



<http://dx.doi.org/10.17776/cumuscij.295476>

Kare Kesitli Engellerle Donatılmış Kanal Akışının PIV Yöntemiyle Deneysel Olarak İncelenmesi

Cahit GÜRLEK

Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas, Türkiye

Received: 28.02.2017; Accepted: 10.04.2017

Özet. Bu çalışmada kare kesitli engellerle donatılmış bir kanal içerisindeki akış yapısı parçacık görüntülemeli hız ölçme yöntemi (PIV) kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Zaman ortalama, anlık akış alanları ve türbülans istatistikleri üç farklı Reynold sayısı $Re=2900$, 8400 ve 15000 için detaylı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akış ayrılması, kanal akışı, kare kesitli engeller, PIV

Experimental Investigation of the Channel Flow Equipped with Rectangular Obstacles by Means of PIV Method

Abstract. The characteristics of the flow fields in a rectangular channel equipped with cylindrical ribs were examined through particle image velocimetry (PIV) experiments. The mean and instantaneous flow fields and turbulence statistics were presented for three Reynolds numbers of 2900, 8400 and 15000 in detail.

Keywords: Channel flow, flow separation, PIV, rectangular obstacles

1. GİRİŞ

Yüzeylerine engeller yerleştirilmiş kanallar; ısı değiştiricileri, güneş kolektörleri, elektronik elemanların, türbin kanatlarının ve nükleer reaktörlerin soğutulması gibi çok sayıda mühendislik uygulamasıyla yakından ilgilidir ve bu nedenle birçok deneysel ve sayısal araştırmaya konu olmuştur.

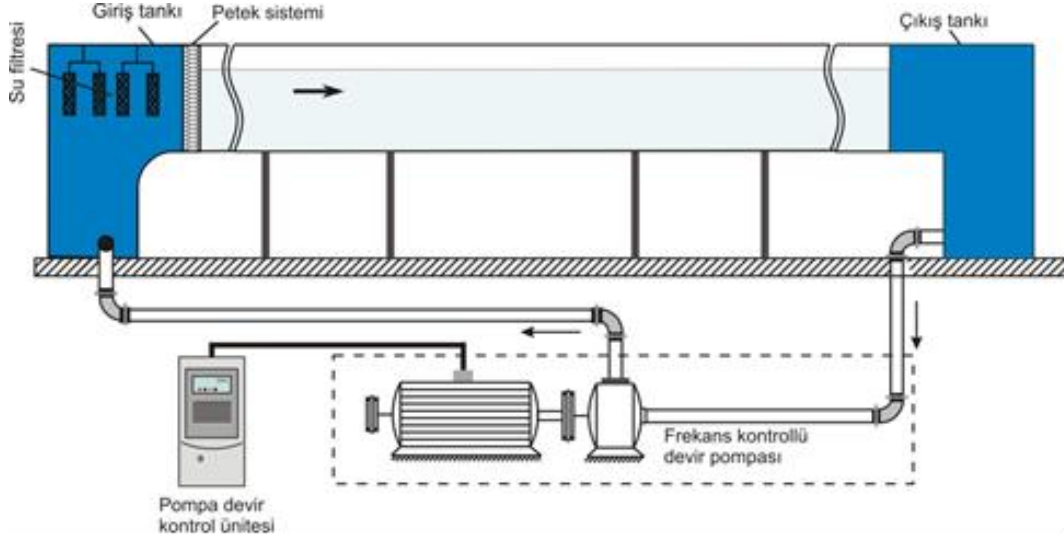
İlk çalışmaların birçoğunda sadece tek ya da sınırlı sayıda engel dizilimi incelenmiş ve veriler tek bir noktadan elde edilmiştir [1-4]. Sonraki çalışmalarda daha gelişmiş sayısal ve deneysel yöntemler kullanılarak; engeller arası mesafe-kanal yüksekliği oranı, engel yüksekliği-kanal yüksekliği oranı, kanal en-yükseklik oranı, engel geometrisi, engellerin akış yönüne göre yerleştirilme açıları, v.b. parametrelerin ısı ve akış karakteristiklerine olan etkileri incelenmiştir [1-15].

Yüzeylerine engeller yerleştirilmiş kanallar içerisindeki akış; sınır tabaka ayrılmaları ve birleşmeleri, köşe girdapları ve ayrılmış akış alanları gibi karmaşık yapılardan oluşmaktadır. Bu nedenle henüz tam olarak anlaşılmaktan uzaktır ve detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan çalışmaların çoğunluğunda akıştan çok ısı transferi karakteristikleri incelenmektedir. Bu çalışmada, bir yüzeyinde kare kesitli engeller bulunan kanal içerisindeki akış yapısı parçacık görüntülemeli hız ölçme yöntemi (PIV) kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Akış alanına ait: zaman ortalama ve anlık hız vektörleri, girdap eş eğrileri, akım çizgileri ve türbülans istatistikleri elde edilmiştir.

* Corresponding author. Email address: cgurlek@cumhuriyet.edu.tr

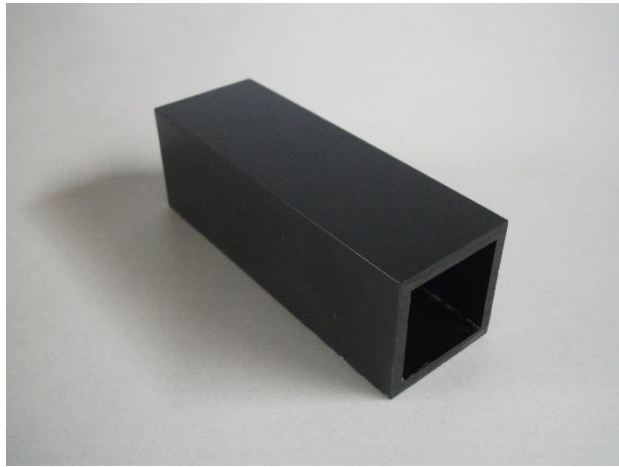
2. YÖNTEM

Deneyler Şekil 1’de şematik olarak sunulan kapalı çevrim açık yüzey su kanalında gerçekleştirilmiştir. Su kanalı iki adet su deposu ve bu iki depo arasında bulunan 750mmx1000mmx8000mm boyutlarında akrilik malzemeden imal edilmiş saydam ölçüm alanından oluşmaktadır. Kanal içerisindeki çevrim bir santrifüj pompa ile gerçekleştirilmekte ve serbest akış hızı hız kontrol ünitesiyle ayarlanmaktadır.



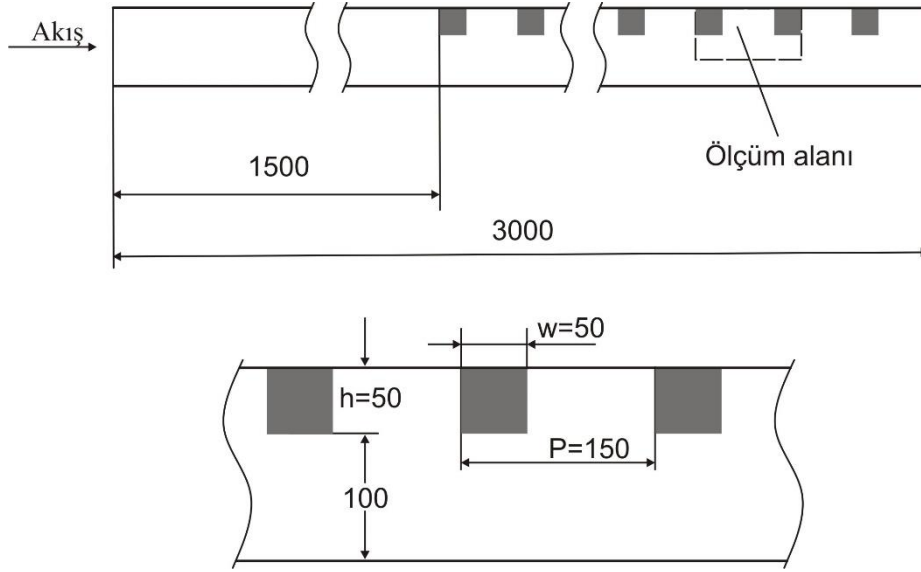
Şekil 1. Kapalı çevrim çalışan açık su kanalının şematik görünümü [16]

Deneyleri gerçekleştirebilmek için bir yüzeyinde kare kesitli engeller bulunan kanal bir masanın üzerine yerleştirilerek su kanalının içerisine daldırılmıştır. Kanal uzunluğu $L=3000$ mm ve kesit ölçüleri $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ dir. Kanal duvarları optik geçirgenliği sağlamak için 10 mm kalınlığında saydam akrilik malzemeden imal edilmiştir. Kanalın bir yüzeyine 50 mm yüksekliğinde ve 50 mm genişliğinde on adet kare kesitli engel akışla 90° açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Kare kesitli engeller akrilik malzemeden imal edilmiş ve lazer yansımalarını önlemek amacıyla yüzeyleri mat siyah film tabakasıyla kaplanmıştır (Şekil 2). Engeller arası mesafe-engel yüksekliği oranı, $P/h=3$ ve kanal yüksekliği-engel yüksekliği oranı, $H/h=3$ tür. Şekil 3’de bir yüzeyinde kare kesitli engeller bulunan kanal şematik olarak sunulmuştur.



Şekil 2. Kanal yüzeyine yerleştirilen kare kesitli engel

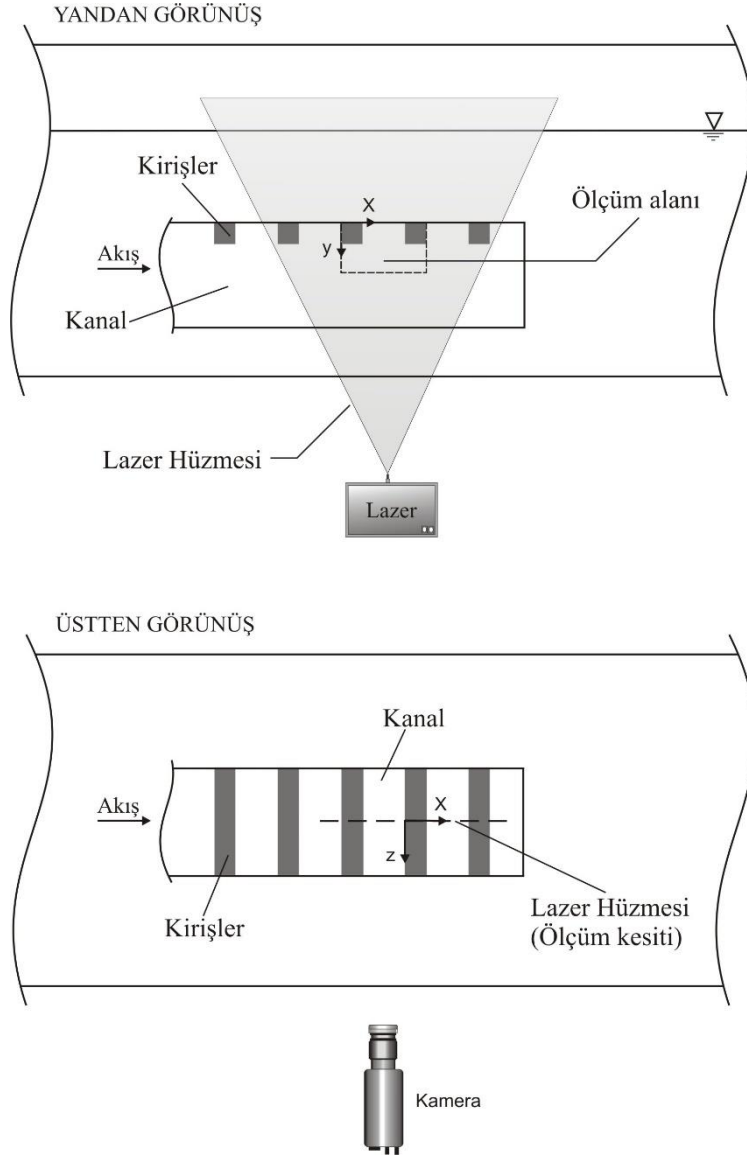
GÜRLEK



Şekil 3. Bir yüzeyinde kare kesitli engel bulunan kanalın şematik görünümü

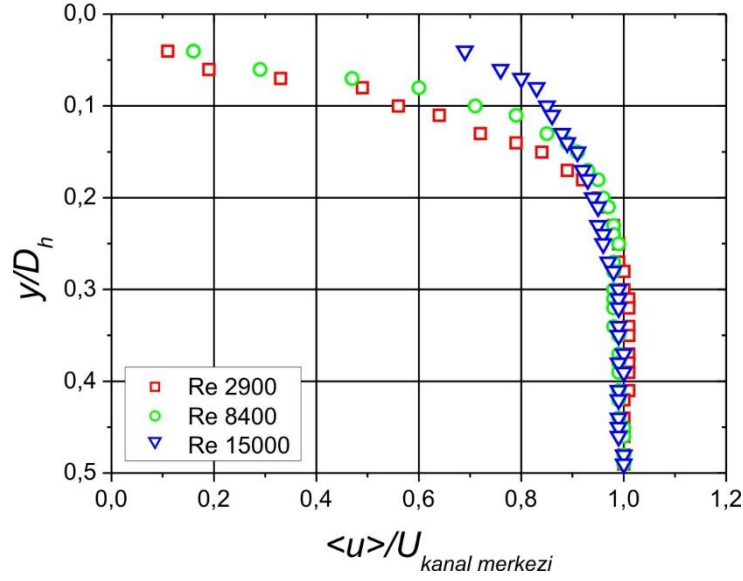
Deney kurulumu Şekil 4’de şematik olarak sunulmuştur. Ölçümler kanalın düşey simetri ekseninde, tam gelişmiş akış yapısını sağlamak için 8. ve 9. engeller arasında gerçekleştirilmiştir. Akış alanı; bir adet lazer kaynağı, bir adet yüksek çözünürlüklü dijital kamera, eş zamanlayıcı ve çeşitli optik gereçlerden oluşan iki boyutlu Dantec PIV sistemi kullanılarak elde edilmiştir. Ölçüm alanı çift darbeli Nd:YAG lazer kaynağıyla (120 mJ, 532 nm) aydınlatılmıştır. Lazer perdesiyle aydınlatılan akış alanı, 1600x1200 pixel çözünürlüklü Nikon AF Micro 60f/2.8D dijital kamerasıyla kaydedilmiştir. İki lazer darbesi arasındaki zaman aralığı ve lazer perdesinin kalınlığı yeterli parçacık yer değiştirme mesafesini sağlayacak şekilde seçilmiştir. Akış alanı 32x32 pixel boyutlarında alt alanlara ayrılmış ve %50 üst üste bindirilmiştir. Hız alanları, Hızlı Fourier Dönüşümü’ne (FFT) dayanan çapraz korelasyon (cross-correlation) tekniği kullanan Flow Map yazılımıyla elde edilmiştir. Zaman-ortalama akış özelliklerini elde etmek için 15 Hz frekansla N=350 adet anlık hız alanı ölçülmüştür.

Kare Kesitli Engellerle Donatılmış Kanal



Şekil 4. Deney kurulumunun şematik görünümü

PIV ölçümleri kanal hidrolik çapı, D_H ve kanal girişinden $9 D_H$ uzaklıkta elde edilen ortalama hız U_m 'ye bağlı olarak hesaplanan üç farklı Reynolds sayısı: $Re=2900$, 8400 ve 15000 için gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'de kanal girişinden $9 D_H$ uzaklıktaki hız profilleri sunulmuştur.

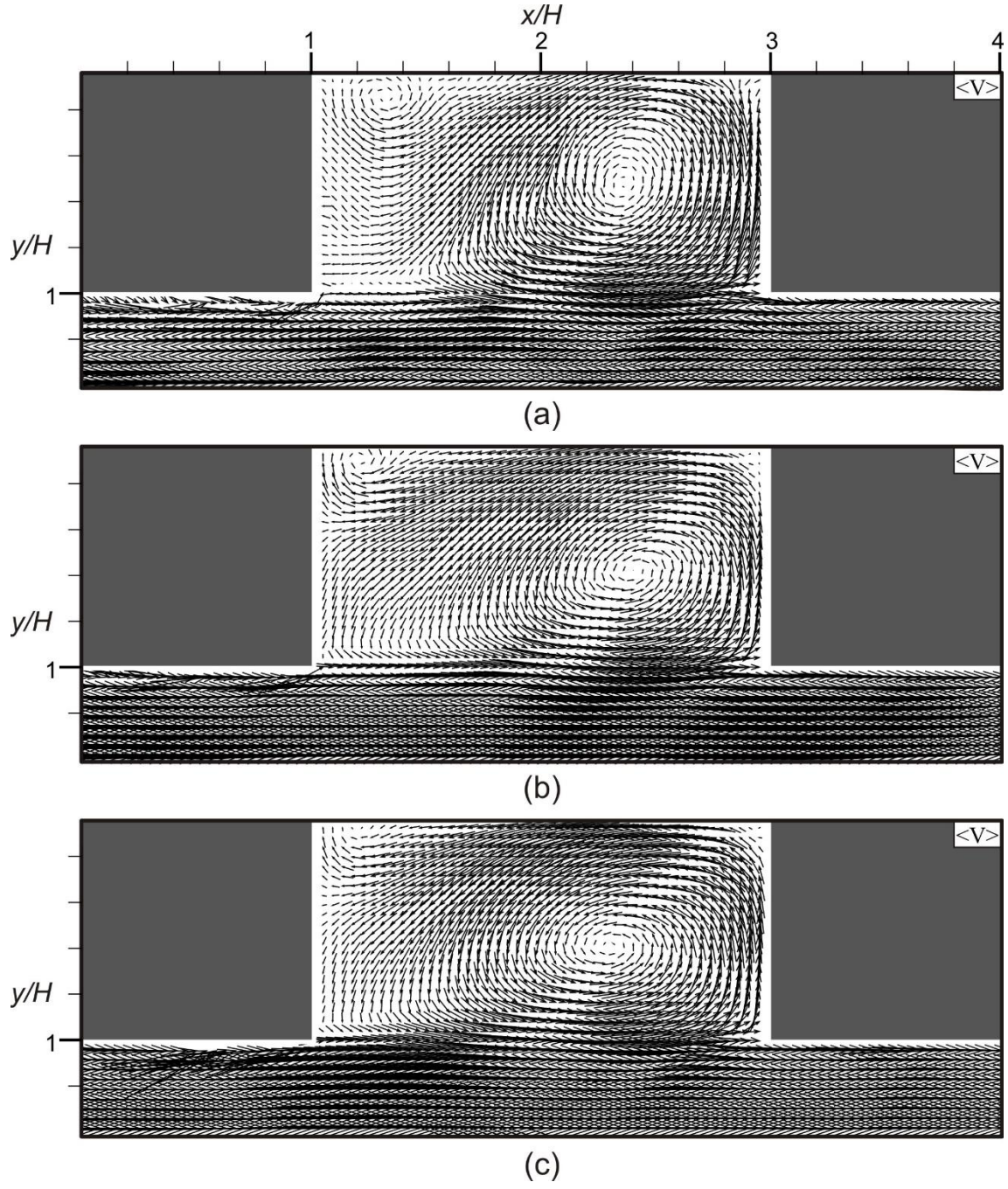


Şekil 5. Kanal girişinden $9 D_H$ uzaklıktaki hız profilleri

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

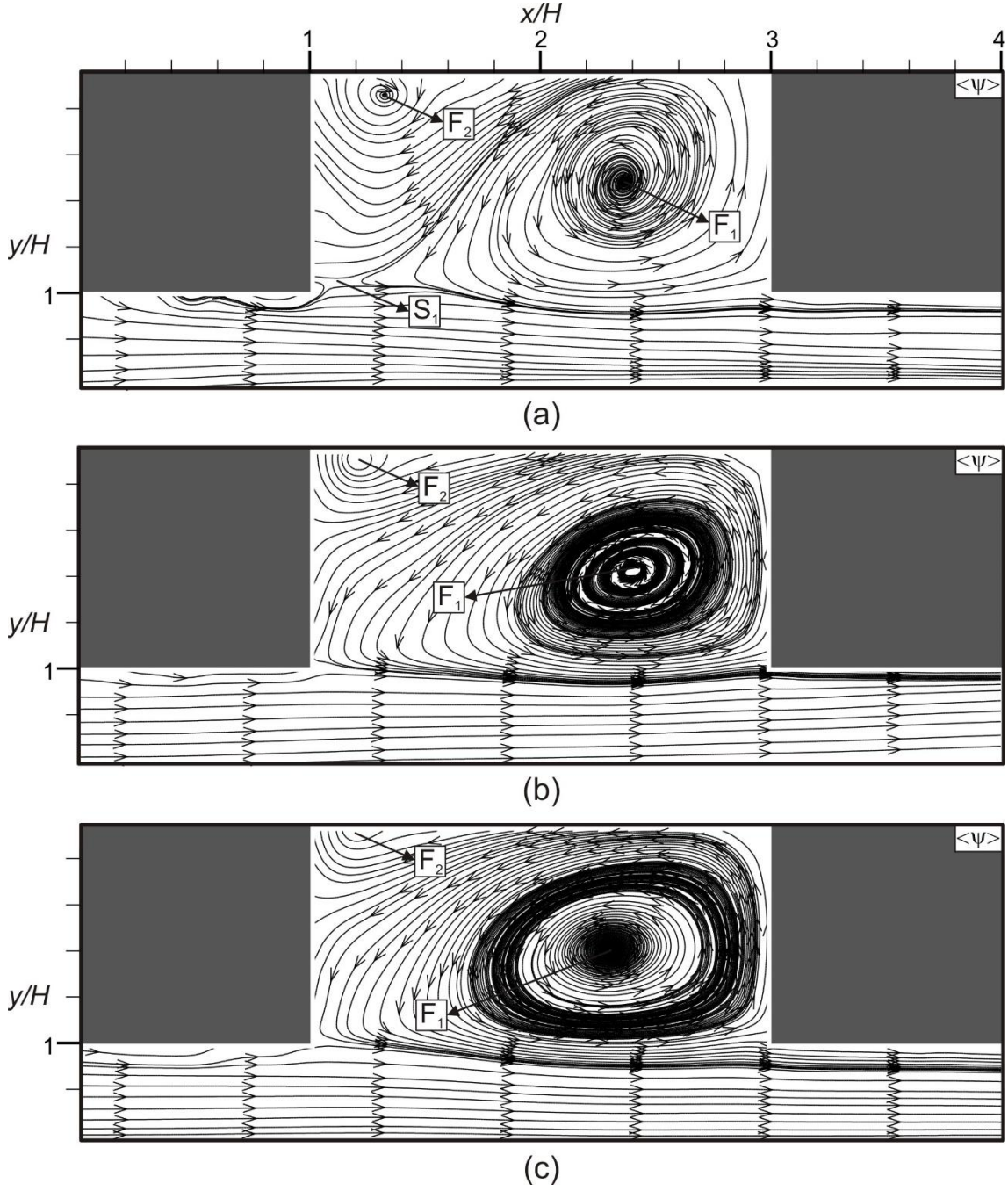
Koordinat sistemi Şekil 4'de görülmektedir. Burada, x akış yönündeki eksen, y (aşağı doğru) ve z sırasıyla yüzey normalini ve akışa dik yöndeki eksen göstermektedir. Farklı Reynolds sayılarının için 8. ve 9. engeller arasındaki zaman ortalama hız vektörü alanları, $\langle V \rangle$ ve akım çizgileri, $\langle \psi \rangle$ sırasıyla Şekil 6 ve 7'de sunulmuştur. Burada F_1 ve F_2 hızın sıfır olduğu sirkülasyon merkezlerini, S_1 ise eyer noktasını (saddle point) göstermektedir. Reynolds sayısı, $Re=2900$ için sol engel üzerindeki ayrılmış akış bölgesi açıkça görülmektedir. Her üç Reynolds sayısında da sağdaki engel yüzeylerinde akış ayrılması oluşmamaktadır. Gelen akış, soldaki engelin keskin sağ köşesinden ayrılmakta ve oluşan sirkülasyon alanı engeller arasındaki bölgeyi kaplamaktadır. Soldaki engelin sağ alt köşesinde, ana dolanım alanıyla ters yönde dönen bir çevrinti açıkça görülmektedir. Bu çevrinti alanı, kanal yüzeyine çarparak yüzeyden ayrılan akıştan kaynaklanmakta ve Reynolds sayısı arttıkça kapladığı alan küçülmektedir. Ana sirkülasyon alanının dışındaki bölgede akım çizgileri hemen hemen birbirine paraleldir.

Kare Kesitli Engellerle Donatılmış Kanal



Şekil 6. Hız alanları, $\langle V \rangle$: (a) $Re=2900$; (b) $Re=8400$; (c) $Re=15000$

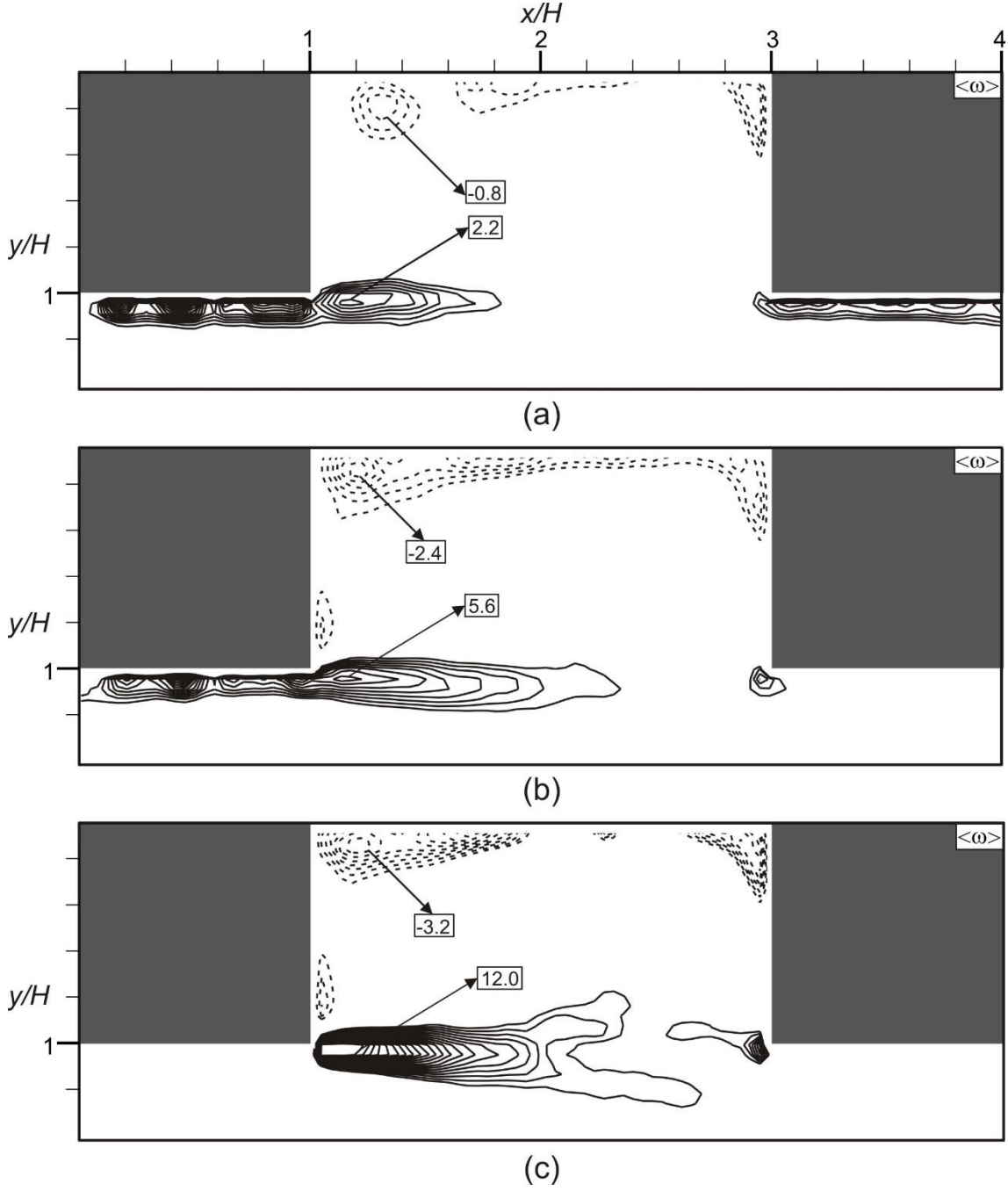
GÜRLEK



Şekil 7. Akım çizgileri, $\langle \psi \rangle$: (a) $Re=2900$; (b) $Re=8400$; (c) $Re=15000$

Zaman ortalama eş değer girdap eğrileri, $\langle \omega \rangle$ Şekil 8'de görülmektedir. Pozitif (saatin tersi yönünde) ve negatif (saat yönünde) eş değer girdap eğrileri sırasıyla düz ve kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Kanal yüzeyine yapışık negatif eş değer girdap eğrileri, artan Reynolds sayısı ile birlikte kanal yüzeyinde iki engel arasındaki boşluğu kaplamaktadır. Akış alanında sol engelden kaynaklanan eş değer girdap eğrisi açıkça görülmektedir. Reynolds sayısının artmasıyla birlikte, sol engelden ayrılan pozitif eş değer girdap eğrisi hemen hemen kanal yüzeyine paralel olarak uzayıp düşey eksende genişlemekte ve ikinci engelin sol köşesindeki pozitif eş değer girdap eğrisi ile birleşme eğilimi göstermektedir.

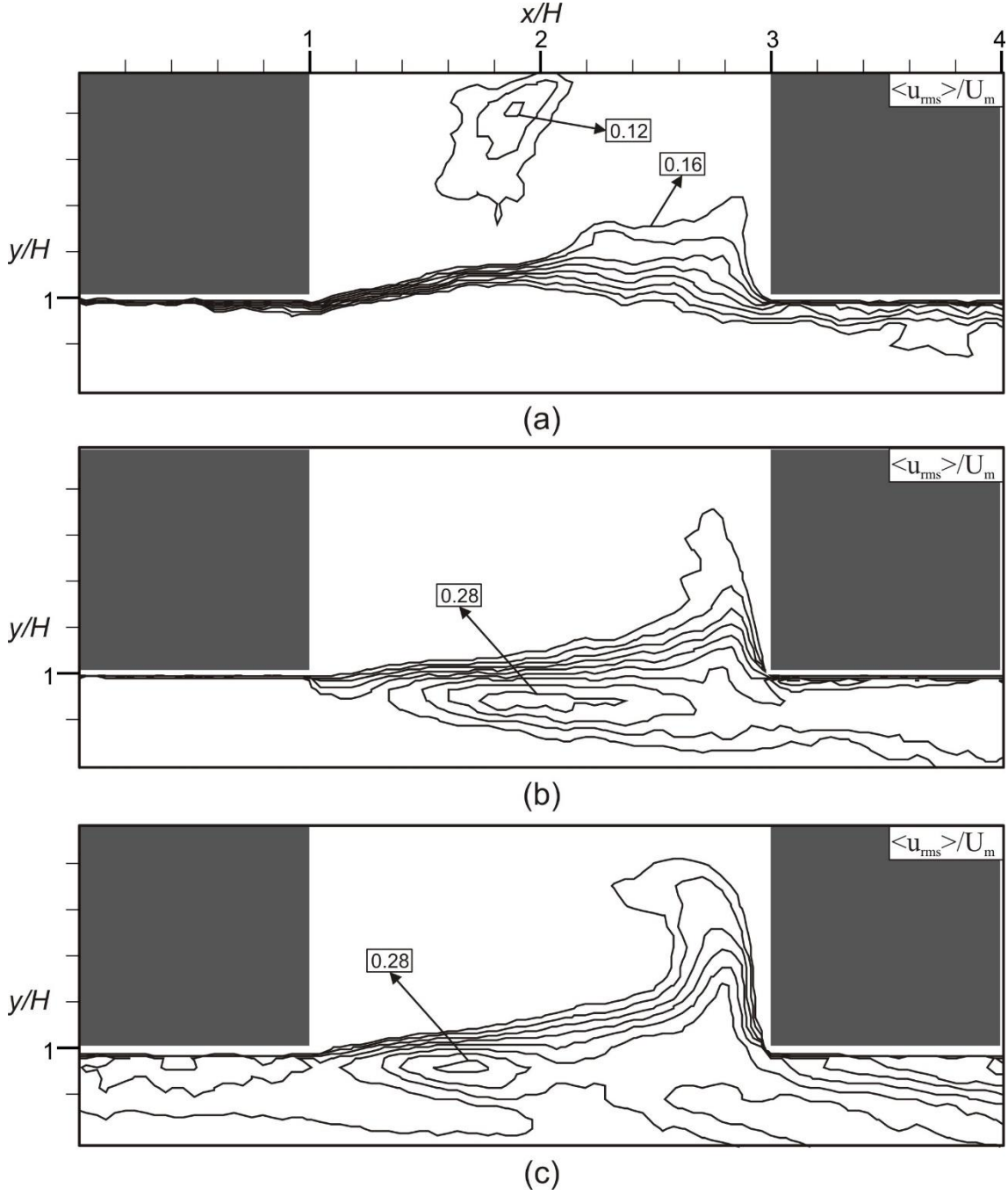
Kare Kesitli Engellerle Donatılmış Kanal



Şekil 8. Girdap eş değer eğrileri, $\langle \omega \rangle$: (a) $Re=2900$, $\Delta \langle \omega \rangle = 0.2 \text{ s}^{-1}$; (b) $Re=8400$, $\Delta \langle \omega \rangle = 0.4 \text{ s}^{-1}$; (c) $Re=15000$, $\Delta \langle \omega \rangle = 0.4 \text{ s}^{-1}$

Şekil 9’da, akım yönündeki hız bileşeninin zaman ortalama salınım şiddeti eş değer eğrileri $\langle u_{rms} \rangle / U_m$ sunulmuştur. Burada akım yönündeki hız bileşeninin salınım şiddeti ortalama hız, U_m ile boyutsuzlaştırılmıştır. Yüksek salınım şiddetleri, engellerin keskin köşelerinden yayılan serbest kayma tabakaları boyunca gözlemlenmiştir. Hız salınım eş değer eğrileri soldaki engelden başlayıp sağdakine kadar yayılmakta ve sağdaki engel yakınlarında düşey eksende kanal yüzeyine doğru genişlemektedir.

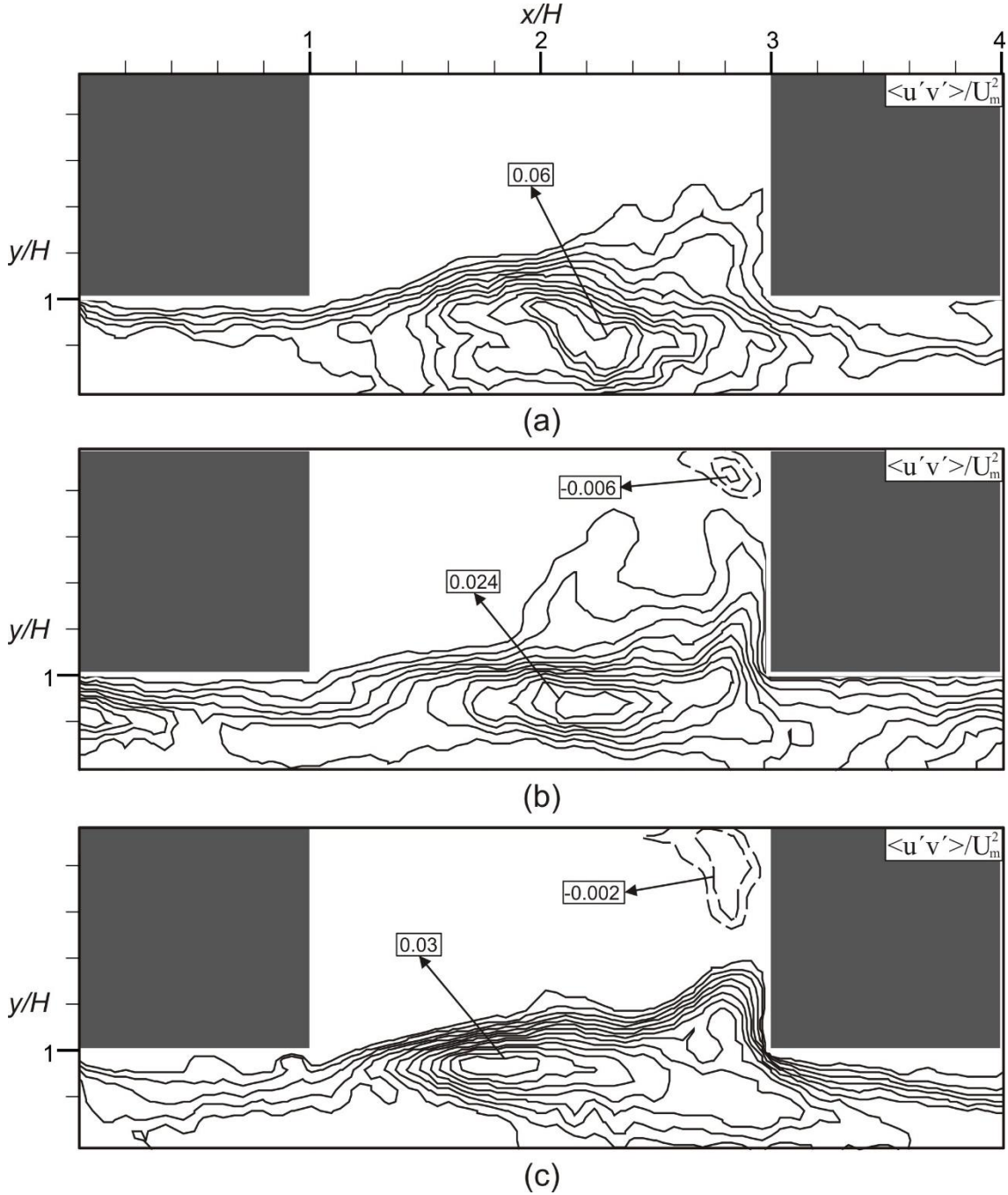
GÜRLEK



Şekil 9. Akış yönündeki hız bileşeninin salınım şiddeti eş değer eğrileri, $\langle u_{rms} \rangle / U_m$: (a) $Re=2900$, $\Delta \langle u_{rms} \rangle / U_m=0.02$; (b) $Re=8400$, $\Delta \langle u_{rms} \rangle / U_m=0.02$; (c) $Re=15000$, $\Delta \langle u_{rms} \rangle / U_m=0.02$

Reynolds gerilmesi eş değer eğrileri, $\langle u'v' \rangle / U_m^2$ Şekil 10'da görülmektedir. Burada Reynolds gerilmeleri, ortalama hızın karesi U_m^2 ile boyutsuzlaştırılmıştır. Pozitif eş değer Reynolds gerilmesi eğrileri engeller arasında uzamakta ve serbest kayma tabakaları etrafında yoğunlaşmaktadır. Artan Reynolds sayılarıyla birlikte eş değer Reynolds gerilmesi eğrileri düşey yönde genişlemektedir. Reynolds sayıları $Re=8400$ ve 15000 'de sağdaki engelin alt köşesine yakın negatif eş değer Reynolds gerilmesi eğrileri açıkça görülmektedir.

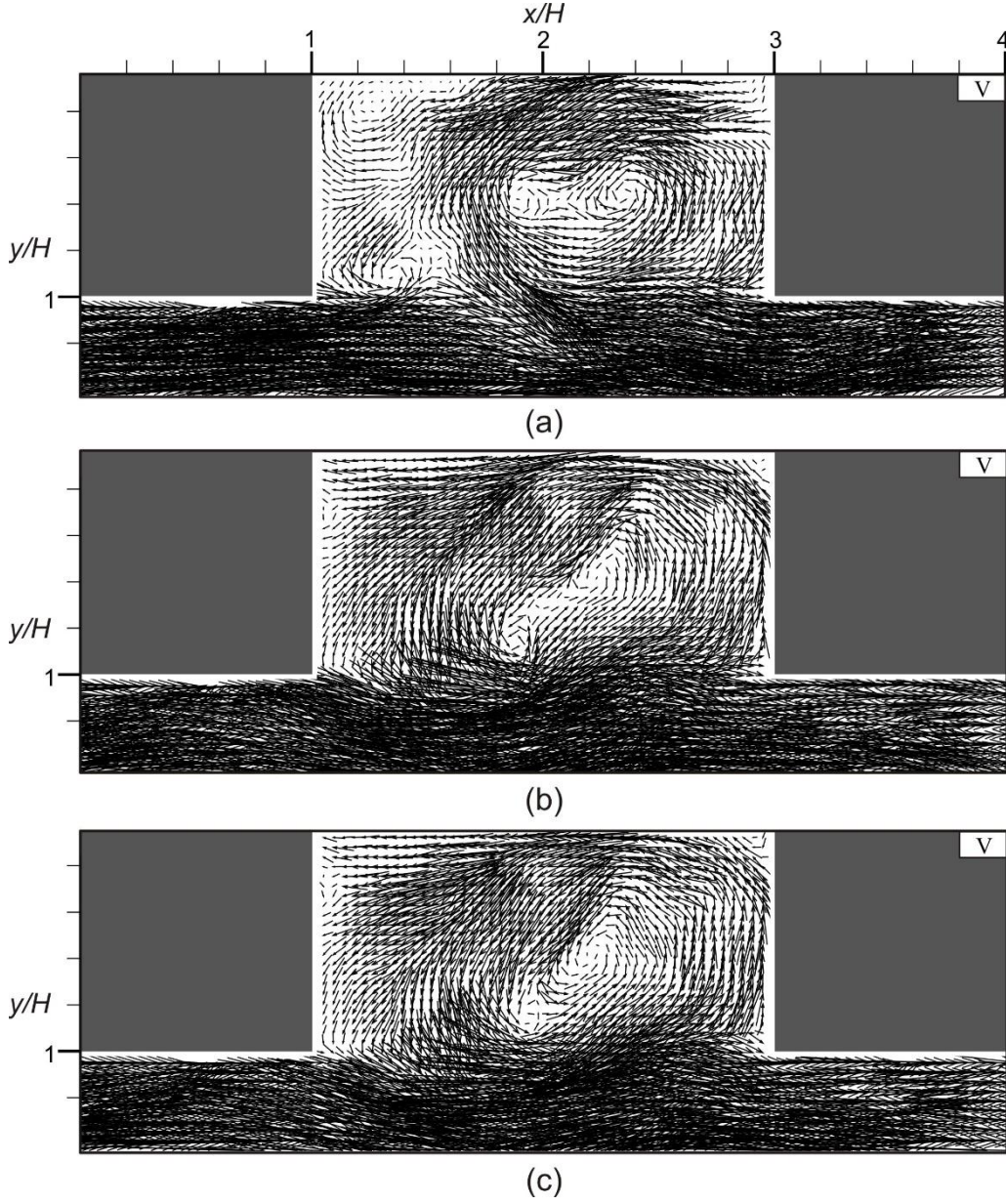
Kare Kesitli Engellerle Donatılmış Kanal



Şekil 10. Reynolds gerilmesi eş değer eğrileri, $\langle u'v' \rangle / U_m^2$: (a) $Re=2900$, $\Delta \langle u'v' \rangle / U_m^2=0.005$; (b) $Re=8400$, $\Delta \langle u'v' \rangle / U_m^2=0.002$; (c) $Re=15000$, $\Delta \langle u'v' \rangle / U_m^2=0.002$

Şekil 11'de kanal içerisinde 8. ve 9. engeller arasındaki anlık akış yapıları Re sayısı 15000 için sunulmuştur. Şekil 11a' da ($N=220$) üç adet girdapsal yapı açıkça görülmektedir. Akış alanı karakteristikleri zamanla değişmektedir: sol engelin sağ köşesinden ayrılan çivrinti, akış yönünde sağdaki engele doğru ilerlerken, diğer ikisi akışın tersi yönde, soldaki engele doğru hareket etmektedir (Şekil 11b, $N=261$). Daha sonra üçü birleşerek büyük bir çivrinti alanı oluşturmaktadır (Şekil 11c, $N=262$). Akış alanına ait 350 adet anlık görüntüden elde edilen animasyon incelendiğinde, bu büyük çivrinti alanının iki engel arasındaki akış alanında, farklı zamanlarda farklı bölgelerde oluştuğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, kanal yüzeyine çarpan akışın tutunma noktası, kanal yüzeyi boyunca

sağa sola doğru hareket ederek zamanla değişmektedir. Bazı anlık görüntülerde soldaki engelin sağ alt köşesinde küçük bir çevrinti alanı açıkça görülmektedir (Şekil 11a).



Şekil 11. Anlık hız alanları, V: (a) imaj sayısı, N=220; (b) N=261; (c) N=262

4. SONUÇ

Bu çalışmada, bir yüzeyine kare kesitli engeller yerleştirilmiş kanal içindeki akış alanı Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Yöntemi (PIV) yöntemiyle deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler üç farklı Reynolds sayısı: $Re=2900$, 8400 ve 15000 için gerçekleştirilmiştir. Kanal çıkışına yakın bölgedeki engeller arasındaki akış alanına ait: zaman ortalama ve anlık hız vektörleri, girdap eş eğrileri, akım çizgileri ve türbülans istatistikleri detaylı olarak sunulmuştur. Elde edilen deneysel sonuçların ilgili akış yapısı hakkındaki bilgileri artıracığı ve diğer deneysel ve sayısal çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) birimi tarafından M 499 nolu proje ile desteklenmiştir. Çalışmanın gerçekleşmesi için Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nı kullanıma sunan Sayın Prof. Dr. Beşir ŞAHİN'e ve Sayın Prof. Dr. Hüseyin AKILLI'ya desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

REFERANSLAR

- [1]. Perry A.E., Schofield W.H., Joubert P.N., Rough wall turbulent boundary layers. *J Fluid Mech* 1969; 37:383-413.
- [2]. Antonia, R., Luxton, R.E., The response of a turbulent boundary to an upstanding step change in surface roughness. *ASME J. Basic Eng.* 1971; 93: 22-34.
- [3]. Hanjalic, K., Launder, B.E., Fully developed asymmetric flow in a plane channel. *J. Fluid Mech.* 1972: 51, 301-335.
- [4]. Siuru, W.D., Logan Jr., E., Response of a turbulent pipe flow to a change in roughness. *J. Fluids Eng.* 1977; 99: 548-555.
- [5]. Durst, F., Founti, M., Obi, S., Experimental and computational investigation of the two-dimensional channel flow over two fences in tandem. *J. Fluids Eng.* 1988; 110: 48-54.
- [6]. Ciofalo, M., Collins, M.W., Large-eddy simulation of turbulent flow and heat transfer in plane and rib-roughened channels. *Int. J. Numer. Methods Fluids* 1992; 15: 453-489.
- [7]. Liou, T.M., Hwang, J.J., Chen, S.H., Simulation and measurement of enhanced turbulent heat transfer in a channel with periodic ribs on one principal wall. *Int. J. Heat Mass Transfer* 1993; 36: 507-517.
- [8]. Liou, T.M., Wu, Y.Y., Chang, Y., LDV measurements of periodic fully developed main and secondary flows in a channel with rib-distributed walls. *J. Fluids Eng.* 1993; 115: 109-114.
- [9]. Cui J., Patel V.C., Lin C.L. Large-eddy simulation of turbulent flow in a channel with rib roughness. *Int J. Heat Fluid Flow* 2003; 24(3): 372-388.
- [10]. Casarsa L., Arts T. Experimental Investigation of the aerothermal performance of a high blockage rib-roughened cooling channel. *Journal of Turbomachinery* 2005; 127: 580-588.
- [11]. P. Promvong, C. Thianpong, Thermal performance assessment of turbulent channel flow over different shape ribs. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2008; 35(10): 1327-1334.
- [12]. Wang L., Hejcek J., Sunden B., PIV measurement of separated flow in a square channel with streamwise periodic ribs on one wall. *J. Fluid Eng.* 2007; 129: 834-841.
- [13]. Cardwell, N. D., Vlachos, P. P., and Thole, K. A., Developing and Fully Developed Turbulent Flow in Ribbed Channels. *Experiments in Fluids* 2011; 50: 1357-1371.
- [14]. Sunden D., Convective heat transfer and fluid flow physics in some ribbed ducts using liquid crystal thermography and PIV measuring techniques. *Heat Mass Transfer* 2011; 47: 899-910.
- [15]. Coletti F., Maurer T., Arts T., Flow field investigation in rotating rib-roughened channel by means of particle image velocimetry. *Exp. Fluids* 2012; 52: 1043-1061.
- [16]. Gurlek C., Study of the flow around a bus model, Çukurova University, May 2008.