



T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİDROLİK SIÇRAMANIN DENEYSEL VE SAYISAL
YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

HAYRİ ATEŞ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Osman YILDIZ

KIRIKKALE-2022



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HİDROLİK SIÇRAMANIN DENEYSEL VE SAYISAL
YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

HAYRİ ATEŞ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DANIŞMAN
PROF. DR. OSMAN YILDIZ**

KIRIKKALE-2022

Hayri ATEŞ tarafından hazırlanan “HİDROLİK SIÇRAMANIN DENEYSEL VE SAYISAL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Osman YILDIZ

İnşaat Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan: Prof. Dr. Kubilay CİHAN

İnşaat Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Doç. Dr. Emrah YALÇIN

İnşaat Mühendisliği, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

İmza.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 23/08/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hayri ATEŞ

23/08/2022

ÖZET

HİDROLİK SIÇRAMANIN DENEYSEL VE SAYISAL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

ATEŞ, Hayri

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Osman YILDIZ

Ağustos 2022, 41 sayfa

Açık kanallarda akımın sel rejiminden nehir rejimine geçişi hidrolik sıçrama yoluyla mümkün olmaktadır. Hidrolik sıçramadan genellikle enerji kırıncı olarak faydalanılmaktadır. Ayrıca, kanallarda veya akarsu yataklarında su seviyesinin yükseltilmesi, çevri hareketi etkisiyle suyun havalandırılması ve içerisindeki kimyasal maddelerin karıştırılması gibi çeşitli amaçlar için hidrolik sıçramadan yararlanılmaktadır. Hidrolik sıçramadan etkili bir şekilde fayda sağlamak için sıçrama özelliklerinin önceden iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak, araştırmacılar tarafından literatürde çeşitli deneysel ve sayısal analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında, açık kanallarda kapak altı hidrolik sıçramanın temel özellikleri deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir. Bu amacı gerçekleştirmek için Kırıkkale Üniversitesi'nde İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, deneylerde ölçüm yoluyla elde edilen bulgular HEC-RAS programı ile elde edilen hidrolik modelleme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirme neticesinde, deney ve model sonuçları arasında bazı farklılıklar olmasına rağmen bunların genel olarak birbirine benzer olduğu görülmüştür. Buna göre, HEC-RAS programı ile oluşturulan hidrolik modelin kapak altı hidrolik sıçrama için güvenilir tahminlerde bulunacağı anlaşılmıştır.

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

ABSTRACT

INVESTIGATION OF HYDRAULIC JUMP BY EXPERIMENTAL AND NUMERICAL METHODS

ATES, Hayri

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, MSc Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Osman YILDIZ

August 2022, 41 pages

In open channels, the transition of flow from supercritical regime to subcritical regime is possible by hydraulic jump. The hydraulic jump is generally used as an energy dissipator. In addition, it is used for various purposes such as raising the water level in canals or stream beds, aeration of the water with the effect of circulatory movement, and mixing of the chemical substances in the water. In order to benefit from hydraulic jump effectively, the characteristics of the jump must be well known in advance. For this purpose, various experimental and numerical analysis methods have been developed by researchers in the literature. In this thesis, the basic properties of hydraulic jump downstream of a sluice gate in open channels were investigated by experimental and numerical methods. To achieve this objective, a series of experimental studies were carried out in the Hydraulics Laboratory of the Civil Engineering Department at Kırıkkale University. Then, the results obtained by measurement in the experiments were compared with the hydraulic modeling results obtained with the HEC-RAS program. As a result of the evaluation, it was seen that although there were some differences between the experimental and model results, they were generally similar to each other. Accordingly, it is understood that reliable predictions can be obtained for the hydraulic jump downstream of a sluice gate with the model created in the HEC-RAS program.

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

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmamın yürütülmesi sırasında bana daima yön gösteren, destek ve emeklerini esirgemeyen, olumlu tavrıyla beni cesaretlendiren, bilgi birikimiyle çalışmama farklı açılardan bakmamı sağlayan, beraber çalışmaktan ve her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocam Prof. Dr. Osman YILDIZ'a sonsuz teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgileriyle ışık tutan, desteğini ve bilgisini benden esirgemeyen, yapıcı eleştirileri ile tezimin şekillenmesini sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Kubilay CİHAN'a şükranlarımı sunarım.

Akademik çalışmalarım esnasında kendi tecrübe ve bilgilerini benden esirgemeyen Arş. Gör. Ali DOĞU ve Arş. Gör. Akın DUVAN'a çok teşekkür ederim.

Tezimin tamamlanmasında yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Gaye AKTÜRK'e, Dr. Öğr. Üyesi Saruhan KARTAL'a, Doç. Dr. Özer SEVİM'e, Arş. Gör. Orhan Gazi ODACIOĞLU'na ve İnş. Yük. Müh. Ayşe Hazel HAFIZOĞLLARI'na teşekkür ederim.

Ayrıca, bu tez çalışmasında kullanılan açık kanalın Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne hibe edilmesinde önemli katkıları bulunan Gazi Üniversitesi emekli öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Nevzat YILDIRIM'a sonsuz teşekkürlerimi sunar, kendisine sağlık ve afiyetler dilerim.

Son olarak sadece bu çalışma döneminde değil, tüm hayatım boyunca yanımda olan, beni cesaretlendiren annem Şerife ATEŞ, babam Ertuğrul ATEŞ başta olmak üzere kardeşlerim ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Literatür Taraması.....	3
2. MATERYAL VE YÖNTEM	5
2.1. Açık Kanal Sistemi	5
2.2. Debi Hesap Yöntemleri.....	6
2.3. Hidrolik Sıçrama	11
2.4. HEC-RAS Programı.....	16
2.4.1. HEC-RAS Programı ile Kararlı Akım Modellemesi.....	17
2.4.2. HEC-RAS Programı ile Hidrolik Sıçramanın Modellemesi	18
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	22
3.1 Açık Kanalda Akım Debisinin Farklı Yöntemlerle Belirlenmesi.....	22
3.1.1 Hacimsel Yöntem ile Akım Debisinin Hesabı	22
3.1.2 Rehbock Denklemi ile Akım Debisinin Hesabı	23
3.1.3 ADVP ile Elde Edilen Hız Yardımıyla Akım Debisinin Hesabı	23
3.2. Hidrolik Sıçrama Deney Sonuçları.....	25
3.3 HEC-RAS ile Hidrolik Sıçrama Modelleme Sonuçları.....	29
4. SONUÇLAR VE DEĞERLENİRME	35
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Bir bağlama yapısının düşüm yatağında oluşan tipik bir hidrolik sıçrama olayının şematik görünümü.	2
2.1. Deneysel çalışma için kullanılan açık kanal sisteminin genel görünümü.	6
2.2. Deneysel çalışma için kullanılan açık kanal sisteminin şematik plan görünümü.	6
2.3. Hacimsel yöntemde debi hesabı için açık kanal içerisine yerleştirilen keskin kenarlı savak.	7
2.4. Açık kanalın sonundaki çıkış tankına monte edilen keskin kenarlı metal savak (genişliği 50 cm ve yüksekliği 29,5 cm).	8
2.5. Keskin kenarlı bir savak üzerinden geçen akımın şematik görünümü (Arvanaghi ve Oskuei, 2013).	8
2.6. Hız ölçümünde kullanılan Akustik Doppler Hız Profil cihazı (Vectrino II Tip ADVP -Vectrino II, Manuel, 2019).	10
2.7. Açık kanalda ADVP ile yapılan hız ölçümüne ait bir görüntü.	10
2.8. ADVP ile hız ölçümü esnasında elde edilen bir ekran görüntüsü.	11
2.9. Hidrolik sıçramada derinlik ile özgül enerjinin ve özgül kuvvetin değişimi (Kırkgöz, 2013).	12
2.10. Hidrolik sıçrama türleri ve yüzdesel olarak yaklaşık enerji kayıpları (Kırkgöz, 2013)	14
2.11. Laboratuvar ortamında gözlenen tipik bir hidrolik sıçrama olayı.	15
2.12. Bir hidrolik sıçrama olayı esansında oluşan türbülans hareketi.	15
2.13. HEC-RAS 4.1.0 sürümü ana penceresi.	16
2.14. HEC-RAS geometrik veri giriş penceresi için örnek bir gösterim.	17
2.15. HEC-RAS kararlı akım veri giriş penceresi.	18
2.16. Geometrik veri bölümünde kanal en kesitine ait bilgilerin girilmesi.	19
2.17. Kapağın bulunduğu konumda dikdörtgen en kesitli bir menfez tanımlama işlemi.	19
2.18. Geometrik veri bölümünde menfez verisinin girilmesi.	20
2.19. Kararlı akım verisinin ve sınır koşullarının tanımlanması.	20

2.20.	Kararlı akım analizi için model çalıştırma (koşturma) ekranı.....	21
2.21.	Kararlı akım analizi sonucunda belirlenen hata, uyarı ve notlar.....	21
3.1.	ADVP ile alınan noktasal hız ölçümleri grafiği (Durum 1).	24
3.2.	ADVP ile alınan noktasal hız ölçümleri grafiği (Durum 2).	24
3.3.	ADV ile alınan noktasal hız ölçümleri grafiği (Durum 3).	24
3.4.	Durum 1 için gözlenen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili görüntüsü.....	26
3.5.	Durum 2 için gözlenen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili görüntüsü.....	27
3.6.	Durum 3 için gözlenen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili görüntüsü.....	27
3.7.	Durum 1 için HEC-RAS ile elde edilen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili.	30
3.8.	Durum 2 için HEC-RAS ile elde edilen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili.	30
3.9.	Durum 3 için HEC-RAS ile elde edilen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili.	30
3.10.	Durum 1 için hidrolik sıçrama sonucu elde edilen akım karakteristikleri tablosu.....	31
3.11.	Durum 2 için hidrolik sıçrama sonucu elde edilen akım karakteristikleri tablosu.....	32
3.12.	Durum 3 için hidrolik sıçrama sonucu elde edilen akım karakteristikleri tablosu.....	32
3.13.	Durum 1 için Froude sayısının hidrolik sıçrama esnasında kanal boyunca değişimi.....	34
3.14.	Durum 2 için Froude sayısının hidrolik sıçrama esnasında kanal boyunca değişimi.....	34
3.15.	Durum 3 için Froude sayısının hidrolik sıçrama esnasında kanal boyunca değişimi.....	34

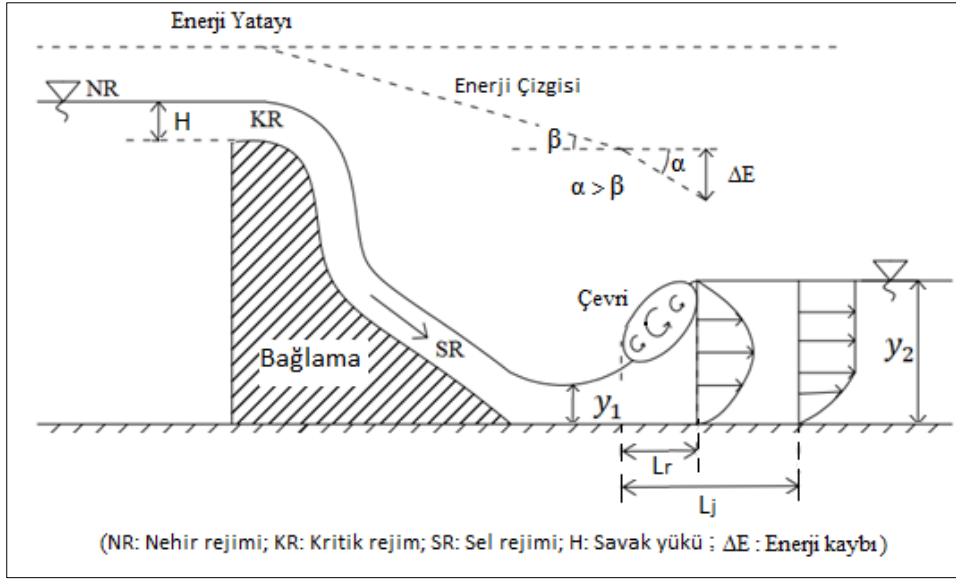
ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Hacimsel yöntem ile elde edilen akım debileri.....	22
3.2. Rehbock denklemi ile elde edilen akım debileri.....	23
3.3. ADVP ile elde edilen hız yardımıyla hesaplanan akım debileri.....	25
3.4. 3 ayrı yöntemle elde edilen debi değerleri.....	25
3.5. Laboratuvar deneylerinde ölçülen temel hidrolik sıçrama parametreleri.....	26
3.6. Durum 1 için elde edilen deney sonuçları (Q=14,73 lt/s).....	28
3.7. Durum 2 için elde edilen deney sonuçları (Q=9,50 lt/s).....	28
3.8. Durum 3 için elde edilen deney sonuçları (Q=7,77 lt/s).....	28
3.9. Deneysel yolla elde edilen ve ampirik bağıntı ile hesaplanan hidrolik sıçrama uzunlukları.....	29
3.10. Deneysel ve HEC-RAS modelleme yoluyla elde edilen hidrolik sıçrama parametreleri.....	33

1. GİRİŞ

Açık kanallarda, sel rejiminden nehir rejimine geçiş hidrolik sıçrama ile meydana gelmektedir. Hidrolik sıçrama esnasındaki akımın yapısı (durumu); ortama çok miktarda hava girişi, enerji kaybı, yüzey dalgaları ve saçılımlar ile oldukça şiddetli bir türbülanslı yapının gelişmesiyle karakterize edilebilir. Birçok pratik uygulamalarda hidrolik sıçramadan çeşitli şekillerde faydalanma yollarına gidilmektedir. Örneğin; i) savaklardan akan suyun enerjisini kırmak suretiyle akarsu tabanında meydana gelecek aşınmayı önlemede, ii) su alma yapılarında su teminini kolaylaştırmak için su seviyesini artırmada, iii) bir düşüm yatağında suyun basıncını artırarak alttan kaldırma etkisini azaltmada, iv) akım ölçüm istasyonlarında su seviyesini yükseltmede, v) atık suların arıtılması esnasında suyun havalandırılması ve kimyasal maddelerin karışımında hidrolik sıçrama olayından yararlanılmaktadır (French, 1985).

Az eğimli akarsu ve kanallardaki akım genellikle nehir rejimindedir. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi akarsu yatağına bir bağlama yapısı inşa edilirse sürtünmenin azalmasından dolayı bağlama gerisinde enerji seviyesi yükselir. Bunun etkisiyle yapının mansabındaki akım hızlanır ve sel rejiminde akmaya başlar. Burada hızın çok fazla olmasından dolayı enerjinin bir kısmı sürtünmenin artmasıyla azalır ve enerji çizgisi eğimi de böylece artar ($\alpha > \beta$). Düşüm yatağı üzerinde suyun kritik derinlik altındaki bir seviyeden (y_1) kritik derinlik üstündeki bir seviyeye (y_2) enerji kırılması eşliğinde (ΔE) aniden geçmesi olayına hidrolik sıçrama denir. Bu esnada su yüzeyi üzerinde çevri hareketi oluşur. Sıçramadan sonra su derinliğinin artmasıyla birlikte akımın enerjisi de artar ve enerji çizgisinin eğimi azalır. Çevri bölgesinin uzunluğu (L_r) sıçramanın topuğundan çevrinin bitimine olan mesafedir, yani serbest yüzeydeki hızın sıfır olduğu yerdir. Buna karşın sıçramanın topuğunda hız dağılımının üniform olduğu kesite kadar olan mesafe ise sıçrama uzunluğu (L_j) olarak adlandırılır, yani sıçrama uzunluğu su yüzeyinin artık yatay konuma ulaştığı mesafedir.



Şekil 1.1. Bir bağlama yapısının düşüm yatağında oluşan tipik bir hidrolik sıçrama olayının şematik görünümü.

1.1. Çalışmanın Amacı

Hidrolik sıçrama, akımın sel rejiminden nehir rejimine geçişini sağlayan ani bir sıçrama olayı olarak tanımlanır. Bu olay esnasında akış özelliklerine göre toplam enerjinin belirli bir yüzdesi kadar enerji kaybı meydana gelir. Bu sayede çoğu zaman akış halindeki suyun çevreye zarar vermesi engellenmiş olur. Yukarıda belirtildiği gibi çeşitli amaçlar için hidrolik sıçramadan faydalanma yoluna gidilir. Esasında hidrolik sıçramanın etkili bir enerji kırıcı olarak fonksiyon icra etmesi amaçlanır. Bu amaçla kullanılacak sistemin tasarımı aşamasında hidrolik sıçrama özelliklerinin iyi bilinmesi icap etmektedir. Bunun için, laboratuvar ortamında genellikle fiziksel modeller üzerinde deneysel incelemeler yapılması tercih edilir. Böylelikle, ölçümler yoluyla elde edilen veriler ışığında daha etkin tasarımların ve çözümlerin ortaya çıkması imkanı elde edilmiş olur. Buna alternatif olarak, sayısal yöntemler yardımıyla hidrolik sıçramanın modellenmesi gerçekleştirilir. Son yıllarda hem deneysel hem de sayısal yöntemleri birlikte kullanarak hidrolik sıçramanın özelliklerini inceleyen değişik çalışmalar ilgili literatürde yer almaktadır.

Bu tez çalışmasında, açık kanallarda kapak altı hidrolik sıçramanın özellikleri deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir. Bunun için, deneysel çalışmalar Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan açık kanal sisteminde gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, burada ölçüm yoluyla elde edilen

sonuçlar HEC-RAS programı ile elde edilen hidrolik modelleme sonuçları ile karşılaştırılmış ve değerlendirmelerde bulunulmuştur.

1.2. Literatür Taraması

Literatürde hidrolik sıçrama ile ilgili deneysel ve teorik nitelikte çok sayıda çalışma yer almaktadır. Son yıllarda gerçekleştirilen bazı çalışmaların özetleri burada sunulmuştur:

Bohr vd. (1996), su derinliğinin kontrol edilebilir olduğu bir ortamda dairesel hidrolik sıçramalara ait deneysel verileri açıkladıktan sonra Navier-Stokes denklemleri yardımıyla sayısal modelleme ile elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. Zhou ve Stansby (1999), laboratuvar ortamında farklı akım koşullarında oluşturulan hidrolik sıçramaları diferansiyel denklemler yardımıyla bir, iki ve üç boyutlu olarak modelledikten sonra burada elde edilen sonuçları benzer çalışma sonuçları ile karşılaştırmıştır. Gümüş vd. (2013), farklı Froude sayıları için batmış hidrolik sıçramalara ait su yüzü profillerini deneysel ve sayısal yöntemler yardımıyla belirlemiştir. Xiang vd. (2014), hidrolik sıçrama ve bu esnada hava baloncukları sürüklenmesi ve kabarcık dağılımlarını sayısal olarak modellemiştir. Abdel-Mageed vd. (2015), laboratuvar ortamında kanal eğiminin hidrolik sıçrama özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Kim vd. (2015), farklı savak tiplerine göre oluşturulan hidrolik sıramalarda oluşan enerji kaybını incelemiştir. şimşek vd. (2018), bir dolu savak mansabında oluşan hidrolik sıçramaya ait su yüzeyi profillerini farklı akım ve yapı koşulları için deneysel ve sayısal olarak araştırmıştır. Sathe vd. (2018), farklı akım koşullarında bir barajın dolu savağında meydana gelen hidrolik sıçramaları deneysel olarak incelemiş ve daha sonra HEC-RAS programı ile modelleyerek sonuçları karşılaştırmıştır. Hromadka ve Rao (2019), farklı sayısal modeller kullanarak hidrolik sıçrama özelliklerinin tahmin edilmesinde, HEC-RAS programı ile elde edilen sonuçların diğer model sonuçlarıyla karşılaştırılabilir olduğunu göstermiştir. Parmaksız (2019), laboratuvar ortamında farklı akım koşullarında hidrolik sıçrama deneyleri gerçekleştirdikten sonra burada gözlenen sonuçları sayısal yöntemlerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır. Gümüş vd. (2019), farklı akım koşullarında meydana gelen hidrolik sıçramayı deneysel olarak inceledikten sonra sonlu hacimler ve akışkan hacimler yöntemiyle sayısal olarak modellemiştir. Altalib vd. (2019), laboratuvarda fiziksel bir model ile basamaklı savak mansabında hidrolik sıçrama

oluşumu ve özelliklerini incelemiştir. Retsiniz ve Papanicolau (2020), dikdörtgen en kesitli bir açık kanalda tipik bir hidrolik sıçramayı sayısal olarak modelleyerek elde edilen sonuçları farklı Froude sayıları için yapılan deney sonuçları ile mukayese etmiştir. Macián-Pérez vd. (2020), laboratuvar ortamında fiziksel bir model kullanarak tipik bir USBR II enerji kırıcı havuzundaki hidrolik sıçramanın özelliklerini incelemiştir. Şimşek vd. (2021), farklı akım durumlarında kayar kapak mansabında oluşan batmış hidrolik sıçramanın sayısal modellemesini gerçekleştirmiştir. Bai vd. (2022), bitki örtüsünün hidrolik sıçrama üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla kısmen bitki ile kaplı bir yatak üzerinde hidrolik sıçrama deneyleri yapmıştır.



2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde ilk olarak, hidrolik sıçrama deneylerinin yapıldığı açık kanal sistemi anlatıldıktan sonra bu çalışmada kullanılan 3 ayrı debi hesap yönteminden bahsedilmiştir. Daha sonra, hidrolik sıçramanın oluşumu ve özellikleri hakkında ilgili literatürden faydalanarak teorik açıklamalar yapılmıştır. Son olarak, hidrolik sıçrama olayının sayısal yolla incelenmesi amacıyla hidrolik modelleme için kullanılan HEC-RAS programı hakkında gerekli bilgiler sunulmuştur.

2.1. Açık Kanal Sistemi

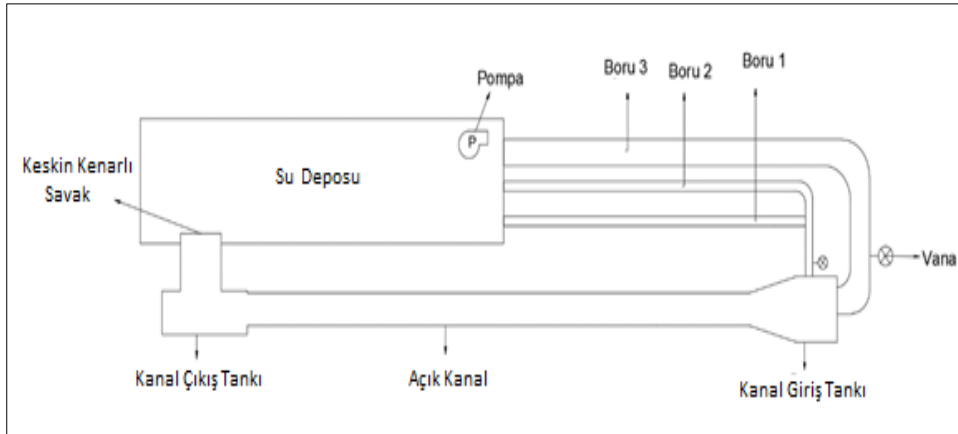
Bu tez kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar için Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan açık kanal sistemi kullanılmıştır (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2). Burada görülen açık kanal sistemi; dikdörtgen kesitli açık kanal, su deposu, devridaim pompası, borular ve debi ayar vanalarından oluşmaktadır. Tabanı ve yan duvarları cam malzemeden imal edilen açık kanalın tabanı düz olup genişliği 30 cm, yüksekliği 50 cm ve uzunluğu ise 5 m dir. Sistemde devridaim eden suyu depolamak için kullanılan deponun kapasitesi yaklaşık olarak 5 m³ tür. Su deposu içerisine yerleştirilen dalgıç pompanın gücü 7 kW civarındadır. Pompa yardımıyla kanala su iletmek için basma borusu (Boru 1), kanalı boşaltmak için ise tahliye boruları (Boru 2 ve Boru 3) kullanılmaktadır. Boru 1 ve 2'nin çapı 7 cm, Boru 3'ün çapı ise 30 cm dir. Boruların üzerinde bulunan vanalar yardımıyla debi ayarı yapılmaktadır. Açık kanalın baş ve uç kısmında bulunan tanklar ile suyun dinlendirilerek dalga ve türbülans etkisinin azaltılması sağlanmaktadır. Açık kanaldan geçen su kanal sonundaki çıkış tankının ucuna monte edilen keskin kenarlı savaktan (50 cm genişliğinde ve 29,5 cm yüksekliğinde) akarak su deposuna geri dönmektedir. Kanaldan geçen debinin hesabında kullanılmak üzere keskin kenarlı savak üzerinden akan su yüksekliği (savak yükü) ölçümü yapılmaktadır.

Bu çalışmada, kapak altı hidrolik sıçramanın özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, kanalın baş kısmındaki dinlendirme tankına monte edilen düşey kayar kapak altından

geçen farklı debilerde akımlar göz önüne alınmıştır. Böylece, kanal tabanından itibaren 2 cm yüksekliğindeki kapak açıklığından geçen akımların kanal içerisinde oluşturdukları hidrolik sıçramalara ait temel karakteristik değerler belirlenmiştir. Daha sonra, burada elde edilen deneysel bulgular HEC-RAS programı ile elde edilen hidrolik model sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.1. Deneysel çalışma için kullanılan açık kanal sisteminin genel görünümü.



Şekil 2.2. Deneysel çalışma için kullanılan açık kanal sisteminin şematik plan görünümü.

2.2. Debi Hesap Yöntemleri

Öncelikle açık kanaldan geçen akım debisinin belirlenmesi için 3 farklı hesap yöntemi kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla; i) hacimsel yöntem, ii) Rehbock denklemi ve iii)

Akustik Doppler Hız Profili (ADVP) ölçüm yöntemidir. Hacimsel yöntem esasında çok basit bir şekilde debi ölçümü imkanı vermektedir. Burada, belli bir akım hacmini sağlamak için açık kanal içerisinde belli bir noktaya yerleştirilen keskin kenarlı savak kullanılmıştır (Şekil 2.3). Bir şerit metre yardımıyla kanal içerisinde yapılan ölçümler sonucunda, genişliği 30 cm ve yüksekliği 29,5 cm olan ahşaptan imal edilen savağın memba tarafında kalan kısmın hacmi yaklaşık olarak 647 litre olarak tespit edilmiştir. Bu yöntemde ilk olarak, başlangıçta tamamen boş olan kanalın bu kısmının savak tepe noktasına kadar ne kadar sürede dolduğu belirlenir. Daha sonra, yukarıda belirlenen hacim değerinin bu süreye bölünmesi suretiyle akım debisi hesaplanmış olur. Bu işlem gerekirse birkaç defa tekrarlanır ve elde edilen değerlerin ortalaması alınır.



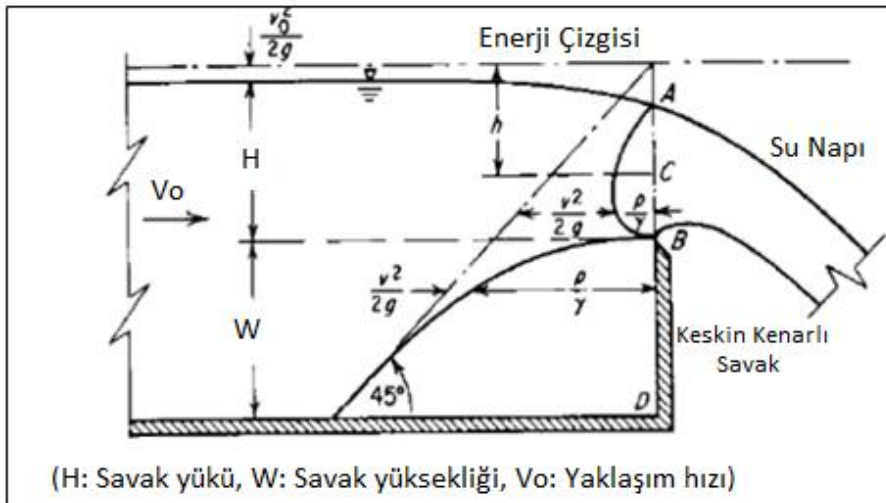
Şekil 2.3. Hacimsel yöntemde debi hesabı için açık kanal içerisine yerleştirilen keskin kenarlı savak.

Debi hesabı için kullanılan ikinci yöntemde, açık kanalın sonunda bulunan çıkış tankına monte edilen keskin kenarlı savak (Şekil 2.4) üzerinden geçen akımın debisi Rehbock denklemi ile hesaplanmıştır. Savaklar debi ölçümü için yaygın şekilde kullanılan ve güvenilir sonuçlar veren en temel ölçüm cihazlarıdır. Bunlar geniş kenarlı ve keskin kenarlı savaklar olmak üzere iki ana tipte olup dikdörtgen, üçgen, yamuk, dairesel vb. şekillerde olabilir. Keskin kenarlı savaklar daha çok laboratuvarlarda, endüstriyel işletmelerde ve sulama kanallarında debi ölçümü için kullanılmaktadır (Kumar vd., 2011).



Şekil 2.4. Açık kanalın sonundaki çıkış tankına monte edilen keskin kenarlı metal savak (genişliği 50 cm ve yüksekliği 29,5 cm).

Esasında, savak üzerindeki su yüksekliği (savak yükü) kullanılarak iyi belirlenmiş bir yükseklik-debi ilişkisiyle akımın debisi nispeten iyi bir şekilde tahmin edilebilir. Şekil 2.5'te tipik bir keskin kenarlı savak üzerinden geçen akım şematik olarak görölmektedir.



Şekil 2.5. Keskin kenarlı bir savak üzerinden geçen akımın şematik görünümu (Arvanaghi ve Oskuei, 2013).

Savak akımlarının hesabında kullanılan temel debi denklemi Eşitlik (2.1)'de verilmiştir (Boss, 1989).

$$Q = kH^n \quad (2.1)$$

Burada; Q savak akım debisi, k savak boyutuna ve şekline bağlı bir katsayı ve n ise savak şekline bağlı boyutsuz bir katsayıdır. Benzer şekilde, kanal ile aynı genişliğe sahip keskin kenarlı bir savak için debi bağıntısı Eşitlik (2.2) ile ifade edilmiştir (Rehbock, 1929).

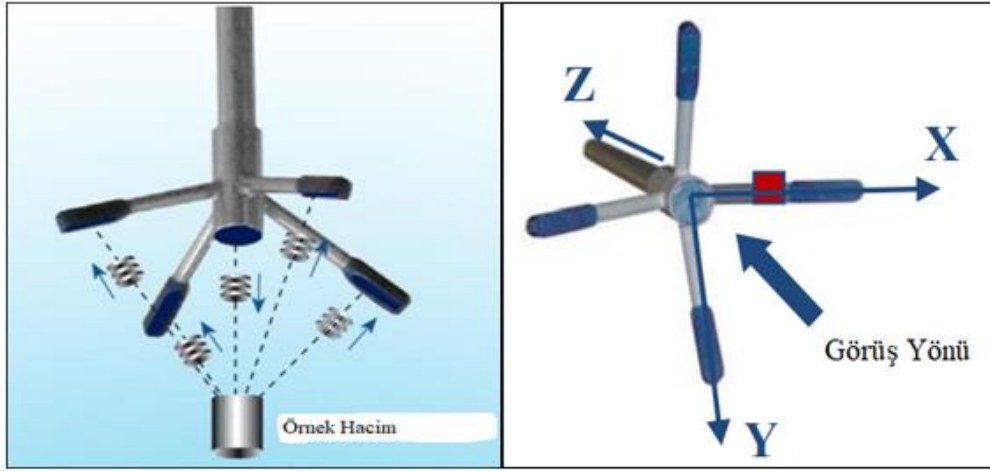
$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L H^{1.5} \quad (2.2)$$

Burada; C_d debi katsayısı, g yerçekimi ivmesi, L savak kret uzunluğu ve H savak üzerindeki su yüksekliğidir (savak yükü). Rehbock yaptığı deneysel çalışmalar neticesinde, W savak yüksekliği olmak üzere, C_d katsayısının sadece H/W oranına bağlı olduğunu Eşitlik (2.3) ile verilen bağıntıyla göstermiştir.

$$C_d = 0,611 + 0,08(H/W) \quad ; \quad (H/W) < 5 \quad (2.3)$$

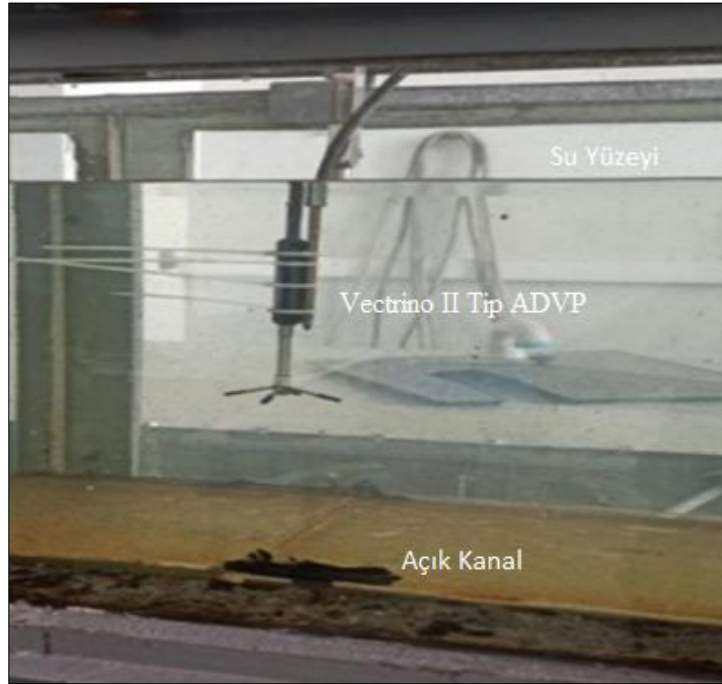
Son yıllarda, Arvanaghi ve Oskuei tarafından yapılan benzer bir araştırma kapsamında C_d katsayısının (H/W) oranlarına göre değişimi deneysel olarak incelenmiş ve C_d katsayısı için en uygun değer $0,7$ olduğu gösterilmiştir.

Debi hesabı için kullanılan üçüncü yöntemde ise, Akustik Doppler Hız Profilleyci (ADVP) cihazı ile yapılan hız ölçümleri sayesinde akım debisi belirlenmiştir. ADVP, Akustik Doppler prensibine dayanan yüksek teknolojiye sahip X, Y ve Z doğrultusunda akımın birçok özelliğini ölçen ses frekansları teknolojisinin kullanıldığı bir hız ölçerdir (Şekil 2.6).



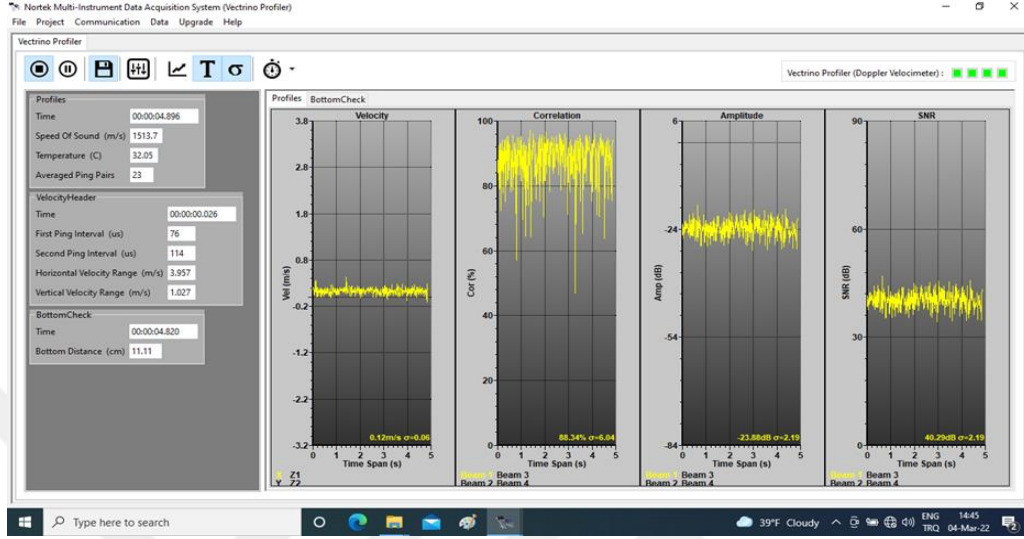
Şekil 2.6. Hız ölçümünde kullanılan Akustik Doppler Hız Profil cihazı (Vectrino II Tip ADVP -Vectrino II, Manuel, 2019).

Bu çalışmada kullanılan Vectrino II Tip 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 2.7). Daha sonra, özel bir yazılım sayesinde akımla ilgili önemli bilgiler buradan elde edilir.



Şekil 2.7. Açık kanalda ADVP ile yapılan hız ölçümüne ait bir görüntü.

ADVP ile hız ölçümü esnasında kaydedilen bir ekran görüntüsü Şekil 2.8’de verilmiştir. Burada görüldüğü gibi akım karakteristikleri ile ilgili bilgiler detaylı ve anlık olarak elde edilmektedir.



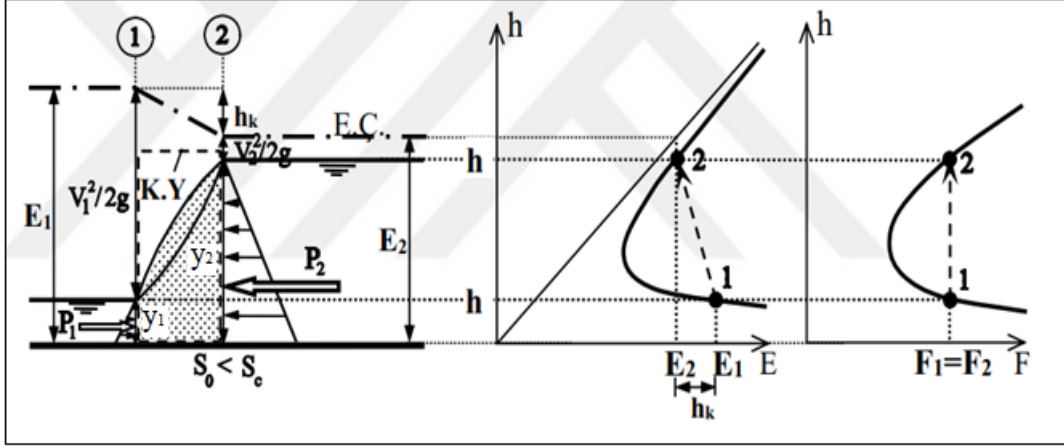
Şekil 2.8. ADVP ile hız ölçümü esnasında elde edilen bir ekran görüntüsü.

ADVP ile hız ölçümleri 2 farklı şekilde yapılabilmektedir. Birincisinde, ADVP’nin bulunduğu konumdan 50 mm altında bulunan noktada hız ölçümü yapılır (noktasal hız ölçümü). İkincisinde ise, ADVP’nin bulunduğu konumdan 40 ve 70 mm arasındaki noktalardan 1, 2, 3 ve 4 mm aralıklarla hız ölçümü yapılır (hücreli hız ölçümü). ADVP ile alınan hız ölçümleri MATLAB programında özel bir yazılımla işlenerek sayısal değerler elde edilmiştir.

2.3. Hidrolik sıçrama

Hidrolik sıçrama, akımın sel rejiminden ($F_r > 1$) nehir rejimine ($F_r < 1$) geçişini sağlayan ani bir sıçrama olayı olarak tanımlanır. Bu olay esnasında akış özelliklerine göre toplam enerjinin belirli bir yüzdesi kadar enerji kaybı olur. Bu sayede çoğu zaman akış halindeki suyun çevreye zarar vermesi engellenmiş olur. Şekil 2.9’da hidrolik sıçrama esnasında akım derinliğinin özgül enerji ve özgül kuvvet ile değişimi diyagramı ayrı ayrı verilmiştir. Burada görüldüğü gibi sıçrama öncesi h_1 seviyesindeki akım derinliği sıçrama sonrasında bir miktar yükselerek h_2 olmuştur. Diğer taraftan, sıçrama öncesi

E_1 özgül enerji değeri h_k kadar azalarak sıçrama sonrasında E_2 olmuştur. Bu arada, özgül kuvvet değerleri ise aynı kalmıştır.



Şekil 2.9. Hidrolik sıçramada derinlik ile özgül enerjinin ve özgül kuvvetin değişimi (Kırkgöz, 2013).

Eğer hidrolik sıçrama esnasında kaybolacak enerji (h_k) biliniyorsa (1) ve (2) nolu kesitleri arasında,

$$E_1 = E_2 + h_k \quad (2.4)$$

şeklinde enerji denklemi yazılır. Burada E_1 değeri (1) nolu kesitteki özgül enerji yüksekliği, E_2 değeri ise (2) nolu kesitteki özgül enerji noktasındaki enerji yüksekliğidir.

Hidrolik sıçramanın hidrodinamik yapısı genelde yatay tabanlı kanallar dikkate alınarak incelenmiştir. Hidrolik sıçramanın mansabındaki akım şartları, mambadaki akım şartlarının yardımıyla momentum ve süreklilik denklemleri kullanılarak elde edilmektedir. Eğer h_k değeri bilinmiyorsa hidrolik sıçrama problemi momentum prensibi uygulanarak çözülebilir. Buna göre, dikdörtgen en kesitli bir kanalda memba ve mansap su yükseklikleri (sırasıyla y_1 ve y_2) arasında,

$$y_2 = -\frac{y_1}{2} + \sqrt{\frac{y_1^2}{4} + \frac{2q^2}{gy_1}} \quad \text{veya} \quad \frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_{r1}^2} - 1 \right) \quad (2.5)$$

$$F_{r1} = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} \quad (2.6)$$

bağıntısı elde edilir. Burada; q açık kanalın birim genişliğinden geçen akım debisi, F_{r1} hidrolik sıçrama öncesi y_1 derinliğinde akımın Froude sayısı, V_1 ise hidrolik sıçrama öncesi y_1 derinliğindeki akımın ortalama hızı, g ise yerçekimi ivmesidir. Eğer y_1 ve y_2 derinlikleri arasındaki fark azalırsa yüzeysel sıçrama azalır ve su yüzü mansaba doğru hareket eden dalgalı bir görünüm alır. Dikdörtgen en kesitli kanallarda yüzeysel sıçrama esnasında oluşan enerji kaybı Eşitlik (2.7) ile tahmin edilir (French, 1985).

$$h_k = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1y_2} \quad (2.7)$$

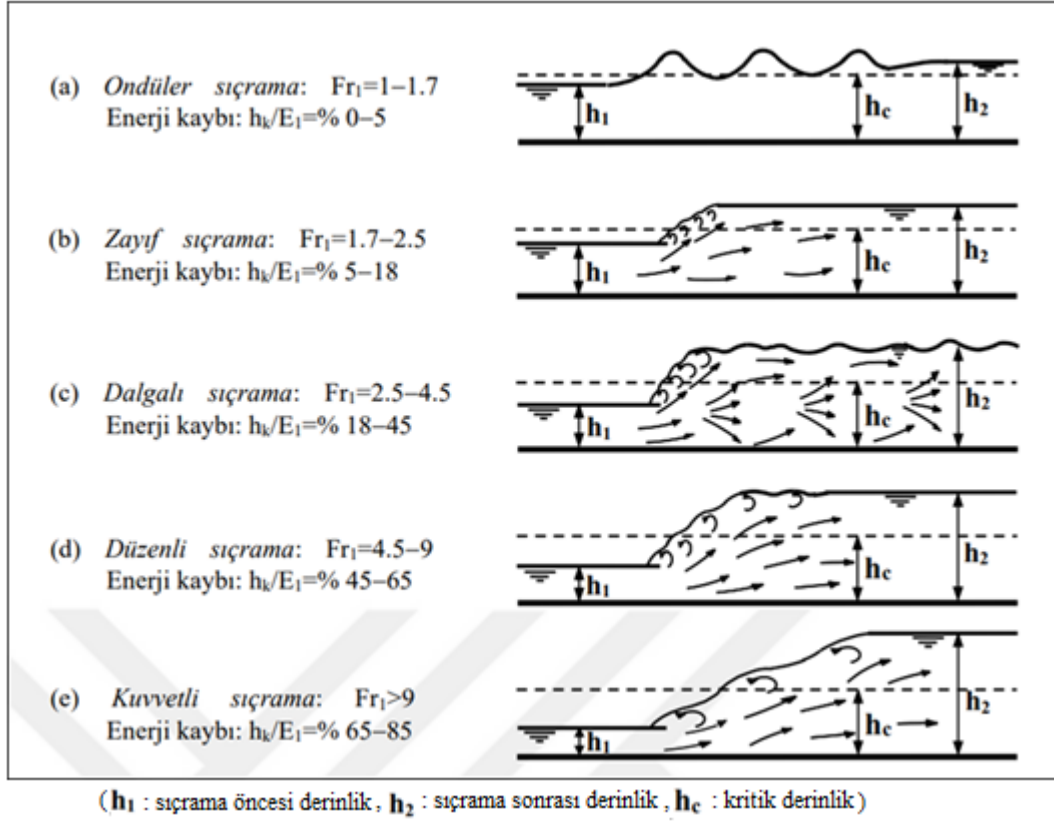
Hidrolik sıçrama esnasında enerji kaybının fazla olması iyi bir enerji kırıcı vazifesi gördüğünü gösterir.

Hidrolik sıçrama uzunluğunun tespiti birçok açıdan önemlidir. Mesela baraj dolu savaklarında düşüm yatağının tasarımında hidrolik sıçramanın oluşacağı mesafeye ihtiyaç duyulur. Hidrolik sıçrama uzunluğunun tahmininde literatürde çeşitli ampirik bağıntılar sunulmuştur. Burada örnek olarak dikdörtgen en kesitli kanallar için önerilen bağıntı Eşitlik (2.8) ile verilmiştir (Silvester, 1964). Burada görüldüğü gibi, hidrolik sıçrama uzunluğunun (L_j) hesabında sıçrama öncesi akım derinliği (y_1) ve Froude sayısı (F_{r1}) dikkate alınmıştır.

$$\frac{L_j}{y_1} = 9,75(F_{r1} - 1)^{1.01} \quad (2.8)$$

Hidrolik sıçrama, genel olarak Froude sayısının büyüklüğüne bağlı olarak çeşitli formlarda adlandırılmaktadır. Şekil 2.10 üzerinde görüldüğü gibi, hidrolik sıçrama öncesinde sel rejimindeki akımın Froude sayısı arttıkça olayın şiddeti ve meydana gelen enerji kaybı da artmaktadır. Örneğin; ‘*kuvvetli sıçrama*’ esnasında ($F_r > 9$ için)

oluşan enerji kaybının (h_k) başlangıçtaki özgül enerjiye (E_1) oranı %85'e kadar çıkmaktadır.



Şekil 2.10. Hidrolik sıçrama türleri ve yüzdesel olarak yaklaşık enerji kayıpları (Kırkgöz, 2013)

Bu çalışma kapsamında, Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarı'nda incelenen tipik bir hidrolik sıçrama olayına ait görüntü Şekil 2.11'de verilmiştir. Burada görüldüğü gibi, kanal içerisinde nispeten sığ bir derinlikte akış durumundaki su akımının hidrolik sıçrama sonrasındaki derinliğinde göreceli bir artış meydana gelmektedir. Açık kanalın mansabında bulunan hareketli kapak yardımıyla mansap su seviyesi ayarlanarak hidrolik sıçrama oluşması sağlanmıştır. Bu esnada oluşan türbülans etkisi dolayısıyla akımın enerjisinde kayıp meydana gelmektedir (Şekil 2.12).



Şekil 2.11. Laboratuvar ortamında gözlenen tipik bir hidrolik sıçrama olayı.



Şekil 2.12. Bir hidrolik sıçrama olayı esansında oluşan türbülans hareketi.

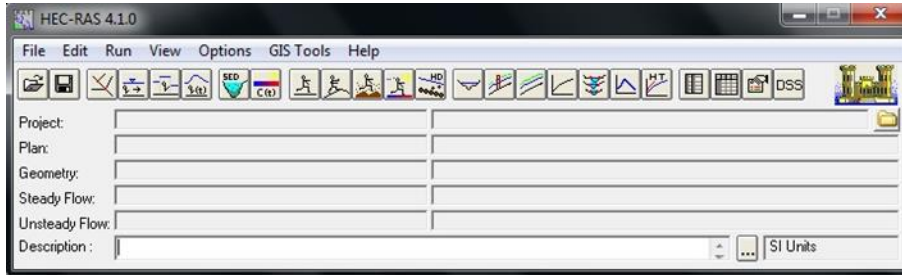
Bu tez çalışmasında, laboratuvar ortamında açık kanalda gerçekleştirilen hidrolik sıçrama deneylerinde; hidrolik sıçrama öncesi akım derinliği (y_1), hidrolik sıçrama sonrası akım derinliği (y_2), hidrolik sıçramanın kapaktan itibaren başlangıç mesafesi (L_b) ve hidrolik sıçrama uzunluğu (L_j) değerleri manuel olarak çelik şerit metre, limnimetre ve cetvel yardımıyla ölçülmüştür. Bunlara ilave olarak, açık kanalın

sonunda bulunan keskin kenarlı savak üzerindeki akım yüksekliği (savak yükü) ölçüm yoluyla belirlenmiştir.

Burada ölçülen büyüklüklerin tutarlılığını test etmek için ADVP ile elde edilen akım hızı değerleri kullanılmıştır. Bu amaçla, ilk olarak hidrolik sıçrama için Eşitlik (2.5) ile verilen ardışık derinlik bağıntısından sıçrama öncesi Froude sayısı (F_{r1}) hesaplanmıştır. Daha sonra, bulunan bu değer dikdörtgen kesitli açık kanallar için Froude sayısını ifade eden Eşitlik (2.6)'da yerine konularak hidrolik sıçrama öncesi ortalama akım hızı (V_1) elde edilmiştir. Böylece, bulunan bu hız değeri ile daha önce ADVP yardımıyla elde edilen hız değeri karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmede, hesaplanan ve ölçülen hız değerlerinin genellikle birbirine yakın olduğu görülmüştür.

2.4. HEC-RAS Programı

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) bir veya iki boyutlu, sürekli ve süreksiz akımlara ait parametrelerin hesaplandığı, su yüzeyi profillerinin hesaplandığı ve hidrolik modellemelerin yapıldığı, veri saklama ve yönetim kapasitesi olan ABD menşeli bir yazılımdır. Bu çalışmada hidrolik sıçramanın bir boyutlu modellemesi için HEC-RAS 4.1.0 sürümü kullanılmıştır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. HEC-RAS 4.1.0 sürümü ana penceresi.

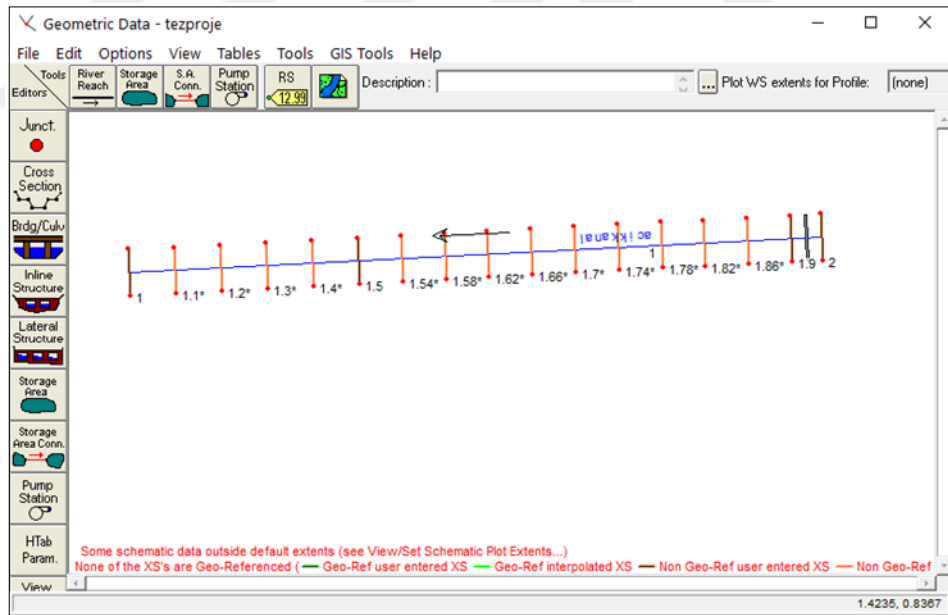
HEC-RAS programı ile kararlı ve kararsız akımların su yüzeyi profili hesabı yanında sınır şartları değişen akım durumlarında sediment taşınımı ve su kalitesi analizi yapılmaktadır. Kararlı akım durumunda sel ve nehir rejimleri için ayrı ayrı su yüzeyi profili hesabı yapılmaktadır. Bu amaçla, yazılımda bir boyutlu enerji denklemi kullanılmaktadır. Enerji kaybının belirlenmesinde daralma/genişleme katsayıları ile Manning pürüzlülük katsayısına ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer taraftan, akım rejiminin

ani değiştiği durumlarda (hidrolik sıçrama, köprü hidroliği vb.) ise bir boyutlu momentum denklemi kullanılmaktadır (HEC-RAS User Guide, 2010). Bu çalışmada, kararlı akım şartlarında modelleme yapıldığı için HEC-RAS programı ile ilgili sadece kararlı akım şartları için zet bilgiler verilmiştir.

2.4.1 HEC-RAS Programı ile Kararlı Akım Modellemesi

HEC-RAS programında kararlı akım durumu için modellemede akarsuyun fiziksel özelliklerinin ve akım parametrelerinin bilinmesi gerekir. Programda fiziksel özelliklerin tanımı için geometrik veri giriş bölümü, akım özelliklerinin tanımı için ise kararlı akım veri giriş bölümü kullanılır.

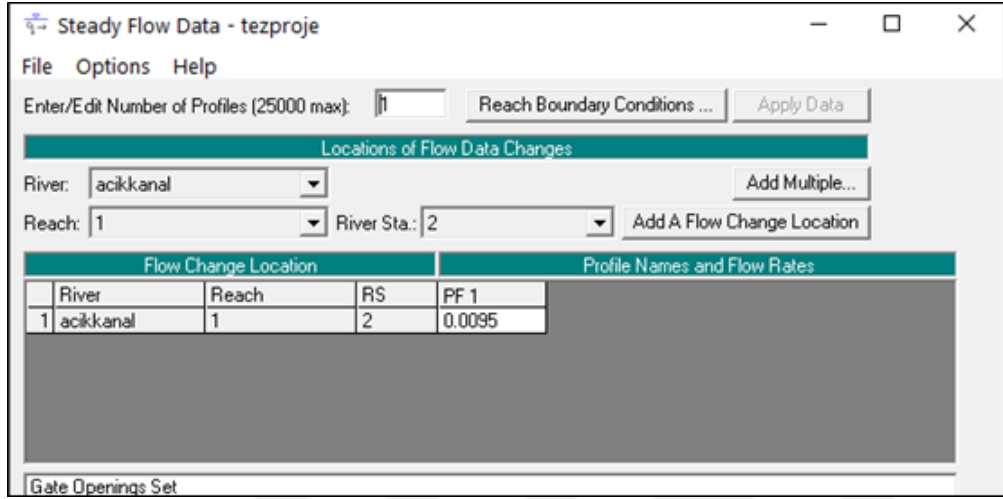
Geometrik veriler bölümünde; akarsuyun boyuna kesiti ve enkesit bilgileri yanında, yüzey pürüzlülük katsayısı, daralma ve genişleme katsayısı ile hidrolik yapılara ait geometrik bilgiler tanımlanır (Duvan, 2016). şekil 2.14'de HEC-RAS geometrik veri giriş penceresi için örnek bir gösterim verilmiştir.



şekil 2.14. HEC-RAS geometrik veri giriş penceresi için örnek bir gösterim.

Kararlı akım veriler bölümünde, 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. Program içerisinde aynı anda 25.000 adet farklı debi değerisi için modelleme imkanı vardır (şekil 2.15). HEC-RAS programı sel ve

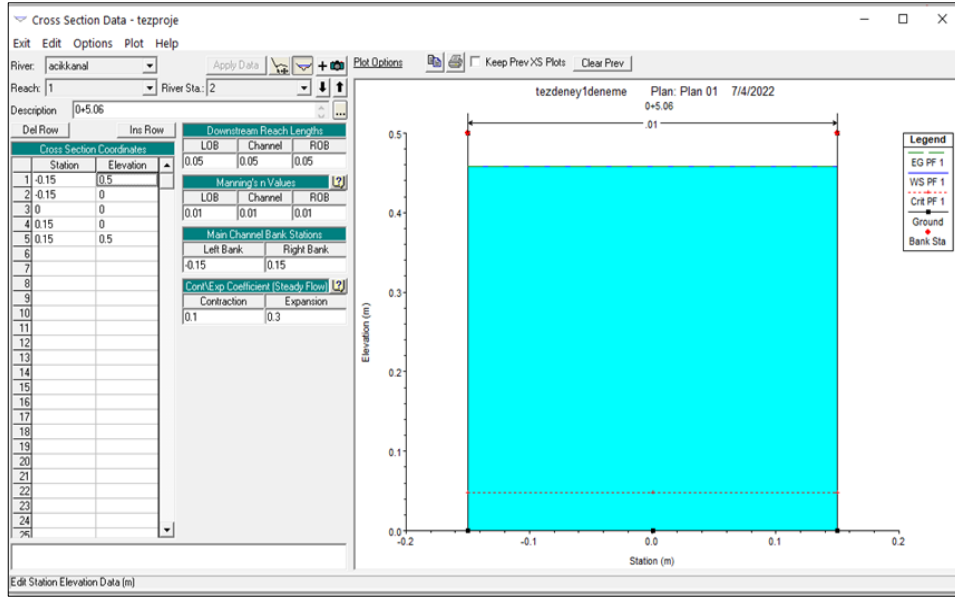
nehir rejimleri ile birlikte karışık rejimler için de hesap yapabilir. Nehir rejiminde hesap yönü mansaptan membaya doğru, sel rejiminde ise mabadan mansap yönüne doğru olduğundan sınır şartlarının doğru belirlenmesi gerekmektedir. Modelleme yapılan bölümdeki profilin akım şartları önceden bilinmiyorsa, en uygun seçim karışık rejim analizi olmalıdır.



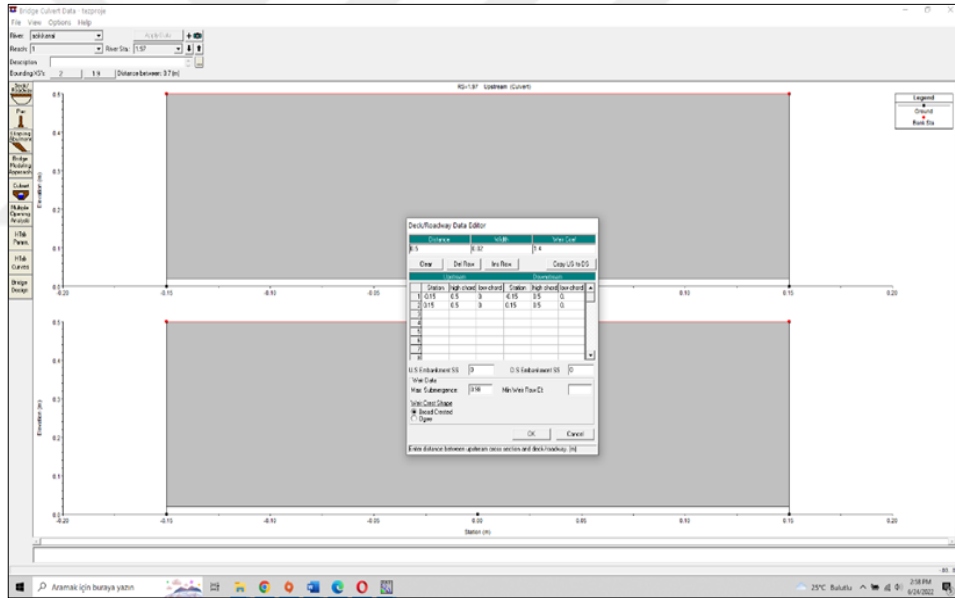
Şekil 2.15. HEC-RAS kararlı akım veri giriş penceresi.

2.4.2. HEC-RAS Programı ile Hidrolik Sıçramanın Modellemesi

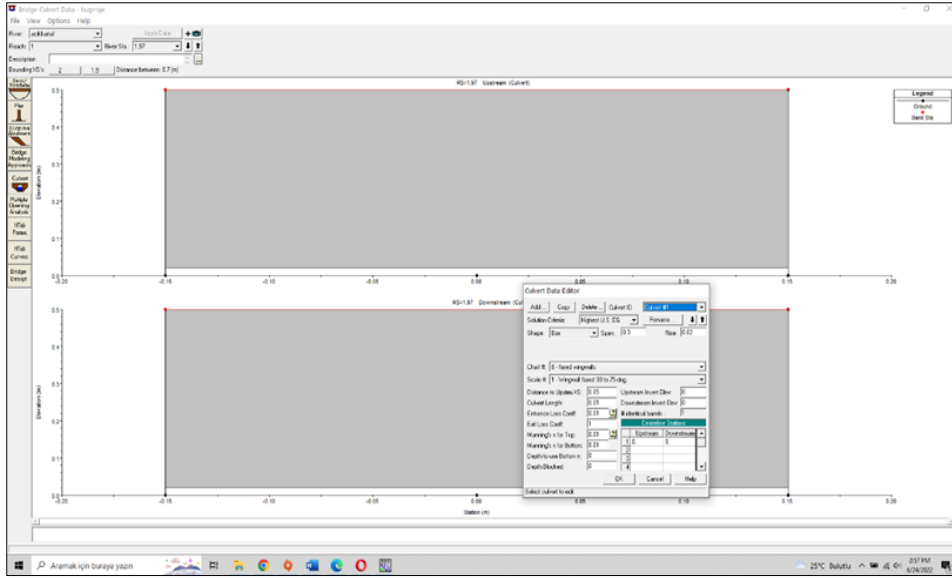
Bu çalışmada, deneysel yolla elde edilen sonuçlar elde edilen hidrolik sıçrama olayına ait deneysel sonuçlar, HEC-RAS programı ile elde edilen model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Laboratuvar ortamında gerçekleşen kapak altı hidrolik sıçrama olayı HEC-RAS ile menfez akımı olarak modellenmiştir. Bunun için geometrik veri bölümünde açık kanalın memba kısmına 30 cm genişliğinde ve 2 cm yüksekliğinde dikdörtgen en kesitli bir menfez tanımlanmıştır (Şekli 2.16-Şekil 2.18).



Şekil 2.16. Geometrik veri bölümünde kanal en kesitine ait bilgilerin girilmesi.

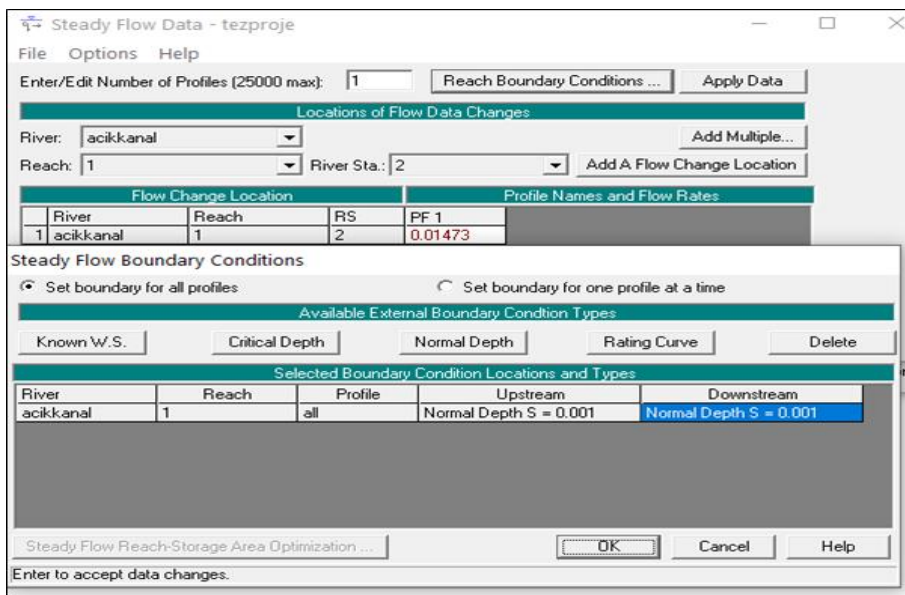


Şekil 2.17. Kapağın bulunduğu konumda dikdörtgen en kesitli bir menfez tanımlama işlemi.

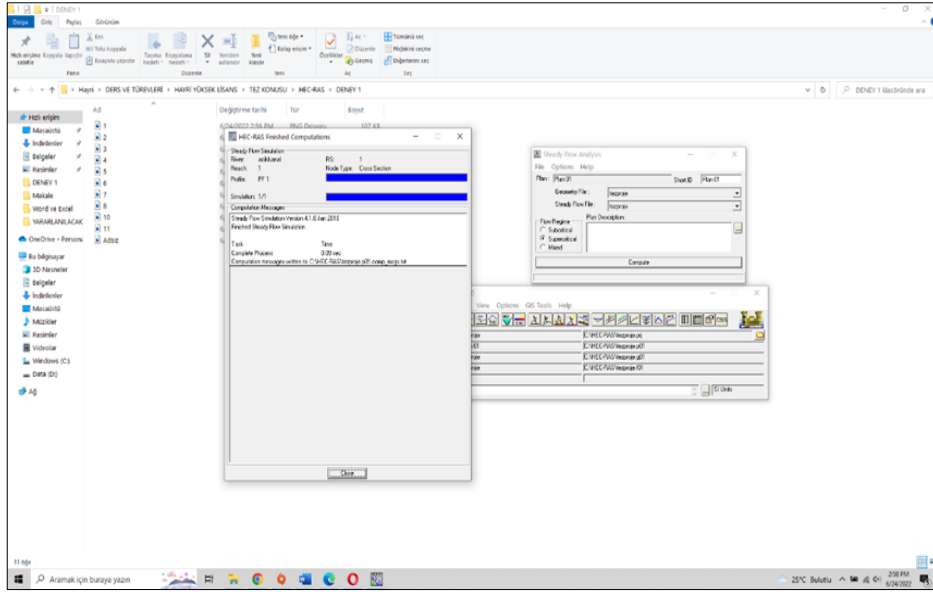


Şekil 2.18. Geometrik veri bölümünde menfez verisinin girilmesi.

Hidrolik modellemede açık kanalın taban eğimi 0,001 olarak alınmıştır. Manning pürüzlülük katsayısı gözlenen değerler kullanılarak kalibrasyon yardımıyla yaklaşık olarak 0,005 olarak hesaplanmıştır. Kanal boyunca 25 cm aralıkla enterpolasyon yapılarak yeterli sayıda en kesit tanımlanmıştır. Modellemede ADVP yardımıyla elde edilen akım debileri programda kararlı akım verisi olarak kullanılmıştır. Memba ve mansap kısmında sınır koşulları bilinen su yüksekliği olarak tanımlanmıştır. Kararlı akım analizi kapsamında akım rejimi karışık (mixed) tip olarak seçilmiştir (Şekil 2.19-Şekil 2.20).

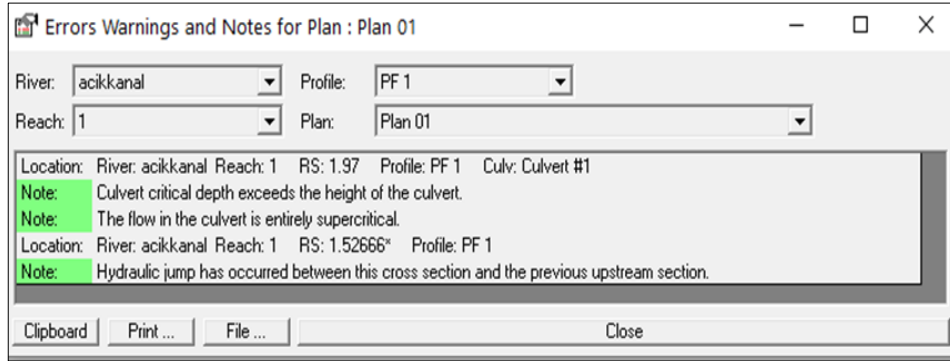


Şekil 2.19. Kararlı akım verisinin ve sınır koşullarının tanımlanması.



Şekil 2.20. Kararlı akım analizi için model çalıştırma (koşturma) ekranı.

Analiz sonucunda program tarafından tespit edilen hata, uyarı ve notların kontrol edilmesi gerekir (Şekil 2.21). Buradaki muhtemel hataların düzeltilmesi, uyarıların ve notların dikkate alınması ile model sonuçlarının düzeltilmesi ve aynı zamanda iyileştirilmesi imkanı sağlanmış olur.



Şekil 2.21. Kararlı akım analizi sonucunda belirlenen hata, uyarı ve notlar.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Burada ilk olarak, 3 farklı yöntemle 3 farklı akım durumu için hesaplanan akım debilerine ait sonuçlar değerlendirilecektir. Daha sonra, laboratuvar ortamında 3 farklı akım koşullarında oluşan hidrolik sıçramaya ait gözlemsel bulgular ile HEC-RAS programında hidrolik modelleme ile elde edilen hidrolik sıçrama sonuçları ayrı ayrı incelenecektir.

3.1 Açık Kanalda Akım Debisinin Farklı Yöntemlerle Belirlenmesi

Bu tez çalışmasında, açık kanaldan geçen akım debisinin belirlenmesinde 3 farklı hesap yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar burada sırayla değerlendirilmiştir.

3.1.1 Hacimsel Yöntem ile Akım Debisinin Hesabı

Burada kullanılan yöntemlerden ilki ve en basiti olan hacimsel yöntem ile 3 farklı akım durumu için elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1’de sunulmuştur. Bu yöntemde, açık kanal içerisine yerleştirilen savağın memba kısmındaki hacmin (647 litre) ne kadar sürede dolduğu bir kronometre yardımıyla belirlenmiştir. Göz önüne alına 3 farklı akım duruma ait akım debisi, verilen hacim değerinin ölçülen süreye bölünmesi ile hesaplanmıştır. Esasında, Durum 1 için hesaplanan debi değeri kullanılan deney sistemi tarafından sağlanan maksimum debiyi temsil etmektedir. Diğer durumlar için hesaplanan debi değerleri ise debi ayar vanaları ile rastgele belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Hacimsel yöntem ile elde edilen akım debileri.

Akım Durumu	Hacim (litre)	Süre (saniye)	Debi (lt/s)
Durum 1	647	43,41	14,9
Durum 2	647	66,84	9,68
Durum 3	647	84,03	7,70

3.1.2. Rehbock Denklemi ile Akım Debisinin Hesabı

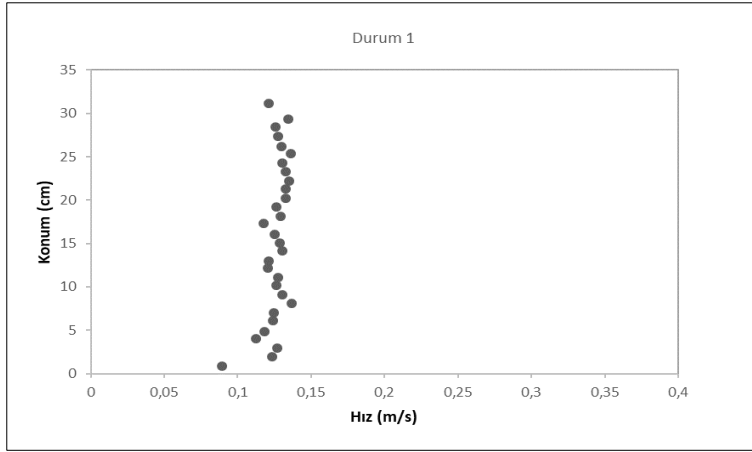
Rehbock (1929) tarafından önerilen savak akımı bağıntısı ile elde edilen 3 farklı akım durumuna ait debi sonuçları Çizelge 3.2’de görülmektedir. Burada, açık kanalın sonunda bulunan keskin kenarlı savak üzerinden geçen akımın yüksekliği yani savak yükü (H) yerinde yapılan gözlemlerle belirlendikten sonra C_d katsayısı Eşitlik (2.3) ile hesap edilmiştir. Daha sonra, bu değer Eşitlik (2.2)’de yerine konularak savak debisi bulunmuştur ($L=50$ cm ve $W=29,5$ cm için).

Çizelge 3 2. Rehbock denklemi ile elde edilen akım debileri.

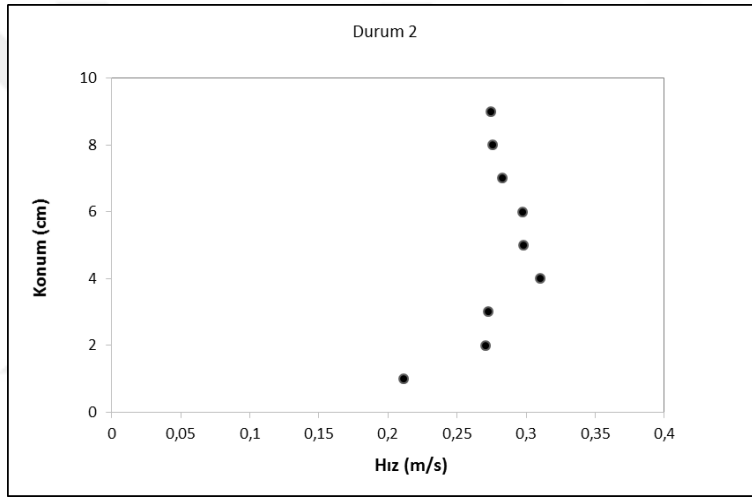
Akım Durumu	Savak Yükü H (cm)	C_d	Q (lt/s)
Durum 1	6,4	0,6284	15,02
Durum 2	4,9	0,6243	10,00
Durum 3	4,1	0,6221	7,63

3.1.3. ADVP ile Elde Edilen Hız Yardımıyla Akım Debisinin Hesabı

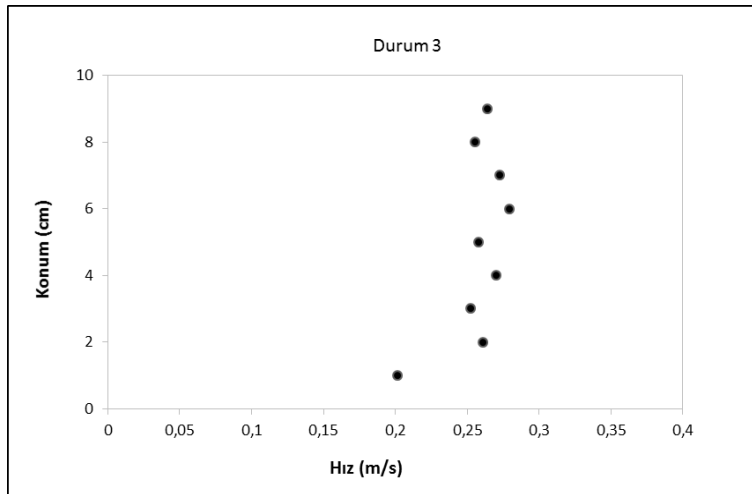
Açık kanal içerisinde belli bir noktaya yerleştirilen ADVP ile akım içerisinde noktasal hız ölçümleri elde edilmiştir (Şekil 3.1-Şekil 3.3). Burada verilen grafiklere göre, akım derinliği azaldıkça ortalama akım hızı artmaktadır. Kanal tabanına yakın noktalarda ölçülen hız değerleri nispeten küçüktür. Tabandan uzak noktalarda ölçülen hızların bir ortalama etrafında az bir saçılım gösterdiği kolayca fark edilmektedir. ADVP yardımıyla ölçülen noktasal hız değerleri ile ilk önce ortalama akım hızı bulunmuş ve daha sonra akım değerleri hesap edilmiştir. Burada, akım yüksekliği h olmak üzere kanal tabanından $0,2h$ ve $0,8h$ seviyelerinde okunan hızların ortalamaları alınarak ortalama hız değeri elde edilmiştir. Daha sonra, akış kesit alanı (yani kanal taban genişliği ile akım yüksekliğinin çarpım sonucu) ile ortalama hızın çarpımı sonucunda akım debisi hesap edilmiştir. Buna göre, 3 farklı akım durumuna ait ortalama hız ve debi değerleri Çizelge 3.3’de sunulmuştur.



Şekil 3.1. ADVP ile alınan noktasal hız ölçümleri grafiği (Durum 1).



Şekil 3.2. ADVP ile alınan noktasal hız ölçümleri grafiği (Durum 2).



Şekil 3.3. ADV ile alınan noktasal hız ölçümleri grafiği (Durum 3).

Çizelge 3.3. ADVP ile elde edilen hız yardımıyla 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

Burada son olarak 3 farklı yöntemle 3 farklı akım durumu elde edilen debi sonuçları karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.4’de verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi, bu çalışmada göz önüne alınan 3 farklı durum için hesaplanan debi değerleri genellikle birbirine yakındır. En büyük değerler Rehbock denklemi ile bulunurken en küçük değerler ise ADVP yöntemi ile elde edilmiştir.

Çizelge 3.4. 3 ayrı yöntemle elde edilen debi değerleri.

Hesap Yöntemi	Debi (lt/s)		
	Durum 1	Durum 2	Durum 3
Hacimsel Yöntem	14,90	9,68	7,70
Rehbock Denklemi	15,02	10,00	7,63
ADVP (Noktasal)	14,73	9,50	7,77

3.2. Hidrolik Sıçrama Deney Sonuçları

Bu tez çalışması kapsamında, Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı’nda 3 farklı akım durumu için kapak altı hidrolik sıçrama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Burada, 2 cm yüksekliğinde kapak açıklığından geçen su akımı açık kanal içerisinde hidrolik sıçramaya maruz kalmıştır. Hidrolik sıçrama oluşturmak için, 5 m uzunluğundaki cam kanalın sonunda bulunan kayar kapak ile mansap su derinliği dikkatli bir şekilde ayarlanmıştır. Deneyler esnasında yapılan ölçümler yoluyla tespit edilen temel hidrolik sıçrama parametreleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. 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_j	Hidrolik sıçrama uzunluğu

Burada göz önüne alınan 3 ayrı durum için gözlenen hidrolik sıçrama sonrası oluşan su yüzeyi profillerine ait görüntüler Şekil 3.4-Şekil 3.6'da verilmiştir. Burada, akım debisinin değişmesiyle birlikte hidrolik sıçramanın özelliklerinin değiştiği açıkça görülmektedir. Şekiller üzerinde görüldüğü gibi, her 3 durumda tipik bir hidrolik sıçrama olayında gözlenen ani sıçrama, çevri hareketi, şiddetli türbülans, hava girişi, hava baloncuğu ve köpük oluşumu olayları gerçekleşmiştir. Deneylerin başlangıcında kapak altından sel rejiminde ilerleyen su akımı bir müddet sonra oluşan hidrolik sıçrama sebebiyle nehir rejimine geçmiştir. Burada, hidrolik sıçrama sebebiyle her 3 durum için sıçrama öncesi ve sonrasında akım hızlarında ve derinliklerinde gözle görünür şekilde değişimler meydana gelmiştir.



Şekil 3.4. Durum 1 için gözlenen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili görüntüsü.



Şekil 3.5. Durum 2 için gözlenen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili görüntüsü.



Şekil 3.6. Durum 3 için gözlenen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili görüntüsü.

Laboratuvar deneylerinde 3 farklı durum için elde edilen ölçüm sonuçları Çizelge (3.6)-Çizelge (3.8)'de görülmektedir. Burada ayrıca ölçülen savak yükü (H) değerleri de verilmiştir. Çizelgelerde görüldüğü gibi, akım debisinin değişmesi ile hidrolik sıçramanın karakteristiği de değişmektedir. Burada, akım debisinin azalmasıyla hidrolik sıçrama öncesi ve sonrası akım derinlikleri (y_1 ve y_2), sıçrama başlangıç mesafesi (L_b), sıçrama uzunluğu (L_j) ve savak yükü (H) değerlerinin azaldığı hemen göze çarpmaktadır.

Çizelge 3.6. Durum 1 için elde edilen deney sonuçları (Q=14,73 lt/s).

y_1 (cm)	2,4
y_2 (cm)	14,0
L_b (cm)	373,0
L_j (cm)	62,0
H (cm)	6,4

Çizelge 3.7. Durum 2 için elde edilen deney sonuçları (Q=9,50 lt/s).

y_1 (cm)	1,7
y_2 (cm)	11,62
L_b (cm)	246,0
L_j (cm)	55,0
H (cm)	4,9

Çizelge 3.8. Durum 3 için elde edilen deney sonuçları (Q=7,77 lt/s).

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

Deney sonucunda elde edilen hidrolik sıçrama uzunluğu değerleri ampirik bağıntılardan hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla ilk önce, y_1 ve y_2 ardışık hidrolik sıçrama yükseklikleri kullanılarak Eşitlik (2.5) yardımıyla F_{r1} değeri bulunmuştur. Daha sonra, bu değer Eşitlik (2.8) ile verilen ampirik bağıntıda yerine konularak hidrolik sıçrama uzunluğu hesaplanmıştır. Çalışmada göz önüne alınan 3 farklı durum için deneysel yolla ve ampirik bağıntı ile elde edilen sonuçlar karşılaştırmak amacıyla Çizelge 3.9'da sunulmuştur. Burada, her 3 durum için ampirik

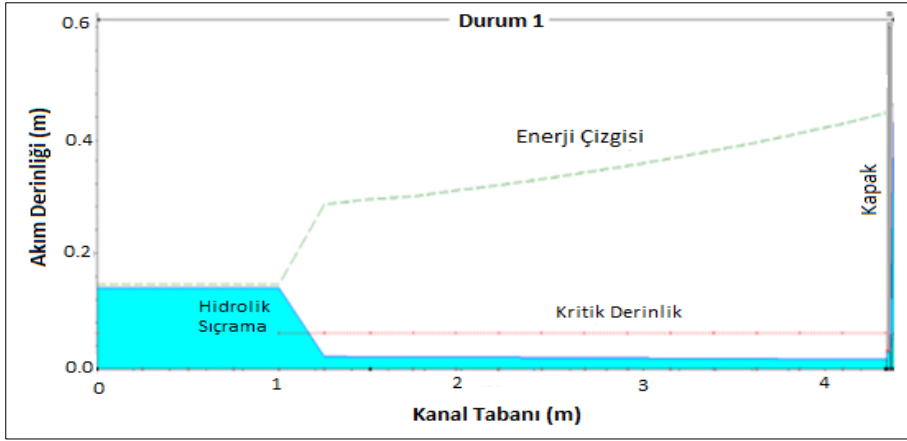
bağıntı ile elde edilen değerlerin deneysel yolla belirlenen değerlerden daha fazla (%12,5 ile %32 arasında değişen oranlarda) olduğu görülmektedir. Akım debisinin azalmasıyla ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkın oransal olarak azaldığı ayrıca tespit edilmiştir.

Çizelge 3.9. Deneysel yolla elde edilen ve ampirik bağıntı ile hesaplanan hidrolik sıçrama uzunlukları.

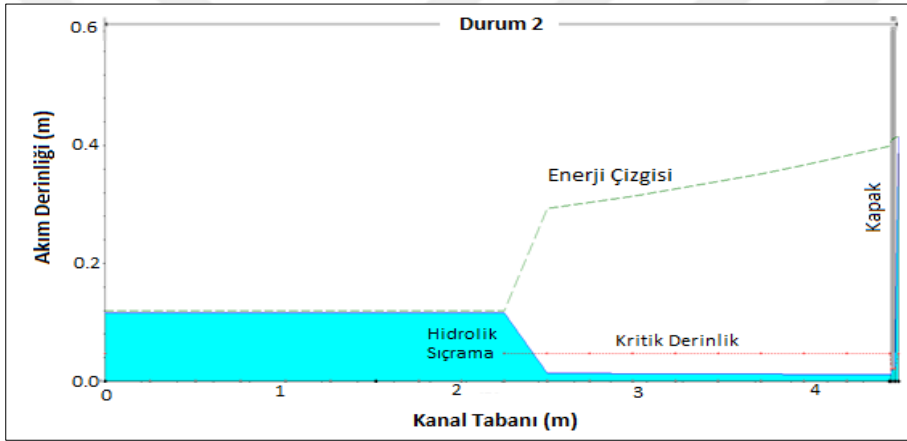
Yöntem		Durum 1	Durum 2	Durum 3
Deneysel	L_j (cm)	62	55	48
Ampirik	L_j (cm)	82	68	54
	F_{r1}	4,46	4,44	4,89

3.3 HEC-RAS ile Hidrolik Sıçrama Modelleme Sonuçları

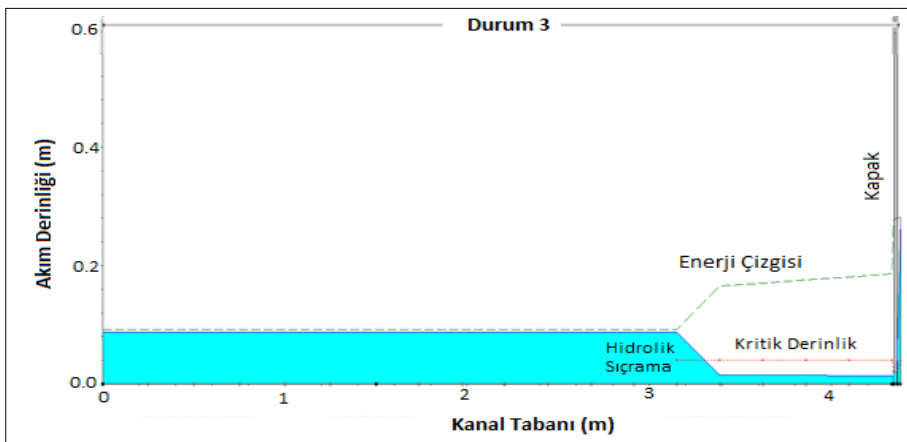
HEC-RAS ile elde edilen hidrolik model sonuçları 3 ayrı durum için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Hidrolik modellemede her bir durum için gerekli kararlı akım debisi olarak ADVP yardımıyla elde edilen debi değeri alınmıştır (Durum 1 için 14,73 lt/s, Durum 2 için 9,50 lt/s ve Durum 3 için ise 7,77 lt/s). Burada ilk olarak, hidrolik sıçrama sonucu elde edilen su yüzeyi profilleri Şekil 3.7-Şekil 3.9'da verilmiştir (akış yönü sağdan sola doğrudur). Verilen şekiller üzerinde akımın enerji çizgisi, kritik akım derinliği ile kapak ve hidrolik sıçramanın konumu gösterilmiştir. Burada, akımın debisi değiştikçe su yüzeyi profillerindeki değişimler hemen göze çarpmaktadır. Hidrolik sıçrama öncesi kanal boyunca sürtünmeden dolayı enerjinin tedrici olarak, hidrolik sıçrama esnasında ise aniden azaldığı kolayca fark edilmektedir. Buradaki hidrolik modelleme sonuçları deneysel yolla elde edilen sonuçlarla benzerdir. Şekiller üzerinde görüldüğü gibi, 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 3.7. Durum 1 için HEC-RAS ile elde edilen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili.



Şekil 3.8. Durum 2 için HEC-RAS ile elde edilen hidrolik sıçrama sonrası su yüzeyi profili.



Şekil 3.9. Durum 3 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 3.10-Şekil 12). 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. Tablolar üzerinde, 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). Ayrıca, hidrolik sıçramanın memba ve mansabında hız, akış alanı ve enerji çizgisi eğiminde meydana gelen ani değişim sayısal olarak burada görülmektedir.

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: acikk kanal 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	0.01473	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 3.10. 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		Culvert									
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 3.11. 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 (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	0.00777	0.00	0.28091	0.03974	0.28135	0.000005	0.09222	0.08425	0.29992	0.0555
1	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 3.12. Durum 3 için hidrolik sıçrama sonucu elde edilen akım karakteristikleri tablosu.

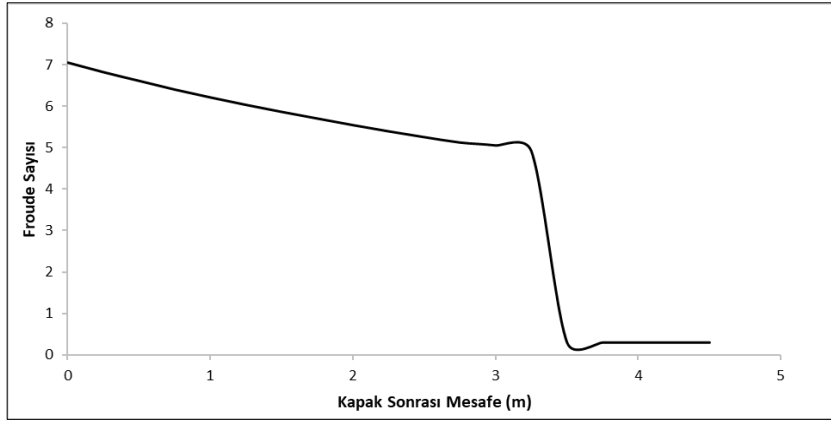
Tez çalışmasında göz önüne alınan her 3 durum için deneylerde ölçülen ve HEC-RAS ile elde edilen hidrolik sıçrama parametreleri Çizelge 3.10'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Burada görüldüğü gibi, deneysel ve sayısal yöntemlerle elde edilen

değerler genel olarak birbirine yakındır. Hidrolik sıçrama öncesi akım derinlikleri arasında %7 ile %26 arasında değişen oranlarda fark bulunmaktadır. Hidrolik sıçrama uzunlukları arasında yine buna benzer oranlarda fark olduğu görülmektedir. Hidrolik sıçrama başlangıç mesafeleri arasında ise %20-%30 civarında fark olduğu tespit edilmiştir.

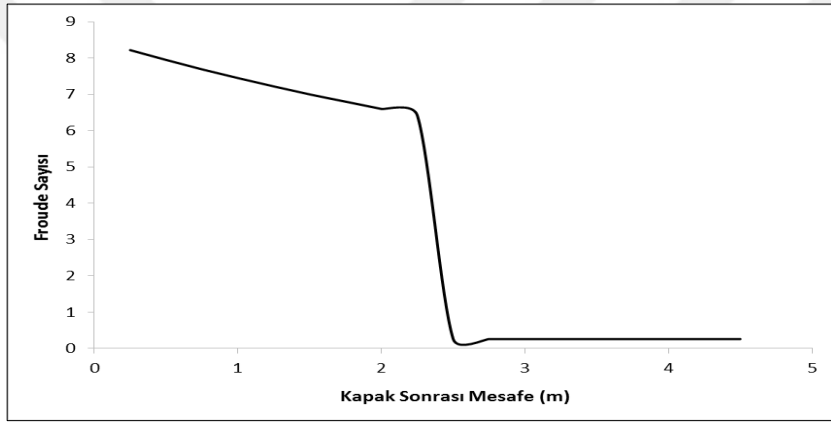
Çizelge 3.10. Deneysel ve HEC-RAS modelleme yoluyla elde edilen hidrolik sıçrama parametreleri.

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

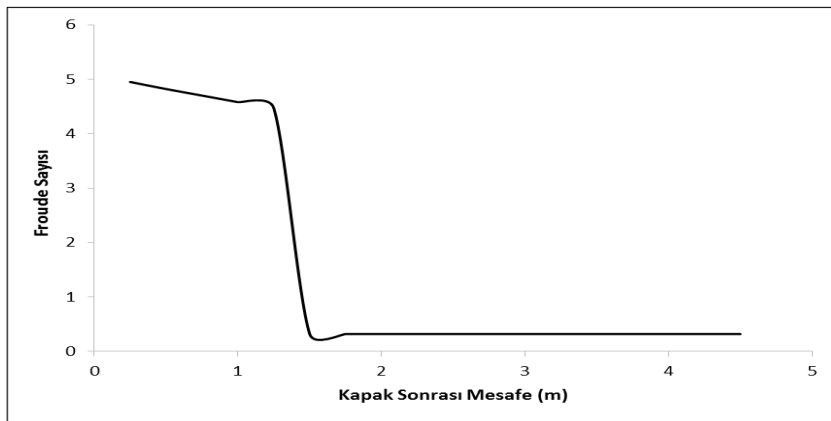
Burada son olarak, Şekil 3.15-Şekil 3.17’de her bir durum için HEC-RAS ile elde edilen Froude sayısının hidrolik sıçrama esnasında kanal boyunca değişimi verilmektedir. Burada her 3 durum için de geçerli olmak üzere; Froude sayısının kapak önünde nispeten büyük değerlere ulaştığı, kanal boyunca birlikte tedrici olarak azaldığı ve hidrolik sıçramanın meydana geldiği sırada ani bir şekilde düştüğü görülmektedir.



Şekil 3.13. Durum 1 için Froude sayısının hidrolik sıçrama esnasında kanal boyunca değişimi.



Şekil 3.14. Durum 2 için Froude sayısının hidrolik sıçrama esnasında kanal boyunca değişimi.



Şekil 3.15. Durum 3 için Froude sayısının hidrolik sıçrama esnasında kanal boyunca değişimi.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENİRME

Bu çalışmada, kararlı akım şatları altında kanallarda oluşan kapak altı hidrolik sıçramanın özellikleri laboratuvar ortamında deneysel yolla ve ayrıca HEC-RAS programı yardımıyla sayısal yöntemle incelenmiştir. Hidrolik sıçrama deneyleri Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan açık kanal düzeneği kullanılarak yürütülmüştür.

Kapak altı hidrolik sıçrama deneylerinde açık kanalın baş kısmında yer alan kayar kapağın altında 2 cm açıklık bırakılmıştır. Böylece, bu açıklıktan hızla ilerleyen su akımı açık kanal içerisinde hidrolik sıçramaya maruz bırakılmıştır. Hidrolik sıçrama oluşması için açık kanalın sonuna monte edilen hareketli kapak ile mansap su seviyesi dikkatli bir şekilde ayarlanmıştır. Bu deneylerde yapılan 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 debisinin belirlenmesi için hacimsel yöntem ve Rehbock denklemi gibi ve Akustik Doppler Hız Profili (ADVP) ölçüm yöntemi olmak üzere 3 farklı hesap yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, geleneksel yollarla (hacimsel yöntem ve Rehbock denklemi) akım debisi hesabına ilave olarak ileri teknoloji ürünü olan ADVP ile dolaylı olarak debi hesabı yapılmıştır. Burada 3 farklı akım durumu için elde edilen sonuçlara göre, söz konusu farklı yöntemlerle hesap edilen akım debisi değerlerinin genellikle birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bunlar arasında en büyük değerlerin Rehbock denklemi ile en küçük değerlerin ise ADVP yöntemi ile elde edildiği görülmüştür.

Akım hesabı 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) burada kolay bir şekilde 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 deneyleri sonucunda elde edilen bulgular, HEC-RAS programında oluşturulan hidrolik modellerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kararlı akım durumu için çalıştırılan modellerde ADVP hız değerleri ile hesaplanan debiler kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmeye göre, deney ve model sonuçları arasında bazı farklılıklar olsa bile bunların genel olarak birbirine benzer olduğu sonucuna varılmıştır. Hidrolik model ile tahmin edilen hidrolik sıçramalara ait temel karakteristik değerlerin (hidrolik sıçrama öncesi ve sonrası akım derinlikleri, sıçrama başlangıç mesafesi ve sıçrama uzunluğu) deneylerde gözlenen değerlere oldukça yakın olduğu görülmüştür. Burada tespit edilen nispeten düşük orandaki farkların deney ölçüm şartlarına ve hidrolik modellemede kullanılan parametrelerdeki belirsizliklere bağlı olarak oluştuğu varsayılmaktadır.

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. Ancak, burada deneysel yolla ve HEC-RAS programında hidrolik modelleme (sayısal yöntem) ile elde edilen sonuçların bu tez çalışmasında amaçlanan hedefler açısından yeterli olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak, bu konuyla ilgili ileri düzeyde deneysel çalışmalar için daha geniş ölçekli bir deney düzeneği ile farklı sayısal yöntemlerin bir arada kullanılmasının faydalı olacağı tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Mageed, N. (2015). Effect of channel slope on hydraulic jump characteristics. *Physical Science International Journal*, 7(4), 223-233.
- AlTalib, A. N. , Mohammed, A.Y., Hayawi, H. A. (2019). Hydraulic jump and energy dissipation downstream stepped weir. *Flow Measurement and Instrumentation*, Volume 69, 101616.
- Arvanaghi, H., & Oskuei, N. N. (2013). Sharp-crested weir discharge coefficient. *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 3(3), 87-91.
- Bai, R., Ning, R., Liu, S., & Wang, H. (2022). Hydraulic jump on a partially vegetated bed. *Water Resources Research*, 58, e2022WR032013.
- 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.
- Bos, M. G. (1989). Discharge measurement structures, Publication 20. *International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands*. Duvan, A. (2016). Kızılırmak nehri Kırıkkale bölgesinde hidrolik yöntemlerle taşkın ötelemesi (Master's thesis, *Kırıkkale Üniversitesi*).
- French, R. (1985). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, Inc. New York, USA.
- Gümüş, V., Aköz, M. S., Kırkgöz, M. S. (2013). Kapak mansabında batmış hidrolik sıçramanın deneysel ve sayısal modellenmesi. *Teknik Dergi*, 24(117).
- Gümüş, V. , Parmaksız, M., Şimşek, O. & Avşaroğlu, Y. (2019). Farklı Akım Koşullarına Sahip Serbest Hidrolik Sıçramanın Deneysel ve Sayısal Modellemesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2) , 447-466.
- HEC-RAS User Guide. HEC-RAS River Analysis System. U.S. Army Corps of Engineers, *Institute for Water Resources*, 2010.

- Hydraulic Reference Manual 4.1, HEC-RAS River Analysis System. U.S. Army Corps of Engineers, *Institute for Water Resources*, 2010.
- 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.
- Kim, Y., Choi, G., Park, H., Byeon, S. (2015). Hydraulic jump and energy dissipation with sluice gate. *Water*, 7(9), 5115-5133.
- Kırkgöz, S. (2013). *Akışkanlar Mekaniği*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Kumar, S., Ahmad, Z., Mansoor, T. (2011). A new approach to improve the discharging capacity of sharp-crested triangular plan form weirs. *Flow Measurement and Instrumentation*, 22(3), 175-180.
- 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.
- Parmaksız, M. (2019). Serbest hidrolik sıçramanın deneysel ve sayısal modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa*.
- Rehbock, T. (1929). Discussion of " *Precise measurements*". Trans. of ASCE, 93, 1143-1162.
- Retsinis, E., Papanicolaou, P. (2020). Numerical and experimental study of classical hydraulic jump. *Water*, 12(6), 1766.
- 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.
- Silvester, R. (1964). Hydraulic jump in all shapes of horizontal channels. *Journal of the Hydraulics Division*, 90(1), 23-55.
- 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.

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.

Xiang, M., Cheung, S. C. P., Tu, J. Y., Zhang, W. H. (2014). A multi-fluid modelling approach for the air entrainment and internal bubbly flow region in hydraulic jumps. *Ocean engineering*, 91, 51-63.

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.

