



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2011, Volume: 6, Number: 2, Article Number: 1A0176

**ENGINEERING SCIENCES**

Received: November 2010

Accepted: February 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

**Başak Varlı**

**Mustafa Demirci**

**Selahattin Kocaman**

Mustafa Kemal University

demircimustafa97@gmail.com

skocaman@mku.edu.tr

Hatay-Turkey

**HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMIĞI İLE KÖPRÜ KENAR AYAĞI ETRAFINDAKİ HIZ DAĞILIMININ İNCELENMESİ**

**ÖZET**

Köprülerin yıkılması çoğunlukla taşkınlar sırasında köprü ayakları civarında meydana gelen yerel oyulmalardan kaynaklanmaktadır. Oyulma ve buna bağlı olarak yıkılma mekanizmasının daha iyi anlaşılabilmesi için köprü ayakları civarındaki akım davranışının doğru olarak belirlenmesi gereklidir. Son yıllarda, hesaplamalı akışkanlar dinamiği esaslarına dayanan sayısal modeller benzer problemlerin çözümünde ve bu verilerin değerlendirilmesinde alternatif araçlar olmaktadır. Bu çalışmada, dikdörtgen geometriye sahip köprü kenar ayağı civarındaki hız dağılımını incelemek için FLOW 3D bilgisayar programı vasıtasıyla 3 boyutlu sayısal modelleme yapılmıştır. Modelleme sonucu bulunan sayısal sonuçlar daha önce yapılmış deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Köprü Kenar Ayağı, FLOW-3D, Hız Dağılımı, Nümerik Model, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği

**INVESTIGATION OF VELOCITY DISTRIBUTION AROUND BRIDGE ABUTMENT WITH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**

**ABSTRACT**

Bridge failures occur mostly due to local scour around bridge piers during floods. To better understand the scour and the resulting bridge failure mechanism, flow behavior should be accurately determined in the vicinity of piers. In recent years, mainly based on computational fluid dynamics, numerical modeling and evaluation of these data for the solution of similar problems, has become as an alternative tool. In this study, in order to investigate velocity distribution around rectangle shaped bridge abutment, three-dimensional numerical model was generated by using the FLOW 3D computer program. Modeling results were compared with experimental results in literature.

**Keywords:** Bridge Abutment, FLOW-3D, Velocity Distribution, Numerical Model, Computational Fluid Dynamics

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir köprünün, büyüklüğü ne olursa olsun, mühendislik ve ekonomik açıdan iyi bir şekilde projelendirilmesi için gerekli hidrolik çalışmalar henüz gereken önemi kazanmamıştır. Son yıllarda ağır hasar gören veya yıkılan akarsu köprüleri için yürütülen çalışmalar, hasar nedenlerinin çoğunun hidrolik etkenlerden kaynaklandığını ortaya koymuştur.

Köprü yıkılmalarının başlıca nedenlerinden biri taşkınlar sırasında köprü ayakları civarında meydana gelen yerel oyulmalardır. Sel suları köprü kenar veya orta ayakları civarındaki yatak malzemelerini sürükleyerek bu bölgede oyulmalar meydana getirirler. Bunların sonucu olarak köprü ayaklarının stabilitesi azalır ve ayaklar köprüyü taşıyamaz hale gelerek yıkılırlar. Bu sorunun çözümü için akarsu rejimine en uygun ayak tipinin belirlenmesi veya akarsu rejimini mevcut ayak tipine uygun hale getirilip getirilemeyeceği çalışmalarının yapılması gerekir. Bu amaçla köprü ayağı civarında hız dağılımlarının belirlenmesi oldukça önemli olmaktadır [1].

Ayak civarındaki oyulmaların önemli bir kısmı memba yüzeyinde meydana gelen aşağı doğru akımlar ve ayak tabanındaki atnalı vortekslerden kaynaklanırlar. Akımın ayak etrafında ayrılmasından dolayı akım doğrultusuna dik ekseninde oldukça kararsız bir yapıya sahip girdap çevrintiler oluşur. Bu çevrintiler ayak civarının her yerinde hareket ederek yatak malzemesinin taşınmasına ve oyulma çukurunun oluşmasına neden olurlar. Özellikle taşkınlar esnasında vorteks sistemleri ve yatak malzemesi arasında güç kazanan bu etkileşimlerin neden olduğu yerel oyulmalar, köprülerin yıkılması ile sonuçlanabilecek önemli bir tehlike potansiyeli oluştururlar.

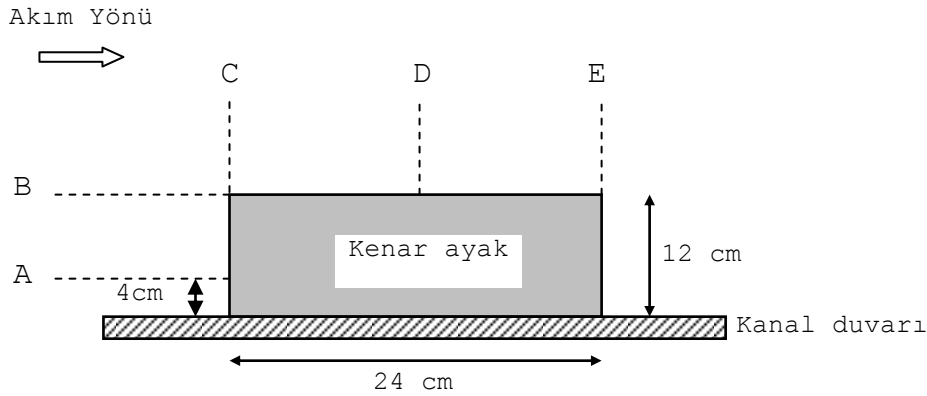
Birçok araştırmacı, köprü kenar ve orta ayakları etrafındaki akımın bu karmaşık davranışını incelemişlerdir. Rajaratnam ve Nwachukwu [2], silindirik yapılar civarındaki türbülantlı akımı deneysel olarak incelemiştir. Deneysel gözlemlere dayanarak köprü ayağı yakınlarında sapan akımı 3 boyutlu sınır tabakası ayrılması modeli kullanarak analiz etmiştir. Sınır tabakası ayrılmasını ve hız dağılımlarını incelemiştir. Graf ve Yulistiyanto [3], bir açık kanalda silindirik köprü ayağı etrafındaki akışı iki farklı akım için deneysel olarak incelemiştir. Üç boyutlu akım hızlarını elde etmek için akustik dopplerden yararlanmışlardır. Denejlerinin sonuçlarında negatif yönde bir at nalı vorteks sistemi olduğunu ifade etmiştir. Barbhuiya ve Dey [4], dikdörtgen bir kanal içerisindeki yarım silindirik biçimli ayak çevresinde ölçümler yapmışlardır. Zamana bağlı olarak değişen hız, türbülans yoğunluğu, türbülans kinetik enerjisi ve gerilim değerlerini belirtmişlerdir. Yatak içerisinde bulunan silindirik ayak çevresindeki Reynolds gerilmelerini ve hız değerlerini ifade etmişlerdir. Barbhuiya ve Dey [5], dikdörtgen ve rijit bir kanal içerisindeki trapez kenar ayak çevresinde ölçümler yapmışlardır. Zamana bağlı olarak değişen hız, türbülans yoğunluğu, türbülans kinetik enerjisi ve gerilim değerlerini belirtmişlerdir. Rijit yatakta bulunan trapez ayak çevresinde, Reynolds gerilmeleri ve hız değerlerinden yola çıkarak oluşan gerilmeleri çalışmışlardır. Barbhuiya ve Dey [6], dikdörtgen açık bir kanalın içerisine dikdörtgen kenar ayak yerleştirilerek ölçümler yapmışlardır. Ayak etrafında meydana gelen hız, türbülans yoğunluğu ve türbülans bileşenlerinin zamanla değişimi üzerine incelemeler yapmışlardır. Melville [7], orta ve kenar ayaklar etrafındaki oyulma miktarının hesaplanması için tüm tip ayaklar için geçerli genel oyulma denklemi hazırlamıştır. Orta ayaklar için geliştirilen yöntem oyulma parametrelerinin (akım derinliği ve ayak genişliği oranına bağlı düzeltme katsayısı, akım şiddeti düzeltme katsayısı, tane çapı büyüklüğü için düzeltme katsayısı, şekil ve yaklaşım açısı düzeltme faktörü) detaylı analizine dayanmaktadır.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, dikdörtgen geometriye sahip köprü kenar ayağı etrafındaki hız dağılımını incelemek için FLOW-3D bilgisayar programı vasıtasıyla 3 boyutlu sayısal modelleme yapılmıştır. Farklı ağ aralıkları kullanılarak elde edilen sayısal model sonuçları literatürde bulunan deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

## 3. DENEYSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHOD)

Bu çalışmada, sayısal model sonuçları ile karşılaştırabilmek amacıyla Barbhuiya ve Dey [4]'in laboratuvar ortamında deneysel olarak çalıştıkları dikdörtgen kenar ayak civarında elde ettikleri hız dağılımları kullanılmıştır. Deneyler 20 m uzunluğunda, 0.90 m genişliğinde ve 0.70 m derinliğinde dikdörtgen enkesite sahip yatay bir kanalda gerçekleştirilmiştir. Kanal içerisine Şekil 1'de görülen dikdörtgen geometriye sahip 24 cm uzunluğunda 12 cm genişliğinde bir kenar ayak yerleştirilmiştir. Kanal tabanı üniform yatak malzemesi çapı 0.52 mm olarak belirlenen kum ile kaplıdır. Kanal içerisindeki ortalama akım hızı 0.294 m/sn ve su derinliği 0.2 m olarak alınmıştır. Akustik Doppler Hız ölçüm aleti (ADV) kullanılarak kenar ayak civarında farklı noktalarda hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Kullandıkları ADV cihazının ışınları yerleştirilen ölçüm bölgesinin 5 cm altına kadar bölgeyi taramaktadır. Bu nedenle su yüzeyinden itibaren 5 cm'lik kısımda ölçüm alınamamıştır. Çalışmalarında 3 doğrultuda da hız bileşenleri belirlenmesine karşın yapılan çalışmada sadece x doğrultusundaki hız bileşenleri karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 1. Dikdörtgen kenar ayağın plan görünüşü ve ölçüm alınan eksenler

(Figure 1. Plan view of the rectangular bridge abutment and the axis of measurement)

## 4. SAYISAL YÖNTEM (NUMERICAL METHOD)

### 4.1. FLOW-3D Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yazılımı (FLOW-3D Computational Fluid Dynamics Software)

Sayısal çalışmada, FLOW-3D ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı kullanılmıştır. Özellikle, serbest yüzeyli akımların çözümünde oldukça başarılı olan bu yazılım ile süreklilik ve 3-boyutlu Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemleri sonlu hacimler yöntemi kullanılarak çözülmektedir. Sayısal hesaplamalar, dikdörtgen hücrelerden oluşan bir çözüm ağı üzerinde yapılmakta ve problem geometrisi daha sonra bu ağ üzerinde ilgili hücrelerin engellerle kapatılmasıyla elde edilmektedir. Yazılım, serbest yüzeyli problemlerin çözümü için akışkan hacmi (VOF-Volume of Fluid) yöntemini

kullanılmaktadır [8]. Türbülans büyüklüklerinin hesaplanabilmesi için k- $\epsilon$  modeli, Prandtl karışma boyu modeli, türbülans enerji modeli, RNG (Renormalized Group) model ve LES (Large-Eddy Simulation) modeli gibi farklı türbülans yaklaşımlarını içerisinde barındırmaktadır. Yazılım içerisinde, sıkışmayan akım için eş zamanlı olarak çözülen kartezyen koordinatlarındaki 3 boyutlu süreklilik ve RANS denklemleri aşağıdaki gibidir:

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

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( u_j A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + f_i \quad (2)$$

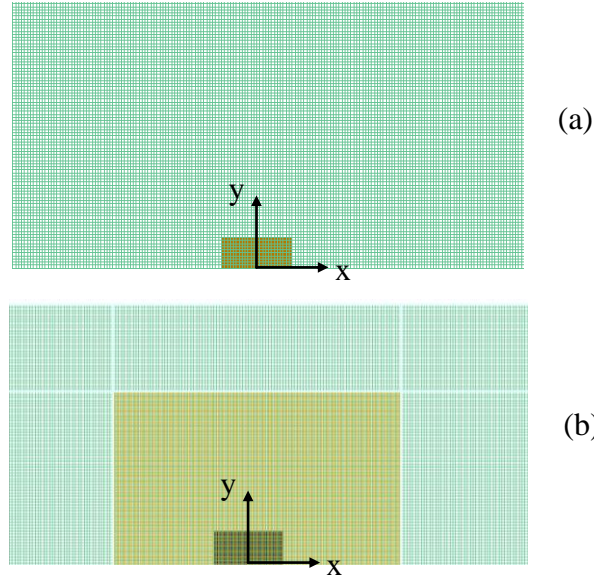
Burada  $u_i$  i doğrultusundaki akım hızını, P basıncı,  $A_i$  i doğrultusunda her bir hücredeki akışkanın sahip olduğu alanı,  $V_F$  her bir hücredeki akışkanın sahip olduğu hacmi,  $g_i$  kütleli kuvvetleri,  $f_i$  herhangi bir türbülans modeli için Reynolds gerilmelerini ifade etmektedir [9].

#### 4.2. Çözüm Bölgesi, Sınır ve Başlangıç Şartları (Solution Region, Boundary and Initial Conditions)

Sayısal çalışma, deneysel veriler dikkate alınarak 400 cm uzunluğunda, 90 cm genişliğinde ve 25 cm yüksekliğinde dikdörtgen hücrelerden oluşan bir çözüm bölgesi düşünülerek 3 boyutlu model oluşturulmuştur.

Başlangıç şartı olarak, kanal içerisinde 20 cm yükseklikli ve ortama akım hızı 0.294 m/s olan bir akışkan hacmi tanımlanmıştır. Mamba ucunda sınır şartı olarak "ortalama akım hızı" (specified velocity) alınmış, mansap ucunda ise "çıkan akım" (outflow) seçilmiştir. Kanal yan duvarları ve kanal tabanında sınır şartı; "duvar" (wall) olarak tanımlanmıştır. Katı sınır yüzeylerinde "kaymama" (no-slip) sınır koşulu uygulanmıştır. Dolayısıyla cidar yüzeylerinde yatay ve düşey doğrultudaki hız bileşenleri sıfır olmaktadır. Çözüm bölgesinin üst sınırında ise sınır şartı olarak "simetri" alınmıştır. Bu sınır şartı seçildiğinde, yerçekiminden dolayı herhangi bir etkisi olmadığı için serbest yüzeyde atmosfer basıncının etkili olduğu kabul edilmektedir. Su yüzeyi, "akışkan hacmi" (volume of fluid, VOF) yaklaşımı ile belirlendiğinden su hava arakesitinde sıfır kayma gerilmesi ve sabit atmosfer basıncı etkili olmaktadır. Yapılan çalışmada, k- $\epsilon$  türbülans modeli kullanılmıştır.

Flow-3D programında, dikdörtgen hücrelerden oluşan bir çözüm ağı kullanılmaktadır. Çözümleme yapılırken model hücrelere bölünerek çözüm alınmaktadır. Ağ aralıklarının küçük olması çözüm hassasiyetini artırırken, bilgisayar ortamında çözüm süresini uzamaktadır. Bu nedenle farklı ağ aralıkları seçilerek sonuçlar üzerindeki etkisi incelenmelidir. Yapılan çalışmada, iki farklı çözüm ağı (mesh) seçilerek çözümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 2a'da ağ aralıkları x, y ve z doğrultularında 1 cm olan uniform ağ (ağ 2) ve Şekil 2b'de 1 cm ağ aralıklı çözüm bölgesi içerisine yerleştirilmiş 0.5 cm uniform ağ aralığına sahip yuva (nested) ağ (ağ 1) olarak adlandırılan çözüm ağı kullanılmıştır. Yuva ağ ile köprü kenar ayağı etrafında ağ aralıkları sıklaştırılarak çözüm süresi kısaltılabilmektedir. Gömülü ağ kullanmanın avantajı, sonuç alınmak istenen noktada hassasiyeti artırarak istenilen bölgede daha hassas sonuçlar alınmasına yardımcı olmasıdır. Böylelikle ağ sayısı artışı çok olmazken, çözüm süresi uzamaz.



Şekil 2. Ağ şekilleri a) üniform ağ (ağ-2) b) yuva ağ (ağ-1)  
(Figure 2. Mesh shapes a) uniform mesh (MESH2) b) nested mesh (MESH1))

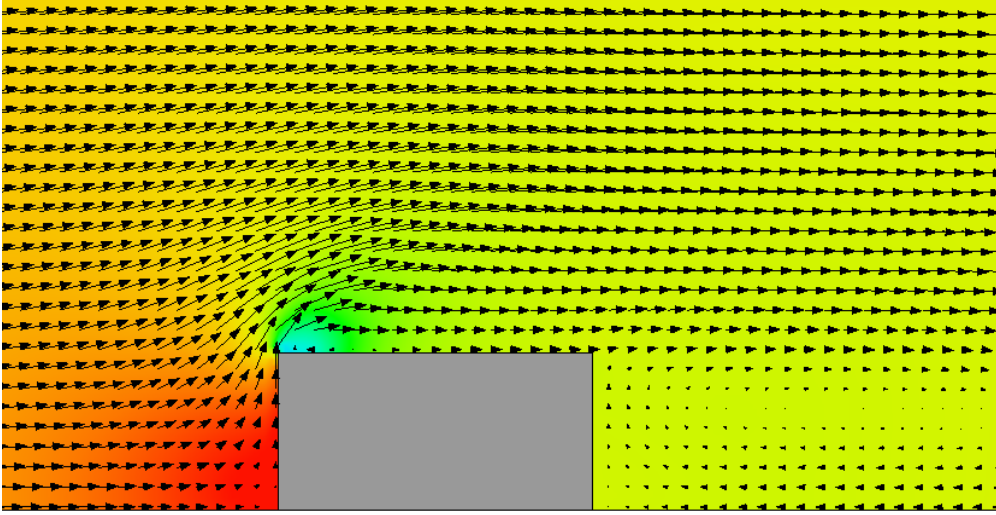
Pentium Intel Core2Duo E7200 2.53GHz 2GB RAM özelliklere sahip bir bilgisayar yardımıyla gerçekleştirilen 20 s süreli çözümler 900000 hücreden oluşan ağ-2 için yaklaşık 24 saat, 2100000 hücreden oluşan ağ-1 için yaklaşık 36 saat sürmüştür.

##### 5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Dikdörtgen geometriye sahip köprü kenar ayağı civarında deneysel olarak elde edilmiş olan hız dağılımları [4], RANS denklemlerine dayanan 3-boyutlu sayısal model sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

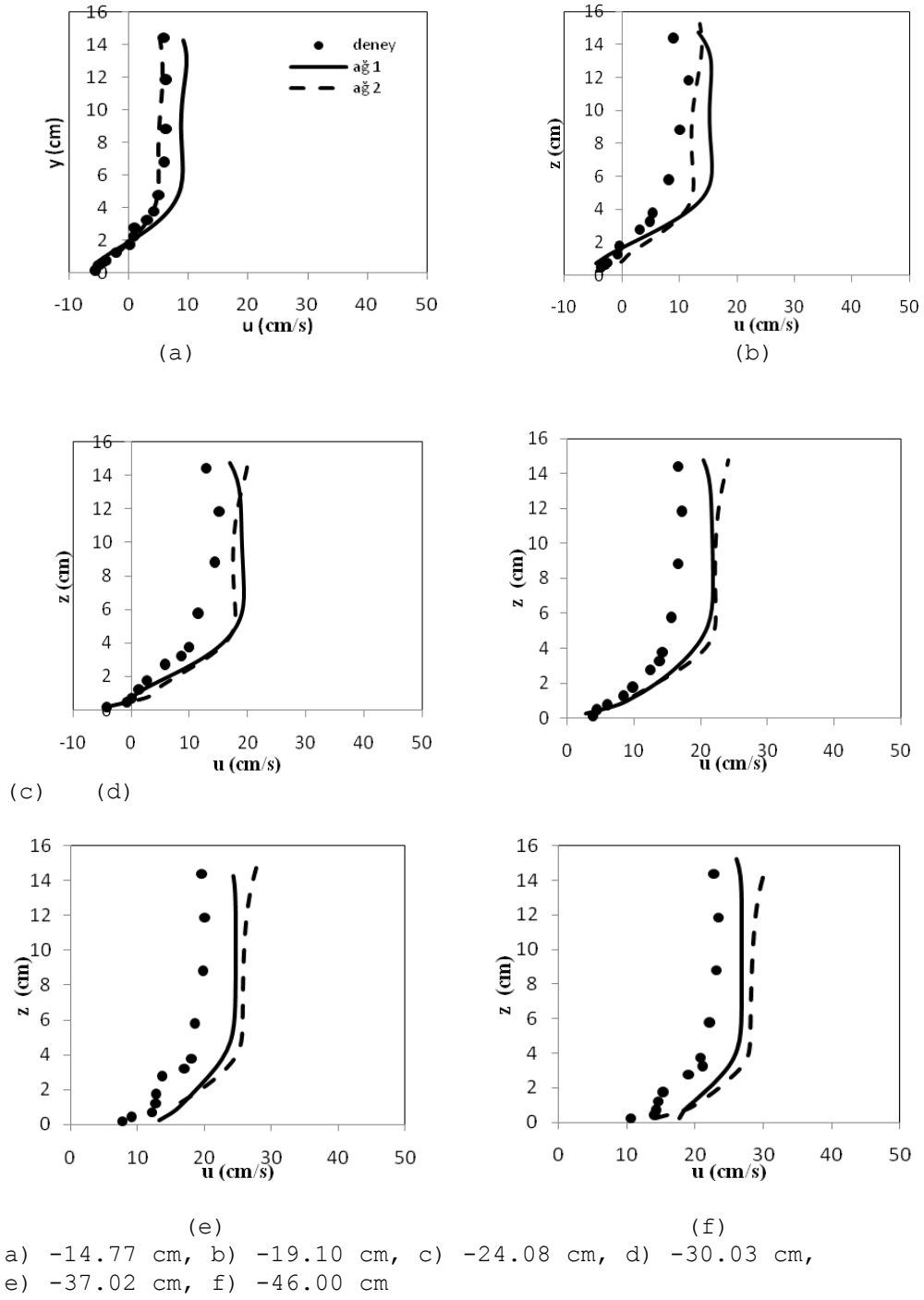
Şekil 3'te köprü kenar ayağı civarında sayısal çözüm neticesinde elde edilen hız vektörleri görülmektedir. Kenar ayağın hemen memba kısmında akım engele çarparak yavaşlamakta ve hızlı bir şekilde doğrultu değiştirerek köprü açıklığından çıkmaya çalışmaktadır. Memba ucunda daralmanın da etkisiyle akım hızının artışı ve köşe noktasında çok küçük bir bölgede tersine akım gözlenmektedir. Köprü açıklığında çıktıkça akım daha düzenli hale gelmektedir. Ayağın mansap kısmında ise düşük hızlarda tersine akım ve çevrıntiler oluştuğu görülmektedir.

Şekil 4'den şekil 8'e kadar iki farklı ağ aralığı (mesh) kullanılarak elde edilen sayısal çözüm sonuçlarının farklı eksen ve mesafelerde ölçülen, derinlik boyunca elde edilmiş hız değerleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Şekil 4 ve 5'te mesafeler x doğrultusunda Şekil 6-8'de y doğrultusunda değişmektedir.

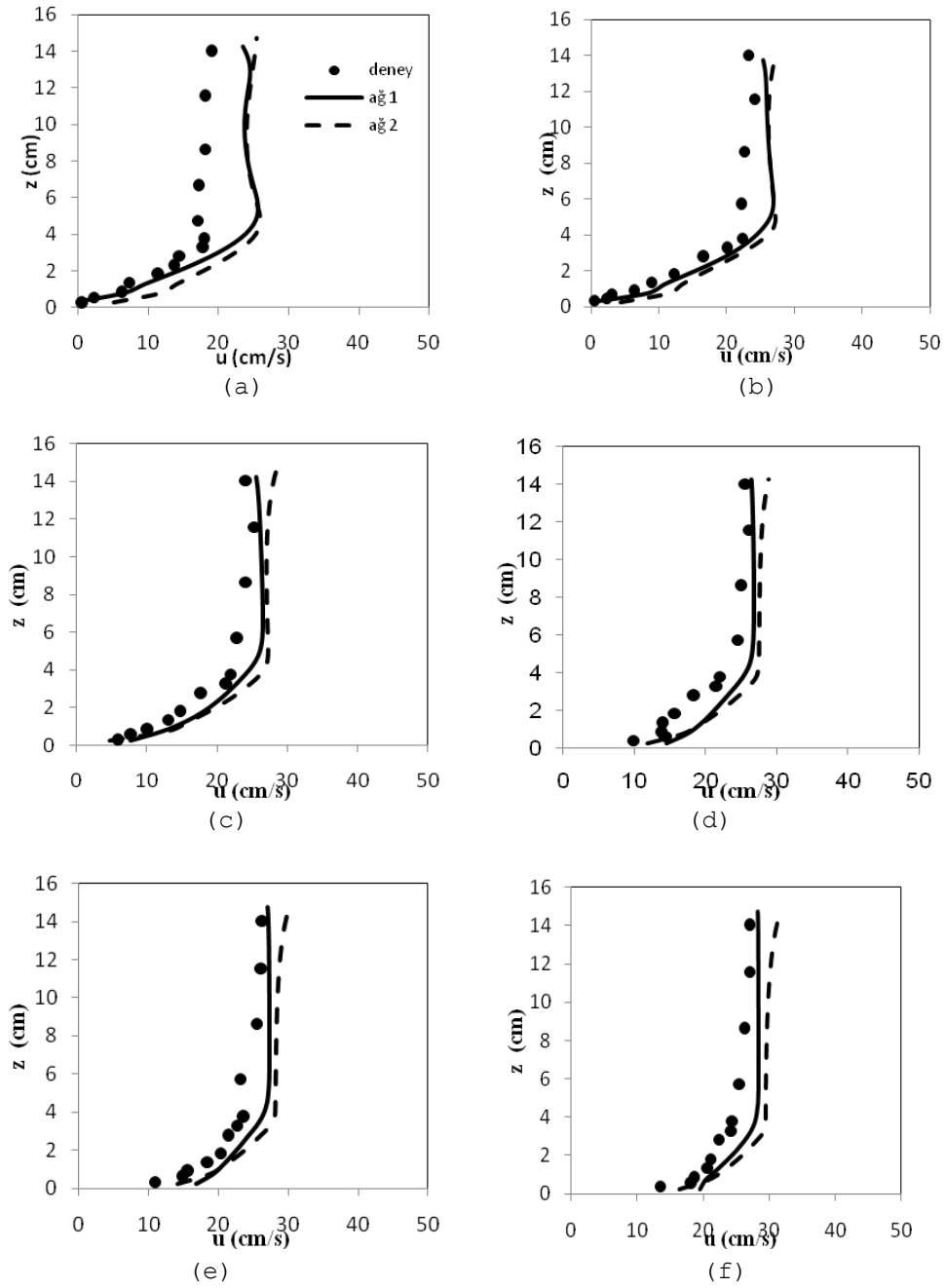


Şekil 3. Dikdörtgen kenar ayak etrafında modelleme sonucu oluşan hız vektörleri  
(Figure 3. Velocity vectors as a result of model around rectangular abutment)

Şekil 4 ve 5’de sırasıyla A ve B eksenleri doğrultusunda kenar ayağın membasında farklı mesafelerde ölçülmüş olan ve hesaplanan hız dağılımlarının değişimi görülmektedir. Grafıklara bakıldığında sayısal olarak elde edilen hız değerlerinin deney sonuçlarına göre daha büyük değere sahip olduğu gözlenmektedir. Bununla birlikte genel olarak hız dağılımları arasında belirgin bir benzerlik olduğu söylenebilir. Cidara daha uzak olan B ekseninde elde edilen sonuçlara cidara daha yakın A eksenindeki sonuçlara göre çok daha uyumlu çıkmıştır. Ayrıca Şekil 5’te B eksenini üzerinde farklı mesafelerde alınan okumalara bakıldığında kenar ayağa en yakın olan ve  $x=14.53$  cm mesafede bulunan Şekil 5a haricindeki sonuçların oldukça uyumlu olduğu göze çarpmaktadır. Bunun yanı sıra yuva ağ (ağ-1) üniform ağ’a göre (ağ-2) nispeten daha iyi sonuç vermektedir.



Şekil 4. Dikdörtgen kenar ayakta A eksenini doğrultusundaki ağ karşılaştırmaları  
(Figure 4. Mesh comparisons in the A axis direction of rectangular abutment)



a) -14.53 cm, b) -19.04 cm, c) -24.00 cm, d) -30.04 cm,  
e) -36.00 cm, f) -47.02 cm

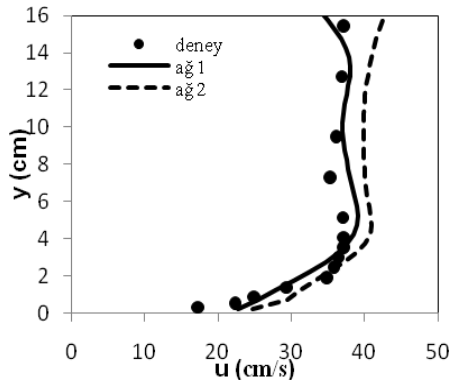
Şekil 5. Dikdörtgen kenar ayakta B eksenini doğrultusundaki ağ karşılaştırmaları  
(Figure 5. Mesh comparisons in the B axis direction of rectangular abutment)

Şekil 6-8'de sırasıyla C, D ve E eksenleri doğrultusunda köprü açıklığı içerisinde y doğrultusunda farklı mesafelerde ölçülmüş olan ve iki farklı ağ aralığı için sayısal olarak hesaplanan hız dağılımlarının değişimi verilmiştir. Üç farklı eksen, her iki ağ için elde edilen sayısal sonuçlar genel olarak deneysel sonuçları ile

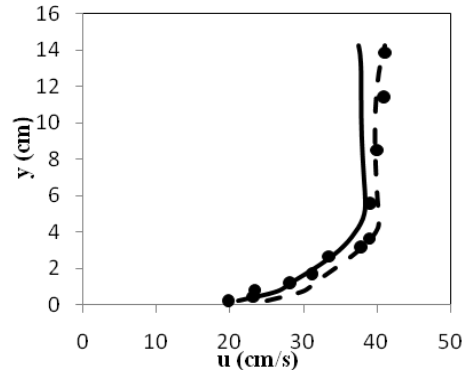


oldukça iyi benzerlik göstermektedir. Sadede Şekil 7a ve Şekil 8a ve b 'de çevrıntilerin etkisiyle kısa mesafede bile hız dağılımında belirgin değişimlerin olduğu kenar ayağa yakın kısımlarda deney sonuçları ile farklılıklar göze çarpmaktadır. Köprü ayağından uzaklaştıkça cidar etkisi ve çevrıntiler azalmakta ve kenar ayaktan uzak mesafelerde elde edilen sayısal sonuçların deney sonuçları ile daha uyumlu olduğu gözlenmektedir. Köprü açıklığındaki sonuçlara genel olarak bakıldığında, çözüm bölgesinde ağ-1 kullanılarak elde edilen sonuçların ağ-2'ye göre çok daha uyumlu olduğu ve yakınsadığı söylenebilir. Ayrıca, grafikler dikkatle incelendiğinde daralmanın etkisiyle köprü açıklığında akımın hızlandığı ve hız değerlerinin ortalama hız (29.4cm/s) değerinin üzerinde olduğu hem deney hem sayısal sonuçlarda görülmektedir. Bununla birlikte, sayısal sonuçlarda deney verilerine paralel olarak su yüzeyine doğru çıkıldıkça logaritmik hız dağılımının gerçekleştiği söylenebilir.

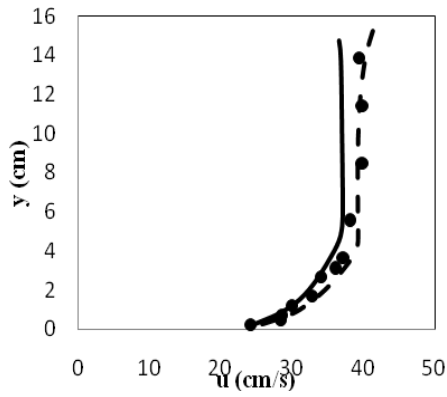
Yapılan çalışmada, kenar ayak civarında cidara yakın kısımlarda görülen farklılıkların azaltılabilmesi ve deney sonuçlarına yakın daha gerçekçi sonuçlar alınabilmesi için bu bölgede daha sıkı ağ aralıkları seçmek gereklidir. Bununla birlikte, ağ aralıklarının küçülmesi çözüm bölgesindeki hücre sayısını diğer bir ifade ile çözülmesi gereken bilinmeyen sayısı arttığında, işlemci gücü ve bellek gibi donanım yetersizliklerinden dolayı mevcut masaüstü bilgisayarlar ile çözüm mümkün olmamakta veya çok çok uzun çözüm süreleri gerekmektedir. Bu nedenle daha kapsamlı hassas çözümler için birden fazla bilgisayarın paralel kullanıldığı veya çok işlemcili süper bilgisayarlara gereksinim duyulmaktadır.



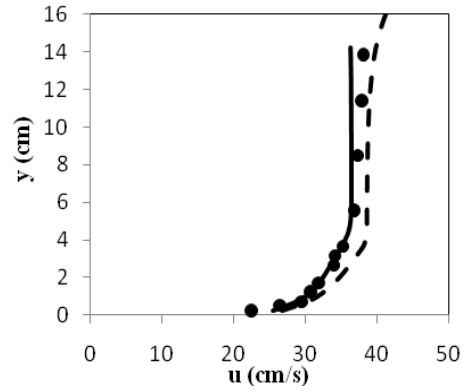
(a)



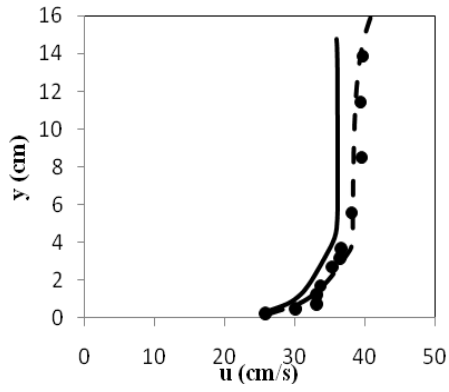
(b)



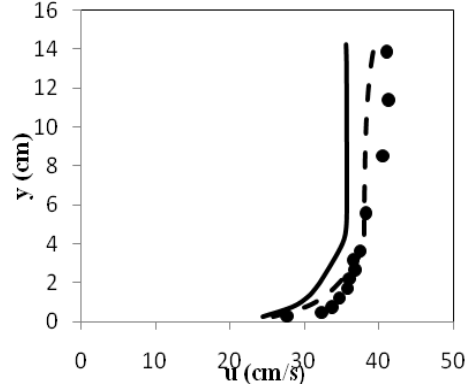
(c)



(d)



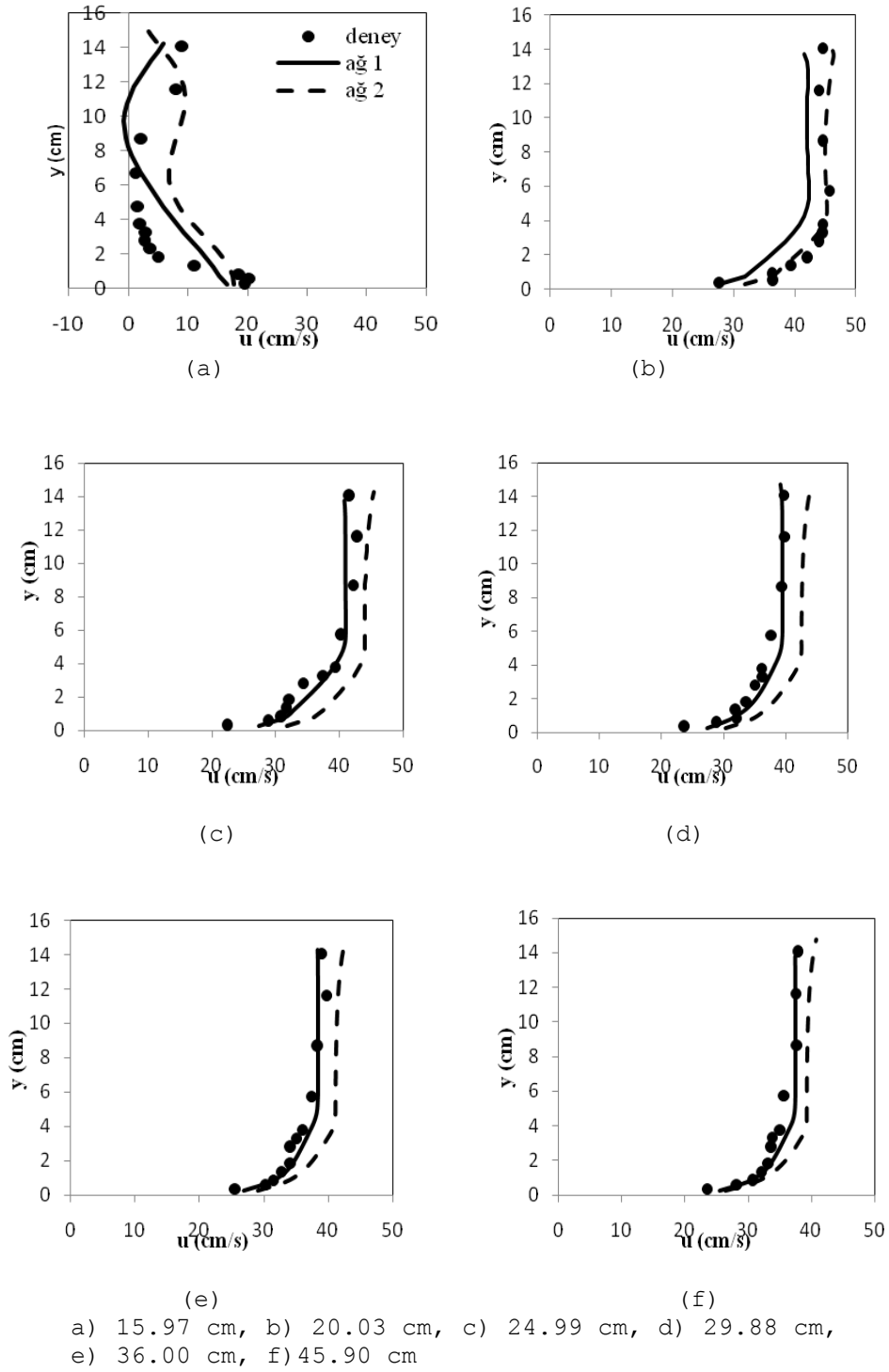
(e)



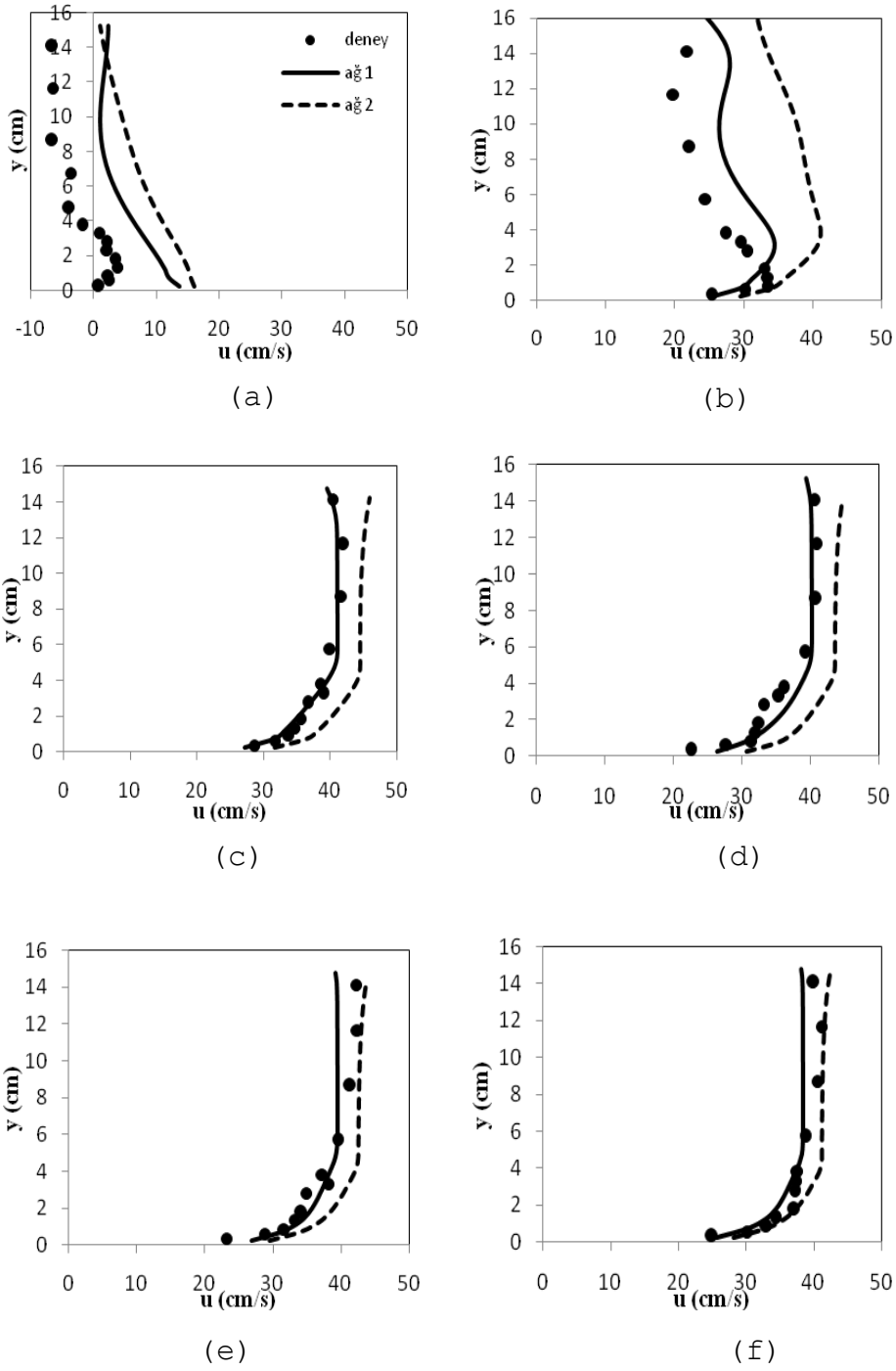
(f)

a) 16.39 cm, b) 20.12 cm, c) 25.06 cm, d) 30.00 cm,  
e) 36.18 cm, f) 46.21 cm

Şekil 6. Dikdörtgen kenar ayakta C eksenini doğrultusundaki ağ karşılaştırmaları  
(Figure 6. Mesh comparisons in the C axis direction of rectangular abutment)



Şekil 7. Dikdörtgen kenar ayakta D eksenini doğrultusundaki ağ karşılaştırmaları  
(Figure 7. Mesh comparisons in the D axis direction of rectangular abutment)



a) 14.14 cm, b) 19.14 cm, c) 24.12 cm, d) 30.10 cm,  
e) 36.10 cm, f) 47.06 cm

Şekil 8. Dikdörtgen kenar ayakta E eksenini doğrultusundaki ağ karşılaştırmaları  
(Figure 8. Mesh comparisons in the E axis direction of rectangular abutment)

## 6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, dikdörtgen geometriye sahip köprü kenar ayağı civarındaki hız dağılımları sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla, hesaplamalı akışkanlar dinamiği esaslarına dayanan FLOW-3D bilgisayar programı ile problemin 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur. İki farklı çözüm ağı (mesh) kullanılarak elde edilen sayısal sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılarak k- $\epsilon$  türbülans yöntemini içeren Reynolds ortalama Navier-Stokes denklemlerinin problemi çözebilirliği irdelenmiştir.

Yapılan sayısal çözümlerde, akıma ait hızların oldukça iyi bir biçimde temsil edilebileceği görülmüştür. Buna karşın cidara yakın kısımlarda deney sonuçları ile farklılıklar gözlenmiştir. Çözüm bölgesi içerisinde kullanılacak ağ aralığı seçiminin elde edilen hız dağılımları üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ağ aralığının 1cm olarak alındığı uniform ağ kullanılarak gerçekleştirilen çözümlerde yeterli hassasiyette sonuçlar alınabilmesine karşın, sadece kenar ayak civarında ağ aralıklarının sıklaştırıldığı (0.5 cm) yuva ağ kullanımı ile çok daha iyi neticeler alınabilmiştir. Sonuç olarak cidara yakın kısımlarda, hızda ani değişimlerin ve çevrintilerin olduğu, yoğun türbülans hareketlerinin beklendiği bölgelerde ağ aralıklarını sıklaştırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Çalışma kapsamında sadece x doğrultusundaki hız dağılımları incelenmiştir. Diğer doğrultulardaki hız bileşenlerinin de uygun deneysel çalışmalarla karşılaştırılması gereklidir. Ayrıca farklı türbülans yöntemlerinin sonuçlar üzerindeki etkisi araştırılmalıdır.

## NOT (NOTICE)

Bu çalışma, 14-16 Ekim 2010 tarihinde Dicle Üniversitesinde tamamlanan Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumunda (BUMAT2010) sözlü sunumu yapılmış ve NWSA yazım esaslarına göre yeniden düzenlenmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Süme, V., (1995). Köprü Ayakları Etrafındaki Değişimlerin Etüdü. Doktora Tezi, Karadeniz Tek. Üni. Fen.Bil.Enst., Trabzon.
2. Rajaratnam, N. and Nwachukwu, B.A., (1983). Flow near groyne-like structures. *J Hydraul. Eng.*, 109, 463-480.
3. Graf, W.H. and Yulistiyanto, B., (1998). Experiments on flow around a cylinder: The velocity and velocity fields. *J. Hydraul. Res.* 36: 637-655.
4. Barbhuiya, A.K. and Dey S., (2003a). Measurement of turbulent flow field at a vertical semicircular cylinder attached to the sidewall of a rectangular channel, *Flow Measurement and Instrumentation*, 15, 87-96.
5. Barbhuiya, A.K. and Dey S., (2003b). Velocity and turbulence at a wing-wall abutment, *Sadhana*, 29(1), 35-56.
6. Barbhuiya, A.K. and Dey S., (2003c). Turbulent flow measurement by the adv in the vicinity of a rectangular cross-section cylinder placed at a channel sidewall, *Flow Measurement and Instrumentation*, 15, 221-237.
7. Melville, B.W., (1997). Pier and Abutment Scour: Integrated approach, *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, 123(2), 125-136.
8. Hirt, C.W. and Nichols, B.D., (1981). Volume of Fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *J. Comput. Phys.*, 39, 201-225.
9. Flow Science Inc. (2007). "Flow-3D User's Manuals", Santa Fe, N.M.

10. Dey, S., (1995). Three-dimensional vortex flow field around a circular cylinder in a quasi-equilibrium scour hole. *Sadhana*, 20, 771-785.
11. Kocaman, S., (2007). Baraj yıkılması probleminin deneysel ve teorik incelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Adana.