

**YATAY BİR DAİRESEL SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AKIMDA
HIZ ALANININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ**

M. Salih KIRKGÖZ ve A. Alper ÖNER
Ç.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Akım içerisine batmış iki boyutlu dairesel silindirler yapı elemanı olarak mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar, bu nedenle bu tür küt cisimlerin akışkan akımı ile etkileşimi konusundaki araştırmalar tasarım amaçları bakımından önem arz etmektedir. Bir silindir etrafındaki akımın yapısını belirlemede hız alanı en önemli parametreyi oluşturmaktadır. Bu çalışmada, açık kanal içerisindeki yatay, dairesel, izole bir pürüzsüz silindirin etrafındaki su akımında hızlar deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Akım hızlarının ölçülmesinde PIV tekniği ile çalışan ölçme sistemi kullanılmıştır. Hız alanının teorik analizi için, $k-\varepsilon$ türbülans modeli ile birlikte, süreklilik ve momentum denklemleri, bu temel denklemlerin sonlu elemanlar çözümünde ANSYS-Flotran CFD paket programı kullanılmıştır. Sayısal hesaplamalar sonucu bulunan akım hızlarının, silindirin memba tarafında deneysel bulgularla uyumlu olduğu görülmüştür.

**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION OF VELOCITY
FIELD OF FLOW AROUND A HORIZONTAL CIRCULAR CYLINDER**

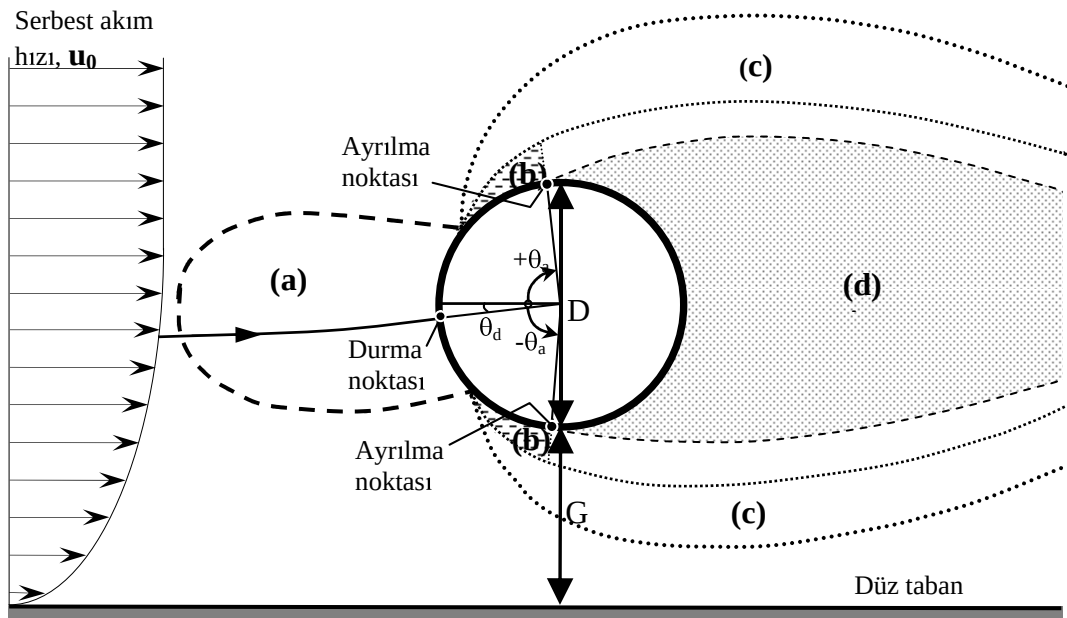
ABSTRACT : Two-dimensional submerged circular cylinders are widely used structural elements in engineering practices, and therefore the studies on the interaction of such bluff bodies with the fluid flow are important for design considerations. The velocity field is the most important parameter in determining the flow structure around a cylinder. In this study, the water velocity field of flow around an isolated horizontal circular smooth cylinder in an open channel is investigated both experimentally and theoretically. PIV technique is used to measure the flow velocities. The theoretical analysis of velocity field is carried out using the conservation of mass and conservation of momentum with $k-\varepsilon$ turbulence model. In the finite element solution of the governing equations ANSYS-Flotran CFD package is used. The numerical results for the flow velocities seem to compare well with the experimental data in the upstream of the cylinder.

1. GİRİŞ

Mansabında geniş ve çoğunlukla kararsız kuyruk (ayrılma) bölgeleri oluşturan cisimler hidrodinamik tanımlama bakımından küt cisimler olarak adlandırılırlar. Akım ile içerisinde batmış durumda bulunan küt cisimlerin etkileşiminden doğan problemler mühendislik uygulamalarında önem arz etmektedir. Etkileşime maruz iki boyutlu silindirik elemanlar üçgen, dikdörtgen, çokgen, eliptik veya dairesel kesitlere sahip olabilir. Basit geometrisi nedeniyle tercih edilen dairesel silindirik yapı elemanları; havacılıkta, inşaat, makina, kıyı ve deniz mühendisliği uygulamalarında akışkan akımları ile etkileşim halinde olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Denizaltı boru hatlarının mühendislik uygulamaları, bu bağlam içerisinde önemli bir yer tutmaktadır.

Batmış durumdaki yatay, düşey veya eğik silindirik elemanların, tasarım açısından maruz bulunduğu en önemli etken, etkileşimden doğan dinamik kuvvetlerin belirlenmesidir. Yanı sıra, katı madde bakımından hareketli tabanlara yakın silindirik elemanların sebep olduğu taban oyulmaları veya katı madde yığılmaları da hidrolik mühendisliğin önemli konularını oluşturmaktadır. Bu konularla bağlantılı olarak silindir etrafındaki akımın yapısı geçmişte birçok araştırmacı tarafından deneysel [1-4] ve teorik [5,6] olarak incelenmiştir.

Silindir etrafındaki akım alanının yapısı; akışkanın viskozitesine, akımın hızına ve derinliğine, silindir kesitinin şekil ve boyutuna, silindirin akım içindeki konumuna, ve silindirin katı sınırlardan uzaklığına bağlı olarak büyük değişimler göstermektedir. Akımda batmış durumda bulunan dairesel bir silindir etrafındaki akım için Şekil 1’de verildiği gibi dört farklı akım bölgesi tanımlanabilir [7,8], bunlar: (a) Silindir membasında yavaşlama bölgesi, (b) Silindir yüzeyinde simetrik biçimde oluşan sınır tabakaları, (c) Silindirin iki yanında hızlanma bölgeleri, ve (d) Mansaptaki sınır tabakası ayrılma (kuyruk) bölgesidir.



Şekil 1. Akım alanı içerisindeki silindirden etkilenen farklı bölgeler

Price ve ark. [4], deneysel bulgularına dayanarak, tabandan itibaren çapına eşit veya daha büyük bir mesafede bulunması (yani $G/D \geq 1.0$) durumunda, yatay bir dairesel silindirin etrafındaki akımın katı sınır etkisinden büyük ölçüde soyutlandığını ifade etmişlerdir. Şekil 1’de tanımlanan farklı özellikteki akım bölgelerinin karakterini belirleyen en temel unsur hız alanında gözlenen farklılıklardır. Hız alanındaki değişimler, akışkan ile silindir etkileşiminden kaynaklanan temel parametreleri de kontrol etmektedir.

Bu çalışmada, açık kanal su akımında kanal tabanından iki çap kadar yukarıda ($G/D=2$) yatay olarak duran pürüzsüz izole bir silindir etrafındaki akımda hızlar deneysel olarak ölçülmüş, ve hız alanı için teorik olarak hesaplanan bulgular deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

2. TEMEL DENKLEMLER VE SAYISAL ÇÖZÜM

Silindir etrafında oluşan iki-boyutlu, düzenli, sıkışmayan, türbülanslı, Newtonien akışkan hareketini idare eden temel denklemler, kütle korunumu ve momentum korunumu (Reynolds denklemleri), aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \rho K_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\overline{\rho u_i' u_j'} \right) \quad (2)$$

Burada u_i yatay (x) ve düşey (y) hız bileşenlerini, K_i yerçekiminin sebep olduğu kütle kuvveti, p basıncı, μ akışkanın dinamik viskozitesini, ρ ; akışkanın yoğunluğunu, ve (2) denklemindeki son terimin parantez içi türbülans gerilmelerini göstermektedir. Silindirin merkezi, koordinat sisteminin orijini olarak alınmıştır.

(2) denklemindeki türbülans kayma gerilmesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$-\overline{\rho u'v'} = \eta \frac{\partial u}{\partial y} \quad (3)$$

Standart k - ε modelinde, (3) denklemindeki türbülans viskozitesi, η , türbülans kinetik enerjisi, k , ve onun kayıp oranına, ε , bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [9]:

$$\eta = \rho C_\eta \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

(4) denklemindeki C_η türbülans sabiti olup 0.09 olarak verilmiştir.

(1) ve (2) denklemlerinin sayısal çözümü için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği-Computational Fluid Dynamics (CFD) kapsamında son yıllarda birçok ticari paket program geliştirilmiştir. Bu çalışmada, temel denklemlerin sayısal çözümü için sonlu elemanlar yöntemine dayalı ANSYS-Flotran paket programı kullanılmıştır. Açıklanan

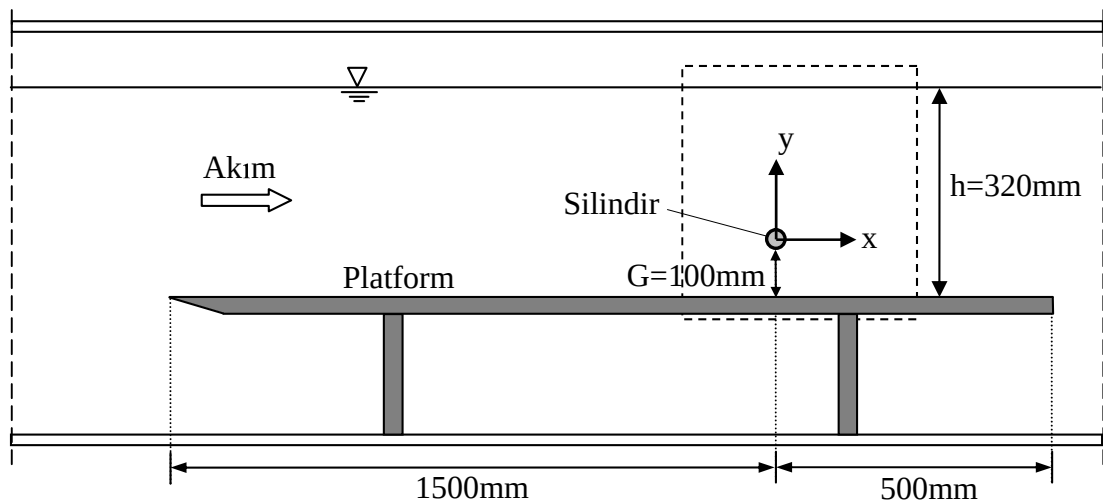
teorik yöntem, aşağıda verilen deney koşullarındaki akımlara uygulanarak deney silindirisinin etrafındaki akımda hızlar hesaplanmıştır. Sayısal hesaplamada, hesap bölgesinin sınır şartları; giriş ve alt sınırlar ile silindir yüzeyi akım hızı ile, üst (serbest yüzey) ve çıkış sınırları ise basınç şartı ile tanımlanmıştır.

3. DENEYLER

3.1. Deney Düzeni

Deneyler, Ç. Ü. Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarındaki kapalı çevrim olarak çalışan 1m genişlik, 0.75m derinlik ve 14m uzunluğundaki saydam pleksiglas duvarlı açık kanalda gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de görüldüğü gibi, kanal başlangıcından 4m uzaklığa kanal ile aynı genişliğe sahip 2m uzunluk ve 15mm kalınlıklı, ve kanal tabanından 265mm yükseklikte pleksiglasdan yapılmış bir platform yerleştirilmiştir. Platformun memba ucu sivriltilerek akımın platforma girişi rahatlatılmıştır. $D=50\text{mm}$ çaplı pürüzsüz pleksiglas silindir, platform başlangıcından itibaren 1500mm (30D) mesafede, dikey açıklık $G=100\text{mm}$ ($G/D=2$) olacak şekilde platformun üzerine yatay olarak monte edilmiştir. Bu şekilde, platform üzerindeki açık kanal akımının, sınır tabakası açısından silindir bölgesinde tam gelişmiş akım durumuna yaklaşacağı, ayrıca silindir etrafındaki akımın platform üzerinde oluşacak sınır tabakasının dışına düşerek katı tabandan etkilenmeyeceği varsayılmıştır.

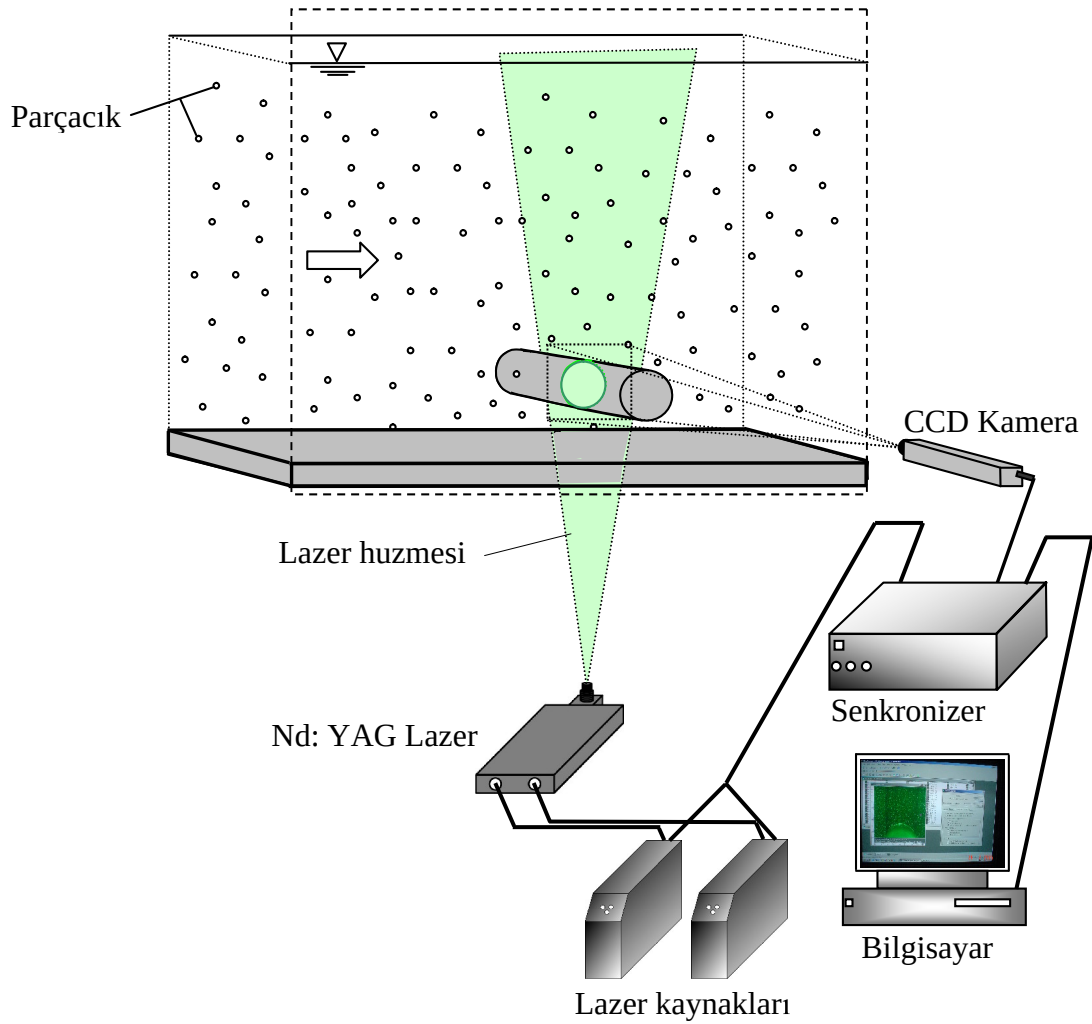
Deneyler, su derinliği $h=320\text{mm}$ ’de sabit tutularak iki farklı akım koşulunda yapılmıştır. Deneylerin herbirisi için kanalda ölçülen serbest akım hızları $u_0=87\text{mm/s}$ ve 197mm/s , ve hesaplanan Reynolds sayıları $Re_D(=u_0D/\nu)=4150$ ve 9500 şeklindedir. Akımda hız ölçümleri, Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü-Particle Image Velocimetry (PIV) tekniği kullanan ölçme sistemi ile yapılmıştır.



Şekil 2. Deney düzeninin şematik görünümü

3.2. PIV Sistemi ile Hız Ölçümü

PIV ölçme tekniği ile çalışan cihazlar, akımı rahatsız etmeden, akım alanındaki düzlemsel bir lazer huzmesi bölgesindeki mikron boyutundaki çok sayıda katı parçacıkların hareketini izleyerek anlık akım hızlarını ölçmekte ve belirli bir zaman aralığındaki ortalama hızları vermektedir. Şekil 3’de görüldüğü gibi ölçüm yapılmak istenen bölgeye lazer demeti gönderilerek bir görüntüleme yüzeyi oluşturulur. Lazer belli aralıklarla ışıır ve iki ışıma arasında CCD kamera parçacıkların hareketi ile ilgili görüntüleri kayıt eder. Alınan görüntüler birbirleriyle kros korelasyona sokulur ve elde edilen sinyaller özel yazılımlarla işlenerek akımdaki hız alanı ile ilgili çeşitli bilgilere dönüştürülür. Bu çalışmada hız ölçümü için Dantec PIV ölçüm sistemi ve yazılımı kullanılmıştır. Ölçüm sistemi Şekil 3’de şematik olarak görülmektedir. PIV sisteminin çalışma prensibi ve kullanımına ait daha geniş bilgi Şahin ve ark. [10] tarafından verilmiştir.



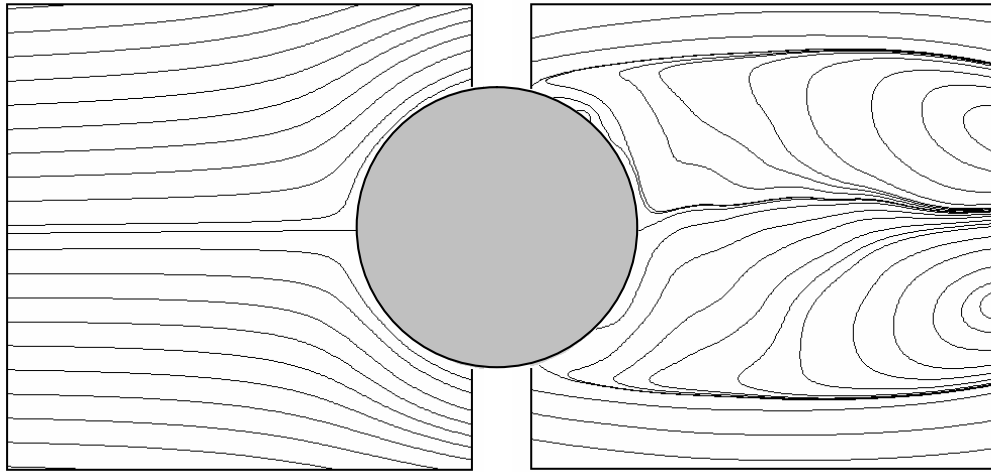
Şekil 3. PIV sisteminin çalışma şeması

4. DENEYSEL VE SAYISAL BULGULAR

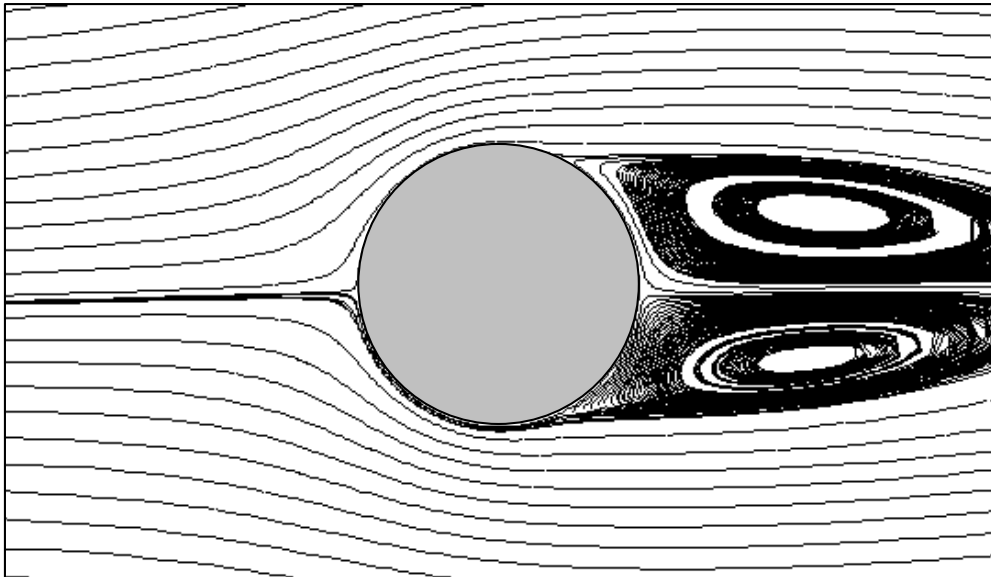
Bu çalışmada, açık kanal akımında, taban etkisinden etkilenmeyecek seviyede yatay olarak akıma dik doğrultuda duran pürüzsüz bir silindirin etrafındaki akımda hız alanı teorik olarak hesaplanmış ve deneysel ölçümlerden elde edilen bulgularla karşılaştırılmıştır.

4.1. Akım Çizgileri

Şekil 4 ve 5’de iki farklı akım koşulu için deneysel ve teorik hız alanlarından elde edilen akım çizgileri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi, deneysel ve teorik hız bulgularından elde edilen akım çizgileri deseni silindir kesiti düşey ekseninin memba



(a) Deneysel akım çizgileri

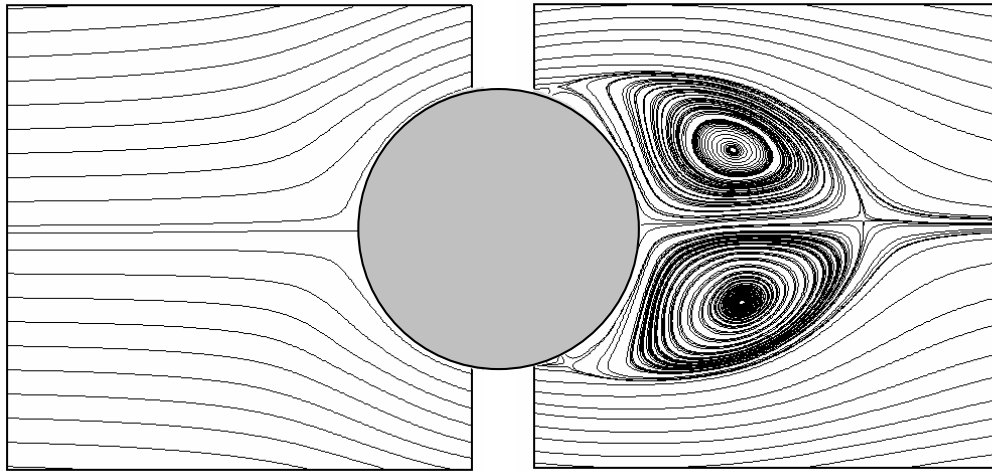


(b) Teorik akım çizgileri

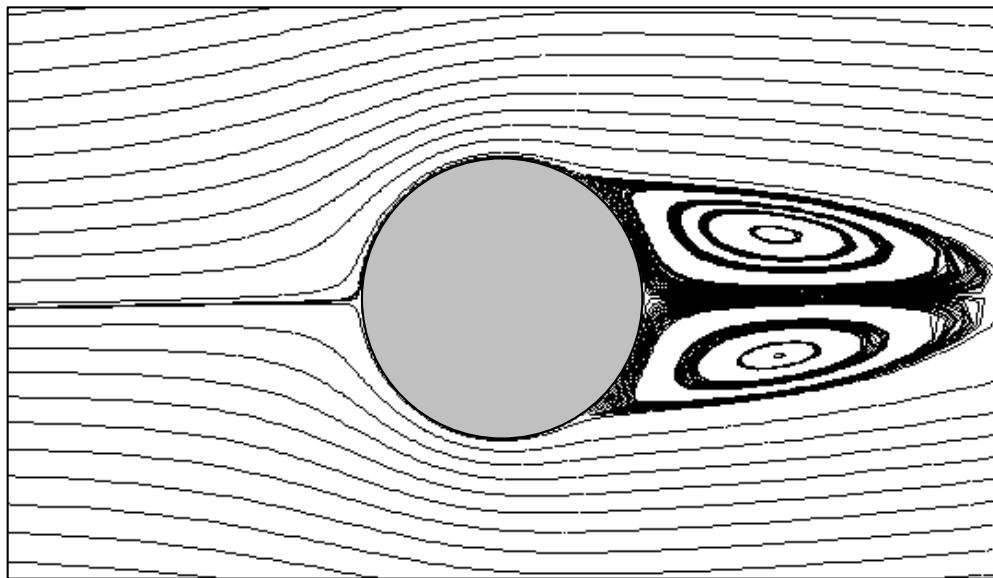
Şekil 4. $Re_D=4150$ için silindir etrafındaki deneysel ve teorik akım çizgileri

*YATAY BİR DAİRESEL SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AKIMDA
HIZ ALANININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ*

tarafındaki akım bölgesinde birbirleri ile oldukça uyumludur. Silindirin mansap tarafında benzer uyum görülememektedir. Reynolds sayısının artması ile birlikte silindirin mansabındaki ayrılma bölgesinin boyutlarında hem deneysel hem de teorik olarak azalmalar görölse de, ayrılma bölgesinin deneysel ve teorik bulgulardan elde edilen geometrisi, mevcut deney koşulları itibariyle önemli farklılıklar göstermektedir. Sınır tabakası ayrılma noktaları itibariyle karşılaştırıldığında, teorik bulgularda ayrılmanın daha mansaba kaydığı görülmektedir. Deneysel ve teorik akım çizgilerinin desenleri, silindir kesitinin yatay eksenine göre simetrik bir yapı göstermektedir. Yani, Şekil 1’de görülen durma noktası açısı $\theta_d=0^\circ$, ve sınır tabakası ayrılma açıları $(\pm\theta_a)$ eşit durumda bulunmaktadır. Akım çizgileri desenindeki bu görüntü, mevcut koşullardaki



(a) Deneysel akım çizgileri



(b) Teorik akım çizgileri

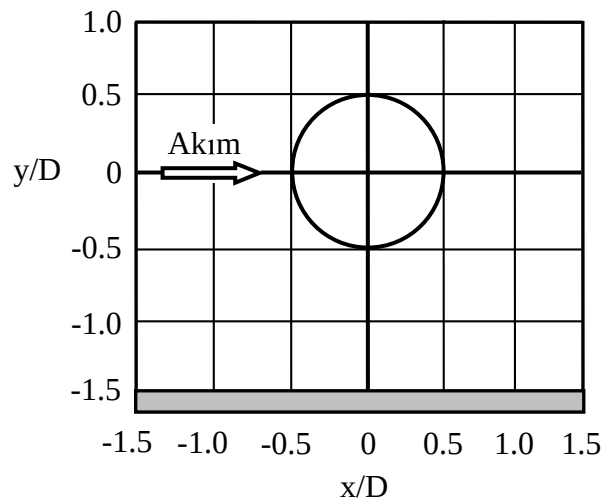
Şekil 5. $Re_D=9500$ için silindir etrafındaki deneysel ve teorik akım çizgileri

silindir etrafındaki akımın, kanal tabanındaki katı sınır etkisindeki sınır tabakası akımından etkilenmediğini ortaya koymaktadır.

4.2. Hız Dağılımları

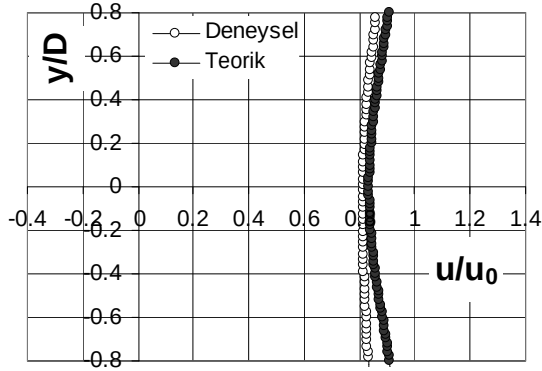
Bu bölümde, yatay silindirin memba ve mansabındaki çeşitli kesitlerde akımın deneysel ve teorik yatay ve düşey hız bileşenlerinin düşey dağılımları ile yatay hız bileşeninin silindir merkezinden geçen yatay eksen üzerindeki değişimleri verilmiştir. Hızlar serbest akım hızı u_0 ile boyutsuzlaştırılmıştır. Hızların düşey dağılımları Şekil 6'da görülen $x/D=\pm(0.5, 1.0, 1.5)$ kesitlerinde verilmiştir.

Şekil 7-10'da, iki ayrı deney koşulunda, $Re_D=4150$ ve 9500 , yatay ve düşey boyutsuz hız profilleri, u/u_0 ve v/v_0 , görülmektedir. Şekil 7-10'un incelenmesinden hız profillerinin genelde x eksenine göre simetrik olduğu görülmektedir. Şekil 7c ve 9c' de, Şekil 1'de tanımlanan yavaşlama bölgesinin sonundaki $x/D=-0.5$ kesitlerinde yatay hızın sıfırlandığı durma noktası x simetri eksenini üzerinde meydana gelmektedir. Hız alanında gözlenen simetrik oluşumlar, mevcut $G/D=2$ koşulundaki akımlarda silindir etrafındaki akımın tabandaki katı sınır etkisinden soyutlanmış olduğuna işaret etmektedir. Deneysel ve teorik bulguların karşılaştırılmasından, silindirin memba tarafındaki teorik hız profillerinin deneylerle daha uyumlu olduğu görülmektedir. Silindirin mansap tarafında, yani ayrılma bölgesinde, deneysel ve teorik akım çizgileri deseninde Şekil 4 ve 5'de görülen farklılıklar, hız profillerine de aynen yansımaktadır. Bununla birlikte, teorik modelden elde edilen Şekil 7-10'da verilen hızların, deneylerle karşılaştırıldığında, ayrılma bölgesinde de yer, yer gerçekçi olabileceği söylenebilir. Şekil 7-10'daki iki farklı Reynolds sayısı koşullarındaki hız profillerinin karşılaştırılmasından yüksek Reynolds sayısındaki ($Re_D=9500$) teorik hız bulgularının deneylerle daha iyi uyum sağladığı anlaşılmaktadır. Bu sonuç, uygulanan türbülans modelinin, türbülans şiddetinin artmasıyla daha başarılı olduğu anlamına gelmektedir.

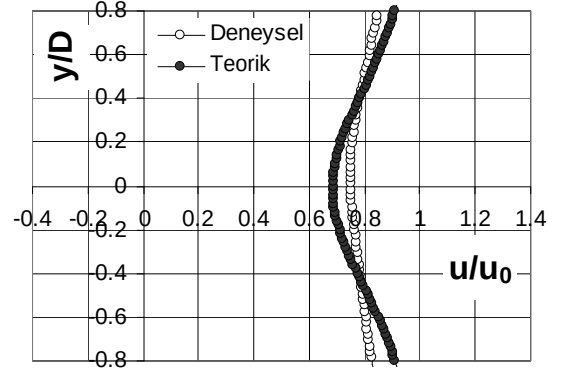


Şekil 6. Silindirin memba ve mansabında hız dağılımlarının verildiği kesitler

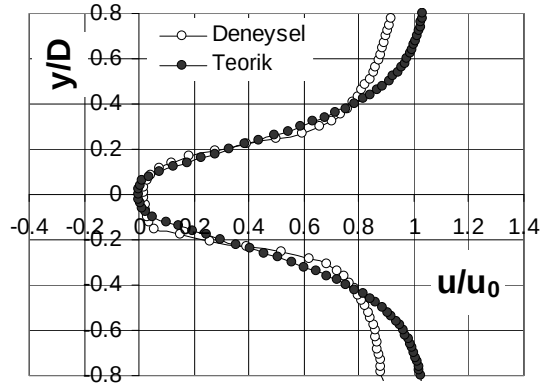
*YATAY BİR DAİRESEL SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AKIMDA
HIZ ALANININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ*



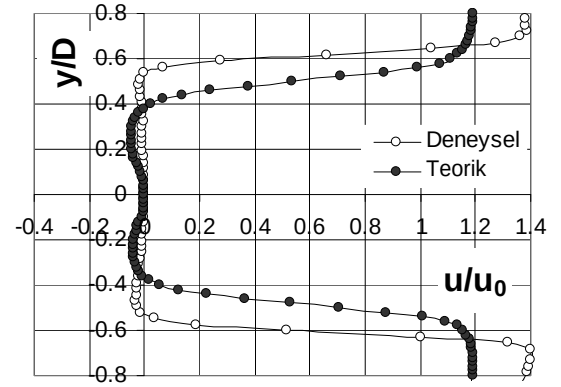
(a) $x/D = -1.5$



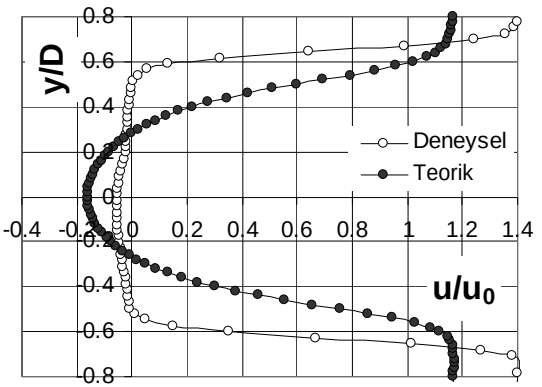
(b) $x/D = -1.0$



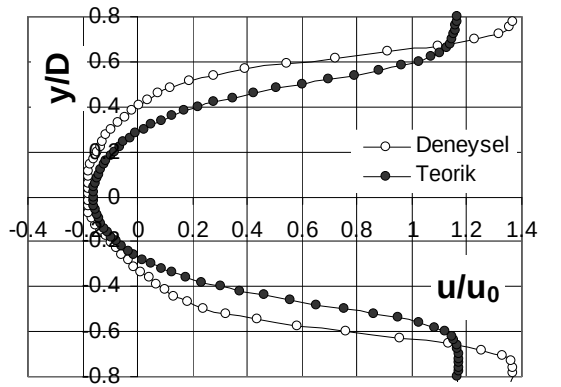
(c) $x/D = -0.5$



(d) $x/D = 0.5$

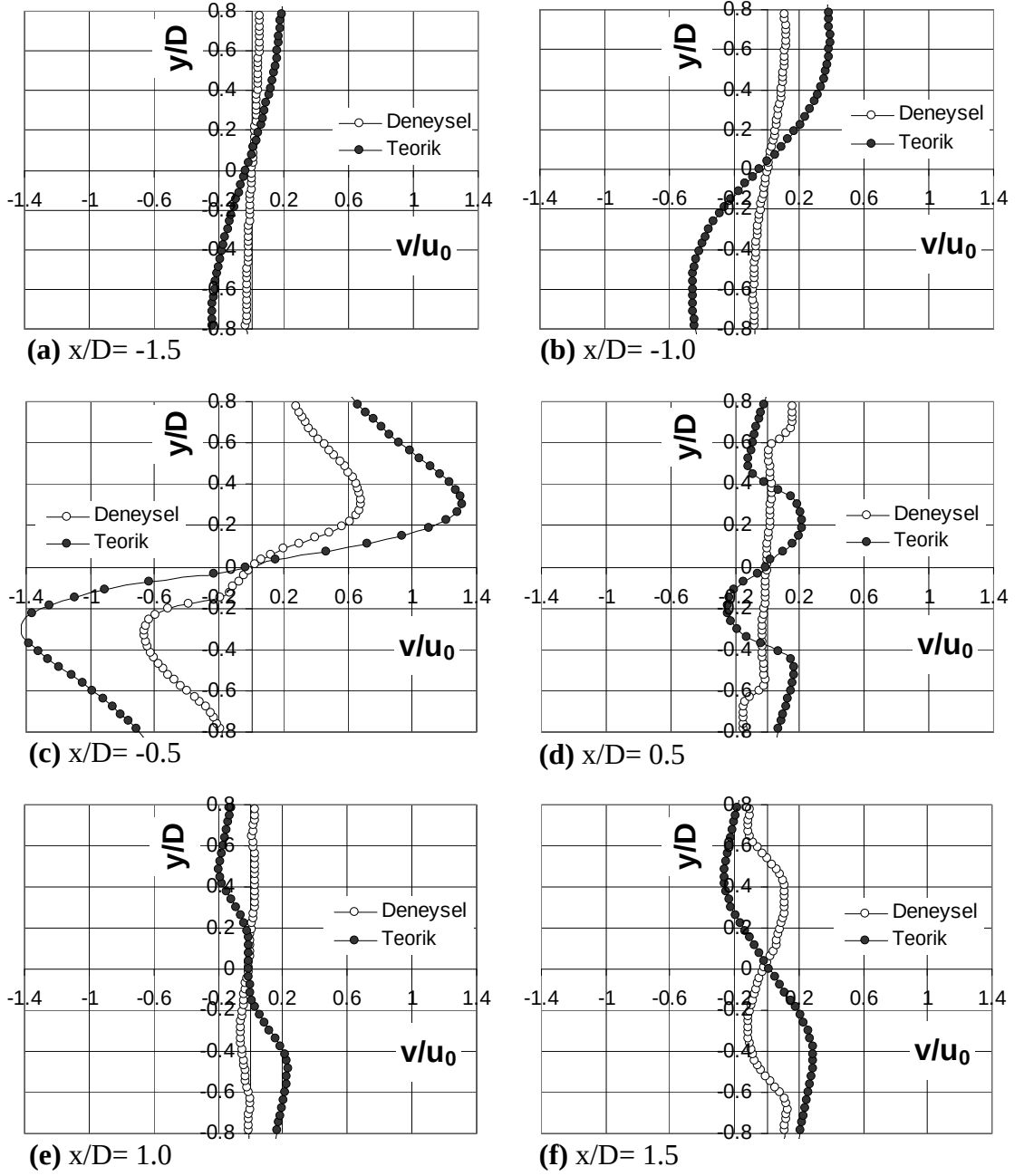


(e) $x/D = 1.0$



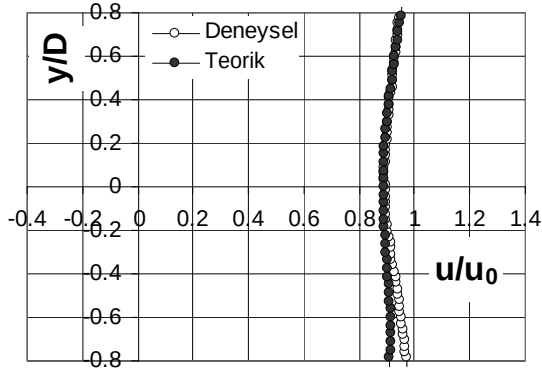
(f) $x/D = 1.5$

Şekil 7. $Re_D=4150$ için silindir memba ve mansabındaki farklı kesitlerde deneysel ve teorik yatay hız dağılımları

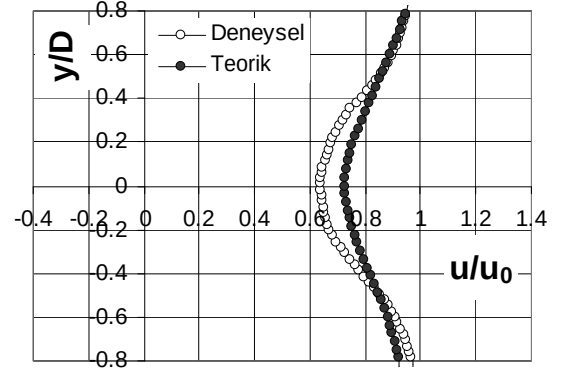


Şekil 8. $Re_D=4150$ için silindir memba ve mansabındaki farklı kesitlerde deneysel ve teorik düşey hız dağılımları

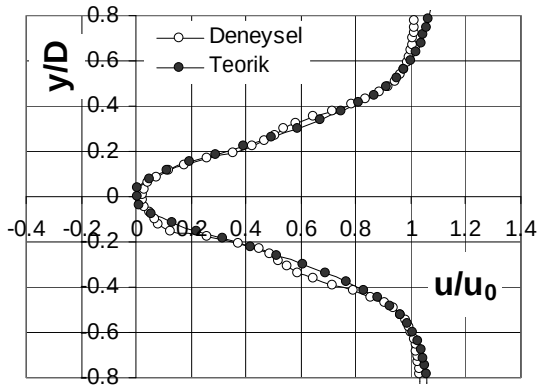
*YATAY BİR DAİRESEL SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AKIMDA
HIZ ALANININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ*



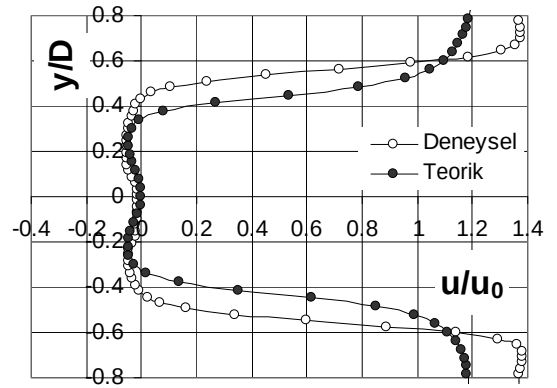
(a) $x/D = -1.5$



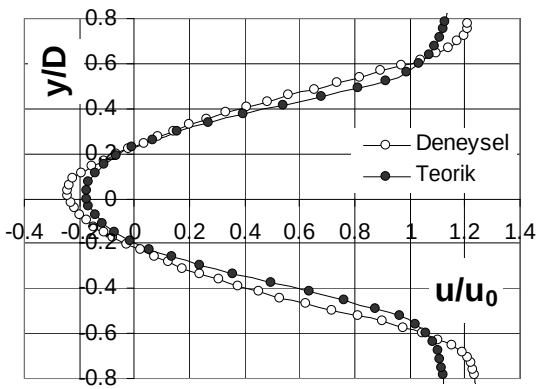
(b) $x/D = -1.0$



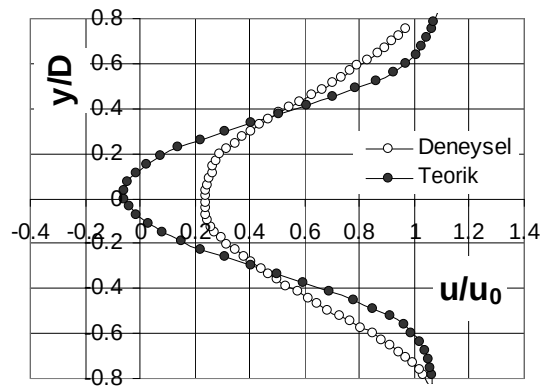
(c) $x/D = -0.5$



(d) $x/D = 0.5$

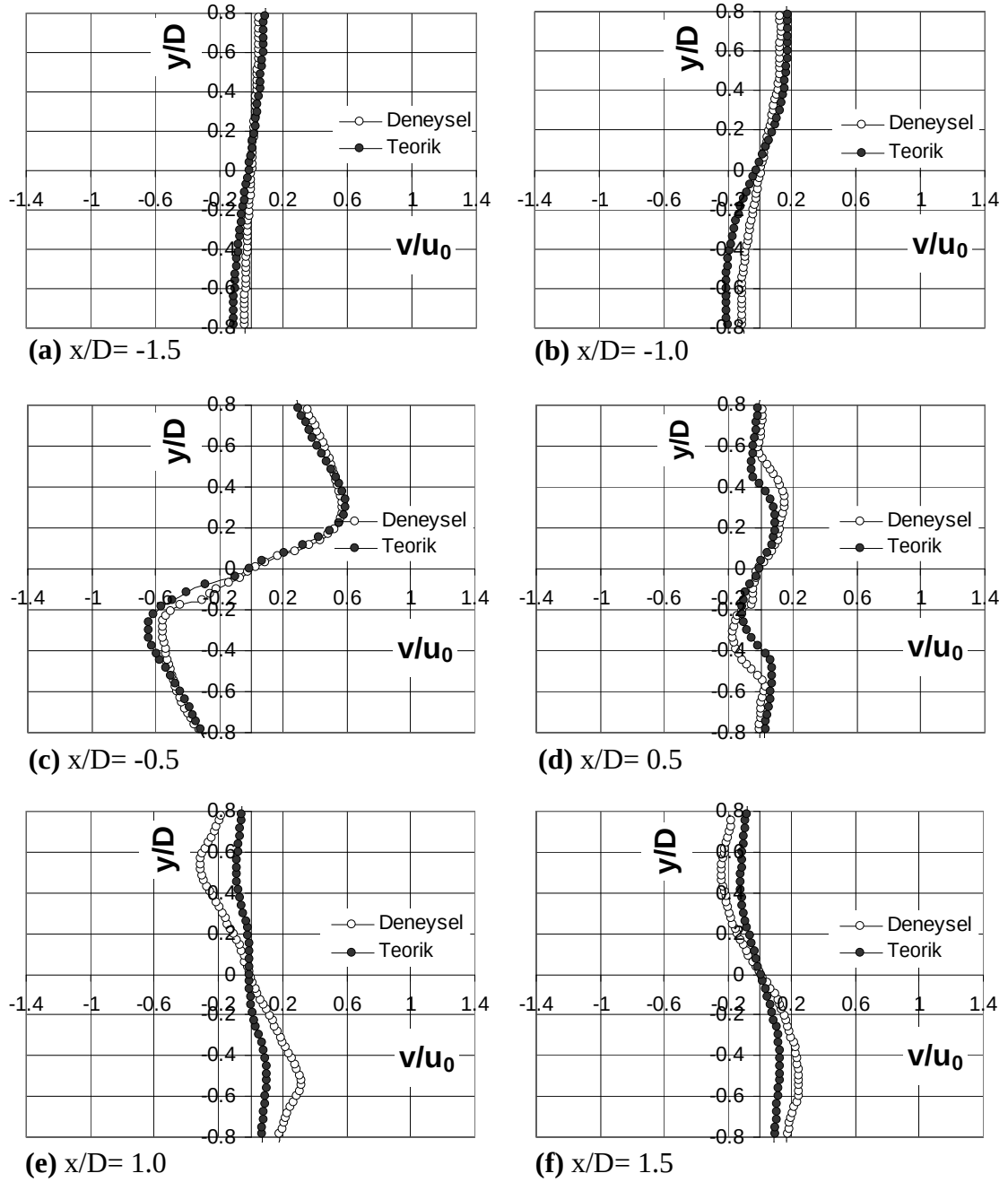


(e) $x/D = 1.0$



(f) $x/D = 1.5$

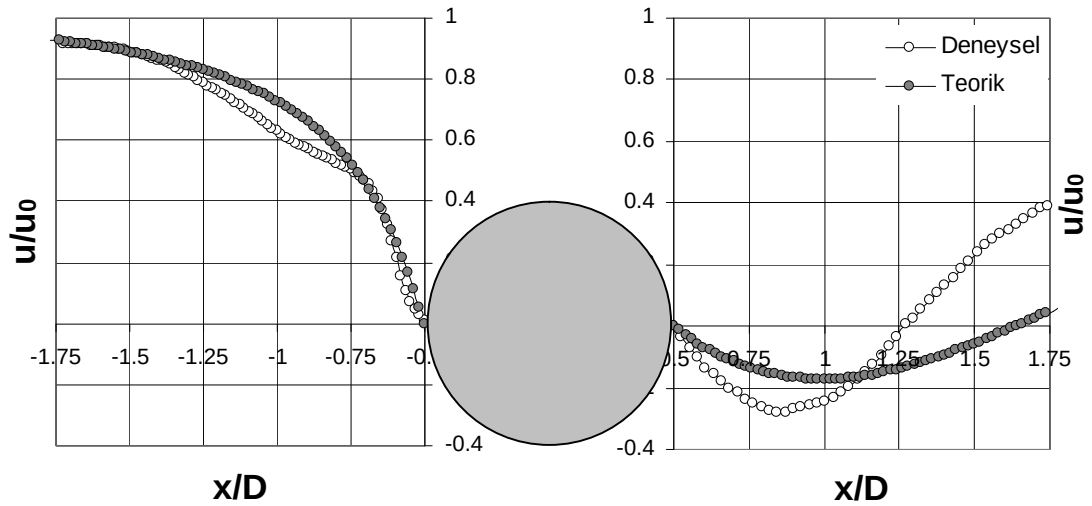
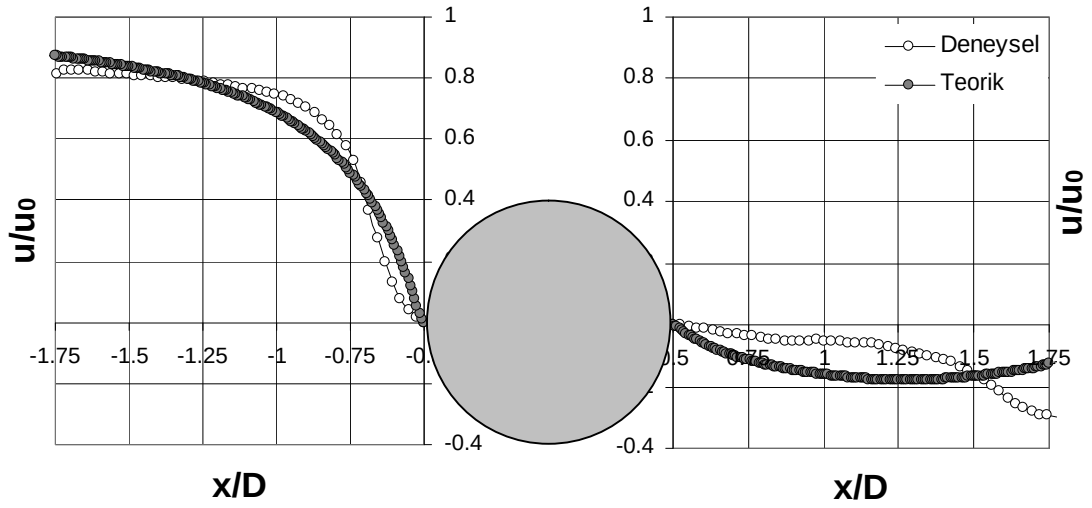
Şekil 9. $Re_D=9500$ için silindir memba ve mansabındaki farklı kesitlerde deneysel ve teorik yatay hız dağılımları



Şekil 10. $Re_D=9500$ için silindir memba ve mansabındaki farklı kesitlerde deneysel ve teorik düşey hız dağılımları

*YATAY BİR DAİRESEL SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AKIMDA
HIZ ALANININ DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ*

Şekil 11’de, silindir merkezinden geçen yatay eksen boyunca her iki akım durumu için, hızın yatay bileşeninin değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, silindir membasındaki teorik hız dağılımları, mansap tarafındakilerle kıyaslandığında, her iki Reynolds sayısında da deneylerle daha uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 11’deki bulgularda da teorik modelin, yüksek Reynolds sayısındaki akım koşulunda, silindir membası itibariyle daha başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 11. x ekseninde yatay hız bileşeninin değişimi

5. SONUÇLAR

Açık kanal akımı içerisinde, tabandan itibaren açıklık/çap oranı $G/D=2$ olacak şekilde yatay olarak yerleştirilen dairesel pürüzsüz bir silindir etrafındaki akım hızları iki farklı koşulda, $Re_D=4150$ ve 9500 , PIV ölçme tekniği ile deneysel olarak ölçülmüş, ve aynı koşullardaki teorik akım hızları hesaplanmıştır. Teorik modelden ANSYS paket programı ile hesaplanan ve ölçülen hızlardan elde edilen akım çizgileri ve hız dağılımlarının karşılaştırılmasından; hesaplanan hızların silindirin memba tarafında deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmüştür. Bu uyumun, iki akımdan Reynolds sayısı büyük olanında daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Silindirin mansabında ise hız alanındaki teorik ve deneysel verilerin uyumu, memba tarafına kıyasla daha zayıftır. Hız alanlarının, silindirin merkezinden geçen yatay eksene göre simetrik oluşumlar göstermesi, silindir ile etkileşim durumundaki akım bölgesinin, mevcut koşullarda, kanal tabanındaki sınır tabakası akımından etkilenmediğini göstermektedir. Bu çalışmadaki teorik ve deneysel hız bulgularının karşılaştırılmasından, uygulanan CFD benzeşimi ile batmış yatay bir silindirin, etrafındaki akımla etkileşim bölgesindeki hız alanının belirli ölçülerde başarılı olarak hesaplanabileceği sonucuna varılmıştır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma MMF2004D4 nolu proje ile Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir, teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. Bearman,P.W., Zdravkovich,M.M., "Flow around a circular cylinder near a plane boundary", *Journal of Fluid Mechanics*, 89, 33-47, 1978.
2. Zdravkovich,M.M., "Forces on a circular cylinder near a plane wall", *Applied Ocean Research*, 7, 197-201, 1985.
3. Choi,J.H., Lee,S.J., "Ground effect of flow around an elliptic cylinder in a turbulent boundary layer", *Journal of Fluids and Structures*, 14, 697-709, 2000.
4. Price,S.J., Sumner,D., Smith,J.G., Leong,K., Paidoussis,M.P., "Flow visualization around a circular cylinder near to a plane wall", *Journal of Fluids and Structures*, 16, 175-191, 2002.
5. Zovatto,L., Pedrizzetti,G., "Flow about a circular cylinder between parallel walls", *Journal of Fluid Mechanics*, 440, 1-25, 2001.
6. Liang,D., Cheng,L., "Numerical modelling of flow and scour below a pipeline in currents Part I. Flow simulation", *Coastal Engineering*, 52, 25-42, 2005.
7. Sümer,B.M., Fredsoe,J "Hydrodynamics around Cylindrical Structures", World Scientific, Singapore, 1997.
8. Zdravkovich,M.M., "Flow Around Circular Cylinders, Vol. 1: Fundamentals", Oxford University Press Inc., New York, 1997.
9. Launder,B.E., Spalding,D.B. "The numerical computation of turbulent flows", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3, 269-289, 1974.
10. Şahin,B., Akıllı,H. Öztürk,N.A., Karakuş,C., Kahraman,A., Akar,A., Yanıktepe,B., Özalp,C., Gürlek,C., "Akışkanlar mekaniği uygulamalarında parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniği (PIV)", *Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Özel Sayı*, 18, 103-111, 2003.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.