



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2011, Volume: 6, Number: 1, Article Number: 1A0162

ENGINEERING SCIENCES

Received: October 2010

Accepted: January 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

Selahattin Kocaman

Hasan Güzel

Mustafa Kemal University

skocaman@mku.edu.tr

Iskenderun-Turkey

**BARAJ YIKILMASI TAŞKIN DALGASI YAYILMASININ 3-BOYUTLU DENEYSSEL VE
NÜMERİK KARŞILAŞTIRILMASI**

ÖZET

Baraj yıkılması taşkın dalgası düzensiz ve zamana bağlı oldukça hızlı değişen serbest yüzeyli bir açık kanal akımıdır ve bu nedenle en karmaşık ve zor problemlerden biridir. Bu konuda arazi verisi elde etmek oldukça güç olduğundan problemin çözümüne yönelik araştırmalar ancak deneysel çalışmalar ve sayısal modeller yardımıyla yürütülebilmektedir. Buna rağmen literatürde baraj yıkılması probleminin 3-boyutlu olarak ele alındığı deneysel ve sayısal çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır. Yapılan çalışmada, laboratuvarda hazırlanan baraj hazne modelinin ön kısmına yerleştirilmiş, barajı temsil eden düşey bir kapağın ani olarak kaldırılması ile oluşturulan baraj yıkılması taşkın dalgasının mansap doğrultusunda genişleyerek yayılması incelenmiştir. Yüksek hızlı video kamera kullanarak dalga önünün gelişimi izlenmiş ve elde edilen sonuçlar 3-boyutlu RANS denklemlerine dayanarak çözüm yapan FLOW-3D sayısal model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçları ile sayısal model sonuçları arasında oldukça iyi bir uyum gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Baraj Yıkılması, FLOW-3D, Dalga Yayılması,
Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, Taşkın

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL COMPARISON OF 3D DAM-BREAK FLOOD WAVE
PROPAGATION**

ABSTRACT

Dam-break flood wave is an irregular, time-dependent and rapidly varying free surface open channel flow and therefore, is one of the complex and difficult problems. The research for solving this problem is mainly directed at experimental and numerical studies due to the difficulties in collecting field data. Despite that, the experimental and numerical studies on 3-dimensional dam-break problem are limited in the literature. In this study, the propagation of expanding dam-break flood wave in the downstream direction is investigated using a vertical plate placed in front of a reservoir built in the laboratory. The propagation of the wave front was observed using high speed camera and obtained results were compared with FLOW-3D numerical model which uses 3D RANS equations. The results were in quite good agreement.

Keywords: Dam-Break, FLOW-3D, Wave Propagation,
Computational Fluid Dynamics, Flood

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bir barajın yıkılması, mansabında bulunan yerleşim birimleri ve araziler üzerinde büyük ölçüde can ve mal kayıplarına neden olabilecek katastروفik taşkınlar yaratabilmektedir. Geçmişte bazı felaketlerin meydana gelmesi ve barajların stratejik bir öneme sahip olmaları 20 yy. da, özellikle de ikinci dünya savaşı sonrası baraj yıkılması konusuna duyulan ilgiyi oldukça arttırmıştır. Yıkılma sonrasında oluşacak muhtemel kayıpların azaltılması ve alınacak tedbirlerin önceden tespit edilebilmesi amacıyla yürütülen çalışmalarda, taşkın dalgasının mansaptaki yayılma hızı ve yüksekliği gibi parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte; baraj yıkılması probleminin gerçekte 3-boyutlu, oldukça türbülanslı, katı madde içeren ve hızlı değişken bir yapıya sahip olması gibi akım özelliklerinden dolayı; bu konu, açık kanal akımları alanındaki en karmaşık ve zor problemlerden biri haline gelmektedir. Baraj yıkılmalarına ait gerçek arazi verisi elde etmek oldukça güç olduğundan; baraj yıkılma analizlerinin veya yapılacak bilimsel araştırmaların teorik, sayısal ve deneysel çalışmalar olmak üzere birbirini tamamlayıcı üç yaklaşımı dikkate alarak gerçekleştirilmesi gereklidir [1].

Baraj yıkılması akımlarını matematiksel olarak ifade etmek için kullanılabilir en genel denklem 3-boyutlu süreklilik ve momentum denklemlerinden oluşan Navier-Stokes denklemleridir. Navier-Stokes denklemlerinin karmaşıklığı ve zorluğundan dolayı bu denklemler düşey doğrultudaki ivme bileşenlerinin ihmal edilmesi gibi önemli bazı kabuller yapılarak sığ-su (shallow-water) veya Saint-Venant denklemlerine indirgenebilir. Bu denklemlerde, yatay doğrultudaki uzunlukla karşılaştırıldığında su derinliğinin küçük bir orana sahip olduğu düşünülür. Sığ-su denklemleri, Navier-Stokes denklemlerine göre birçok eksiklikleri bulunmasına ve daha kaba sonuçlar vermesine rağmen bu denklemlerin sayısal çözüm için çok daha az bilgisayar gücü gerektiğinden, hesaplama bölgesi büyük ölçekli olan baraj yıkılması, tsunami gibi değişken akımların modellenmesi amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır [2 ve 3]. Gelişen bilgisayar teknolojisi ve yazılımların ekonomik hale gelmesi ile birlikte 3-boyutlu Reynolds ortalama Navier-Stokes (RANS) denklemlerinin sayısal çözümlerine dayanan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımları, baraj yıkılması analizleri için etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayar çözüm süreleri açısından makul seviyelere inilmesine karşın, bu yazılımlar ile oluşturulan modellerin gerçeği ne oranda yansıttığının belirlenebilmesi için, kontrol edilebilir laboratuvar koşullarında elde edilmiş deneysel veriler ile doğrulanmaları gerekmektedir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Konunun önemi dikkate alındığında, literatürde baraj yıkılması problemi ile ilgili çok az sayıda deneysel çalışmanın olduğu görülmektedir. Yapılan bu çalışmaların çoğunda deneyler yatay dikdörtgen bir kanalda yapılmış ve problemin 3-boyutlu doğası dikkate alınamamıştır. Mamba veya mansap enkesiti üzerindeki belirli noktadaki su seviyelerinin değişimi noktasal olarak ölçülmüş ve sadece birkaç noktada sınırlı bilgiler elde edilmiştir [4, 5 ve 6]. Su yüzü profillerinin belirlenmesine yönelik az sayıda çalışmada ise, kanal üzerindeki farklı bölgelerde akıma ait görüntüleri alabilmek için kamera yeri değiştirilerek deneylerin tekrarlanması yoluna gidilmiştir [7 ve 8]. Çağatay ve Kocaman [9 ve 10], yaptığı çalışmada üç kamerayı eş zamanlı olarak birarada kullanıp elde ettiği görüntüler yardımıyla deney tekrarlamasına gerek kalmaksızın su yüzü profillerini belirlemiştir.

Baraj yıkılması problemini 3-boyutlu olarak ele alan nümerik ve deneysel çalışmalara bakıldığında, literatürde bu konudaki araştırmaların oldukça sınırlı ölçüde kaldığı göze çarpmaktadır [11, 12 ve 13].

Bu çalışmada, laboratuvarında bir deney düzeneği hazırlanarak bu düzeneğin içerisinde oluşturulan taşkın dalgasının kuru bir yatakta yayılma hızı ve

yayımla geometrisi ele alınmıştır. Yüksek hızlı kamera kullanarak elde edilen görüntü sonuçları ile 3-boyutlu RANS denklemlerinin sonlu hacimler yöntemine dayanarak çözüldüğü FLOW3D yazılımından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

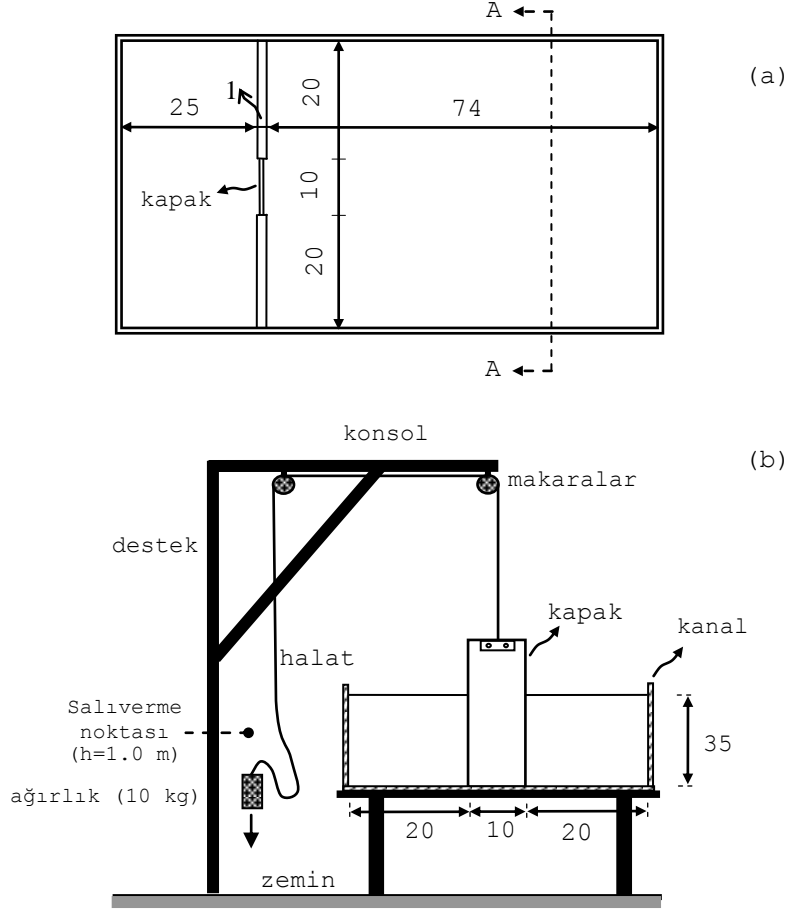
3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Yapılacak çalışmada, sadece ani yıkılmanın dikkate alındığı ideal baraj yıkılması problemi düşünülmüştür. Bu problem, bir kanalda durgun halde bulunan iki farklı su seviyesini ayıran düşey bir kapağın baraj görevini üstlenmesi ve ani olarak kaldırılması sonucunda meydana gelen taşkın dalgasının yayılması şeklinde ele alınmaktadır. Gerçekte barajın yıkılmasının gelişimi ideal durumdan daha yavaş meydana gelecektir. Bununla birlikte bu şekildeki ani salıverilme en kötü durumdaki senaryoyu vereceğinden bu problemin temelini oluşturmasının yanında uygulamada kolaylık da sağlamaktadır.

Baraj yıkılması akımının incelenmesi amacıyla, 100 cm uzunluğunda, 50 cm genişliğinde ve 35 cm yüksekliğinde yatay, dikdörtgen enkesite sahip, cam duvarlı bir kanal yapılmıştır (Şekil 1a). Kanalin içerisine 25 cm uzunluğunda bir hazne oluşturacak şekilde 1cm kalınlığında pleksiglas malzemeden yapılmış bir bölme duvarı yerleştirilmiştir. Bölme duvarın ortasında baraj açıklığını oluşturan 10 cm genişliğinde bir boşluk bırakılmıştır. Barajı temsil eden, 4mm kalınlığında düşey bir kapak bu açıklığa yerleştirilmiştir. Bu açıklık içerisinde kapağın rijit bir biçimde durabilmesi ve düşey doğrultuda kapağın hızlı bir biçimde açılabilmesine olanak tanınması için kapağın temasta olduğu pleksiglas kenarlarına 3 mm lik yuvalar açılmıştır. Kapağın ani olarak kaldırabilmesi için Şekil 1.b'de görülen elle kontrol edilebilen makaralı bir düzenek imal edilmiştir. Baraj kapağının üst kısmı çelik halat ile tutturulmuş ve diğer ucuna yaklaşık 10 kg ağırlığında bir kum torbası yerleştirilmiştir. İki adet makara ile bir makara sistemi oluşturulmuştur. Kum torbasının yaklaşık 1m yükseklikten serbest bırakılmasıyla ipin diğer ucundaki kapağın ani olarak kalkması sağlanmıştır Daha sonra hazne için bırakılan kısım 15 cm derinliğinde su ile doldurularak suyun durgunlaşması beklenmiş ve düşey kapağın mevcut mekanizma yardımıyla ani olarak kaldırılmasıyla baraj yıkılması taşkın dalgası oluşturulmuştur. Kapak doğrudan kanal içerisine yerleştirildiğinden kapak kenarlarında sızma problemi ortaya çıkmıştır. Meydana gelen sızmaları önlemek amacıyla gres yağı kullanılmıştır. Gres yağı boşlukları doldurması ve sızmayı tamamen engellemesinin yanında kapak kalktıktan sonra da meydana gelen akımı da rahatsız etmemektedir.

Kapağın kalkması sonucu oluşan akımın video kamerayla daha iyi izlenebilmesi ve su yüzeyinin daha belirgin olması için suya gıda boyası katılarak renklendirilmiştir. Deney kanalı arkasındaki nesnelerin çekilen görüntüde kirliliğe neden olmaması ve akıma odaklı daha net bir görüntü sağlamak amacıyla kanalın altı beyaz renkli strafor ile kapatılmıştır.

Yapılan çalışmada, akımın davranışını gözlemleyebilmek amacıyla ölçüm aleti olarak saniyede 300 kare görüntü alabilen yüksek hızlı kamera kullanılmıştır. Baraj yıkılması olayının oldukça hızlı gerçekleşmesi ve deneyin toplam süresinin 2s olması nedeniyle, bu tür çalışmalarda detayların görüntülenebilmesi için yüksek hızlı kamera kullanılması gerekmektedir. Kamera, kanalı üstten göreceği şekilde yerleştirilerek çekimler yapılmıştır. Elde edilen görüntüler bilgisayar ortamında incelenmiş ve yetersiz aydınlatma, kameranın çekim kabiliyeti gibi nedenlerden kaynaklanan görüntü üzerindeki kirliliklerin giderilebilmesi için görüntü işleme esaslarına dayanan çeşitli filtrelerden geçirilerek daha net görüntüler elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1. Deneysel düzeneği ve kapak mekanizması

(a) plan

(b) A-A kesiti

(birimler: cm)

(Figure 1. Experimental setup and plate removal mechanism (units: cm)

(a) plan

(b) A-A section

4. SAYISAL YÖNTEM (NUMERICAL METHOD)

Sayısal çalışmada, FLOW-3D ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı kullanılmıştır. Özellikle, serbest yüzeyli akımların modellenmesinde 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 kullanmaktadır[14]. 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:

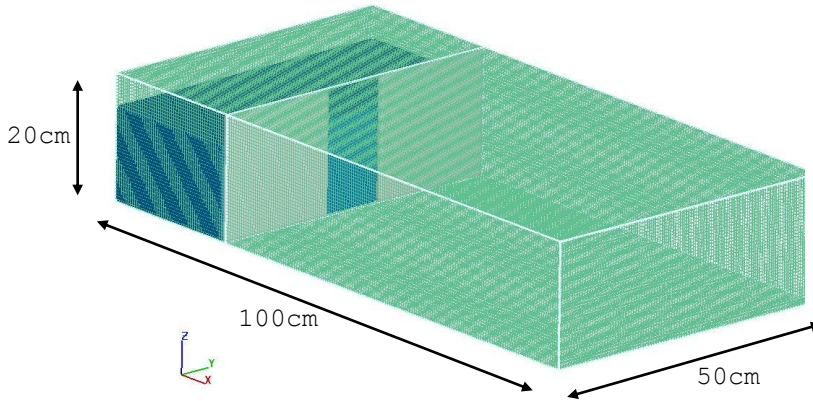
$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i A_i) = 0 \quad (1)$$

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

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 [15].

4.1. Çözüm Bölgesi, Başlangıç ve Sınır Şartları (Solution Domain, Initial and Boundary Conditions)

Sayısal çalışmada, deneysel veriler dikkate alınarak 100cm uzunluğunda, 50cm genişliğinde ve 20cm yüksekliğinde dikdörtgen hücrelerden oluşan bir çözüm bölgesi düşünülerek 3-boyutlu modellenmiştir (Şekil 2). Çözüm ağı (mesh) içerisinde minimum hücre boyutu ya da diğer bir ifade ile ağ aralıkları x , y ve z doğrultularında 0.5cm olarak seçilmiştir. Ağ aralıkları, sonuçlar üzerinde oldukça etkili olabilmektedir. Ağ aralıklarının küçülmesi ile daha iyi sonuçlar elde edilirken, bilgisayarın çözüm süresi uzamaktadır. Farklı ağ aralıkları ve ağ düzenleri için çalışma yapılmış ve 0.5cm ağ aralığının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Çözüm bölgesi toplam 800000 adet hücreden oluşmaktadır. Çözüm süresi 2s olarak alınmıştır.



Şekil 2. Sayısal model görüntüsü
(Figure 2. Numerical model setup)

Başlangıç şartı olarak, hazneyi temsil eden bölgede 15 cm yüksekliğinde durgun halde bulunan bir akışkan hacmi tanımlanmıştır. Memba, mansap uçlarında, kanal tabanında ve kenarlarında 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, güvenilirliği benzer çalışmalarda test edilmiş olan $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır [1 ve 16].

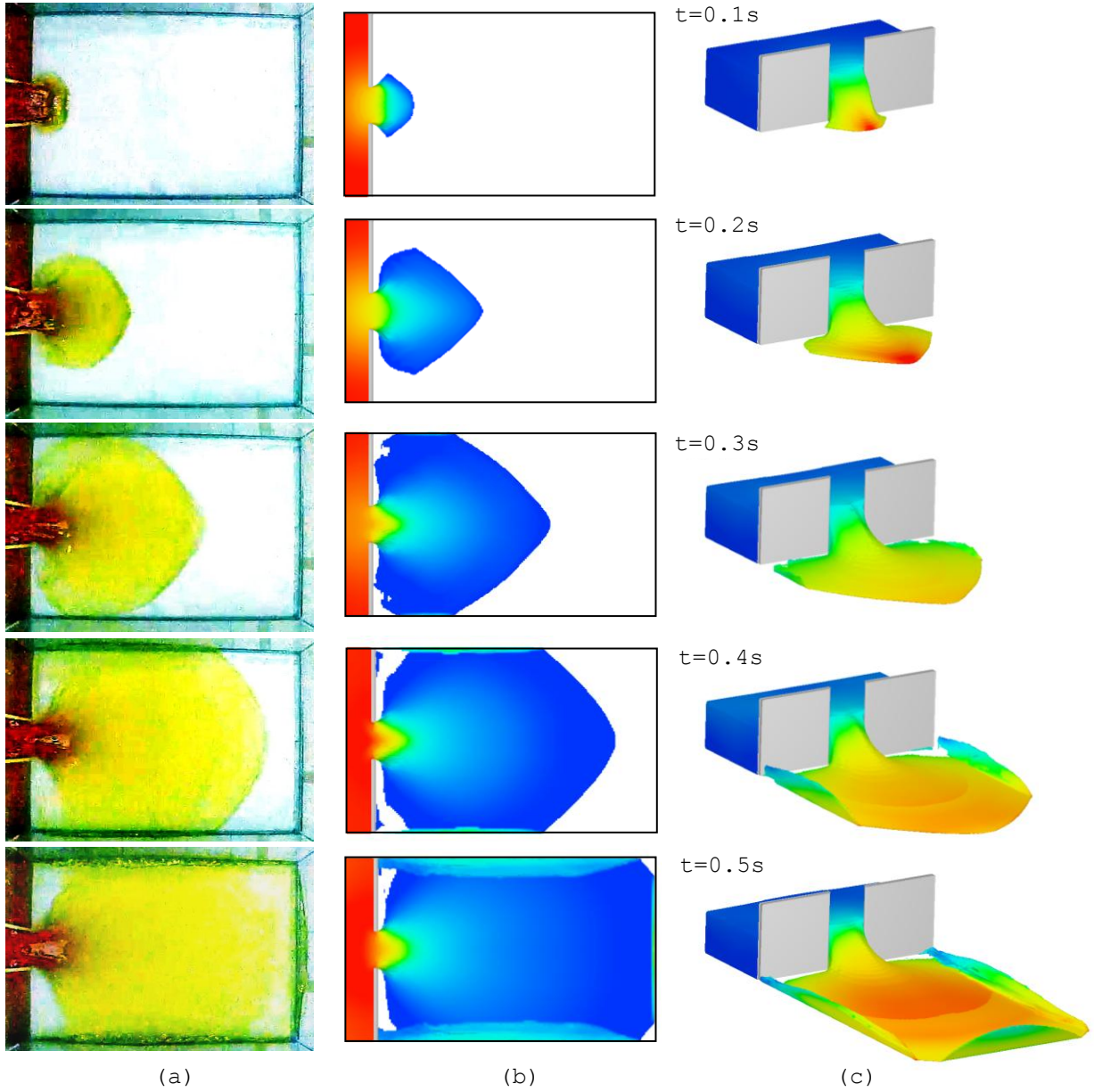
5. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Kapağın kalkma hızı kaydedilen görüntüler yardımıyla yaklaşık 0.05s olarak bulunmuştur. Lauber Hager [7] kapağın kaldırılma zamanı $1.25(h_0/g)^{1/2}$ değerinden küçük olduğunda baraj yıkılmasının ani yıkılma olduğunu ifade etmişlerdir. Burada h_0 haznedeki su derinliğini, g yerçekimi

ivmesini ifade etmektedir. Deneyleerde 15 cm hazne yüksekliğinin kullanıldığı dikkate alınırrsa verilen formül ile kapağın kalkma zamanı için sınır değer 0.15s bulunur. Bu sonuçla karşılaştırıldığında, yapılan deneyleerde kapağın oldukça hızlı kaldırıldığı ve yıkılmanın ani olduğu söylenebilir. Ayrıca, yapılan çalışmada deney düzeneğinin küçük ölçekte olması sebebiyle yüzeysel gerilmelerin etkili olabileceği düşünölmekle birlikte, baraj yıkılması taşkın dalgası yayılma hızının yüksek olmasından dolayı bu etkiler ihmal edilmiştir.

Barajın ani olarak yıkılması sonucu, biri mansap yönünde diğeri de memba yönünde ilerleyen ve sırasıyla pozitif ve negatif dalgalar olarak adlandırılan iki farklı dalga meydana gelmektedir. Hareketin başlamasına neden olan kuvvet yerçekimidir. Yapılan çalışmada, pozitif dalğanın diğeri bir ifade ile taşkın dalgasının yayılması dikkate alınmıştır. Şekil 3'de kapağın kaldırılmasından sonra oluşan dalğanın mansapta yayılması, deney ile aynı zamanlara karşılık gelen, aynı bakış yönüyle ve 3-boyutlu olarak verilmiş olan sayısal sonuçlarla karşılaştırılması birarada görölmektedir. Kapağın kalkmasıyla birlikte dalğanın ileri doğru hızla yayılmaya başladığı, yanal doğrultularda ise daha düşük bir hızla ilerlediği deney ve sayısal sonuçların her ikisinde de gözlemlenmektedir. Aynı şekilde özellikle $t=0.2s$ anına bakılırsa dalga önünün deney sonuçlarında daha yuvarlak hatlara sahip iken sayısal sonuçlarda bu hatların daha belirgin bir biçimde düzgün olduğu göze çarpmaktadır. Bu farklığa; deneyleerde varolan yüzey pürüzlülüğünün ya da deneyleerde yıkılmayı temsil eden kapağın kalkma hızının çok hızlı da olsa sonlu bir zaman aralığında meydana gelmesinin neden olduğu düşünölebilir. Zaman ilerledikçe ($t>0.3s$), deney düzeneğinin küçük olmasından dolayı öncelikle yanal doğrultuda (y doğrultusu) ilerleyen taşkın dalgası daha sonrada ileri doğru ilerleyen dalga (x doğrultusu) kanal duvarlarına çarpmakta ve dalga sıçramaları meydana gelmektedir. Genel olarak bakıldığında deneyleerde gözlemlenen dalğanın ilerleme hızının ve yayılma geometrisinin; RANS denklemlerinin çözümüne dayanan 3-boyutlu sayısal sonuçlar ile oldukça uyumlu olduğu ve taşkın dalgası yayılmasının temsil edilebildiği söylenebilir. Buna karşın mevcut sayısal modelin problemi çözebilirliğinin daha iyi anlaşılabilmesi için akım derinliklerinin ve akım hızlarının da deneyleer ile doğrulanması gerekmektedir.

Deneyleerle, özellikle de 3-boyutlu baraj yıkılması taşkın dalgası yayılması gibi problemlerde, elde edilmesi ve ölçölmesi oldukça güç ve pahalı olabilen hız, basınç, su seviyesi değışimleri vb. büyüklükler sayısal modeller ile istenilen hemen her noktada kolaylıkla belirlenebilmektedir. Henüz deneyleer ile doğrulanmasa bile sayısal olarak hesaplanabilen bu büyüklükler yardımıyla, problemin çözümü ve akım davranışının daha iyi anlaşılabilmesi, geleceğe dönük yapılacak çalışmalara fikir vermesi açısından oldukça önemli olmaktadır. Şekil 4a ve 4b'de sırasıyla $t=0.2s$ anında baraj aksı ortasındaki boykesit ve kanal tabanındaki plan görünümünde elde edilen hız dağılımları verilmiştir. Şekillerde dalga önünde hızın en büyük olduğu ve geriye doğru gidildikçe hızın azaldığı ve rezervuarda ise akımda hareketlenmenin çok az olduğu göze çarpmaktadır. Şekil 4a'da göröleceği gibi yerçekiminin de etkisiyle hız dağılımı kanal tabanında daha büyük değerlerde olmaktadır. Şekil 4b'de ise dalğanın hemen her doğrultuda yayıldığı, dalğanın x doğrultusunda ilerlemesinin, y doğrultusunda ilerlemesine göre daha hızlı olduğu diğeri bir ifade ile x doğrultusundaki hız bileşenlerinin y doğrultusundaki bileşenlere göre daha büyük olduğu görölmektedir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 3. Farklı zamanlardaki

a) deney

b) sayısal

c) 3-boyutlu sayısal görüntülerin karşılaştırılması

(Figure 3. Comparison of

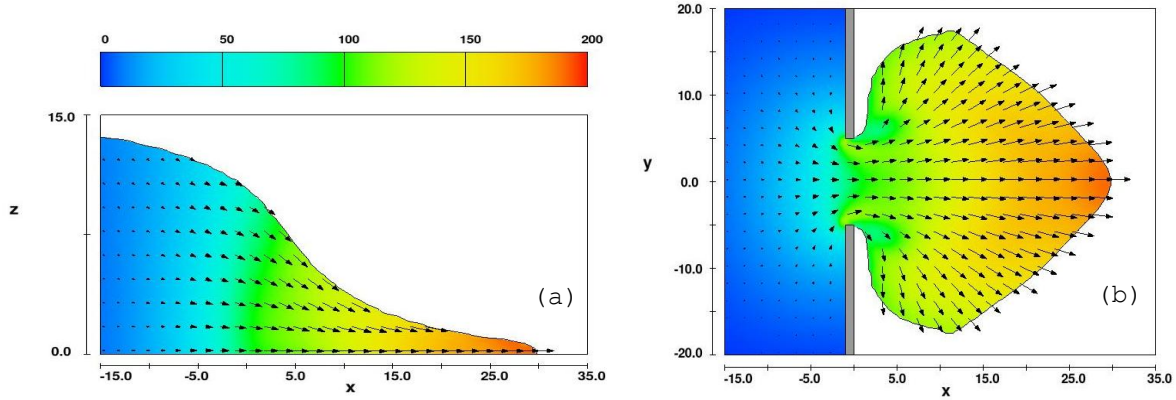
a)experimental

b)numerical

c) 3-D numerical results at different times)

Gerçekte deneysel olarak yerel hız büyüklüklerinin hesaplanabilmesi ancak parçacık görüntülemeli hız tekniği ile mümkün olabilmektedir. Ancak baraj yıkılması gibi akım özelliklerinin hızla değiştiği bu tür problemlerde, bu yöntemle yeterli sonuçların alınması oldukça güç olmaktadır [17]. Bu nedenle, taşkın dalgasının gidişatı hakkında bir yorum yapabilmek ve bu bilgileri yıkılma analizlerinde kullanabilmek için özellikle 3-boyutlu sayısal model çözümleri ön plana çıkmaktadır. Buna karşın 3-boyutlu Navier-Stokes denklemlerine dayanan sayısal modellerin bilgisayar ortamındaki çözümleri oldukça uzun zaman alabilmektedir. Yapılan

çalışmada, Pentium Intel Core2Duo E7200 2.53GHz 2GB RAM özelliklere sahip bir bilgisayar yardımıyla gerçekleştirilen 2s süreli 800000 hücreden oluşan bu problemin sayısal çözümü yaklaşık 2 saat sürmüştür. Bu sonuçla, oldukça büyük boyutlara sahip gerçek arazi topografyası üzerinde yapılacak yıkılma analizlerinde, çözüm sürelerinin halen çok uzun zaman alacağı açık olarak görülmektedir.



Şekil 4. $t=0.2s$ anında elde edilen sayısal hız dağılımları

a) kanal ortasından geçen boy kesit

b) $z=2.5cm$ yükseklikteki plan görüntüsü

(Figure 4. Numerical velocity vectors obtained at $t=2s$

a) Longitudinal section at the middle

b) plane section at $z=2.5cm$)

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (RESULTS AND RECOMMENDATIONS)

Yapılan çalışmada, 3-boyutlu baraj yıkılması problemi ele alınmış ve kuru mansap yatağında taşkın dalgasının yayılmasını incelemek amacıyla, deney ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği esaslarına dayanan sayısal model sonuçları kullanılmıştır. Yüksek hızlı kameradan elde edilen deney görüntüleri, 3-boyutlu Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes denklemlerinin sonlu hacimler yöntemiyle çözüldüğü ve $k-\epsilon$ türbülans modelinin kullanıldığı FLOW-3D ticari yazılımı ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada dikkate alınan dalganın yayılma hızı ve yayılma geometrisi incelendiğinde, deney ve sayısal model sonuçları arasında oldukça iyi bir uyum olduğu görülmüştür. Buradan yola çıkarak; sayısal model çözümleri ile belirlenen yerel akım hızları, akım derinlikleri gibi bilinmesi gereken diğer önemli parametrelerin de deney sonuçları ile benzer özellikler göstereceği düşünülebilir. Bu sonuçla, bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, 3-boyutlu sayısal modellerin ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımlarının gelecekte yapılacak baraj yıkılması araştırmaları ve analizlerinde, özellikle de oldukça karmaşık bir yapıya sahip gerçek arazi topoğrafyasında gerçekleştirilecek çalışmalarda, daha etkin bir role sahip olacağı söylenebilir.

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. Kocaman, S., (2007). Baraj Yıkılması Probleminin Deneysel ve Teorik İncelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Adana.
2. Brufau P. and Garcia-Navarro P., (2000). Two-dimensional dam-break flow simulation. Int J Numer Methods Fluids, 33(1), 35-57.

3. Quecedo, M., Pastor, M., Herreros, M.I., Merodo, J.A.F., and Zhang, Q., (2005). Comparison of two mathematical models for solving the dam break problem using the FEM method. *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 194, 3984-4005.
4. Bell, S.W., Elliot, R.C., and Chaudry, M.H., (1992). Experimental results of two dimensional dam-break flows. *Journal of Hydraulic Research*, 30(2), 225-252.
5. Bellos, V., Soulis, J.V., and Sakkas, J.G., (1992). Experimental investigation of two-dimensional dam-break induced flows. *Journal of Hydraulic Research*, 30(1), 47-63.
6. Soares, F.S. and Zech, Y., (2002). Dam-break in channels with 90° bend. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(11), 956-968.
7. Lauber, G. and Hager, W.H., (1998). Experiments to dam-break wave: horizontal channel. *Journal of Hydraulic Research*, 36(3), 291-308.
8. Stansby, P.K., Chegini, A., and Barnes, T.C.D., (1998). The initial stages of dam-break flow. *J. Fluid Mech.*, 374, 407-424.
9. Özmen, Ç., H., and Kocaman, S., (2010). Dam-break flows during initial stage using SWE and RANS approaches *Journal of Hydraulic Research*, Volume 48 Issue 5, 603-611.
10. Cagatay, H. and Kocaman, S., (2008). Experimental study of tail water level effects on dam-break flood wave propagation. *River Flow 2008, Proc., of the International Conference on Fluvial Hydraulics*, Cesme, Izmir, Turkey, Vol.1, 635-644.
11. Eaket J., Hicks, F., and Petersen, A., (2005). Use of stereoscopy for dam break flow measurement. *J Hydraul Eng*, 131,24-29.
12. Aureli, F., Maranzoni, A., Mignosa, P., and Ziveri, C., (2008). Dam-break flows: Acquisition of experimental data through an imaging technique and 2D numerical modelling. *ASCE J. Hydr. Engng.*, 134(8), 1089-1101.
13. Cochard, S. and Ancey, C., (2008). Tracking the free surface of time-dependent flows: image processing for the dam-break problem, *Exp. Fluids* 44 pp. 59-71.
14. Hirt, C.W. and Nichols B.D., (1981). Volume of fluid method for the dynamics of free boundaries. *J. Comp Physics*; 39(1), 201-225.
15. FLOW SCIENCE Inc., (2007). "Flow-3D User's Manuals", Santa Fe, N.M.
16. Shigematsu, T., Liu, P.L.F., and Oda, K., (2004). Numerical modelling of the initial stages of dam-break waves. *Journal of Hydraulic Research*, 42(2),183-195.
17. Liem, R. and Köngeter, J., (1999). Application of high-speed digital image processing to experiments on dam break waves. *Proc. CADAM Meeting*, Zaragossa, Spain, 399-411.