

Kapak Altı Hidrolik Sıçramanın Deneysel ve Sayısal Yöntemlerle İncelenmesi

Investigation of Hydraulic Jump Downstream of a Sluice Gate by Experimental and Numerical Methods

Hayri ATEŞ^{(1)*}, Osman YILDIZ⁽²⁾

⁽¹⁾ *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 3400, İstanbul, Türkiye.*

⁽²⁾ *Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, Türkiye.*

Received date: **24.07.2023**; Accepted date: **07.12.2023**; Published date : **28.12.2023**

Turkish Journal of Hydraulic (Türk Hid. Der.), Vol (Cilt): 7 , Number (Sayı): 2, Page (Sayfa), 01-14, (2023)

e-ISSN: **2636-8382**

SLOI: <http://www.dergipark.org.tr>

*Correspondence e-mail: hayriates71@gmail.com

Özet

Açık kanallarda akımın sel rejiminden nehir rejimine geçişi hidrolik sıçrama yoluyla mümkün olmaktadır. Hidrolik sıçramadan genellikle enerji kırıcı olarak faydalanılabildiği gibi, kanallarda veya akarsu yataklarında su seviyesinin yükseltilmesi, çevri hareketiyle suyun havalandırılması gibi farklı amaçlar için de yararlanılmaktadır. Hidrolik sıçramadan faydalı bir şekilde faydalanmak için hidrolik sıçrama özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak, araştırmacılar tarafından literatürde farklı deneysel ve sayısal analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, laboratuvar ortamında bir açık kanalda meydana gelen kapak altı hidrolik sıçrama olayına ait temel özellikler deneysel ve sayısal yöntem kullanılarak incelenmiştir. Bunun için, Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda açık kanal düzeneği kullanılarak bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Kanal akımında hız ölçümü için ADVP (Akustik Doppler Hız Profil Ölçer) cihazı kullanılmıştır. Sayısal modelleme amacıyla HEC-RAS programından faydalanılmıştır. Açık kanalda elde edilen deney sonuçları ile HEC-RAS programı kullanılarak elde edilen tek boyutlu hidrolik model sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmede, deney ve model sonuçları arasında bazı farklılıklar bulunmasına rağmen bunların genel olarak birbirine benzer olduğu görülmüştür. Hidrolik modelden tahmin edilen hidrolik sıçrama özelliklerinin (hidrolik sıçrama öncesi ve sonrası akım derinlikleri, sıçrama başlangıç mesafesi ve sıçrama uzunluğu) deneylerden elde edilen değerlere oldukça yakın olduğu anlaşılmıştır. Böylece, HEC-RAS programı kullanılarak kapak altı hidrolik sıçrama için güvenilir tahminlerin elde edilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik Sıçrama, Açık Kanal Akımı, Hız Ölçümü, ADVP, HEC-RAS

Abstract

In open channels, the flow transition from supercritical regime to subcritical regime is possible by hydraulic jump. Hydraulic jump is generally used as an energy dissipator, as well as for different purposes such as raising the water level in channels or stream beds, and aeration of the water by circulating movement. Its properties must be well known to benefit from the hydraulic jump efficiently. For this purpose, different experimental and numerical analysis methods have been developed by researchers in the literature. In this study, the basic properties of hydraulic jump downstream of a sluice gate in a laboratory channel were investigated by experimental and numerical methods. For this, a series of experimental studies were carried out using the open channel system in Kırıkkale University Civil Engineering Department Hydraulics Laboratory. ADVP (Acoustic Doppler Velocimetry Profiler) device was used to measure the velocity in the channel flow. The HEC-RAS program was used for numerical modeling. The experimental results obtained in the open channel and the one-dimensional hydraulic model results obtained using the HEC-RAS program were compared with each other. In the conducted assessment, despite some differences between the experimental and model results, it has been observed that they are generally similar to each other. It has been understood that the hydraulic jump characteristics predicted by the hydraulic model (such as pre- and post-jump flow depths, jump inception point, and jump length) are remarkably close to the values obtained from experiments. Thus, it was shown that reliable estimates of hydraulic jump downstream of a sluice gate can be obtained using the HEC-RAS program.

Keywords: Hydraulic Jump, Open Channel Flow, Velocity Measurement, ADVP, HEC-RAS.

1. GİRİŞ (Introduction)

Hidrolik sıçrama, etkili bir enerji kırıcı olarak kullanılmaktadır. Bunun için kullanılacak sistemin tasarımı aşamasında hidrolik sıçrama özelliklerinin önceden iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, laboratuvar ortamında genellikle fiziksel modeller üzerinde deneysel incelemeler yapılmaktadır. Bu şekilde elde edilen veriler yardımıyla daha etkin tasarım ve çözümlerin belirlenmesi mümkün olmaktadır [1]. Bunun yanında, sayısal yöntemler yardımıyla hidrolik sıçramanın modellenmesi gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda, deneysel ve sayısal yöntemleri birlikte kullanarak hidrolik sıçramanın özelliklerini inceleyen değişik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bohr vd. (1996) su derinliğinin kontrol edilebilir olduğu bir ortamda dairesel hidrolik sıçramalara ait deney sonuçları ile Navier-Stokes denklemlerinin çözümü ile elde sayısal modelleme sonuçlarını karşılaştırmıştır [2]. Zhou ve Stansby (1999) laboratuvar ortamında farklı akım koşullarına ait hidrolik sıçrama olaylarını diferansiyel denklemler yardımıyla bir, iki ve üç boyutlu olarak modellemiş ve sonuçları birbiriyle karşılaştırmıştır [3]. Gümüş vd. (2013) değişik Froude sayılarına sahip batmış hidrolik sıçrama için su yüzü profillerini deneysel ve sayısal yöntemlerle belirlemiştir [4]. Sathe vd. (2018) farklı akım koşulları için bir baraj dolu savağında oluşan hidrolik sıçrama olayını deneysel olarak inceledikten sonra HEC-RAS programında modelleyerek sonuçları birbiriyle karşılaştırmıştır

[5]. Benzer bir çalışmada, Şimşek vd. (2018) bir dolu savağın mansap bölgesinde oluşan hidrolik sıçramanın su yüzeyi profillerini çeşitli akım ve yapı koşullarını göz önüne alarak deneysel ve sayısal olarak incelemiştir [6]. Hromadka ve Rao (2019) farklı sayısal modeller yardımıyla hidrolik sıçrama karakteristiklerinin tahmininde, HEC-RAS model sonuçlarının diğer modellerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir olduğunu tespit etmiştir [7]. Parmaksız (2019) laboratuvar ortamında değişik akım koşullarında meydana gelen hidrolik sıçrama olayına ait sonuçları sayısal yöntemlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır [8]. Gümüş vd. (2019) farklı akım durumları için oluşan hidrolik sıçrama olayını deneysel olarak incelemiş ve sayısal olarak modelleme için sonlu hacimler ve akışkan hacimler yöntemlerini kullanmıştır [9]. Retsiniz ve Papanicolau (2020), bir açık kanalda tipik bir hidrolik sıçrama olayını sayısal olarak modellemiş ve sonuçları farklı Froude sayıları için gerçekleştirilen deney sonuçları ile karşılaştırmıştır [10]. Şimşek vd. (2021), farklı akım koşullarında kayar kapak mansabında oluşan batmış hidrolik sıçrama olayının sayısal modellemesine ait sonuçları sunmuştur [11]. Ateş (2022), laboratuvar ortamında kapak altı mansabında oluşan hidrolik sıçrama olayını deneysel ve sayısal yöntemler ile incelemiş ve sonuçları birbirleriyle karşılaştırmıştır [12]. Daneshfaraz vd.(2022), yaptıkları çalışmada hidrolik sıçramanın olduğu yerlerde eliptik kesitlerin kullanılmasının bu süreçteki enerji dağılımını nasıl etkileyebileceğini araştırmaktadır.

Teorik olarak, eliptik bir kesitin hidrolik sıçramadaki performansı incelenmiş ve sayısal analizlerle bu kesitin enerji dağılımı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Bu analizler, belirli bir akış rejimi ve eliptik kesitin boyutları altında enerji dağılımı üzerindeki etkileri ortaya koymayı amaçlamaktadır [13]. Daneshfaraz vd. (2022), farklı açıklıklara sahip su tahliye kapaklarının akışında hidrolik parametrelerin deneysel olarak incelenmesini konu alan bu makalede su tahliye kapakları genellikle suyun kontrol edilmesi ve yönlendirilmesi için kullanılır. Bu çalışma, kapakların farklı açıklıklarında akışkanın davranışını anlamak ve belirli hidrolik parametreleri ölçerek analiz etmek amacıyla deneysel bir araştırma içermektedir. Farklı açıklıklı kapaklarda suyun akış hızı, basınç dağılımı, enerji kaybı ve benzeri hidrolik parametreler incelenmiş ve karşılaştırılmıştır [14].

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında bir açık kanalda kapak altı hidrolik sıçramanın özellikleri deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, kapak altı hidrolik sıçramanın farklı akımlarda deneysel ve sayısal olarak incelenip, ölçüm metodlarının güvenilirliğini ölçmek ve hidrolik sıçramanın karakteristiklerinin farklı akımlarda ve farklı ölçüm yöntemlerine rağmen çok benzer ya da yüksek güvenilirlik ölçümlerinde sonuçlar vermesidir. Bunun için, deneysel çalışmalar Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan açık kanal sisteminde gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, burada elde edilen deneysel sonuçlar HEC-RAS ile elde edilen hidrolik modelleme sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (Materials and Methods)

2.1. Açık Kanal Sistemi (Open Channel System)

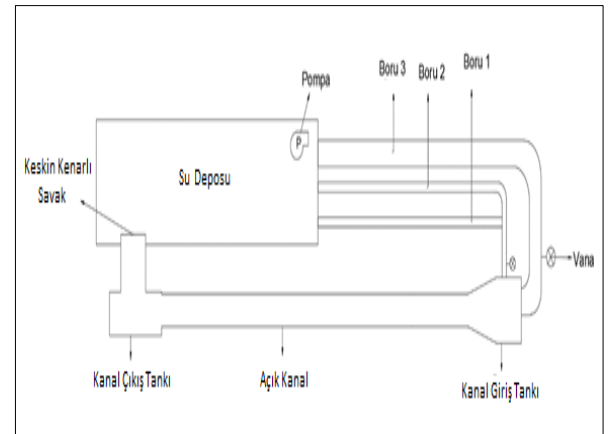
Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar için Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan açık kanal sistemi kullanılmıştır (Şekil 1-2). Burada görüldüğü gibi, açık kanalın tabanı ve yan duvarları cam olup genişliği 0,30 m, yüksekliği 0,5 m ve uzunluğu ise 5 m dir. Deney esnasında devridaim eden suyu depolamak için kullanılan deponun maksimum kapasitesi yaklaşık olarak 5 tondur. Depo içerisindeki dalgıç pompa 7 kW'lık bir

güce sahiptir. Kanala su iletmek için kullanılan basma borusunun (Boru 1) çapı 7 cm, kanalı boşaltmak için kullanılan tahliye borularının (Boru 2 ve Boru 3) çapları ise sırasıyla 7 cm ve 30 cm dir. Boruların üzerindeki vanalar yardımıyla debi ayarı yapılmaktadır. Kanal giriş tankı yardımıyla akımın dalga ve türbülans etkisi sönmelenmektedir. Açık kanaldan akan su, kanal çıkış tankının ucuna monte edilen 50 cm genişliğinde ve 29,5 cm yüksekliğindeki keskin kenarlı savaktan akarak su deposuna geri dönmektedir. Burada, kanaldan geçen debinin hesabında kullanılmak amacıyla savak yükünün ölçümü için limnimetre ve piyezometre kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, açık kanalın baş kısmına monte edilen düşey yönlü kayar kapak altından geçen farklı debilerde meydana gelen hidrolik sıçrama olayları göz önüne alınmıştır. Kanal tabanından itibaren 2 cm yüksekliğindeki kapak açıklığından geçen akımların kapak önünde oluşturdukları hidrolik sıçramalara ait temel karakteristik değerler ölçümler yoluyla belirlenmiştir.



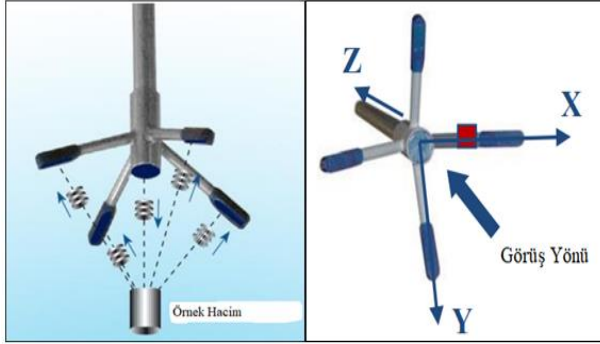
Şekil 1. Açık kanal sisteminin genel görünümü.



Şekil 2. Açık kanal sisteminin şematik plan görünümü.

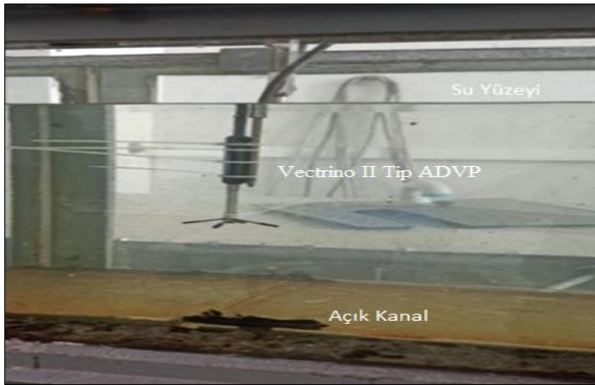
2.2. Akım Hızının Belirlenmesi (Determination of Current Velocity)

Açık kanaldan geçen akım hızının ölçülmesi için Vectrino II Tip markalı bir Akustik Doppler Hız Profil Ölçer (ADVP) kullanılmıştır. ADVP, Akustik Doppler prensibine dayanan yüksek teknolojiye sahip X, Y ve Z doğrultusunda akımın değişik özelliklerini (taban, hız, SNR vb.) ölçen ses frekansları teknolojisinin kullanıldığı bir hız ölçerdir (Şekil 3).



Şekil 3. Akım hızı ölçümü için kullanılan Akustik Doppler Hız Profil Ölçer cihazı [15].

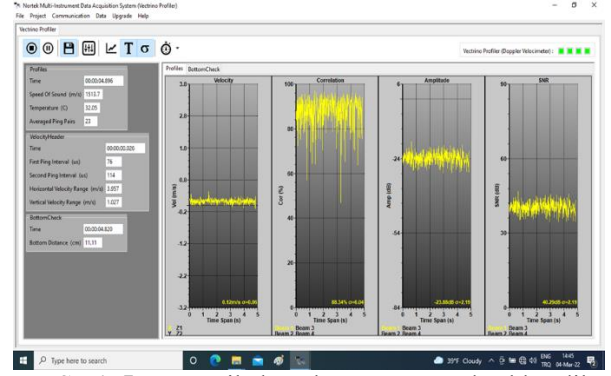
Bu çalışmada kullanılan ADVP'nin çalışma prensibine göre, merkez transdüserden kanal tabanına doğru bir sinyal iletilir ve bu sinyal sudaki küçük partiküllere çarpıp bir yansımayla ADVP'nin 4 ayağına frekans dalgası olarak geri döner (Şekil 4). Daha sonra, özel bir yazılım sayesinde akımla ilgili önemli bilgiler buradan elde edilir.



Şekil 4. Açık kanalda ADVP ile yapılan hız ölçümüne ait bir görüntü.

ADVP ile hız ölçümü esnasında elde edilen bir ekran görüntüsü Şekil 5'te verilmiştir. Burada görüldüğü üzere akım karakteristikleri ile ilgili bilgiler oldukça detaylı bir şekilde ve anlık olarak elde edilmektedir.

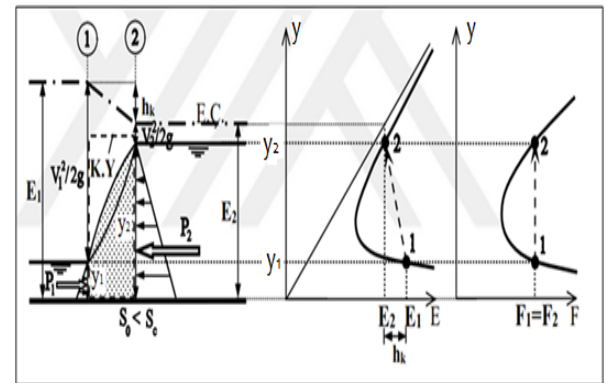
ADVP yardımıyla hız ölçümleri noktasal ve hücrel hız ölçümü şeklinde gerçekleştirilmektedir. Noktasal hız ölçümü için ADVP'nin bulunduğu konumdan 50 mm altında bulunan noktada hız ölçümü yapılır. Hücrel hız ölçümü için ise ADVP'nin bulunduğu konumdan 40 ve 70 mm arasındaki noktalardan 1, 2, 3 ve 4 mm aralıklarla hız ölçümü yapılır. ADVP ile elde edilen hız ölçümleri MATLAB programında özel bir yazılımla işlenerek sayısal değerler elde edilmiştir.



Şekil 5. ADVP ile hız ölçümü esnasında elde edilen bir ekran görüntüsü.

2.3. Hidrolik Sıçrama (Hydraulic Jump)

Hidrolik sıçrama, akımın sel rejiminden nehir rejimine geçişini sağlayan ani bir sıçrama olayı olarak tanımlanmaktadır. Bu olay esnasında akış özelliklerine göre toplam enerjinin belirli bir oranında bir enerji kaybı oluşur. Böylelikle, çoğu zaman akış halindeki suyun çevreye zara vermesine engel olunur.



Şekil 6. Hidrolik sıçrama esnasında akım derinliğinin (y) özgül enerji (E) ve özgül kuvvet (F) ile değişimi [16].

Hidrolik sıçrama esnasında akım derinliğinin özgül enerji ve özgül kuvvet ile değişimi Şekil 6'da ayrı ayrı verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, sıçrama

öncesi y_1 seviyesindeki akım derinliği sıçrama sonrasında bir miktar artarak y_2 olmuştur. Hidrolik sıçrama öncesi E_1 özgül enerji değeri h_k kadar azalarak sıçrama sonrasında E_2 olmuştur. Diğer taraftan, hidrolik sıçrama öncesi ve sonrası özgül kuvvet değerleri ise aynı kalmıştır ($F_1=F_2$).

Şayet hidrolik sıçrama esnasında kaybolacak enerji (h_k) biliniyorsa Şekil 6 üzerinde (1) ve (2) nolu kesitleri arasında Eşitlik (1) ile verilen enerji denklemi yazılarak hidrolik sıçrama özellikleri (özgül enerji, akım derinliği, akım hızı, Froude sayısı) elde edilir.

$$E_1 = E_2 + h_k \quad (1)$$

Burada E_1 değeri (1) nolu kesitteki özgül enerji yüksekliğini, E_2 değeri ise (2) nolu kesitteki özgül enerji yüksekliğini göstermektedir.

Hidrolik sıçrama olayının hidrodinamik yapısı genellikle yatay tabanlı kanallar göz önüne alınarak incelenmiştir. Hidrolik sıçramanın mansap yönündeki akım şartları, memba kısmındaki akım şartlarının yardımıyla momentum ve süreklilik denklemleri kullanılarak elde edilmektedir. Şayet h_k değeri bilinmiyorsa, hidrolik sıçrama probleminin çözümünde momentum prensibi uygulanır. Buna göre, dikdörtgen en kesitli bir açık kanalda memba ve mansap su yükseklikleri (sırasıyla y_1 ve y_2) arasında Eşitlik (2)'de verilen bağıntı elde edilir.

$$Y_2 = -\frac{y_1}{2} + \sqrt{\frac{y_1^2}{4} + \frac{2q^2}{g \cdot y_1}} \quad \text{veya}$$

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_{r1}^2} - 1 \right) \quad (2)$$

Burada, q açık kanalın birim genişliğinden geçen akım debisini, F_{r1} hidrolik sıçrama öncesi y_1 derinliğinde akımın Froude sayısını ($F_{r1} = V_1/\sqrt{g \cdot y_1}$), V_1 hidrolik sıçrama öncesi y_1 derinliğindeki ortalama akım hızını ve g ise yerçekimi ivmesini temsil etmektedir.

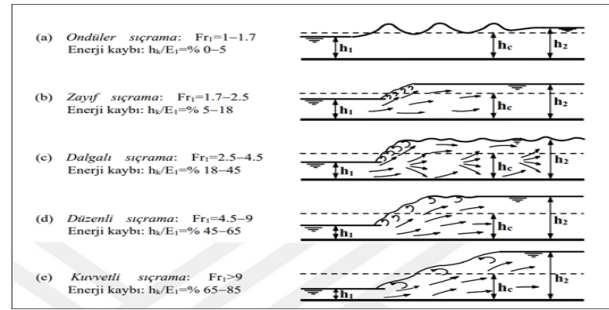
Dikdörtgen en kesitli kanallarda yüzeysel sıçrama esnasında oluşan enerji kaybı Eşitlik (3) ile tahmin edilmektedir [17].

$$h_k = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 \cdot y_2} \quad (3)$$

Hidrolik sıçrama olayı esnasında enerji kaybının nispeten fazla olması hidrolik sıçramanın iyi bir enerji kırıcı olarak görev yaptığını gösterir. Hidrolik sıçrama uzunluğunun belirlenmesi birçok açıdan önem taşımaktadır. Örneğin, bir baraj dolu savağında düşüm yatağının tasarımı için hidrolik sıçramanın oluşacağı mesafenin bilinmesi gerekmektedir. Hidrolik sıçrama uzunluğunun tahmin edilmesinde literatürde değişik ampirik bağıntılar bulunmaktadır. Dikdörtgen en kesitli kanallar için yaygın olarak kullanılan bağıntı Eşitlik (4) ile verilmiştir [17]. Burada, hidrolik sıçrama uzunluğunun (L_j) belirlenmesi için hidrolik sıçrama öncesi akım derinliği ve Froude sayısı göz önüne alınmıştır.

$$\frac{L_j}{y_1} = 9,75(F_{r1} - 1)^{1,01} \quad (4)$$

Hidrolik sıçrama, genellikle Froude sayısının değerine bağlı olarak çeşitli formlar şeklinde adlandırılmaktadır (Şekil 7). Burada görüldüğü gibi, hidrolik sıçrama öncesi sel rejimli akımın Froude sayısı büyüdükçe sıçrama olayının şiddeti ile bu esnada oluşan enerji kaybı artmaktadır. Mesela, 'kuvvetli sıçrama' esnasında ($Fr > 9$) oluşan enerji kaybının (h_k) sıçrama öncesi özgül enerjiye (E_1) oranı % 65-85 arasında değişmektedir.



Şekil 7. Froude sayısına bağlı olarak adlandırılan hidrolik sıçrama olayları [18].

Bu çalışma kapsamında Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarı'nda incelenen tipik bir hidrolik sıçrama olayına ait görüntü Şekil 8'de verilmiştir. Burada, açık kanalın mansap uç noktasında bulunan hareketli kapak yardımıyla mansap su seviyesi ayarlanarak hidrolik sıçrama oluşması sağlanmıştır. Şekilde görüldüğü gibi, kanal içerisinde nispeten sığ bir derinlikteki su akımın derinliğinde hidrolik sıçrama sonrasında ani bir artış meydana gelmiştir. Bu esnada oluşan türbülans etkisi dolayısıyla akımın enerjisinde kayıp meydana gelmektedir (Şekil 9).



Şekil 8. Laboratuvar ortamında gözlenen tipik bir hidrolik sıçrama olayı.



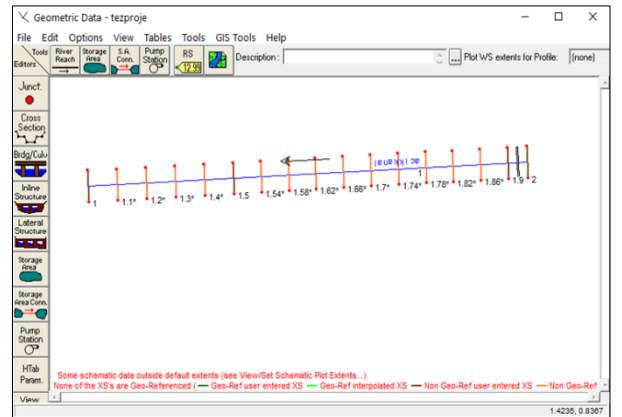
Şekil 9. Tipik bir hidrolik sıçrama olayı esnasında gözlenen türbülans.

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen hidrolik sıçrama deneylerinde, hidrolik sıçrama öncesi ve sonrası akım derinlikleri (y_1 ve y_2), hidrolik sıçramanın kapaktan itibaren başlangıç mesafesi (L_b) ve hidrolik sıçrama uzunluğu (L_j) değerleri çelik şerit metre, limnometre ve cetvel yardımıyla ölçülmüştür. Ayrıca, açık kanalın sonunda bulunan keskin kenarlı savak üzerindeki akım yüksekliği (savak yükü) ölçüm yoluyla tespit edilmiştir. Burada ölçülen büyüklüklerin tutarlılığını kontrol etmek için ADVP ile elde edilen akım hızı değerleri kullanılmıştır. Bunun için öncelikle Eşitlik (2) ile verilen ardışık sıçrama derinliği bağıntısından sıçrama öncesi Froude sayısı (F_{r1}) hesaplanmıştır. Daha sonra, dikdörtgen en kesitli kanal için Froude sayısı ifadesinden hidrolik sıçrama öncesi ortalama akım hızı (V_1) elde edilmiştir. Hesaplanan bu değer ADVP yardımıyla ölçülen hız değeri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda, hesaplanan ve ölçülen hız değerlerinin genellikle birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir.

2.4. HEC-RAS ile Hidrolik Modelleme (Hydraulic Modeling with HEC-RAS)

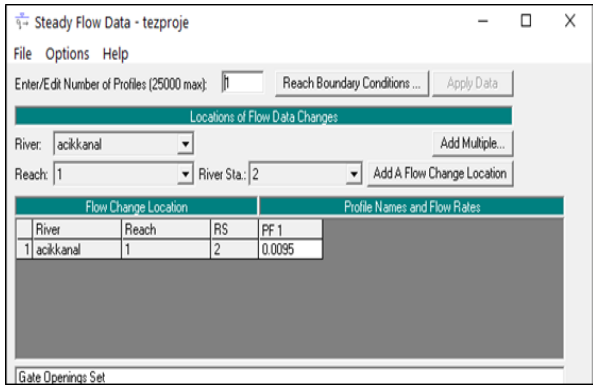
HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) bir veya iki boyutlu akımların hidrolik modellemesinde yaygın olarak kullanılan bir yazılımdır. HEC-RAS programı yardımıyla kararlı ve kararsız akımların su yüzeyi profili hesapları yapılmaktadır. Ayrıca, sınır şartları değişen akım durumlarında sediment taşınımı ve su kalitesi analizi gerçekleştirilmektedir. Kararlı akım durumunda sel ve nehir rejimleri için bir boyutlu enerji denklemi kullanılmaktadır. Enerji kaybının belirlenmesinde kanal daralma/genişleme katsayıları ile Manning pürüzlülük katsayısına ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer taraftan, akım rejiminin ani değiştiği durumlarda (örn: hidrolik sıçrama) bir boyutlu momentum denklemi kullanılmaktadır [19]. Bu çalışma kapsamında kararlı akım şartlarında modelleme yapıldığı için HEC-RAS programı ile ilgili sadece kararlı akım şartları için özet bilgiler verilmiştir.

HEC-RAS programında kararlı akım durumu için modellemede göz önüne alınan akarsu kesitinin fiziksel özelliklerinin ve akım parametrelerinin bilinmesi gerekir. Akarsu kesitine ait fiziksel özelliklerin tanımlanması için geometrik veri giriş modülü, akım özelliklerinin tanımlanması için ise kararlı akım veri giriş modülü kullanılır. Geometrik veri modülü ile akarsuyun boyuna kesiti, enkesit özellikleri ile birlikte yüzey pürüzlülük katsayısı, daralma ve genişleme katsayısı ile hidrolik yapılar ait geometrik bilgiler tanımlanır. Şekil 10'da HEC-RAS geometrik veri giriş penceresi için örnek bir gösterim sunulmuştur.



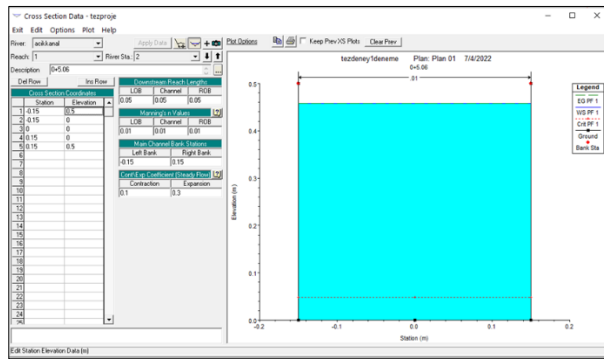
Şekil 10. HEC-RAS geometrik veri giriş penceresi için örnek bir gösterim

Kararlı akım modülü kullanılarak akım debisi ile memba ve mansap en kesitleri için dört farklı sınır koşulundan (bilinen su yüksekliği, kritik derinlik, üniform akım derinliği ve anahtar eğrisi) uygun olanı tanımlanır. Programda tek seferde 25.000 adet farklı debi değeri için modelleme imkanı bulunmaktadır (Şekil 11). HEC-RAS programı sel ve nehir rejimlerine ilave olarak karışık rejim için de hesap yapabilir. Nehir rejiminde hesap yönü mansaptan membaya doğru, sel rejiminde ise membadan mansap yönüne doğru olduğundan sınır şartlarının doğru tanımlanması önemlidir. Modelleme yapılan akarsu kesitinde akım şartları önceden bilinmiyorsa en uygun seçim olarak karışık rejim analizi seçilmelidir.

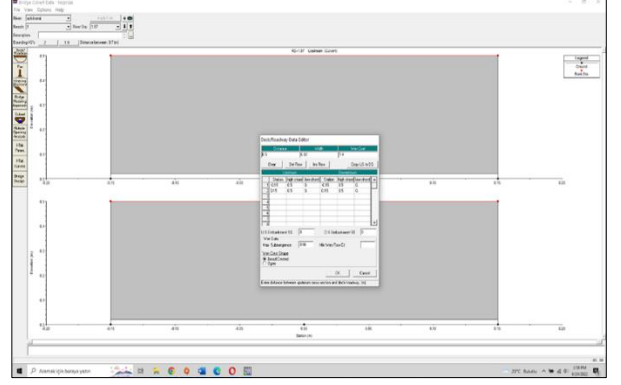


Şekil 11. HEC-RAS kararlı akım veri girişi penceresi.

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında kapak altı hidrolik sıçrama sırasında elde edilen deneysel sonuçlar, HEC-RAS programı ile elde edilen model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Açık kanal içerisinde gerçekleşen hidrolik sıçrama olayı HEC-RAS ile menfez akımı olarak modellenmiştir. Bu amaçla, geometrik veri modülünde açık kanalın memba kısmına 30 cm genişliğinde ve 2 cm yüksekliğinde dikdörtgen en kesitli bir menfez tanımlanmıştır (Şekli 12-13).

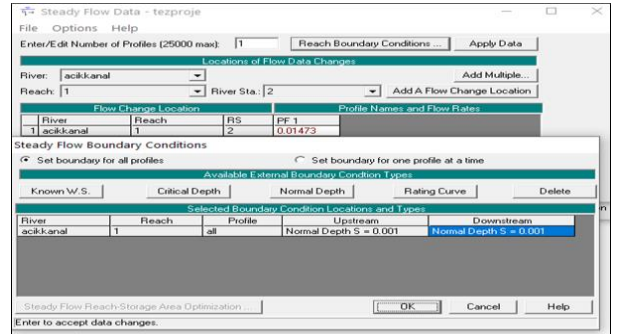


Şekil 12. Geometrik veri modülü ile kanal en kesitine ait bilgilerin tanımlanması.

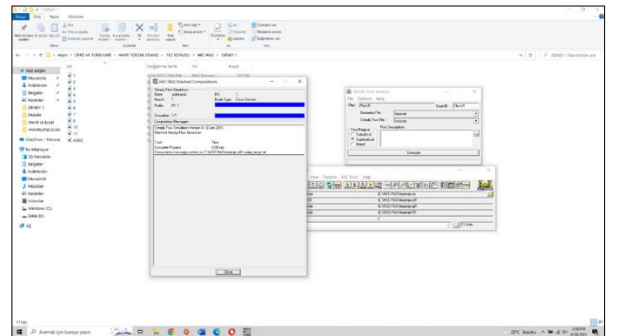


Şekil 13. Kayar kapağın bulunduğu konumda dikdörtgen en kesite sahip menfez tanımlanması.

Hidrolik modellemede, açık kanalın taban eğimi 0,001 olarak alınmıştır. Manning pürüzlülük katsayısı gözlenen değerler kullanılarak kalibrasyon yardımıyla yaklaşık olarak 0,005 olarak hesaplanmıştır. 5 metrelik kanal boyunca 20 cm aralıkla enterpolasyon yapılarak yeterli sayıda en kesit tanımlanmıştır. Modellemede ADVP yardımıyla elde edilen akım debileri kararlı akım verisi olarak girilmiştir. Memba ve mansap bölgesinde sınır koşulları bilinen su yüksekliği olarak tanımlanmıştır. Kararlı akım analizi kapsamında akım rejimi karışık (mixed) tip olarak seçilmiştir (Şekil 14-15).



Şekil 14. Kararlı akım verisi için sınır koşullarının tanımlanması.



Şekil 15. Kararlı akım analizi için model çalıştırma ekranı.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA (Research Findings and Discussion)

3.1. ADVP ile Ölçülen Akım Hızı ve Debinin Hesabı (Calculation of Current Rate and Flow Measured with ADVP)

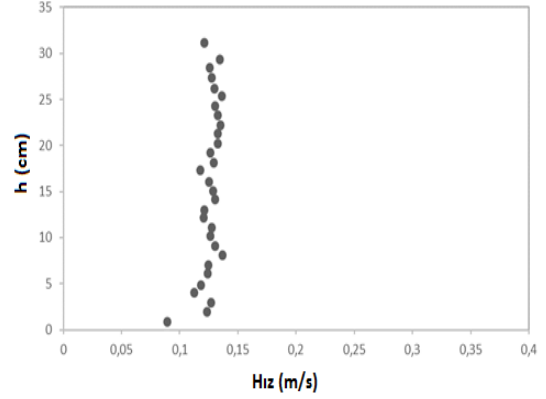
Açık kanal içerisinde belli bir noktaya sabitlenen ADVP ile akım içerisinde düşey yönde noktasal hız ölçümleri elde edilmiştir (Şekil 16-18). Burada 3 farklı akım derinliği için hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Burada görüldüğü gibi, akım derinliği azaldıkça ortalama akım hızı artmaktadır. Kanal tabanına yakın noktalarda ölçülen hız değerleri nispeten küçüktür. Tabandan uzak noktalarda ölçülen hızların bir ortalama etrafında nispeten az bir saçılım gösterdiği görülmektedir. Derinlik arttıkça hızın azalmamasının sebebi, ADVP cihazının belirli frekans aralığındaki hızların ölçümü esnasında çevresel koşullardan etkilenmesidir. ADVP yardımıyla ölçülen noktasal hız değerleri ile ilk önce ortalama akım hızı bulunduğundan sonra akım debileri hesap edilmiştir. Burada, akım yüksekliği h olmak üzere kanal tabanından 0,2h ve 0,8h seviyelerinde okunan hızların aritmetik ortalamaları alınarak kesit ortalama hız değeri elde edilmiştir. Daha sonra, akış kesit alanı ile ortalama hızın çarpımı sonucunda akım debisi hesap edilmiştir. Buna göre, 3 farklı akım durumuna ait ortalama hız ve debi değerleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. ADVP ile ölçülen hız değerleri kullanılarak hesaplanan akım debileri.

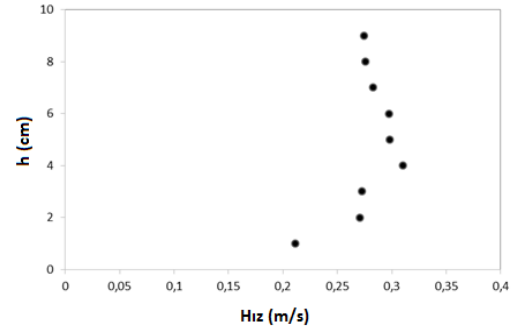
Akım Durumu	Akım Derinliği h (cm)	$V_{0,2h}$ (m/s)	$V_{0,8h}$ (m/s)	V_{ort} (m/s)	Q (lt/s)
Durum 1	38,0	0,131	0,127	0,129	14,73
Durum 2	11,6	0,272	0,274	0,273	9,50
Durum 3	9,0	0,277	0,298	0,288	7,77

3.2. Hidrolik Sıçrama Deney Sonuçları (Hydraulic Jump Test Results)

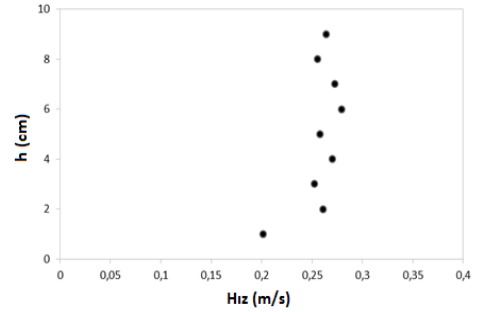
Bu çalışma kapsamında, Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı’nda 3 farklı akım durumu için kapak altı hidrolik sıçrama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 2 cm yüksekliğinde kapak açıklığından geçen su akımı açık kanal içerisinde hidrolik sıçramaya maruz kalmıştır. Hidrolik sıçrama oluşturmak için, cam kanalın sonunda bulunan kayar kapak ile mansap su derinliği



Şekil 16. ADVP ile alınan noktasal hız ölçümleri grafiği (Durum 1).



Şekil 17. ADVP ile alınan noktasal hız ölçümleri grafiği (Durum 2).



Şekil 18. ADVP ile alınan noktasal hız ölçümleri grafiği (Durum 3).

dikkatli bir şekilde ayarlanmıştır. Deneyler esnasında ölçümler yoluyla tespit edilen hidrolik sıçramaya ait temel parametreler Tablo 2’de verilmiştir.

Bu çalışmada göz önüne alınan 3 ayrı duruma ait hidrolik sıçrama sonrası oluşan su yüzeyi profillerine ait görüntüler Şekil 19-21’de görülmektedir. Burada, akım debisinin değişmesiyle birlikte hidrolik sıçramanın özelliklerinin değiştiği açıkça görülmektedir. Ayrıca, her 3 durumda tipik bir hidrolik sıçrama olayında gözlenen ani sıçrama, çevri hareketi, şiddetli türbülans, hava girişi, hava baloncuğu ve köpük oluşumu olayları gerçekleşmiştir.

Tablo 2. Laboratuvar deneylerinde ölçülen temel hidrolik sıçrama parametreleri.

Sembol	Parametre Tanımı
Y_1	Hidrolik sıçrama öncesi akım derinliği
Y_2	Hidrolik sıçrama sonrası akım derinliği
L_b	Hidrolik sıçramanın kapaktan itibaren başlangıç mesafesi
L_i	Hidrolik sıçrama uzunluğu

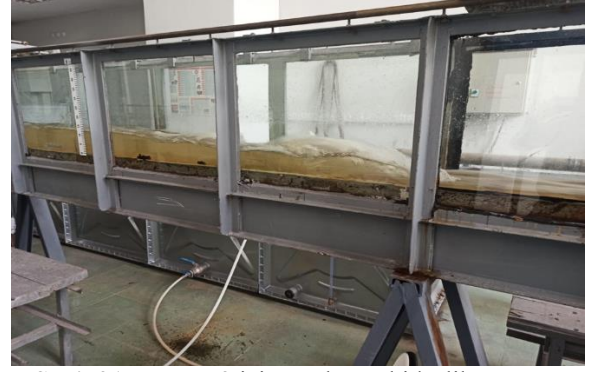
Deney başlangıcında kapak altından sel rejiminde ilerleyen su akımı bir müddet sonra oluşan hidrolik sıçrama sebebiyle nehir rejimine geçmiştir. Hidrolik sıçrama sebebiyle her 3 durum için sıçrama öncesi ve sonrasında akım hızlarında ve derinliklerinde gözle görünür şekilde değişimler meydana gelmiştir.



Şekil 19. Durum 1 için gözlenen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili görüntüsü.



Şekil 20. Durum 2 için gözlenen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili görüntüsü



Şekil 21. Durum 3 için gözlenen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili görüntüsü

Laboratuvar deneylerinde 3 farklı durum için elde edilen ölçüm sonuçları Tablo 3-5 üzerinde görülmektedir. Burada görüldüğü üzere, akım debisinin değişmesi ile hidrolik sıçramanın özellikleri de değişmektedir. Dolayısıyla, akım debisinin azalmasıyla hidrolik sıçrama öncesi ve sonrası akım derinlikleri (y_1 ve y_2), sıçrama başlangıç mesafesi (L_b), ve sıçrama uzunluğu (L_j) değerlerinin azaldığı hemen göze çarpmaktadır.

Tablo 3. Durum 1 için elde edilen deney sonuçları ($Q_1=14,73$ lt/s).

y_1 (cm)	2,4
y_2 (cm)	14,0
L_b (cm)	373,0
L_j (cm)	62,0

Tablo 4. Durum 2 için elde edilen deney sonuçları ($Q_2=9,50$ lt/s).

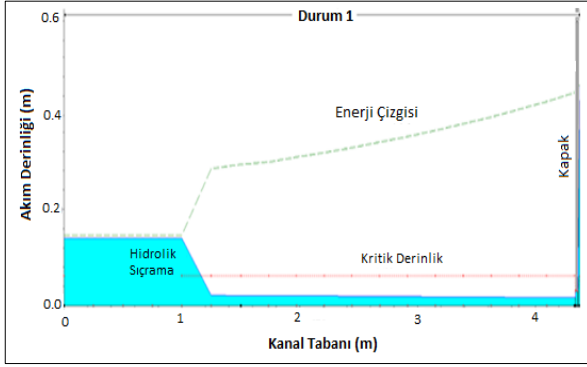
y_1 (cm)	1,7
y_2 (cm)	11,62
L_b (cm)	246,0
L_j (cm)	55,0

Tablo 5. Durum 3 için elde edilen deney sonuçları ($Q_3=7,77$ lt/s).

y_1 (cm)	1,4
y_2 (cm)	8,72
L_b (cm)	125,0
L_j (cm)	48,0

3.3. HEC-RAS ile Hidrolik Sıçrama Modelleme Sonuçları (Hydraulic Jump Modeling Results with HEC-RAS)

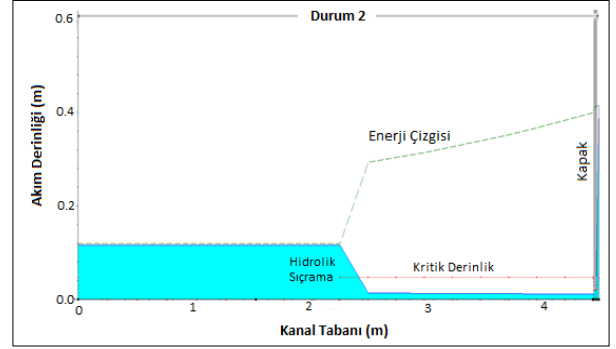
HEC-RAS ile elde edilen hidrolik model sonuçları 3 ayrı durum için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Hidrolik modellemede her bir durum için gerekli kararlı akım debisi olarak ADVP yardımıyla elde edilen debi değeri alınmıştır ($Q_1=14,73$ lt/s, $Q_2=9,50$ lt/s ve $Q_3=7,77$ lt/s). Burada ilk olarak, hidrolik sıçrama sonucu elde edilen su yüzeyi profilleri Şekil 22-24'de sunulmuştur (akış yönü sağdan sola doğrudur). Şekiller üzerinde akımın enerji çizgisi, kritik akım derinliği ile kapak ve hidrolik sıçramanın konumu gösterilmiştir. Burada, akımın debisi değiştiğinde su yüzeyi profillerindeki değişimler hemen fark edilmektedir. Hidrolik sıçrama öncesi kanal boyunca sürtünmeden dolayı enerjinin tedrici olarak, hidrolik sıçrama esnasında ise aniden azaldığı kolayca görülmektedir. Buradaki hidrolik modelleme sonuçlarının deneysel yolla elde edilen sonuçlarla benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlara benzer şekilde, akım debisi azaldıkça hidrolik sıçrama öncesi ve sonrası akım derinlikleri (y_1 ve y_2), sıçrama başlangıç mesafesi (L_b) ve sıçrama uzunluğu (L_j) değerleri azalmaktadır.



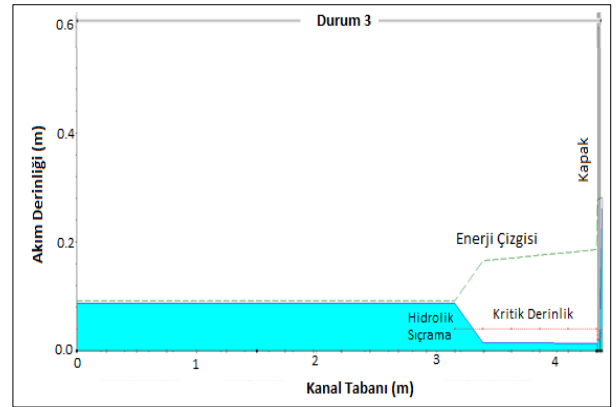
Şekil 22. Durum 1 için HEC-RAS ile elde edilen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili.

HEC-RAS ile elde edilen hidrolik modelleme sonuçları detaylı şekilde tablolarda sunulmuştur (Şekil 25-27). Burada, kanal kesit bilgileri (River Sta), kararlı akım debisi (Q Total), kanal kesiti su yüzeyi kotu (W.S. Elev), kritik su yüzeyi kotu (Crit W.S.), enerji çizgisi kotu (E.G. Elev), enerji çizgisi eğimi (E.G. Slope), ortalama akım hızı (Vel Chnl), akış alanı (Flow Area), üst genişlik (Top Width) ve Froude sayısı (Froude # Chl) değerleri verilmiştir. Ayrıca, hidrolik sıçramanın hangi kesitte başladığı

Froude sayısından anlaşılmaktadır (sıçrama öncesi 1.0'dan büyük olan Froude sayısı, sıçrama sonrası 1.0'dan küçük bir değer almaktadır). Hidrolik sıçramanın memba ve mansabında hız, akış alanı ve enerji çizgisi eğiminde meydana gelen ani değişim sayısal olarak burada görülmektedir.



Şekil 23. Durum 2 için HEC-RAS ile elde edilen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili.



Şekil 24. Durum 3 için HEC-RAS ile elde edilen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili.

Tablo 6. Deneysel ve HEC-RAS modeli ile elde edilen hidrolik sıçrama parametreleri

Akım Durumu	Yöntem	y_1 (cm)	y_2 (cm)	L_j (cm)	L_b (cm)
Durum 1	Deney	2,40	14,00	62,0	373,0
	HEC-RAS	2,16	14,00	58,0	309,0
Durum 2	Deney	1,70	11,62	55,0	246,0
	HEC-RAS	1,35	11,62	45,0	190,0
Durum 3	Deney	1,40	8,72	48,0	125,0
	HEC-RAS	1,50	8,72	44,0	105,0

Bu çalışmada göz önüne alınan her 3 durum için deneyler esnasında ölçülen ve HEC-RAS ile elde edilen hidrolik sıçrama parametreleri Tablo 6'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Burada, deneysel ve sayısal yöntemlerle elde edilen değerlerin genel olarak birbirine yakın olduğu anlaşılmaktadır. Hidrolik sıçrama öncesi akım derinlikleri arasında %7 ile %26 arasında değişen oranlarda fark bulunmaktadır. Hidrolik

sıçrama uzunlukları arasında yine buna benzer oranlarda fark olduğu tespit edilmiştir. Hidrolik sıçrama başlangıç mesafeleri arasında ise %20-%30 civarında fark olduğu anlaşılmaktadır.

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: acikkanal Reach: 1 Profile: PF 1												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	2	PF 1	0.01473	0.00	0.45635	0.06161	0.45694	0.000005	0.10762	0.13687	0.29992	0.0509
1	1.97											
1	1.9	PF 1	0.01473	0.00	0.01702	0.06161	0.44116	0.054863	2.88538	0.00511	0.29992	7.0595
1	1.86666*	PF 1	0.01473	0.00	0.01740	0.06161	0.42340	0.051163	2.82302	0.00522	0.29992	6.8319
1	1.83333*	PF 1	0.01473	0.00	0.01777	0.06161	0.40681	0.047793	2.76343	0.00533	0.29992	6.6167
1	1.8*	PF 1	0.01473	0.00	0.01815	0.06161	0.39135	0.044727	2.70660	0.00544	0.29992	6.4136
1	1.76666*	PF 1	0.01473	0.00	0.01852	0.06161	0.37693	0.041935	2.65242	0.00555	0.29992	6.2220
1	1.73333*	PF 1	0.01473	0.00	0.01888	0.06161	0.36345	0.039384	2.60068	0.00566	0.29992	6.0409
1	1.7*	PF 1	0.01473	0.00	0.01925	0.06161	0.35083	0.037048	2.55120	0.00577	0.29992	5.8693
1	1.66666*	PF 1	0.01473	0.00	0.01962	0.06161	0.33899	0.034904	2.50382	0.00588	0.29992	5.7065
1	1.63333*	PF 1	0.01473	0.00	0.01998	0.06161	0.32787	0.032931	2.45839	0.00599	0.29992	5.5519
1	1.6*	PF 1	0.01473	0.00	0.02034	0.06161	0.31740	0.031111	2.41478	0.00610	0.29992	5.4048
1	1.56666*	PF 1	0.01473	0.00	0.02070	0.06161	0.30754	0.029430	2.37286	0.00621	0.29992	5.2647
1	1.53333*	PF 1	0.01473	0.00	0.02106	0.06161	0.29823	0.027873	2.33253	0.00632	0.29992	5.1311
1	1.5	PF 1	0.01473	0.00	0.02126	0.06161	0.29313	0.027033	2.31010	0.00638	0.29992	5.0572
1	1.41666*	PF 1	0.01473	0.00	0.02164	0.06161	0.28403	0.025555	2.26945	0.00649	0.29992	4.9244
1	1.33333*	PF 1	0.01473	0.00	0.14001	0.06161	0.14628	0.000102	0.35077	0.04199	0.29992	0.2992
1	1.25*	PF 1	0.01473	0.00	0.13998		0.14626	0.000102	0.35084	0.04198	0.29992	0.2993
1	1.16666*	PF 1	0.01473	0.00	0.13996		0.14623	0.000102	0.35091	0.04198	0.29992	0.2994
1	1.08333*	PF 1	0.01473	0.00	0.13993		0.14620	0.000102	0.35098	0.04197	0.29992	0.2995
1	1	PF 1	0.01473	0.00	0.13990	0.06161	0.14618	0.000102	0.35105	0.04196	0.29992	0.2996

Şekil 25. Durum 1 için hidrolik sıçrama sonucu elde edilen akım karakteristikleri tablosu.

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: acikkanal Reach: 1 Profile: PF 1												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	2	PF 1	0.00950	0.00	0.41461	0.04677	0.41490	0.000002	0.07640	0.12435	0.29992	0.0379
1	1.97											
1	1.9	PF 1	0.00950	0.00	0.01148	0.04677	0.39929	0.051889	2.75904	0.00344	0.29992	8.2195
1	1.86666*	PF 1	0.00950	0.00	0.01174	0.04677	0.38247	0.048240	2.69759	0.00352	0.29992	7.9464
1	1.83333*	PF 1	0.00950	0.00	0.01200	0.04677	0.36681	0.044934	2.63904	0.00360	0.29992	7.6891
1	1.8*	PF 1	0.00950	0.00	0.01226	0.04677	0.35220	0.041930	2.58317	0.00368	0.29992	7.4462
1	1.76666*	PF 1	0.00950	0.00	0.01252	0.04677	0.33858	0.039197	2.52986	0.00376	0.29992	7.2169
1	1.73333*	PF 1	0.00950	0.00	0.01278	0.04677	0.32588	0.036715	2.47912	0.00383	0.29992	7.0009
1	1.7*	PF 1	0.00950	0.00	0.01303	0.04677	0.31404	0.034452	2.43073	0.00391	0.29992	6.7970
1	1.66666*	PF 1	0.00950	0.00	0.01328	0.04677	0.30295	0.032384	2.38453	0.00398	0.29992	6.6041
1	1.63333*	PF 1	0.00950	0.00	0.01353	0.04677	0.29257	0.030489	2.34035	0.00406	0.29992	6.4214
1	1.6*	PF 1	0.00950	0.00	0.11624	0.04677	0.12002	0.000045	0.27251	0.03486	0.29992	0.2551
1	1.56666*	PF 1	0.00950	0.00	0.11622		0.12001	0.000045	0.27253	0.03486	0.29992	0.2552
1	1.53333*	PF 1	0.00950	0.00	0.11621		0.12000	0.000045	0.27256	0.03485	0.29992	0.2552
1	1.5	PF 1	0.00950	0.00	0.11620		0.11999	0.000045	0.27259	0.03485	0.29992	0.2552
1	1.41666*	PF 1	0.00950	0.00	0.11619		0.11998	0.000045	0.27261	0.03485	0.29992	0.2553
1	1.33333*	PF 1	0.00950	0.00	0.11618		0.11996	0.000045	0.27264	0.03484	0.29992	0.2553
1	1.25*	PF 1	0.00950	0.00	0.11616		0.11995	0.000045	0.27267	0.03484	0.29992	0.2554
1	1.16666*	PF 1	0.00950	0.00	0.11615		0.11994	0.000045	0.27270	0.03484	0.29992	0.2554
1	1.08333*	PF 1	0.00950	0.00	0.11614		0.11993	0.000045	0.27273	0.03483	0.29992	0.2554
1	1	PF 1	0.00950	0.00	0.11613	0.04677	0.11992	0.000045	0.27276	0.03483	0.29992	0.2555

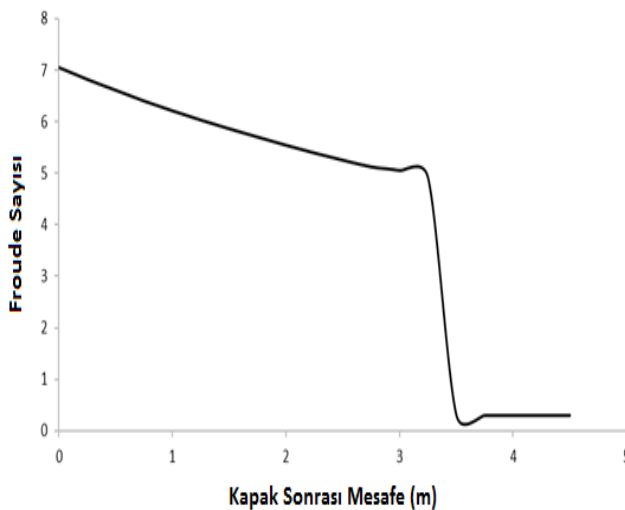
Şekil 26. Durum 2 için hidrolik sıçrama sonucu elde edilen akım karakteristikleri tablosu.

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: acikkanal Reach: 1 Profile: PF 1												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	2	PF 1	0.00777	0.00	0.28091	0.03974	0.28135	0.000005	0.09222	0.08425	0.29992	0.0555
	1.97		Culvert									
1	1.9	PF 1	0.00777	0.00	0.01408	0.03974	0.18645	0.028029	1.83938	0.00422	0.29992	4.9473
1	1.86666*	PF 1	0.00777	0.00	0.01433	0.03974	0.18081	0.026505	1.80770	0.00430	0.29992	4.8200
1	1.83333*	PF 1	0.00777	0.00	0.01458	0.03974	0.17550	0.025099	1.77733	0.00437	0.29992	4.6990
1	1.8*	PF 1	0.00777	0.00	0.01482	0.03974	0.17051	0.023800	1.74818	0.00444	0.29992	4.5839
1	1.76666*	PF 1	0.00777	0.00	0.01506	0.03974	0.16581	0.022597	1.72018	0.00452	0.29992	4.4742
1	1.73333*	PF 1	0.00777	0.00	0.08724	0.03974	0.09173	0.000105	0.29697	0.02616	0.29992	0.3209
1	1.7*	PF 1	0.00777	0.00	0.08721		0.09171	0.000105	0.29706	0.02616	0.29992	0.3211
1	1.66666*	PF 1	0.00777	0.00	0.08718		0.09168	0.000105	0.29715	0.02615	0.29992	0.3212
1	1.63333*	PF 1	0.00777	0.00	0.08716		0.09166	0.000105	0.29725	0.02614	0.29992	0.3214
1	1.6*	PF 1	0.00777	0.00	0.08713		0.09163	0.000105	0.29734	0.02613	0.29992	0.3215
1	1.56666*	PF 1	0.00777	0.00	0.08710		0.09161	0.000105	0.29744	0.02612	0.29992	0.3217
1	1.53333*	PF 1	0.00777	0.00	0.08707		0.09158	0.000106	0.29753	0.02611	0.29992	0.3219
1	1.5	PF 1	0.00777	0.00	0.08704		0.09156	0.000106	0.29763	0.02611	0.29992	0.3220
1	1.41666*	PF 1	0.00777	0.00	0.08701		0.09153	0.000106	0.29773	0.02610	0.29992	0.3222
1	1.33333*	PF 1	0.00777	0.00	0.08699		0.09150	0.000106	0.29783	0.02609	0.29992	0.3223
1	1.25*	PF 1	0.00777	0.00	0.08696		0.09148	0.000106	0.29793	0.02608	0.29992	0.3225
1	1.16666*	PF 1	0.00777	0.00	0.08693		0.09145	0.000106	0.29803	0.02607	0.29992	0.3227
1	1.08333*	PF 1	0.00777	0.00	0.08690		0.09142	0.000106	0.29813	0.02606	0.29992	0.3228
1	1	PF 1	0.00777	0.00	0.08687	0.03974	0.09140	0.000106	0.29823	0.02605	0.29992	0.3230

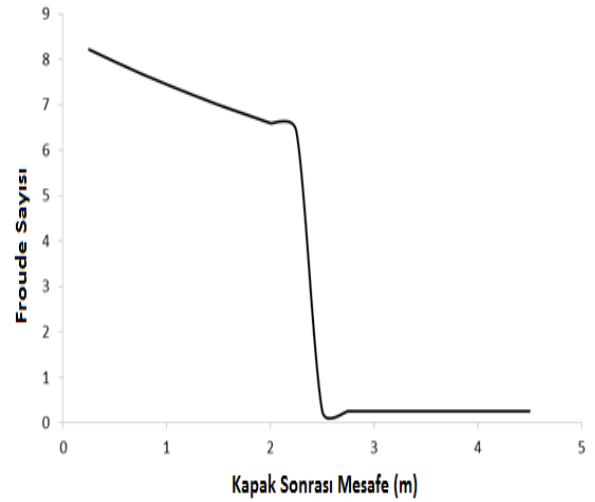
Şekil 27. Durum 3 için hidrolik sıçrama sonucu elde edilen akım karakteristikleri tablosu.

Bu bölümde son olarak, Şekil 28-30'da 3 ayrı akım durumu için HEC-RAS ile elde edilen Froude sayısının hidrolik sıçrama esnasında kanal boyunca değişimi verilmektedir. Burada görüldüğü gibi,

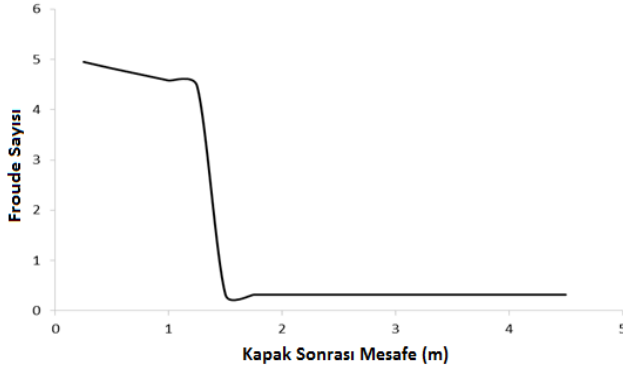
Froude sayısının kapak önünde nispeten büyük değerlere ulaştığı, kanal boyunca birlikte tedrici olarak azaldığı ve hidrolik sıçramanın meydana geldiği sırada ani bir şekilde düştüğü görülmektedir.



Şekil 28. Durum 1 için Froude sayısının hidrolik sıçrama esnasında kanal boyunca değişimi.



Şekil 29. Froude sayısının hidrolik sıçrama esnasında kanal boyunca değişimi.



Şekil 30. Durum 3 için Froude sayısının hidrolik sıçrama esnasında kanal boyunca değişimi

SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME (Results and Evaluation)

Bu çalışmada, kararlı akım şartları altında kanallarda oluşan kapak altı hidrolik sıçramanın özellikleri deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir. Deneysel çalışmalar için Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan açık kanal düzeneği kullanılmıştır. Sayısal modelleme için HEC-RAS programı kullanılmıştır.

Kapak altı hidrolik sıçrama deneylerinde açık kanalın baş kısmında yer alan kayar kapağın altında 2 cm açıklık bırakılmıştır. Bu şekilde, bu açıklıktan hızla ilerleyen su akımı açık kanal içerisinde hidrolik sıçramaya maruz kalmıştır. Hidrolik sıçrama oluşması için açık kanalın sonunda bulunan hareketli kapak ile mansap su seviyesi dikkatli bir şekilde ayarlanmıştır. Laboratuvar deneyleri esnasında ölçümler yoluyla belirlenen temel hidrolik sıçrama karakteristikleri (sıçrama öncesi ve sonrası akım derinlikleri, sıçrama uzunluğu ve sıçrama başlangıç mesafesi) daha sonra HEC-RAS programında hidrolik modelleme ile tahmin edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Hidrolik sıçrama deneyleri öncesinde, açık kanaldan geçen akım ortalama hızının ve debisinin belirlenmesi için ADVP kullanılmıştır. Akım debisi ölçümü çalışmalarını müteakiben farklı akım durumları için açık kanal içerisinde kapak altı hidrolik sıçrama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Göz önüne alınan farklı akım durumları için, tipik bir hidrolik sıçramaya ait temel özellikler (ani sıçrama, çevri hareketi, şiddetli türbülans, yüzeysel dalgalanma, hava girişi, hava baloncuğu,

köpüklenme gibi) gözlenmiştir. Kapak açıklığından kanal içerisine doğru sığ bir derinlikte hızla ilerleyen su akımı (sel rejiminde) belli bir mesafeden sonra hidrolik sıçrama sebebiyle derinliği artarak nispeten daha yavaş bir hızla (nehir rejiminde) akışına devam etmiştir. Farklı akım debilerinde gerçekleşen hidrolik sıçrama olaylarında, sıçramanın memba ve mansap yönünde akım hızlarında ve derinliklerinde gözle görünür şekilde değişimler ortaya çıkmıştır.

Laboratuvar çalışmaları ile elde edilen deneysel bulgular, HEC-RAS programında kararlı akım durumu için oluşturulan hidrolik modellerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Burada y_1 ve y_2 değerleri deney esnasında hassas olarak ölçülmüştür. Hidrolik sıçrama uzunluğu ise; deney sırasında akım halindeki suyun hidrolik sıçramadan dolayı köpürmesinin durulduğu noktalar arasındaki mesafe olarak hassasiyetle ölçülmüştür. Yapılan değerlendirmede, deney ve model sonuçları arasında bazı farklılıklar bulunmasına rağmen bunların genel olarak birbirine benzer olduğu görülmüştür. Hidrolik modelden tahmin edilen hidrolik sıçrama özelliklerinin (hidrolik sıçrama öncesi ve sonrası akım derinlikleri, sıçrama başlangıç mesafesi ve sıçrama uzunluğu) deneylerden elde edilen değerlere oldukça yakın olduğu anlaşılmıştır. Burada tespit edilen nispeten düşük orandaki farkların deney ölçüm şartlarına ve hidrolik modellemede kullanılan parametrelerdeki belirsizliklere bağlı olarak oluştuğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada kullanılan deney düzeneğinin nispeten küçük ölçekli olması (açık kanal boyutları ve maksimum akım debisi açısından) burada çalışılan konuyla ilgili daha geniş kapsamlı bir değerlendirme yapmayı kısıtlamaktadır. Dolayısıyla, bu konuyla ilgili ileri düzeyde deneysel çalışmalar için daha geniş ölçekli bir deney düzeneği ile farklı sayısal yöntemlerin beraber arada kullanılmasının faydalı olacağı tavsiye edilmektedir.

REFERENCES

- [1] Macián-Pérez, J.F.; Vallés-Morán, F.J.; Sánchez-Gómez, S.; De-Rossi-Estrada, M.; García-Bartual, R. (2020). Experimental characterization of the hydraulic jump profile and velocity distribution in a stilling basin

- physical model. *Water*, 12, 1758. <https://doi.org/10.3390/w12061758>.
- [2] Bohr, T., Ellegaard, C., Hansen, A. E., Haaning, A. (1996). Hydraulic jumps, flow separation and wave breaking: an experimental study. *Physica B: Condensed Matter*, 228(1-2), 1-10.
- [3] Zhou, J. G., Stansby, P. K. (1999). 2D shallow water flow model for the hydraulic jump. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 29(4), 375-387.
- [4] Gümüş, V., Aköz, M. S., Kırkgöz, M. S. (2013). Kapak mansabında batmış hidrolik sıçramanın deneysel ve sayısal modellenmesi. *Teknik Dergi*, 24(117).
- [5] Sathe, N. J., Surve, A. V., Hinge, G. A. (2018). Study of end weir using HEC-RAS of Gunjwani Dam Spillway. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 5(6), 1-6.
- [6] Şimşek, O., Aköz, M. S., Soydan, N. G. & Gümüş, V. (2018). Dolusavak mansabında oluşan hidrolik sıçramanın su yüzü profilinin belirlenmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3 (3), 31-37.
- [7] Hromadka II, T. V., Rao, P. (2019). Examination of computational precision versus modeling complexity for open channel flow with hydraulic jump. *Journal of Water Resource and Protection*, 11(10), 1233-1244.
- [8] Parmaksız, M. (2019). Serbest hidrolik sıçramanın deneysel ve sayısal modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- [9] Gümüş, V., Parmaksız, M., Şimşek, O., Avşaroğlu, Y. (2019). Farklı akım koşullarına sahip serbest hidrolik sıçramanın deneysel ve sayısal modellenmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2), 447-466.
- [10] Retsinis, E., Papanicolaou, P. (2020). Numerical and experimental study of classical hydraulic jump. *Water*, 12(6), 1766.
- [11] Şimşek, O., Kösen, M., Gümüş, V. (2021). Farklı batıklık oranlarına sahip batık hidrolik sıçramanın sayısal modellenmesi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 15 (2021) 427-441.
- [12] Ateş, H. (2022). Hidrolik sıçramanın deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- [13] DANESHFARAZ, R., ABBASZADEH, H., & AMİNVASH, E. (2022). Theoretical and Numerical Analysis of Applicability of Elliptical Cross-Section on Energy Dissipation of Hydraulic Jump. *Türk Hidrolik Dergisi*, 6(2), 22-35.
- [14] Abbaszadeh, H., Daneshfaraz, R., & Norouzi, R. (2023). Experimental Investigation of Hydraulic Jump Parameters in Sill Application Mode with Various Synthesis. *Journal of Hydraulic Structures*, 9(1), 18-42.
- [15] Vectrino II Tip ADVP -Vectrino II, Manuel, 2019.
- [16] Kırkgöz, S. (2013). Akışkanlar Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [17] French, R. (1985). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, Inc. New York, USA.
- [18] Silvester, R. (1964). Hydraulic jump in all shapes of horizontal channels. *Journal of the Hydraulics Division*, 90(1), 23-55.
- [19] HEC-RAS User's Manuel, 2020. https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS_6.0_UsersManual.pdf.

Basınç Yoğunluk Katsayısı

Pressure Density Coefficient

Sadık ALASHAN ^{(1)*}

⁽¹⁾ *Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 12000 Bingöl, Türkiye.*

Received date: **05.09.2023**; Accepted date: **19.10.2023**; Published date : **28.12.2023**

Turkish Journal of Hydraulic (Türk Hid. Der.), Vol (Cilt): 7 , Number (Sayı): 2, Page (Sayfa), 15-21, (2023)

e-ISSN: **2636-8382**

SLOI: <http://www.dergipark.org.tr>

*Correspondence e-mail: sadikalashan@bingol.edu.tr

Özet

Basınç hidrolik yapılar üzerinde yıkıcı veya yönlendirici etkilere sahiptir. Yıkıcı etkiler genellikle hareketsiz (ölü) basınç bölgelerinde meydana gelirken yönlendirici olanları genelde hareketli (canlı) akış bölgelerinde meydana gelir. Bir baraj yapısında, gövdeyle temasta olan suyun basıncı gövde üzerinde yıkıcı etkilere sahipken, dolusavak, dipsavak, enerji ve derivasyon tünellerinde yönlendirici etkilere sahiptir. Suyun hareketli olduğu bölgelerde, yatay ve düşey kesitler hidrolik yapının planı ile sağlıklı bir şekilde sağlanabilirse su istenilen alana basıncın etkisiyle kolayca yönlendirilebilir. Mevcut literatürde basıncın şiddeti (kN/m^2) ile alakalı hesaplamalar yapılmasına rağmen basıncın sürekliliği göz ardı edilmektedir. Bu durumun oluşmasında sonsuz hazne kapasitesi, haznede sabit su seviyesi ve belli bir en kesitte hızın sabit olması gibi kabuller son derece etkilidir. Bu çalışmada akışkanlar mekaniğinde kullanılan basınç kavramı incelenmiş ve basınç yoğunluk katsayısı öne sürülmüştür. Basınç yoğunluk katsayısının incelenmesinin, akışkanlarda basınç kavramının daha iyi anlaşılması ve su yapılarının daha sağlıklı planlaması için önemli bir adım olacağı tahmin edilmektedir. Bu çalışmada Amerika Birleşik Devletleri üzerinde inşa edilen birçok baraja ait basınç yoğunluk katsayısının yükseklik ile değişimi incelenmiştir. Elde edilen regresyon eğrisine göre söz konusu barajlar için basınç yoğunluk katsayısı ile baraj yükseklikleri arasında doğrusal olmayan (üssel) artan bir ilişki elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınç, Akışkanlar mekaniği, Basınç yoğunluğu, Basınç sürekliliği.

Abstract

Pressure has destructive or directing effects on hydraulic structures. Destructive effects usually occur in the still pressure zones, whereas directive effects usually occur in the moving (live) flow zones. For example, in a dam structure, the pressure of water in contact with a dam body has destructive effects on the dam body, while it has directing effects on a spillway, bottom outlet, and energy and derivation tunnels. In moving water areas, if the horizontal and vertical flows can be provided in accordance with the hydraulic structure's plan, the water can easily be directed to the desired area under pressure. In the current literature, although the calculations related to the pressure strength (kN/m^2) are made, the continuity of the pressure is ignored. In this case, assumptions such as infinite

reservoir capacity, the constant water level in the reservoir and constant velocity in a certain hydraulic section are quite effective. In this study, the concept of pressure used in fluid mechanics is examined and the concept of pressure density coefficient is proposed. It is estimated that examining the concept of pressure density coefficient will be an important step for a better understanding of the pressure in fluids and for beneficial planning of water structures. In this study, the relationship between pressure density coefficients and dam heights is investigated for some dams built in the United States. It is obtained a non-linear increasing relationship between the pressure density coefficients and dam heights.

Keywords: Pressure, Fluid mechanics, Pressure density, Continuity of pressure.

1. GİRİŞ (Introduction)

Kuvvet veya birim yüzeye gelen basınç terimi geçmişten günümüze kadar insanoğlunun zihnini sürekli meşgul etmiştir. Aristoteles, MÖ 4. yüzyılda hareket üzerinde yaptığı çalışmalarda hızın kuvvet ile doğru orantılı ve harekete direnç gösteren ortam ile ters orantılı olduğunu belirtmiştir [1], [2].

Arşimet'in (MÖ 3. yy), hamamda yıkanırken suya batma oranına göre suyun bedenine kuvvet uyguladığını fark etmesiyle, suyun taşıma gücünün bulunduğu ve hidrodinamiğin temellerinin buna dayandığı ifade edilmektedir [3]. Aristoteles'in çalışmaları üzerine yoğunlaşan İbn Sina zorunlu yönlendirme (kasr-ı meyl) yani doğal yönelmenin aksi (aşağıdan yukarı doğru) durumunda cismin aldığı potansiyelin gücün (kuvve) ağırlık (kütle)den doğan ve hız ile doğru orantılı olduğunu ifade etmiştir. Bu ifade günümüzde impuls (güç=kütle*hız) teriminin ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır [4], [5].

El-Cezeri (MS 12. yy) Diyarbakır'da Artuklu hükümdarının emrinde çalışırken suyun basıncını kullanarak çeşitli otomatik araçların tasarımını yapmıştır [6]. Torricelli (MS 17. yy) bir cam tüpe cıva doldurmuş ve bu cam tüpü cıva dolu bir kaba ters batırarak cam tüpteki cıva yüksekliğinden açık hava basıncını ölçmüştür. Pascal (MS 17. yy), kapalı bir kaptaki gazı uygulanan basıncın akışkan tarafından kabın tüm kenarlarına aynı şekilde iletildiğini belirlemiştir. Newton fiziğinin gelişmesi ile birlikte, Bernoulli (MS 18. yy) kapalı bir borunun içindeki basıncı ölçmeye çalışmış ve bu boruya pipet batırarak pipetteki su yüksekliği ile borudaki basıncın ilişkisini bulmuştur ve bu yöntem hastaların kan basıncının ölçümünde uzun yıllar kullanılmıştır [7].

Yerli literatürde akışkan basıncı, ani debi azalması durumunda meydana gelen su darbesinde, yüksek basınçlı türbinlere su ileten cebri borularda [8], [9],

isale iletim hatlarında [10]–[15], küresel valflerde [16],

havalandırma problemlerinde [17], yeraltı suları [18] ve deprem kuvvetlerinin oluşturduğu su dalgalarında incelenmektedir [19].

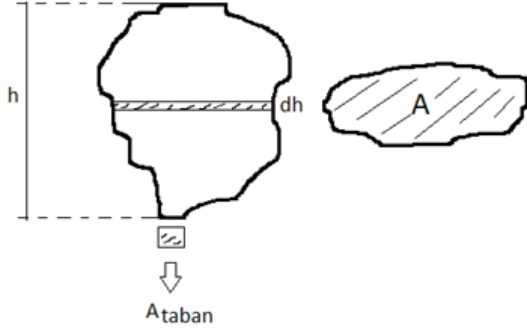
Söz konusu basınç tüm boru tesisatına zarar verebilmekte ve hatta ölümcül kazalara neden olabilmektedir. Ayrıca, baraj gövdesinin acil boşaltılması durumunda kullanılan dip savak yapısı da baraj yüksekliği dikkate alındığında çok fazla basınca maruz kalabilmektedir.

Tüm bu hidrolik elemanların tasarımında en önemli etken akışkanın basıncı veya daha doğrusu basınç şiddeti olarak varsayılır. Basınç şiddeti tasarlanan bir yapı elemanının dayanımını aştığı zaman yapının yıkılmasına neden olur. Yani basınç şiddeti bir olayın gerçekleşmesi veya gerçekleşmemesi ile alakalıdır. Meydana gelen olayın zamansal ve konumsal sürekliliği ile alakalı bilgi veremez. Bu çalışmada hidrolik bir yapı elemanında tahribat olması durumunda ortaya çıkacak tahribatın büyüklüğü ile alakalı fikir vermeye olanak sağlayacak basınç yoğunluk katsayısı kavramı öne sürülmüştür.

2. MATERIAL ve METOT (Material and Method)

Basınç kavramı kuvveti alanın büyüklüğünden bağımsız duruma getirmek için kullanılmaktadır. En basit tabiriyle birim alana gelen kuvvet olarak tanımlanabilmektedir. Akışkanların zayıf moleküler bağ yapısından dolayı, akışkan maddeler şeklini koruyamamaktadır. Güçlü moleküler bağlar katı cisimlerin basıncını sadece düşey yerçekimi yönünde iletmesine neden olurken zayıf moleküler bağlar akışkanların basıncını tüm yönde iletmesine neden

olmaktadır. Şekil 1 üzerinde serbest şekilli bir cisim bulunmaktadır.



Şekil 1. Serbest şekilli bir cisim (A free-form object)

Cismin toplam yüksekliği h ve cisim değişken en kesit alanlarına (A) sahiptir. Bu cisim katı bir cisim veya katı sınırla çevrili akışkan madde olarak düşünülebilir. Her iki durumda da serbest şekilli

cismin taban alanında (A_{taban}) basınç gerilmeleri ve dolayısıyla basınç kuvveti meydana gelecektir. Bu cisim, katı veya akışkan, aynı şekle ve özgül ağırlığa sahip olsa da (katıların özgül ağırlığı daha yüksek) cismin taban alanında farklı basınç kuvveti meydana getirecektir. Bu özellik basınç ile alakalı yeni bir kavrama ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Basınç yoğunluk katsayısı (bağıl) kavramını birim basınç kuvvetine karşılık gelen ağırlık kuvveti olarak tanımlarsak (Denklem 1), katılarda basınç yoğunluğu daima 1 olarak elde edilir (Denklem 2) ve akışkanlardaki basınç yoğunluğu $0 < \rho_p < \infty$ aralığında değerler alabilir (Denklem 3). Burada ρ_p akışkanın basınç yoğunluk katsayısını, F_G ağırlık kuvvetini, γ özgül ağırlığı, A_{ort} ortalama en kesit alanını, A_{taban} taban en kesit alanını ve F_p basınç kuvvetini temsil etmektedir.

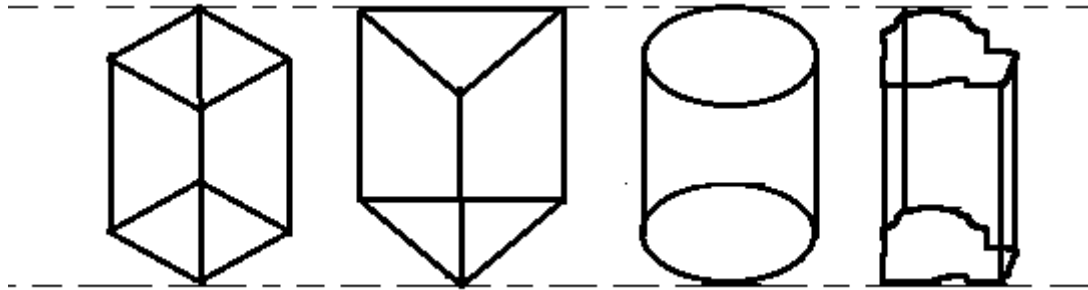
$$\rho_p = \frac{F_G}{F_p} \quad (1)$$

$$\rho_p = \frac{\gamma \cdot \int_0^h A \cdot dh}{\frac{\gamma \cdot \int_0^h A \cdot dh}{A_{taban}} \cdot A_{taban}} = 1 \rightarrow \text{katılar için} \quad (2)$$

$$\rho_p = \frac{\gamma \cdot \int_0^h A \cdot dh}{\gamma \cdot h \cdot A_{taban}} = \frac{\gamma \cdot h \cdot A_{ort}}{\gamma \cdot h \cdot A_{taban}} = \frac{A_{ort}}{A_{taban}} \rightarrow \text{akışkanlar için} \quad (3)$$

Özel hal olarak, taban alanı (A_{taban}) ve ortalama en kesit alanları (A_{ort}) birbirine eşit olan cisimlerde basınç yoğunluğu akışkan madde için katı maddeyle aynı (1) değeri vermektedir (Şekil 2, Denklem 4). Yani özgül ağırlık farklılığı göz önüne alınmadığında ortalama kesit alanı taban alanıyla aynı olan katı ve akışkan cisimler aynı basınç kuvvetini meydana getirir.

Ancak özgül ağırlık farklılığı dikkate alınmasa dahi cismin şeklinden (taban alanı ve ortalama kesit alanı farklı) dolayı akışkan ve katı maddeler aynı basınç kuvvetini meydana getirmeyebilir.



Şekil 2. En kesit alanı sabit; eğrisel, düzgün eğrisel ve doğrusal şekiller (The constant cross-sectional curvilinear, uniform curvilinear and linear shapes).

$$\rho_p = \frac{\text{ağırlık kuvveti}}{\text{basınç kuvveti}} = \frac{\gamma \cdot A_{\text{taban}} \cdot h}{\gamma \cdot h \cdot A_{\text{taban}}} = 1 \rightarrow \text{kati veya akışkan cisim} \quad (4)$$

Diğer özel bir hal olarak, farklı en kesit alanına sahip cisimlerin doğrusal en kesit değişimleri için taban alanları, basınçlı akımların tasarımında genellikle kullanılan, dairesel kesit olarak düşünülebilir (Şekil 3). Bu durumda katı cisimler için, basınç yoğunluğu yine 1 değerini verecektir. Akışkan cisimler için ise taban alanı tavan alanından küçük (büyük) olanlarda basınç yoğunluğunun 1' den büyük (küçük) olduğunu ifade edebiliriz. Bu durumu matematiksel olarak ifade edersek Denklem 5 elde edilebilir. Burada,

r_t taban yarıçapı, r tavan yarıçapı ve Δr taban yarıçapı ile tavan yarıçapı arasındaki değişimi ifade etmektedir. $\Delta r/r_t$ (θ) ifadesine taban yarıçapındaki değişim oranı dersek Denklem 6 elde edilebilir. Bu denklem taban yarıçapı değişim oranına (θ) göre basınç yoğunluk katsayısının değişim oranını vermektedir. Taban yarıçapı değişim oranı -1 ile ∞ aralığında değişebilir. Yani doğrusal değişen kesitler için taban alanı en fazla kendi kadar azalabilir ama teorik olarak sonsuza kadar artabilir.

$$\rho_p = \frac{\gamma \cdot h \cdot \left(\frac{A_{\text{taban}} + A_{\text{tavan}}}{2} \right)}{\gamma \cdot h \cdot A_{\text{taban}}} \quad \rho_p = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{A_{\text{tavan}}}{A_{\text{taban}}} \right) = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\pi \cdot r^2}{\pi \cdot r_t^2} \right) \quad \rho_p = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{(r_t + \Delta r)^2}{r_t^2} \right)$$

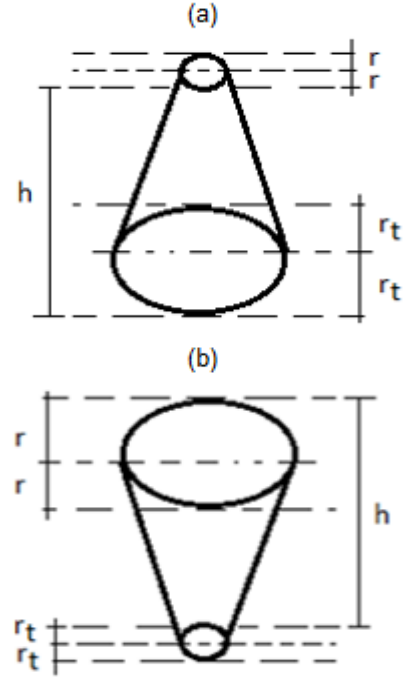
$$\rho_p = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{r_t^2 + 2r_t \Delta r + \Delta r^2}{r_t^2} \right) \quad \rho_p = \frac{1}{2} \left(1 + \left(1 + 2 \left(\frac{\Delta r}{r_t} \right) + \left(\frac{\Delta r}{r_t} \right)^2 \right) \right) \quad (5)$$

$$\rho_p = \frac{1}{2} (1 + (1 + \theta)^2) \quad (6)$$

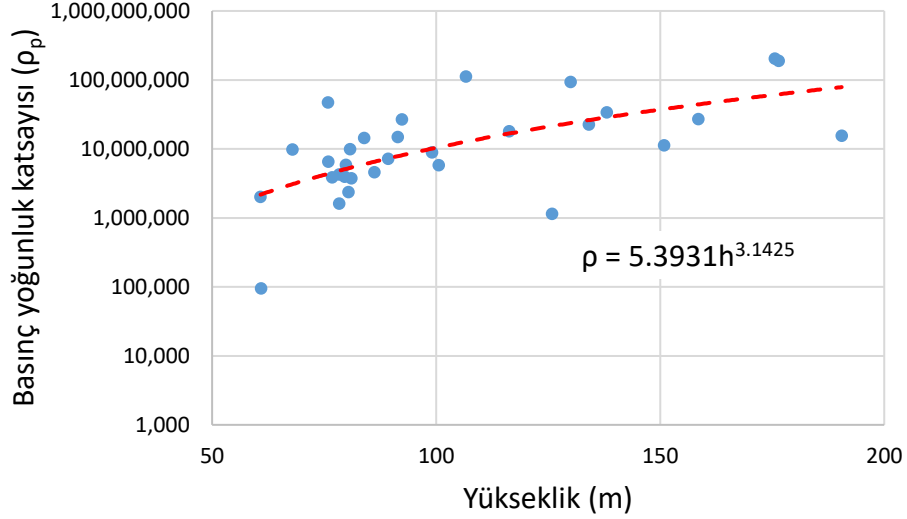
Taban yarıçapı değişim oranı (θ), doğrusal değişen dairesel en kesit alanları için, azalma durumunda basınç yoğunluk katsayısını en fazla 0.5 oranına kadar düşürürken (Şekil 4a) artma durumunda basınç yoğunluğunu teorik olarak sonsuza kadar arttırabilmektedir (Şekil 4b).

Basınç yoğunluk katsayısı ve yükseklik arasındaki ilişkiyi örneklendirmek için Amerika Birleşik Devletleri sınırları içinde inşa edilen yüksek barajlardan bazıları bu çalışmada incelenmiştir. Barajların rezervuar hacimleri ve yükseklikleri kullanılarak, birim taban alanı için basınç yoğunluk katsayısı değerleri elde edilmiştir. Bu barajların konumları Şekil 6 üzerinde görülmektedir.

Çalışmada incelenen barajların basınç yoğunluk katsayıları yaklaşık 9500 ile 203 milyon değerleri arasında değişmektedir (Şekil 5). Bu durum baraj rezervuarında bulunan akışkanın basınç yoğunluk katsayısının aynı durumdaki katılara göre özgül ağırlık farklılığı dikkate alınmadığında 9500 ile 203 milyon kat daha fazla olduğunu göstermektedir. Ayrıca çalışma bölgesi için basınç yoğunluk katsayısı, baraj yüksekliğinin üssü oranında değişmektedir.



Şekil 3. En kesit alanı doğrusal değişen cisimler a) artan b) azalan (Cross-sectional area linearly changing objects a) increasing b) decreasing).



Şekil 6. Çalışmada kullanılan barajlar için basınç (yoğunluk katsayısı-yükseklik ilişkisi (*Pressure density coefficient-height relationship for the dams used in the study*)).

3. SONUÇ ve ÖNERİLER (*Conclusions and Suggestions*)

Bu çalışmada akışkanlarda basınç kavramının daha iyi anlaşılması basınç yoğunluk katsayısı kavramı öne sürülmüştür. Basınç yoğunluk katsayısı katılar için her zaman için 1 değerini verse de akışkanlar için $0 < \rho_b < \infty$ aralığında değişmektedir. Basınç yoğunluk katsayısı basıncın şiddeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olmasa da basıncın sürekliliği üzerinde ciddi etkileri bulunmaktadır. Yani geniş rezervuar alanına sahip hidrolik yapılar düşük gövde yükseklik değeriyle düşük basınç değerine sahip olsa da yüksek basınç yoğunluk katsayısı değerine sahip olabilir. Literatürde kullanılan basınç (kuvvet/alan) kavramı basıncın şiddeti ile alakalı olup bir hidrolik yapı elemanının çökmemesi için gerekli dayanım değerini verir.

Bu dayanım değerine göre yapı elemanları seçilerek yapı tasarlanır. Ancak olası çökme durumunda oluşacak zararın boyutu ile alakalı herhangi bir öngörü verememektedir. Riskler her yapı elemanın montajında ve imalatında mutlaka belirli bir seviyede vardır. Bu riskleri tamamen sıfıra indirmek mümkün olmayacağı gibi çok küçük değerlere indirmek ciddi maliyet

sorunlarına yol açabilir. Bu bağlamda hangi hidrolik yapının veya elemanın, imalat ve montajında ne kadar hassasiyet gösterilmesi önceden belirlenmelidir. Basınç yoğunluk katsayısı değeri çökme durumunda oluşacak zararın boyutu ve dolayısıyla tasarlanan yapı elemanlarının imalatında ve montajında gösterilmesi gereken hassasiyet derecesi hakkında bir öngörü sağlayabilir.

KAYNAKLAR (*References*)

- [1] Topdemir, H. G., (2004) "Aristoteles'in Doğa-Fizik- Felsefesi," Felsefe Dünyası, no. 39, pp. 97–113.
- [2] Aristoteles, Fizik (2023), (Çeviren Saffet Babür), 10th ed. Yapı Kredi Yayınları.
- [3] Thomas, L. H., (2009), The works of archimedes: Edited in modern notation with introductory chapters.
- [4] Topdemir, H. G., (2010), "İbn Sînâ ve Yeni Mekaniğin Doğuşu," Bilim ve Teknik, pp. 88–91.
- [5] Sîna, İ., (2004), Kitâbu'ş-şifâ (Çeviren Muhittin Macit, Ferruh Özpilavcı). İstanbul: Litera Yayıncılık.

- [6] Al-Razzāz Al-Jazarī, I. (1974), “The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices.” pp. 51–57.
- [7] Bernoulli, D., (1738), “Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii,” Opus Acad. ab auctore, dum Petropoli ageret, Congest.
- [8] Kırkgöz, M. S., (2015), “Çatalan Hidroelektrik Santralında Teorik ve Deneysel Su Darbesi Analizi,” Teknik Dergi, vol. 14. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, p.
- [9] Bozkuş Z., Çalamak, M., (2015), “Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerde Su Darbesine Karşı Alınabilecek Önlemler,” Teknik Dergi, vol. 23. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, pp. 6187–6202.
- [10] Bozkuş, Z. (2015), “Çamlıdere - İvedik İsale Hattında Su Darbesi Analizleri,” Teknik Dergi, vol. 19. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, pp. 4409–4422.
- [11] Alashan, S., (2018), “Destekleyici Şebeke Tasarımı,” DÜMF Mühendislik Derg., vol. 9, no. 1, pp. 571–579.
- [12] Alashan, S., (2019), “İçme Suyu Şebekelerinde Hesap Debilerinin Ölü Noktalar Yöntemi ile Şematik Çözümü,” Su Kaynakları, vol. 4, no. 2, pp. 15–21.
- [13] Süme, V., Kerim, A., (2021), “İçmesuyu Şebekelerinden Enerji Elde Edilmesi; Boru İçi Türbin Modeli,” Türk Hidrolik Derg., vol. 5, no. 1, pp. 8–17.
- [14] Bor, A., (2021), “Denizli Buldan Barajı Sarıgöl Sulaması İsale Hattı Su Darbesi Analizleri,” Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Derg., vol. 23, no. 68, pp. 509–519.
- [15] Karakaya, D. , Toprak, Z. F., (2018), “İçme Suyu Şebekelerindeki Su Kayıplarının ZFT Algoritması Kullanılarak Sınıflandırılması,” Su Kaynakları, vol. 3, no. 2, pp. 22–30.
- [16] Gürsel T., Almış, Ç. , (2014), “Küresel Valflerde Su Darbesi Etkisinin İncelenmesi,” Mühendislik Bilim. ve Tasarım Derg., vol. 2, no. 2, pp. 91–101, Oct.
- [17] Ayata T., Yıldız, O. , (2006), “Investigating the potential use of natural ventilation in new building designs in Turkey,” Energy Build.
- [18] Şen, Z., (2008), “Yeraltı suyunun çatlaklı ortamdan gözenekli ortama değişken çaplı ve cidarı geçirimsiz kuyuya akışı,” Su Kaynakları, vol. 1, no. 1, pp. 39–55.
- [19] Demirel E., Aydın, İ., (2009), “Baraj Göllerinde Deprem Sırasında Oluşan Hidrodinamik Basınçların Sayısal Benzetimi,” vol. 22. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, pp. 35–43.

Flood Risk Analysis with Prevention Scenarios for Zeytinli Stream

Zeytinli Deresi için Önleme Senaryoları ile Taşkın Risk Analizi

Cahit Yerdelen⁽¹⁾, Uğur Engin⁽¹⁾, Ebru Eriş^(1*)

⁽¹⁾*Ege University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, 35100, İzmir*

Received date: **13.10.2023**; Accepted date: **28.12.2023**; Published date : **28.12.2023**

Turkish Journal of Hydraulic (Türk Hid. Der.), Vol (Cilt): **7** , Number (Sayı): **2**, Page (Sayfa), **22-29**, (2023)

e-ISSN: **2636-8382**

SLOI: <http://www.dergipark.org.tr>

*Correspondence e-mail: ebru.eriş@ege.edu.tr

Abstract

Floods are becoming a major problem in many countries because of natural and anthropogenic risks that occur in stream regions. Although the impact of floods cannot be completely eliminated, it is important to develop flood models to minimize them. In this study, one-dimensional hydraulic model was developed for the Zeytinli Stream located in the western part of Turkey using HEC-RAS software. Digital elevation model, stream network, flow paths, and cross-sections of the study region were produced with the help of 1/5000 scale maps on Geographical Information System (GIS) environment. Flood analyses were performed based on the flood discharges for different return periods (5, 10, 25, 50, 100, 500-year) and water surface profiles were obtained. The paper also proposed different prevention scenarios and accordingly repeated flood risk analysis. Changes in water surface elevations and flow areas of the stream were calculated. Based on the results obtained, various evaluations and suggestions were made for the region.

Keywords: Flood risk analysis, Flood prevention scenarios, HEC-RAS, Zeytinli stream.

Özet

Akarsu yakınlarında meydana gelen doğal ve antropojenik riskler nedeniyle taşkınlar birçok ülkede önemli bir sorun haline gelmektedir. Taşkınların olumsuz etkileri tamamen ortadan kaldırılamasa da taşkın modellerinin geliştirilmesi zararlarını en aza indirmek açısından önemlidir. Bu çalışmada, Türkiye'nin batısında yer alan Zeytinli Deresi için HEC-RAS yazılımı kullanılarak tek boyutlu bir hidrolik model geliştirilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında 1/5000 ölçekli haritalar yardımıyla çalışma bölgesinin sayısal yükseklik modeli, akarsu ağı, akış yolları ve kesitleri üretilmiştir. Farklı dönüş aralıklarına (5, 10, 25, 50, 100, 500 yıl) karşılık gelen akışlar için taşkın analizleri yapılmış ve su yüzeyi profilleri elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca farklı taşkın önleme senaryoları önerilmiş ve buna göre taşkın risk analizleri tekrarlanmıştır. Su yüzeyi yükseklikleri ve akış alanlarındaki değişimler hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara dayalı olarak bölge için çeşitli değerlendirmeler yapılmış ve taşkın önleme önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Taşkın risk analizi, Taşkın önleme senaryoları, HEC-RAS, Zeytinli deresi.

1. INTRODUCTION

Many people have been affected by meteorological, climatological, and hydrological natural disasters compared to earthquakes, volcanic activities etc. during the last quarter of the century over the World. In Turkey, according to a report by the Turkish State Meteorological Service (MGM with Turkish acronym) in 2018, 90% of the recorded large-scale disasters were the weather-related cases such as floods in the last 20 years (MGM, 2018) [1]. Floods are generally large-scale natural disasters that are expected to worsen due to global climate changes. Recently, many model-based studies have been conducted to determine the effects of floods and thus to reduce flood damage [2-9].

Many studies related to flood modelling and the development of flood dispersion maps for different parts of Turkey are also available in the literature. Akkaya and Doğan (2016) performed 2D flood modeling of the Meriç and Tunca Rivers that passes through Edirne city center and generated flood inundation maps [10]. Based on the study, it was recommended to perform solid material clearance operations particularly during dry seasons, because of the high solid material content carried along with the floods. Dag (2019) used the peak flood rate values at different return periods of years, the water profile along the Altıncay creek route in Antalya has been simulated using HEC-RAS software and the flood risk areas were determined on a station basis. As a result of the study, it was recommended to expand the channel widths. In the study by Celiker et al. (2020), peak flows for return periods of 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 and 1,000 years, flood water depths and inundation areas of Çapakçur, Gayt and Göynük streams passing through Bingöl Province center with the help of HEC-RAS [11]. They proposed reclamation structures such as check dams, grade control structures and afforestation to reduce flood damages. Ogras and Onen (2020) handled the floodplain analysis between Diyarbakır-Silvan Highway and historical Ten-Eyed Bridge and suggested decrease in the roughness coefficient and a tunnel for extracting flooding waters to prevent possible damages [12]. 1D and 2D flood dispersion maps will be established by HEC-RAS software for the Sakarya river in Geyve district of Sakarya Province, Turkey for 100 and 500 years of recurrence flow rates in the study by Ceribasi and Ceyhunlu (2020), [13]. They suggested mostly socio-economic methods to minimize the effect of floods, such as establishment of a flood early warning system, and commissioning of a flood insurance system. As seen from the aforementioned studies, the precautions to reduce flood damage depend on the environmental conditions of the region.

Therefore, the flood risk of the area under consideration should be thoroughly investigated and region-specific methods should be recommended, accordingly. Following the previous investigations, in this study, flood risk analysis is made for the Zeytinli Stream which is located in Edremit;

the north-western part of Turkey with the help of HEC-RAS software. Based on written sources, the lowland sections of the Zeytinli Stream have been used intensively in terms of human activities from 1443 BC to the present and continue to be used [14-15].

The agricultural lands previously covered a large area from the coast to the inland. However, these lands are now mostly occupied by summer residences for tourism purposes. Forest areas were destroyed, swamps were drained, and settlements expanded toward these areas. These types of land use put pressure on the natural environment of the region and cause various problems such as flooding (Fig 1). To prevent flooding problems, this study also includes the proposal of different flood prevention scenarios for the study area and comparison of the results.



Fig. 1. Floods in the study area [16].

2. STUDY AREA

Zeytinli Stream located in Edremit, Northeastern part of Turkey is selected for flood risk analysis in this study (Figure 2). The river flowing from northwest to southwest is 29.43 km long, and the drainage area of the basin is 119.46 km². The average elevation is approximately 784 m and the slope levels are between 6% and 8%. The highest point at 1710 m is Kırklar Hill. The total annual precipitation average is 723.5 mm in the Zeytinli Basin. There was an increase in precipitation values in the period between

November and February. The Zeytinli Stream flows throughout the year; there is no period when it is completely dry.

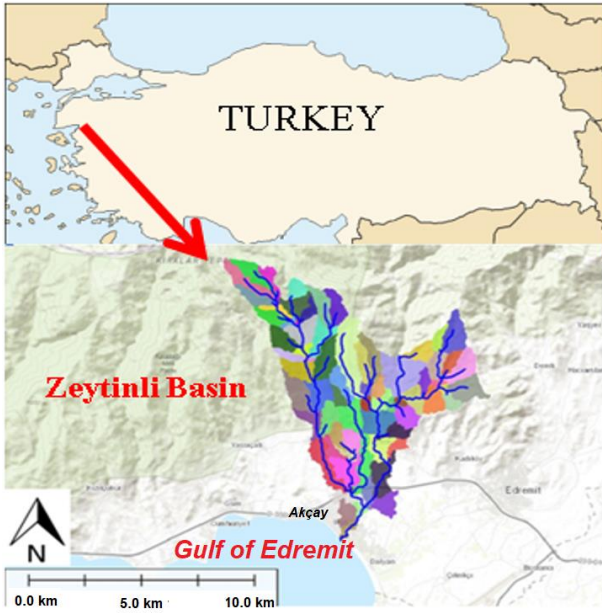


Fig. 2. Study area

The Zeytinli Stream was officially included in the scope of “Flood Water Law of Turkey” in 1958. According to the law, a total of 100 m of the coastline (50 m on each the right and left shores of the stream) from the thalweg line was a risky area.

The first reclamation work at the Zeytinli Stream started in 1963. During the flood that occurred in 1965, the water collected from the bed spilled out as a result of the rivers attached to the Zeytinli Stream, and the houses around were damaged. It was determined that the floodwalls around the sites in the region where the flood occurred were insufficient or even collapsed.

In the 10-year period since 1965, various floods occurred in the Zeytinli Stream. However, the planned and in situ tested reclamation works that were intended to be carried out were removed from the schedule because there was a lack of budget and technical staff. Akçay District, a developing touristic district, has been adversely affected by these disasters and has suffered economic damage.

In 1982, a masonry retaining wall was designed along the left shoreline of the stream to meet the Q100 recurrence flow (210 m³/s), in order to protect it from any flood. The parts where Zeytinli Stream flows into the Aegean Sea are used as State Hydraulics Works’ (DSI with Turkish acronym) reclamation channel and fishermen's shelter. Özşahin (2011) stated that there is severe erosion in the Zeytinli Stream basin every year and more than 10 tons of soil is lost annually. Reclamation works on Zeytinli Stream have progressed slowly until today.

The reason for this is that the zoning plans of the lands to be expropriated cannot be revised in accordance with the improvement project and the land prices increase in value every year [17].

3. METHODOLOGY

3.1. Flood Hydrology

The flood discharges used in the study were obtained from DSI. In order to find flood discharges for specific return periods, frequency analysis was performed for 5-, 10-, 25-, 50-, 100- and 500-year return periods using 26 years of data recorded between 1989 and 2014. Nine probability distributions including Normal, Log-Normal (2P), Log-Normal (3P), Gumbel, General Extreme Value, Pearson Type 3, Log-Pearson Type 3, Generalized Logistic and Log. Logistics (3P) were selected for frequency analysis. The compatibility check of distribution were subjected to both Anderson Darling and Kolmogorov–Smirnov tests at 5% significance. The most convenient probability distribution function was found as Generalized Logistic. The flood values calculated for different return periods using General Logistics distribution are presented in Table 1.

Table 1. Flood discharges calculated using Generalized Logistic distribution

Distribution Model	Flood discharge (m ³ /s) for different return periods (year)					
	5	10	25	50	100	500
Gen. Logistics	178.42	198.00	219.65	234.12	247.40	274.62

3.2. Hydraulic Model

A Digital Elevation Model (DEM) of the study area was generated using 1/5000 scale maps which were obtained from DSI. Two-dimensional (2D) contour maps were created and then converted into the three-dimensional (3D) format. The 3D contour map was prepared for obtaining the drainage network and processing of terrain data (Figure 3). Geometric data of the study area such as thalweg line, shorelines (right and left coast), flow paths, and river cross-sections required for the hydraulic model were then obtained.

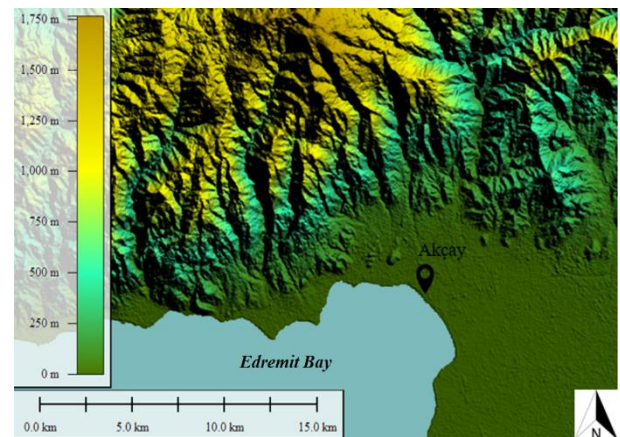


Fig. 3. DEM of the study area

The point where the Zeytinli Stream pours into the Aegean Sea is also the place where the flood model will be established. This area is restricted as at region where the settlements of the Akçay District are dense. For flood analysis, fifteen cross-sections were obtained from the stream bed, which is approximately 1600 m long. The cross-sections of the stream bed on the study area are shown in Figure 4 using the satellite image.

HEC-RAS is a graph-based, multitasking software developed to perform hydraulic calculation of flows in natural rivers. Open channels were then built. The software can calculate the water surface profile, sediment transport, moving base calculations, water quality analysis and many hydraulic structure calculations in steady and unsteady flows (USACE, 2016). The HEC-RAS software calculates water surface profiles for subcritical, supercritical and mixed regime flows. The calculation of the water surface profiles was performed using the standard step method for gradually varied flow. The standard step method is an implementation of the Bernoulli equation. The distance (Δx) between the two selected sections is usually taken at a standard length. If the standard steps are chosen sufficiently small by determining the geometric and physical properties of the cross-section at these determined distances, accurate results can be obtained in natural streambeds. The energy equation is defined as:

$$z_2 + Y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = z_1 + Y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

In Equation (1), z_1 and z_2 represent the bottom slope of the channel, Y_1 and Y_2 represent the depth in the cross-section, V_1 and V_2 are the average velocity (discharge/flow area), α_1 and α_2 denote the velocity coefficient, g is the acceleration due to gravity, and h_e represents the head loss. Head loss between back to back cross-sections (h_e) consists of friction loss and sudden changes in cross-section. Energy head loss is defined in the following equation:

$$h_e = LS_f + C \left| \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

In Equation (2), L is the length of the channel, S_f is the slope of the energy line between two cross-sections and C is the energy loss due to the change in the instant cross-section. The length of the channel, L , can be calculated using the following equation:

$$L = \frac{L_{lfp} Q_{lfp} + L_m Q_m + L_{rfp} Q_{rfp}}{Q_{lfp} + Q_m + Q_{rfp}} \quad (3)$$

L_{lfp} , L_m and L_{rfp} define the length of the flow path and correspond to the left floodplain, main floodplain and right floodplain length of the channel, respectively.

Q_{lfp} , Q_m and Q_{rfp} define average flow rates in the cross-section and correspond to the left floodplain, main floodplain and right floodplain flow rates, respectively.

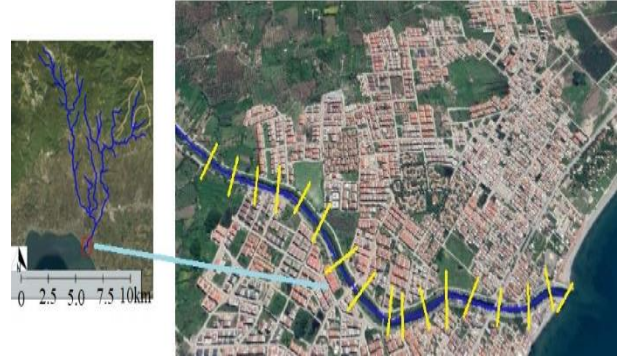


Fig. 4. Flow path and cross-sections

1D flow model of the study area was created using HEC-RAS software and the observed cross-sections were shown in Figure 5a. The main, right and left bed widths defined as 30 m in the hydraulic model, in which the natural flow bed was modelled before the reclamation works were started. One of the cross-sections taken on the model is shown in Figure 5b. The region between the red points in Figure 5b represents the main bed, and the areas to the left and right of the red points represent the left and right coast flow limits, respectively.

Because of its simple structure and easy applicability, the Manning formula is the most widely used formula in open channel studies [18]. The HEC-RAS software uses the Manning roughness coefficient when calculating head losses due to friction. The Manning coefficient changes with the roughness of the surface, vegetation, channel irregularity, channel curvature, accumulation in the channel, wear, obstacles and seasonal changes. The guide prepared by DSI was considered while determining the Manning roughness coefficient in the streambed of Zeytinli Stream, and the roughness value of n was determined as 0.030 [19]. Although the Zeytinli Stream starts from Mount Kaz, the part where the hydraulic model of the river is established is a distance of 1600 m from the place where it pours into the sea to the region where the urbanization level is high. Therefore, the bottom slopes of the streambed studied are low. The average bed slopes vary between 0.1% and 1% along the stream's flow route. The characteristics of the flow conditions are shown in Table 2.

Table 2. Zeytinli streamflow characteristics

Flow Regime	Subcritical
Flow conditions	Regular, Non-uniform and Gradually changing flow
Average bed slope	0.04704
Manning Coefficient	0.030
Cont.- Exp. Coefficient	0.1-0.3

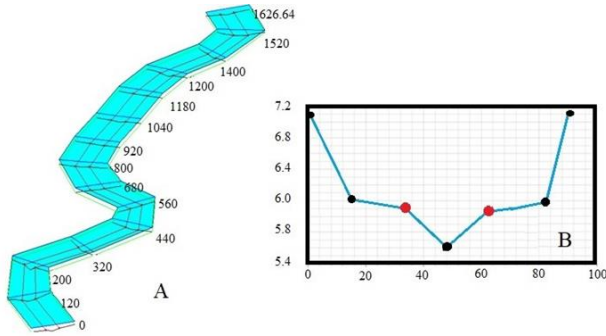


Fig. 5. (a) Observed cross-sections and (b) Natural streambed cross-section (200 m)

4. RESULTS

As of 2019, there is a gabion-style reclamation work on the right and left plain coast of Zeytinli Stream. It has been observed that rocks have been eroded, and vegetation has damaged the existing structure. The right and left coast plains are used as piers and ports for small and fishing boats. Considering the previous reclamation works, in situ measurements, and DEM created in the computer environment of the region, the typical cross-section of the stream is as seen in Figure 6.

The crest elevation of the stream (based on flood level, the wall built on edges of the stream, the top elevation of the ground or the raised ground) is 5.05 m above the thalweg line as shown in Figure 6. It has been reported that the reclamation works of the stream are carried out according to the peak flood for the 500-year return period [19]. The current water flow area is 48.77 m², and the channel cross-section is 137.20 m² (which is defined as control volume area). The water levels in the stream sections vary between 2.13 and 2.18 m.

The hydraulic model of the natural streambed before reclamation activities was observed in 15 cross-sections between 0 m (downstream) and 1626.64 m (upstream) in HEC-RAS software. Water surface profiles for various return periods (i.e. Q_5 , Q_{25} , Q_{50} , Q_{100} and Q_{500}) at the cross-sections along the study area and the path were calculated (Figure 7a). The water surface profiles of flows for different return periods obtained from the cross-section at 320 m of the riverbed are given in Figure 7b, as an example. Starting from the thalweg line of the streams, the elevations reached by the water surface profiles for various flows were determined.

As seen in Figure 7a, the thalweg elevation of the longitudinal section from 1280 to 1160 m increased from 8.65 to 8.82 m. The increase in the thalweg level caused a reverse slope. It was observed that the flow regime of the stream became subcritical; cross-sectional flow areas decreased, and flow velocities increased. The minimum slope values can be seen at cross-sections of 1140 and 680 m. Accordingly, the water surface profile in these sections showed the minimum changes in the longitudinal cross-section.

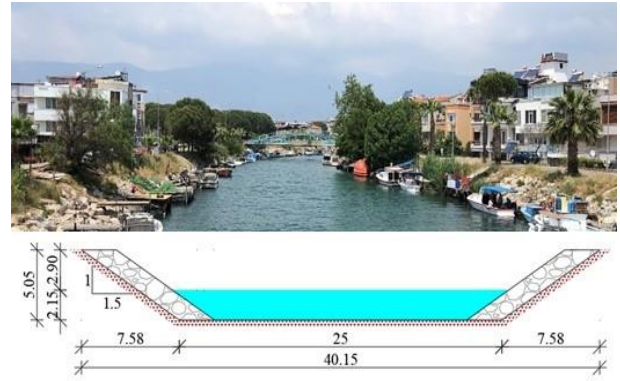


Fig. 6. Current situation of the Zeytinli Stream and typical cross-section of the stream

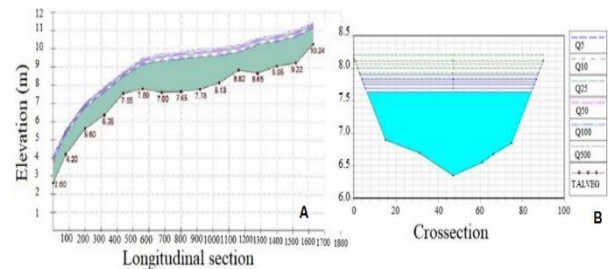


Fig. 7. Water surface profile for the longitudinal cross-section and water surface profiles on a typical cross-section (320 m)

The minimum energy losses in the streambed were seen in these parts. In the sections mostly seen subcritical regime, the flow velocity was low, cross-sectional flow areas were high and the Froude numbers were less than 1. Considering the typical cross-sectional area (137.20 m²; formed as a result of the reclamation works), it was determined that the cross-sections of 1140 and 680 m are the riskiest parts of the stream. There was a reverse slope again based on the increment of the thalweg elevation at cross-sections of 680 to 560. The flow velocities increased, and the cross-sectional areas decreased. Although the

slope of the energy line increased, energy losses were low.

It was observed that the flow regime reached critical and passed into the supercritical regime between the cross-section at 560 m and 440 m. The slope of the energy line increased, and the head losses were higher than those in the previous cross-section. Flow velocities increased, and accordingly, cross-sectional flow areas decreased. A subcritical flow regime was observed in the section at 320 m. Compared to the previous section, flow velocities decreased, cross-sectional flow areas increased, but not at a dangerous level. At the 200 m-section, the flow regime turned into supercritical. Flow velocities and the slope of energy line increased, and cross-sectional flow areas decreased. Critical regime conditions were observed from 200 m- to 80 m-sections. At the 0 m-section (downstream), the flow regime was observed to be subcritical. Based on the decrement in the flow

velocity, it was observed that cross-sectional flow areas increased but remained below the control volume (137.20 m²).

5. PREVENTION SCENARIOS

The flow regime was generally subcritical considering the study region along the stream path. Based on the distances between cross-sections and increase/decrease in the thalweg elevations, it was observed that the flow regime was critical in some cross-sections and passed into supercritical. The flow velocities were not excessively high at the cross-sections along the flow. The reason of low velocities at the cross-sections is that the natural streambed is suitable for the water to spread together with the increasing flow values for different return periods. Accordingly, Froude numbers were less than 1 at most cross-sections.

Table 3. Results of the analysis after reclamation (current situation and the first and second scenarios)

Section (m)	Current state				1 st scenario					2 nd scenario				
	Stream Crest Elevation (m)	Thalweg Elevation (m)	Water surface elevation (m)	Flow area (m ²)	Thalweg Elevation (m)	Water surface elevation (m)	Flow area (m ²)	Water surface elevation change (%)	Flow area change (%)	Thalweg Elevation (m)	Water surface elevation (m)	Flow area (m ²)	Water surface elevation change (%)	Flow area change (%)
1280	10.33	8.65	10.59	153.81	8.65	10.5	149.9	-0.85	-2.54	7.5	9.98	116.54	-5.76	-24.23
1160	10.45	8.82	10.19	116.17	8.35	10.22	121.08	0.29	4.23	7.3	9.66	97.78	-5.20	-15.83
1040	9.7	8.13	10.05	162.46	8.13	10.03	159.84	-0.20	-1.61	7.2	9.53	123.99	-5.17	-23.68
920	9.33	7.78	9.95	179.49	7.78	9.91	176.25	-0.40	-1.81	7.1	9.25	133.27	-7.04	-25.75
800	9.17	7.65	9.83	176.95	7.65	9.79	172.63	-0.41	-2.44	6.9	8.91	129.45	-9.36	-26.84
680	8.92	7.6	9.72	177.45	7.6	9.66	171.9	-0.62	-3.13	6.8	8.72	131.87	-10.29	-25.69
560	9.41	7.8	9.48	140.96	7.45	9.41	138.09	-0.74	-2.04	6.6	8.46	115.07	-10.76	-18.37
440	9.15	7.55	8.73	89.15	7	8.67	92.01	-0.69	3.21	6.4	8.37	78.55	-4.12	-11.89

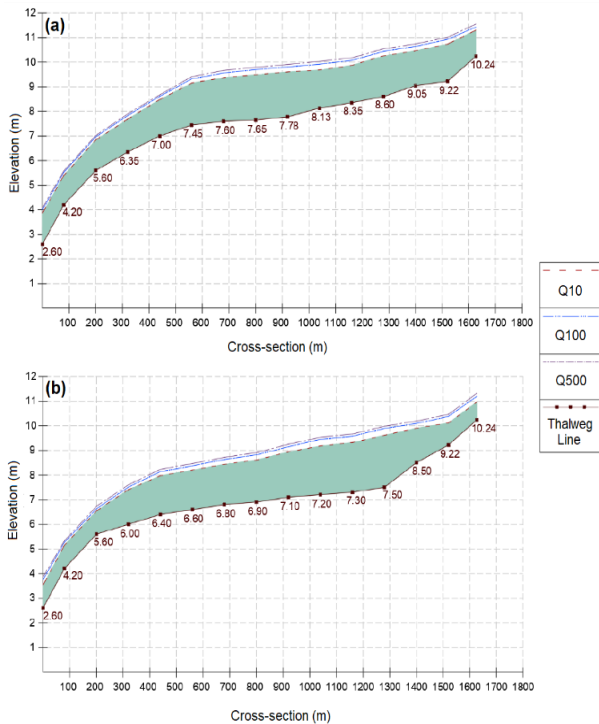
In this study, it was aimed to reduce the flow areas and flood water levels in the natural streambed by performing reclamation in the cross sections to have flood risk potential. Therefore, two different channel regulations were proposed. The streambed level was first lowered at the cross-sections between 1280 and 116 m and 680 m and 440 respectively, which have the reverse slopes (Figure 8a).

In the second case, the bottom elevation was reduced between the cross-sections of 1280–440 m (Figure 8b). The hydraulic models considering Q_{500} flow value were performed again, and the results

compared with those of the current situation (Table 3).

As a result of the bottom regulation studies for the risky cross-sections of the stream, the water surface elevations and flow areas mostly decreased in the first analysis, with the reduction of the reverse slope base elevations, but flood risk still existed in most sections. In the second regulation, an average of 1 m of excavation was proposed for the risky areas of the stream, and the hydraulic analysis was repeated. In Figure 9, the current state of the streambed and the changes in the water surface elevations and thalweg

line formed as a result of the reclamation works are shown. Surface profiles and stream crest lines are compared for the 500-year return period flow. As seen from Table 3, all water surface elevations and flow areas decreased for the second scenario.



On the other hand, a flood detention reservoir can be constructed on unoccupied and non-agricultural land in the region. With this solution, maximum flows can

Fig. 8. Longitudinal cross-section after the (a) first and (b) second reclamation

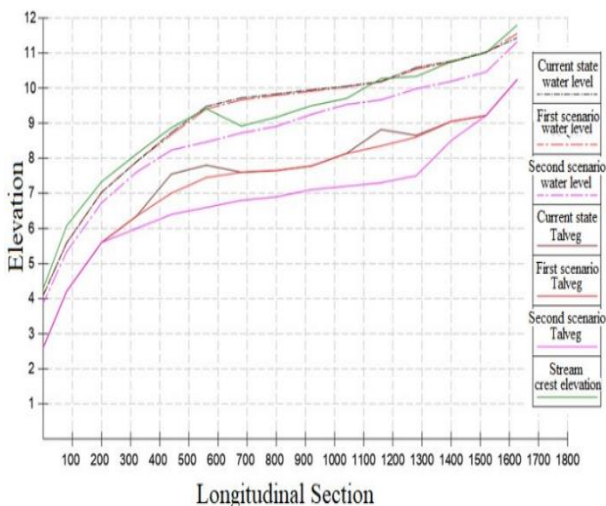


Fig. 9. Longitudinal cross-sections for the current situation and after reclamation (for Q_{500})

For this reason, it is difficult to regulate streamflow by constructing a flood channel. In addition, people in

be prevented from entering the stream channel directly, and flow in then downstream can be reduced. The soil volume extracted in the proposed solution is calculated as 29450 m^3 . In this context, the capacity of the flood detention reservoir to be built is determined to be 30000 m^3 . The detention reservoir can be designed with a depth of 1.5 m and a width of $100 \times 200 \text{ m}$ as shown in Figure 10. In addition, the flood detention reservoir can be used for agricultural purposes other than the flood season. As an alternative to the second scenario, a part of flood water may be transferred to the flood channel to mitigate flood damages. However, as mentioned before, settlements on the right and left coastlines of the region are dense.



Fig. 10. Location of the flood detention reservoir

the region use the right and left coasts of the stream as piers for fishing boats. A bank and/or floodwall structures to be constructed to prevent floodwater will adversely affect the pier usage and they are also economically disadvantageous. For these reasons, the reclamation activities that can be done in the city center are limited. In highly urbanized areas, it is more probable to access more data and use new methods in flood analysis. On the other hand, in rural areas where the population is sparse and/or increases and decreases seasonally, flood studies and precautions may be insufficient. Therefore, flood risk analyses for small settlements will serve as a guideline for new constructions and will enable urbanization to develop in a healthier way. The results obtained in this study can be developed and used as a generalized reclamation method for similar scale towns. Moreover, all flood reclamation works for both urban and rural areas should be region-specific [20-21].

References

- [1] MGM (Turkish State Meteorological Service) (2018), Meteorological Character of 2017 Natural Disasters Assessment, Research Department of Meteorological Disasters Branch Office, Ankara, 156p (in Turkish).
- [2] Dasallas, L., Kim, Y. and An, H. (2019), Case Study of HEC-RAS 1D–2D Coupling Simulation: 2002 Baeksan Flood Event in Korea, *Water*, 11 (10), 2048, <https://doi.org/10.3390/w11102048>.
- [3] Rangari, V.A., Umamahesh, N.V. and Bhatt, C.M. (2019), Assessment of inundation risk in urban floods using HEC RAS 2D, *Modeling Earth Systems and Environment*, 5, 1839 – 1851, <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00641-8>
- [4] Zelenáková, M., Fijko, R., Labant, S., Weiss, E., Markovič, G. and Weiss, R. (2019), Flood risk modelling of the Slatvinec stream in Kružlov village, Slovakia, *Journal of Cleaner Production*, 212 (6), 109-118, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.008>
- [5] Huțanu, E., Mișu-Pintilie, A., Urzica, A., Paveluc, L.E., Stoleriu, C.C. and Grozavu, A. (2020), Using 1D HEC-RAS Modeling and LiDAR Data to Improve Flood Hazard Maps Accuracy: A Case Study from Jijia Floodplain (NE Romania), *Water*, 12, 1624. <https://doi.org/10.3390/w12061624>
- [6] Ongdas, N., Akiyanova, F., Karakulov, Y., Muratbayeva, A. and Zinabdin, N. (2020), Application of HEC-RAS (2D) for Flood Hazard Maps Generation for Yesil (Ishim) River in Kazakhstan, *Water*, 12, 2672, <https://doi.org/10.3390/w12102672>.
- [7] Desalegn, H. and Mulu, A. (2021), Mapping flood inundation areas using GIS and HEC-RAS model at Fetam River, Upper Abbay Basin, Ethiopia, *Scientific African*, 12, e00834, <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00834>
- [8] Salman, A., Hassan, S.S., Khan, G.D. et al. (2021), HEC-RAS and GIS-based flood plain mapping: A case study of Narai Drain Peshawar, *Acta Geophysica*, 69, 1383–1393, <https://doi.org/10.1007/s11600-021-00615-4>
- [9] Tamiru, H. and Dinka, M.O. (2021), Application of ANN and HEC-RAS model for flood inundation mapping in lower Baro Akobo River Basin, Ethiopia, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 36, 100855, <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100855>
- [10] Akkaya, U. G. and Doğan, E. (2016), Generation of 2D flood inundation maps of Meriç and Tunca Rivers passing through Edirne city center, *Geofizika*, 33, 15-34, <https://doi.org/10.15233/gfz.2016.33.7>
- [11] Çelikler, M., Koçer, N., and Yıldız, O. (2020), Bingöl İl Merkezinde Taşkın Yayılım Alanlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ve HEC-RAS ile Belirlenmesi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(2), 354-365. <https://doi.org/10.21324/dacd.647877> (in Turkish)
- [12] Ogras, S. and Onen, F. (2020), Flood Analysis with HEC-RAS: A Case Study of Tigris River, *Advances in Civil Engineering*, 13, Article ID 6131982, <https://doi.org/10.1155/2020/6131982>.
- [13] Ceribasi, G. and Ceyhunlu, A.I. (2020), Generation of 1D and 2D flood maps of Sakarya river passing through Geyve district of Sakarya city in Turkey. *Natural Hazards*, 105, 631-642, <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04327-8>
- [14] Yetkin, G. (1947). *Edremit Tarihinden Yapraklar*. İstanbul: İstanbul Kâğıt ve Basım İşleri AŞ, 28s.
- [15] Durak, M. (2019), Edremit ve Zeytinli Çayı Havzalarının (Balıkesir) Ekolojik Koşullara Göre Arazi Kullanım Kabiliyet Sınıflandırması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü (in Turkish)
- [16] Url-1 (2023) <https://gazetemerhaba.com/edremit-zeytinli-cayi-tasti>
- [17] Özşahin, E. (2011), Erosion analysis of Zeytinli Creek basin (Balıkesir), *Nature Sciences*, 6, 42–56.
- [18] Chow, V.T. (1959), *Open Channel Hydraulic*, McGraw-Hill, New York.
- [19] DSI (Turkish State Hydraulics Works) (2015), *Roughness Coefficient Determination Guide for Stream Beds*, Ministry of Forest and Water Management of Turkey, Ankara (in Turkish).
- [20] Dag, I. (2019), *Flood Analysis Using Hec-Ras for Antakya Altıncay Creek*, MSc Thesis, Hatay Mustafa Kemal University (in Turkish).
- [21] USACE (United States Army Corps of Engineer) (2016), *Hydraulic Reference Manuel (Version 5.0)*, Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center, 609 Second Street, Davis, CA., 95616. USA.

