

Sığ suda yan yana silindirler arasına akışa dik yerleştirilen plakaların akış özelliklerine etkisi

The effect of the splitter plates on flow characteristics that are vertically placed to the flow between side by side cylinders in shallow water

Mustafa Atakan AKAR^{1*}, Hüseyin AKILLI², Oğuz BAŞ³, Burcu OĞUZ⁴, Engin PINAR⁵, Beşir ŞAHİN⁶

^{1,3}Otomotiv Mühendisliği, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
atakanakar@gmail.com, obas@cu.edu.tr

^{2,6}Makine Mühendisliği Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Adana, Türkiye
hakilli@cu.edu.tr, bsahin@cu.edu.tr

⁴Gemi Makineleri İşletme Programı, Denizcilik Meslek Yüksek Okulu, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye.
boguz@mersin.edu.tr

⁵Makine Mühendisliği, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
epinar@cu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 15.02.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 29.11.2017

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2017.43007

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada yan yana iki silindir arasına akış doğrultusuna dik yönde yerleştirilen plakaların silindirler arkasındaki akış bölgesine etkisi deneysel olarak Parçacık Görüntülü Hız Ölçümü (PIV) yöntemi ile incelenmiştir. Akrilik malzemeden üretilen dairesel silindirlerin çapı $D = 40$ mm'dir. Deneyler süresince $h_w = 20$ mm derinliğindeki sığ su akışında akış görüntüleri $h_t = 10$ mm yükseklikten alınmıştır. Suyun akış hızı $U_\infty = 125$ mm/sn ve silindirlerin çapına bağlı Reynolds sayısı $Re_D = 5000$ 'dir. Yükseklikleri 2 mm artımla $H = 2$ mm ile 10mm arasında değişen beş farklı plaka daimi olmayan akışı kontrol etmek için kullanılmıştır. Bütün durumlarda açıklık oranı $G/D = 1.25$ olarak sabit tutulmuştur. Deneysel olarak elde edilen verilerin bilgisayarda işlenmesiyle, boyutsuz Türbülans Kinetik Enerji değerleri ve ortalama hız vektörleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, plaka kullanımı akış kontrolündeki etkinliğini net bir şekilde ortaya koymaktadır. $H = 6$ mm plaka yüksekliğinden sonra TKE değerlerinde dikkate değer bir azalma gözlenmektedir. Akış kontrolünün sağlandığı en etkili plaka yüksekliği ise $H = 10$ mm olarak görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Dik plaka, Girdap, Pasif kontrol, PIV, Sığ su

Abstract

In this paper, flow changes were observed via Particulate Image Velocimetry (PIV) technique in shallow water flow for two side by side circular cylinders which a vertically placed splitter plate (VSP) was placed between them. The circular cylinders made of acrylic material have a diameter of $D = 40$ mm. Throughout the experiments water height was $h_w = 20$ mm and flow images were taken at the elevation of $h_t = 10$ mm. The free stream velocity was $U_\infty = 125$ mm/sec and Reynolds Number was $Re_D = 5000$ based on diameters of circular cylinders. Five different VSPs varied from heights of $H = 2$ mm to 10 mm with an increment 2 mm were used to control unsteady flow. The gap/diameter ratio was $G/D = 1.25$ for all cases. Dimensionless Turbulence Kinetic Energy values and time-averaged velocity vectors were acquired by processing experimentally obtained data on a computer. As a result, the usage of splitter plate has shown its effectiveness on flow control. After the plate height of $H = 6$ mm, TKE values were decreased significantly. The most effective plate height on the flow control was seen as $H = 10$ mm.

Keywords: Vertical splitter plate, Vortex, Passive control, PIV, Shallow water

1 Giriş

Küt cisimler ardında oluşan türbülanslı akış, köprü ayakları, deniz yapıları, gökdelenler ve kuleler gibi pek çok mühendislik uygulamasında görülebilmektedir. Bu akışı anlamak ve kontrol edebilmek adına çok sayıda numerik, teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Oertel [1], Özgören [2] ve Williamson [3] küt cisimler arkasındaki akış yapısını dairesel ve karesel silindirler kullanarak anlamaya çalışan araştırmacılar. Ancak yan yana silindir sistemleri ile alakalı literatürde nispeten daha az sayıda çalışma yapılmaktadır. Zdravkovich [4] farklı tipte yan yana silindir uygulamalarının akış yapısını anlayabilmek için yaptığı deneysel araştırma bu konuyla alakalı öncül çalışmalardan birisidir.

Cisimler ardında oluşan daimi olmayan akış cisim üzerinde yapısal hasarlara neden olabilmektedir. Bunun önüne geçmek için daimi olmayan akış yapısının kontrol edilmesi gerekmektedir. Malzeme iyileştirilmesiyle bu hasarların önüne geçilebilmenin maliyetli olabileceği durumlar için akış kontrol metotları çözüm olmaktadır. Bu amaçla akış kontrol metotları

literatürde sıklıkla çalışılmaktadır. Daimi olmayan akış yapısının kontrolü için yapılan uygulamalarda açık devre (sensörlü) veya kapalı (sensör gerektirmeyen) devre aktif kontrol yöntemlerinin yanı sıra pasif kontrol yöntemleri öne çıkmaktadır [5]. Akış yapısının aktif yöntemlerle kontrolü için dışardan enerji verilerek türbülans parametreleri azaltılmaya çalışılır. Wang ve diğ. [6] sentetik jet akışları kullanarak akış yapısını aktif yöntemle kontrol etmeye çalışmışlardır. Fransson ve diğ. [7] yaptıkları aktif kontrol çalışmasında dairesel silindir etrafında uygulanan daimi emme ve üfleminin akış kontrolüne etkisini incelemişlerdir. Bir diğer aktif kontrol araştırmasında, Sudhakar ve Vengadesan [8] silindir arkasında farklı frekanslarla periyodik salınım yapabilen plaka yerleştirmişlerdir. Sonuç olarak, düşük frekanslı salınım yapan plakalarda, plakanın sabit olduğu duruma kıyasla 5 kat daha kısa plaka ile akış kontrolü için benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Pasif kontrol metotlarında ise akış ortamında ya da doğrudan cisim üzerinde yapısal değişiklikler uygulanarak akış kontrol edilmeye çalışılır. Uygulanabilirliği ve enerji girdisi gerektirmemesi gibi

nedenlerden dolayı yaygın olarak kullanılan bu yöntem sıklıkla çalışmaların konusu olmaktadır.

Akış kontrolü sığ su akışlarında ise ayrı bir önem taşımaktadır. Çünkü sığ su akışlarında, akış genişliğinin akış özelliklerine etkisi, derin su akış ortamlarına kıyasla çok daha fazladır. Sığ su akışlarında, suyun serbest yüzeyi ile tabanı arasındaki mesafenin çok az olmasından dolayı akış yapısı derin sulara nazaran çok daha karmaşıktır [9]. Farklı uzunluk, konum ve uygulamalarla silindir arkasına yerleştirilen plaka ile akış kontrolü pasif kontrol yöntemlerinden birisidir [10]-[12]. Apelt ve diğ. [13] silindir ardına yerleştirilen plakanın sürüklenme kuvvetini azalttığını, en fazla azalmanın plaka uzunluğunun silindir çapına eşit olduğu durumda meydana geldiğini ifade etmiştir. Plaka uzunluğunun silindir çapı ile çapın iki katı olduğu aralıkta Strouhal Sayısının arttığını belirlemişlerdir. Girdap oluşumunun, plaka uzunluğunun silindir çapının beş katı olduğu durumda tamamen ortadan kaybolduğunu da bulmuşlardır. Akıllı ve diğ. [14] silindirinin hemen arkasına silindir ile temas edecek şekilde yerleştirilen farklı uzunluktaki plakaların akış yapısına etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında plakanın silindir ardındaki akış yapısını önemli ölçüde değiştirdiği görülmüştür. Büyük ölçekli Karman girdap caddesi oluşumu engellenmiş ve art iz bölgesinin yapısı değiştirilmiştir.

Bu çalışmada ise pasif kontrol metodu olarak, yan yana iki silindir arasına akış doğrultusuna dik yönde yerleştirilen farklı yüksekliklerdeki dik plakanın akış özelliklerine etkileri deneysel olarak PIV yöntemiyle incelenmiştir. Sonuçlar boyutsuz Türbülans kinetik enerji (TKE) grafikleri göz önünde bulundurularak kıyaslanmıştır.

2 Materyal ve metot

Belirli akış alanı içerisindeki daimi olmayan akış yapısını anlamak büyük önem taşımaktadır. Bu akış yapısını anlamak için akış alanına serpilen parçacıkların hareketlerini takip ederek anlık olarak ölçümler yapılabilen Parçacık Görüntülü Hız Ölçümü (PIV) akış görüntüleme için kullanılan önemli bir tekniktir.

Bu çalışmadaki PIV deneyleri, Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılmıştır. 750 mm x 1000 mm x 8000 mm (yükseklik x genişlik x boy) ebatlarında pleksiglas malzemeden imal edilmiş kapalı devre açık su kanalındaki akış, hız kontrol ünitesi yardımıyla değişik devirlerde çalışabilen santrifüj pompa tarafından sağlanmıştır. Deneyler esnasında PIV laboratuvarının sıcaklığı 22 °C'de sabit tutulmuştur. Suyun içinde hareket eden parçacıkların öz kütlesi, suyun öz kütlesinden büyük olmasına rağmen, mikron mertebesindeki küçük boyutları sayesinde parçacıklar, suyla yaklaşık olarak aynı hızda hareket etmektedirler. Gümüş kaplı parçacıkların yoğunluğu yaklaşık olarak 1100 kg/m³ ve 10-20 mikrometre çapa sahiptirler. Su kanalındaki türbülans yoğunluğu %1'in altındadır. 532 nm dalga boyunda 120 mJ güçteki çift darbeli Nd: YAG lazer kaynağı akış alanını aydınlatarak görüntü alınabilmesini sağlamaktadır. Lazer kaynağının ürettiği lazer ışınları, optik aletler aracılığıyla istenilen kalınlık ve genişlikte lazer huzmesi olarak akış alanına gönderilebilmektedir. Lazer kaynağı tarafından saniyede, kalınlıkları 2mm olan 15 lazer çifti akış alanına gönderilmiştir. Lazer huzmesinin aydınlattığı silindirler arkasındaki akış alanı içerisinde hareket eden parçacıkların fotoğrafları, mili saniye boyutunda (Δt) zaman aralıklarıyla kaydedilmiştir. Deneyler boyunca her plaka uygulaması için 350 adet anlık görüntü kaydedilmiştir.

Fotoğraflar CCD kamera aracılığı ile çekilmiştir. Silindirler arkasındaki akış alanı için çekilen fotoğraflar, küçük alt bölgelere piksel piksel bölünerek parçacıkların her bir alt bölgedeki yer değiştirmeleri anlık fotoğraflar arasındaki farklar izlenerek bulunmaktadır. Bilgisayar ortamında yazılımlar yardımıyla yapılan fotoğrafların işlenmesiyle ortalama hız vektörleri elde edilmiştir.

Akış görüntülerinin bilgisayar ortamında işlenmeleri sonucu boyutsuz türbülans kinetik enerji (TKE) hesaplanmış ve konturları çizilmiştir. Akışın sahip olduğu türbülanslılık seviyesi hakkında daha genel bilgi veren bir parametre olan TKE şu şekilde hesaplanmaktadır:

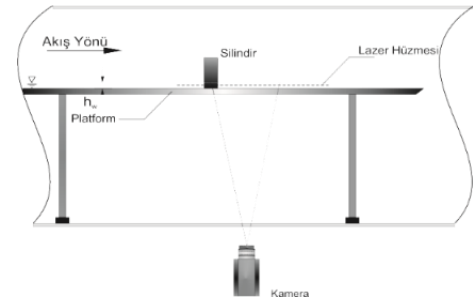
$$TKE \equiv \frac{1}{2} [\overline{u'u'} + \overline{v'v'} + \overline{w'w'}] \quad (1)$$

Akış iki boyutlu olduğu durumlarda üçüncü boyuttaki Reynolds gerilmesi değeri iki boyuttaki gerilme değerlerinin ortalaması olarak hesaplanır (izotropik akış kabulü) ve TKE değerleri aşağıdaki formül ile elde edilir:

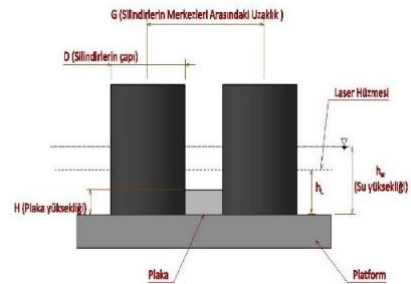
$$TKE \equiv \frac{3}{4} [u'u' + v'v'] \quad (2)$$

Elde edilen değerlerin boyutsuz hale getirilmesi için TKE değerleri suyun serbest akış hızının karesine (U_∞)² bölünmesiyle elde edilen değerlerle TKE grafikleri oluşturulmuştur [15].

Beş farklı yükseklikteki ($H = 2, 4, 6, 8, 10$ mm) plakalar silindirlerin arasına, silindirlerin merkezleri doğrultusuna denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Deneyler süresince su derinliği $h_w = 20$ mm'de sabit tutulmuştur. Akış görüntüleri lazer huzmelerinin gönderildiği $h_L = 10$ mm yükseklikteki orta düzlemden alınmıştır (Şekil 1). Suyun akış hızı $U_\infty = 125$ mm/s olarak sabit tutulmuştur. Silindirlerin çapı $D = 40$ mm ve bu çapa bağlı Reynolds sayısı $Re_D = 5000$ 'dir. Silindirlerin merkezlerinin arasındaki mesafenin silindirlerin çapına oranı (açıklık oranı) $G/D = 1.25$ olarak seçilmiştir (Şekil 2).



Şekil 1: Deney düzeneğinin yandan görünümü.



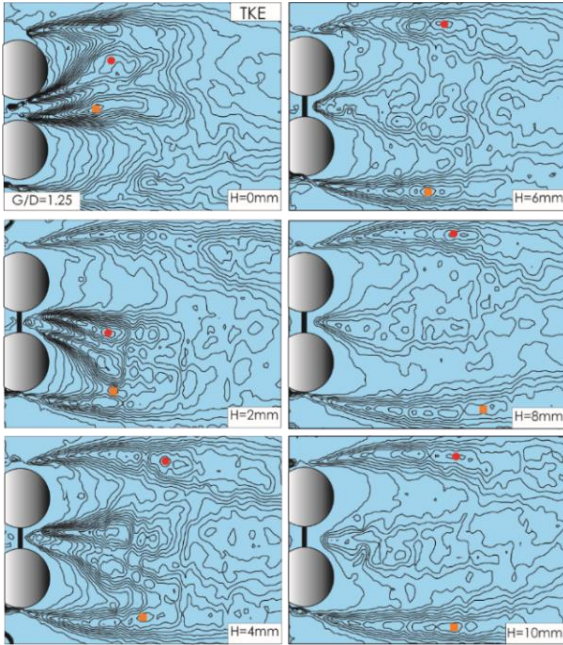
Şekil 2: Yan yana silindirler arasına yerleştirilen plakanın görüntüsü.

3 Sonuçlar

Bu çalışmada farklı yüksekliklerdeki ($H = 2, 4, 6, 8, 10$ mm) akış doğrultusuna dik olarak yerleştirilen plakalarla silindirler arkasındaki akış yapısı incelenmiştir. Plakaların daimi olmayan akış yapısının kontrolündeki etkinliği PIV yöntemiyle deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel sıvı su yüksekliği olarak

$h_w = 20$ mm derinlikteki suda gerçekleştirilmiştir. Akış görüntüleri orta düzlem olan $h_L = 10$ mm yükseklikten alınmıştır. Bütün silindir sistemleri için açıklık oranı $G/D = 1.25$ olarak sabit tutulmuştur.

Deneysel sonuçlar neticesinde, silindirler arkasında meydana gelen akış yapısının parametresi olan boyutsuz türbülans kinetik enerji <TKE> konturları Şekil 3'te, ortalama hız vektörleri ise Şekil 4'te paylaşılmıştır. Türbülans kinetik enerji konturları, türbülans kinetik enerji minimum değeri ve artırım oranı 0.01 alınarak çizilmiştir.



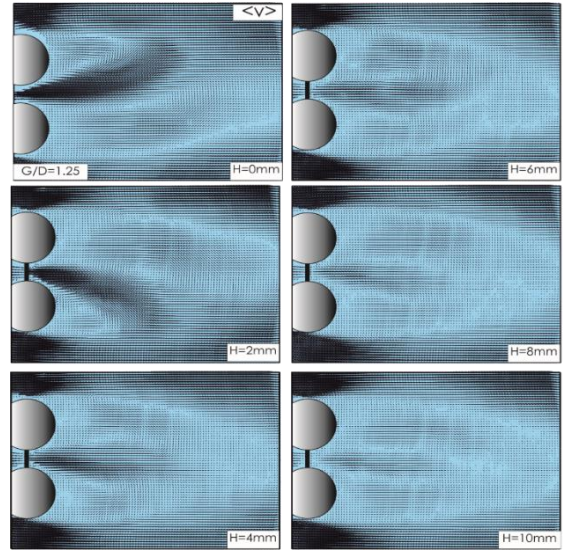
Şekil 3: Yan yana silindirler arkasında oluşan akışın TKE konturları.

Şekil 3'te $H = 0$ olan durum, silindirler arasında plaka konulmamış durumu ifade etmektedir. $H = 2$ mm'den $H = 10$ mm'ye kadar olan plaka yüksekliklerinin TKE konturları da yüksekliklerine göre sıralanarak gösterilmektedir. Ayrıca, üst silindir arkasındaki TKE'nin maksimum olduğu yer kırmızı nokta ile alt silindir arkasındaki TKE'nin maksimum olduğu yer ise turuncu nokta ile gösterilmiştir. Şekil 5'te ise şekillerde görülen alt ve üst silindirlerin her biri için arkalarındaki maksimum TKE değerlerinin plaka eklenmesi ve plaka yüksekliğinin artmasıyla beraber değişimi grafiksel olarak ifade edilmiştir.

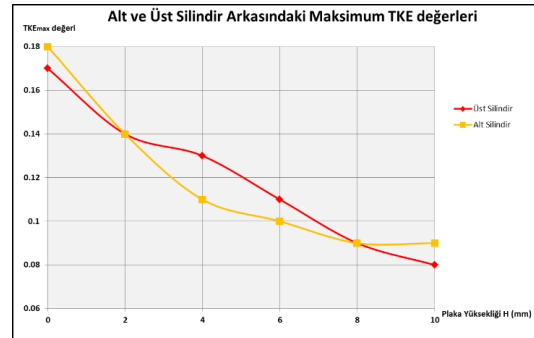
Şekiller incelendiğinde plaka kullanılmayan durum ($H = 0$ mm) için TKE'nin silindirler arasında ve silindirlere yakın bölgede yoğunlaştığı görülmektedir. Silindirler arasında oluşan bu yoğunluk silindirlerin birbirine yakın olmasından ve silindirler arasındaki jet akıştan dolayı oluştuğu söylenebilir. $H = 2$ mm yüksekliğindeki plaka kullanımıyla beraber silindirlerin arasındaki enerji yoğunluğu az da olsa azalmaya başlamaktadır. Bu durum plaka yüksekliğinin artmasıyla beraber giderek belirgin hale gelmektedir. $H = 4$ mm plaka

yüksekliğinden itibaren silindirler arkasındaki TKE yoğunluğu gözle görülür şekilde azalmaktadır. $H = 6$ mm yüksekliğindeki plakadan itibaren TKE yoğunluğu alt ve üst silindirlerin arkasında simetrik olarak gözlenmektedir. TKE maksimum değerleri plaka yüksekliği arttıkça silindirlerden uzakta olduğu görülmektedir. Özellikle $H = 8$ ve $H = 10$ mm yüksekliğindeki plakalar için TKE yoğunluğunun plakasız duruma göre belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Ayrıca, bu yükseklikteki plakaların kullanıldığı durumda, türbülans kinetik enerji yoğunluğu giderek silindirlerin arkasından daha uzağa gitmekte ve simetrik bir yapı oluşmaktadır. Akış kontrolün en etkin olarak sağlandığı plaka yüksekliği ise $H = 10$ mm olarak belirlenmektedir.

Şekil 4'te farklı yükseklikteki akış yönüne dik plakaların uygulaması sonucu yan yana silindirler arkasında oluşan hız vektörleri incelendiğinde, plakaların hız vektörlerinde önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. Plakasız ($H = 0$ mm) silindirlerin hız profili grafiğinde, alttaki iz alanının üstteki iz alanına baskın olduğu anlaşılmaktadır. Baskınlık oranı $H = 2$ mm yüksekliğindeki plaka kullanımıyla beraber bir nebze azalmış, yine de tam olarak önlenememektedir. Ancak plaka yüksekliğinin $H = 4$ mm'ye artırılmasıyla beraber baskınlık büyük ölçüde engellenmekte ve silindirler arkasında birbirine simetrik iki adet iz alanı oluşmaktadır. Ayrıca, iz alanlarının boyu $H = 4$ mm yükseklikten itibaren giderek uzamaktadır.



Şekil 4: Yan yana silindirler arkasında oluşan ortalama hız vektörleri.



Şekil 5: Yükseklikleri $H=2, 4, 6, 8, 10$ mm olan plakaların kullanıldığı durumlarda silindirler arkasında meydana gelen maksimum TKE değerleri grafiği.

Bununla birlikte plaka yüksekliğinin artması, özellikle $H = 8$ mm yüksekliğinden sonra, simetrik yapıyı koruması ile birlikte silindirler arkasındaki iz alanlarını bütünlüştürmektedir.

Şekil 5'te plakasız durum $H = 0$ mm ve aralarında farklı yükseklikteki plakaların bulunduğu açıklık oranı $G/D = 1.25$ olan yan yana iki silindirlerin arkalarındaki maksimum türbülans kinetik enerji değerleri (TKE_{max}) grafiksel olarak verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, hem alt hem de üstteki silindir için maksimum TKE değerinin plaka yüksekliğinin artmasıyla birlikte azaldığı gözlemlenmektedir. Maksimum TKE değerinin her iki silindir için de en az olduğu durum ise $H = 10$ mm yüksekliğindeki plakanın kullanıldığı durum olduğu görülmektedir. Ancak $H = 8$ mm ve $H = 10$ mm yüksekliğindeki plakaların kullanıldığı durumlarda alt ve üst silindir arkasındaki maksimum TKE değerleri için büyük bir farklılık gözlemlenmemektedir. Plakanın kullanılmadığı duruma göre $H = 10$ mm yüksekliğindeki plaka için maksimum TKE değerinin belirgin oranında azaldığı belirlenmektedir.

4 Tartışma

Yapılan bu çalışmayla bir pasif akış kontrol yöntemi olarak, yan yana iki silindir arasına, akış doğrultusuna dik yönde yerleştirilen plaka kullanımının akış kontrolündeki etkinliği deneysel olarak PIV tekniğiyle elde edilen türbülans kinetik enerji grafiği ve maksimum TKE değerleri ele alınarak araştırılmıştır. Sonuçlar deneysel olarak sığ su ortamında Parçacık Görüntülü Hız Ölçümü (PIV) ile elde edilmiştir. Çapı $D = 40$ mm olan silindirler arasına; ($H = 2, 4, 6, 8, 10$ mm olmak üzere) beş farklı yükseklikteki plakalar yerleştirilerek silindirler arkasındaki daimi olmayan akış yapısı kontrol edilmeye çalışılmıştır. Sonuçları kıyaslayabilmek için aynı koşullarda $D = 40$ mm çaptaki plaka kullanılmayan ($H = 0$ mm) yan yana silindir çifti için de PIV deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerdeki suyun akış hızı $U_{\infty} = 125$ mm/s ve silindirlerin çapına bağlı Reynolds sayısı $Re_D = 5000$ 'dir. Akış görüntüleri $h_w = 20$ mm derinliği olan suda orta düzlemdeki $h_L = 10$ mm yüksekliğinden alınmıştır. Silindirler arasındaki açıklık oranı $G/D=1.25$ olarak seçilmiştir.

Sonuç olarak akış doğrultusuna dik olarak yan yana iki silindir arasına yerleştirilen plakalarla akış kontrolünde etkinlik sağlanmakta ve boyutsuz bir türbülans istatistiği olan türbülans kinetik değerleri önemli ölçüde azaltılmaktadır. Ayrıca maksimum TKE değerleri silindirlerden daha uzak bir akış bölgesinde oluşmaktadır. $H = 10$ mm yüksekliğindeki plaka ile akış kontrolünde en iyi sonuçların elde edildiği görülmektedir.

5 Simgeler dizini

D	: Silindir çapı
G	: Silindirlerin merkezleri arasındaki mesafe (açıklık),
Δt	: Zaman,
h_L	: Lazer yüksekliği,
h_w	: Su yüksekliği,
Re_D	: Silindirlerin çapına bağlı Reynolds sayısı,
U_{∞}	: Su hızı,
TKE	: Boyutsuz türbülans kinetik enerji değerleri,
$\langle v \rangle$: Ortalamalı hız.

6 Teşekkür

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri komisyonu (BAP) tarafından desteklenmiştir (FBA-2016-5832).

7 Kaynaklar

- [1] Oertel H. "Wakes Behind Blunt Bodies". *Annual Review of Fluid Mechanics*, 22(1), 539-562, 1990.
- [2] Ozgoren M. "Flow structure in the downstream of square and circular cylinders". *Flow Measurement and Instrumentation*, 17(4), 225-235, 2006.
- [3] Williamson CHK. "Vortex Dynamics in the Cylinder Wake". *Annual Review of Fluid Mechanics*, 28(1), 477-539, 1996.
- [4] Zdravkovich MM. "Flow induced oscillations of two interfering circular cylinders". *Journal of Sound and Vibration*, 101(4), 511-521, 1985.
- [5] Choi H, Jeon WP, Kim J. "Control of Flow Over a Bluff Body". *Annual Review of Fluid Mechanics*. 40(1), 113-139, 2008.
- [6] Wang C, Tang H, Duan F, Yu SCM. "Control of wakes and vortex-induced vibrations of a single circular cylinder using synthetic jets". *Journal of Fluids and Structures*, 60, 160-179, 2016.
- [7] Fransson JHM, Konieczny P, Alfredsson PH. "Flow around a porous cylinder subject to continuous suction or blowing". *Journal of Fluids and Structures*, 19(8), 1031-1048. 2004.
- [8] Sudhakar Y, Vengadesan S. "Vortex shedding characteristics of a circular cylinder with an oscillating wake splitter plate". *Computers and Fluids*, 53(1), 40-52, 2012.
- [9] Akilli H, Akar A, Karakus C. "Flow characteristics of circular cylinders arranged side-by-side in shallow water". *Flow Measurement and Instrumentation*, 15(4), 187-197, 2004.
- [10] Oruç V, Atakan Akar M, Akilli H, Sahin B. "Suppression of asymmetric flow behavior downstream of two side-by-side circular cylinders with a splitter plate in shallow water". *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 46(1), 442-455. 2013.
- [11] Gu F, Wang JS, Qiao XQ, Huang Z. "Pressure distribution, fluctuating forces and vortex shedding behavior of circular cylinder with rotatable splitter plates". *Journal of Fluids and Structures*, 28, 263-278. 2012.
- [12] Igbalajobi A, McClean JF, Sumner D, Bergstrom DJ. "The effect of a wake-mounted splitter plate on the flow around a surface-mounted finite-height circular cylinder". *Journal of Fluids and Structures*, 37, 185-200, 2013.
- [13] Apelt CJ, West GS, Szweczyk AA. "The effects of wake splitter plates on the flow past a circular cylinder in the range $10^4 < Re < 5 \times 10^4$ ". *Journal of Fluid Mechanics*, 61(1), 187-198, 1973.
- [14] Akilli H, Sahin B, Filiz Tumen N. "Suppression of vortex shedding of circular cylinder in shallow water by a splitter plate". *Flow Measurement and Instrumentation*, 16(4), 211-219, 2005.
- [15] Sheng J, Meng H, Fox RO. "A large eddy PIV method for turbulence dissipation rate estimation". *Chemical Engineering Science*, 55, 4423-4434, 2017.