

BİR YÜZEYİNDE ÜÇGEN KİRİŞLER BULUNAN KANAL İÇERİSİNDEKİ AKIŞ YAPISININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Cahit GÜRLEK*
Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas

ÖZET

Bir yüzeyinde eşkenar üçgen kesitli kirişler bulunan kanal içerisindeki akış yapısı parçacık görüntülemeli hız ölçme yöntemi (PIV) kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler hidrolik çap ve düşey simetri eksenindeki ortalama kanal hızına bağlı olarak hesaplanan Reynolds sayıları: $Re=2900$, 8400 ve 15000 için gerçekleştirilmiştir. Zaman ortalama ve anlık akış alanları ve türbülans istatistikleri sunulmuştur.

GİRİŞ

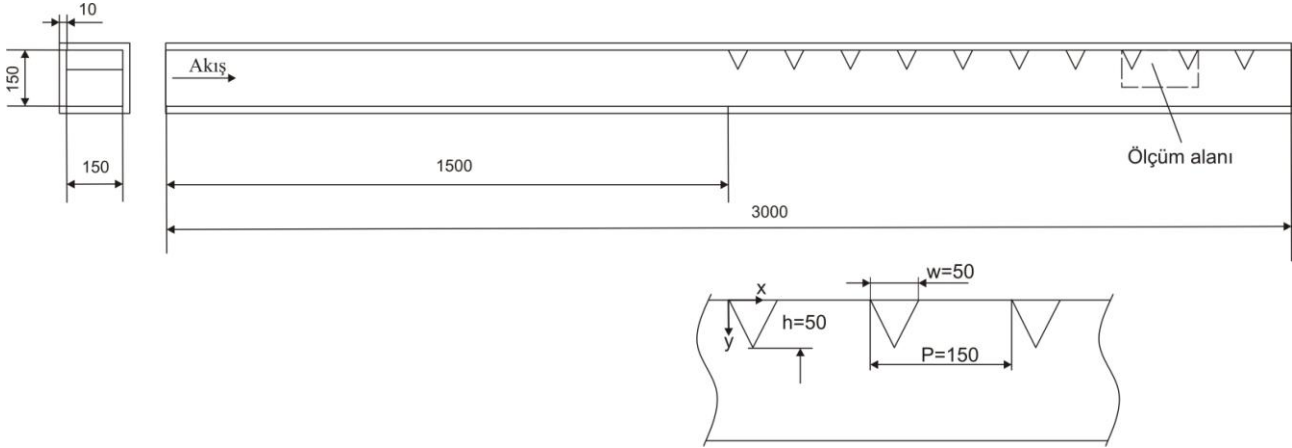
Yüzeylerinde çeşitli şekillerde kirişler bulunan kanalların: güneş enerjili hava ısıtıcıları, ısı değiştiriciler, nükleer reaktörler, türbin kanatları ve elektronik ekipmanların soğutulması gibi bir çok mühendislik uygulaması bulunmaktadır. Geometrik olarak basit olmasına karşın kirişler arasında: ters yönde dönen çevrinti alanları, ayrılan ve birleşen akışlar, yüzey ve serbest kayma tabakaları gibi karmaşık akış yapıları bulunmaktadır ve araştırmacılar tarafından yaygın olarak incelenmektedir.

Önceki çalışmaların çoğunluğu yüzeylerinde kare kesitli kirişler bulunan kanallar için gerçekleştirilmiş ve kirişler arası mesafe-kanal yüksekliği oranı, kiriş yüksekliği-kanal yüksekliği oranı, kanal en-yükseklik oranı, kirişlerin akış yönüne göre yerleştirilme açıları, v.b. parametrelerin ısı transferine ve basınç düşüşüne olan etkileri incelenmiştir [Lorenz ve ark., 1995; Han ve Park, 1988; Yang, 2000; Cui ve ark., 2003; Casarsa ve Arts, 2005; Hyun ve ark., 2007; Wang ve ark., 2007; Wang ve ark., 2010; Cardwell ve ark., 2011; Coletti ve ark., 2012]. Yüzeylerinde farklı geometrik şekillerde kirişler (kare, üçgen, yamuk, daire, yarım daire) bulunan kanallarla ilgili yapılan çalışmalarda, üçgen kesitli kirişlerin diğerlerine göre daha yüksek ısı transferi performansına sahip olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır [Ahn, 2001; Wang ve Sunden, 2007; Promvong ve Thianpong, 2008; Eiamsa-ard ve Promvong, 2009; Ramadhan ve ark., 2013]. Diğer yandan üçgen kesitli kirişlerle ilgili yapılan çalışmalarda daha çok ısı transferi karakteristikleri vurgulanmış, akış alanı nadiren sunulmuştur [Thianpong ve ark., 2009; Tachie ve Agelinchaab, 2010]. Bu çalışmada bir yüzeyinde eşkenar üçgen kesitli kirişler bulunan bir kanal içerisindeki akış alanı parçacık görüntülemeli hız ölçme yöntemi (PIV) kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir.

* Yrd. Doç. Dr, Makine Müh. Böl., E-posta: cgurlek@cmhuriyet.edu.tr

YÖNTEM

İçerisinde üçgen kesitli kirişler bulunan kanal şematik olarak Şekil 1’ de görülmektedir. Genişliği ve yüksekliği 150mm olan kare kesitli kanalın uzunluğu 3000mm dir. Kanal duvarları optik geçirgenliği sağlamak için 10 mm kalınlığında saydam akrilik malzemeden imal edilmiştir. Kanalın bir yüzeyine genişliği, $w=50\text{mm}$ ve yüksekliği, $h=50\text{mm}$ olan on adet üçgen kesitli kiriş akış yönüne göre 90° açıyla yerleştirilmiştir. Kirişler akrilik malzemeden üretilmiş ve lazer ışığının yansımaları önlemek için mat siyah film tabakasıyla kaplanmıştır. Kirişler arası mesafe-kiriş yüksekliği oranı $p/h=3$ ve kanal yüksekliği-kiriş yüksekliği oranı $H/h=3$ ’ tür.



Şekil 1: Bir yüzeyinde üçgen kesitli kirişler bulunan kanalın şematik görünümü

Deney kurulumu şematik olarak Şekil 2’ de sunulmuştur. Deneyler yüksekliği 750mm, genişliği 1000mm ve uzunluğu 8000mm olan açık yüzeyli, kapalı çevrim çalışan bir su kanalında gerçekleştirilmiştir. Kanal içerisindeki akış, devir kontrollü bir santrifüj pompayla sağlanmaktadır. Deneyleri gerçekleştirebilmek için bir yüzeyinde üçgen kesitli kirişler bulunan kanal, bir masanın üzerine yerleştirilerek, su kanalının içerisine daldırılmıştır. Deneyler üçgen kirişli kanalın hidrolik çapı, D_H ve kanal düşey simetri eksenindeki ortalama hız U_m ’ ye bağlı olarak hesaplanan üç farklı Reynolds sayısı: $Re=2900, 8400$ ve 15000 için gerçekleştirilmiştir.

Ölçümler kanalın düşey simetri ekseninde, sekizinci ve dokuzuncu kirişler arasında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). 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. Zaman-ortalama akış özellikleri aşağıda şekilde elde edilmiştir:

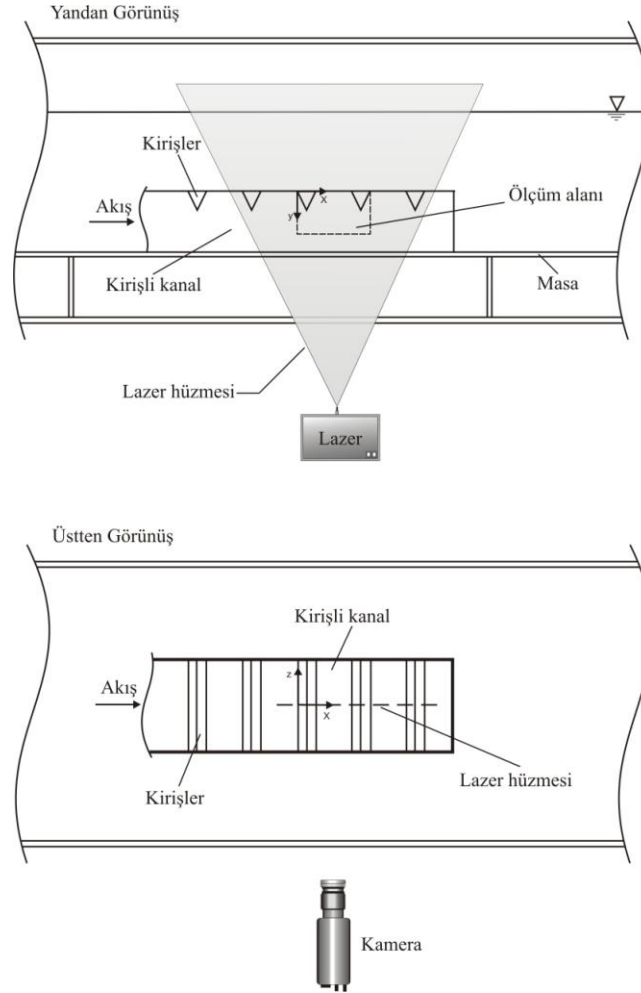
$$\text{Zaman-ortalama akış yönündeki hız bileşeni: } \langle u(x, y) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u_n(x, y)$$

$$\text{Zaman-ortalama akışa dik yönündeki hız bileşeni: } \langle v(x, y) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N v_n(x, y)$$

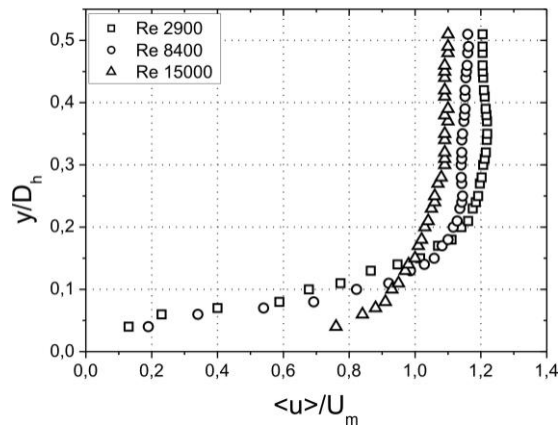
$$\text{Zaman-ortalama girdap: } \langle \omega(x, y) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \omega_n(x, y)$$

Akış yönündeki hız bileşeninin tübürlans şiddeti: $u_{rms} \equiv \langle u \rangle_{rms} \equiv \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [u_n(x, y) - \langle u(x, y) \rangle]^2 \right]^{1/2}$

Reynolds gerilmeleri: $\langle u'v' \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [u_n(x, y) - \langle u(x, y) \rangle][v_n(x, y) - \langle v(x, y) \rangle]$



Şekil 2: Deney kurulumunun şematik görünümü



Şekil 3: Giriş hız profilleri, $\langle u \rangle / U_m$

UYGULAMALAR

Zaman Ortalama Akış Alanları

Koordinat sistemi Şekil 2'de görülmektedir. Burada, x akış yönündeki eksen, y (aşağı doğru) ve z sırasıyla yüzey normalini ve akışa dik yöndeki eksen göstermektedir. Kanal girişinden $9 D_H$ uzaklıkta ölçülen akım yönündeki hız bileşeni profilleri Şekil 3'de sunulmuştur. Burada hızlar ortalama hızlarla, U_m ve yüzey normali yönündeki mesafe ise kanal hidrolik çapı, D_H ile boyutsuzlaştırılmıştır.

Farklı Reynolds sayılarının için 8. ve 9. kirişler arasındaki zaman ortalama hız vektörü alanları, $\langle V \rangle$ ve akım çizgileri, $\langle \psi \rangle$ sırasıyla Şekil 4 ve 5'de sunulmuştur. Burada F_1 ve F_2 hızın sıfır olduğu sirkülasyon merkezlerini göstermektedir. Gelen akış, soldaki kirişin keskin üst köşesinden ayrılmakta ve oluşan sirkülasyon alanı kirişler arasındaki bölgeyi kaplamaktadır. Reynolds sayıları 2900 ve 8400 için, soldaki kirişin sağ alt köşesinde, ana dolanım alanıyla ters yönde dönen küçük bir çevrinti açıkça görülmektedir. Bu küçük çevrinti alanı, kanal yüzeyine çarparak yüzeyden ayrılan akıştan kaynaklanmakta ve Reynolds sayısı 15000 de kaybolmaktadır. Ana sirkülasyon alanının dışındaki bölgede akım çizgileri hemen hemen birbirine paraleldir.

Zaman ortalama eş değer girdap eğrileri, $\langle \omega \rangle$ Şekil 6'da görülmektedir. Pozitif (saatin tersi yönünde) ve negatif (saat yönünde) eş değer girdap eğrileri sırasıyla düz ve kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Reynolds sayısı 2900 için, yüzeye yapışık negatif eş değer girdap eğrileri, kanal yüzeyinde iki kiriş arasındaki boşluğu kaplamaktadır. Akış alanında bir çift pozitif eş değer girdap eğrisi açıkça görülmektedir. Reynolds sayısının artmasıyla birlikte, sol kirişten ayrılan pozitif eş değer girdap eğrisi hemen hemen kanal yüzeyine paralel olarak uzamakta ve sonunda ikinci kirişe yakın olan pozitif eş değer girdap eğrisi ile birleşmektedir.

Şekil 7'de, 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, kirişlerin keskin köşelerinden yayılan serbest kayma tabakaları boyunca gözlemlenmiştir. Hız salınım eş değer eğrileri soldaki ilk kirişten başlayıp sağdaki kirişe kadar yayılmakta ve kanal yüzeyine kadar genişlemektedir.

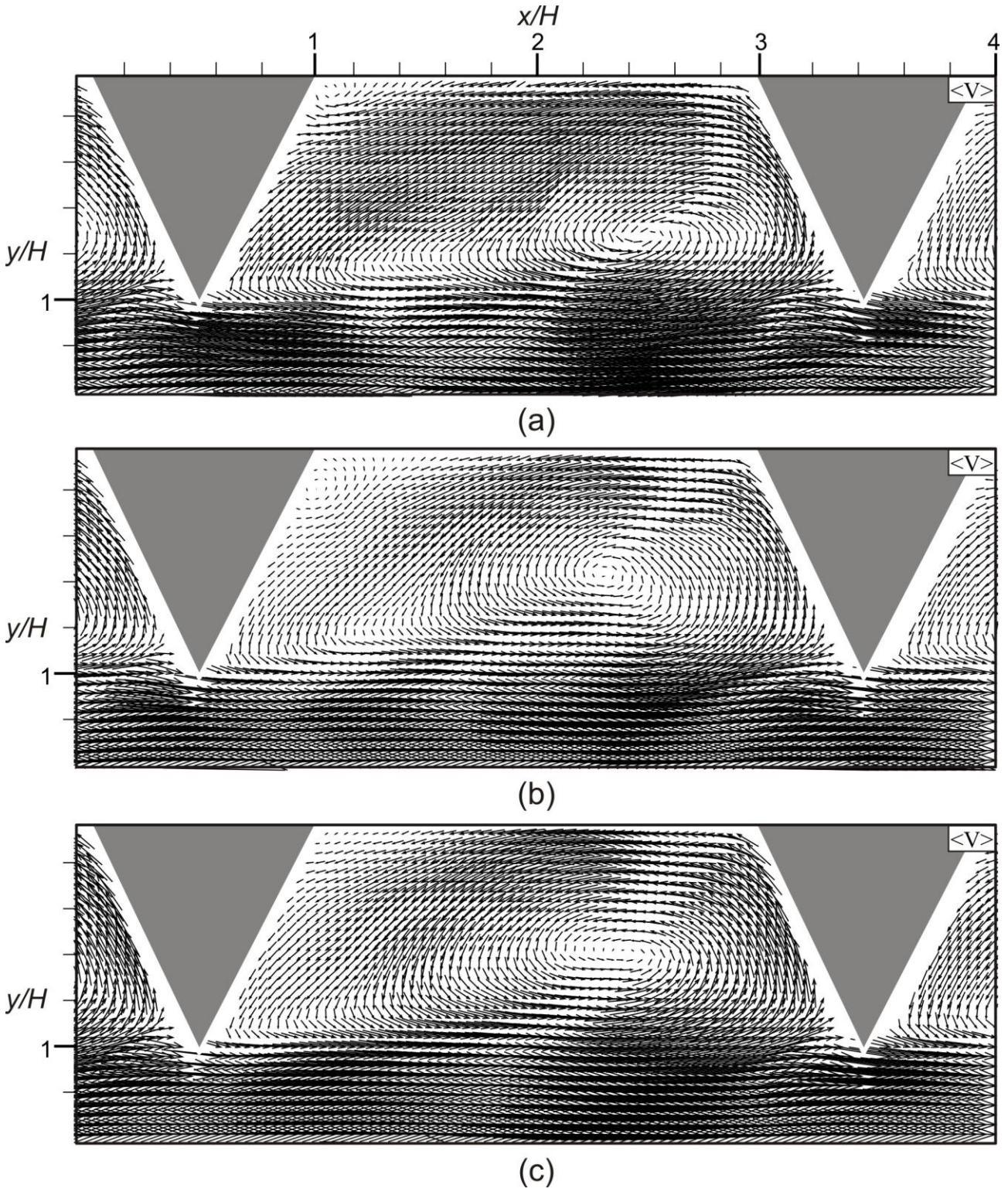
Reynolds gerilmesi eş değer eğrileri, $\langle u'v' \rangle / U_m^2$ Şekil 8'de görülmektedir. Burada Reynolds gerilmeleri, ortalama hızın karesi U_m^2 ile boyutsuzlaştırılmıştır. Eş değer Reynolds gerilmesi eğrileri kirişler arasında uzamakta ve serbest kayma tabakaları etrafında yoğunlaşmaktadır. Artan Reynolds sayılarıyla birlikte eş değer Reynolds gerilmesi eğrileri düşey yönde genişlemektedir.

Anlık Akış Alanları

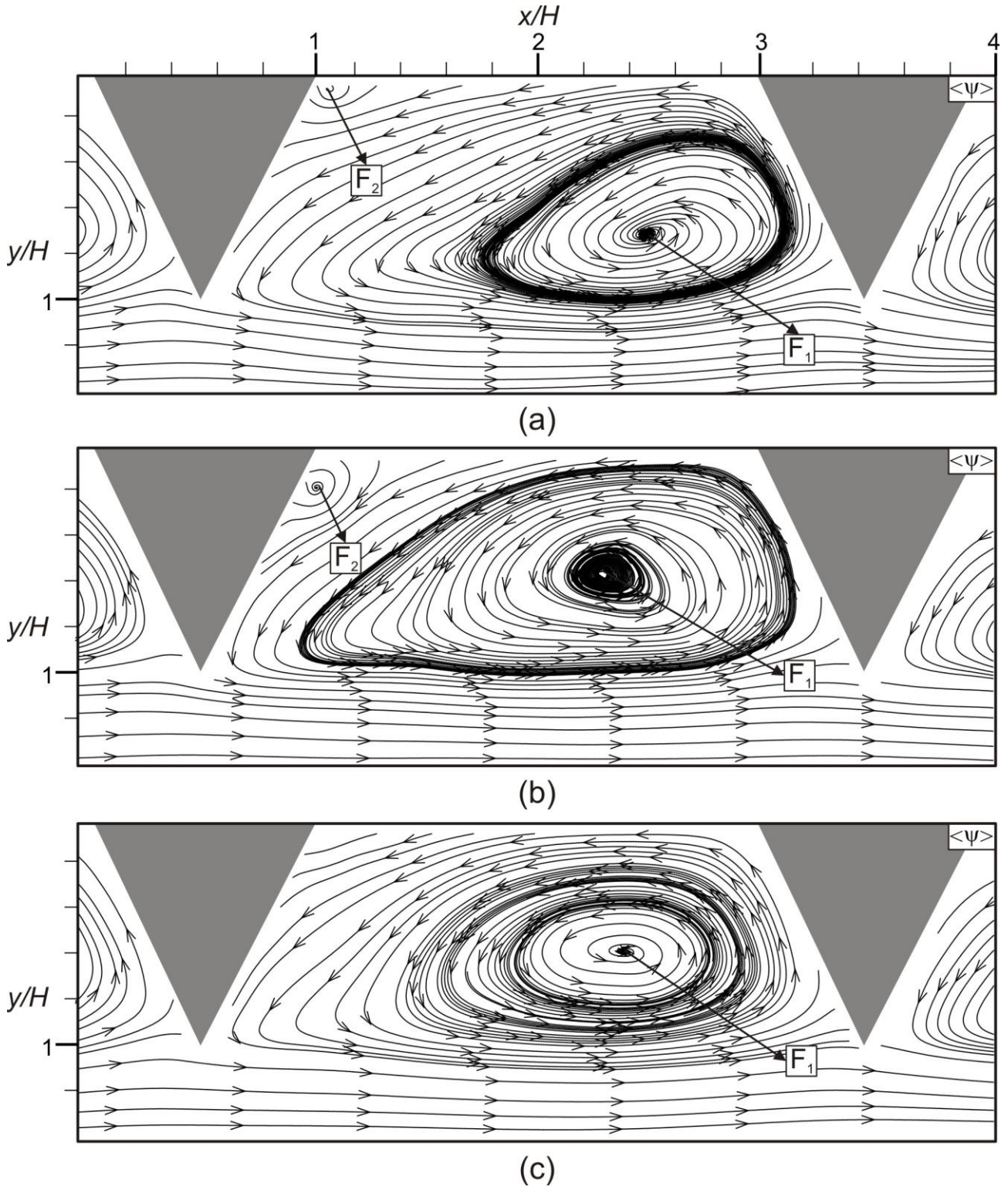
Şekil 9'da kanal içerisinde 8. ve 9. kirişler arasındaki anlık akış yapıları Re sayısı 15000 için sunulmuştur. Şekil 9a'da ($N=295$) üç adet girdapsal yapı açıkça görülmektedir. Akış alanı karakteristikleri zamanla değişmektedir: sol kirişin yakınındaki çevrinti, akış yönünde sağdaki kirişe doğru ilerlerken, diğer ikisi akışın tersi yönde, soldaki kirişe doğru hareket etmektedir (Şekil 9b, $N=301$). Daha sonra tümü birleşerek büyük bir çevrinti alanı oluşturmaktadır (Şekil 9c, $N=304$). Akış alanına ait 350 adet anlık görüntüden elde edilen animasyon incelendiğinde, bu büyük çevrinti alanının iki kiriş 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. Sol kirişin keskin köşesinden çıkan çevrintiler bazen yatay olarak ilerlemekte ve kirişler arasındaki çevrintilerle birleşmeden kiriş tepelerinin üzerindeki ana akışa karışmaktadır. Bazı anlık görüntülerde soldaki kirişin sağ alt köşesinde küçük bir çevrinti alanı açıkça görülmektedir.

SONUÇ

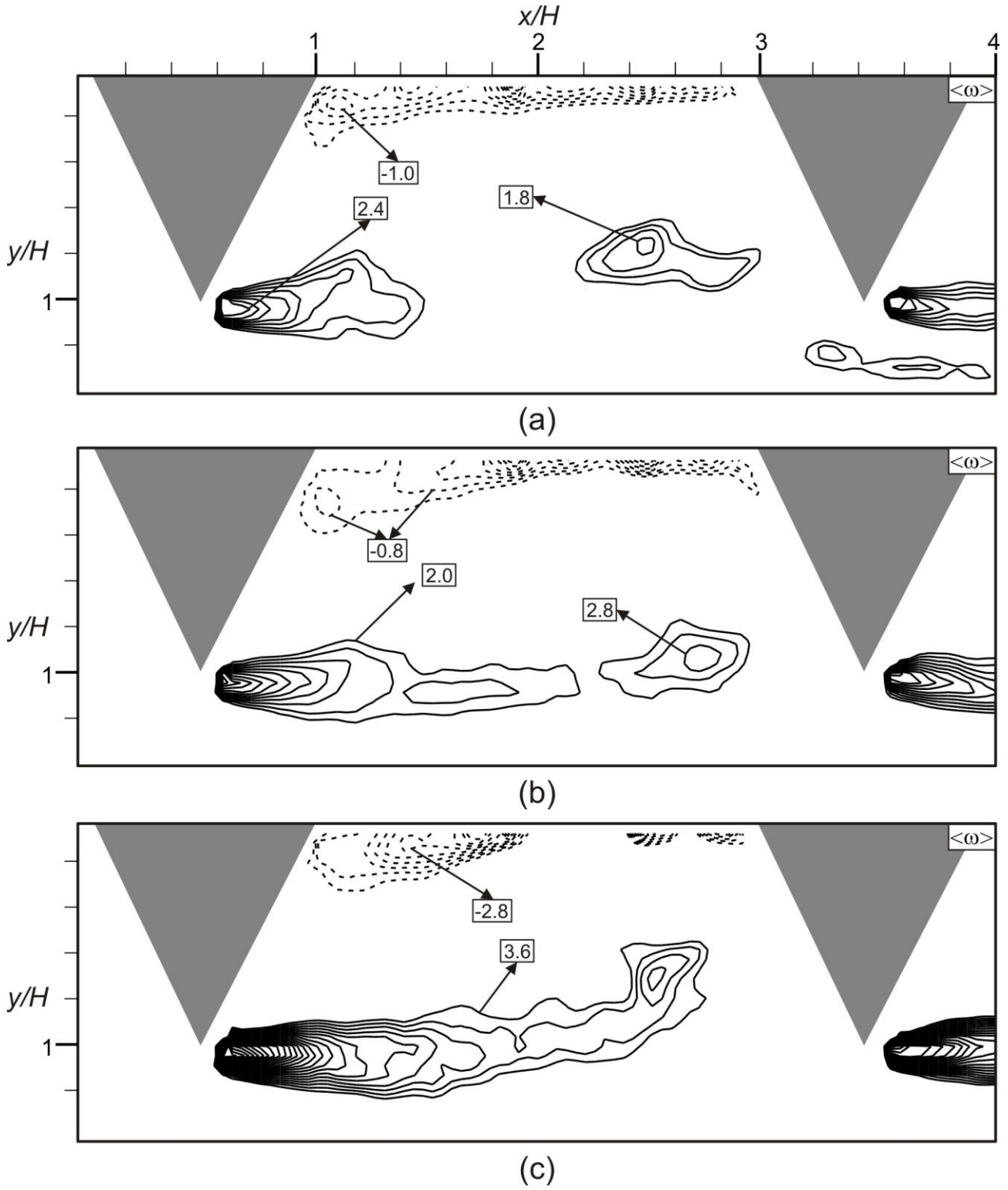
Bir yüzeyinde eşkenar üçgen kesitli kirişler bulunan bir kanal içerisindeki akış yapısı, farklı Reynolds sayıları için, parçacık görüntülemeli hız ölçme yöntemi kullanılarak detaylarıyla sunulmuştur. Elde edilen deneysel verilerin, sayısal çalışmalarda kullanılan yöntemlerin doğruluğunun sınanması için faydalı olacağı düşünülmektedir.



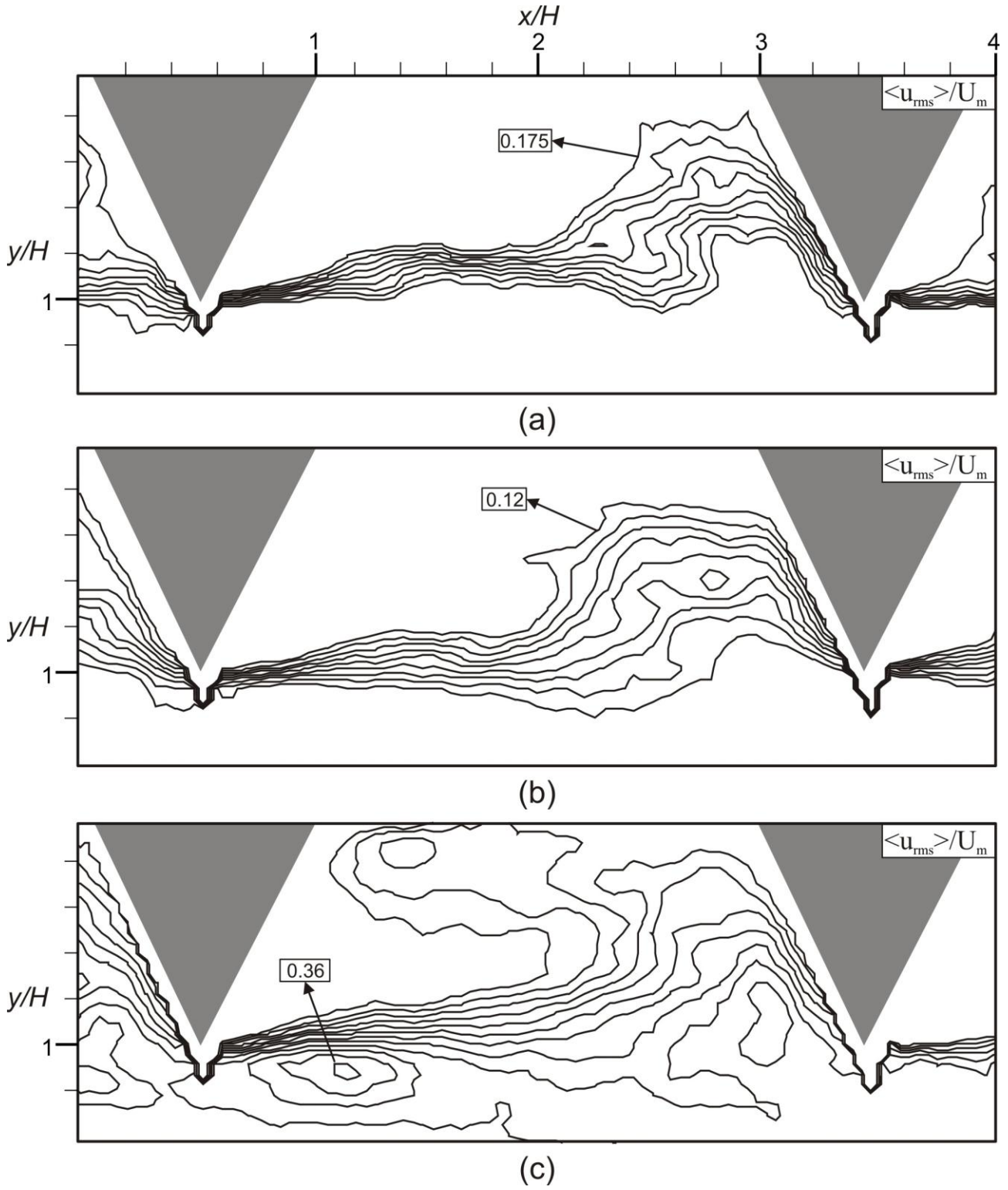
Şekil 4: Hız alanları, $\langle V \rangle$: (a) $Re=2900$; (b) $Re=8400$; (c) $Re=15000$



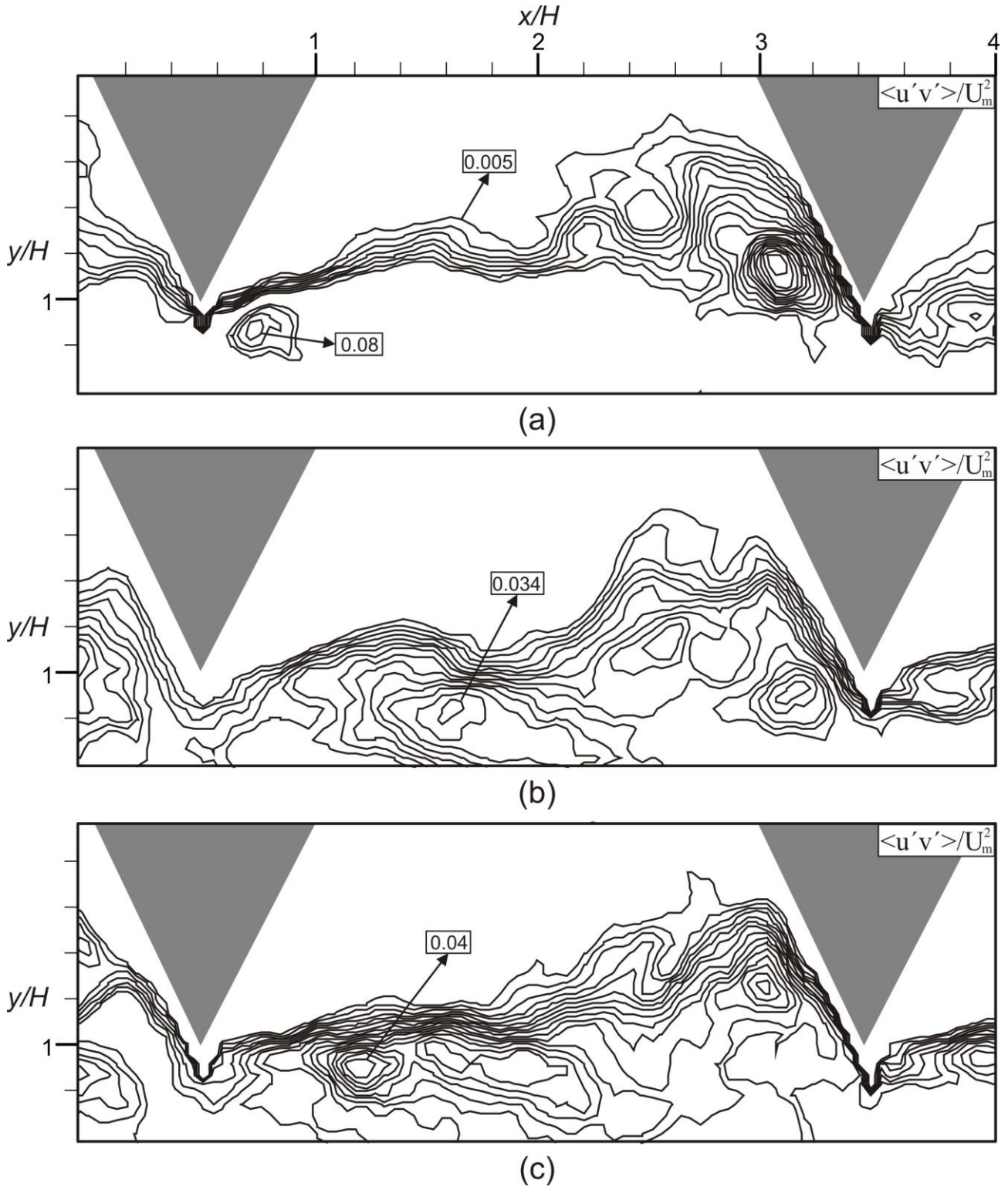
Şekil 5: Akım çizgileri, $\langle \psi \rangle$: (a) $Re=2900$; (b) $Re=8400$; (c) $Re=15000$



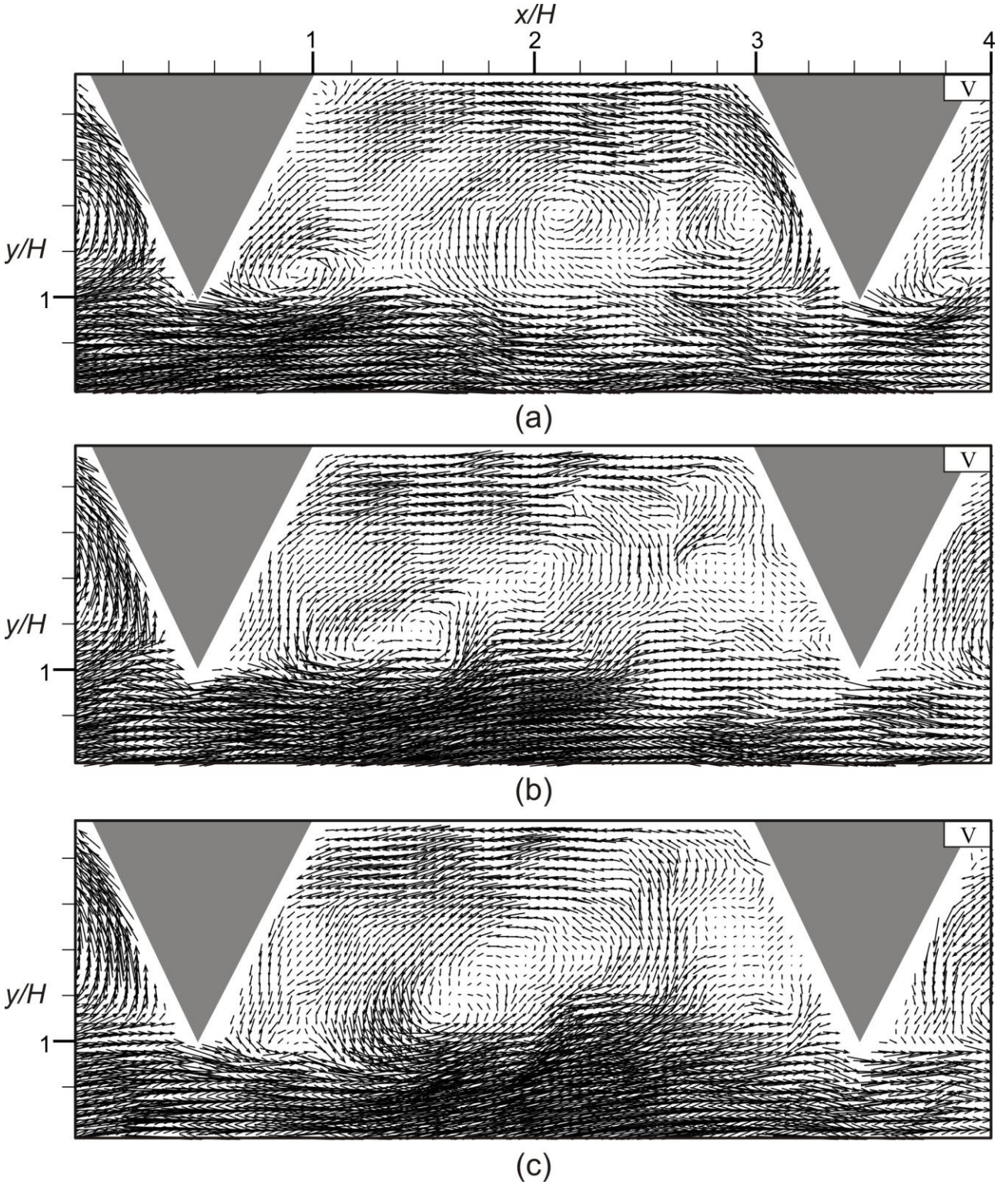
Şekil 6: Girdap eş değer eğrileri, $\langle \omega \rangle$: (a) $Re=2900$, $\Delta \langle \omega \rangle = 0.2 \text{ s}^{-1}$; (b) $Re=8400$, $\Delta \langle \omega \rangle = 0.4 \text{ s}^{-1}$; (c) $Re=15000$, $\Delta \langle \omega \rangle = 0.4 \text{ s}^{-1}$



Şekil 7: Akış yönündeki hız bileşeninin salınım şiddeti eş değer eğrileri, $\langle u_{rms} \rangle / U_m$: (a) $Re=2900$, $\Delta \langle u_{rms} \rangle / U_m=0.025$; (b) $Re=8400$, $\Delta \langle u_{rms} \rangle / U_m=0.02$; (c) $Re=15000$, $\Delta \langle u_{rms} \rangle / U_m=0.02$



Şekil 8: 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 9: Anlık hız alanları, V: (a) N=295; (b) N=301; (c) N=304

Kaynaklar

- Ahn, S.W., 2001. *The effects of roughness types on friction factors and heat transfer in roughened rectangular duct*, Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 28, pp. 933-942.
- Cardwell, N.D., Vlachos, P.P., Thole, K.A., 2011. *Developing and fully developed turbulent flow in ribbed channels*, Exp. Fluids, Vol. 50, pp. 1357-1371.
- Casarsa, L., Arts, T., 2005. *Experimental investigation of the aerothermal performance of a high blockage rib-roughened cooling channel*, ASME J. Turbomachinery, Vol. 127, pp. 580-588.
- Coletti, F., Maurer, T., Arts, T., Sante, A., 2012. *Flow field investigation in rotating rib-roughened channel by means of particle image velocimetry*, Exp. Fluids, Vol. 52, pp. 1043-1061.
- Cui, J., Patel, V.C., Lin, C., 2003. *Large-eddy simulation of turbulent flow in a channel with rib roughness*, Int. J. Heat and Fluid Flow, Vol. 24, pp. 372-388.
- Eimsa-ard, S., Promvong, P., 2009. *Thermal characteristics of turbulent rib-grooved channel flows*, Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 36, pp. 705-711.
- Han, J.C., Park, J.S., 1988. *Developing heat transfer in rectangular channels with rib turbulators*, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 31, No. 1, pp. 183-195.
- Hyun, B.S., Suh, E.J., Kim, T.Y., 2007. *Turbulent flow over two-dimensional rectangular-shaped roughness elements with various spacings*, Proc. MTS/IEEE OCEANS Conf., Singapore, 16-19 May.
- Lorenz, S., Mukomilow, D., Leiner, W., 1995. *Distribution of the heat transfer coefficient in a channel with periodic transverse grooves*, Exp. Thermal and Fluid Science, Vol. 11, pp. 234-242.
- Promvong, P., Thianpong, C., 2008. *Thermal performance assessment of turbulent channel flows over different shaped ribs*, Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 35, pp. 1327-1334.
- Ramadhan, A.A., Al Anii, Y.T., Shareef, A.J., 2013. *Groove geometry effects on turbulent heat transfer and fluid flow*, Heat Mass Transfer, Vol. 49, pp. 185-195.
- Tachie, M.F., Agelinchaab, M., 2010. *Turbulent flows over aligned and inclined ribs*, IUTAM Symposium on The Physics of Wall-Bounded Turbulent Flows on Rough Walls, Cambridge, UK, 7-9 July.
- Thianpong, C., Chompookham, T., Skullong, S., Promvong, P., 2009. *Thermal characterization of turbulent flow in a channel with isosceles triangular ribs*, Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 36, pp. 712-717.
- Wang, L., Sunden, B., 2007. *Experimental investigation of local heat transfer in a square duct with various-shaped ribs*, Heat Mass Transfer, Vol. 439, pp. 759-766.
- Wang, L., Hejckik, J., Sunden, B., 2007. *PIV measurements of separated flow in a square channel with streamwise periodic ribs on one wall*, ASME J. Fluids Engineering, Vol. 129, pp. 834-841.
- Wang, L., Salewski, M., Sunden, B., 2010. *Turbulent flow in a ribbed channel: Flow structures in the vicinity of a rib*, Exp. Thermal and Fluid Science, Vol. 34, pp. 165-176.
- Yang, K., 2000. *Large eddy simulation of turbulent flows in periodically grooved channel*, J. Wind Engineering, Vol. 84, pp. 47-64.