

İkiz Tabliyeler Arasındaki Akışın Dairesel Kesitli Çubuk ile Kontrol Edilmesi

Tahir DURHASAN*¹

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 15.01.2019

Kabul tarihi: 27.03.2019

Öz

Bu çalışmada, uzun açıklıklı ikiz tabliyeler arasındaki akışın dairese kesitli çubuk ile kontrol edilmesi hedeflenmiştir. İki tabliye arasındaki mesafenin tabliye yüksekliğine oranı $L/H=1,7$ ve dairese kesitli çubuğun çapı 4 mm seçilmiştir. Deneyler Reynolds sayısının $Re=23440$ değerinde PIV tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dairesel kesitli çubuk iki tabliye arasında yatay yönde beş farklı ve dikey yönde üç farklı olmak üzere toplam on beş farklı noktada konumlandırılmıştır. PIV ölçüm sonuçları, dairese kesitli çubuğun konumlandırıldığı yere bağlı olarak tabliyeler arasındaki ters akış bölgelerini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Ayrıca, dairese kesitli çubuğun iki tabliye arasındaki alt ve üst kayma tabakalarının etkileşimini azalttığı gözlemlenmiştir. Kontrol elamanın bulunmadığı durum için elde edilen Reynolds kayma gerilmesinin maksimum değeri, dairese kesitli çubuğun tabliyeler arasında $x/D=12,5$ ve $y/D=0$ 'da konumlandırıldığında durum ile kıyaslandığında %49 oranında azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akış kontrolü, İkiz tabliye, PIV, Dairesel kesitli çubuk

Flow Control in the Gap of Twin Box Girders by Circular Rod

Abstract

In this study, it was aim to flow control in the gap where between twin box girder by rod. The gap ratio of twin box girders and diameter of rod were selected as $L/H=1.7$ and 4 mm. Experiments were performed using PIV technique at $Re=23440$. The rod was located in the gap of twin box girders at fifteen different position (five different horizontal direction and three different vertical direction). The results of PIV measurements exhibited that the rod affected significantly reverse flow regions depends on the location. Also, the rod reduced interaction of shear layers on the upper and lower side in the gap. The peak maximum of Reynolds shear stress was decreased by 49% at $x/D=12.5$ and $y/D=0$ compared to without rod case.

Keywords: Flow control, Twin box girder, PIV, Rod

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Tahir DURHASAN, tdurhasan@adanabtu.edu.tr

1. GİRİŞ

Uzun açıklıklı asma köprüler günümüzde taşıt ulaşımının yanı sıra demiryolu ve enerji nakil hatlarının ulaşımında da önemi giderek artmaktadır. Doğal rüzgârlar bu köprü tabliyelerinde titreşime neden olmaktadır. Bu titreşimlerin frekansının köprünün doğal frekansı ile çakışması durumunda köprülerin yıkılmasına sebep olan rezonans olayı meydana gelmektedir. Bu duruma en iyi örnek 1940 yılında rezonansa girmesi sonucu yıkılan Tacoma Narrows köprüsü verilebilir. Bu neden ile köprü aerodinamiği ve akış kontrolü üzerine yapılan araştırmalar büyük önem arz etmektedir.

Farklı geometri kesitlerine sahip köprü tabliyeleri etrafındaki akış yapısı deneysel ve/veya sayısal olarak Larsen ve Walter [1], Bruno ve Khriş [2], Frandsen [3] ve Sarkar ve arkadaşları [4] tarafından araştırılmıştır.

Kwon ve arkadaşları [5] yaptıkları deneysel ve sayısal çalışmalarında, köprü tabliyesinin altına açtıkları yarıklara tabliye salınımına bağlı olarak kendiliğinden dikey yönde hareket edebilen iki adet plaka yerleştirilmesi ile tabliye salınımının önemli ölçüde bastırılabilmesini göstermişlerdir. Gammal ve arkadaşları [6] yaptıkları araştırmada dikdörtgen kesitli köprü tabliyesi kenarlarına yerleştirdikleri sinüzoidal dalga şeklindeki çıkıntıların akış kontrolü üzerine etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçlar, tabliye kenarına yerleştirilen çıkıntıların tabliyenin art izindeki Karman girdaplarını bastırıldığını ve karekök ortalama basınç katsayısını %50 oranında azalttığını göstermiştir. Zhang ve arkadaşları [7] tabliyenin alt yüzeylerine açtıkları deliklerden akış emme işlemi gerçekleştirilmesinin tabliye art izindeki girdapları bastırıldığını ve bunun sonucu olarak salınımların azaltıldığını ve sürüklenme katsayısının kontrol yöntemi uygulanmadığı durum ile kıyaslandığında %75 oranında azaldığını yaptıkları sayısal çalışma ile göstermişlerdir. Zhang ve arkadaşları [8] tabliye üzerinde açtıkları kanallar ile gelen akışı art izine taşıyarak oluşturdukları pasif jet akışın tabliye etrafındaki akış kontrolü üzerine etkisini deneysel çalışma ile araştırmışlardır. Elde ettikleri aerodinamik kuvvet sonuçları tabliyelerdeki ortalama kaldırma ve sürüklenme

katsayıları üzerinde etkili olmamasına rağmen kaldırma ve sürüklenme katsayılarının karekök ortalama çalkantı değerlerinin %73'e kadar azaldığını göstermişlerdir.

Köprülerde açıklık mesafesi arttıkça köprü üzerindeki salınımlar artar ve akış kontrolü çok daha zorlaşır. Bu etkilerden kaçınmak için aralarında belirli bir mesafe olan ve bir biri ile paralel uzanan ikiz köprü tabliyeleri kullanılmaktadır.

Kwok ve arkadaşları [9], Chen ve arkadaşları [10] ve Laima ve Li [11] yaptıkları deneysel çalışmalarda iki tabliye arasındaki mesafenin kritik bir değerinden sonra girdap kaynaklı titreşimlerin meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Benzer bir çalışma Laima ve arkadaşları [12] tarafından yapılmıştır. Yaptıkları sayısal çalışma ile iki tabliye arasındaki mesafeye ve Reynolds sayısına bağlı olarak tabliyeler arasındaki boşlukta Kelvin-Helmholtzların oluştuğunu ve girdap dökülmelerinin meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Battista ana Pfeil [13] yaptıkları deneysel çalışma ile Rio-Niterói köprüsünde ayarlı kütle sönümleyici kullanarak girdap kaynaklı titreşimlerin sönümlenebileceğini göstermişlerdir. Larsen ve arkadaşları [14] ikiz tabliye köprü uygulamasına örnek olan Hong Kong'daki Stonecutters köprüsü geometrisinin 1:20 ölçek modelini üreterek tabliyelerin alt yüzeylerine yerleştirilen akış yönlendirici plakaların akış kontrolüne etkisini deneysel çalışma ile araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar yönlendirici plaka kullanımı ile art izinde meydana gelen girdap oluşumunun engellenebileceğini göstermiştir. Laima ve arkadaşları [15] tabliyeler arasındaki mesafenin tabliye yüksekliğine oranının, $L/H=1.7$ değerinde yaptıkları deneysel çalışma ile tabliyelerin belirli aralıkla birbirlerine giriş ve çapraz çubuklar ile bağlandığında girdap kaynaklı titreşimlerin tamamen bastırıldığını göstermişlerdir. Ma ve arkadaşları [16] tabliyeler arasına yerleştirdikleri gözenekli plakaların akış kontrolü üzerine etkisini deneysel çalışma ile araştırmışlardır. Elde ettikleri bulgular, plaka gözeneklilik oranının %42-%67 aralığında, girdap kaynaklı titreşimlerin önemli

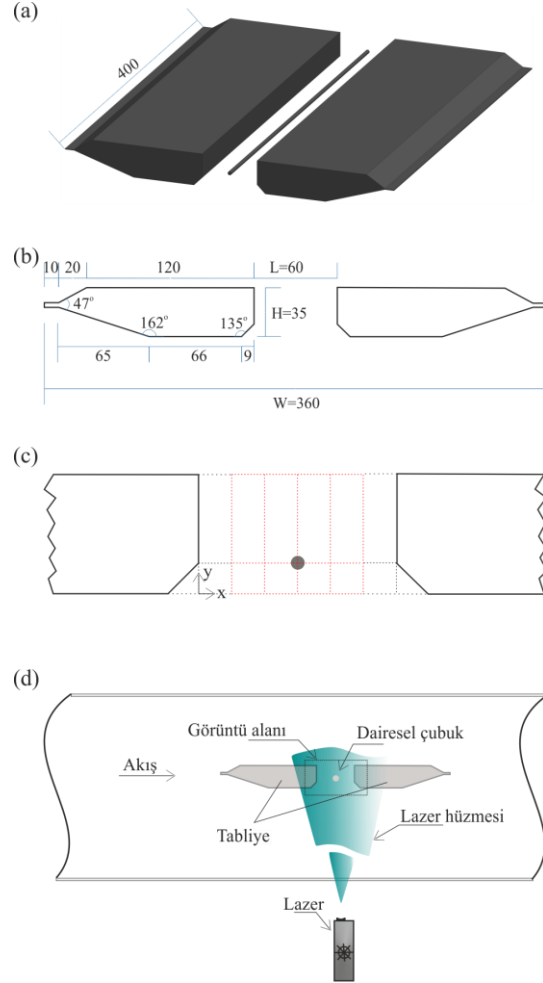
ölçüde bastırıldığını göstermiştir. Laima ve arkadaşları [17] köprü kenarlarına eklenen tırbazan, araç korkulukları ve rüzgar bariyerlerinin köprünün aerodinamik yapısına ve girdap kaynaklı titreşimlere etkisini araştırmışlardır. Geniş geçirgenliğe sahip tırbazan ve araç korkuluklarının girdap kopma frekansını azalttığını gözlemlemişlerdir.

Bu çalışmada, ikiz tabliyeler arasındaki akışın, iki tabliye arasına yerleştirilen ve tabliyelere paralel uzanan dairesel kesitli çubuk ile kontrolü hedeflenmiştir. Tabliyeler arasındaki mesafenin tabliye yüksekliğine oranı $L/H=1,7$ ve dairesel kesitli çubuk çapının tabliye yüksekliğine oranı $D/H=0,11$ seçilmiştir. Parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği kullanılarak tabliyeler arasında farklı mesafelerde konumlandırılan dairesel kesitli çubuğun akış yapısı (girdap ve türbülans istatistikleri) üzerine etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, uzun açıklıklı ikiz tabliyeli köprü arasındaki akışın tabliyelere paralel uzanan dairesel çubuk ile kontrol edilmesi amaçlanmıştır (Şekil 1a). Laima ve arkadaşları [15] tarafından çalışmalarında belirttikleri tabliye modeli $1/2,5$ ölçek ile pleksi malzemeden üretilerek deneysel model elde edilmiştir. Ayrıntılı model çizimi (ölçülendirmeler milimetre) Şekil 1b'de sunulmuştur. Deneylerde, iki tabliye arasındaki açıklık mesafesinin tabliye yüksekliğine oranı $L/H=1,7$ sabit tutulmuştur. Akış kontrol elmanı olarak kullanılan dairesel kesitli çubuğun çapı $D=4$ mm seçilmiştir ve iki tabliye arasında Şekil 1c'de kırmızı renkli kesikli çizgiler ile gösterildiği gibi dikey yönde ($y/D=0, 2,25$ ve $8,75$) üç farklı ve yatay yönde ($x/D=2,5, 5, 7,5, 10$ ve $12,5$) beş farklı olmak üzere toplam 15 farklı noktada konumlandırılarak akış kontrolü üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneyler parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği (PIV) kullanılarak Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında kurulu kapalı çevrim açık su kanalında gerçekleştirilmiştir. Su yüksekliği $h_s=500$ mm ve lazer kanal tabanına paralel olarak model boyunun orta düzlem yüksekliğinde $h_L=200$ mm konumlandırılmıştır. Deneyler Reynolds sayısının

$Re=23440$ (tabliye genişliği $W_T=150$ mm hidrolik çap alınarak hesaplanmıştır) değerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyin şematik üst görünüşü Şekil 1d'de sunulmuştur.



Şekil 1. Deney düzeneğinin ve parametrelerinin şematik gösterimi (a: model, b: model ölçüleri, c: dairesel kesitli çubuğun konumlandırıldığı noktalar, d: deney düzeneğinin üst görünüşü)

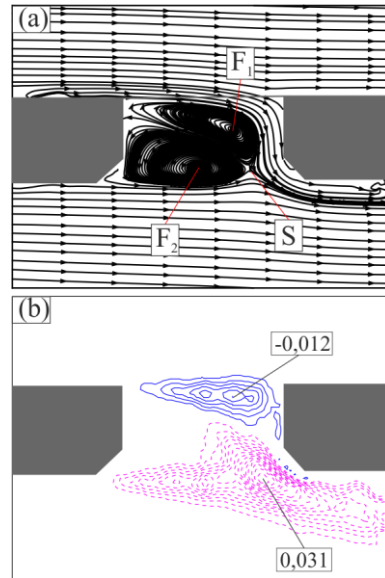
PIV tekniği, akışkan içerisinde akışkan ile aynı hızda hareket eden mikron boyutlarda gümüş kaplı parçacıkların lazer ışığı altında görünmesini sağlamak sureti ile hız tespiti yapılarak anlık ve ortalama akış karakteristikleri hakkında bilgi elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu amaç

doğrultusunda, su ile aynı hızda hareket eden 10 mikrometre (μm) çapındaki gümüş kaplı parçacıklar su kanalına serpilmiştir. Şekil 1d’de şematik gösterimi verilen $108\text{ mm}\times 145\text{ mm}$ boyutlara sahip görüntü alanı, 120 mJ gücüne ve 532 nm dalga boyuna sahip çift darbeli lazer kaynağı (Nd:YAG Lazer) tarafından üretilen lazer ışının optik araçlar ile yaklaşık 2 mm kalınlığa sahip lazer huzmesine dönüştürülerek aydınlatılmıştır. Darbeli lazer 15 Hz’de milisaniye boyuttaki zaman adımında 2 adet lazer ışını göndermektedir. Görüntü alanındaki parçacık hareketleri, lazer ile eş zamanlı çalışan 8-bit CCD (FlowSense 2M) kamera kullanılarak her bir zaman adımında bir çift anlık fotoğraf kayıt altına alınmıştır. Fotoğrafların proses işlemi bilgisayar ortamında ticari bir yazılım (Dantec DynamicStudio V4) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Proses işleminde her bir çift fotoğraf 32×32 küçük alanlara bölünür ve Hızlı Fourier dönüşümleri kullanılarak iki fotoğraf arasındaki parçacığın yer değiştirme mesafesi tespit edilir. Daha sonra parçacık yer değiştirme mesafesi ve zaman adımı bilindiğinden matematiksel işlemlerle her bir görüntü alanı için 7326 anlık hız vektörleri elde edilir. Deneylerde her bir durum için kayıt altına alınan 500 çift anlık fotoğrafların proses işlemleri sonucunda zaman ortalamalı akış karakteristikleri elde edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

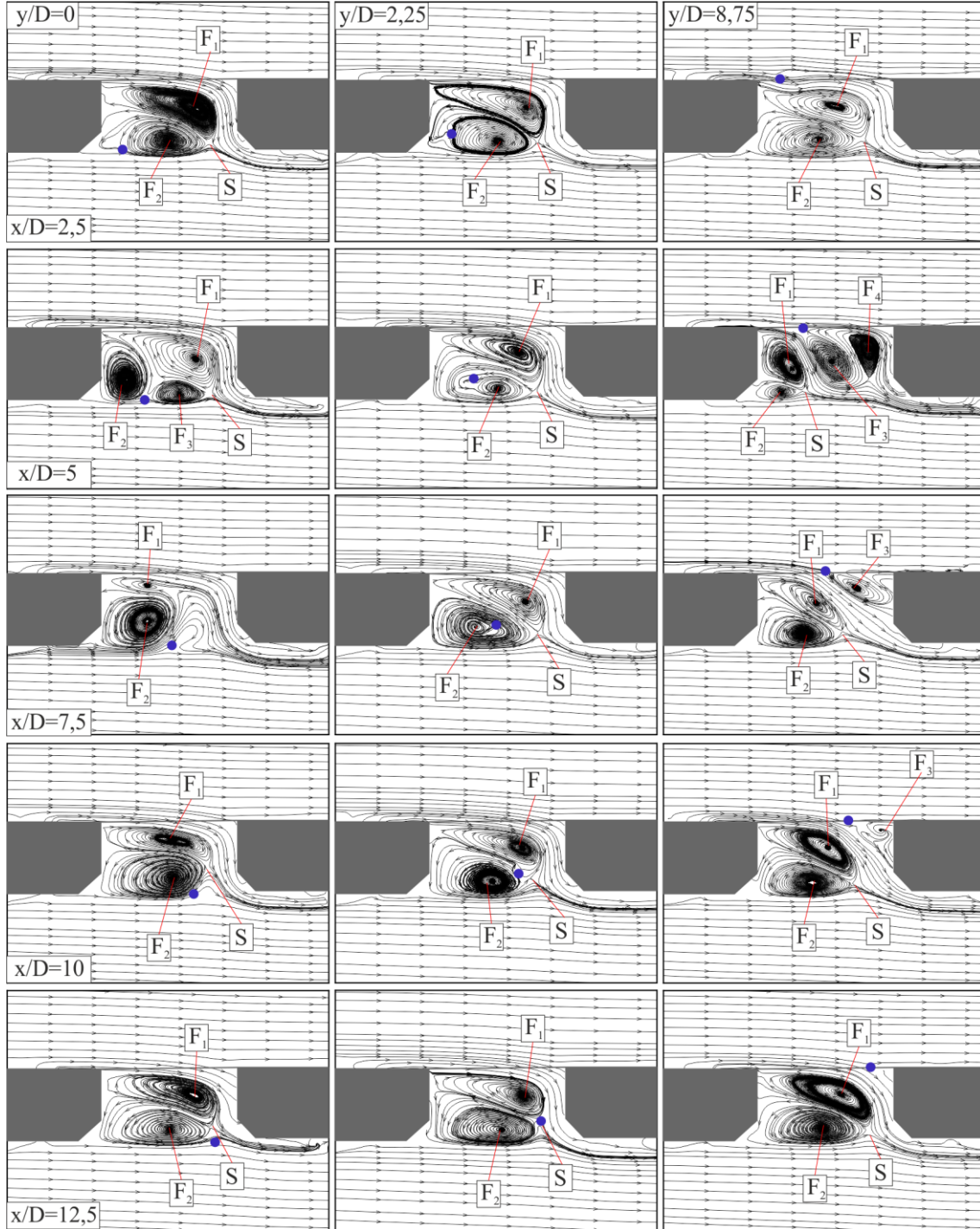
Dairesel kesitli çubuğun ikiz tabliyeler arasındaki akış kontrolü üzerine etkisini araştırmada referans oluşturması bakımından deneyler öncelikli olarak kontrol elamanının bulunmadığı durum için gerçekleştirilmiştir. Şekil 2a ve 2b sırası ile PIV ölçümlerinden elde edilen zaman ortalamalı akım çizgilerini ve Reynolds kayma gerilmesi konturlarını göstermektedir. Reynolds kayma gerilmesi konturlarının artım oranı ve minimum değeri sırası ile 0,002 ve $\pm 0,002$ seçilmiştir. Mavi renkli konturlar saat yönüne dönen negatif Reynolds kayma gerilmelerini ve pembe renkli (kesikli çizgiler) konturlar ise saat yönünün tersine dönen pozitif Reynolds kayma gerilmelerini işaret etmektedir. Akım çizgileri iki tabliye arasında ters akış bölgelerinin ve bu bölgelerin merkezinde odak noktalarının (şekil üzerinde F ile belirtildi)

oluşturduğunu göstermektedir. Akımı karşılayan tabliyenin üst yüzeyi kenarından ayrılan akışın art izindeki tabliyenin hücum kenarından alt yüzeyine doğru yöneldiği ve alt yüzeye daha yakın bir konumda akım hızlarının sıfırlandığı bir durma noktasının (şekil üzerinde S ile belirtildi) oluşturduğu görülmektedir. Üst kayma tabakası ile alt kayma tabakasının tabliyelerin alt yüzeyine daha yakın bir bölgede etkileşime girmesinden dolayı bu bölgede Reynolds kayma gerilmesinin kümelendiği görülmektedir. Reynolds kayma gerilmelerinin maksimum değerleri üst ve alt kayma tabakalarında sırası ile 0,012 ve 0,031 elde edilmiştir.

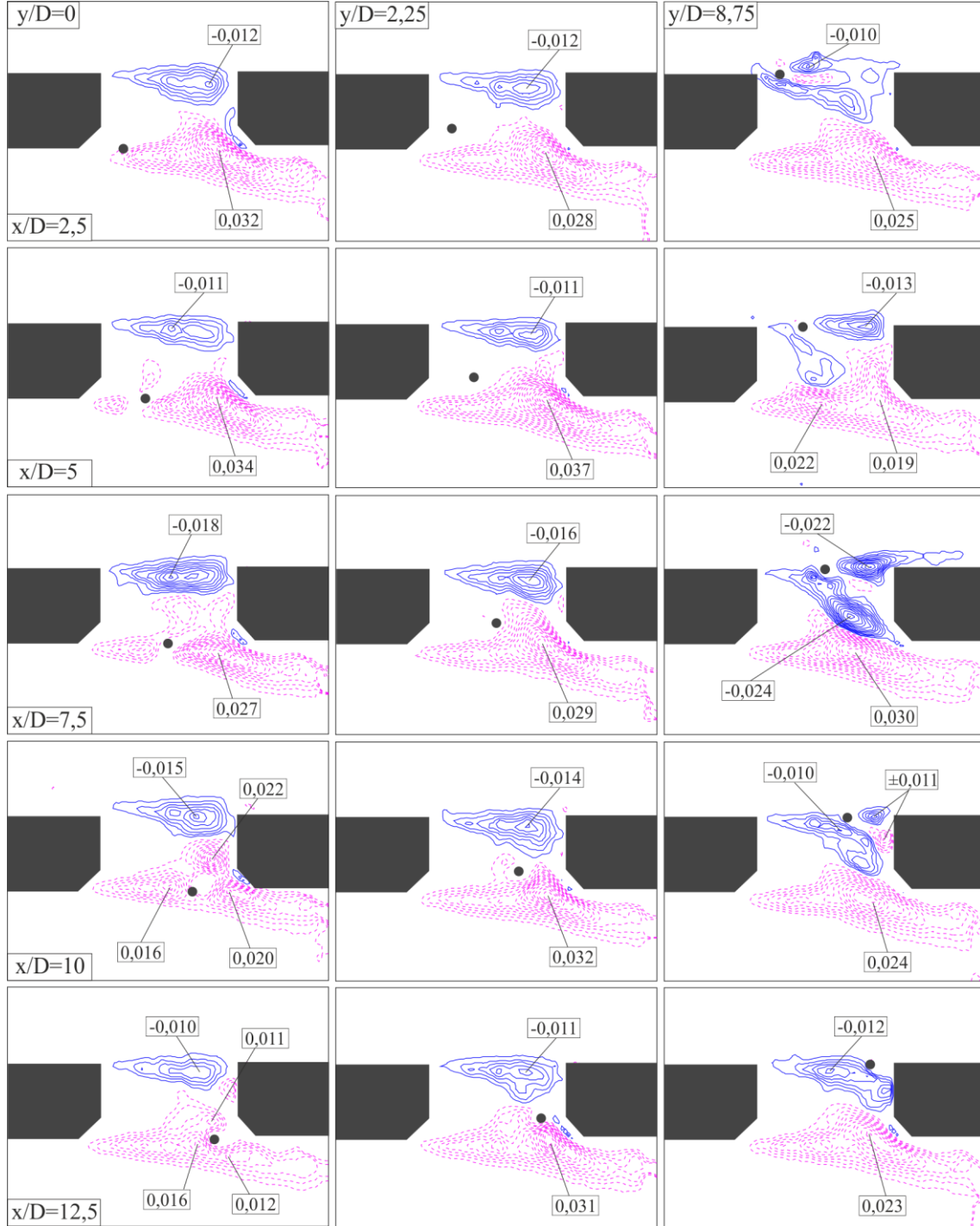


Şekil 2. Kontrol elamanın bulunmadığı durum için (a: akım çizgileri, b: Reynolds kayma gerilmesi konturları)

Dairesel kesitli çubuğun iki tabliye arasında farklı mesafelerde konumlandırıldığı durumlar için elde edilen akım çizgileri Şekil 3’de gösterilmiştir. Şekilde her bir sütun sırası ile $y/D=0, 2,25$ ve $8,75$ her bir satır ise sırası ile $x/D=2,5, 5, 7,5, 10$ ve $12,5$ konumlarını göstermektedir. Dairesel kesitli çubuğun dikey yönde $y/D=0$ ’da olması durumlarında $x/D=2,5$ ’de akım çizgileri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Ancak dairesel kesitli çubuk $x/D=5$ ’de, alt taraftaki ters akış bölgesini bölerek iki farklı odak noktası (F_2 ve F_3) oluşturmaktadır. Dairesel kesitli çubuk $x/D=7,5$



Şekil 3. Tabliler arasında farklı mesafelerde konumlandırılan dairesel kesitli çubuk için akım çizgileri



Şekil 4. Tabliler arasında farklı mesafelerde konumlandırılan dairesel kesitli çubuk için Reynolds kayma gerilmesi konturları

konumunda akışı yukarı doğru yönlendirerek ters akış bölgelerinin küçülmesine neden olmaktadır. Ayrıca belirgin bir durma noktasının oluşmadığı gözlemlenmiştir. Dairesel kesitli çubuğun $x/D=10$ ve $12,5$ konumlarında elde edilen akış yapısı kontrol elamanının bulunmadığı duruma benzemektedir. İkinci sütunda verilen dairese kesitli çubuğun $y/D=2,25$ ve farklı x/D konumları için elde edilen akım çizgileri dairese kesitli çubuğun akış yapısı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Dairesel kesitli çubuğun $y/D=8,75$ 'de akım çizgileri üzerine etkin olduğu yatay konumlarının $x/D=5$ ve $7,5$ olduğu görülmektedir. $x/D=5$ 'de üst taraftaki ters akış bölgesinin bölünerek üç farklı odak noktasının (F_1 , F_3 ve F_4) oluştuğu ve ayrıca alt taraftaki ters akış bölgesinin küçüldüğü gözlemlenmiştir. $x/D=7,5$ 'de dairese kesitli çubuk akışı aşağı doğru yönlendirmesi sonucunda üst taraftaki ters akış bölgesi küçülmekle birlikte üçüncü bir odak noktası (F_3) oluştuğu gözlemlenmiştir. $x/D=10$ 'da üçüncü bir odak noktası oluşmasına rağmen dairese çubuk akım çizgileri üzerindeki etkisini önemli ölçüde kaybetmektedir. $x/D=12,5$ 'de ise akım çizgileri kontrol elamanın olmadığı duruma benzemektedir.

Dairesel kesitli çubuğun Reynolds kayma gerilmeleri üzerindeki etkileri Şekil 4'de sunulmuştur. Dairesel kesitli çubuğun $x/D=2,5$ 'de ve $y/D=2,25$ ve $8,75$ konumları için elde edilen pozitif yöndeki Reynolds kayma gerilmelerinin maksimum değerleri kontrol elamanı olmadığı durum ile kıyaslandığında sırası ile yaklaşık %10 ve %20 oranlarında azaldığı görülmektedir. $x/D=5$ 'de pozitif yöndeki Reynolds kayma gerilmelerinin maksimum değerleri $y/D=0$ ve $2,25$ için artmaktadır. Ancak $y/D=8,75$ 'de dairese kesitli çubuk negatif yöndeki Reynolds kayma tabakasını parçaladığı ve pozitif yöndeki kayma tabakası ile etkileşimi azalttığından dolayı pozitif yöndeki Reynolds kayma gerilmelerinin maksimum değeri kontrolsüz durum ile kıyaslandığında %29 oranında azaldığı görülmektedir. Dairesel kesitli çubuğun $x/D=7,5$ ve $y/D=0, 2,25$ ve $8,75$ konumlarında, negatif yöndeki Reynolds kayma gerilmelerinin maksimum değerleri artmaktadır. Ancak pozitif yöndeki Reynolds kayma gerilmelerinin maksimum değerleri az miktarda olsa azalmaktadır. $x/D=10$ 'da $y/D=0$ için negatif yöndeki Reynolds kayma

gerilmelerinin maksimum değeri artmasına rağmen pozitif yöndeki Reynolds kayma gerilmelerinin maksimum değeri %29 oranına kadar azalmaktadır. $y/D=8,75$ 'de ise negatif yöndeki Reynolds kayma gerilmelerinin maksimum değerleri üzerinde önemli bir değişiklik gözlemlenmemesine rağmen pozitif yöndeki Reynolds kayma gerilmelerinin maksimum değeri %22 oranında azalmaktadır. Dairesel kesitli çubuğun $x/D=12,5$ 'de $y/D=0$ ve $8,75$ için negatif yöndeki Reynolds kayma gerilmeleri değerleri üzerinde önemli bir etkisi olmamasına rağmen pozitif yöndeki Reynolds kayma gerilmelerinin maksimum değerleri sırası ile %49 ve %25 oranında azaldığı görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kontrol elamanı olarak kullanılan dairese kesitli çubuğun uzun açıklı köprülerde ikiz tabliyeler arasındaki akış üzerine etkisi PIV tekniği kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel bulgulardan dairese kesitli çubuğun iki tabliye arasında konumlandırıldığı yere bağlı olarak akış yapısını önemli derecede etkilediği ve alt üst kayma tabakalarının etkileşimini azaltarak türbülans istatistik değerlerini azaltmada etkili olduğu görülmüştür. Kontrol elamanın kullanılmadığı durum ile kıyaslandığında, dairese kesitli çubuğun $x/D=12,5$ ve $y/D=0$ konumunda, Reynolds kayma gerilmelerinin maksimum değerini %49 oranında azalttığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar ikiz tabliyeli köprülerde tabliyeler arasında dairese kesitli çubuk konumlandırmanın alternatif bir akış kontrolü yöntemi olabileceğini göstermiştir.

5. TEŞEKKÜRLER

Yazar, Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümüne Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında deneyleri gerçekleştirme imkânı sunduğu için teşekkür etmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Larsen, A., Walther, J.H., 1998. Discrete Vortex Simulation of Flow Around Five Generic Bridge Deck Sections, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96, 934-944.

2. Bruno, L., Khris, S., 2003. The Validity of 2D Numerical Simulations of Vortical Structures Around a Bridge Deck, *Mathematical and Computer Modelling*, 37, 795-828.
3. Frandsen, J.B., 2004. Numerical Bridge Deck Studies Using Finite Elements. Part I: Flutter, *Journal of Fluids and Structures*, 19, 171-191.
4. Sarkar, P.P., Caracoglia, L., Haan Jr, F.L., Sato, H., Murakoshi, J., 2009. Comparative and Sensitivity Study of Flutter Derivatives of Selected Bridge Deck Sections, Part 1: Analysis of Inter-laboratory Experimental Data, *Engineering Structures*, 31, 158-169.
5. Kwon, S.D., Sungmoon Jung, M.S., Chang, S.P., 2000. A New Passive Aerodynamic Control Method for Bridge Flutter, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 86, 187-202.
6. El-Gammal, M., Hangan, H., King, P., 2007. Control of Vortex Shedding-induced Effects in a Sectional Bridge Model by Spanwise Perturbation Method, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 95, 663-678.
7. Zhang, H., Xin, D., Ou, J., 2016. Wake Control of Vortex Shedding Based on Spanwise Suction of a Bridge Section Model Using Delayed Detached Eddy Simulation, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 155, 100-114.
8. Zhang, L.Q., Chen, G.B., Chen, W.L., Gao, D.L., 2017 Separation Control on a Bridge Box Girder Using a Bypass Passive Jet Flow, *Applied Sciences (Switzerland)*, 7, 1-19.
9. Kwok, K.C.S., Qin, X.R., Fok, C.H., Hitchcock, P.A., 2012. Wind-induced Pressures Around a Sectional Twin-deck Bridge Model: Effects of Gap-width on the Aerodynamic Forces and Vortex Shedding Mechanisms, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 110, 50-61.
10. Chen, W.L., Li, H., Hu, H., 2014. An Experimental Study on the Unsteady Vortices and Turbulent Flow Structures Around Twin-box-girder Bridge Deck Models with Different Gap Ratios, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 132, 27-36.
11. Laima, S., Li, H., 2015. Effects of Gap Width on Flow Motions Around Twin-box Girders and Vortex-induced Vibrations, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 139, 37-49.
12. Laima, S., Jiang, C., Li, H., Chen, W., Ou, J., 2018. A Numerical Investigation of Reynolds Number Sensitivity of Flow Characteristics Around a Twin-box Girder, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 172, 298-316.
13. Battista, R.C., Pfeil, M.S., 2000. Reduction of Vortex-induced Oscillations of Rio-niteroi Bridge by Dynamic Control Devices, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 84, 273-288.
14. Larsen, A., Savage, M., Lafrenière, A., Hui, M.C.H., Larsen, S., 2008. Investigation of Vortex Response of a Twin Box Bridge Section at High and Low Reynolds Numbers, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96, 934-944.
15. Laima, S., Li, H., Chen, W., Li, F., 2013. Investigation and Control of Vortex-Induced Vibration of Twin Box Girders, *Journal of Fluids and Structures*, 39, 205-221.
16. Ma, C.M., Wang, J.X., Li, Q.S., Qin, H., Liao, H.L., 2018. Vortex-Induced Vibration Performance and Suppression Mechanism for a Long Suspension Bridge with Wide Twin-Box Girder, *Journal of Structural Engineering (United States)*, 144, 1-14.
17. Laima, S., Li, H., Chen, W., Ou, J., 2018. Effects of Attachments on Aerodynamic Characteristics and Vortex-induced Vibration of Twin-box Girder, *Journal of Fluids and Structures*, 77, 115-133.