

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAİRESEL BORULARDA OLUŞAN HİDROLİK
SIÇRAMANIN DENEYSEL VE SAYISAL
ARAŞTIRILMASI



Semire OĞUZHAN

Ağustos, 2016

İZMİR

**DAİRESEL BORULARDA OLUŞAN HİDROLİK
SIÇRAMANIN DENEYSEL VE SAYISAL
ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik – Hidroloji ve Su Kaynakları
Programı**

Semire OĞUZHAN

**Ağustos, 2016
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

SEMİRE OĞUZHAN, tarafından PROF. DR. MEHMET ŞÜKRÜ GÜNEY yönetiminde hazırlanan “DAİRESEL BORULARDA OLUŞAN HİDROLİK SIÇRAMANIN DENEYSEL VE SAYISAL ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet Şükrü GÜNEY

Yönetici

Prof. Dr. Gökmen TAYFUR

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Okan FİSTİKOĞLU

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, çalışmanın her aőamasında bana yol gösteren ve ve yardımlarının esirgemeyen tez danıőmanım Prof. Dr. M. Şükrü GÜNEY'e teőekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalıőmalarımda bana yardımcı olan değerli hocalarım Yard. Doç. Dr. Ayőegül ÖZGENÇ AKSOY 'a, Araő. Gör. Mustafa DOĐAN' a ve laboratuvar teknisyeni İsa ÜSTÜNDAĐ' a teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, beni büyütüp bu güne getiren aileme teőekkürü bir borç bilirim.

Semire OĞUZHAN

DAİRESEL BORULARDA OLUŞAN HİDROLİK SIÇRAMANIN DENEYSEL VE SAYISAL ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Bu tez çalışmasında, dairesel boru içerisinde gerçekleşen hidrolik sıçrama incelenmektedir. Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler 19,35 m uzunluğunda ve 0,282 m yarıçapında olan boru sistemi üzerinde yapılmıştır. Ölçümler beş debi değerinde yapılabilmektedir. İlk olarak kritik derinlikler hesaplanmıştır ve akım rejimi belirlenmiştir. Hidrolik sıçrama eşlenik derinlikleri ve parametreleri hesaplanarak grafikler elde edilmiştir. Regresyon analizi kullanılarak özgün ampirik bağıntılar türetilmiştir. Elde edilen veriler literatürde mevcut bilgiler elde edilen bulgularla birleştirilerek değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Hidrolik sıçrama, dairesel boru, eşlenik derinlikler, kısmi dolu borularda akış

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF HYDRAULIC JUMP IN CIRCULAR PIPES

ABSTRACT

In this study, the hydraulic jump in circular pipe was investigated experimentally and numerically. A pipe 19.35 m long with a diameter of 0.546 m was used during the experiments which were carried out on an experimental system existing in the Hydraulics Laboratory of the Civil Engineering Department within Dokuz Eylül University. The experiments were realized with five different discharges. The discharges were measured by means of an electromagnetic flow-meter. Water depths were measured by piezometric tubes and also verified by using ULS devices located at two different sections. Experimental results related to the conjugate depths and the lengths of the observed hydraulic jumps were presented as graphics. Specific empirical equations were derived from the regression analysis. The so obtained relations were tested by using data available in the literature. The experimental findings are evaluated in the light of the knowledge pertaining to the hydraulic jump in circular conduits.

Keywords: Hydraulic jump, circular pipe, conjugate depths, flow in partially full pipe

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışmanın Kapsamı.....	1
BÖLÜM İKİ – GEÇMİŞTE YAPILAN AKADEMİK ÇALIŞMALAR	2
BÖLÜM ÜÇ – HİDROLİK SIÇRAMA İLE İLGİLİ TEMEL BİLGİLER.....	4
3.1 Hidrolik Sıçrama	4
3.2 Hidrolik Sıçrama Hesaplarında Kullanılan Bağlıntılar.....	5
BÖLÜM DÖRT – DENEY SİSTEMİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMİ.....	10
4.1 Deney Düzenegi	10
4.2 Ölçüm Yöntemi	12
BÖLÜM BEŞ – DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	14
5.1 Taban Eğiminin Belirlenmesi	14
5.2 Deneysel Bulgular	14

**BÖLÜM ALTI – DENEYSEL VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE
KARŞILAŞTIRILMASI.....24**

6.1 Deneysel Bulguların Literatürde Mevcut Grafiklerle Karşılaştırılma24

6.2 Literatürde Verilen Formüllerle Elde Edilen Verilerin Deneysel Bulgularla
Karşılaştırılması25

6.3 Eşlenik Derinlikler Oranı İçin Elde Edilen Ampirik Bağntıların Literatürde
Mevcut Veriler Kullanılarak Test Edilmesi.....26

BÖLÜM YEDİ – SONUÇ VE ÖNERİLER.....28

KAYNAKLAR.....30

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 Hidrolik sıçrama.....	4
Şekil 3.2 Hidrolik sıçramada momentum korunumu	5
Şekil 4.1 Deney düzeneğinin genel görünüşü	10
Şekil 4.2 Deve boynu boru ile giriş ve sakinleştirici plakalar.....	11
Şekil 4.3 Elektromanyetik debimetre.....	11
Şekil 4.4 Tahliye kanalı girişi.....	11
Şekil 4.5 a) Piyezometre panosu ve ULS b) Gözlem deliklerine yerleştirilen cihaz..	12
Şekil 4.6 Mansap kapağı	13
Şekil 5.1 Taban eğimi	14
Şekil 5.2 Su yüzeyi kotları	15
Şekil 5.3 $Q=36,5$ L/s debisinde su yüzeyi profili	15
Şekil 5.4 $Q=53,7$ L/s debisinde su yüzeyi profili	16
Şekil 5.5 $Q=68$ L/s debisinde su yüzeyi profili	16
Şekil 5.6 $Q=72$ L/s debisinde su yüzeyi profili	17
Şekil 5.7 Hesaplamalarda kullanılan notasyonlar.....	17
Şekil 5.8 y_{cr} - Q grafiği.....	18
Şekil 5.9 Doğrusal eğilim durumumda $L_h/h_2 - Fr_1$ ilişkisi.....	19
Şekil 5.10 Üstel eğilim durumumda $L_h/h_2 - Fr_1$ ilişkisi.....	20
Şekil 5.11 Logaritmik eğilim durumumda $L_h/h_2 - Fr_1$ ilişkisi.....	20
Şekil 5.12 Polinom eğilim durumumda $L_h/h_2 - Fr_1$ ilişkisi	21
Şekil 5.13 Üs eğilim durumumda $L_h/h_2 - Fr_1$ ilişkisi.....	21
Şekil 5.14 Doğrusal eğilim durumunda $h_2/h_1 - Fr_1$ grafiği	22
Şekil 5.15 Üstel eğilim durumunda $h_2/h_1 - Fr_1$ grafiği	22
Şekil 5.16 Logaritmik eğilim durumunda $h_2/h_1 - Fr_1$ grafiği	22
Şekil 5.17 Polinom eğilim durumunda $h_2/h_1 - Fr_1$ grafiği.....	23
Şekil 5.18 Üs eğilim durumunda $h_2/h_1 - Fr_1$ grafiği	23
Şekil 6.1 Bushra ve Afzal (2006)'da verilen grafik üzerine yerleştirilen deneysel sonuçlar	24

Şekil 6.2 Bushra ve Afzal (2006) $L_h/h_2 - Fr_1$ grafiği.....	25
Şekil 6.3 Mevcut verilerin doğrusal eğilim bağıntısıyla ilişkisi.....	26
Şekil 6.4 Mevcut verilerin logaritmik eğilim bağıntısıyla ilişkisi	27
Şekil 6.5 Mevcut verilerin üs eğilim bağıntısıyla ilişkisi.....	27
Şekil 6.6 Mevcut verilerin üstel eğilim bağıntısıyla ilişkisi.....	27



TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 5.1 Kritik derinlik hesabı.....	18
Tablo 5.2 Hidrolik sıçrama parametreleri	19
Tablo 6.1 L_h/h_1 boyutsuz hidrolik sıçrama uzunluğu için deneysel bulgular ve Bushra ve Afzal (2006)'da verilen formüllerle elde edilen sayısal sonuçlar	26



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada dairesel kesitli boru içerisindeki serbest yüzeyli akış özelliklerinin belirlenmesi, boru içinde hidrolik sıçrama oluşturularak bu sıçramanın deneysel olarak gözlemlenmesi ve sayısal olarak incelenerek değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Birinci bölümde çalışmanın amacı ve kapsamı anlatılmaktadır.

İkinci bölümde daha önce yapılmış akademik çalışmalar verilmektedir.

Üçüncü bölümde hidrolik sıçrama ile ilgili temel bilgiler yer almaktadır.

Deney düzeneği ve ölçüm yöntemi dördüncü bölümde anlatılmaktadır.

Beşinci bölümde yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular ve değerlendirmesi yapılmaktadır.

Altıncı bölümde deneysel bulgular literatürde mevcut bilgilerle karşılaştırılmaktadır.

Yedinci bölümde de sonuç ve öneriler yer almaktadır.

BÖLÜM İKİ

GEÇMİŞTE YAPILAN AKADEMİK ÇALIŞMALAR

Konu ile ilgili deneysel ve teorik çalışmalar son derece sınırlı olup en önemlileri aşağıda verilmektedir.

Stahl ve Hager (1999) dairesel boru içinde hidrolik sıçramayı incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarını $D=240$ mm çapında ve $25D$ uzunluğunda bir boru içerisinde gerçekleştirmişlerdir. Sistemin taban eğimi ise % 0,5'tir. Toplamda 18 deneysel çalışma yapmışlardır ve bu çalışmalarda giriş Froude sayısı $1,5 < Fr_1 < 6,5$ aralığında verilmiştir. Çalışmalar sonucunda derinlik oranı ve Froude sayısı arasındaki ilişkiyi gösteren bir bağıntı elde etmişlerdir. Bu bağıntı Y eşlenik derinlik oranı olmak üzere $Y = 1,00 Fr_1^{0,90}$ olarak tanımlanmıştır.

Gargano ve Hager (2002) dairesel borularda dalgalı hidrolik sıçramayı deneysel olarak araştırmışlardır. Hidrolik sıçrama öncesi Froude sayısına ilave olarak borudaki doluluk oranının sonuçları etkilediğini ortaya koymuşlardır. Kararsız akıma neden olmaları nedeniyle dairesel borularda dalgalı sıçrama oluşmasının önlenmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Bushra ve Afzal (2006) dairesel ve U- kesit kanallarda hidrolik sıçramayı inceleyen çalışmalar yapmışlardır. İki boyutlu türbülanslı akım durumunda süreklilik ve Reynolds denklemlerinden yola çıkarak uygun sınır şartlarıyla entegrasyon gerçekleştirmişlerdir. Hidrostatik basınç dağılımı kabulü ile türetilen hidrolik sıçrama denklemi entegre edilerek momentum ve süreklilik denklemleri için ifadeler elde etmişlerdir. Derinlik boyunca ortalama değerler kullanılarak derinlik ortalamalı normal Reynolds gerilmesi çevrinti viskozitesi ile derinlik gradyanının çarpımı şeklinde ifade edilmiştir. Elde edilen denklemler dairesel ve U-kesit kanallara uygulanmıştır. Eksenel akış derinliğinin dairesel kanalın çapına oranı şeklinde tanımlanan boyutsuz parametre cinsinden tanımlanan bağıntılar vermişlerdir ($Y = \frac{h}{D}$). Y 'nin $0,2 < Y < 0,9$ değerleri için maksimum hatanın %20 olduğu yaklaşık bir çözüm önerilmiş ve boyutsuz h sıçrama uzunluğu için yaklaşık bir ifade elde

edilmiştir $\frac{h_{cr}}{D} = \left(\frac{Q^2}{gD^5}\right)^{\frac{1}{4}}$. Ayrıca eşlenik akış derinliklerinin Froude sayısı ile olan ilişkisi için yaklaşık bir çözüm yöntemi kullanarak bir bağıntı türetmişler ve hidrolik sıçrama uzunluğu ile Froude arasındaki bağıntıyı da elde etmişlerdir. Bulgularını Stahl ve Hager (1999) tarafından elde edilen deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır.



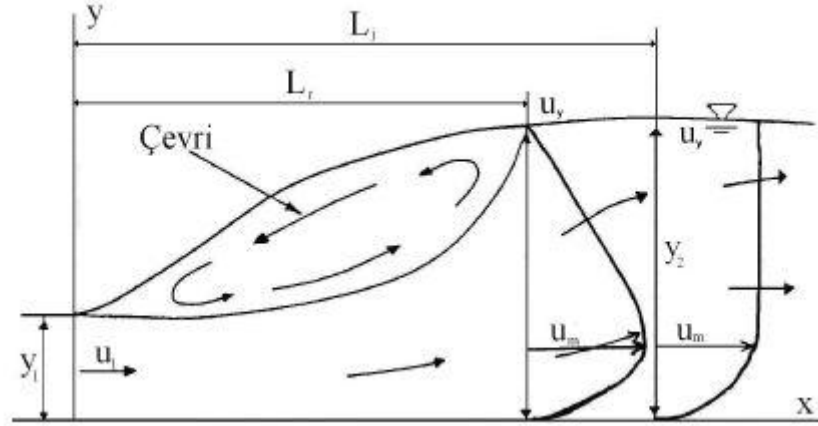
BÖLÜM ÜÇ

HİDROLİK SIÇRAMA İLE İLGİLİ TEMEL BİLGİLER

3.1 Hidrolik Sıçrama

Serbest yüzeyli akımlarda, akış derinliğinin kritik derinliğe eşit olduğu bir nokta mevcut ise mutlaka rejim değişikliği bulunmaktadır. Bu değişiklik nehir rejiminden sel rejimine ya da sel rejiminden nehir rejimine geçiş şeklinde kendini gösterebilmektedir. Nehir rejiminden sel rejimine geçiş tedrici olmakta, sel rejiminden nehir rejimine geçiş ise ani olmakta ve hidrolik sıçrama adını almaktadır.

Şekil 3.1’de yatay bir kanalda oluşan hidrolik sıçrama gösterilmektedir. Burada y_1 ve y_2 sırasıyla sıçramadan önceki ve sonraki eşlenik derinliklerdir. L_r çevri uzunluğu olup sıçramanın topuğundan çevrinin bitimine kadar olan yani serbest yüzeydeki hızın sıfır olduğu mesafedir. L_j ise sıçrama uzunluğudur, sıçramanın topuğundan hız dağılımının üniform olduğu kesite kadar olan, yani su yüzeyinin yatay konuma geldiği yere kadar olan mesafedir (Varol ve diğer, 2009).



Şekil 3.1 Hidrolik sıçrama (Varol ve diğer, 2009)

Sel rejimindeki akıslarda, akımı etkileyen küçük bir etki nedeni ile sıçrama olabilmektedir. Serbest yüzeyli boru akımlarında, sıçrama sonucunda, tam dolu akıma geçilerek basınçlı akım oluşabilmektedir. Bu durumun önlenmesi için

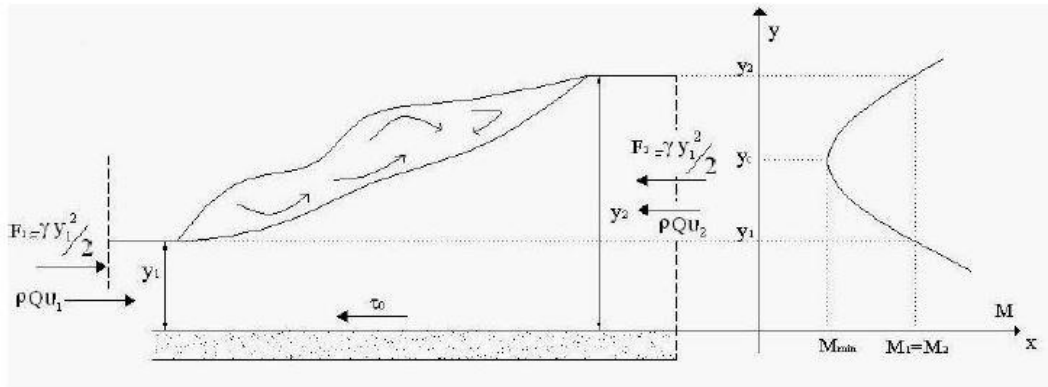
sıçrama sonrası yüksekliğin bilinmesi önem kazanmaktadır. Projelendirmede basınçlı akıma geçme riskinden dolayı sel rejiminde akıştan kaçınılmaktadır.

Kısaca sıçrama diye adlandırılan yersel veya yüzeysel sıçrama, üniform bir yatakta belirli bir durumdaki kararlı akımın serbest yüzeyinde meydana gelen yükselmedir. Yatağın üniformaluluğunu belirtmek suretiyle, tabanında eşik bulunan veya kesit genişlemesi vs. gibi hallerin sebep olduğu yükselme bu tarifin dışında bırakılmaktadır (Çeçen, 1972).

Hidrolik sıçrama olayı akımda büyük ölçüde enerji kaybına sebep olduğundan özellikle su yapılarının enerji kırıcı tesislerinde akımın enerjisini kırmak amacıyla, su alma yapılarında yetersiz su seviyelerinde su seviyesini artırmak için ve düşüm yatağında basıncı artırarak alttan kaldırmayı azaltmakta kullanılmaktadır. Ayrıca sıçrama sırasında oluşan türbülans bölgesinde akıma hava girişi ile oluşan hava baloncuklarından faydalanılarak atık suların arıtılması, kimyasal maddelerin katılmasında ve ölçme istasyonlarında kullanılmaktadır. Dolayısıyla hidrolik sıçrama sırasında oluşan akım yapısı başlı başına önemli bir konudur (Varol ve diğer, 2009)

3.2 Hidrolik Sıçrama Hesaplarında Kullanılan Bağıntılar

Hidrolik sıçrama, bir sabit dalga hareketi olarak kabul edilebilir (Şekil 3.1). Sıçramanın kısa bir mesafe dâhilinde sel rejimindeki akımın nehir rejimine geçmesi halinde meydana geldiği bilinmektedir.



Şekil: 3.2 Hidrolik sıçramada momentum korunumu (Varol ve diğer, 2009)

Dikdörtgen kesitli yatay bir kanalda, yerel değişikliğin meydana geldiği bölge içerisinde bulunan bir kesitte derinliğin y_{cr} değerinde olduğu varsayalım. Yerel değişikliğin memba tarafındaki akım derinliği y_1 , mansap tarafındaki derinliği y_2 olsun. (1) ve (2) kesitleri arasında kalan kontrol hacmine impuls- momentum denklemi uygulansın (Şekil 3.2).

Değişikliğin yerel olması nedeniyle kontrol hacminin uzunluğu küçük olmakta, dolayısıyla sürtünme ve eğim etkileri ihmal edilebilmektedir. Akım doğrultusunda etkiyen kuvvetler olarak basınç kuvvetleri alındığında, birim genişlik için impuls- momentum denklemi:

$$\gamma \frac{y_1^2}{2} - \gamma \frac{y_2^2}{2} = \rho q (V_2 - V_1) \quad (3.1)$$

şeklinde yazılmaktadır (Güney, 2010).

Burada γ suyun özgül ağırlığını, y_1 sıçrama öncesi su derinliğini, y_2 sıçrama sonrası su derinliğini, ρ su yoğunluğunu, q birim genişlik debisini ve V ise kesitsel ortalama hızı temsil etmektedir.

$q = V_1 y_1 = V_2 y_2$ süreklilik denklemi kullanılarak

$$\frac{\rho g}{2} (y_1 - y_2) (y_1 + y_2) = \rho q^2 \left(\frac{1}{y_2} - \frac{1}{y_1} \right) \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Akım üniform olmadığına göre $y_1 \neq y_2$ olup $(y_1 - y_2)$ ile bölünerek

$$2q^2 = g y_1 y_2 (y_1 + y_2) \quad (3.3)$$

elde edilmektedir.

$q^2 = g y_{cr}^3$ yazıldığında

$$2y_{cr}^3 = y_1 y_2^2 (y_1 + y_2) \quad (3.4)$$

$$Y_1 = \frac{y_1}{y_{cr}} ; Y_2 = \frac{y_2}{y_{cr}} \quad (3.5)$$

Boyutsuz derinlikleri kullanılarak elde edilen

$$Y_2 Y_1^2 + Y_1 Y_2^2 - 2 = 0 \quad (3.6)$$

Denkleminde $Y_1 = 1$ için $Y_2 = 1$

$Y_2 > 1$ için $Y_1 < 1$,

$Y_2 < 1$ için $Y_1 > 1$ olmakta.

Buradan elde edilen

$y_2 > y_{cr}$ ise $y_1 < y_{cr}$

$y_2 < y_{cr}$ ise $y_1 > y_{cr}$

sonuçları; kritik derinliğin bir tarafındaki akımın nehir, diğer tarafındaki akımın sel rejiminde olması gerektiğini, kritik derinliğin iki tarafındaki akım rejimlerinin farklı olduğunu göstermektedir.

Hidrolik sıçramanın memba ve mansabındaki y_1, y_2 derinlikleri eşlenik derinlikler olarak adlandırılmaktadır.

$2q^2 = gy_1y_2(y_1 + y_2)$ denkleminde $q = V_1y_1$ yazılır ve y_1^3 ile bölünürse Froude sayısı $Fr_1^2 = \frac{V_1^2}{(gy_1)}$ kullanılarak

$$\frac{y_2}{y_1} \left(\frac{y_2}{y_1} + 1 \right) - 2Fr_1^2 = 0 \quad (3.7)$$

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left[\pm \sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right] \quad (3.8)$$

(-) işareti negatif derinlik vereceğinden anlamsızdır.

Benzer işlemler sonunda

$$y_1 = \frac{y_2}{2} \left[\sqrt{1 + 8Fr_2^2} - 1 \right] \quad (3.9)$$

bağıntısı elde edilmektedir.

Hidrolik sıçramada oluşan yerel enerji kaybı:

$$h_{k,y} = \left(y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left(y_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (3.10)$$

bağıntısı, $2q^2 = gy_1y_2(y_1 + y_2)$ denklemi ile birleştirildiğinde

$$h_{k,y} = (y_1 - y_2) \left[1 - \frac{(y_1 + y_2)^2}{4y_1y_2} \right] = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1y_2} \quad (3.11)$$

elde edilmektedir. $y_2 > y_1$ olduğundan $h_{k,y} > 0$ çıkar. Böylece hidrolik sıçramada yerel enerji kaybı olduğu gösterilebilmektedir.

Memba taraftaki akımın nehir, mansap taraftaki akımın sel rejiminde olduğu varsayıldığında $y_1 > y_2$ olacağından $h_{k,y} < 0$ olur. Enerji kaybı negatif olamayacağından; nehir rejiminden sel rejimine geçişte bir yerel enerji kaybı oluşmadığı, geçişin sürekli olduğu gösterilmiş olur (Güney, 2010).

Hidrolik sıçramada serbest yüzeyde yatay bir eksen etrafında dönen bir çeviri hareketi gözlenmekte ve çeviri hareketi sınının enerjisinde ani bir azalma meydana getirmekte, yani yerel enerji kaybı oluşmaktadır. Hesaplarda seviye artışının bir x_0 ekseninde olduğu ve seviye süreksizliğinin varlığı kabul edilmekteyse de gerçekte bu seviye artışı sonlu bir Δx uzunluğu boyunca oluşmaktadır. Hidrolik sıçramanın uzunluğu konusunda çalışan birçok hidrolikçinin yaptığı çalışmalar sonucunda hidrolik sıçrama uzunluğunun, $4 < Fr_1 < 20$ için 4,5 ile 6,5 y_2 arasında olacağı söylenebilmektedir (Güney, 2010).

Yatay tabanlı açık kanallarda meydana gelen yüzeysel sıçramalar çeşitli tiplerde olabilmektedir. U.S. Bureau of Reclamation'ın çalışmalarına göre, bu sıçrama tipleri, gelen akımın (sıçramadan önceki) Froude sayısına ($Fr_1 = V_1/\sqrt{gy_1}$) göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

- $Fr_1 = 1$: Akım kritik rejimde, sıçrama yok.
- $Fr_1 = 1 \sim 1,7$: Sel rejimi derinliğinden nehir rejimi derinliğine geçiş tedrici olup, su yüzü dalgalanır. DALGALI SIÇRAMA olarak adlandırılır.
- $Fr_1 = 1,7 \sim 2,5$: Çevriler oluşmaya başlar Froude sayısı arttıkça çevriler şiddetlenir. ZAYIF SIÇRAMA olarak adlandırılır.

- $Fr_1 = 2,5 \sim 4,5$: Su yapılarında ve nehir şevlerinde önemli zararlar oluşturan dalgalar söz konusu olmakta SALINAN SIÇRAMA adı verilmektedir.
- $Fr_1 = 4,5 \sim 9,0$: Sıçramanın yeri mansap su derinliğindeki değişimden çok az etkilendiğinden kararlı bir denge halinde olmakta ve KARARLI SIÇRAMA olarak adlandırılmaktadır. Enerji kaybı % 45-70 mertebesinde olmaktadır.
- $Fr_1 > 9$: Dalgalı bir su yüzü ve sıçramadan sonra kuvvetli yüzey dalgaları oluşmakta, enerji kaybı % 85 e kadar ulaşabilmektedir. KUVVETLİ SIÇRAMA olarak adlandırılmaktadır.



BÖLÜM DÖRT

DENEY SİSTEMİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMİ

4.1 Deney Düzenegi

Deneyle Şekil 4.1 de gösterilen ve memba haznesi- boru- mansap çıkış bölmesi içeren deney düzenegi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Düzenekte boru uzunluğu 19,35 m ve boru yarıçapı 0,282 m'dir.



Şekil 4.1 Deney düzeneginin genel görünüşü

Düzenekte, gömme su deposundan pompayla alınan su, deve boynu boru ile sakinleştirici plakalardan geçirilerek hazneye iletilmektedir (Şekil 4.2). Akış debisi iletim borusu üzerinde yerleştirilen elektromanyetik debimetre ile ölçülmüştür (Şekil 4.3).



Şekil 4.2 Devede boynu boru ile giriş ve sakinleştirici plakalar



Şekil 4.3 Elektromanyetik debimetre

Mansap ucundaki bölmeden dökülen su tahliye kanalını takiben su deposuna geri verilmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Tahliye kanalı girişi

4.2 Ölçüm Yöntemi

Su derinlikleri, borunun girişinden itibaren belirli mesafelerde açılan piyezometre deliklerine hortumlarla ilişkilendirilmiş piyezometre borularında gerçekleştirilen okumalar ile belirlenmiştir. Ayrıca kanal üzerine açılan gözlem deliklerinin üzerine yerleştirilen ULS cihazları ile de okumalar gerçekleştirilmiştir. Giriş ve çıkış şartlarından etkilenmiş olmaları nedeniyle tüm piyezometre okumaları göz önüne alınmamış olup, güvenilir sonuç veren ara noktalarındaki piyezometre okumaları değerlendirilmiştir. Piyezometre borularının yer aldığı piyezometre panosu ve ULS cihazı Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.5 (a) Piyezometre panosu ve ULS (b) gözlem deliklerine yerleştirilen cihaz

ULS cihazı ile yapılan ölçümlerde; su yüzeyine ses dalgaları gönderilerek ve geri dönen dalgalar algılanarak su yüzeyi ile algılayıcı arasındaki mesafe belirlenebilmektedir. Bu cihaz ile elde edilen veriler aynı zamanda bilgisayar ortamına aktarılıp saklanmaktadır.

ULS cihazına ait farklı USS algılayıcıları mevcuttur. Kullanılan algılayıcı türü USS 20130'dur. Bu algılayıcı, algılayıcı ile su yüzeyi arasındaki düşey mesafenin en az 20 cm en çok 130 cm olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

Mansaptaki kapaklar yardımıyla da su kabartılıp hidrolik sıçrama elde edilmeye çalışılmaktadır (Şekil 4.6). Kapak açıklıkları değiştirilerek hidrolik sıçramanın yeri değiştirilebilmektedir.



Şekil 4.6 Mansap kapağı

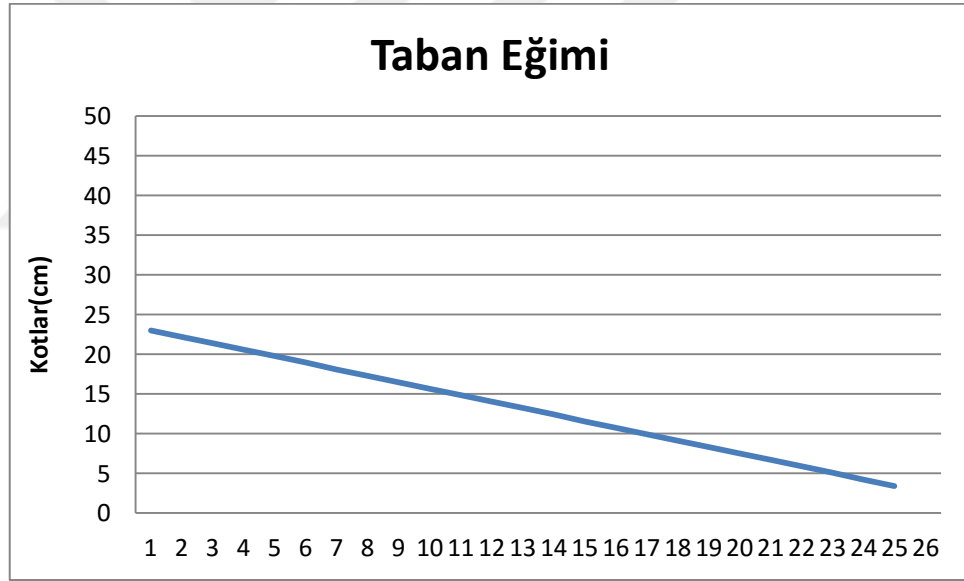
BÖLÜM BEŞ

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Taban Eğiminin Belirlenmesi

Deneysel çalışmalar, dairesel boru içerisindeki akışta hidrolik sıçrama gözlemlemek ve akım parametrelerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmalara başlamadan önce deney düzeneğinin mevcut durumu incelenmiş, taban eğimi nivo ölçümleri yardımıyla belirlenmiştir. Daha sonra deneylerin hangi taban eğiminde yapılacağı tartışılarak, deney düzeneği belirlenen taban eğimine getirilmiştir.

Deneylerin $I = 0,012$ taban eğiminde yapılması uygun görülmüştür. Taban eğimi Şekil 5.1 de gösterilmektedir.



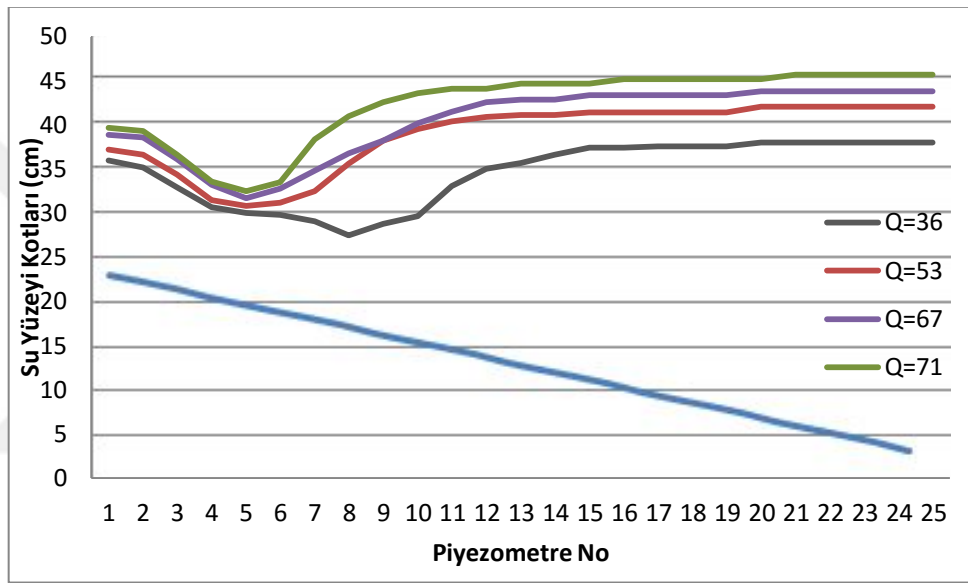
Şekil 5.1 Taban Eğimi

5.2 Deneysel Bulgular

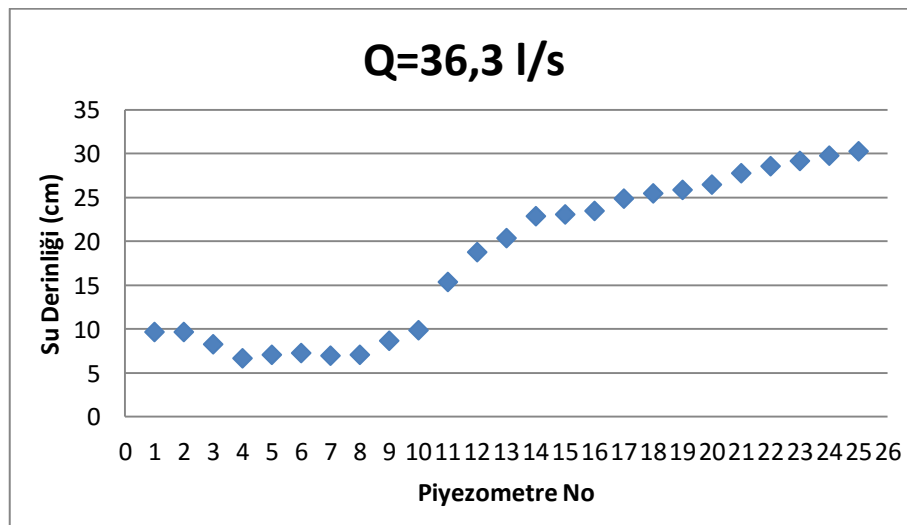
Deneysel çalışmalara sistemin eğim düzeltme çalışmaları bittikten sonra başlanmıştır. Deneylerde dört farklı debi değeri ve hidrolik sıçrama oluşturulabilecek farklı kapak açıklıkları kullanılmıştır. Kullanılan debiler $Q=36,3$ L/sn, $Q=53,7$ L/s, $Q=68,0$ L/s, $Q=72,0$ L/s şeklindedir. Sistemde daha küçük debilerde de deney

yapılabilmektedir. Ancak bu debilerde hidrolik sıçrama elde edilememektedir. Deneyle her bir debi için dört defa tekrarlanarak ortalama değerler hesaba katılmıştır. Deneyle sırasında piyezometre okumaları yapılmış ve bu okumaları kontrol etmek amacıyla iki noktada ULS cihazıyla su yükseklikleri ölçölmüştür.

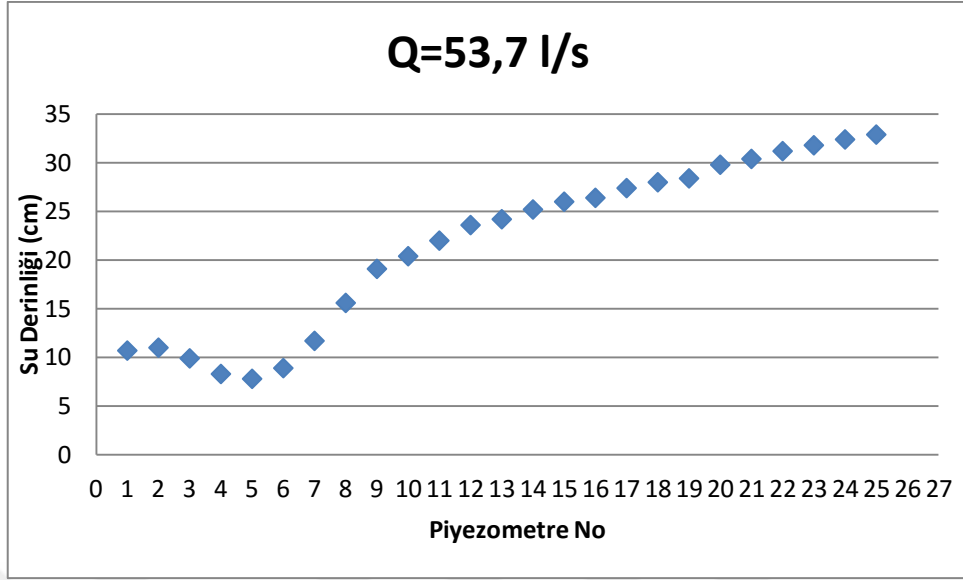
Farklı kapak açıklıkları ve debiler için yapılan okumalarla farklı su yüzeyi profilleri elde edilmiştir. Su derinlikleri ve taban eğimiyle verilen su yüzeyi kotları Şekil 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6'da verilmektedir. Her iki piyezometre borusu arası mesafe 60 cm'dir



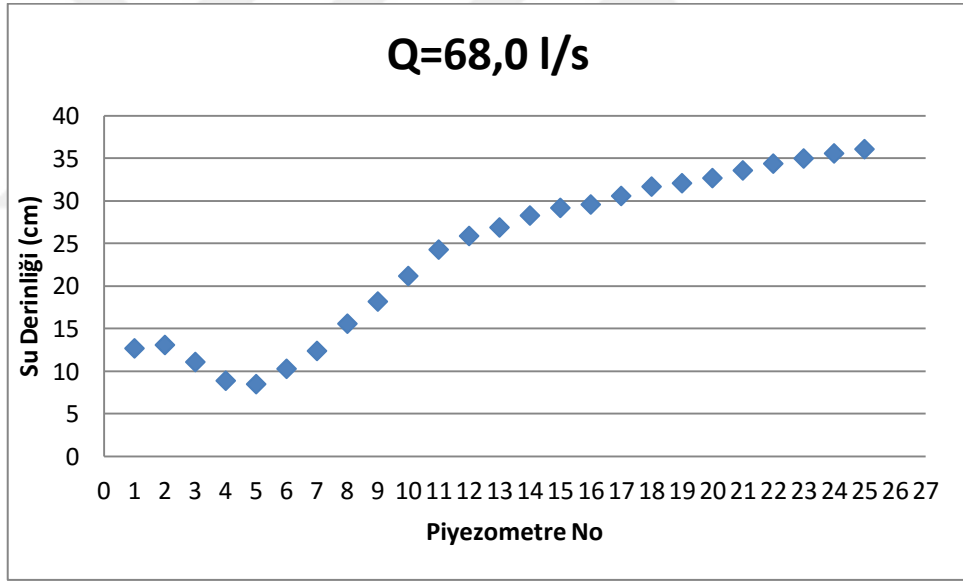
Şekil 5.2 Su yüzeyi kotları



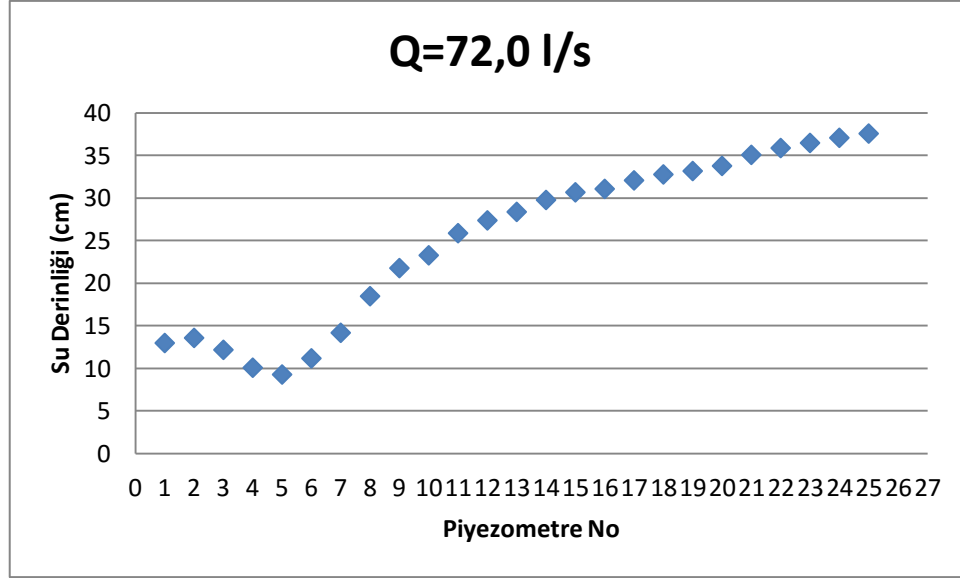
Şekil 5.3 Q= 36,3l/s debisinde su yüzeyi profili



Şekil 5.4 Q= 53,7 l/s debisinde su yüzeyi profili



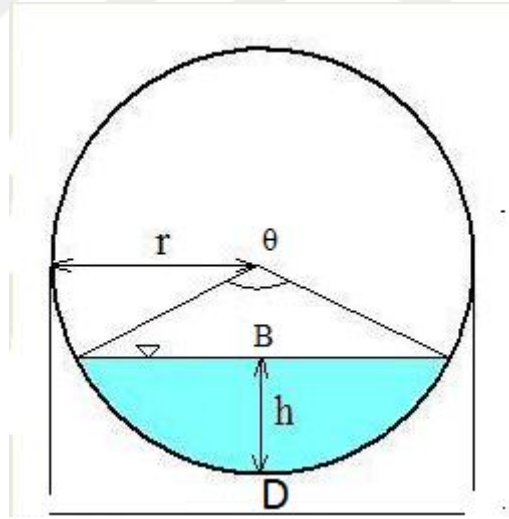
Şekil 5.5 Q=68,0 l/s debisinde su yüzeyi profili



Şekil 5.6 Q= 72,0 l/s debisinde su yüzeyi profili

Deneyler yapıldıktan sonra her bir deney için akımların kritik derinlikleri hesaplanmıştır. Şekil 5.7 de gösterilen notasyonlar kullanılarak kritik derinlik

$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{B}$ formülü ile hesaplanmıştır (Tablo 5.1).



Şekil 5.7 Hesaplalarda kullanılan notasyonlar

$$A: \text{Islak alan } A = \frac{r^2}{2} * (\theta - \sin(\theta)) \quad (5.1)$$

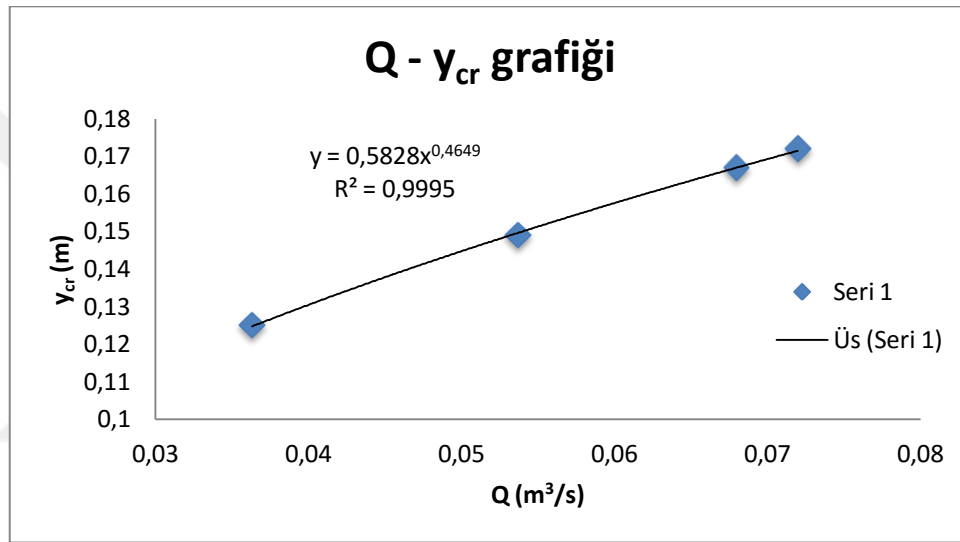
$$\theta = \text{Merkez açısı } \theta = 2 * \text{Arccos} \left(\frac{r-h}{r} \right) \quad (5.2)$$

$$B: \text{Serbest su yüzeyi genişliği } B = 2 * \sqrt{2 * r * h - h^2} \quad (5.3)$$

Tablo 5.1 Kritik derinlik hesabı

r (m)	Q (m ³ /s)	y _{cr}	θ	A (m ²)	B (m)	A ³ /B	Q ² /g
0,282	0,0363	0,125	112,339	0,041183	0,468508	0,000149	0,000134
0,282	0,0537	0,149	123,7195	0,052786	0,497333	0,000296	0,000294
0,282	0,068	0,167	131,8664	0,061901	0,514972	0,000461	0,000471
0,282	0,072	0,172	134,0822	0,064487	0,519323	0,000516	0,000528

Kritik derinlik değerleri hesaplandıktan sonra y_{cr} - Q grafiği çizilmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 y_{cr} - Q grafiği

Gözlemlenen her hidrolik sıçrama için sıçrama öncesi ve sonrası (eşlenik) derinlikler ve sıçrama uzunlukları belirlenmiştir. Hidrolik sıçramadan hemen önceki derinlik kullanılarak giriş Froude sayısı elde edilmiştir. Deneyle ilgili hidrolik parametreler Tablo 5.2’de verilmiştir. Hidrolik sıçrama uzunluğu çıkış derinliğine bölünerek boyutsuz hale getirilmiştir. Bu L_h/h_2 boyutsuz parametresi ile Froude sayıları arasındaki ilişkiler farklı eğilim durumları için Şekil 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 ve 5.13’te gösterilmektedir.

Tablo 5.2 Hidrolik parametreler

r (m)	Q (m ³ /s)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	Beta	A (m ²)	B (m)	V (m ² /s)	Fr	L _{hidrolik} (m)	L _n /h ₂	h ₂ /h ₁
0,282	0,0363	0,071	0,231	83,1260	0,0182	0,3742	1,9933	2,8847	3,38	14,6320	3,2535
0,282	0,0537	0,078	0,247	87,3275	0,0209	0,3894	2,5713	3,5449	4,60	18,6235	3,1667
0,282	0,068	0,085	0,269	91,3734	0,0237	0,4036	2,8740	3,7896	5,37	19,9628	3,1647
0,282	0,072	0,093	0,284	95,8330	0,0269	0,4186	2,6716	3,3617	5,62	19,7887	3,0538

Korelasyon katsayısı, bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve büyüklüğünü belirten katsayıdır. Bu katsayı (-1) ile (+1) arasında bir değer alır. Pozitif değerler direkt yönlü doğrusal ilişkiyi, negatif değerler ise ters yönlü doğrusal ilişkiyi gösterir. Eğri uydurma yaklaşımıyla elde edilen ampirik bağıntılar

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})}{nS_x S_y} \quad (5.4)$$

şeklinde tanımlanan korelasyon katsayısı ile istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir.

Bu bağıntılarda

x_i = Ölçülen değer

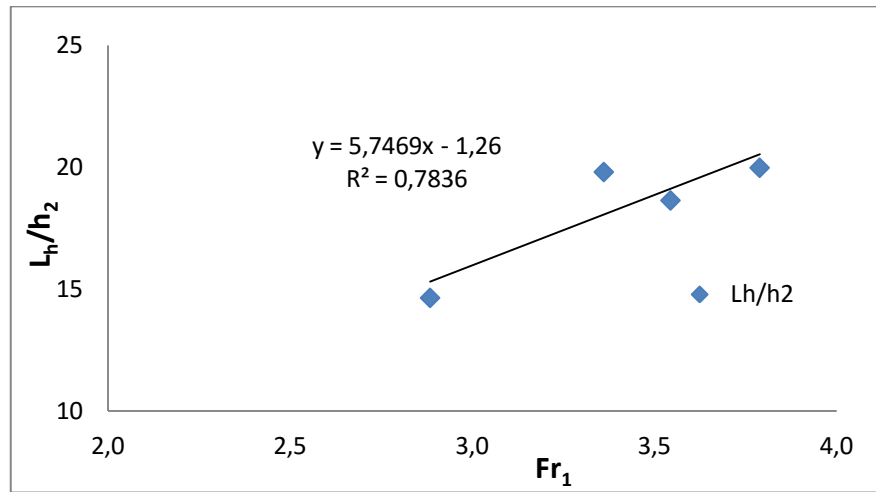
\bar{x} = Ölçülen değerlerin ortalaması

y_i = Regresyon denklemi sonucunda hesaplanan değer

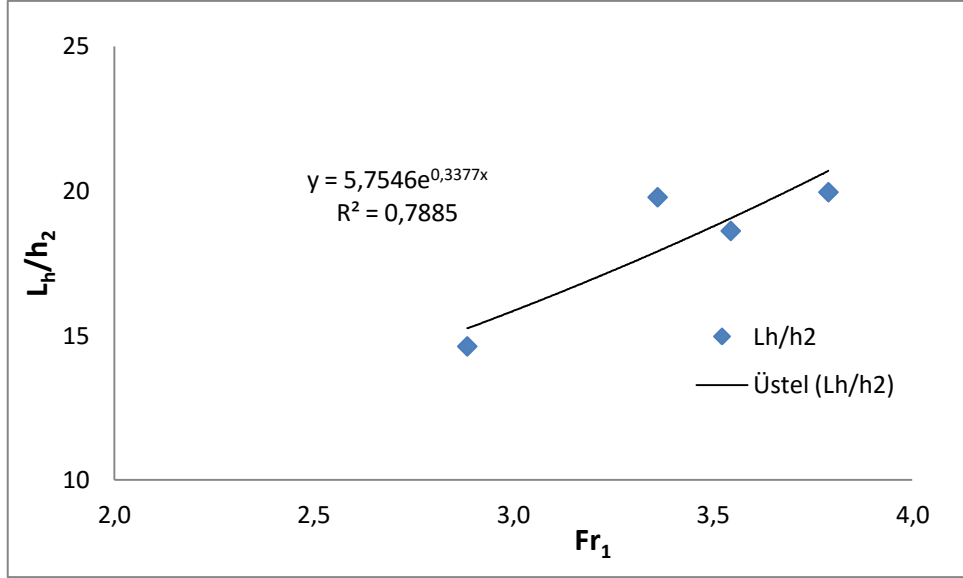
\bar{y} = Hesaplanan değerlerin ortalaması

n = Veri sayısı

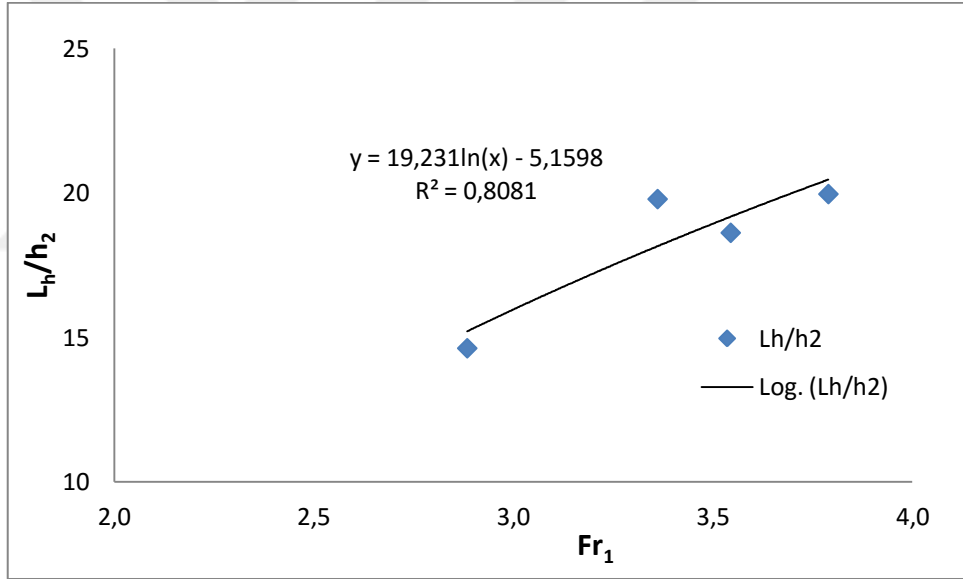
S_x, S_y = x ve y değerlerinin standart sapması



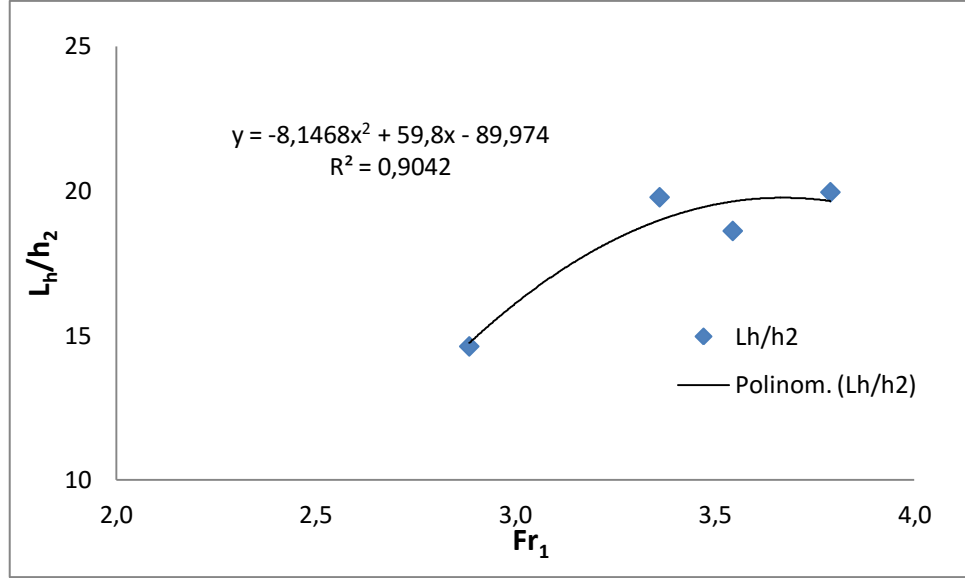
Şekil 5.9 Doğrusal eğilim durumunda L_n/h₂- Fr₁ ilişkisi



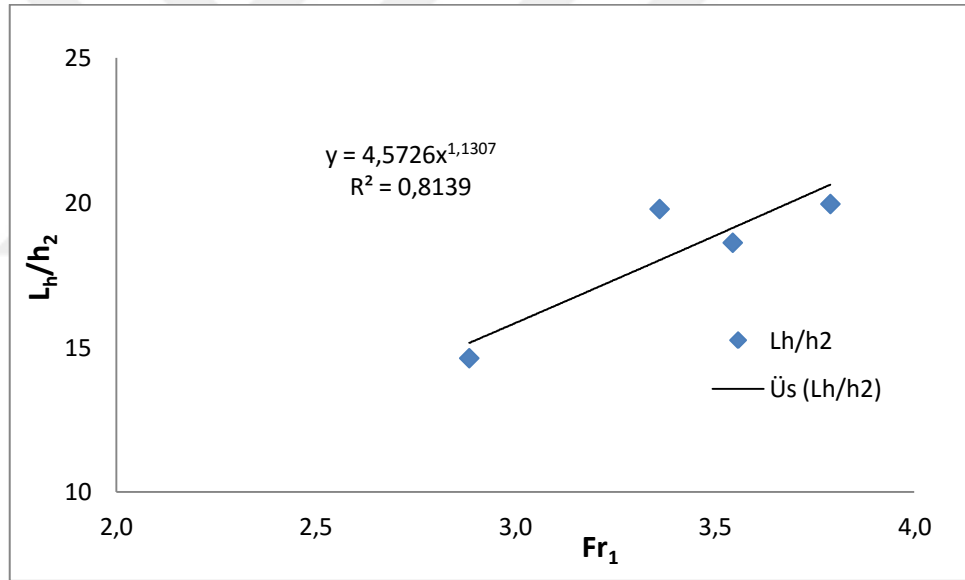
Şekil 5.10 Üstel eğilim durumunda L_r/h_2 - Fr_1 ilişkisi



Şekil 5.11 Logaritmik eğilim durumunda L_r/h_2 - Fr_1 ilişkisi

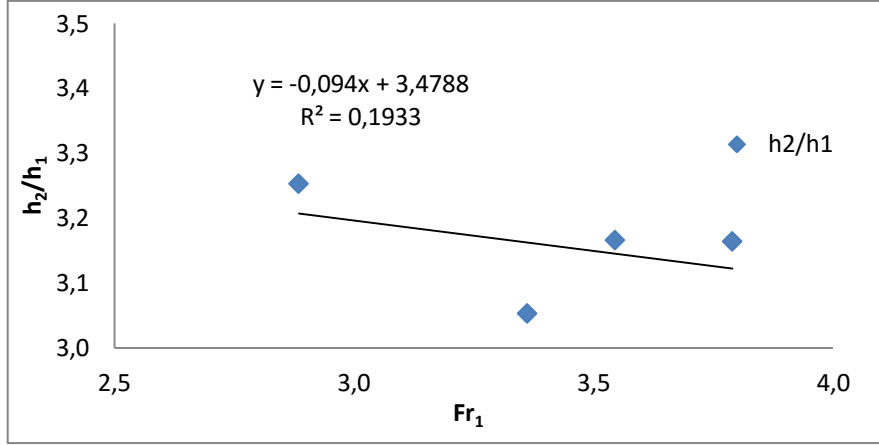


Şekil 5.12 Polinom eğilim durumunda L_h/h_2 - Fr_1 ilişkisi

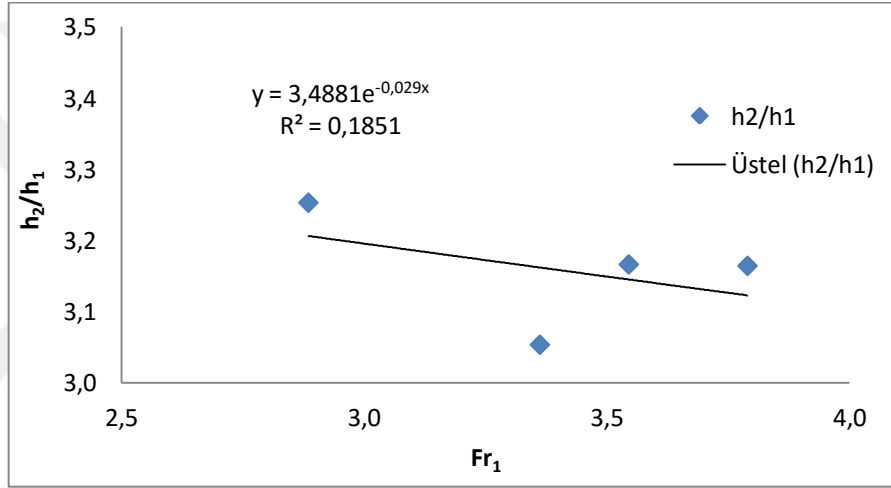


Şekil 5.13 Üs eğilim durumunda L_h/h_2 - Fr_1 ilişkisi

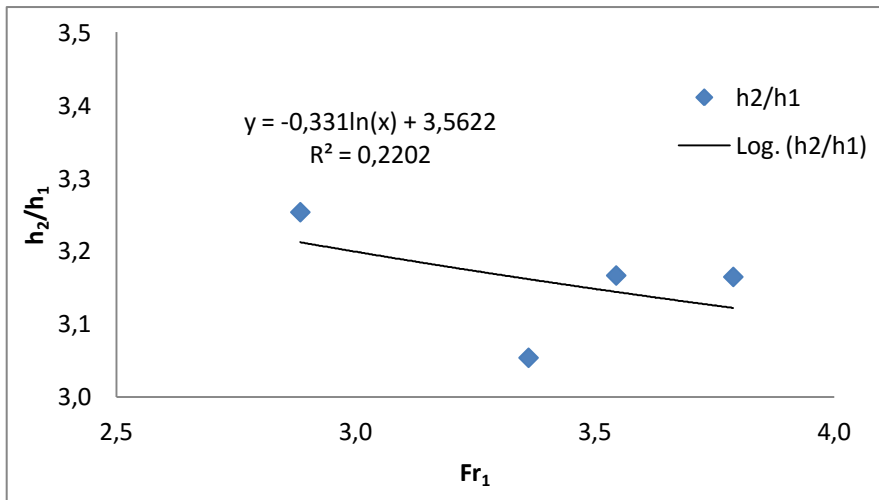
Hidrolik sıçrama sonrası derinliğin sıçrama öncesi derinliğe oranı ile Froude sayısı arasındaki ilişkiler farklı eğilim durumları için araştırılmıştır. Elde edilen bulgular Şekil 5.14, 5.15, 5.16, 5.17 ve 5.18'de verilmektedir.



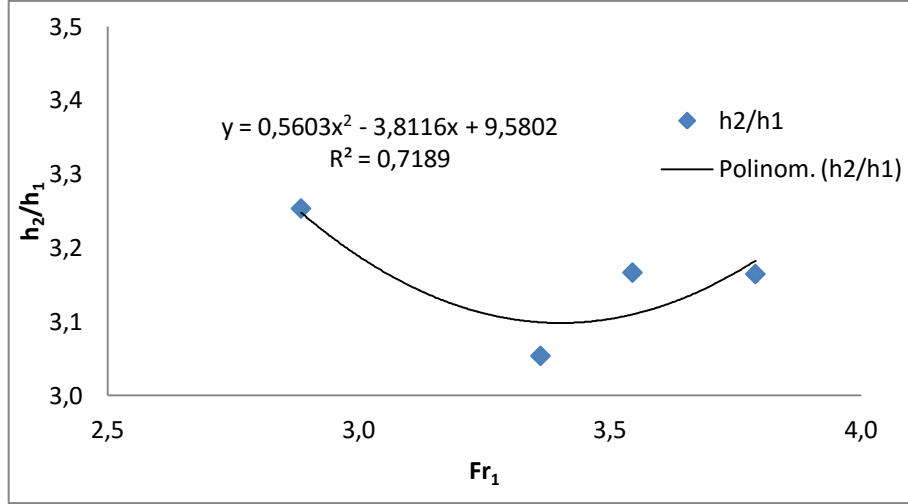
Şekil 5.14 Doğrusal eğilim durumunda h_2/h_1 - Fr_1 grafiği



Şekil 5.15 Üstel eğilim durumunda h_2/h_1 - Fr_1 grafiği

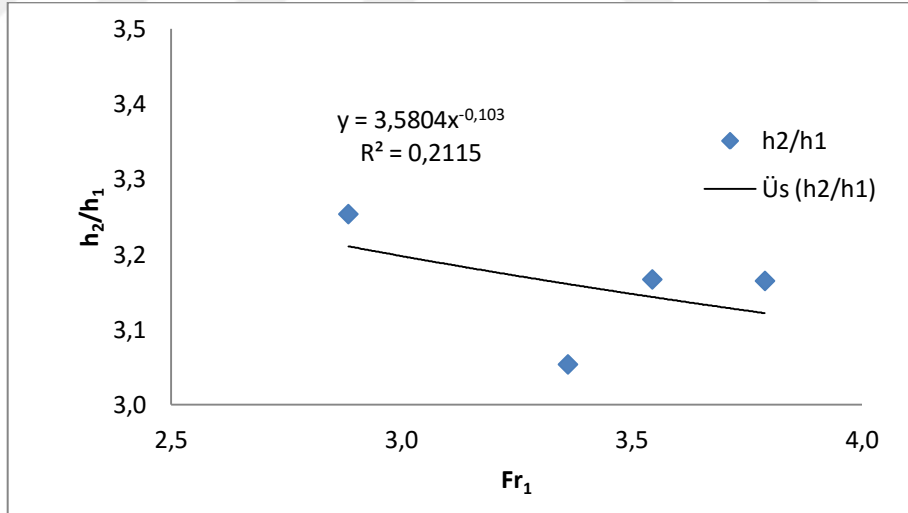


Şekil 5.16 Logaritmik eğilim durumunda h_2/h_1 - Fr_1 grafiği



Şekil 5.17 Polinom eğilim durumunda h_2/h_1 - Fr_1 grafiği

Her ne kadar matematiksel olarak polinomial bir denklem elde etmek mümkün ise de verilen bağıntıyla h_2/h_1 in 1 den küçük değerleri elde edileceğinden ve de hidrolik açıdan anlamsız olacağından bu tür bir bağıntı kabul edilebilir değildir yorumlarda göz önüne alınmayacak bir bağıntıdır.



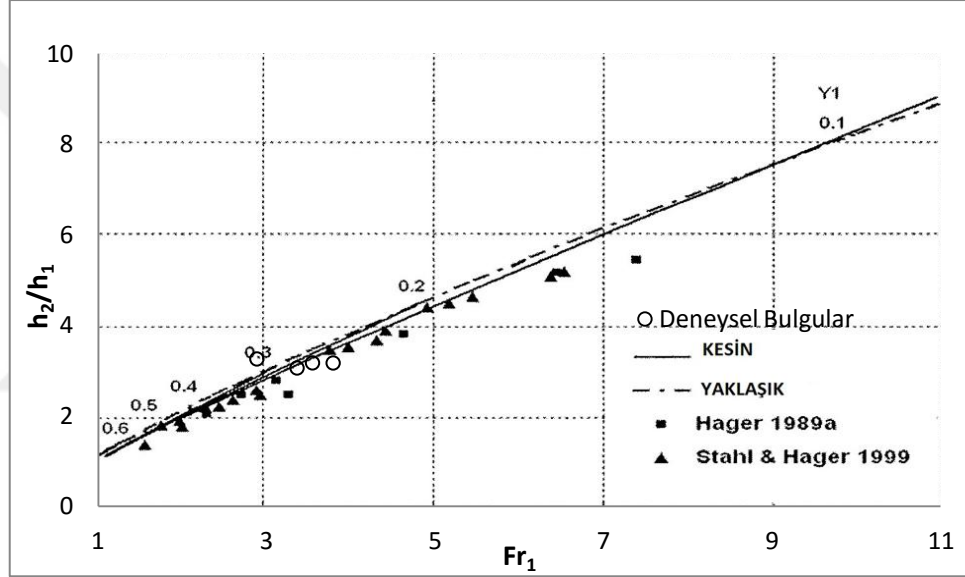
Şekil 5.18 Üs eğilim durumunda h_2/h_1 - Fr_1 grafiği

BÖLÜM ALTI

DENEYSEL VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

6.1 Deneysel Bulguların Literatürde Mevcut Grafiklerle Karşılaştırılması

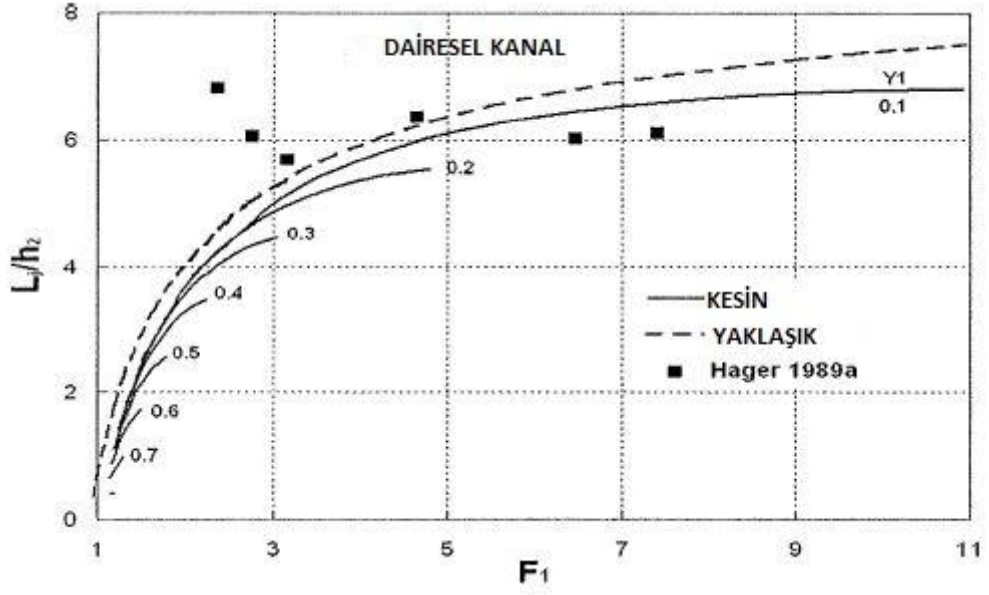
Farklı giriş Froude sayıları için deneylerden elde edilen eşlenik derinlik oranları Bushra ve Afzal (2006) tarafından verilen ve Şekil 6.1 de gösterilen grafik üzerine yerleştirilerek uyumluluğu araştırılmıştır.



Şekil 6.1 Bushra ve Afzal (2006) 'da verilen grafik üzerine yerleştirilen deneysel sonuçlar

Şekil 6.1den de görüleceği gibi deneysel bulgular literatürde verilen bu grafik ile uyum içindedir.

Farklı giriş Froude sayıları için deneylerden elde edilen boyutsuz hidrolik sıçrama uzunluğu L_h/h_2 Bushra ve Afzal (2006) tarafından verilen ve Şekil 6.2 de gösterilen grafik üzerine yerleştirilerek uyumluluğu araştırılmaya çalışılmıştır. Ancak deneysel bulgularımız şekilde verilen değerlerin çok daha büyük (20 mertebelerinde) olduğundan uyumlu olmadıkları sonucuna varılmıştır.



Şekil 6.2 Bushra ve Afzal (2006) $Fr_1 - L_j/h_2$ Grafiği

6.2 Literatürde Verilen Formüllerle Elde Edilen Verilerin Deneysel Bulgularla Karşılaştırılması

Deneysel çalışmalarla elde edilen L_j/h_1 değerleri Bushra ve Afzal (2006) da verilen bağıntılardan elde edilen sayısal sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

B_s taban eğimi olmak üzere,

$$\frac{L_j}{h_1} = 6,34 \left(\frac{h_2}{h_1} - 0,8 \right) \quad (6.1)$$

$$\frac{L_j}{h_1} = 10Fr_1 \quad (Fr_1 > 3 \text{ durumunda}) \quad (6.2)$$

$$\frac{L_j}{h_1} = 1,9(2 \exp(1,5 * Y_1) + \exp(-10B_s) - 1)(Fr_1 - 1) \quad (6.3)$$

$$Y_1 = \frac{h}{D}$$

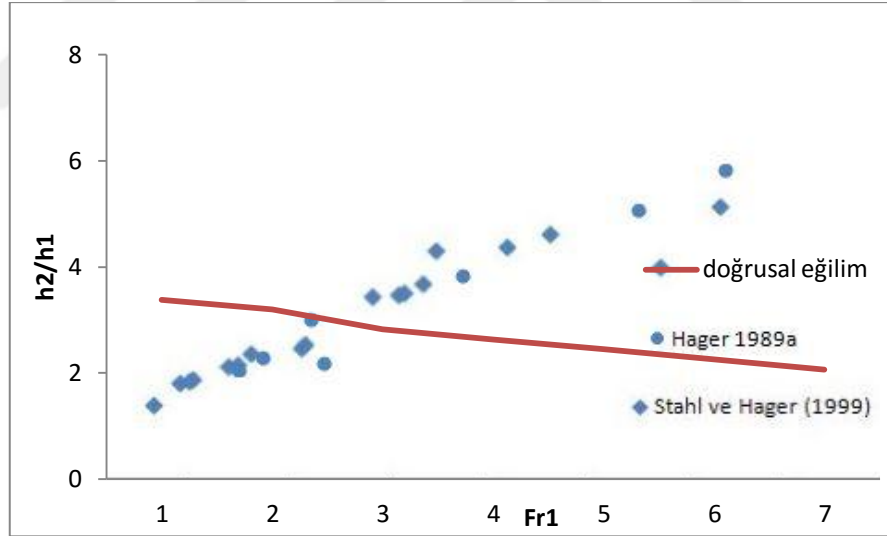
Olmak üzere Bushra ve Afzal (2006) da verilen bu bağıntılar kullanılarak elde edilen sayısal sonuçlar Tablo 6.1 de verilmektedir.

Tablo 6.1 L_h/h_1 boyutsuz hidrolik sıçrama uzunluğu için deneysel bulgular ve Bushra ve Afzal (2006) da verilen formüllerle elde edilen sayısal sonuçlar

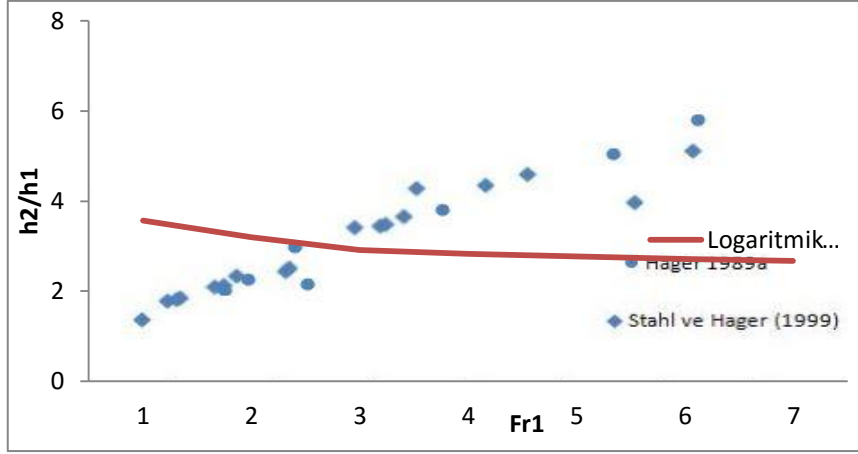
h_2/h_1	Fr	Y1	Deneysel	Formül 6.1	Formül 6.2	Formül 6.3
3,25	2,88	0,252	47,61	15,56	-	9,16
3,17	3,54	0,277	58,97	15,00	35,45	9,52
3,16	3,79	0,301	63,18	14,99	37,90	9,89
3,05	3,36	0,330	60,43	14,29	33,62	10,34

6.3 Eşlenik Derinlikler Oranı İçin Elde Edilen Ampirik Bağntıların Literatürde Mevcut Veriler Kullanılarak Test Edilmesi

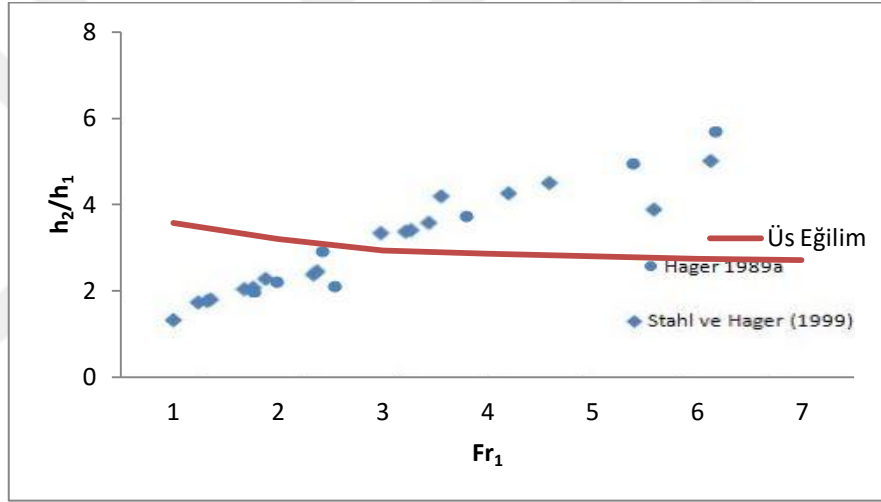
Giriş Froude sayısına bağlı olarak farklı eğilim durumları için elde edilen ampirik bağıntılar Hager (1989a) ve Stahl ve Hager (1999) da verilen veriler kullanılarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.3, 6.4, 6.5 ve 6.6 de verilmiştir.



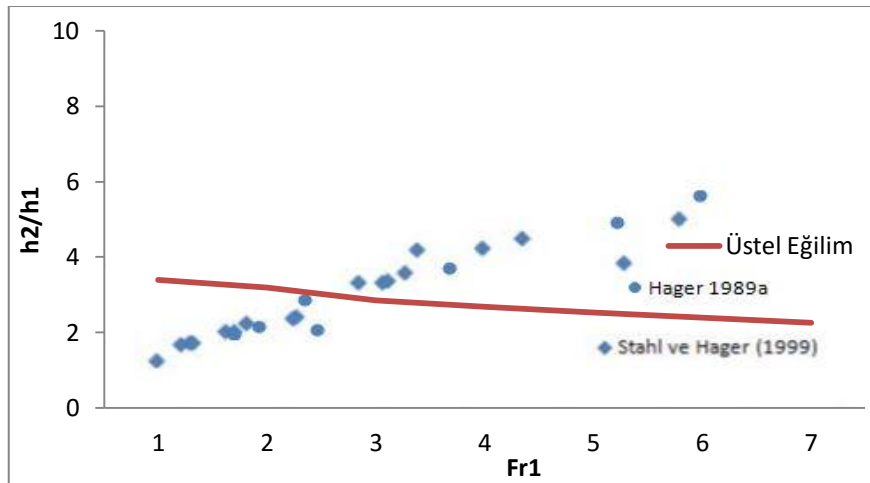
Şekil 6.3 Mevcut verilerin doğrusal eğilim bağıntısıyla ilişkisi



Şekil 6.4 Mevcut verilerin logaritmik eğilim bağıntısıyla ilişkisi



Şekil 6.5 Mevcut verilerin üs eğilim bağıntısıyla ilişkisi



Şekil 6.6 Mevcut verilerin üstel eğilim bağıntısıyla ilişkisi

BÖLÜM YEDİ

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada dairesel borularda hidrolik sıçrama deneysel ve sayısal olarak incelenmiş, deney verileri yardımıyla farklı debi ve kapak açıklıklarıyla değişen özellikleri gözlemlenmiştir.

Gerçekleştirilen bu deneyler sonucunda;

- Debi değişimlerinin ve kapak açıklıklarının Froude sayısını ve hidrolik sıçrama uzunluğunu etkilediği belirlenmiştir.

-Eşlenik derinlik oranlarının ve boyutsuz hidrolik sıçrama uzunluklarının giriş Froude sayısı ile değişimleri ile ilgili grafikler elde edilmiştir.

- Eşlenik derinlik oranlarının ve boyutsuz hidrolik sıçrama uzunluklarının giriş Froude sayısı ile değişimlerini veren ampirik bağıntılar farklı eğilim durumları için araştırılmıştır. Boyutsuz hidrolik sıçrama için en iyi uyumu polinom eğilim durumunun verdiği tespit edilmiştir. İstatistiksel açıdan anlamlı olması için elimizde yeterli deneysel sonuç olmamasına rağmen sınırlı sayıda deneysel bulgularla regresyon analizi yapılmış ve sadece o aralıkta geçerli olabilecek ampirik bağıntılar türetilmiştir. Bu nedenle beklendiği gibi literatürdeki bulgularla kabul edilebilir bir uyum elde edilememiştir. Bu konuda yapılacak çalışmalarda deney düzeneğinde iyileştirmeler yapıp farklı eğimler ve farklı giriş şartları oluşturulabilmesi hedeflenmelidir. Yeterli veri sayısı elde edilebilmesi durumunda bu istatistiksel çalışmanın tekrar edilmesiyle daha tutarlı ampirik bağıntılar araştırılabilecektir.

-Hidrolik sıçrama uzunluğu ile ilgili deneysel bulguların literatürde verilen bağıntılarla karşılaştırılması yapıldığında Formül 6.2 'ye en çok yaklaştığı görülmektedir. Deneysel değerler formül değerlerinin 1,5 ile 2 katı arasında değişmektedir.

- Farklı taban eğimleri ve farklı akım şartlarında gerçekleştirilecek yeni deneylerin daha hassas ölçüm cihazlarıyla gerçekleştirilmesi ve daha fazla veri kullanılarak ampirik bağıntının istatistiksel olarak geçerliliğinin araştırılması gelecekte yapılması planlanan çalışmalar olarak önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Bushra, A. ve Afzal, N. (2006). Hydraulic jump in circular and U-shaped channels, *Journal of Hydraulic Research*, 44 (4), 567-576.
- Çeçen, K. (1972). *Hidrolik: Açık kanallar*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Güney, M. Ş. (2010). *Laboratuar uygulamalı hidrolik*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 322, İzmir.
- Mitchell, S. (2008). Hydraulic jump in trapezoidal and circular channels, *Proceeding of The Institution of Civil Engineering*, 161-167.
- Stahl, H. ve Hager, W. H. (1999). Hydraulic jump in circular pipes, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 26, 3.
- Varol, F. A., Çevik, E. ve Yüksel, Y. (2009). Hidrolik sıçrama özelliklerinin etkiyen su jetiyle değişimi, *IV. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, 06 – 10 Temmuz 2009, İstanbul.