sağlayacak bir görüntü alanı ile de gerçekleştirilebilirdi, ancak bu durumda çalışmanın temel amacı olan silindir art izinde yeterli çözünürlük sağlanamaz ve kontrol etkisi irdelenemezdi. Bu nedenle çalışmalar silindir art izini daha net ve doğru ölçebilmek adına kontrol elemanı art izi göz ardı edilerek gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5’de $\beta=0,3$ geçirgenlik oranına ait sonuçlara bakıldığında yay açısı arttıkça daha düşük şiddetli gerilmeler gözlemlenmektedir. Bunun sebebi, kontrol elemanının hemen ardında oluşan gerilme kümelerinden de anlaşılacağı üzere; artan yay açısıyla art izine jet akışı şeklinde giren momentum miktarının daha fazla olmasıdır. Burada oluşan jet akış, literatürde bilinen üfleme yoluyla akış kontrol tekniğine benzer şekilde etki etmektedir. $\alpha=90^\circ$ için silindirden kopan girdapların dış silindir ardında sönmüldüğü görülmektedir, ancak $\beta=0,3$ ’e ait akış yapısına tüm açılar için bakıldığında, bu geçirgenlik oranının yalın bir silindir gibi davrandığı da anlaşılmaktadır. Bu nedenle $\beta=0,3$ geçirgenliğini akış kontrolünde kullanmak, kontrolden ziyade başlı başına yeni bir art izi ve girdap caddesi oluşturmak anlamına gelebilir. $\beta=0,3$ ’e ait diğer yay açılarının da yorumlanmasından sonra bu durum daha da netleşecektir. $\alpha=30^\circ$ kavi açısı için silindir ardından kontrol elemanı ardına geçen momentum miktarı kısıtlı olduğundan, bu yay açısı değerinde hemen hemen tüm geçirgenlik oranları için benzer sonuçlar elde edilmiştir. $\alpha=60^\circ$ için ise, silindir ardında oluşan çalkantılı akış yapısının kontrol elemanı ardında da görüldüğü, ancak açıklık oranı (β) arttıkça pozitif ve negatif gerilmelerin kapladığı alanın değiştiği anlaşılmaktadır. Geçirgenlik oranı arttıkça $\alpha=60^\circ$

için art izinin uzadığı sonucuna varılabilir. Benzer durum $\alpha = 90^\circ$ için de geçerli olmakla birlikte, gerilme yoğunluğunun bir miktar azaldığı söylenebilir. Gerilmeler açı arttıkça bir miktar azalsa da, hatta yalın silindire göre oldukça düşmüş olsa da, elde edilen çalkantılı akış yapısına göre girdap oluşumu, girdap kopması ve takiben

Karman Girdap Caddesi'nin kontrol edildiğini söylemek mümkün değildir. Bu sonuçlara göre yay açısının $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ aralığında kullanılan akış kontrol yönteminin tüm geçirgenlik oranları için Reynolds kayma gerilmelerini azalttığı, ancak girdaplı akış yapısının oluşumunu engelleyemediği sonucuna varılmıştır.



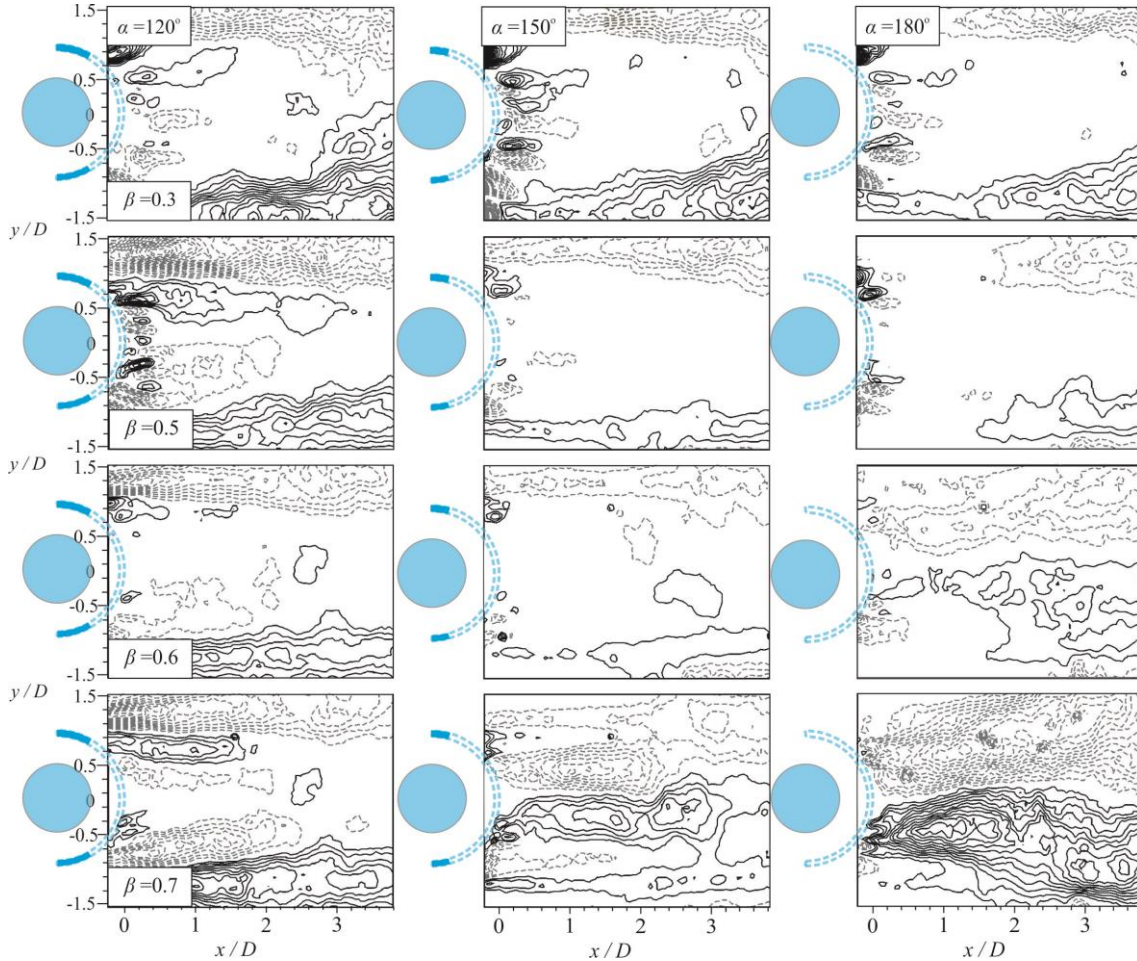
Şekil 5. Tüm geçirgenlik oranlarında $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ yay açıları için zaman-ortalamalı Reynolds Kayma Gerilmesi dağılımı, $|\langle u'v' \rangle|/U_\infty^2 = 0,002$

Şekil 6'da $120^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ yay açıları için tüm geçirgenlik oranlarında sonuçlar verilmiştir. Şekil 6'ya bakıldığında daha düşük yay açlarına göre Reynolds kayma gerilmelerinde belirgin bir azalma görülmektedir. Kontrol elemanından evirilen kayma gerilmelerinde de yine gözle

görülür bir azalma mevcuttur. Bu azalmanın sebebi; kontrol elemanının akışa maruz kalan katı yüzeyinin azalmasıdır. Böylelikle kontrol elemanının katı bölgesinden oluşan girdapların etkileşimi ve oluşturduğu türbülanslı yapılar etkisini azaltmaktadır. Silindirden oluşan girdaplı

akış yapısının çalkantı değerlerindeki azalmanın sebebi ise, yüksek yay açısının, dolayısıyla daha yüksek kısmi geçirgenliği silindir alt ve üst

noktalarından evrilen girdapları daha etkili bloke etmesi/parçalaması sebebiyledir.



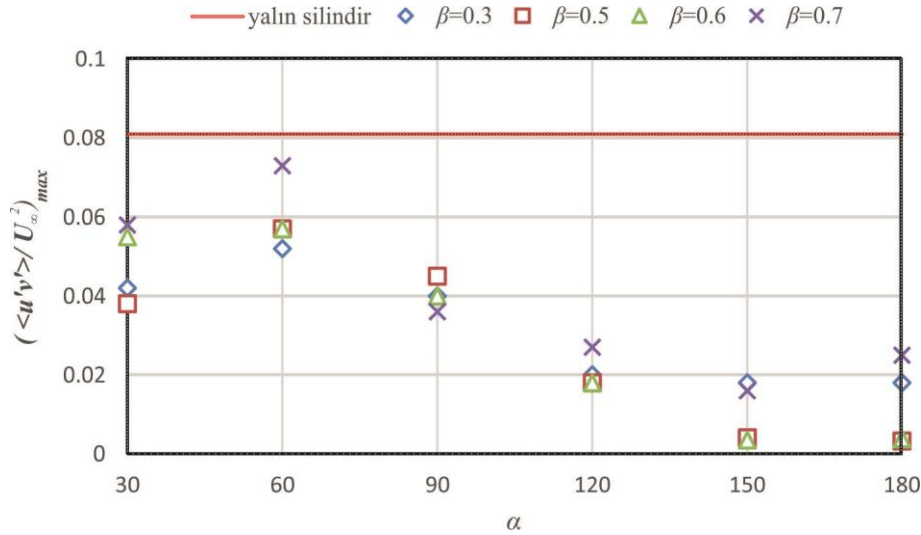
Şekil 6. Tüm geçirgenlik oranlarında $\alpha= 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$ için zaman-ortalamalı Reynolds Kayma Gerilmesi dağılımı, $|\langle u'v' \rangle / U_\infty^2| = 0,002$

$\beta= 0,3$ geçirgenliğine ait kontrol elemanının, Şekil 6'da sunulan açı aralığında da tek başına bir silindir gibi davrandığı açıkça görülmektedir. Bununla birlikte, elde edilen Reynolds kayma gerilmelerinin Şekil 5'deki düşük yay açısı değerlerine göre daha geniş bir alana yayıldığı, deliklerin hemen ardında oluşan gerilme kümelenmelerinden de anlaşılmaktadır. Bu kümelenmeler, deliklerden oluşan jet akışın bir sonucu olmakla birlikte, $\beta= 0,3$ değerinin silindir

ardında oluşan girdapların deliklerden geçmesini engellediği de anlaşılmaktadır. Geçirgenlik oranı $\beta= 0,5$ 'e çıkarıldığında silindirden oluşan girdapların deliklerden geçmekte ve etkisi akış alanında görülmektedir. Özellikle $\alpha= 120^\circ$ için deliklerden geçen girdap çifti parçalanarak oldukça etkisiz hale gelmektedir. $\beta= 0,5$ ve $\alpha= 150^\circ$ 'de ise kayma gerilmeleri neredeyse sıfır olmaktadır. Bu durum, girdapların kontrolünün tamamen sağlandığı, çalkantılı ve daimi olmayan akış

yapısının kontrol ettiği en etkili durum olarak not edilebilir. Yay açısı, $\alpha= 180^\circ$ 'ye çıkıldığında ise $\beta= 0,5$ için yalnızca kontrol elemanına ait bir çift gerilme kümesi art izinin uzak bölgelerinde görülmektedir ki, bu durum da etkili bir akış

kontrolü olarak belirlenmiştir. $\beta= 0,6$ geçirgenliğine bakıldığında, $\beta= 0,5$ 'e nazaran $\alpha= 180^\circ$ yay açısında az da olsa silindir kaynaklı girdaplı akış yapısından söz edilebilir.



Şekil 7. Maksimum Reynolds Kayma Gerilmesinin yay açısı ve geçirgenlik oranına bağlı değişimi

Bu durum delikli levhada geçirgenliğin, dolayısıyla momentum geçişinin artmasından kaynaklanmaktadır. Bu etki, $\beta= 0,7$ geçirgenliği için daha nettir. Tüm geçirgenlik değerlerindeki sonuçlara bakıldığında, $\beta= 0,6$ oranının bir geçiş değeri olduğu söylenebilir. Çünkü $\beta= 0,7$ için elde edilen gerilme konturları daha düşük geçirgenlik oranlarına göre, aniden ve önemli derecede artmıştır. Bunun sebebi ise daha önce de vurgulandığı üzere; geçirgenlik oranının artmasıyla daha fazla miktarda akışın, dolayısıyla momentumun deliklerden geçerek silindir kaynaklı girdapları bastırma etkisini yitirmesindedir. Yine de elde edilen gerilme miktarları, artırım miktarına da bakıldığında, yalnızca silindir durumuna göre düşüktür. Sonuç olarak, Reynolds kayma gerilmesi sonuçlarına göre hemen hemen tüm açı değerlerinde $\beta= 0,7$ 'nin akış kontrolünde daha az etkili olduğu sonucuna varılmıştır, çünkü girdap kaynaklı çalkantı ve buna bağlı kayma gerilmelerini silindir art izinde yok edememiştir.

Geçirgenlik oranı ve yay açısının akış kontrolü üzerinde etkisi, silindir art izinde hesaplanan

Reynolds kayma gerilmeleri $\langle u'v' \rangle_{maks} / U_\infty^2$ ele alınarak Şekil 7'de irdelenmiştir. Ayrıca yalnızca silindire kıyasla maksimum gerilmelerdeki yüzde azalma miktarları da Çizelge 1'de gösterilmiştir. Yalnızca silindir durumu için elde edilen maksimum Reynolds kayma gerilmesi yaklaşık olarak $\langle u'v' \rangle_{maks} / U_\infty^2 = 0,08$ 'dir. Buna göre, kontrol elemanının kullanıldığı tüm konfigürasyonlar için $\langle u'v' \rangle_{maks} / U_\infty^2$ değeri yalnızca silindire göre düşüktür.

Çizelge 1. Yalnızca silindire göre Reynolds kayma gerilmelerindeki değişim; [$\langle u'v' \rangle_{maks, silindir} - \langle u'v' \rangle_{maks, kontrol} / \langle u'v' \rangle_{maks, silindir} \times 100$]

% fark	β				
	0,3	0,5	0,6	0,7	
α	30°	-48,1	-53,1	-32,1	-28,4
	60°	-35,8	-29,6	-29,6	-9,9
	90°	-50,6	-44,4	-50,6	-55,6
	120°	-75,3	-77,8	-77,8	-66,7
	150°	-77,8	-95,1	-95,7	-80,2
	180°	-77,8	-96,0	-95,3	-69,1

Genel olarak tüm geçirgenlik oranlarında $\alpha = 30^\circ$ 'den $\alpha = 60^\circ$ 'ye geçişte $\langle u'v' \rangle_{maks}/U_\infty^2$ değerinde artış gözlenirken $\alpha = 60^\circ$ 'den yüksek açılar için kayda değer bir azalma görülmektedir. Yalın silindire en yakın olan durum, $\beta = 0,7$ geçirgenliği ve $\alpha = 60^\circ$ yay açısı için geçerli olup, bu konfigürasyon için akış kontrolünün sağlanmadığı söylenebilir. Nitekim önceki sonuçlarda sunulan kontur dağılımları da bu sonucu desteklemektedir. $\alpha \geq 90^\circ$ için elde edilen $\langle u'v' \rangle_{maks}/U_\infty^2$ 'daki azalma, $\beta = 0,5$ ve $\beta = 0,6$ için, $\alpha = 150^\circ$ yay açısında en düşük değerine ulaşmaktadır. $\beta = 0,7$ geçirgenlik değeri ise daha az etkili gözükse de $\alpha = 150^\circ$ 'de yalın silindir durumuna göre çalkantıların düşürülmesinde son derece etkilidir.

4. SONUÇ

Çalışmada, küt cisimler ardında oluşan daimi akış yapısının kontrolünü sağlamak üzere farklı geçirgenlik oranları ve yay açıları göz önüne alınarak Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniği ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Dört farklı geçirgenlik oranı ($\beta = 0,3, 0,5, 0,6$ ve $0,7$), altı farklı yay açısı ($\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ ve 180°) ve iki farklı Reynolds sayısı $Re_D = 5000$, $Re_D = 10000$ için tamamlanan deneyler sonucunda, ele alınan Reynolds sayılarının akış kontrolü üzerinde nitel olarak bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

Reynolds Kayma Gerilmeleri, $\langle u'v' \rangle/U_\infty^2$ referans alınarak irdelenen sonuçlara göre, mevcut metodun uygulandığı tüm durumlarda, yalın silindir verilerine nazaran azalma görülmektedir. Ancak akış kontrolünün en etkili olduğu $120^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$, gerilmelerin ani bir şekilde düştüğü yay açısı aralığı olarak tavsiye edilebilir. Bununla birlikte, $\beta = 0,5$ geçirgenliği ve $\alpha \geq 150^\circ$ yay açısı için girdap kontrolünün tamamen sağlandığı, çalkantılı ve daimi olmayan akış yapısının tamamen kontrol edildiği en etkili durumdur. $\alpha \leq 60^\circ$ ve $\beta > 0,5$ için ise, gerilme değerlerindeki azalmanın yavaşladığı ve $\beta = 0,7$ için maksimum değerlere ulaştığı söylenebilir.

Bununla birlikte, $\beta = 0,3$ geçirgenliğinin özellikle düşük yay açılarında tek başına bir silindir gibi davrandığı, elde edilen sonuçlara dayanarak ortaya çıkarılmıştır. Bu nedenle $\beta = 0,3$ geçirgenliğe sahip delikli silindirin akış kontrolü amaçlı kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak; kontrol elemanının en etkisiz olduğu durumda ($\beta = 0,7$ ve $\alpha = 60^\circ$) bile gerilmeleri %7 oranında düşürdüğü, ancak $120^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ yay açılarında, $\beta = 0,5$ ve $\beta = 0,6$ geçirgenliğinde bu oranın %96'ya kadar ulaştığı, yani girdapları tamamen sönmülediği belirlenmiştir. Ele alınan akış kontrol tekniğinin, girdap kopması ve buna bağlı titreşimleri büyük oranda kontrol edecek alternatif bir pasif yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından, FBA-2016-6431 kodlu proje ile desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Unal, M.F., Rockwell, D., 1988. On Vortex Formation from a Cylinder. Part 2. Control by Splitter-plate Interference. Journal of Fluid Mechanics, 190, 513-529.
2. Kwon, K., Choi, H., 1996. Control of Laminar Vortex Shedding Behind a Circular Cylinder Using Splitter Plates. Physics of Fluids, 8, 479-486.
3. Mittal, S., Raghuvanshi, A., 2001. Control of Vortex Shedding Behind Circular Cylinder for Flows at Low Reynolds Numbers. Int J Num Meth Fl, 35, 421-447.
4. Akilli, H., Sahin, B., Tumen, N.F., 2005. Suppression of Vortex Shedding of Circular Cylinder in Shallow Water by a Splitter Plate. Flow Meas. Instrum. 16, 211-219.
5. Wang, J.J., Zhang, P.F., Lu, S.F., Wu, K., 2006. Drag Reduction of a Circular Cylinder Using an Upstream Rod. Flow Turbul Combust, 76, 83-101.

6. Baek, H., Karniadakis, G.E., 2009. Suppressing Vortex-induced Vibrations Via Passive Means. *J Fluid Struct*, 25, 848–866.
7. Dehkordi, B.G., Jafari, H.H., 2010. On the Suppression of Vortex Shedding from Circular Cylinders Using Detached Short Splitter-plates. *J Fluid Eng-T ASME*, 132, 044501.
8. Yucel, S.B., Cetiner, O., Unal, M.F., 2010. Interaction of Circular Cylinder Wake with a Short Asymmetrically Located Downstream Plate. *Exp Fluids*, 49, 241–255.
9. Zdravkovich, M.,M., 1981. Review and Classification of Various Aerodynamic and Hydrodynamic Means for Suppressing Vortex Shedding. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 7(2), 145-189.
10. Akilli, H., Karakus, C., Akar, A., Sahin, B., Tumen, N.F., 2008. Control of Vortex Shedding of Circular Cylinder in Shallow Water Flow Using an Attached Splitter Plate. *J Fluid Eng-T ASME*, 130, 041401.
11. Ozkan, G.M., Oruc, V., Akilli, H., Sahin, B., 2012. Flow Around a Cylinder Surrounded by a Permeable Cylinder in Shallow Water. *Exp Fluids*, 53, 1751–1763.
12. Ozkan, G.M., Firat, E., Akilli, 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.
13. Pinar, E., Ozkan, G.M., Durhasan, T., Akilli, H., Sahin, B., 2015. Flow Structure Around Perforated Cylinders in Shallow Water. 55, 52-63.
14. Durhasan, T., Aksoy, M.M., Pinar, E., Ozkan, G.M., Akilli, H., Sahin, B., 2016. Vortex Street Suppression of a Circular Cylinder Using Perforated Semi-circular Fairing in Shallow Water, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 79, 101-110.
15. Durhasan, T., Pinar, E., Ozkan, G.M., Aksoy, M.M, Akilli, H., Sahin, B., 2018. PIV Measurement Downstream of Perforated Cylinder in Deep Water, *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 72, 225-234.
16. Durhasan, T., Pinar, E., Ozkan, G.M., Akilli, H., Sahin, B., 2019. The Effect of Shroud on Vortex Shedding Mechanism of Cylinder, *Applied Ocean Research*, 84, 51-61.
17. Adrian, R.J., Westerweel, J., 2011. *Particle Image Velocimetry*, Cambridge University Press, New York, USA, 350.
18. Adrian, R.J., Westerweel, J., 2011. *Particle Image Velocimetry*, Cambridge University Press, New York, USA, 34-35.
19. Aljure, D.E., Rodriguez, I., Lehmkuhl, Perez-Segarra, Oliva, A., 2015. Influence of Rotation on the Flow Over a Cylinder at $Re=5000$. *Int. J. Heat Fluid Flow* 55, 76–90.