

Dam Break Flow Modelling over a Dry Bed in Rectangular Channel Using SWE

Selahattin Kocaman^{+1*}, Cihat Ateş¹ and Kaan Dal¹

¹Civil Engineering Department, Iskenderun Technical University, Iskenderun, Turkey

*Corresponding author: selahattin.kocaman@iste.edu.tr

⁺Speaker: selahattin.kocaman@iste.edu.tr

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

Abstract – In this study, the problem of dam break wave propagation over a dry bed in a horizontal rectangular channel was investigated. Dam break event was represented by a sudden removal of the plate which has water on the upstream side. The experiment was recorded by video cameras and water level variations at three different locations were obtained by image processing techniques. Numerical results were obtained by using the free software called BASEMENT which was solved by finite volume method of 1 dimensional shallow water equations and compared with experimental results. As the water level changes obtained by both methods were examined, it was observed that the results were in good agreement.

Keywords – Dam-Break, Dry bed, Shallow Water Equations, Wave Propagation, Exact Riemann Solver

Dikdörtgen Kesitli Kanalda Kuru Yatak üzerinde yayılan Baraj Yıkılması Akımın Sığ Su Denklemleri ile Modellenmesi

Özet - Bu çalışmada, yatay bir dikdörtgen bir kanal içerisinde baraj yıkılması taşkın dalgasının kuru yatak üzerinde yayılması problemi ele alınmıştır. Memba tarafında su bulunan düşey bir kapağın ani olarak kaldırılması sonucu baraj yıkılması olayı temsil edilmiştir. Deneysel çalışma video kameralar ile kayıt altına alınmış ve görüntü işleme teknikleri ile elde edilen 3 farklı noktada zamana bağlı su seviyesi değişimlerine ait deneysel veriler kullanılmıştır. Sayısal sonuçlar 1 boyutlu sığ su denklemlerinin sonlu hacimler yöntemi ile çözümünü yapan BASEMENT isimli ücretsiz yazılım kullanılarak elde edilmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemle elde edilen su seviyesi değişimleri incelendiğinde sonuçların oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – Baraj Yıkılması, Kuru Yatak, Sığ Su Denklemleri, Dalga yayılması, Tam Riemann Çözücü

I. GİRİŞ

Barajlar akarsu vadisini kapatarak arkasında su tutan, taşkın, sulama, elektrik üretim vb. amaçlarla yapılan mühendislik yapılarıdır. Mansap kısımlarında yerleşim birimleri ve/veya tarım arazileri bulunduğundan yıkılmaları halinde çok büyük miktarda su baraj gölünden boşalarak mansap kısmında normal taşkınlara kıyasla çok daha büyük ölçüde taşkınlar oluşturarak önemli miktarda maddi kayıplara ve çok sayıda insan ölümlerine neden olabilirler. Taşkın meydana geliş süresi ve mansapta ilerlemesi çok hızlı olduğundan insanların uyarılması için geçen süre de oldukça kısadır. Bu nedenle taşkın sonucu oluşacak can kayıplarının ve hasarlarının önceden belirlenmesi taşkın olası bu etkilerinin azaltılması için baraj yıkılması analizlerinin yapılması oldukça önemlidir. Baraj yıkılması konusunda gerçek arazi verilerin yokluğundan dolayı, son yıllarda problemin çözümünde sayısal analizler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [1]. Bununla birlikte sayısal

sonuçların güvenilirliğinin deneysel veriler ile doğrulanarak sorgulanması gerekmektedir.

Baraj yıkılması olayının büyük ölçekli hidrolik bir problem olmasından dolayı, 3 boyutlu Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RONS) denklemlerinin sayısal çözümlerine dayanan hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımları kullanılarak yapılan sayısal modellerinde özellikle bilgisayar çözüm süreleri açısından bir takım güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bu nedenle bir veya iki boyutlu sığ su denklemlerinin (Shallow Water Equations) sonlu hacimler kullanılarak yapılan sayısal çözümleri 3 boyutlu RONS çözümlerine göre daha az işlemci gücü gerektirdiğinden günümüzde halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Sığ su denklemleri, Navier-Stokes denklemlerinden düşey ivmenin ihmal edilmesi ile elde edilebilmektedir. Serbest yüzeyli akımlarda, akarsu taşkın analizlerinde, okyanuslarda ve baraj yıkılması gibi problemlerde yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Buna karşın, bu denklemlerin elde edilmesinde yapılan düşey ivme bileşenlerinin ihmal edilmesi, hidrostatik basınç

dağılımı gibi kabullerden ve sayısal çözümlerinde çok dalgalarının temsil edilmesindeki güçlüklerden dolayı problemin sayısal çözümlerinin farklı koşullar için oluşturulmuş deneysel çalışmalarla karşılaştırılarak çözüm kabiliyetlerinin irdelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Baraj yıkılmasına ait deneysel verilerin görüntü işleme yöntemi ile elde edildiği çalışmalar mevcuttur [2-4]. Kanal eğiminin [5] veya daralmanın [6] baraj yıkılması akımının davranışına etkisinin incelendiği çalışmalar da bulunmaktadır. Ayrıca topografik değişimlerin davranışa etkisinin incelenmesi açısından önemli olan taban eşliğini barındıran deneysel çalışmalar da vardır [7].

Bu çalışmada, yatay dikdörtgen bir kanal içerisinde bulunan düşey bir kapağın ani olarak kaldırılması sonucu oluşan baraj yıkılması taşkın dalgasının, mansap boyunca kuru yatak üzerinde yayılması durumu ele alınmıştır. Deneysel çalışmada 3 farklı noktada elde edilen su seviyesi değişimleri, 1 ve 2 boyutlu sığ su denklemlerini kullanarak çözüm yapan ve ücretsiz olan BASEMENT yazılımından elde edilen nümerik veriler ile karşılaştırılmıştır.

II. TEORİ

Sığ su denklemlerinin korunumlu ve korunumlu olmayan çeşitli formlarda ifade edilmektedir. Baraj yıkılması gibi içersinde şok dalgası bulunduran problemlerin çözümünde korunumlu denklemlerde korunumlu olmayan formdan daha iyi sonuçlar vermektedir. BASEMENT yazılımı, korunumlu formda iki boyutlu denklemleri çözmektedir [9]. Bu denklemlerin sonlu hacimler yöntemi kullanılarak yapılan sayısal çözümü ile birbirine dik iki farklı doğrultudaki ortalama hız ve akım derinlikleri elde edilmektedir. Sistemin vektör formatındaki eşitliği aşağıdaki gibidir;

$$U_t + \nabla \cdot (F, G) + S = 0 \quad (1)$$

Burada; U bağımlı değişkenlerin vektörüdür. Alt indis t zamana göre türevi göstermektedir. F ve G sırası ile x ve y doğrultularındaki akım, S ise kaynak terimidir.

$$U = \begin{pmatrix} h \\ uh \\ vh \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$F = \begin{pmatrix} uh \\ u^2h + \frac{1}{2}gh^2 - v_t h \frac{\partial u}{\partial x} \\ uvh - v_t h \frac{\partial u}{\partial y} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$G = \begin{pmatrix} vh \\ uvh - v_t h \frac{\partial v}{\partial x} \\ v^2h + \frac{1}{2}gh^2 - v_t h \frac{\partial v}{\partial y} \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$S = \begin{pmatrix} 0 \\ gh(S_{fx} - S_{Bx}) \\ gh(S_{fy} - S_{By}) \end{pmatrix} \quad (5)$$

Burada; h akım derinliği (metre), u ve v sırasıyla x ve y doğrultularındaki derinlik ortalamalı hız bileşenlerini (m/s), S_{fx} ve S_{fy} sırasıyla x ve y doğrultusundaki sürtünme eğimleri, S_{Bx} ve S_{By} sırasıyla x ve y doğrultularındaki taban eğimleri, v_t kinematik viskozite (m^2/s), g yerçekimi ivmesi (m/s^2), x ve y birbirine dik doğrultulardır.

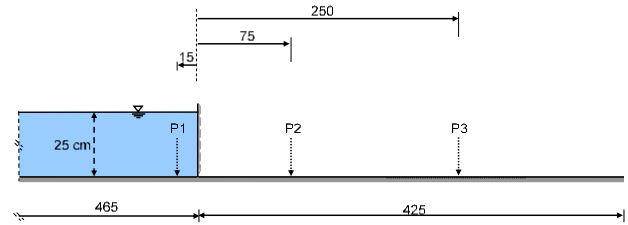
Yazılım içerisinde baraj yıkılması olayının içinde var olan şok dalgalarının analizlerinin yapılabilmesini sağlayan tam (exact), HLL ve HLLC Riemann çözümleri mevcuttur. Bu çalışmada, tam (exact) Riemann çözümleri kullanılmıştır.

Problemin deney koşulları aynı boyutlarda ve bir boyutlu olarak modellendiği bu çalışmada 0.01 metre ağ aralıkları kullanılmıştır. Courant sayısı 0.1, akışkan yoğunluğu 1000 kg/m^3 yerçekimi ivmesi 9.81 m/s^2 , kinematik viskozite $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/s$ olarak alınmıştır. Kanal tabanında Manning pürüzlülük katsayısı 0.0095 seçilmiştir. Çözüm 20 saniye için yapılmıştır.

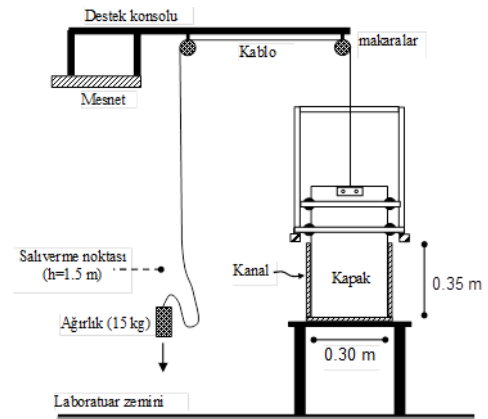
III. MATERYAL VE METOD

A. Deneysel Düzenek ve Yöntem

Deney çalışması boyutları $9.00 \times 0.30 \times 0.35$ metre (boy, genişlik, yükseklik) olan bir kanalda yapılmıştır. Deney kanalı; ilk 4.65 metresi memba, kalan 4.25 metrelik kısmını ise mansap olacak şekilde barajı temsil eden düşey bir kapak ile ikiye bölünmüştür. Başlangıçta mambadaki su yüksekliği 0.25 m olarak alınmış ve mansapta kuyruk suyu bulunmamaktadır (Şekil 1). Bu durum kuru yatak koşulu olarak adlandırılmaktadır. Kanalın taban ve yan yüzeyleri kalınlığı 0.01 metre olan camdan yapılmıştır. 15 kilogram bir ağırlık kapağın ucuna bağlanmış ve sabit yükseklikten serbest bırakılarak kapağın yukarı yönde ani olarak kalkması sağlanmıştır (Şekil 2). Kalkma süresi video görüntüler üzerinden kapağın kalkma süresinin yaklaşık olarak 0.06 s olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Deneysel düzenek ve ölçüm noktaları



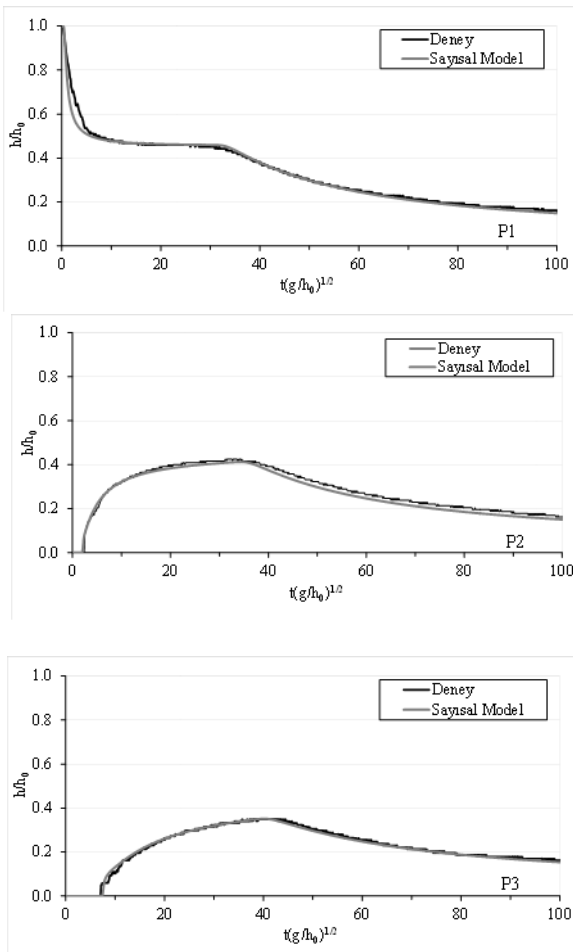
Şekil 2. Deneysel düzenek ve ölçüm noktaları

Çalışmada 3 kameradan gelen görüntüler eş zamanlı olarak aktarıcı kart aracılığı ile bilgisayara gönderilmiştir. Sonraki aşamada senkronize çalışan 3 ayrı kameradan gelen görüntüler, kanalın mansabının panoramik görüntüsünü elde etmek amacıyla birleştirilmiştir. Su seviyelerinin zamana bağlı değişimleri 768×576 piksel çözünürlüğe sahip saniyede 50 kare görüntü veren kameralardan elde edilen ve

kalibrasyonları yapılan görüntüler üzerinden elde edilmiştir. Video görüntüler üzerinden su derinliklerinin belirlenebildiği bu yöntem Kocaman [1] tarafından sanal derinlik ölçer olarak adlandırılmıştır. Şekil 1’de biri membada ikisi mansapta olmak üzere 3 farklı noktada ölçüm yerleri görülmektedir.

IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgasının memba (P1) ve mansap (P2-P3) noktalarında meydana gelen su seviyelerindeki değişim Şekil 3’te gösterildiği gibidir. Grafikte zaman büyüklükleri $(g/h_0)^{1/2}$ ile çarpılarak, yükseklikler ise h_0 ’a bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır. Barajı temsil eden düşey kapağın kalkması ile birlikte rezervuardaki seviyesinin hızla azaldığı daha sonra yatay bir seyir izlediği sonrasında tekrar yavaş bir biçimde azalmaya başladığı göze çarpmaktadır. Bu davranış ölçüm alınan noktanın kapağın hemen membasında yer almasından ve rezervuarın sonlu bir büyüklüğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Kapağın ilk yaklaşık $T=10$ anına kadar ki zaman dilimi hariç deney ve sayısal sonuçlar arasındaki uyumun oldukça iyi olduğu göze çarpmaktadır. Başlangıç anlarında su yüzeyinde belirgin eğrilikler olduğundan, bu zaman diliminde farklılıkların nedeni olarak sığ su denklemlerinde düşey ivme bileşenlerinin ihmal edilmesi ve hidrostatik basınç dağılımı kabulünün olması gösterilebilir.



Şekil 3. Deneysel ve sayısal zamana bağlı su seviyesi

Mansap kısmındaki noktalarda ise kapağın ani olarak yukarı yöndeki hareketi ile birlikte oluşan taşkın dalgası hızlı

bir şekilde su seviyelerinde artışa neden olduğu ve sonrasında su seviyelerinin azaldığı görülmektedir. Kanalin mansap ucu açık bırakılmıştır ve suyun serbestçe kanaldan uzaklaştırılması sağlanmıştır. Kapağa yakın P2 noktasında meydana gelen maksimum su seviyesinin uzaktaki P3 noktasına göre daha yüksek olmaktadır. Bu durum taşkın dalgasının ilerlemesi sırasında pik değerinde azalmanın olduğu ve hidrografın yayvanlaştığının başka bir ifade ile ötelendiğinin göstergesidir. Yapılan karşılaştırma sonucunda sayısal sonuçların deney sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu ve su seviyelerinin belirlenmesinde etkili bir araç olarak kullanılabileceği ifade edilebilir. Grafiklerde su seviyelerindeki ilk yükselmenin dalga önünün ilerleme hızlarını gösterdiği düşünüldüğünde, sayısal yöntemin bu konuda da başarılı olduğu söylenebilir.

Ayrıca sonuçlar, yazılımın çözüm başarısının ölçüldüğü başka bir çalışma [8] ile karşılaştırıldığında, deneysel ve sayısal uyumun bu çalışmada daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin ise kanal geometrisinin değişken olmaması nedeniyle olduğu düşünülmüştür.

V. SONUÇLAR

Kuru yatak şartlarına sahip yatay dikdörtgen bir kanalda baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgasının mansap boyunca farklı noktalarda zamana bağlı su seviyesi değişimleri deneysel ve sayısal olarak belirlenmiştir. Deneysel veriler görüntü işleme teknikleri kullanılarak, sayısal veriler ise sığ su denklemlerinin sonlu hacimler yöntemi ile çözülmesi ile elde edilmiştir. Kapağın kalkması ile birlikte rezervuardaki suyun hızla boşalarak mansap boyunca ilerlediği ve rezervuarda da geriye doğru negatif dalganın yayıldığı gözlenmiştir.

Deney ve sayısal sonuçlar arasında oldukça iyi bir uyum olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşın, sayısal sonuçların taban eşiği, daralma, eğim değişimi gibi arazi topografyasındaki değişimleri içerecek farklı deneysel çalışmalarla doğrulanması gerekmektedir.

REFERENCES

- [1] S. Kocaman, "Baraj yıkılması probleminin deneysel ve teorik incelenmesi," Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., Adana, 2007.
- [2] K. Dal, "Eğimli kanalda ardışık baraj yıkılmasının deneysel ve sayısal incelenmesi," Yüksek lisans tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Müh. ve Fen Bil. Enst., İskenderun, Hatay, 2018.
- [3] S. Kocaman and H. Ozmen-Cagatay, "Investigation of dam-break induced shock waves impact on a vertical wall," *Journal of Hydrology*, vol. 525 pp. 1-12, Jun. 2015.
- [4] H. Ozmen-Cagatay and S.Kocaman, "Dam-break flows during initial stage using SWE and RANS approaches," *Journal of Hydraulic Research*, vol. 48 pp. 603-611, Oct. 2010.
- [5] K. Dal and S. Kocaman, "Comparison of the experimental results with SPH method for sequential dam-break problem," in *Proc. 5th IAHR Europe Congress, 2018*, paper 433.
- [6] S. Kocaman and H. Ozmen-Cagatay, "The effect of lateral channel contraction on dam break flows: Laboratory experiment." *Journal of Hydrology*, vol. 432-433 pp. 145-153, Apr. 2012.
- [7] A. Yilmaz, K. Dal, M. Demirci and S. Kocaman, "Numerical Investigation of dam-break flow over a bottom obstacle using eulerian finite element method," *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, vol. 4 pp 201-208, Dec. 2017.
- [8] S. Kocaman, K. Dal and S. Evangelista, "Validation of dam break flood wave propagation on trapezoidal contraction in rectangular channel using hll riemann solver", in *Proc. International Advanced Researches & Engineering Congress, 2017*.
- [9] R. Faeh, R. Mueller, P. Rousselot, R. Veprek, D.Vetsch, C. Volz, L. Vonwiller and D. Farshi (2017) *Basic simulation environment for*

computation of environmental flow and natural hazard simulation, VAW, ETH Zurich. [online]. Available: <http://www.basement.ethz.ch>