

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)

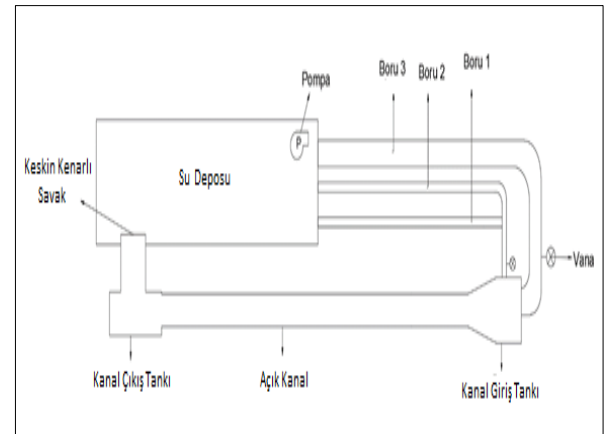
Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar için Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan açık kanal sistemi kullanılmıştır (Şekil 1-2). Burada görüldüğü gibi, açık kanalın tabanı ve yan duvarları cam olup genişliği 0,30 m, yüksekliği 0,5 m ve 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.



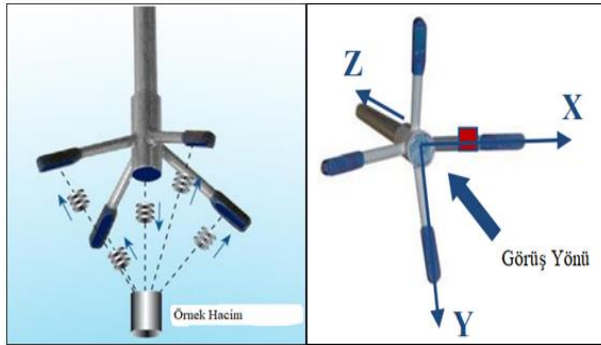
Şekil 1. Açık kanal sisteminin genel görünümü.



Şekil 2. Açık kanal sisteminin şematik plan görünümü.

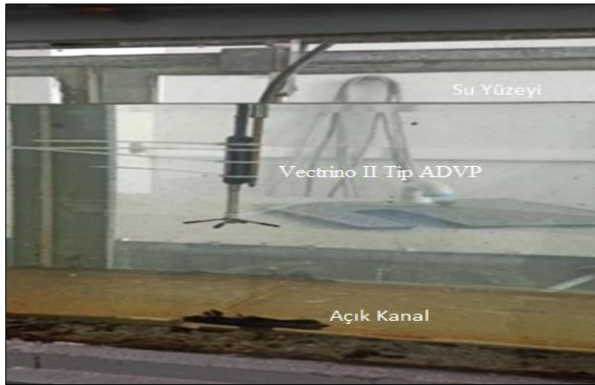
2.2. Akım Hızının Belirlenmesi (Determination of Current Velocity)

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].

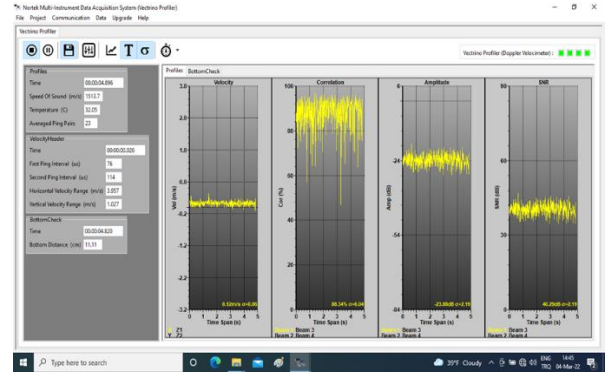
Bu çalışmada kullanılan ADVP'nin çalışma prensibine göre, merkez transdüörden kanal tabanına doğru bir sinyal iletilir ve bu sinyal sudaki küçük partiküllere çarpıp bir yansımayla ADVP'nin 4 ayağına frekans dalgası olarak geri döner (Şekil 4). Daha sonra, özel bir yazılım sayesinde akımla ilgili önemli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

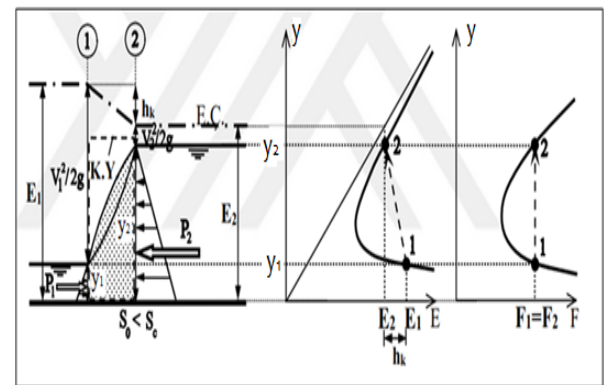
ADVP yardımıyla hız ölçümleri noktasal ve hücrel hız ölçümü şeklinde gerçekleştirilmektedir. Noktasal hız ölçümü için ADVP'nin bulunduğu konumdan 50 mm altında bulunan noktada hız ölçümü yapılır. Hücrel hız ölçümü için ise ADVP'nin bulunduğu konumdan 40 ve 70 mm arasındaki noktalardan 1, 2, 3 ve 4 mm 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.

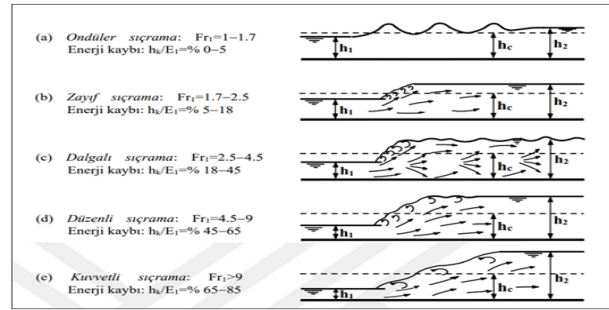
Dikdörtgen en kesitli kanallarda yüzeysel sıçrama esnasında oluşan enerji kaybı Eşitlik (3) ile tahmin edilmektedir [17].

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

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.



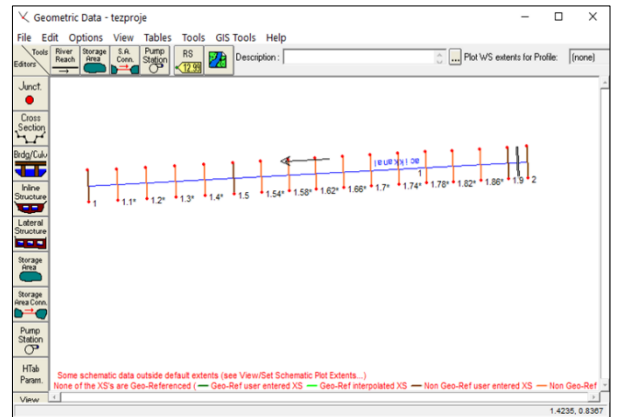
Şekil 9. Tipik bir hidrolik sıçrama olayı esnasında gözlenen türbülans.

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)

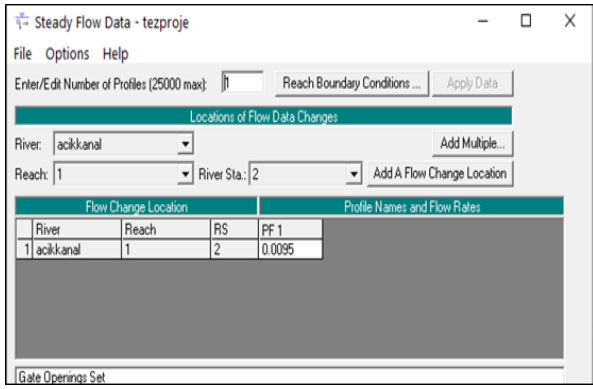
HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) bir veya iki boyutlu akımların hidrolik modellemesinde yaygın olarak kullanılan bir yazılımdır. HEC-RAS programı yardımıyla kararlı ve kararsız akımların su yüzeyi profili hesapları yapılmaktadır. Ayrıca, sınır şartları değişen akım durumlarında 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 yapılarla ait geometrik bilgiler tanımlanır. Şekil 10'da HEC-RAS geometrik veri giriş penceresi için örnek bir gösterim sunulmuştur.



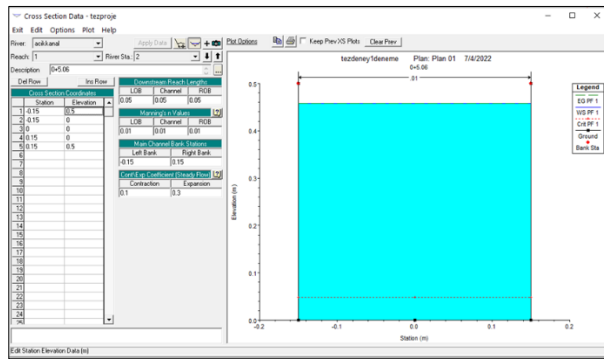
Şekil 10. HEC-RAS geometrik veri giriş penceresi için örnek bir gösterim

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 mambadan 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.

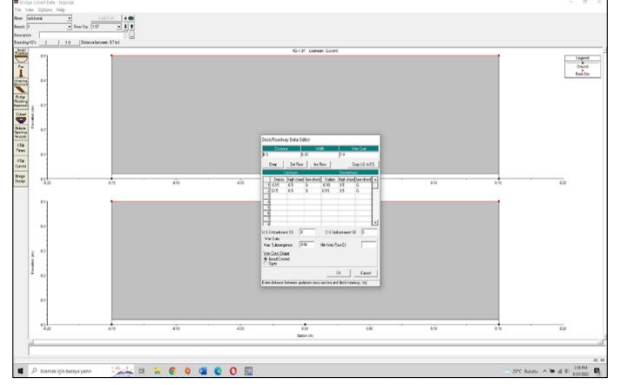


Şekil 11. HEC-RAS kararlı akım veri girişi penceresi.

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).

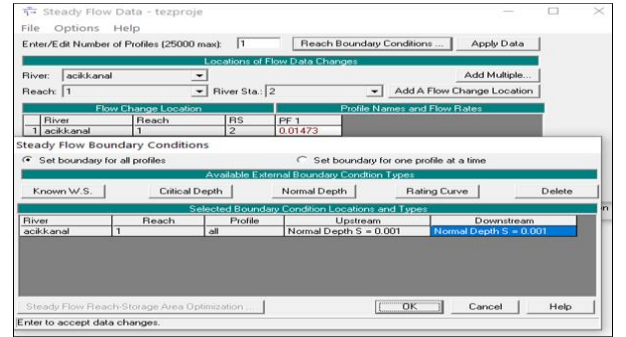


Şekil 12. Geometrik veri modülü ile kanal en kesitine ait bilgilerin tanımlanması.

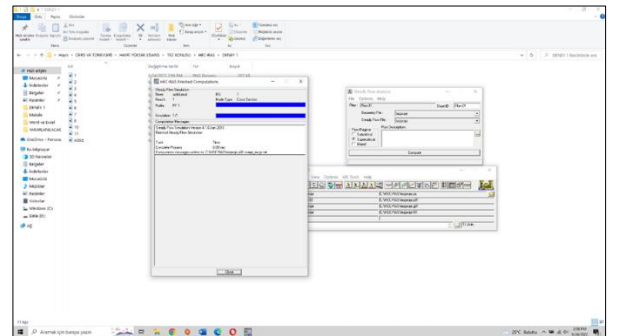


Şekil 13. Kayar kapağın bulunduğu konumda dikdörtgen en kesite sahip menfez tanımlanması.

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)

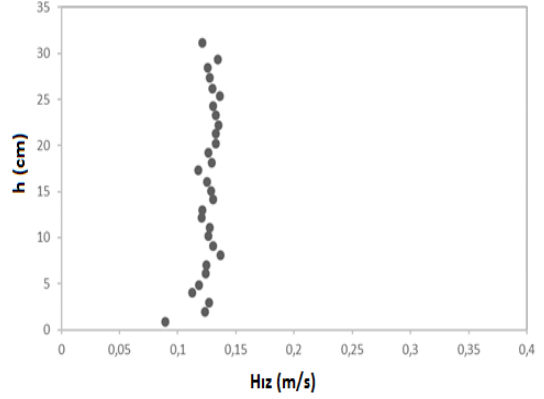
Açık kanal içerisinde belli bir noktaya sabitlenen ADVP ile akım içerisinde düşey yönde noktasal hız ölçümleri elde edilmiştir (Şekil 16-18). Burada 3 farklı akım derinliği için hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Burada görüldüğü gibi, akım derinliği azaldıkça ortalama akım hızı artmaktadır. 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.

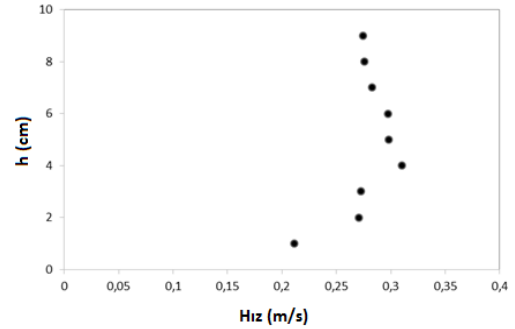
Akım Durumu	Akım Derinliği h (cm)	$V_{0,2h}$ (m/s)	$V_{0,8h}$ (m/s)	V_{ort} (m/s)	Q (lt/s)
Durum 1	38,0	0,131	0,127	0,129	14,73
Durum 2	11,6	0,272	0,274	0,273	9,50
Durum 3	9,0	0,277	0,298	0,288	7,77

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

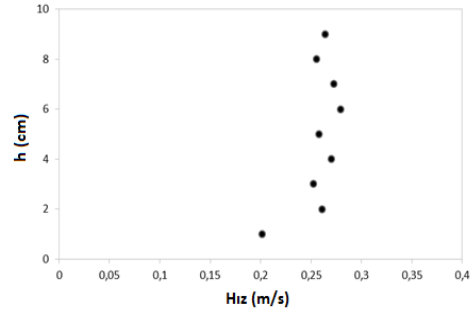
Bu çalışma kapsamında, Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı’nda 3 farklı akım durumu için kapak altı hidrolik sıçrama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 2 cm yüksekliğinde kapak açıklığından geçen su akımı açık kanal içerisinde hidrolik sıçramaya maruz kalmıştır. 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).

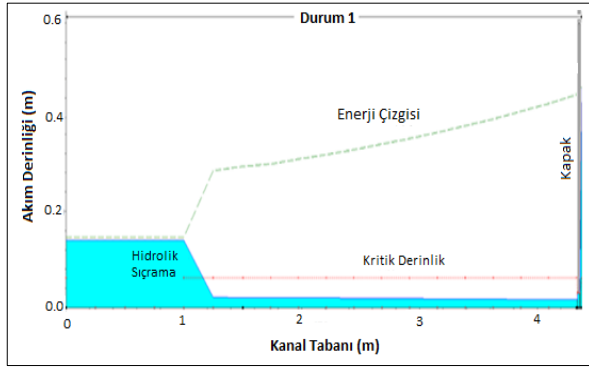
y_1 (cm)	1,7
y_2 (cm)	11,62
L_b (cm)	246,0
L_j (cm)	55,0

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)

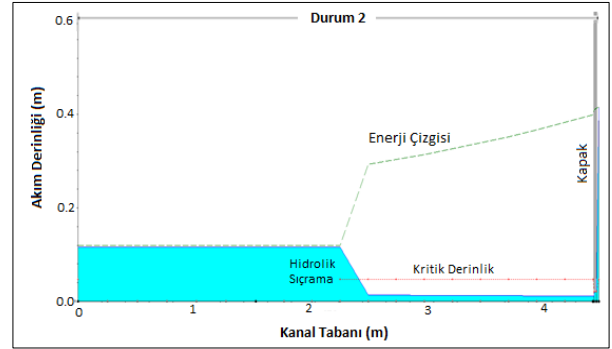
HEC-RAS ile elde edilen hidrolik model sonuçları 3 ayrı durum için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Hidrolik modellemede her bir durum için gerekli kararlı akım debisi olarak ADVP yardımıyla elde edilen debi değeri alınmıştır ($Q_1=14,73$ lt/s, $Q_2=9,50$ lt/s ve $Q_3=7,77$ lt/s). Burada ilk olarak, hidrolik 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 tedicri 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.



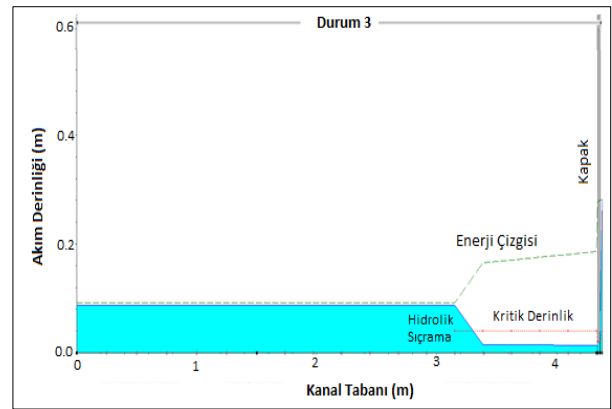
Şekil 22. Durum 1 için HEC-RAS ile elde edilen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili.

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

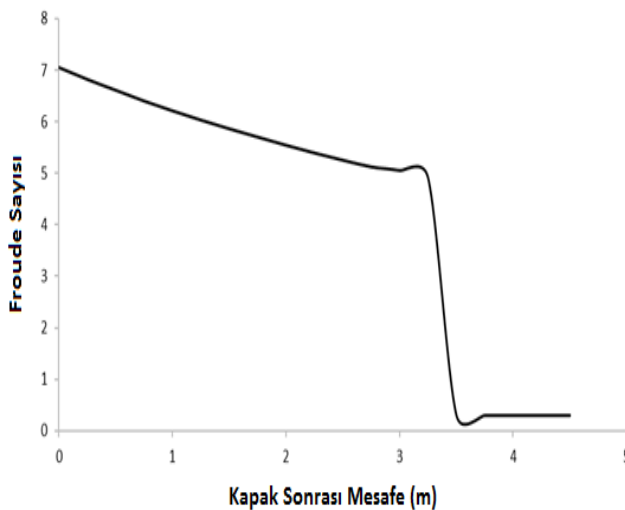
Şekil 26. Durum 2 için hidrolik sıçrama sonucu elde edilen akım karakteristikleri tablosu.

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

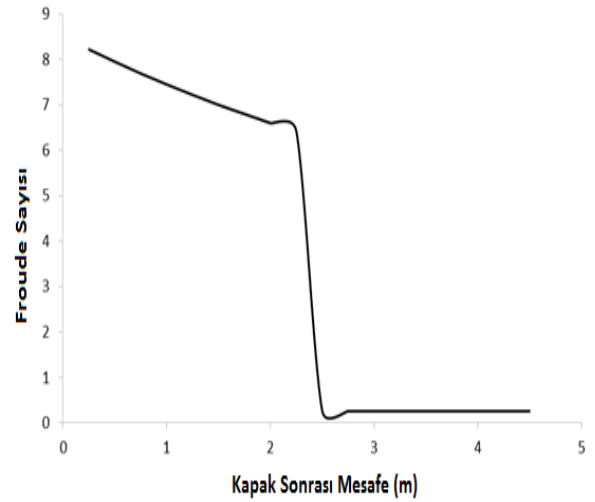
Şekil 27. Durum 3 için hidrolik sıçrama sonucu elde edilen akım karakteristikleri tablosu.

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,

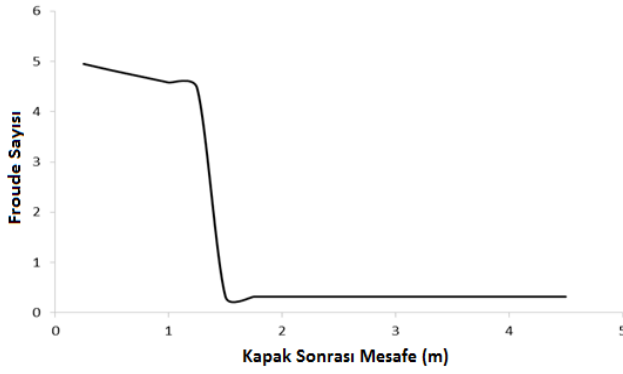
Froude sayısının kapak önünde nispeten büyük değerlere ulaştığı, kanal boyunca birlikte tedrici olarak azaldığı ve hidrolik sıçramanın meydana geldiği sırada ani bir şekilde düştüğü görülmektedir.



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.