

DEĞİŞKEN AÇIK KANAL AKIMINDA MANSAP TABANINDA ENGEL BULUNMASI ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Hatice Özmen Çağatay¹, Selahattin Kocaman²

Özet

Bu çalışmada, değişken açık kanal akımında mansap tabanında engel bulunması etkisinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Hızlı değişen değişken akım uygulamasına iyi bir örnek teşkil eden baraj yıkılması problemi ele alınmıştır. Dikdörtgen enkesite sahip yatay bir deney kanalında düşey bir kapağın ani olarak kaldırılmasıyla oluşturulan baraj yıkılması taşkın dalgasının mansapta bulunan trapez eşik üzerinde yayılmasıyla daha karmaşık bir akım ortamı yaratılmıştır. Deneylerde kullanılan gelişmiş ölçüm tekniği görüntü işleme ile farklı zamanlardaki su yüzü profilleri hassas bir şekilde belirlenmiştir. Aynı problemin sayısal simülasyonu hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programı Flow-3D ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir.

1. Giriş

Akarsu yatak tabanında bulunan doğal yada suni engeller eşik gibi davranıp akım derinliğini, akım hızını ve dolayısıyla akım rejimini önemli ölçüde değiştirebilir. Ayrıca hızlı değişen değişken açık kanal akımında mansapta tabanda engel bulunması negatif dalga oluşumuna ve bu dalganın menbaya doğru yayılmasına sebep olur. Baraj yıkılması akımı bu durumun oluşumuna iyi bir örnektir. Akarsuda sıkça karşılaşılan engellerin kaynağı enkaz, büyük kaya parçası, ağaç kütüğü gibi doğal olmasının yanısıra herhangi bir yapı, köprü yada viyadük ayağı gibi insan yapımı da olabilir. Baraj yıkılması sonucu ortaya çıkan taşkın dalgasının mansapta yayılmasının detaylı bir şekilde irdelenmesi, taşkın anında zaman kaybetmeden acil önlem alınarak can ve mal kaybının en aza indirgenmesi için gereklidir. Konu ile ilgili gerçek arazi verisi bulmak güç olduğundan bu problem literatürde sınırlı sayıda laboratuvar deneyleri ile ele alınmıştır (Lauber ve Hager, 1998; Nsom ve diğ., 2000; Soarez-Frazao, 2007; Aureli ve diğ., 2008). Problemin sıg su denklemlerine dayanan sayısal çözümleri birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır (Mohapatra ve Bhallamudi, 1996; Garcia-Navarro ve diğ., 1999; Brufau ve diğ., 2002; Liang

¹ Dr. Çukurova Üniversitesi, Müh.Mim.Fak. İnşaat Müh.Böl., Adana

² Dr. Mustafa Kemal Üniversitesi, Müh. Fak., İnşaat Müh.Böl., İskenderun

ve diğ., 2006; Ying ve diğ. 2009). Az sayıda sayısal modelde Reynolds Ortalamalı Navier Stokes denklemleri kullanılmıştır

Bu programlar birçok araştırmacı tarafından baraj yıkılması probleminin sayısal çözümünde tercih edilmiştir (Vasquez ve Roncal, 2009; Biscarini ve diğ., 2010; Ozmen-Cagatay ve Kocaman, 2010).

(Abdolmaleki ve diğ., 2004; Shigematsu ve diğ., 2004; Quecedo ve diğ., 2005). Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki büyük gelişmelerle birlikte hesaplamalı akışkanlar dinamiğine dayalı üç boyutlu çözüm yapabilen ve çeşitli türbülans modellerini içinde barındıran birçok paket programın (Flow-3D, Fluent, CFX) kullanımı yaygınlaşmıştır.

Bu çalışmada, başlangıçta kuru olan mansap kısmında trapez şeklinde engel bulunan dikdörtgen enkesitli, yatay, kanalda baraj yıkılması taşkın dalgasının yayılması hem deneysel hemde sayısal olarak incelenmiştir. Deneyde, düşey bir kapağın ani olarak kaldırılmasıyla gerçekleştirilen baraj yıkılması taşkın dalgasının mansap boyunca yayılması üç kamera, görüntü yakalama kartı ve bilgisayardan oluşan bir görüntüleme sistemi yardımıyla kaydedilmiştir. Daha sonra eş zamanlı görüntüler birleştirilerek panoramik görüntüler oluşturulmuş ve su yüzü profilleri elde edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar FLOW-3D hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programı sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

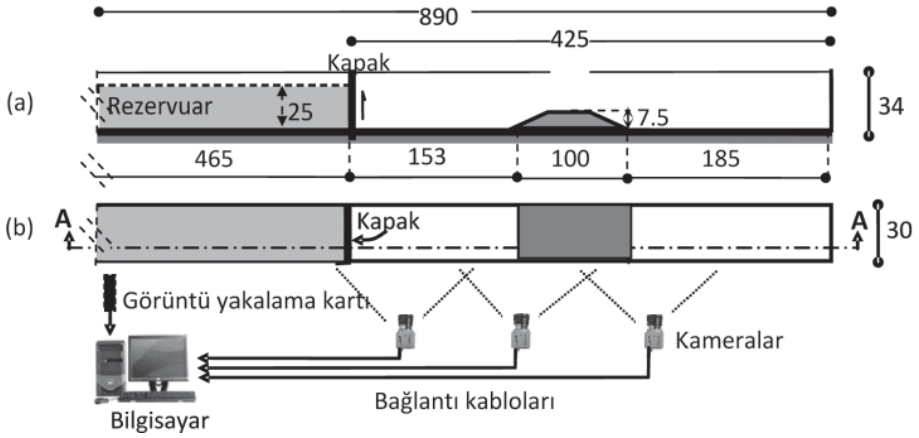
2. Deneysel Çalışma

2.1. Deney Düzeni

Deneyler, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği laboratuvarında bulunan 8.90 m uzunluğunda 0.34 m yüksekliğinde, 0.30 m genişliğinde dikdörtgen enkesite sahip yatay bir kanalda yapılmıştır (Şekil 1). Şekil 2 de deney kanalı detayları şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 2 deki uzunluk birimlerinin tamamı cm dir. Baraj yıkılması akımı, barajı temsil eden düşey bir kapağın ani kaldırılması sonucu oluşturulmuştur. Kapak memba ucundan 465 cm uzakta yerleştirilerek derinliği 25 cm olan bir rezervuar elde edilmiş ve kuru bir mansapta taşkın dalgasının yayılması incelenmiştir. Karmaşık bir akım ortamı yaratmak amacıyla kapağın 153 cm mansabında taban uzunluğu 100 cm, yüksekliği 7.5 cm olan trapez şeklinde bir eşik yerleştirilmiştir. Trapez eşik 0.4 cm kalınlığında alümin-



Şekil 1 - Deney düzeneğinin fotoğrafı



Şekil 2 - Deney düzeneği ve başlangıç şartları (a) Kesit A-A (b) Plan

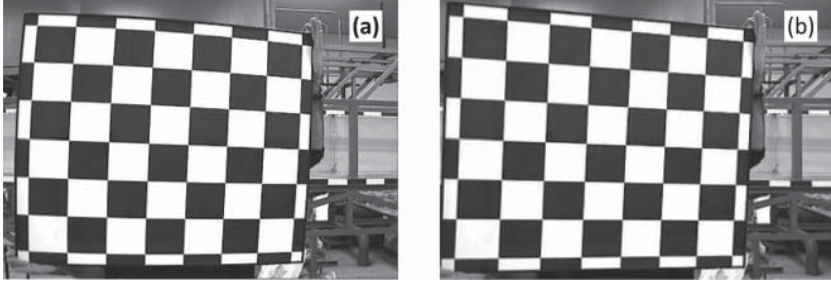
yum malzemenin bükülmesi ile imal edilmiş ve üzerinden su aştığında eğilmemesi için alttan güçlendirilmiştir. Kanalın mansap ucu açık bırakılarak akımın serbestçe uzaklaşması sağlanmıştır. Deney düzeneği ve koşulları için detaylı bilgiler Kocaman, 2007 de bulunmaktadır.

Kapağın ani olarak kaldırılmasını gerçekleştirebilmek için bir ucu kapağın üst kısmına bağlı, makara ile çekilen çelik bir halatın diğer ucunda 15 kg ağırlığında kum torbası bağlı olan bir mekanizma kullanılmıştır. Yerden 1.5 m yüksekliğindeki bir sehpa da duran kum torbasının yere bırakılmasıyla kapak hızlı bir şekilde kaldırılmıştır. Baraj yıkılması akımının davranışını kanal mansabında daha iyi gözlemleyebilmek için başlangıçta rezervuarda bulunan su gıda boyası ile renklendirilmiştir.

2.2. Ölçüm Tekniği ve Kalibrasyon

Deneyde ölçüm tekniği olarak görüntü işleme kullanılmıştır. Görüntü işlemenin bir bilgisayar, bir görüntü yakalama kartı ve üç kameradan oluşan bileşenleri Şekil 2 (b) de görülmektedir. Üç kamera ile kaydedilen akım görüntülerinin görüntü yakalama kartı aracılığıyla aynı anda bilgisayara aktarılmasıyla üç kameranın eş zamanlı görüntüleri birleştirilmiştir. Böylece akımın panoramik görüntüsü kamera yerlerini değiştirmeye gerek kalmaksızın elde edilmekte ve deney tekrarına gerek duyulmadan mansap boyunca su yüzü profilleri doğru olarak belirlenebilmektedir (Çağatay ve Kocaman, 2008). Sayısal görüntüler elde edildikten sonra, bilgisayar ortamında bunları arka plan kirliliğinden ve aydınlatma sistemi tarafından oluşan istenmeyen yansımalarından kurtulmak için çeşitli filtrelemeler yapılabilir veya görüntü kalitesini artırmak, görüntü alma sistemi (lens + kamera) tarafından oluşan geometrik değişimleri, bozulmaları düzeltmek için görüntü onarımı uygulanabilir. Sayısal görüntüler üzerinde uygulanan bu tür işlemlerin hepsine genel olarak sayısal görüntü işleme (digital image processing) adı verilmektedir.

Sayısal görüntüler, her biri birer renk değeri içeren ve görüntünün temel yapıtaşı olan piksel adı verilen çok sayıda küçük hücrenin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Kaydedilen görüntüler saniyede 50 kare ve 384x288 pikseldir. Görüntüdeki nesnelerin gerçekteki büyüklüklerinin belirlenebilmesi için piksel değerlerinin metrik değerlere



Şekil 3 - Açısal kalibrasyon (a) Orijinal görüntü, (b) Kalibrasyondan sonraki görüntü

dönüştürülmesi bir başka deyişle metrik kalibrasyonlarının yapılması gereklidir. Bunun için görüntü üzerinde harita ölçeği gibi büyüklüğü bilinen bir referans uzunluğa ihtiyaç vardır. Bu uzunluğun gerçek değeri bilindiğinde görüntü üzerinden metrik olarak uzunluk, çap, alan, açı gibi büyüklükler kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Görüntüden bu referans uzunluğun kaç piksele eşit olduğu bulunur ve piksel/uzunluk oranı hesaplanır. Bu oran ile görüntüdeki piksel koordinatları metrik koordinatlara çevrilebilir. Görüntü üzerindeki herhangi iki piksel arasındaki mesafe arada kalan piksel sayısının bu oran ile çarpılması ile hesaplanabilir. Birçok görüntü işleme yazılımı ile bu işlemi kolaylıkla yapabilmektedir. Yapılan çalışmada, kanal cam yüzeyi üzerine yapıştırılan ve her biri 10 cm uzunluğundaki siyah beyaz bantlar bu işlem için kullanılmıştır (Şekil 1). Buradan belirlenen kalibrasyon değeri, kanaldaki bilinen durgun su yüksekliğinin görüntü üzerinden okunması ile kontrol edilmiştir. Video ile kaydedilen görüntülerde, lenslerin fiziksel yapısından dolayı görüntünün bombeli görünmesine neden olan açısal bozulma ve mercek sistemindeki elemanların görüntü eksenlerinin çakışmamasından dolayı görüntüde bir asimetriye sebep olan teğetsel bozulma meydana gelmektedir (Şekil 3). Görüntüler üzerinden metrik okumaların yapılabilmesi için bu durumun ortadan kaldırılması ve resimlerin düzlem hale getirilmesi gereklidir. Bu işlem için “Camera Calibration Toolbox for Matlab” adlı yazılım kullanılmıştır (Bouguet, 2004). Bu yazılım ile kameralara ait kalibrasyon parametreleri hassas bir şekilde hesaplanarak kameralardan elde edilen diğer tüm görüntüler kolaylıkla düzeltilenmektedir. Yazılım yardımıyla kalibrasyon parametrelerinin bulunabilmesi için koordinatları ve boyutları bilinen bir panoya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla Şekil 3 de görülen 10x10 cm’lik karelerden oluşan dama tahtası görünümünde bir kalibrasyon panosundan yararlanılmıştır. Kalibrasyon panosunun farklı açılardan çekilen görüntüleri üzerinde koordinatları bilinen köşe noktalarının eşleştirilmesi ile kalibrasyon parametreleri hesaplanmaktadır. Daha sonra bu parametreler kullanılarak görüntülerdeki geometrik bozulmalar ortadan kaldırılmaktadır.

3. Sayısal Çözüm

3.1 Formülasyon

Sayısal çözüm için kullanılan Flow-3D paket programı Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) denklemlerini sonlu hacim tekniği ile çözmektedir. Akışkan hacmi (VOF) tekniği ile serbest su yüzeyi belirlenmektedir. (Flow Science)

Akımı idare eden süreklilik ve RANS denklemleri

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

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

şeklinde. Bu denklemlerde u_i = i yönündeki hız bileşeni, V_r = her bir hücredeki akışkan hacminin fraksiyonu, A_i = akımın i yönündeki alan fraksiyonu, p = basınç, ρ = akışkanın yoğunluğu, t = zaman, g_i = i yönündeki yerçekimi ivmesi, f_i = türbülans modelin kapatılması için gerekli Reynolds gerilmesidir.

3.2 Çözüm Bölgesi, Çözüm Ağı, Başlangıç ve Sınır Şartları

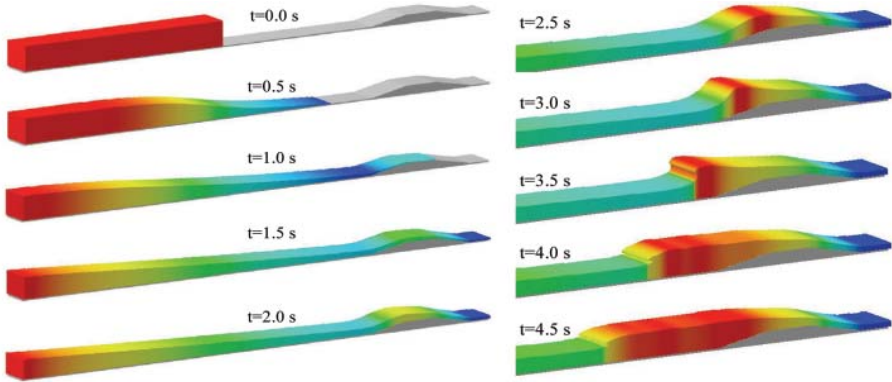
Çözüm bölgesi 8.90 m uzunluğunda ve 0.30 m yüksekliğindedir. Rezervuarı temsil etmek için 4.65 m uzunluğunda ve 0.25 m yüksekliğinde su hacmi giriş şartı olarak tanımlanmıştır. Taban genişliği 1 m yüksekliği 0.075 m olan simetrik kenarlı trapez şeklinde geometriye sahip bir engel tanımlanmış ve kanal tabanına kapaktan 1.53 m mansapta yerleştirilmiştir. Kanalin ve engelin tüm yüzeyleri pürüzsüz kabul edilmiştir. Nümerik çözümdeki zaman adımı Δt Courant-Friedrichs-Lewy şartına göre belirlenmiştir. Rezervuar uzunluğu sınırlı olduğu ve rezervuara başka akım girişi olmadığı için menba sınır şartı duvar alınmıştır. Baraj yıkılması taşkın dalgasının yayılması kuru yataktaki incelenildiğinden dolayı mansap ucu açık bırakılmış bu nedenle mansap sınır şartı çıkan akım alınmıştır. Taban sınır şartı duvar, üst sınır şartı su yüzeyindeki atmosfer basıncını dikte almak için simetri alınmıştır. Su yüzeyi akışkan hacmi (VOF) ile tanımlandığı için hava-su arakesitinde sınır şartı olarak sabit atmosfer basıncı alınmış ve kesme gerilmesi sıfır kabul edilmiştir (Hirt and Nichols, 1981). Kanal yan duvarları için sınır şartı simetri seçilmiştir. Nümerik çözümde k- ϵ turbulence model kullanımı sınır tabakasında duvar fonksiyonu adı verilen logaritmik hız dağılımının kullanımını sağlamıştır.

Çözüm bölgesi kartezyen koordinatlar ile sabit dikdörtgen hücrelerden oluşan çözüm ağına bölünmüştür. Ağ (mesh) boyutları kare kabul edilip boyutu $\Delta x = \Delta z = 5$ mm alınmıştır. Bu değerin alınmasına karar verilmeden önce yapılan ön çalışmada 2, 10, ve 20 mm büyüklüğündeki ağlar denenmiş ve sonuçlarda dalga önünün hızı dışında çok fazla fark gözlenmemiştir. Yinede hassas olması için 2 mm ye çok yakın sonuçlar veren 5 mm ye karar verilmiştir. 2 mm hesap yükünü artıracığı için tercih edilmemiştir. Çözüm bölgesi 5 mm ağ boyutu için 88300 hücreden oluşmaktadır.

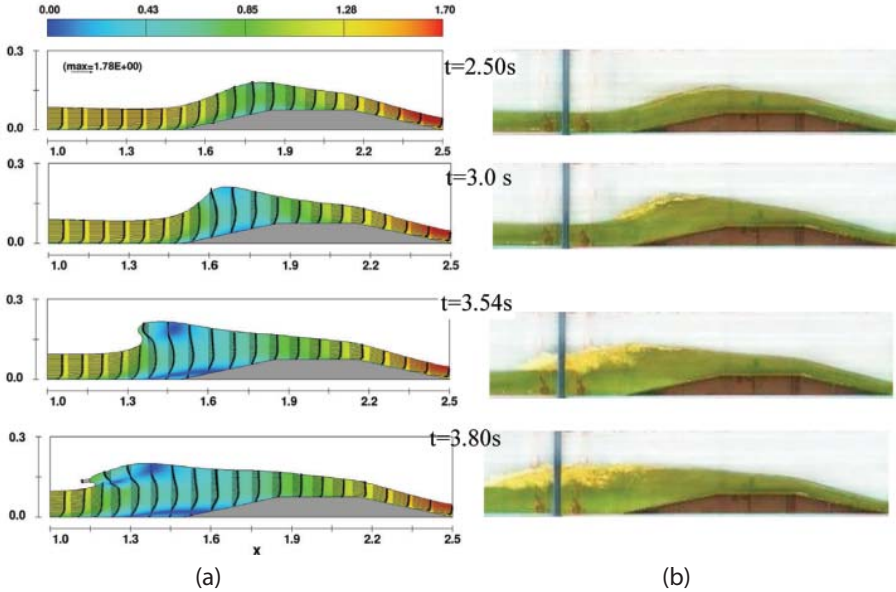
4. Bulgular ve Tartışma

Kapağın kaldırıldığı andan sonraki ilk 4.5 saniyedeki sayısal çözümle belirlenmiş üç boyutlu su yüzü profilleri 0.5 saniye aralıklarla Şekil 4 de görülmektedir.

$t=0$ anındaki ilk resim başlangıç şartını göstermektedir. Şekil 5 te su yüzü profilleri özellikle negatif dalganın oluşumu ve ilerleyişi sayısal çözüm (a) ve deney sonuçları (b) karşılaştırılmıştır. Sayısal çözüm hız vektörleri ve büyüklüklerini de vermektedir. Hızların engelin hemen arkasında minimum olduğu tüm zamanlarda görülmektedir.



Şekil 4 - Sayısal simülasyon ile elde edilen ilk su yüzü profillerinin zamanla değişimi



Şekil 5 - Negatif dalga oluşumunun karşılaştırması (a) sayısal çözüm (b) deneysel sonuç

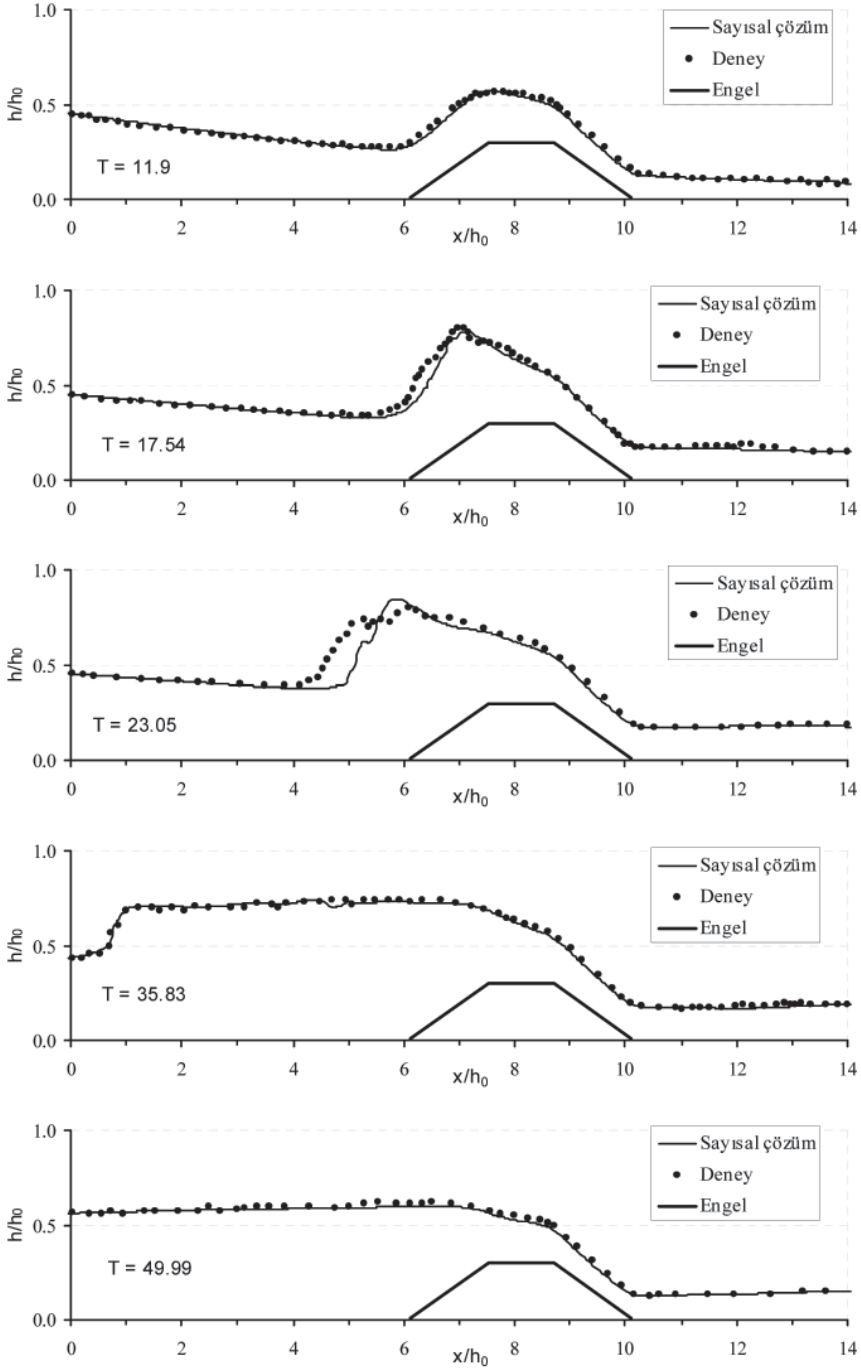
Kapağın aniden kalkmasıyla birlikte mansap yönünde ilerleyen taşkın dalgası trapez eşik ile karşılaştığında akımın bir kısmı eşiği aşarken bir kısmı da eşiğin memba yüzeyi üzerinde yükselerek taşkın geldiği yöne doğru yansımaktadır. Sonrasında yansıyan bu kabarma dalgası memba yönünde ilerlemektedir. Taşkın dalgası eşiği aşarken yukarı eğimde akım yavaşlamakta, yatay kısımda sabit kalmakta, aşağı eğimde ise hızlanmaktadır. Bununla birlikte mansap doğrultusunda yayılan baraj yıkılması taşkın dalgası sel rejimindedir ve debi değeri gittikçe artmaktadır. Artan bu debi değerinin eşik üzerinden akıtılabilmesi için özgül enerjisinin eşik üzerindeki minimum enerjiden büyük olması gerekmektedir. Ancak akım değişken olduğundan debi değerinin artmasıyla eşik üze-

rindeki aşılması gereken minimum enerji yüksekliği de artmaktadır. Akım hızlı değiştiği için gelen sel rejimindeki akımın eşiği aynı oranda kısa sürede aşabilmesi için su yüksekliğini arttırması gereklidir. Bu da akımın sel rejiminden nehir rejimine geçişi ile mümkün olabilmektedir. Bu geçiş ancak hidrolik sıçrama ile mümkün olabilmektedir. Şekil 5 (b)'ye bakıldığında $t=3$ s anında enerjisini minimum enerjiye yükseltebilmek için su seviyesinin yükseldiği ve hidrolik sıçramanın başladığı görülmektedir. Bu hidrolik sıçrama kabarma dalgası şeklinde memba yönünde ilerlemektedir. Eşik üzerinde hidrolik sıçramanın oluşmasıyla birlikte kanal boyunca gelen akımın sel rejiminde, sıçrama arkasındaki akımın nehir rejiminde ve eşiği aşan akımın tekrar sel rejiminde olduğu karmaşık bir akım durumu meydana gelmektedir.

Baraj mansabında trapez eşik bulunması durumu için elde edilen deney sonuçları Reynold Ortalamalı Navier-Stokes (RANS-Reynolds Avaraged Navier-Stokes) denklemlerine dayanan 2-boyutlu sayısal model sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 6). Su yüzü profilleri farklı zamanlar Şekil 6'da görülmektedir. Grafiklerde h ve x kapak kaldırılmadan önce rezervuarda bulunan başlangıç su yüksekliği $h_0=25$ cm'ye bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır. Zaman değerleri (t) de $(g/h_0)^{1/2}$ ile çarpılarak boyutsuz zaman (T) değerleri hesaplanmıştır. Grafiklerde sayısal ve deneysel sonuçların negatif dalgaanın oluşum anı ($T=23.05$) dışında uyumlu olduğu görülmektedir. $T=23.05$ de sayısal sonuçlarda serbest su yüzeyi grafiğinin artan kolunun eğimi daha dik olup şekli dışbükey iken deneysel sonuçlarda içbükeydir. Negatif dalga önünün $T=23.05$ de deneysel sonuçlarda sayısal sonuçlara göre daha ilerdedir yani menba yönünde ilerleyen negatif dalga hızı deneyde daha fazladır. Bunun nedeni sayısal çözümünde eşik memba yüzeyi üzerinde su seviyesinin yükselmesi ve yansıması sonucu tam dalga kırılmasının (sıçrama tipi-plunging) oluşmasıdır. Deneylerde taşkın dalgasının eşik memba yüzeyi üzerinden yansıması sonucu tam dalga kırılması oluşmamakta bunun yerine Şekil 5 (b) de ($t=3.54$ s) görüldüğü gibi kabarma dalgasının oluşumu hidrolik sıçrama şeklinde yumuşak bir (köpürerek-spilling) geçişle meydana gelmektedir. Son iki zamanda ($T=35.83$ ve 49.99) sayısal çözüm ve deney profilleri arasında oldukça iyi bir uyum görülmektedir. Su yükseklikleri ve negatif yönde ilerleyen kabarma dalgasının yayılma hızı RANS denklemleri ile etkili bir biçimde belirlenebilmektedir. $T=35.83$ anından itibaren su yüzeyinin eşik civarında maksimum olacak şekilde memba yönünde azalan bir eğime sahip olduğu görülmektedir. Bu durum kapak açıldıktan bir süre sonra rezervuardaki suyun azalması ve gelen akım debisinin düşüşü ile açıklanabilir.

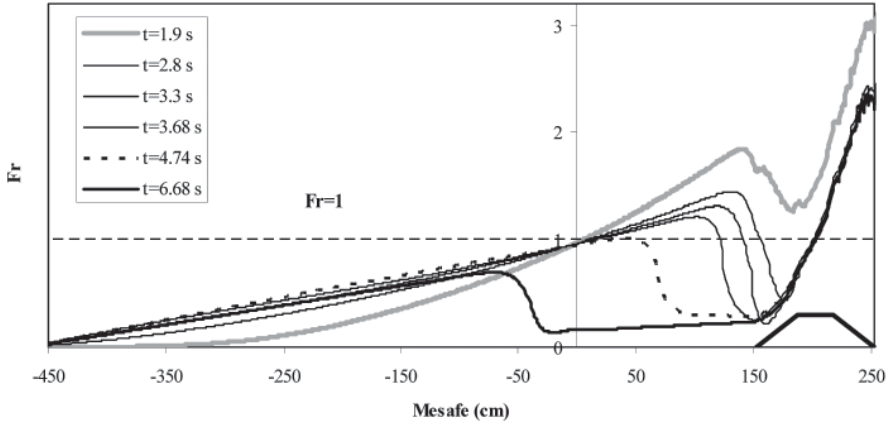
Sonuç olarak mansapta trapez bir eşik bulunması durumunda meydana gelen su yüzü profilleri, RANS denklemlerinin sayısal çözümü ile hassas bir biçimde belirlenebilmektedir. Sadece taşkın dalgasının eşik memba yüzeyi üzerinde başlangıçtaki kabarması ve yansıması esnasında deneysel ve sayısal profiller arasında bir süre sapma meydana gelmektedir. Bunun nedeni de RANS çözümünde eşik memba yüzeyi üzerinde su seviyesinin yükselmesi ve yansıması sonucu tam dalga kırılmasının oluşmasıdır. Bu durum, deneyde köpürerek daha yumuşak bir hidrolik sıçramayla geçiş şeklinde kendini göstermektedir. Sayısal çözümde negatif dalga hızının deneye göre daha yavaş olması dalga kırılmasının erken oluşması ile açıklanabilir.

Mansapta trapez eşik bulunmasının baraj yıkılması taşkın dalgasının yayılmasına olan etkisini görebilmek için farklı zamanlardaki Freud sayısının kanal boyunca değişimi sayısal çözümle belirlenmiştir (Şekil 7). Baraj yıkılması akımının, mansapta engel bulunmasından dolayı karmaşık bir hale geldiği Şekil 7'den görülmektedir. Kapağın menbasında nehir rejiminde olan akım ($F_r < 1$) hemen mansapta sel rejimine ($F_r > 1$) geçmekte



Şekil 6 - Deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırması

($t=6.68$ s hariç) sonra tekrar aniden nehir rejimine ve bir daha aniden sel rejimine ($t=1.9$ s hariç) geçmektedir. $t=2.8$ s ile $t=6.68$ s arasındaki zamanlar için akım engelin sonuna kadar olan bu kısa mesafede üç defa $Fr=1$ den geçmektedir. Bu durum, baraj yıkılması akımının mansapta engel ile karşılaşınca karmaşık (mixed flow) bir hale geldiğini açıkça göstermektedir. Mansapta engel bulunmasaydı rezervuarda nehir rejimindeki akım kapağın ani kaldırılmasıyla $Fr=1$ den bir kez geçerek sel rejimine geçecekti. Karmaşık rejimli akımların modellenmesi özel bir itina gerektirmektedir. Bu çalışmada kullanılan Flow-3D yazılımı ile gerçekleştirilen RANS denklemlerine dayalı sayısal çözüm bu tür akımları analiz edebilmektedir.



Şekil 7 - Freud sayılarının kanal boyunca çeşitli zamanlardaki değişimi

5. Sonuçlar

Bu çalışmada değişken açık kanal akımında mansap tabanında engel bulunması etkisi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Söz konusu akıma iyi bir örnek oluşturan baraj yıkılması akımı dikdörtgen kesitli başlangıçta mansap kısmı kuru bir kanalda ele alınmıştır. Yapılan deneyde görüntü işleme ile düşey bir kapağın ani olarak kaldırılması sonucu oluşturulan taşkın dalgasının yayılması, mansap tabanında trapez şeklinde bir eşik bulunması ve böylece akımın daha karmaşık bir hale gelmesi halinde hassas bir şekilde belirlenmiştir. Önceki benzer çalışmalardan farklı olarak üç video kamera eş zamanlı kullanılarak panoramik görüntüler elde edilmiş ve deney tekrarlanmasına gerek kalmaksızın kanal boyunca su yüzü profilleri belirlenebilmiştir. Aynı problemin sayısal simülasyonu RANS denklemlerine ve $k-\epsilon$ türbülans modeline dayalı hesaplamalı akışkanlar dinamiği paket programı Flow-3D ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve genel olarak uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Akımın bir kısmının engele çarptıktan sonra yansması ve menba yönünde negatif dalga şeklinde ilerlemesi esnasında deneysel ve sayısal su yüzü profilinde gözlenen sapmalar sayısal çözümde tam dalga kırılmasının oluşması deneyde ise köpürerek daha yumuşak bir hidrolik sıçramanın meydana gelmesi ile açıklanabilir. Sayısal ve deneysel bulgular mansap tabanında engel bulunmasının negatif dalga oluşumuna neden olduğunu ve hızlı değişen değişken akımın daha karmaşık hale geldiğini ortaya çıkarmıştır.

Kaynaklar

1. Abdolmaleki, K. Thiagarajan, P. ve Morris-Thomas, M.T., (2004). Simulation of the dam break problem and impact flows using a Navier-Stokes Solver. Proceedings of 15th Australasian Fluid Mechanic Conference, ss.13-17, Sydney, Australia.
2. Aureli, F., Maranzoni, A., Mignosa, P. ve Ziveri, C., (2008). Dam-break flows: Acquisition of experimental data through an imaging technique and 2D numerical modelling. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 134(8), ss.1089-1101.
3. Biscarini C, Francesco DS and Manciola P (2010). CFD modelling approach for dam break flow studies. Hydrology and Earth System Sciences 14(4):705-718.
4. Bouguet, J-Y., (2004). Camera calibration toolbox for Matlab. http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/
5. Brufau, P., Vazquez-Cendon, M.E. ve Garcia-Navarro, P., (2002). A numerical model for the flooding and drying of irregular domains. International Journal of Numerical Methods in Fluids 39(3), ss.247-275.
6. Cagatay, H. ve Kocaman, S., (2008). Experimental study of tail water level effects on dam-break flood wave propagation. Proceedings of River Flow 2008, cilt 1, ss. 635-644, Cesme-Turkey,
7. Flow Science Inc Flow-3D user's manuals (2007). Santa Fe NM.
8. Garcia-Navarro, P., Fras, A., ve Villanueva, I., (1999). Dam-break flow simulation: Some results for one-dimensional models of real cases. Journal of Hydrology 216 (3-4), ss.227-247.
9. Hirt, C.W., ve Nichols, B.D., (1981). Volume of fluid method for the dynamics of free boundaries. Journal of Computational Physics 39(1), ss.201-225.
10. Kocaman, S., (2007). Baraj yıkılması probleminin deneysel ve teorik incelenmesi. Doktora tezi, Cukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
11. Liang, D., Falconer, R.A. ve Lin, B. (2006). Comparison between TVD-MacCormack and ADI-type solvers of the shallow water equations. Advances in Water Resources 29(12), ss.1833-1845.
12. Mohapatra, P.K., ve Bhallamudi, S.M., (1996). Computation of a dam-break flood wave in channel transitions. Advances in Water Resources 19 (3), ss.181-187.
13. Nsom, B., Debiane, K. ve Piau, J-M., (2000). Bed slope effect on the dam-break problem. Journal of Hydraulic Research 38(6), ss.459-464.
14. Ozmen-Cagatay, H. ve Kocaman, S., (2010). Dam-break flows during initial stage using SWE and RANS approaches. Journal of Hydraulic Research. 48 (5), ss.603-611.
15. Quecedo, M., Pastor, M., Herreros, M.I., Merodo, J.A.F. ve Zhang, Q., (2005). Comparison of two mathematical models for solving the dam break problem using the FEM method. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 194(9), ss. 3984-4005.
16. Shigematsu, T., Liu, PL-F. ve Oda, K., (2004). Numerical modelling of the initial stages of dam-break waves. Journal of Hydraulic Research 42(2), ss. 183-195.
17. Soares-Fraza, S. (2007). Experiments of dam-break wave over a triangular bottom sill. Journal of Hydraulic Research 45 (Extra Issue), ss.19-26.
18. Vasquez, J.A. ve Roncal, J.J., (2009). Testing River2D and Flow-3D for sudden dam-break flow simulations. Proceedings of CDA Annual Conference, ss.44-55, Whistler, BC Canada
19. Ying, X, Jorgeson, J., Wang, S.S.Y., (2009). Modeling dam-break flows using finite volume method on unstructured grid. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics 3(2), ss.184-194.