

## Altıgen Delikli Silindirin Geçirgenlik Oranının Silindir Arkasındaki Akış Bölgesine Etkisi

Mustafa Atakan AKAR<sup>\*1</sup>, Oğuz BAŞ<sup>1</sup>, Mehmet KÜÇÜK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Adana

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi, Tarsus Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Mersin,

Geliş tarihi: 29.08.2016

Kabul tarihi: 11.10.2016

### Öz

Daha önce yapılan çalışmalarda dairesel silindir arkasındaki daimi olmayan akış yapısı, silindirin etrafına farklı geometri, çap ve geçirgenlik oranlarına sahip delikli dış silindirler yerleştirilerek kontrol edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada ise, dairesel silindirin kendisi üzerinde açılan,  $d=10$  mm çapında, altıgen deliklerin silindir arkasında meydana gelen akışın özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deliksiz geçirgen olmayan bir silindir ve geçirgenlik oranları  $\beta=0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7$  olmak üzere toplam 6 farklı delikli geçirgen silindirlerin arkasında oluşan akış yapısı Parçacık Görüntülü Hız Ölçümü (PIV) yöntemi ile incelenmiştir. Silindirlerin herbirinin çapı  $D=100$  mm ve bu çapa bağlı Reynolds sayısı  $Re_D=10000$ 'dir. Deneyle su yüksekliği  $h_w=400$  mm olarak sabit tutulmuş ve akış görüntüleri  $h_L=200$  mm yükseklikteki orta düzlemden alınmıştır.  $D=100$  mm çaplı deliksiz silindir ile kıyaslandığında delikli silindirlerdeki deliklerden çıkan jet akışının daimi olmayan akış yapısına olumlu etkisi açık şekilde görülmektedir. Reynolds gerilmelerinde geçirgenlik oranının artışıyla birlikte düşüş gözlemlenmiştir. Hız alanları içinde Ancak  $\beta \geq 0,6$  oranından itibaren deliklerden çıkan jet akışının etkisi azalmaktadır. Akış kontrolünde dairesel silindir üzerinde açılan altıgen delikler için  $\beta=0,6$  geçirgenlik oranının en etkili oran olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akış kontrolü, Pasif kontrol, PIV, Girdap kontrolü, Silindir

### The Effect of Hexagonal Perforated Cylinder Porosity on Flow Region Formed Behind the Cylinder

#### Abstract

In previous studies, unsteady flow structure formed behind the circular cylinder was tried to control by outer perforated cylinder with various inner/outer cylinders diameter ratio ( $D_i/D_o$ ) and porosity ratios ( $\beta$ ). In this study, perforation was applied directly on the cylinder (without any outer cylinder) and effect of this process on flow downstream of the cylinder body was investigated. Flow structure formed downstream of a nonpermeable cylinder and six different permeable ( $\beta=0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ ) cylinders was studied via Particle Image Velocimetry (PIV) technique. Diameter of each cylinder was  $D=100$  mm and Reynolds Number was  $Re_D=10000$  based on these diameters. During all experiments,

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Mustafa Atakan AKAR, [aakar@cu.edu.tr](mailto:aakar@cu.edu.tr)

water height was kept constant at  $h_w=400$  depth and image capturing was conducted at  $h_L=200$  mm mid plane of water . Comparing to nonpermeable cylinder, positive impact of porous cylinders on flow control can be seen obviously as a result of jet flow passing through the holes. When porosity ratio of the cylinder increased, a significant reduction of Reynolds Stresses was observed. After porosity ratio  $\beta \geq 0.6$ , jet flow effect was diminished as can be seen in velocity graphics. As a result, the most effective flow control was obtained at  $\beta=0.6$  porosity ratio for hexagonal perforated circular cylinder.

**Keywords:** Flow control, Passive control, PIV, Vortex shedding suppression, Cylinder

## 1. GİRİŞ

Akış içerisinde bulunan küt cisimler ardında meydana gelen akış yapısının incelenmesi Akışkanlar Mekaniğinin önemli konularından birisidir. Akış yapısının anlaşılması, cisim üzerinde oluşan olumsuz etkilerin saptanmasına yardımcı olur. Bu amaçla, Özgoren [1] yaptığı çalışma ile dairesel ve karesel silindir arkasındaki akış yapısını PIV yöntemi ile incelemiştir. Değişik geometrik şekillere sahip cisimler akış ortamında incelenilebilir. Ancak basit yapısı, uygulanabilirliği ve periyodik girdap oluşturması bakımından dairesel silindir yaygın olarak kullanılan geometrilerden birisidir. Dairesel silindir etrafında oluşan akış, makine, havacılık ve inşaat vb birçok alanda görülebilir. Bacalar, köprü taşıyıcı ayakları, gökdelenler boru hatları gibi pek çok mühendislik uygulaması buna örnek olarak gösterilebilir.

Yapılan çalışmalarda cisim arkasındaki periyodik girdapların ve daimi olmayan akışın oluşturduğu sürüklenme kuvveti, dinamik yüzey gerilimleri ve titreşimler sebebiyle yapısal hasarlara sebep olabileceği ortaya konulmuştur [2]. Malzeme iyileştirmesi ile mukavemeti artırma pahalı olabileceği için, dinamik yüklerin ve titreşimlerin sebep olabileceği yorulma, kullanım ömrünün kısalması gibi problemlerin önlenmesi için akış yapısının kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu sebeple aktif ve pasif yöntemler ile akış yapısı kontrol edilmeye çalışılır. Akış yapısının dışardan enerji verilerek kontrol edilmesi aktif kontrol yöntemidir. Fransson ve arkadaşları [3] delikli geçirgen dairesel silindir etrafındaki daimi emme ve üfleminin etkilerini,  $Re=10000$ 'de incelemiştir. Sonuç olarak, emme durumunda sürüklenme kuvvetinde %70, girdap oluşum

uzunluğunda ise %75 azalma gözlemlenmişler, ancak üfleme durumunda akış üzerinde tam tersi bir etki oluştuğunu belirtmişlerdir. Bir diğer aktif kontrol çalışmasında ise, Sudhakar ve Vengadesan [4] silindir arkasına periyodik salınım yapan bir ayırıcı plaka yerleştirmişler ve çeşitli uzunluk ve frekanslarda araştırmalar yapmışlardır. Özellikle düşük frekansa sahip hareketli ayırıcı plakalarda, 5 kat daha kısa plakalarla plakanın sabit olduğu duruma yakın bir kontrol sağlamışlar ve alanın kısıtlı olduğu uygulamalar için düşük salınım yapan ayırıcı plakaların uygun bir metot olacağını ifade etmişlerdir. Akışın pasif yöntemlerle kontrolünde ise, cisim üzerinde veya akış içerisinde yapısal değişiklikler yapmak suretiyle girdaplar kontrol edilmeye çalışılmaktadır. Dışardan enerji gerektirmemesi ve fizibilitesi açısından avantajlı olması sebebiyle mühendislik uygulamalarında ve literatürde pek çok pasif kontrol çalışması görülmektedir. Apelt ve arkadaşları [5] dairesel silindir arkasındaki daimi olmayan akışı, ayırıcı plakalar ile  $104 < Re < 5 \times 10^4$  aralığında kontrol etmeye çalışmışlardır. Igbalajobi ve arkadaşları [6], Gözmen ve arkadaşları [7], Akıllı ve arkadaşları [8] silindir uzunluk oranı, Reynolds sayısı, su derinliği, ayırıcı plakanın konumu, uzunluğu ve yüksekliği gibi parametreleri değiştirerek silindir arkasına yerleştirilen ayırıcı plakalar aracılığıyla akışın kontrolünü sağlamaya çalışan araştırmacılar. Gu ve arkadaşları [9] silindir arkasındaki ayırıcı plakanın serbest bir şekilde hareket edebildiği sistemde akış yapısını gözlemlenmişlerdir. Kunze ve Brücker [10] çalışmalarında, dairesel silindir arkasında esnek ve hareketli plakalar kullanarak akış dinamiklerini PIV yöntemiyle  $5000 < Re < 31000$  aralığında incelemiştir. Plakaların girdap kopmalarını değiştirmede etkili olduğunu ve plakasız duruma göre akış yapısının salınımın akış yönünde %42 ve akış eninde %35 oranlarında azaldığını

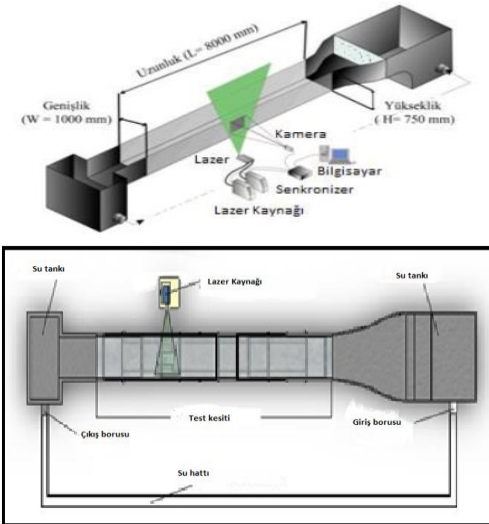
belirtmişlerdir. Zhou ve arkadaşları [11-12] silindir yüzeyinde oluk açma ve çukurcuklama uygulayarak farklı Reynolds sayılarında türbülans istatistiklerini PIV yöntemiyle incelemişlerdir. Bulgularında, sürüklenme ve kaldırma katsayılarında önemli miktarda azalma gözlemlenmişlerdir. Sonuç olarak oluk açmada %18 ile %29 arasında, çukurcuklamada ise %10 ile %30 arasında iyileştirme katetmişlerdir. Akış yapısının delikli geçirgen silindirlerle kontrolü ilk defa Price [13] tarafından 1956 yılında araştırılmıştır. Price farklı geçirgenliklerde delikler kullanarak gerçekleştirdiği çalışma sonucunda, Von Karman Caddesi salınımlarının geciktirilebilmesi sayesinde titreşim ve gürültüde azalma sağlanabileceğini ifade etmiştir. Bu çalışma sonrasında, geçirgen silindirler vasıtasıyla akışın pasif kontrolü pek çok araştırmacının konusu olmuştur. Son yıllarda bu amaçla yapılan çeşitli geçirgen akış kontrol elemanları uygulanan çok sayıda çalışma vardır. Özkan ve arkadaşları [14] çalışmalarında bir silindir etrafına yerleştirilen yüksek geçirgenlik oranındaki ( $\beta=0,7$ ) dairesel dış silindiri, iç silindire bağlı Reynolds sayısı  $Re_{Di}=9000$  olan akış ortamında incelemişler ve delikli dış silindirin türbülans istatistikleri, türbülans kinetik enerjisi ve Reynolds gerilmelerinin azaltılmasında önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Oruç [15], daha aerodinamik geometriye sahip elipse benzer bir delikli dış silindiri akış yapısının kontrolünde denemiştir. Durhasan ve arkadaşları [16] dairesel silindir arkasındaki akışı delikli yarım silindir yardımıyla kontrol etmeye çalışmıştır. Üç farklı yay açısına ( $\alpha=120^\circ$ ,  $150^\circ$  ve  $180^\circ$ ) sahip  $\beta=0,3$ ,  $0,4$ ,  $0,5$ ,  $0,6$ ,  $0,7$  ve  $0,8$  geçirgenlik oranlarındaki kontrol elemanları arasında  $\beta=0,6$  geçirgenlik oranındaki  $\alpha=180^\circ$  yay açısına sahip geçirgen yarım silindiri en etkili akış kontrol elemanı olarak ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada ise geçirgenliğin akış yapısına etkisi, doğrudan cisim üzerinde açılan silindirler ile incelenmiştir. İçinde herhangi başka bir eleman olmayan yalın, delikli geçirgen silindirler üzerinde  $d=10$  mm çaplarında altıgen delikler açılmış ve  $\beta=0,2$ ,  $0,3$ ,  $0,4$ ,  $0,5$ ,  $0,6$ ,  $0,7$  olmak üzere toplam 6 farklı delikli geçirgenlik oranında silindirler PIV yöntemi ile incelenmiştir. Silindirler  $D=100$  mm çapında ve bu çapa bağlı Reynolds sayısı

$Re=10000$  değerindedir. Kıyaslama yapılması için  $D=100$  mm çapında geçirgen olmayan deliksiz bir silindir için aynı akış özellikler altında ölçümler yapılmıştır. Cisim arkasındaki hız vektörleri ve Reynolds gerilmeleri incelenmiş ve en etkin akış kontrolü için en iyi geçirgenlik oranı belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

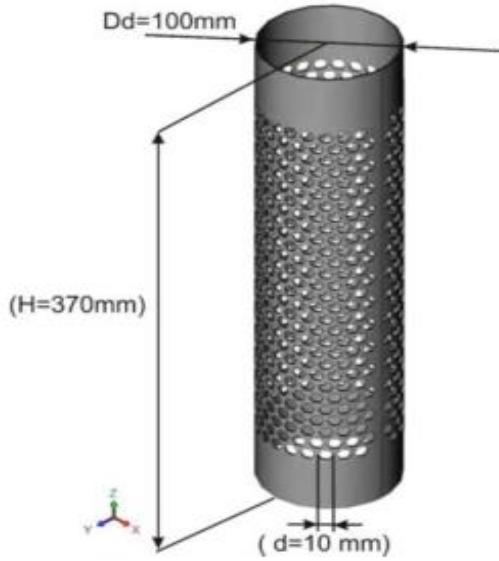
PIV deneyleri, Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında mevcut olan kapalı devre açık su kanalında yapılmıştır. Bu kanal, iki adet depo ve aralarında bulunan 750 mm (yükseklik) x 1000 mm (en) x 8000 mm (boy) ebatlarında saydam akrilik kısımdan oluşmaktadır. Değişik devirlerde çalışabilen santrifüj pompa ile hız kontrol ünitesi aracılığıyla kanal içindeki suyun akış hızı ayarlanabilmektedir. Deneyler süresince laboratuvar ortamının sıcaklığı  $22C^\circ$  olarak sabit tutulmuştur. Şekil 1'de su kanalının şematik görünüşleri mevcuttur.



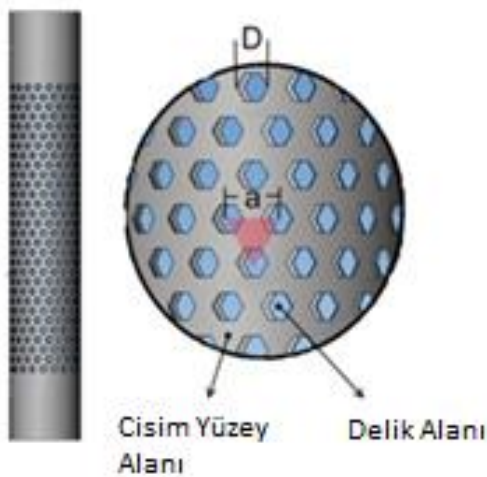
Şekil 1. Su kanalının şematik görünüşleri

Bu çalışmada dış silindirler üzerine açılan deliklerin konumları ve sayıları, geçirgenlik oranına bağlı olarak belirlenmiştir. Delikli levhalar, AutoCAD programında geçirgenlik oranı gözetilerek yapılan çizimlere göre lazer

makinesinde kesim işlemiyle üretilmiştir.  $t=1,5$  mm kalınlığındaki paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiş levhalar üzerine çapları  $d=10$  mm olan altgen delikler açılmıştır. Bu işlemden sonra levhalar kıvrılarak  $D=100$  mm çapında  $\beta=0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7$  geçirgenlik oranlarına sahip geçirgen silindirlere haline getirilmişlerdir. Ayrıca, üzerinde delik açma işlemi yapılmayan bir adet  $100$  mm çapında silindir imalatı da gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Deneysel olarak kullanılan delikli bir silindir



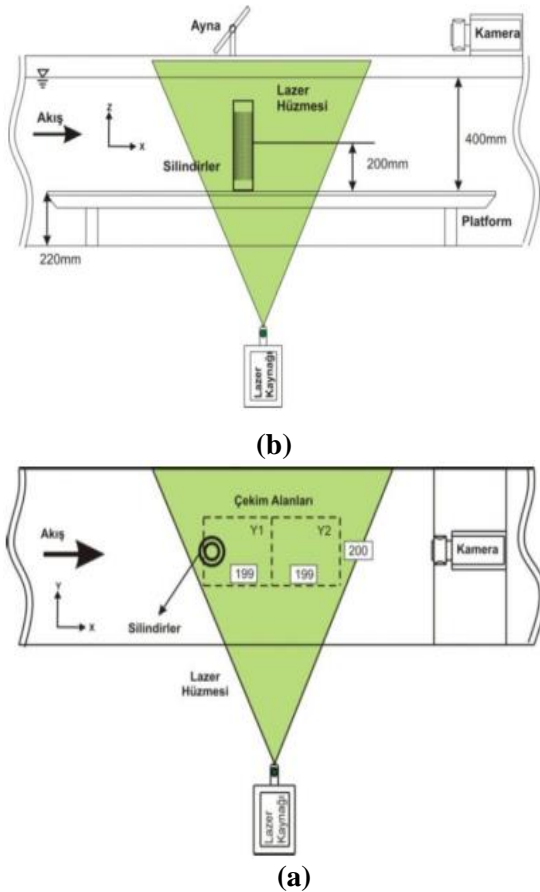
Şekil 3. Açılan deliklerin yakından görünüşü

Deneysel, su kanalına yerleştirilen  $h_p=220$  mm yüksekliğinde bir platform üzerinde yapılmıştır. Bununla amaç, sınır tabaka akış bölgesinden uzaklaşıp, istenilen Reynolds sayısını sağlayacak üniform akış hızının elde edilmesidir.  $2300$  mm uzunluğundaki bu platformun  $980$  mm genişliğindeki platform yüzeyi ile su yüzeyi arasındaki mesafe  $h_w=400$  mm olarak belirlenmiştir. Lazer hüzmesi  $200$  mm yükseklikteki orta düzlemdaki akış alanına lazer kaynağı tarafından gönderilmiştir. Deneysel boyunca her silindir için  $350$  adet anlık görüntü kaydedilmiştir. Hız vektörleri, kaydedilen görüntülerin prosesleri yapılarak hesaplanmıştır. Bu verilerden yararlanılarak diğer akış karakteristikleri ve türbülans istatistikleri belirlenmiştir.

Parçacık görüntülemeli hız ölçme (PIV) tekniği sayesinde akış içerisinde akış ile yaklaşık olarak aynı hızda hareket eden gümüş kaplı partiküllerin hızları ölçülerek, akış yapısı hakkında anlık veya ortalama bilgi elde edilebilmektedir. PIV tekniğiyle, su içerisinde  $10-20$  mikrometre çapında ve özkütlesi suyun özkütlesine yakın gümüş kaplı partiküller eklenip bu partiküllerin hareketleri izlenerek iki boyutlu hız ölçümü yapılabilmektedir. Partiküllerin özkütlesi, suyun özkütlesine kıyasla nispeten büyük olmasına karşın (yaklaşık  $1100 \text{ kg/m}^3$ ) mikron mertebesindeki küçük boyutlarından dolayı su ile aynı hızda hareket ettikleri varsayılabilir. Optik araçlarla istenilen kalınlık ve genişlikte lazer hüzmesi olarak gönderilebilen lazer ışınları,  $120 \text{ mJ}$  gücündeki çift darbeli Nd: YAG lazer kaynağı tarafından üretilmektedir. Lazer kaynağı aracılığıyla saniyede  $15$  lazer çifti gönderilmiştir. Akış alanında hareket eden partiküllerin hareketleri, lazer kaynağı ile aydınlatılarak mili saniye boyutundaki ( $\Delta t$ ) zaman aralıklarında Sony DRC-TR355E dijital kamera aracılığıyla kaydedilmiştir.

İki farklı akış alanı için iki adet fotoğraf çekimi yapılmıştır. Çekilen bu fotoğraflar, piksel piksel küçük alt bölgelere ayrılarak, her bir alt bölgede bulunan iki fotoğraf arasındaki farklar yardımıyla partiküllerin yer değiştirmeleri belirlenmiştir. Fotoğraflar bilgisayara aktarıldıktan sonra anlık hız vektörleri yapılan prosesler sonucunda

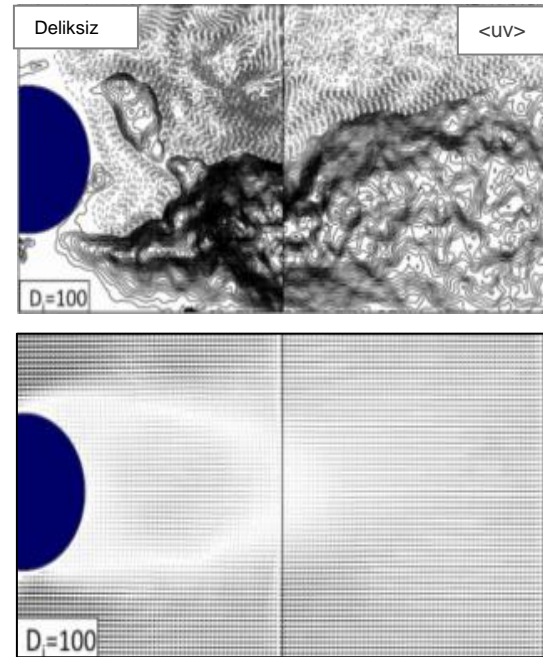
hesaplanmaktadır. Darbeli lazer kaynağı kullanıldığı için lazerle kameranın eş zamanlı olarak çalışmasını senkronizer (eş zamanlayıcı) sağlamakta ve bu senkron bilgisayar aracılığıyla kontrol edilmektedir. Bilgisayarda fotoğraflar, 32x32 piksel olarak küçük alt bölgelere bölündükten sonra ve Hızlı Fourier dönüşümüyle, her bir alt bölgedeki partiküllerin yer değiştirmeleri farklı zamanlarda çekilen görüntüler arasındaki farklar sayesinde belirlenmektedir. Nyquist kriterini sağlamak ve Vektör sayısını arttırmak için hız vektörü hesaplandıktan sonra ağ yapısı %50 oranında üst üste bindirilerek kaydırılır ve bu fotoğrafların bilgisayardaki prosesleri sonucunda anlık hız vektörleri belirlenmektedir. Şekil 4'te deneyin şematik olarak yan (a) ve üst (b) görünüşleri verilmiştir.



Şekil 4. Deney düzeneğinin şematik gösterimi (a: yan görünüşü, b: üst görünüşü)

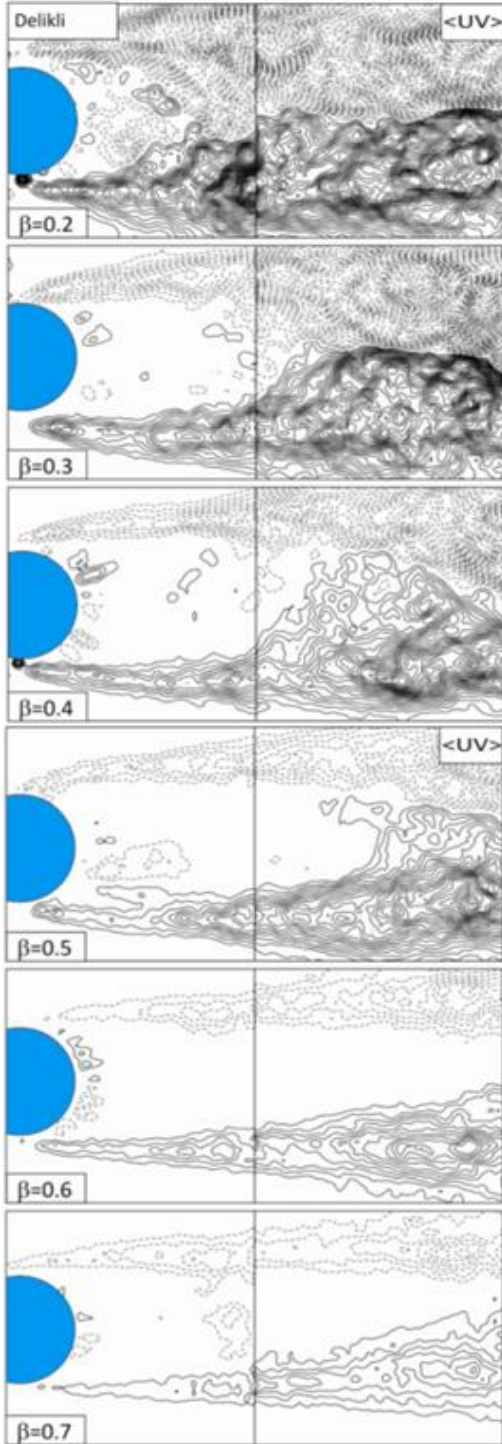
### 3. SONUÇ

Bu çalışmada dairesel silindir etrafında herhangi bir akış kontrol elemanı kullanılmadan, doğrudan dairesel silindir üzerinde  $d=10$  mm çapında olan altıgen delikler açılarak akış kontrolü üzerine etkisi gözlemlenmiştir. Silindir arkasındaki akış yapısı deneysel olarak PIV tekniği ile incelenilmiştir. Çapları  $D=100$  mm olan bir adet deliksiz ve  $\beta=0,2-0,7$  aralığında 0,1 artımlarla geçirgenlik oranına sahip 6 adet delikli silindirin türbülans parametreleri belirlenmiştir. Y1 ve Y2 çekim alanları birleştirilerek tek bir çekim alanı olarak gösterilmiştir. Şekil 5'de  $D=100$  mm çapında deliksiz ve geçirgen olmayan silindir arkasında meydana gelen Reynolds gerilmeleri  $\langle uv \rangle$  (artım oranı 0,001 ve minimum değeri  $\pm 0,001$ ) ve hız alanları  $\langle v \rangle$  çizimleri vardır. Şekil 6'da delikli silindirlerin artım oranı 0,001 ve minimum değeri  $\pm 0,001$  olan Reynolds gerilme  $\langle uv \rangle$  konturlarının çizimleri gösterilmiştir. Şekil 7'de ise yine geçirgen silindirler arkasındaki ortalama hız alanları gösterilmiştir.

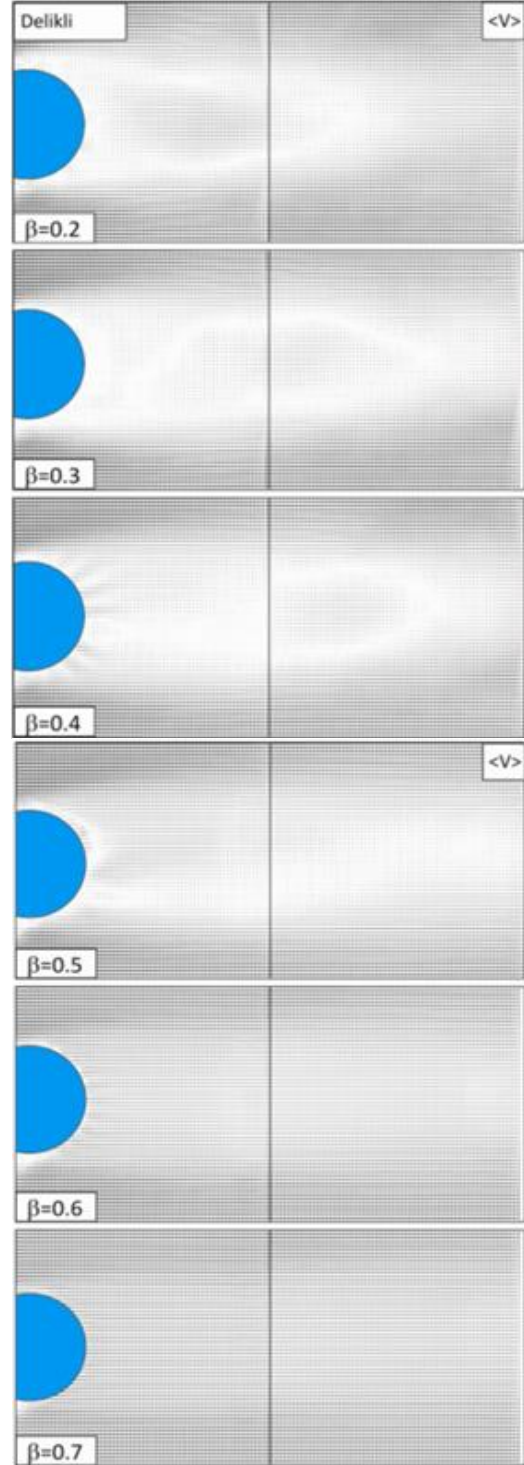


Şekil 5.  $D=100$  mm çapındaki deliksiz silindir arkasında oluşan Reynolds gerilme ve hız alanı çizimleri





Şekil 6. Deliksiz ve delikli silindirlerin arkasındaki Reynolds gerilmeleri



Şekil 7. Delikli silindir arkasındaki hız alanları

Şekil 6'da, Reynolds gerilme konturları artım oranları 0,001 ve minimum değerler 0,001 olacak şekilde çizilmiştir. Aynı çaptaki geçirgen olmayan silindire kıyaslandığında, deliklerden çıkan jet akışı ile silindir arkasındaki akış yapısının etkilendiği belirgin bir şekilde görülebilmektedir. Deliklerden çıkan jet akışı, Reynolds gerilmelerinin yoğunluğunu azaltmıştır. Ayrıca bu akış, momentum transferinin ölü akış bölgesine doğru olmasını engellemiştir. Silindire arkasında oluşan Reynolds gerilmelerin yoğunluğunun, geçirgenlik oranının artmasına bağlı olarak önemli derecede azaldığı görülmektedir. Özellikle  $\beta \leq 0,6$  geçirgenlik oranına kadar, geçirgenlik oranının artması Reynolds gerilme değerlerini hızlı bir şekilde azaltmıştır. Ancak silindir yüzeyindeki altıgen deliklerin sayısının artması sebebiyle,  $\beta \geq 0,6$  oranından itibaren deliklerden çıkan jet akışının etkisinin azalmakta olduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 7'de geçirgen silindir arkasında meydana gelen akışın ortalama hız alanları gösterilmiştir. Şekil 5'de gösterilen  $D=100$  mm çapa sahip deliksiz silindir ile Şekil 7'de gösterilen delikli geçirgen silindire karşılaştırıldığı zaman, silindir arkasında meydana gelen iz bölgesinin eninin daraldığı ve boyunun akış doğrultusunda uzadığı görülmektedir. Ancak,  $\beta > 0,5$  oranından itibaren, geçirgenlik oranının artmasıyla beraber silindir yüzeyindeki delik sayısının artması nedeniyle deliklerden çıkan jet akışının etkisini azaldığı söylenebilir.

Sonuç olarak, bir adet deliksiz ve 6 adet farklı geçirgenlikte dairesel silindire akış ortamında deneysel olarak PIV tekniği kullanılarak incelenmiştir. Doğrudan cisim üzerinde açılan deliklerin cisim arkasında meydana gelen daimi olmayan akış yapısını kontrol etmede etkili bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca geçirgenlik oranının artması türbülans istatistiklerini azaltmıştır. Ancak  $\beta > 0,6$  oranından itibaren, geçirgenliğin artması daimi olmayan yapısının kontrolü için büyük bir farklılık yaratmamıştır. Silindir üzerinde açılan deliklerde  $\beta = 0,6$  geçirgenlik oranının akış kontrolü için en etkili oran olduğu gözlemlenmiştir.

#### 4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından BAP-FBE MEEE (MK) 2012-3 YL'nolu proje tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmadaki deneyler Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Ozgoren, M., 2006. Flow Structure in the Downstream of Square and Circular Cylinders, Flow Meas., Instrum., vol. 17, no. 4, pp. 225–235.
2. Williamson, C.H.K., 1996. Vortex Dynamics in the Cylinder Wake, Annu. Rev. Fluid Mech., Jan. 1996, vol. 28, no. 1, pp. 477–539.
3. Fransson, J.H.M., Konieczny, P., Alfredsson, P.H., 2004. Flow Around a Porous Cylinder Subject to Continuous Suction or Blowing, J. Fluids Struct., vol. 19, no. 8, pp. 1031–1048.
4. Sudhakar, Y., Vengadesan, S., 2012. Vortex Shedding Characteristics of a Circular Cylinder with an Oscillating Wake Splitter Plate, Comput. Fluids, vol. 53, no.1, pp. 40–52.
5. Apelt, C.J., West, G.S., Szewczyk, A.A., 1973. The Effects of Wake Splitter Plates on the Flow Past a Circular Cylinder in the Range  $10 < R < 5 \times 10^4$ , J. Fluid Mech., Oct. 1973, vol. 61, no. 01, p. 187.
6. Igbalajobi, A., McClean, J.F., Sumner, D., Bergstrom, D.J., 2013. The Effect of a Wake-mounted Splitter Plate on the Flow around a Surface-mounted Finite-height Circular Cylinder, J. Fluids Struct., vol.37, pp. 185–200.
7. Gözmen, B., Akıllı, H., Şahin, B., 2013. Passive Control of Circular Cylinder Wake in Shallow Flow. Measurement, J. Int. Meas. Confed, 46: 1125-1136.
8. Akıllı, H., Şahin, B., Filiz Tumen, N., 2005. Suppression of Vortex Shedding of Circular Cylinder in Shallow Water by a Splitter Plate, Flow Meas. Instrum., vol. 16, no.4, pp. 211–219.
9. Gu, F., Wang, J.S., Qiao, X.Q., Huang, Z., 2012. Pressure Distribution, Fluctuating Forces

- and Vortex Shedding Behavior of Circular Cylinder With Rotatable Splitter Plates, *J. Fluids Struct.*, vol. 28, pp. 263–278.
10. Kunze, S., Brücker, C., 2012. Control of Vortex Shedding on a Circular Cylinder using Self-adaptive Hairy-flaps, *Comptes Rendus-Mec.*, vol. 340, no. 1–2, pp. 41–56.
  11. Zhou, B., Wang, X., Guo, W., Gho, W.M., Tan, S.K., 2015. Experimental Study on Flow Past a Circular Cylinder With Rough Surface, *Ocean Eng.*, vol. 109, pp. 7–13.
  12. Zhou, B., Wang, X., Guo, W., Gho, W.M., Tan, S.K., 2015. Control of Flow Past a Dimpled Circular Cylinder, *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 69, pp. 19–26.
  13. Price, P., 1956. Suppression of the Fluid-Induced Vibration of Circular Cylinders, *J. Eng. Mech. Div.*, vol. 82, no.3, pp. 1–22.
  14. Ozkan, G.M., Akilli, H., Sahin, B., 2013. Effect of High Porosity Screen on the Near Wake of a Circular Cylinder, *EPJ Web Conf.*, vol. 01071, pp.1–5.
  15. Oruç, V., 2012. Passive Control of Flow Structures Around a Circular Cylinder by using Screen, *J. Fluids Struct.*, vol. 33, pp. 229–242.
  16. 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, *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 79, pp. 101–110.