



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jet Akımının Hid. Sığ. Üz. Elk. Araşt.

Yüksek Lisans Tezi

AYÇA VAROL

50
07

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

1044

**JET AKIMININ HİDROLİK SIÇRAMA
ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

İnş. Müh. Fevziye Ayça VAROL

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Esin ÇEVİK (YTÜ)

İSTANBUL, 2007

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC): R 150/607

Kayıt No : 3725
Geldiği Yer : Feri Balmiser
Enstitüsü
Tarih : 27.12.2007
Fiyat : 4,35
Fatura No :
Ayniyat No : 23
Ek :

25507020399930207000

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜJET AKIMININ HİDROLİK SIÇRAMA
ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

607

İnş. Müh. Fevziye Ayça VAROL

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Esin ÇEVİK (YTÜ)

Prof. Dr. Esin ÇEVİK

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

Prof. Dr. Beyhan YEGEN

E. Çevik

Y. Yüksel

B. Yegen

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. TEORİ ve KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	2
2.1 Hidrolik Sıçrama	2
2.2 Hidrolik Sıçramanın Sınıflandırılması	8
2.2.1 Kanal Eğimine Göre Hidrolik Sıçrama	8
2.2.1.1 Yatay Kanalda Hidrolik Sıçrama	8
2.2.1.2 Eğimli Kanalda Hidrolik Sıçrama	9
2.2.2 Mansap Derinliğine Göre Hidrolik Sıçrama	11
2.3 Hidrolik Sıçramaya Jet Etkisi	12
2.4 Konu ile İlgili Çalışmalar	12
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	29
3.1 Giriş	29
3.2 Bir boyutlu kanal sistemi	29
3.3 Görüntü İşleme ile Ölçüm Sistemleri	44
4. TARTIŞMA	47
4.1 Su Yüzü Profilleri	47
4.2 Çevri Uzunlukları	52
4.3 Enerji Kaybı	58
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
5.1 Sonuçlar	61
5.2 Öneriler	62
KAYNAKLAR	63

SİMGE LİSTESİ

α	Kanal eğimi
A_1, A_2	Fr_1 'e bağlı katsayı
b	Kanal taban genişliği
ΔE	Enerji kaybı
E_1	Menba enerjisi
E_2	Mansap enerjisi
f_1	Profil katsayısı
$Fr_{1\text{limit}}$	Kırılmayan dalgalı sıçramanın oluşumunda akım Froude sayısının en üst limiti
f_2	Profil katsayısı
f_L	Boyutsuz parametre
Fr_1	Menba Froude sayısı
Fr_2	Mansap Froude sayısı
g	Yerçekimi ivmesi
L_j	Sıçrama uzunluğu
L_r	Çevri uzunluğu
N	Üstel bir değer
NR	Nehir rejimi
p	Hidrostatik basınç
p_1, p_2	Boyutsuz parametre
q	Birim genişlikten geçen debi
Q	Debi
q_j	Birim jet debisi
q_j	Boyutsuz jet debisi
ρ	Akışkanın özgül kütlesi
Re	Reynolds sayısı
S	Batıklık faktörü
S_0	Ters kanal eğimi
SR	Sel rejimi
τ	Kayma gerilmesi
u	x yönündeki hız bileşeni
u_0	Geri dönen akım hızı
u_1	Sıçramadan önceki hız
u_2	Sıçramadan sonraki hız
u_j	Jet hızı
u_j	Boyutsuz jet hızı
u_m	Maksimum ortalama hız
u_y	Su yüzeyindeki hız
U_1	Akım hızı
v	y yönündeki hız bileşeni
y_1	Sıçramadan önceki derinlik
y_2	Sıçramadan sonraki derinlik
y_3, y_4	Batık sıçramada menba ve mansap derinlikleri
y_c	Kritik derinlik
y_j	Jet kalınlığı
y_t	Mansap su derinliği
β	Boyutsuz parametre
δ	Sınır tabakası kalınlığı
θ	Jetin yatayla yaptığı açı

υ
κ

Kinematik viskozite
Hız dağılımı düzeltme faktörü

KISALTMA LİSTESİ

ABS	Acrilo Nitril Bütadien Styren
ADV	Akustik dopler hız ölçer
USBR	United States Bureau of Reclamation

Sekil 2.3 Hidrolik sızdırmada momentumun korunumu	3
Sekil 2.4 Hidrolik sızdırma ve dalgul enjeksiyon akım derinliği etkisinin bilimsel gösterimi	4
Sekil 2.5 Fırtına sızdırma ve hidrolik sızdırma özellikleri (Chow, 1958)	5
Sekil 2.6 Yavaş sızdırma olayları hidrolik sızdırma tipleri (Yüksel, 2005)	9
Sekil 2.7 Yavaş sızdırma hidrolik sızdırma tipleri (Yüksel, 2005)	10
Sekil 2.8 Serbest ve baskı sızdırma halleri (Yüksel, 2005)	12
Sekil 2.9 Derin sızdırma serbest sızdırma (Ead ve Rajaratnam (2002))	12
Sekil 2.10 Dalgul sızdırma akım profilleri (a) 1. durum ve (b) 2. durum (Ohtsu ve diğ. 2005)	14
Sekil 2.11 $Re = 2 \times 10^4$ için dalgul sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Ohtsu ve diğ. 2005)	15
Sekil 2.12 Dalgul sızdırma akım profillerinin simülasyonu hidrolik sızdırma $Re = 2 \times 10^4$ (Ohtsu ve diğ. 2005)	15
Sekil 2.13 Hidrolik sızdırma akım profillerinin simülasyonu (a) 1. durum ve (b) 2. durum (Ohtsu ve diğ. 2005)	16
Sekil 2.14 (2.28) ve (2.29) denklemlerinin grafiği	20
Sekil 2.15 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (a) 1. durum ve (b) 2. durum (Yüksel ve diğ. 2005)	21
Sekil 2.16 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	22
Sekil 2.17 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	23
Sekil 2.18 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	24
Sekil 2.19 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	25
Sekil 2.20 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	26
Sekil 2.21 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	27
Sekil 2.22 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	28
Sekil 2.23 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	29
Sekil 2.24 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	30
Sekil 2.25 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	31
Sekil 2.26 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	32
Sekil 2.27 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	33
Sekil 2.28 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	34
Sekil 2.29 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	35
Sekil 2.30 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	36
Sekil 2.31 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	37
Sekil 2.32 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	38
Sekil 2.33 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	39
Sekil 2.34 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	40
Sekil 2.35 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	41
Sekil 2.36 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	42
Sekil 2.37 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	43
Sekil 2.38 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	44
Sekil 2.39 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	45
Sekil 2.40 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	46
Sekil 2.41 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	47
Sekil 2.42 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	48
Sekil 2.43 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	49
Sekil 2.44 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	50
Sekil 2.45 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	51
Sekil 2.46 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	52
Sekil 2.47 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	53
Sekil 2.48 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	54
Sekil 2.49 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	55
Sekil 2.50 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	56
Sekil 2.51 Fırtına sızdırma akım profillerinin simülasyonu (Yüksel ve diğ. 2005)	57

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Hidrolik sıçrama (Bostan, 2004)	2
Şekil 2.2 Sıçramada ortalama hız dağılımı (Narayanan, 1975)	3
Şekil 2.3 Hidrolik sıçramada momentumun korunumu	5
Şekil 2.4 Hidrolik sıçrama ve özgül enerji-akım derinliği eğrisinin birlikte gösterimi	6
Şekil 2.5 Froude sayısına göre hidrolik sıçrama özellikleri (Chow, 1995)	7
Şekil 2.6 Yatay kanalda oluşan hidrolik sıçrama tipleri (Yüksel, 2005)	9
Şekil 2.7 Eğimli kanalda hidrolik sıçrama tipleri (Yüksel, 2005)	10
Şekil 2.8 Serbest ve batık sıçrama halleri (Yüksel, 2005)	11
Şekil 2.9 Dalgalı tabanlarda serbest sıçrama (Ead ve Rajaratnam (2002))	17
Şekil 2.10 Dalgalı sıçramanın akım şartları (a) 1.durum ve (b) 2.durum (Ohtsu ve diğ, 2003)	19
Şekil 2.11 $Re \geq 6.5 \times 10^4$ için dalgalı sıçramanın sınıflandırılması (Ohtsu ve diğ, 2003)	20
Şekil 2.12 Dalgalı sıçramanın oluşumundaki hidrolik şartlar $Re_1 \geq 6.5 \times 10^4$ (Ohtsu ve diğ, 2003)	22
Şekil 2.13. Hidrolik sıçramadaki türbülans karakteristikleri (Liu ve diğ. (2004))	23
Şekil 2.14 (2.28) ve (2.29) denklemlerinin grafiği	24
Şekil 2.15 Farklı açılarda Froude sayısına göre jetli ve jetsiz durumlar için çevri uzunluğu (Yüksel vd., 2004)	25
Şekil 2.16 Jetli ve jetsiz sıçramada su yüzü profilleri (Yüksel vd., 1999)	27
Şekil 2.17 Boyutsuz enerji kaybının Fr_1 sayısı ile değişimi (Yüksel, 2004)	28
Şekil 2.18 Rölatif enerji kaybının Fr_1 sayısı ile değişimi (Yüksel, 2004)	28
Şekil 3.1 Kanal sistemin genel görünümü	29
Şekil 3.2 Kanalın şematik görünümü	30
Şekil 3.3 Jet aparatı	31
Şekil 3.4 Jetli hidrolik sıçramanın oluşumu	32
Şekil 3.5 Jetten çıkan suyun sıçramaya etkiye açısı	33
Şekil 3.6 Jetin etkidiği yer	34
Şekil 3.7 $Fr_1=3.43$, jet açısı 60° için hidrolik sıçramalar	36
Şekil 4.1 $Fr_1=3.43$, jet açısı 30° için su yüzü profilleri	48
Şekil 4.2 $Fr_1=3.43$, jet açısı 45° için su yüzü profilleri	48
Şekil 4.3 $Fr_1=3.43$, jet açısı 60° için su yüzü profilleri	49
Şekil 4.4 $Fr_1=3.43$, 1.jet debisi için su yüzü profilleri	49
Şekil 4.5 $Fr_1=3.43$, 2.jet debisi için su yüzü profilleri	50
Şekil 4.6 $Fr_1=3.43$, 3.jet debisi için su yüzü profilleri	50
Şekil 4.7 $Fr_1=3.43$, 4.jet debisi için su yüzü profilleri	51
Şekil 4.8 $Fr_1=3.43$, 5.jet debisi için su yüzü profilleri	51
Şekil 4.9 $Fr_1=3.43$ için çevri uzunluğunun belirlenmesi (Çevri uzunluğunun mansabına damlatıldığında)	53
Şekil 4.10 $Fr_1=3.43$ için çevri uzunluğunun belirlenmesi (Çevri uzunluğu içine damlatıldığında)	53
Şekil 4.11 30° su jeti aparatı için çevri uzunluğunun menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi. ..	54
Şekil 4.12 Çevri uzunluğunun menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi	54
Şekil 4.13 1.jet için (a) farklı açılarda (b) açı farkı gözötilmeksizin çevri uzunluğunun menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi	55
Şekil 4.14 3.jet için (a) farklı açılarda (b) açı farkı gözötilmeksizin çevri uzunluğunun menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi	56
Şekil 4.15 4.jet için (a) farklı açılarda (b) açı farkı gözötilmeksizin çevri uzunluğunun menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi	57

Şekil 4.16 Jet açısı 45^0 için enerji kaybının menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi	59
Şekil 4.17 Enerji kaybının menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi.....	59
Şekil 4.18 Jet açısı 45^0 için rölatif enerji kaybının menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi.....	60
Şekil 4.19 Rölatif enerji kaybının menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi	60

Çizelge 2.2 Klasik klasik sörmane için çevri uzundığı özellikleri (Hager vd., 1990)	16
Çizelge 3.1 Sayın hidrolik sörmane topuğuna ölçme ağıları	33
Çizelge 3.2 $Fr=3.43$ için deney şartları	38
Çizelge 3.3 $Fr=3.71$ için deney şartları	39
Çizelge 3.4 $Fr=4.12$ için deney şartları	40
Çizelge 3.5 $Fr=4.37$ için deney şartları	41
Çizelge 3.6 $Fr=4.59$ için deney şartları	42
Çizelge 3.7 $Fr=4.83$ için deney şartları	43
Çizelge 3.8 Video kamerasının özellikleri	45
Çizelge 3.9 Çiftliğin işleme döneminin statik mikro video DC 30	46

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Hidrolik sıçrama uzunluğunun hesabı için bazı amprik formüller.....	7
Çizelge 2.2 Klasik hidrolik sıçrama için çevri uzunluğu özellikleri (Hager vd.,1990).....	16
Çizelge 3.1 Suyun hidrolik sıçrama topuğuna etkime açıları.....	33
Çizelge 3.2 $Fr_1=3.43$ için deney şartları	38
Çizelge 3.3 $Fr_1=3.71$ için deney şartları	39
Çizelge 3.4 $Fr_1=4.12$ için deney şartları	40
Çizelge 3.5 $Fr_1=4.37$ için deney şartları	41
Çizelge 3.6 $Fr_1=4.59$ için deney şartları	42
Çizelge 3.7 $Fr_1=4.83$ için deney şartları	43
Çizelge 3.8 Video kameranın özellikleri	45
Çizelge 3.9 Görüntü işleme donanım sistemi miro video DC 30.....	46

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bilimsel tecrübelerinden faydalandığım, ilgisini benden esirgemeyen, her konuda yardımcı olan saygı değer hocam Prof. Dr. Esin Çevik'e teşekkür ederim. Çalışmam esnasında görüş ve tavsiyelerinden faydalandığım Prof. Dr. Yalçın Yüksel'e teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca Yard.Doç.Dr.Tuba Bostan'a, Hidrolik Anabilim dalındaki tüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve Arş.Gör.Berna Ayat'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

İstanbul'a geldiğimden beri her zaman yanımda olan, deneylerim sırasında desteğini esirgemeyen Nilgün Oruçtut'a yürekten teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen, her şartta yanımda olan, tatil nedir bilmeyip bana tezimde yardımcı olan annem, babam ve kardeşime öncelikle emeklerinden dolayı yürekten teşekkür ederim. İyi ki varsınız ve iyi ki benimlesiniz.

Ocak, 2007

İnş. Müh. Fevziye Ayça Varol

ÖZET

Bu çalışmada yatay kanalda farklı debilerdeki su jetlerinin hidrolik sıçramaya etkisi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar 75 mm genişliğinde, 150 mm derinliğinde ve 5 m uzunluğundaki kanal da gerçekleştirilmiştir. Deneyler 3.43 ile 4.83 arasında 6 farklı Froude sayısı için, 5 farklı su jeti debisinde ve su jeti etkime açısı 30° , 45° ve 60° şartlarında gerçekleştirilmiştir. Serbest sıçrama ve jetli sıçrama halleri yüksek hızlı bir SVHS kamera yardımı ile görüntü işleme tekniği kullanılarak incelenmiştir. Serbest hidrolik sıçrama ve jetli haller için akım yapısı, sıçramanın çevri uzunluğu, su yüzü profilleri ve enerji kaybı araştırılmış ve karşılaştırılmıştır.

Su yüzü profillerinin belirlenmesi için çizilen bütün grafiklerden, etki ettirilen su jetinin debisi arttıkça sıçramanın menbaya doğru yaklaşmakta olduğu gözlenmiştir. İlave jet durumunda sıçrama yüzey profili dikliğinin serbest sıçramanın su yüzeyi profili ile karşılaştırıldığında arttığı gözlenmiştir. Aynı zamanda su jeti debisi arttıkça sıçramanın mansabındaki derinlik, y_2 artmaktadır. Hidrolik sıçramaya su jeti etki ettirildiğinde özellikle küçük Froude sayılarında serbest sıçramaya göre çevri uzunluğunun azaldığı görülmüştür. Jetli ve jetsiz durumlarda çevri uzunlukları menba Froude sayısının artmasıyla artmaktadır. Menba derinliği ve serbest sıçramada kaybolan enerjiye göre boyutsuzlaştırılan enerji kaybının (ΔE) başlangıç Froude sayısı ile değişimi grafiklerine bakıldığında Froude sayısı arttıkça enerji kaybı hem jetli hem de jetsiz halde artmaktadır. Su jeti etki ettirildiğinde serbest sıçramaya göre enerji kaybının daha fazla olduğu görülmektedir. Etki ettirilen su jeti debisi arttıkça kaybolan enerji miktarı da artmaktadır.

Anahtar kelimeler: Hidrolik sıçrama, enerji kaybı, su jeti etkisi, çevri uzunluğu.

ABSTRACT

In this study, effect of water jet with different flow rates on the hydraulic jump in horizontal channel has been investigated. The experiments were carried out in the 75 mm width, 150 mm depth and 5 m length water channel. Experiments were carried out for six different upstream Froude numbers in the range of 3.43- 4.83 and five different water jet discharges. Water jets were applied with 30° , 45° and 60° angles to the toe of the jump. Free jump and jumps with jets were analyzed by image processing technique with a high speed SVHS camera. Flow structures, roller lengths, water surface profiles and energy losses during free hydraulic jump and hydraulic jump with water jet were studied and compared.

According to graphics plotted to determine the water surface profile change with water jets, hydraulic jumps were observed moved to upstream of the flow with increasing water jet flowrate. The steepness of the surface profiles during hydraulic jumps with water jet increased when compared with free hydraulic jump, also downstream water depth, y_2 , increases with increasing water jet discharge. Roller length increased with increasing upstream Froude number. Roller length decreased with respect to that of the free hydraulic jump when the hydraulic jump with water jet. The normalized energy losses with respect to upstream water depth and the energy loss of the free hydraulic jump increased with increasing Froude number both in free hydraulic jump and the hydraulic jump with water jet. The energy losses in hydraulic jump with water jet were obtained higher than that of the free hydraulic jump. The increase in energy loss was also observed as the jet flow rate increases.

Key Words: Hydraulic jump, energy losses, effect of water jet, roller length.

1. GİRİŞ

Hidrolik sıçrama, açık kanal akımlarında akımın sel rejiminden nehir rejimine geçişi sırasında su seviyesinde ani ve süreksiz bir artışın meydana gelmesidir. Hidrolik sıçrama sırasında büyük ölçekli türbülans yapısıyla birlikte önemli miktarda enerji kaybı meydana gelmektedir.

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.

Yüksel ve diğ.(1999) ile Yüksel ve diğ. (2004)'te plunging tipi kırılan dalganın akım yapısının hidrolik sıçramadaki çevrinin hemen topuğuna uygulanan su jeti ile oluşacak akım yapısı ile benzeştiğini ifade etmişlerdir. Bu amaçla yatay kanalda hidrolik sıçramanın topuğuna 30°, 45°, 60°'lik değişik açılarda sabit debili su jeti akımı uygulanarak plunging tipi kırılmaya benzeştirilmeye çalışılmıştır. Bostan (2004)'te yine aynı amaçla hem yatay kanal hem de eğimli kanalda deneyler gerçekleştirilmiştir.

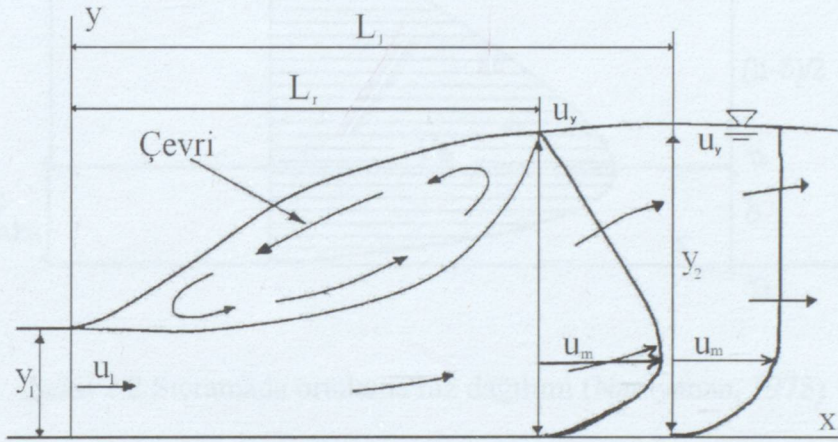
Bu çalışmada Bostan (2004)'ten farklı olarak, hidrolik sıçrama topuğuna 5 farklı debide su jetleri uygulanıp hidrolik sıçrama mekanizması ve özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Yatay kanalda oluşturulan serbest sıçramaya 5 farklı su jeti debisi (0,0467; 0,0539; 0,0638; 0,0782 ve 0,0972 lt/sn) ve 30, 45 ve 60 derecelik 3 farklı açıyla su jetleri uygulanmıştır.

Çalışma giriş bölümü ile birlikte toplam beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde konu ile ilgili teori ve daha önceden yapılmış çalışmalar anlatılmıştır. Üçüncü bölümde deneysel çalışmalar başlığı altında deney sistemi anlatılmış ve deney şartları belirtilmiştir. Dördüncü bölümde elde edilen deney sonuçlarına göre çizilmiş grafikler verilerek değerlendirilmiştir. Beşinci bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. TEORİ ve KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2.1 Hidrolik Sıçrama

Hidrolik sıçrama, açık kanallarda sel rejiminden nehir rejimine geçişte akım derinliğinin ani bir şekilde yükselmesine yol açan, yüzeyde bir süreksizlik oluşturan hidrodinamik bir süreçtir. Hidrolik sıçrama esnasındaki akım yapısı ortama çok miktarda hava girişi, enerji kaybı, yüzey dalgaları ve saçılımlar ile oldukça şiddetli bir türbülanslı yapının gelişmesiyle karakterize edilir. Hidrolik sıçrama sırasında oluşan bu büyük ölçekli türbülanslı bölge çevri bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Araştırmacılar (Hoyt ve Sellin, 1989; Long ve diğ.,1991) bu çevri bölgesindeki, türbülans çevrilerini ve sirkülasyon mekanizmasını detaylı olarak açıklamışlardır. Yapılan çalışmalar hidrolik sıçramada en büyük hava girişinin hidrolik sıçramanın başlangıcında olduğunu göstermiştir.



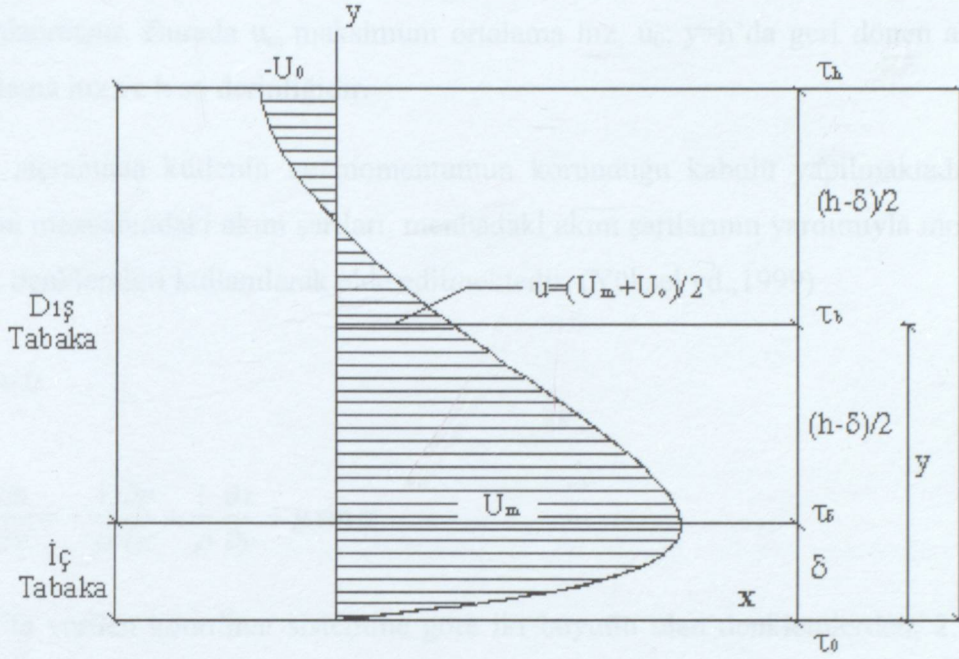
Şekil 2.1 Hidrolik sıçrama (Bostan, 2004)

Şekil 2.1’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. (Yüksel vd, 1999)

Az eğimli akarsu ve kanallarda akım genellikle nehir rejimindedir. Eğer akarsu yatağına baraj, regülatör ya da kapak gibi bir yapı inşa edilirse sürtünmenin azalmasından dolayı enerji seviyesi yükselir, bunun etkisiyle yapının mansabındaki akım hızlanarak sel rejiminde

akmaya başlar. Bu sel rejiminden nehir rejimine geçişte hidrolik sıçrama oluşur. Ayrıca akımın sel rejiminden nehir rejimine geçmesinin sağlanması için kanal geometrisinde bir değişiklik yapılabilir, kanal taban eğiminin azaltılabilir veya mansapta taban yükseltilebilir (Henderson,1966).

Narayanan (1975)'nin iç ve dış tabaka olmak üzere ikiye ayırdığı hidrolik sıçramaya ait hız dağılımı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Sıçramada ortalama hız dağılımı (Narayanan, 1975)

İç tabakada ortalama hız profilleri Blasius'un fonksiyonel formdaki ifadesi ile verilmiştir (Narayanan, 1975). Buna karşın dış tabakada ise hız dağılımı Narayanan (1975)'nin serbest sıçrama için tanımladığı hız dağılım benzeşimini kullanılarak bu hal için fonksiyonel formda ifade edilmiştir.

İç tabakada ortalama hız dağılımı

$$u = u_m \left(\frac{y}{\delta} \right)^n \quad (2.1)$$

dır, burada y tabandan uzaklık, δ iç tabaka kalınlığı, n üstel bir değer ve u_m maksimum ortalama hızdır.

Dış tabakada, hız profillerinin benzerliğinin göz önüne alındığı bir tabaka olup, hızın düşey doğrultudaki değişimi, maksimum ortalama hız ve yüzey hızına bağlı olarak boyutsuz hale

getirildiğinde $\left(\frac{u+u_o}{u_m+u_o} \right)$ tüm kesitlerdeki hız dağılımları tek bir denklemle ifade edilebilmiştir. Bu özellik hız profilleri arasındaki benzerlik özelliği olarak tanımlanmıştır. Buradaki hız dağılımı;

$$u = -u_o + \frac{u_m + u_o}{2} \left[1 + \cos \pi \frac{y - \delta}{h - \delta} \right] \quad (2.2)$$

ile tanımlanmıştır. Burada u_m maksimum ortalama hız, u_o ; $y=h$ 'da geri dönen akım hızı, u y 'de ortalama hız ve h su derinliğidir.

Hidrolik sıçramada kütle ve momentumun korunduğu kabulü yapılmaktadır. Hidrolik sıçramanın mansabındaki akım şartları, menbadaki akım şartlarının yardımıyla momentum ve süreklilik denklemleri kullanılarak elde edilmektedir. (Yüksel vd.,1999)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.3)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y} + g \sin \alpha \quad (2.4)$$

Şekil 2.3'te verilen koordinat sistemine göre iki boyutlu olan denklemlerden, 2.3 denklemi süreklilik denklemi, 2.4 denklemi ise momentum denklemdir. u , v ; sırasıyla x ve y yönündeki hız bileşenleri, p hidrostatik basınç, α kanal taban eğimi, τ kayma gerilmesi, ρ akışkanın özgül kütlesi ve g yer çekimi ivmesidir. Momentum denklemindeki $g \sin \alpha$ ilave terimi suyun ağırlığının akım yönünde olan bileşenidir. Hidrolik sıçrama oluşumunda bu bileşen de göz önüne alınmalıdır. Momentum denklemindeki diğer ek bileşen ise kanalın eğimli olmasından dolayı göz önüne alınan hidrostatik basınçtır.

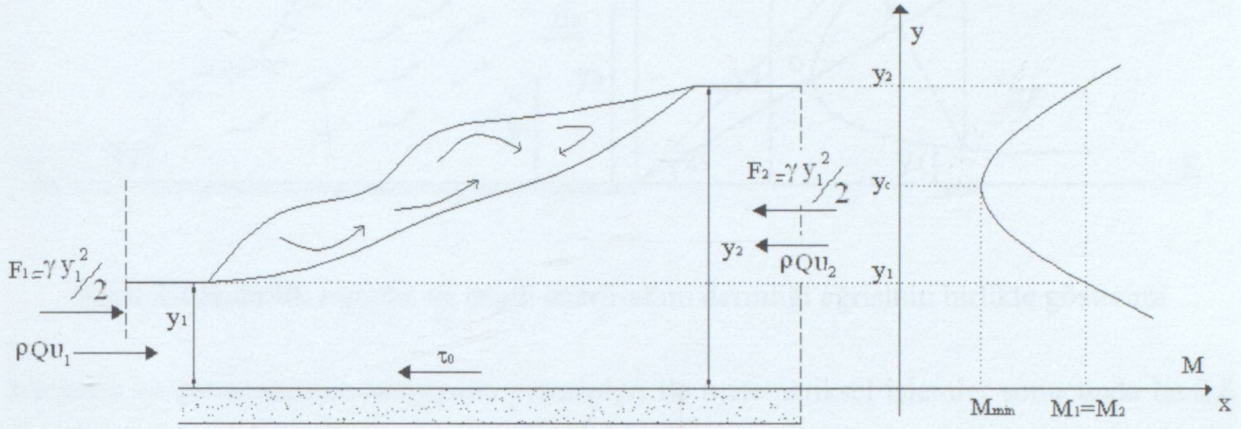
Şekil 2.3'te görülen sıçramadaki momentum korunumu yazılacak olursa;

$$\rho Q(u_2 - u_1) = F_1 - F_2 - \tau_0 \quad (2.5)$$

Burada Q sistemin debisi, u hız ve F kuvvet, 1 ve 2 indisleri ise sıra ile menba ve mansap şartlarını göstermektedir. Katı cidarla olan sürtünme etkileri ihmal edilip, hız dağılımı üniform ve ortalama basınç dağılımı hidrostatik kabul edilip, sabit kanal genişliğine sahip yatay dikdörtgen bir kanal için sıçramanın menbası ile mansabındaki eşlenik derinlikler ve akım şartları arasındaki ilişkiyi gösteren ifadeler momentum denkleminde şu şekilde elde edilmiştir (Yüksel vd.,1999)

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(-1 + \sqrt{1 + 8Fr_1^2} \right) \quad (2.6)$$

$$\frac{Fr_2}{Fr_1} = \frac{2^{3/2}}{\left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right)^{3/2}} \quad (2.7)$$



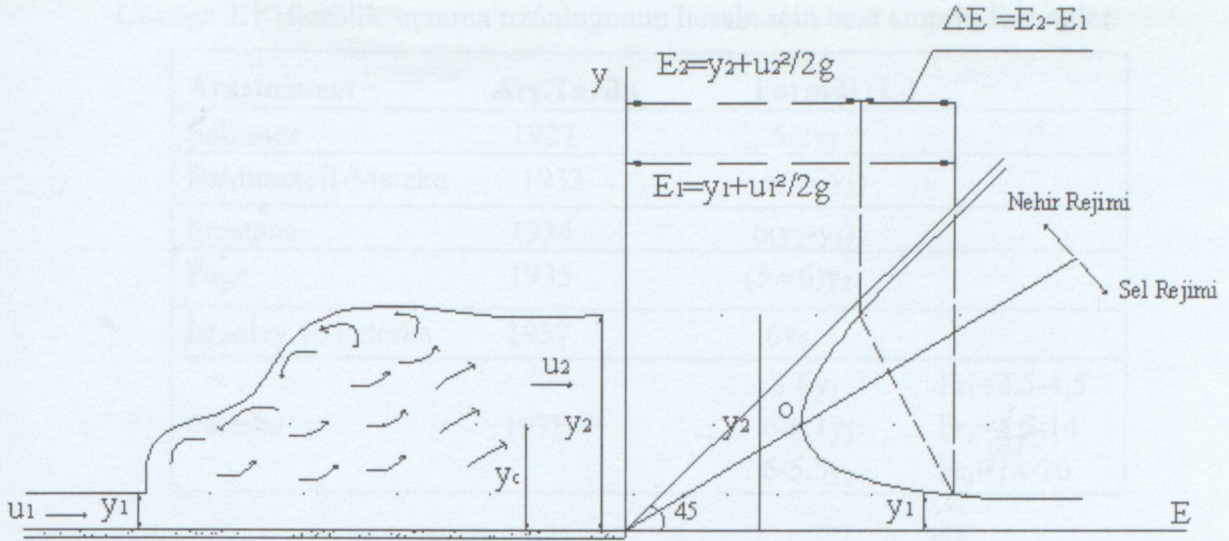
Şekil 2.3 Hidrolik sıçramada momentumun korunumu

(2.6) denklemi Belanger eşitliği olarak bilinmektedir. Burada, y kanal tabanından su yüzeyine olan düşey mesafe yani su derinliği y_1 ve y_2 sırasıyla hidrolik sıçramanın menba ve mansabındaki eşlenik derinlikleri, Fr Froude sayısını, $Fr = u/\sqrt{gy}$ göstermektedir.

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi hidrolik sıçrama sırasında akımda ΔE kadar enerji kaybı meydana gelmektedir. Bu enerji kaybı sıçrama esnasında oluşan çevri hareketleri ve türbülans büyüklüklerindeki ani artıştan dolayı oluşmaktadır. Çevri hareketlerinde akışkan partiküllerinin birbirine çarpmasıyla sürtünme yaratılır ve oluşan bu sürtünme dolayısıyla enerjinin bir kısmı ısıya dönüşmektedir (Sümer ve diğ.,1982).

Hidrolik sıçramadaki bu enerji kaybı hidrolik sıçramadan önceki ve sonraki özgül enerjilerin farkıyla ifade edilmektedir.

$$\Delta E = \left(y_1 + \frac{u_1^2}{2g} \right) - \left(y_2 + \frac{u_2^2}{2g} \right) \quad (2.8)$$



Şekil 2.4 Hidrolik sıçrama ve özgül enerji-akım derinliği eğrisinin birlikte gösterimi

Kütlenin ve momentumun korunumu prensipleri ile matematiksel işlemler sonucunda bu 2.8 eşitliği aşağıdaki görülen hidrolik sıçramada kırılan enerji miktarını veren bağıntıdır.

$$\Delta E = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 y_2} \quad (2.9)$$

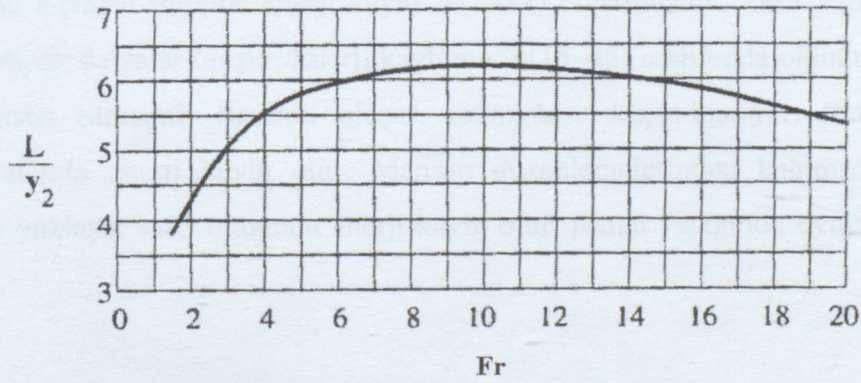
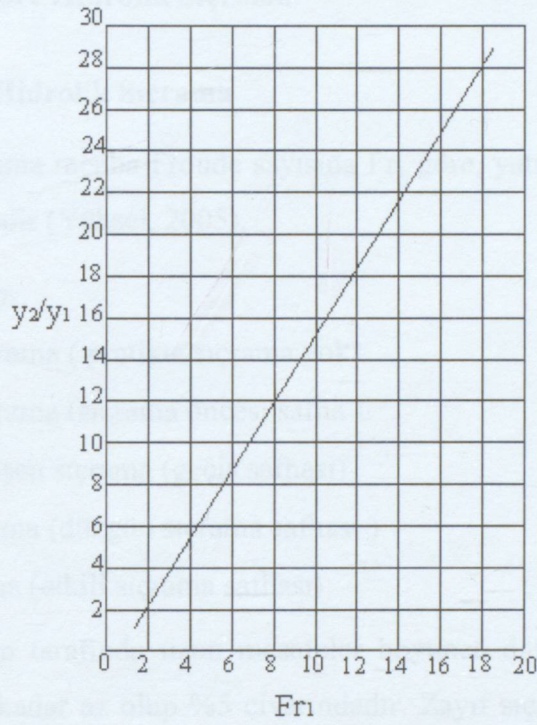
Hidrolik sıçrama özellikle su yapılarının enerji kırıcı tesislerinde akımın enerjisini kırmak amacıyla kullanılmaktadır. Su alma yapılarında yetersiz su seviyelerinde kabarma sağlanıp su seviyesini artırmak için ve sızdırmanın fazla olduğu zeminlerde inşa edilen düşüm yatağında basıncı artırarak alttan kaldırmayı azaltmakta kullanılmaktadır. Ayrıca sıçrama sırasında oluşan türbülans bölgesinde akıma hava girişinden faydalanılarak atık suların arıtılması, kimyasal maddelerin katılmasında ve ölçme istasyonlarında hidrolik sıçramadan faydalanılmaktadır (Yüksel, 2005).

Hidrolik sıçrama uzunluğu, hidrolik sıçramanın özellikle enerji kırıcı yapılarda kullanımında bilinmesi gerekmektedir. Hidrolik sıçrama uzunluğu için kesin teorik bir bağıntı olmamakla birlikte, bunu veren bir takım ampirik formüller vardır. Bu formüller Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Froude sayısına bağlı olarak sıçrama yüksekliği, sıçrama uzunluğu Şekil 2.5'ten de bulunabilir.

Çizelge 2.1 Hidrolik sıçrama uzunluğunun hesabı için bazı ampirik formüller

Araştırmacı	Arş.Tarihi	Formül (L_j)
Safranez	1927	$5.2y_2$
Bakhmeteff-Matzke	1933	$5(y_2-y_1)$
Smetana	1934	$6(y_2-y_1)$
Page	1935	$(5 \approx 6)y_2$
Bradley ve Peterka	1957	$6y_2$
Peterka	1978	$5-6y_1$ $Fr_1=2.5-4.5$
		$6-6.1y_1$ $Fr_1=4.5-14$
		$6-5.5y_1$ $Fr_1=14-20$



Şekil 2.5 Froude sayısına göre hidrolik sıçrama özellikleri (Chow, 1995)

Hidrolik yapılardaki enerji kaybının bilinmesi çok önemli olduğundan birçok araştırmacı hidrolik sıçrama üzerine çalışmıştır. Bu araştırmalar genellikle hidrolik sıçramanın yapısıyla ilgilidir. Hidrolik sıçramanın yapısıyla ilgili olarak eşlenik derinlikler, çevri ve sıçrama uzunluğunun belirlenmesi, ortalama hız dağılımı, yüzey profili üzerindeki ortalama hız dağılımının etkisi, türbülanslı sıçrama altındaki cidar basınç dağılımı ve türbülans karakteristikleri araştırılmıştır.

2.2 Hidrolik Sıçramanın Sınıflandırılması

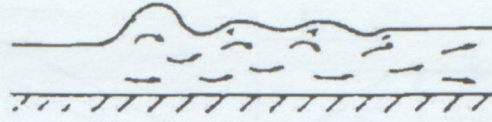
2.2.1 Kanal Eğimine Göre Hidrolik Sıçrama

2.2.1.1 Yatay Kanalda Hidrolik Sıçrama

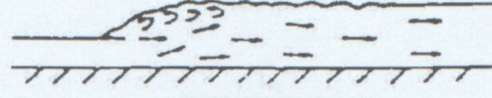
Şekil 2.6'da hidrolik sıçrama menba Froude sayısına Fr_1 göre, yatay kanalda oluşan hidrolik sıçrama tipleri görülmektedir (Yüksel, 2005).

- $Fr_1 < 1$ Sıçrama oluşmaz.
- $Fr_1 = 1-1.7$ Dalgalı sıçrama (pratikte sıçrama yok)
- $Fr_1 = 1.7-2.5$ Zayıf sıçrama (sıçrama öncesi safha)
- $Fr_1 = 2.5-4.5$ Yeri değişen sıçrama (geçiş safhası)
- $Fr_1 = 4.5-9$ Stabil sıçrama (düzgün sıçrama safhası)
- $Fr_1 > 9$ Kuvvetli sıçrama (etkili sıçrama safhası)

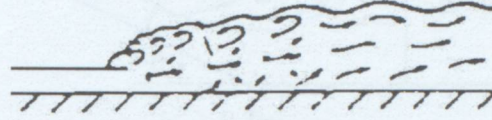
Dalgalı sıçramada mansap tarafında uzun mesafeler boyunca dalgalanmalar oluşur. Enerji kaybı ihmal edilebilecek kadar az olup %5 civarındadır. Zayıf sıçramada az miktarda enerji kaybı olur. Bu sıçrama türünde enerji kaybı %(5-15) civarındadır. Yeri değişen sıçramada düzensiz ve büyük dalgalar oluşur. Enerji kaybının %(15-45) aralığında olduğu bu sıçramada zamanla değişen titreşimli sıçrama oluşur, mümkünse kaçınılmalıdır. Stabil sıçramada %(45-70) oranında enerji kaybı olur. Mansap düzenlemelerinden bağımsızdır. Kuvvetli sıçramada ise yaklaşık %85 oranında enerji kaybı olur. Kanal yatağında oyulma riski vardır (Chow,1973).



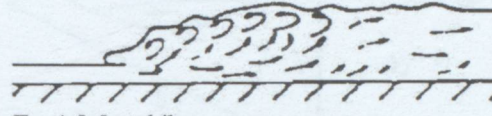
$Fr_1=1-1.7$ dalgali sıçrama



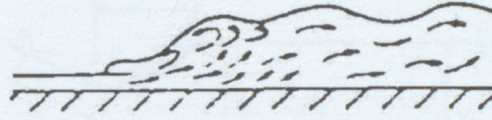
$Fr_1=1.7-2.5$ zayıf sıçrama



$Fr_1=2.5-4.5$ yeri değişen sıçrama



$Fr_1=4.5-9$ stabil sıçrama

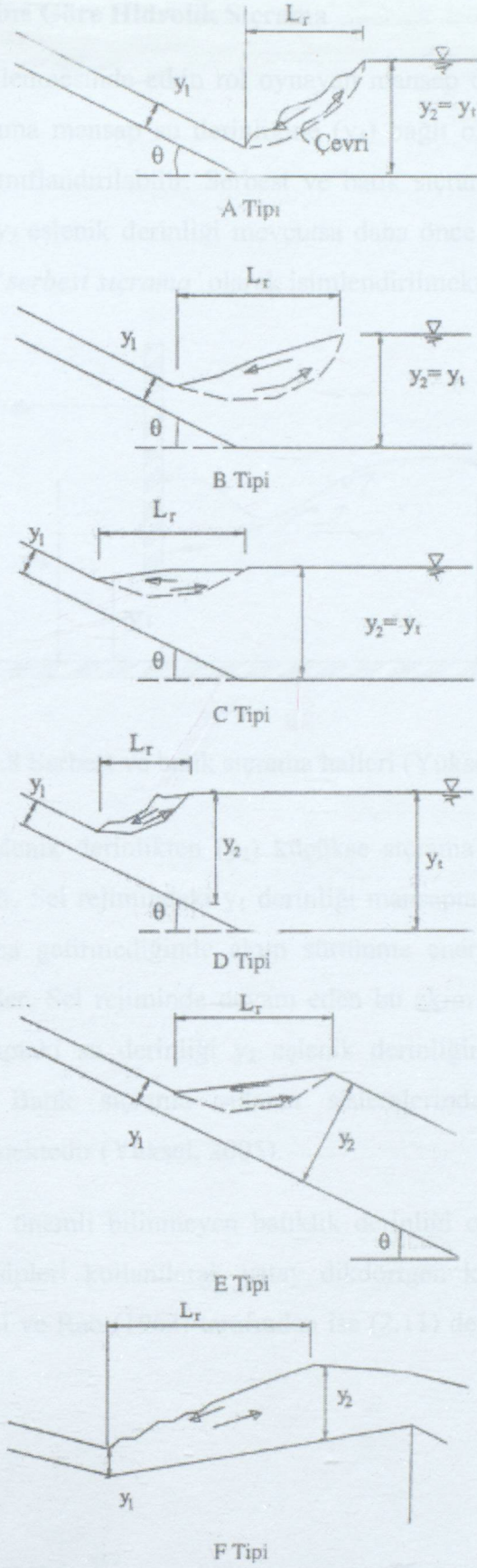


$Fr_1>9$ kuvvetli sıçrama

Şekil 2.6 Yatay kanalda oluşan hidrolik sıçrama tipleri (Yüksel, 2005)

2.2.1.2 Eğimli Kanalda Hidrolik Sıçrama

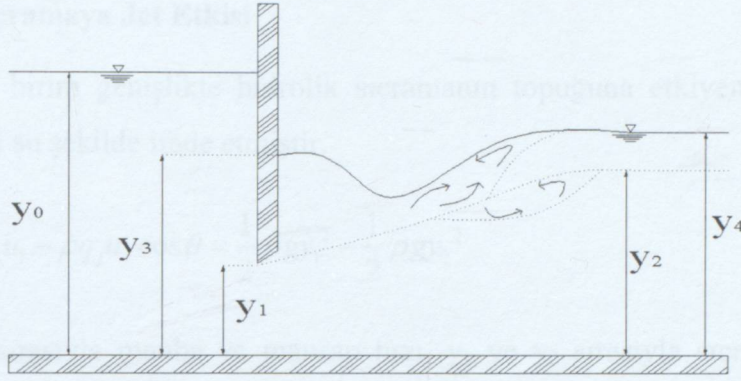
Eğimli kanallarda hidrolik sıçrama ise Şekil 2.7'de gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır. Akım karakteristikleri ve enerji kaybı sıçrama tipine bağlıdır.



Şekil 2.7 Eğimli kanalda hidrolik sıçrama tipleri (Yüksel,2005)

2.2.2 Mansap Derinliğine Göre Hidrolik Sıçrama

Hidrolik sıçramanın şekillenmesinde etkin rol oynayan mansap derinliğinin belirlenmesidir. Dolayısıyla hidrolik sıçrama mansap su derinliğine (y_4) bağlı olarak ‘*Serbest Sıçrama*’ ve ‘*Batık Sıçrama*’ olarak sınıflandırılabilir. Serbest ve batık sıçrama oluşumları Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Mansapta y_2 eşlenik derinliği mevcutsa daha önce Bölüm 2.1’de bahsedilmiş sıçrama formu oluşur, bu ‘*serbest sıçrama*’ olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 2.8 Serbest ve batık sıçrama halleri (Yüksel, 2005)

Mansap derinliği (y_4), eşlenik derinlikten (y_2) küçükse sıçrama oluşmayacak ve akım sel rejiminde devam edecektir. Sel rejimindeki y_1 derinliği mansaptaki y_4 derinliğine eşit bir y_2 sıçrama derinliği meydana getirmediğinde akım sürtünme enerji kaybından dolayı $y_2=y_4$ oluncaya kadar devam eder. Sel rejiminde devam eden bu akım kanal tabanında oyulmaya neden olur. Fakat mansaptaki su derinliği y_2 eşlenik derinliğinden daha fazla ise ‘*batık sıçrama*’ oluşmaktadır. Batık sıçrama sulama sistemlerinde yerleştirilen kapakların mansabında meydana gelmektedir (Yüksel, 2005).

Batık sıçrama halinde en önemli bilinmeyen batıklık derinliği olan y_3 ’dür. Momentum ve kütlenin korunumu prensipleri kullanılarak yatay dikdörtgen kanallar için Chow (1959) tarafından (2.10) denklemi ve Rao (1963) tarafından ise (2.11) denklemi verilmiştir (Yüksel, 2005).

$$\frac{y_3}{y_4} = \left[1 + 2Fr_4^2 \left(1 - \frac{y_4}{y_1} \right) \right]^{1/2} \quad (2.10)$$

$$\frac{y_3}{y_1} = \left[(1+S)^2 \phi - 2Fr_1^2 + \frac{2Fr_1^2}{(1+S)\phi} \right]^{1/2} \quad (2.11)$$

Buradaki y_1 , y_3 , y_4 derinlikleri Şekil 2.8’de görülmektedir. S batıklık faktörü olup;

$S=(y_4-y_2)/y_2$ ile tanımlanmıştır. ϕ ise Belanger eşitliği olarak bilinen (2.6) denklemdir (French,1986).

Eğer mansaptaki su derinliği (y_4), mansap eşlenik derinliğinden (y_2) çok büyükse sıçrama oluşmaz ve çevri hareketleri sadece mansap suyu içinde oluşur. Hiç sıçrama oluşmadığında ve batmış akım oluştuğunda az enerji harcanacağından su zeminde oyulmalara neden olmaktadır.

2.3 Hidrolik Sıçramaya Jet Etkisi

Yüksel vd.(2004) birim genişlikte hidrolik sıçramanın topuğuna etkiyen jetin bir boyutlu momentum eşitliği şu şekilde ifade etmiştir.

$$\rho(q_1 + q_2)u_2 - \rho q_1 u_1 - \rho q_j u_j \cos \theta = \frac{1}{2} \rho g y_1^2 - \frac{1}{2} \rho g y_2^2 \quad (2.12)$$

Burada u_1 ve u_2 sırasıyla menba ve mansap hızı, y_1 ve y_2 sırasıyla sıçramanın menba ve mansap su derinliğidir. Ayrıca birim debiler $q_1=u_1 y_1$, $q_2=u_2 y_2$ ve $q_j=u_j y_j$ yazılabilir. Burada u_j ve y_j sırasıyla çarpan jetin hızı ve kalınlığı, q_j su jeti birim debisi, ρ akışkanın özgül kütlesi ve θ hidrolik sıçramanın topuğuna etkiyen jetin yatay eksenle yaptığı açıdır. Bu momentum eşitliğinin tüm terimleri $1/2 \rho g y_1^2$ 'ye bölünüp düzenlendiğinde yatay kanal için aşağıdaki ifade elde edilmektedir.

$$2Fr_1^2 \left[\left(1 + \frac{q_j}{q_1} \right)^2 \frac{y_1}{y_2} - 1 - \frac{q_j^2}{q_1^2} \frac{y_1}{y_j} \cos \theta \right] = 1 - \frac{y_2^2}{y_1^2} \quad (2.13)$$

Burada $Fr_1 = u_1 / \sqrt{g y_1}$ menba Froude sayısıdır. Bu eşitlik jet debisi, $q_j=0$ için bilinen klasik serbest sıçrama eşitliğine dönüşmektedir.

Eğer taban eğimi de göz önüne alınacak olursa momentum eşitliği;

$$\rho(q_1 + q_2)u_2 - \rho q_1 u_1 - \rho q_j u_j \cos \theta + \rho g y_2 \sin \alpha = \frac{1}{2} \rho g y_1^2 - \frac{1}{2} \rho g y_2^2 \quad (2.14)$$

şeklini alır.

2.4 Konu ile İlgili Çalışmalar

Hidrolik sıçrama tarihte ilk kez 16.yy. da Leonardo da Vinci tarafından tanımlanmıştır. Belanger (1828) hidrolik sıçramadaki momentumun korunumu ilkesini Bidone (1820)'in

deneysel verilerine uygulamış ve y_2/y_1 oranını doğru olarak tahmin etmiştir (Mossa ve Petrillo, 2003). Bidone'nun yaptığı bu çalışmadan sonra, hidrolik sıçramada momentumun korunduğu, buna karşın enerjinin korunduğu ilkesi kabul edilmiştir (Hager, 1992).

Safranez (1929) ilk defa hidrolik sıçramadaki çevri bölgesi uzunluğunu, akım alanına kimyasal enjekte ederek yaptığı deneysel çalışmasında ölçmüş ve L_r için aşağıdaki (2.15) ifadesini önermiştir (Küçükali, 2006).

$$L_r = 6y_1 Fr_1 \quad (2.15)$$

Bakhmeteff ve Matzke (1936), Rajaratnam (1962) ile Rajaratnam ve Subramanya (1968) hidrolik sıçramanın yüzey profilleri üzerine çalışmışlardır. Bu araştırmacıların deneylerinin çoğu 4'ten büyük Froude sayıları için yapılmıştır.

Bakhmeteff ve Matzke (1936) ilk defa hidrolik sıçramayı, menba Froude sayısının Fr_1 , fonksiyonu olarak deneysel araştırmıştır. Sıçrama profili bilindiğinde yerçekimi kuvvetinin sıçramanın geometrisi ile tanımlanabildiğini göstermişlerdir. L/y_2 'nin menba Froude sayısına bağlı olarak değişimini ve deneysel olarak elde ettikleri verilerini grafiklerle göstermişlerdir.

Rajaratnam (1962) hidrolik sıçramadaki havalandırma uzunluğunu, menba Froude sayısının Fr_1 bir fonksiyonunu olarak deneysel araştırmıştır.

Bradley ve Peterka (1957) 6 farklı kanalda hidrolik sıçrama deneyleri yaparak menba Froude sayısının, Fr_1 , artmasıyla, sıçrama uzunluğunun L_j ve kırılan enerji miktarının arttığını göstermişlerdir. Fr_1 sayısı 4-12 aralığında iken hidrolik sıçrama uzunluğunun $L_j \approx 6y_2$ ifadesi ile hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.

Rouse ve diğ.(1959) yatay eksenli çevrıntilerin meydana geldiği (menba Froude sayısı $Fr_1 > 2$ olan) hidrolik sıçramalarda her iki doğrultu boyunca türbülans yapısının ve tabakalar arası momentum transferinin ve kırılan enerjinin menba Froude sayısının, Fr_1 , fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir.

Rajaratnam (1961) ve Hager (1992) hidrolik sıçramada Fr sayısının artmasıyla havalandırma uzunluğunun arttığını belirtmişlerdir.

Rajaratnam (1965, 1967, 1968) hidrolik sıçramanın teorik analizinde momentum ve kütlenin korunumu prensiplerini esas alarak hidrolik sıçramanın yapısıyla ilgili çalışmıştır. Rajaratnam (1965) çevri uzunluğunu 0.3 m genişliğindeki pürüzsüz bir kanal tabanında ölçmüştür. Bu çalışmada taban basınç profilinin sıçramanın topuğu hariç ortalama yüzey profiliyle aynı

olduğunu bulmuştur. Sıçramanın ortalama profilini aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

$$\frac{y-y_1}{y_2} = A_1 \left(\frac{x}{y_2} \right) + A_2 \left(\frac{x}{y_2} \right)^2 \quad (2.16)$$

Burada A_1 ve A_2 ; Fr_1 'e bağlı katsayılardır. Ayrıca hidrolik sıçramada oluşan en büyük kayma gerilmesinin sıçramanın başlangıcında olduğunu göstermiştir.

Breitenöder ve Dorer (1967) hidrolik sıçramanın menba Froude sayısının, Fr_1 , artmasıyla fiziksel karışımın çok daha kısa mesafede ve sürede gerçekleştiğini deneysel çalışma ile göstermişlerdir.

Abdul Khader ve Elango (1974) klasik hidrolik sıçramanın tabanında basınç çalkantılarının istatistiksel karakteristikleri üzerine çalışmışlar ve basınç çalkantısının maksimum yoğunluğunun $\sqrt{p^2} / (0.5 \rho u_1^2) = 0.085$ olduğunu, sıçramanın topuğundan $x/y_1=8$ ve $x/y_1=12$ mesafeler arasında oluştuğunu göstermişlerdir. Tabanda oluşan maksimum basınç çalkantısının yerini $Fr_1=6$ halinde $x/y_1=16$ olarak bulmuştur. Hidrolik sıçramadaki duvar basınç çalkantıları yapısal rezonans ve kavitasyon gibi mekanizmalarla düşü havuzlarının tabanında çok büyük zarara neden olduğunu göstermişlerdir.

Narayanan (1975), McCorquodale ve Khalifa (1983) ile Madsen ve Svendsen (1983) hidrolik sıçramayı sayısal olarak modellemişlerdir.

Wielogorski ve Wilson (1970) taban eğimi 0.01 olan dikdörtgen kanalda oluşan hidrolik sıçramada Rajaranam ve Subramanya (1968) ve Bakhmeteff ve Matzke (1936) 'nin analizini geliştirerek, Belanger formunda eşlenik derinlikler için aşağıdaki eşitliği elde etmişlerdir.

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{8\kappa Fr_1}{\cos \alpha - \left(\frac{2f_1 f_2 \sin \alpha}{f_1 - f_2} \right)}} \right] \quad (2.17)$$

Burada f_1 ve f_2 profil katsayıları, κ hız dağılımı düzeltme faktörü, Fr Froude sayısı ve α kanal eğimidir.

Garg ve Sharma (1971) Fr_1 'nin 4'ten küçük değerleri için sıçramadaki enerji kaybının teorik olarak bulunan $(y_1 - y_2)^3 / 4y_1 y_2$ değerinden daha küçük olduğunu göstermişlerdir.

Leutheusser ve Kartha (1972) hidrolik sıçramada giriş şartlarının etkisini araştırarak, sel rejimi durumunda türbülans etkisi ve ortalama hız dağılımının sıçramanın ortalama akım karakteristikleri üzerindeki etkisinin belirgin olduğunu ortaya koymuşlardır. Hidrolik sıçrama uzunluğu için gelişmekte olan ve tam gelişmiş akım olmak üzere iki akım şartı göz önünde bulundurulmuştur. Tam gelişmiş akımda oluşan sıçramanın L_j/y_2 uzunluğunun, gelişmemiş akımdaki sıçramadan %35 daha büyük olduğunu bulmuşlardır. Bunun sebebini gelişmekte olan akımdaki sıçramanın daha yüksek sürtünme direncine maruz kalması olarak açıklamışlardır.

Resch ve Leutheusser (1972) hidrolik sıçramada Reynolds gerilmelerini hot-film anemometresi kullanarak deneysel olarak ölçmüşlerdir. Resch ve diğ. (1974) ve Dhaimat (1986) hidrolik sıçramanın iki fazlı yapısını dikkate alarak türbülans çalkantılarını ölçmüşlerdir.

Sarma ve Newnham (1973) $Fr < 4.1$, $B = 30.4$ cm için hidrolik sıçramayı araştırmışlardır. L_j/L_r oranının 1.3'e eşitlendiğini bulmuşlardır.

Hidrolik sıçramanın hidrodinamik yapısı genellikle yatay tabanlı kanallar dikkate alınarak incelenmiş olup, kanal tabanının eğimli olarak dikkate alındığı az sayıda çalışma bulunmaktadır. Eğimli kanallarda hidrolik sıçrama için daha önce tanımlanan momentum eşitliği uygulanamaz, çünkü akım yönündeki suyun ağırlığını göz önüne almak gerekir. Böylece akım yönünde etkili yerçekimi bileşeni problemi daha karışık hale getirmektedir.

Rajaratnam ve Murahari (1974) eğimli kanalda sıçramanın karakteristiklerini araştırmışlar, hız dağılımlarını boyutsuz olarak ifade etmişlerdir.

Peterka (1978), USBR ve diğer araştırma laboratuvarlarında yapılan deneylere bağlı olarak sıçrama uzunluğu L_j ve menba Froude sayısı Fr_1 arasındaki bağıntıyı tanımlamıştır. Birçok formülde sıçrama uzunluğunun L_j , menba ve mansap su seviyelerine göre (y_1 , y_2) tanımlanması önerilmektedir. Bu formüllerde sıçrama uzunluğunun 5 ila $6y_1$ arasında, 35 ila $60y_2$ arasında değiştiği kabul edilmektedir.

Hager ve Bremen (1989) hidrolik sıçramada eşlenik derinlikler oranında cidar sürtünmesinin etkisini analiz etmişlerdir. Eşlenik derinlikler y_2/y_1 , menba Froude sayısının Fr_1 , Reynolds sayısının ve giriş oranı $w = y_1/b$ nin fonksiyonu olarak verilmiştir. Burada b kanal genişliğidir. Cidar sürtünme kuvvetlerinden dolayı, y_2/y_1 değerinin Belanger eşitliğiyle (2.6) verilenden daha küçük bir değer olduğu bulunmuştur.

Hager ve diğ. (1990) üç farklı deney kanalında yaptıkları çalışmalarında L_r/y_1 oranını Froude sayısının fonksiyonu olarak araştırmış ve $2.5 < Fr_1 < 8$ aralığında (2.18) denklemini ve genel olarak $Fr_1 < 16$ için (2.19) denklemini ortaya koymuşlardır.

$$\frac{L_r}{y_1} = 8(Fr_1 - 1.5) \quad 2.5 < Fr_1 < 8 \quad (2.18)$$

$$\frac{L_r}{y_1} = 160 \tanh\left(\frac{Fr_1}{20}\right) - 12 \quad Fr_1 < 16 \quad (2.19)$$

Ayrıca yazarların gözlemlerini klasik hidrolik sıçrama için çevri uzunluğu özelliklerini Çizelge 2.2'deki gibi özetlemişlerdir.

Çizelge 2.2 Klasik hidrolik sıçrama için çevri uzunluğu özellikleri (Hager vd.,1990)

Yazar	b (cm)	y_1 (cm)	Fr_1	$Re_1 \times 10^{-5}$	Formül
Safranez(1929)	49.9	0.71-5.7	1.72-19.1	0.58-2.54	$\lambda_r = 6Fr_1$
Einwachter (1932)	25.0	1.0-1.09	2.5-6.95	0.29-0.73	-
Pietrkowski (1932)	10.0	0.5-1.46	5.5-19.8	0.83-1.72	$\lambda_r = 5.9Fr_1$
Bakhmeteff ve Matzke (1936)	15.24	1.0-7.75	1.94-8.7	0.49-3.87	diyagram
Schröder(1963)	59.8	3.4-10.2	1.83-9.93	4.44-10.66	$\lambda_r = 40 \operatorname{erf} \left[\frac{1}{16} (1+8Fr_1^2)^{1/2} - 3 \right]$
Rajanatram(1965)	30.8	1.55-6.13	2.68-9.78	1.95-4.19	-
Malik (1972)	16.7	1.36-13.18	3-6	0.86-9.88	-
	33.3	1.98-10.70	3-6	1.71-7.31	
	50.0	0.66-18.04	3-6	0.35-17.30	
Sarma ve Newnham (1973)	30.5	2.1-6.7	1.21-3.79	1.11-1.97	$6.73(Fr_1-1)$

Burada Re , reynolds sayısı olup $Re_1 = 4U_1R_h/\nu$ olarak tanımlanmıştır. Burada da U_1 hız, R_h sıçramanın topuğundaki hidrolik yarıçaptır. ν viskozite olup $\nu = 1.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ olarak verilmiştir. $\lambda_r = L_r/y_1$ ile tanımlanmış boyutsuz çevri uzunluğudur.

Long ve diğ. (1991) farklı akım koşullarında hızlı video çekimi tekniği ile hidrolik sıçramada oluşan makro ölçekli çevrilerin boyutlarının ve şekillerinin değişimini zamana ve konuma bağlı olarak incelemişlerdir.

Hidrolik sıçrama araştırmaları genellikle pürüzsüz tabanlarda yapılmıştır. Ead ve Rajaratnam (2002) dalgalı tabanlı, dikdörtgen ve yatay bir kanalda hidrolik sıçramayı incelemişlerdir. Froude sayıları 4 ile 10 arasında olan ve rölatif pürüzlülüğü 0.25, 0.43 ile 0.50 değerlerindeki

kadar eğimin az olması.

- 2) Kanalin dikdörtgen ve prizmatik olması.
- 3) Sıçrama aniden oluşmakta ve sıçramanın hemen öncesinde ve sonrasında akım çizgisinin düz olması.
- 4) Kanal yüzey sürtünmesinin çok küçük olup sıçrama uzunluğunun küçük olması.
- 5) Sıçrama öncesinde ve sonrasında oluşan hız dağılımının üniform ve basınç dağılımının hidrostatik olması.

Bilinen Belanger (2.6) ve enerji kaybı (2.9) eşitlikleri kullanarak:

Menba su derinliği için;

$$y_1 = 0.196q^{0.98} \Delta E^{-0.47} \left[1 + 1.262q \Delta E^{-1.50} \right]^{-0.206} \quad (2.20)$$

Mansap su derinliği için;

$$y_2 = 1.0518q^{0.518} \Delta E^{0.223} \left[1 + 0.047q^{2.667} \Delta E^{-4} \right]^{-0.0221} \quad (2.21)$$

Mansap enerjisi için;

$$E_1 = 1.029q^{0.513} \Delta E^{0.223} \left[1 + 0.4329q^{0.733} \Delta E^{-1.10} \right]^{0.1631} \quad (2.22)$$

Menba enerjisi için;

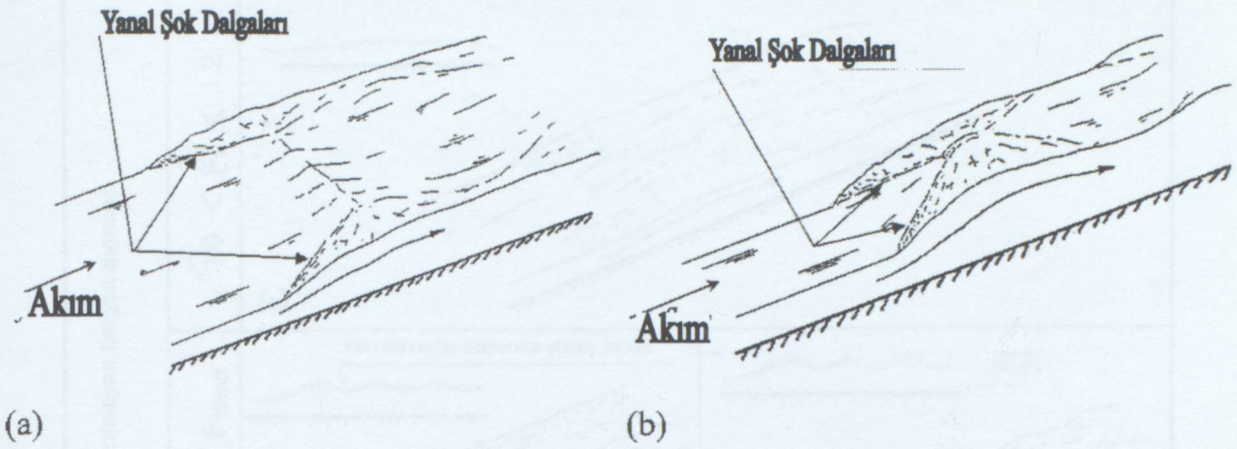
$$E_1 = E_2 + \Delta E \quad (2.23)$$

tam denklemlerini geliştirmiştir. Bu denklemlerin diğer yöntemlere göre daha yüksek doğruluğa sahip oldukları görülmüştür.

Ohtsu ve diğ. (2003) yatay dikdörtgen kanallardaki dalgalı hidrolik sıçramanın akım şartlarını araştırmışlardır. Tam gelişmiş akım şartları için dalgalı sıçramanın akım şartlarını sistematik olarak incelemişlerdir. Gelen akımın Froude sayısının 1.2'den büyük olduğunda yanal şok dalgaları dalgalı sıçramanın topuğu yakınında oluşur (Şekil 2.10). Ohtsu ve diğ.(1995,1997) geniş bir kanal için şok dalgaları ilk dalga kretinin menbasında kesişmediğini bulmuşlardır (Şekil 2.10 (a) 1.durum). Dalgalı sıçramanın akım şartları en boy oranından bağımsızdır. Chanson ve Montes (1995), Reinauer ve Hager (1995)'e göre yanal şok dalgaları daima ilk dalga kretinin menbasında kesişmektedir (Şekil 2.10.(b) 2.durum).

Bu akım şartı da dar bir kanalda oluşur ve dalgalı sıçramanın akım şartları gelen akımın Froude sayısına ve en boy oranına bağlıdır. En boy oranı b/y_1 'dir, burada b kanal genişliği, y_1

sel rejiminde dalgalı sıçrama topuğundaki su derinliğidir.



Şekil 2.10 Dalgalı sıçramanın akım şartları (a) 1.durum ve (b) 2.durum (Ohtsu ve diğ, 2003)

Dalgalı sıçramanın akım şartları; yanal şok dalgalarının kesişme pozisyonlarına ve gelen akımın Froude sayısına göre sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada ayrıca kırılan ve kırılmayan dalgalı sıçrama oluşumu için hidrolik şartlar belirlenmiş, dalgalı sıçrama oluşumunda Reynolds sayısının etkisi tartışılmış ve Reynolds sayısı ile akım şartlarının değişimi anlatılmıştır. Ohtsu ve diğ.(1995,1997) yanal şok dalgalarının ilk dalga kretinin hemen mansabında olması halinde, dalgalı sıçramalardaki akım şartlarının yanal şok dalgalarının kesişmesiyle değiştiğini belirtmişlerdir.

Dalgalı sıçrama Şekil 2.11’de görüldüğü gibi sınıflandırılmıştır.

Kırılmayan Dalgalı Sıçrama

$$1.0 \leq Fr_1 \leq 1.2$$

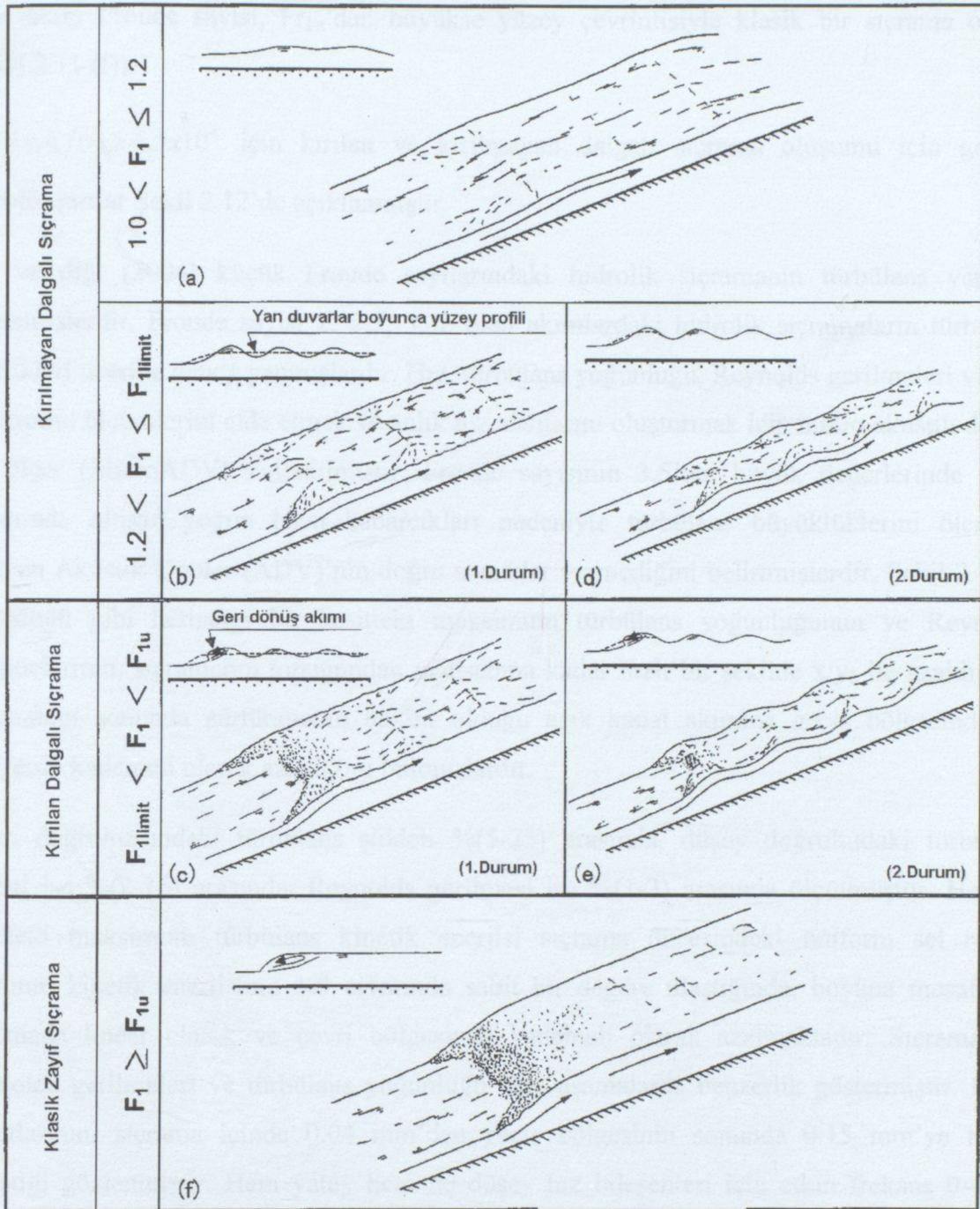
Dalgaların genliği küçük ve 2 boyutlu dalgalı yüzey oluşur (Şekil 2.11 (a)). Yanal şok dalgaları görülemez.

$$1.2 \leq Fr_1 \leq Fr_{limit}$$

Kanal boyunca mansaptan belli bir mesafeye kadar kırılmayan dalgalanma devam eder (Şekil 2.11 (b) ve (d)) . Burada Fr_{limit} , kırılmayan dalgalı sıçramanın oluşumunda akım Froude sayısının en üst limitidir.

1.durumlarda stabil dalgalanma oluşur. 2.durumlarda ise kanal eksen çizgisinde su yüzey profili ilk dalga kretinde şiddetli olmaya eğilimlidir (Şekil 2.11 (d)). Çünkü yanal şok

dalgaları ilk dalga kretinin hemen menbasında kesişirler.



Şekil 2.11 $Re \geq 6.5 \times 10^4$ için dalgalı sıçramanın sınıflandırılması (Ohtsu ve diğ, 2003)

Küçük en boy oranları için ($b/y_1 \leq 3$) stabil dalgalanma sadece eksen çizgisi boyunca değil yan duvarlar boyunca da oluşmaktadır.

Kırılan Dalgalı Sıçrama ($Fr_{limit} < Fr_1 < Fr_{1u}$)

Dalgalı sıçramanın ilk dalgası, stabil dalgalanmanın mansaba doğru devam etmesiyle kanalın ekseninde kırılır (Şekil 2.11 (c ve e)). Bu durumda kırılan dalgalı sıçramanın oluşumunda

akım Froude Sayısının en üst limitidir.

Eğer akım Froude sayısı, Fr_{1u} 'dan büyükse yüzey çevrintisiyle klasik bir sıçrama oluşur (Şekil 2.11 (f)).

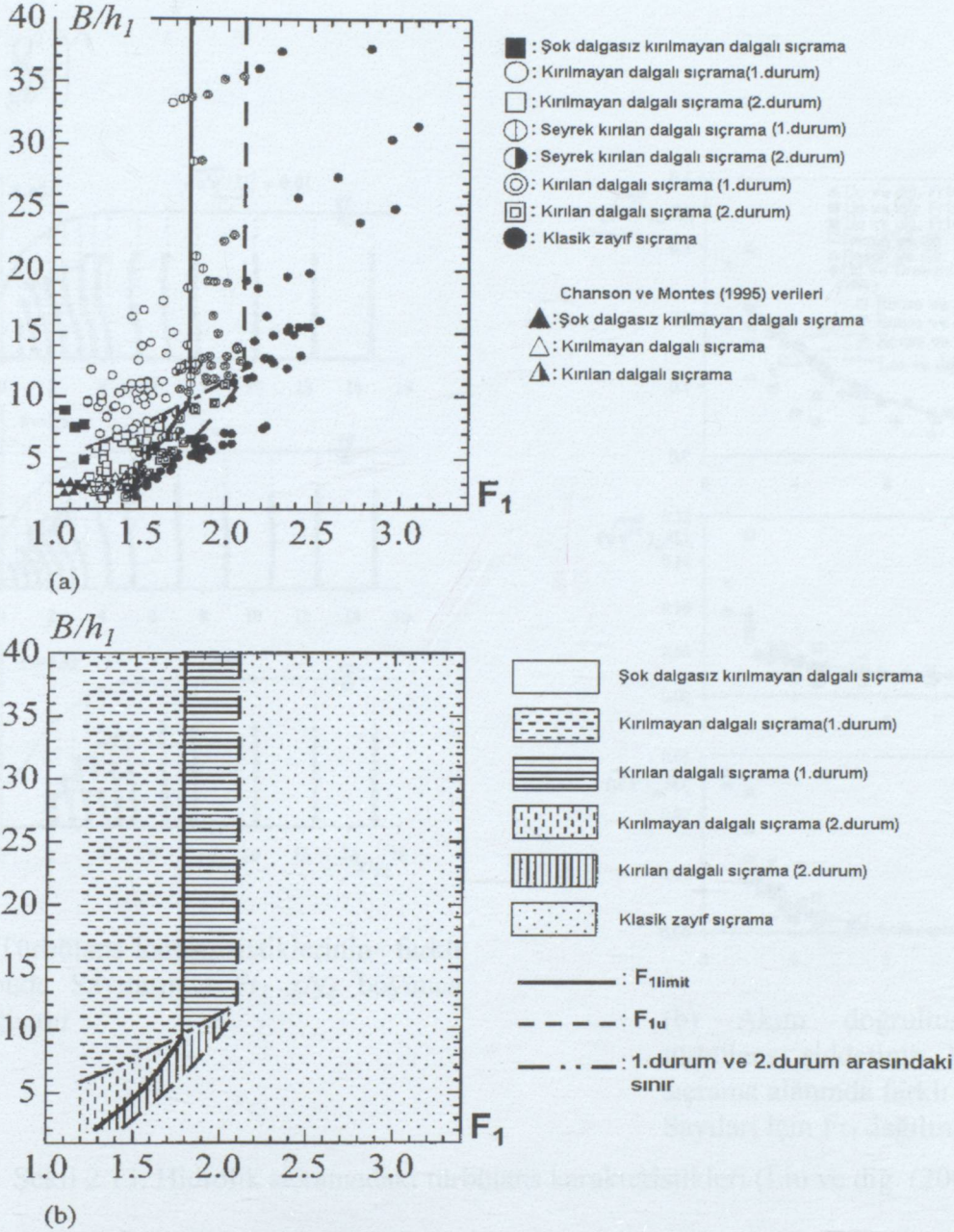
$R_1 (= v_1 h_1 / \nu) \geq 6.5 \times 10^4$ için kırılan ve kırılmayan dalgalı sıçrama oluşumu için gerekli hidrolik şartlar Şekil 2.12'de açıklanmıştır.

Liu ve diğ. (2004) küçük Froude sayılarındaki hidrolik sıçramanın türbülans yapısını incelemişlerdir. Froude sayısı 2, 2.5, 3.32 olan akımlardaki hidrolik sıçramaların türbülans özellikleri üzerine deney yapmışlardır. Hız, türbülans yoğunluğu, Reynolds gerilmeleri ve güç spektrumu ölçümlerini elde etmek ve anlık hız alanlarını oluşturmak için mikro akustik dopler hız ölçer (MicroADV) kullanılmıştır. Froude sayısının 3.5'ten büyük değerlerinde akım ortamında oluşan yoğun hava kabarcıkları nedeniyle türbülans büyüklüklerini ölçmeye yarayan Akustik Dopler (ADV)'nin doğru sonuçlar vermediğini belirtmişlerdir. Şekil 2.13'te görüldüğü gibi herhangi bir kesitteki maksimum türbülans yoğunluğunun ve Reynolds gerilmelerinin, sıçramanın topuğundan mansabına kadar hızlı bir şekilde x/y_2 ile azaldığı ve sıçramanın sonunda sürtünmenin hakim olduğu açık kanal akımına geçiş bölgesinde bu seviyenin kademeli olarak azaldığını bulmuşlardır.

Akım doğrultusundaki türbülans şiddeti %(5-25) arasında, düşey doğrultudaki türbülans şiddeti ise %(2-16) arasında, Reynolds gerilmesi ise %(1-3) arasında ölçülmüştür. Her bir kesitteki maksimum türbülans kinetik enerjisi sıçrama öncesindeki üniform sel rejimi akımının kinetik enerjisinin %3 civarında sabit bir değere ulaştığında, boyuna mesafe ile sıçramada lineer olarak ve çevri bölgesinde kademeli olarak azalmaktadır. Sıçramadaki Reynolds gerilmeleri ve türbülans yoğunluğu bazı aşamalarda benzerlik göstermiştir. Eddy boyutlarının, sıçrama içinde 0.04 mm'den geçiş bölgesinin sonunda 0.15 mm'ye kadar değiştiği gözlenmiştir. Hem yatay hem de düşey hız bileşenleri için etkin frekans 0-4 Hz aralığında olduğu ve sıçrama mansabında etkin frekans aralığı yatay hız için 0 ile 1 Hz aralığında, dikey hız için 0-2 Hz aralığında olduğu bulunmuştur.

Swamee ve Rathie (2004) hidrolik sıçramada menba ve mansap su derinlikleri problemleri için tam denklemleri geliştirmeye çalışmışlardır. Bu eşlenik derinliklerin bilinmesi sıçrama yüksekliğinin (eşlenik derinlikler farkı) 6 katı olan sıçrama uzunluğunun doğrusunu öğrenmek için gereklidir. Enerji kırıcı havuzun güvenli olması için uzunluğu sıçrama uzunluğundan daha fazla olmalıdır (Swamee ve diğ. 1996,1997). Savak yapımı nedeniyle nehrin maksimum

taşkın seviyesinde bir artış olur bu artış kabarma olarak adlandırılır. Alüvyon zeminlerde savak yapımında kabarma sınırı 1 m'dir. Bununla beraber iri çakıl veya kaya tabanlı nehrin dik uzantılarında kabarma daha yüksektir (Singh, 1975).



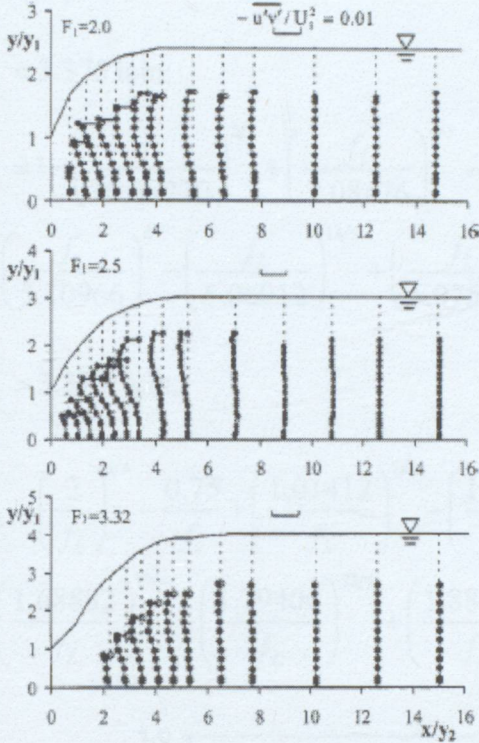
Şekil 2.12 Dalgali sıçramanın oluşumundaki hidrolik şartlar $Re_1 \geq 6.5 \times 10^4$ (Ohtsu ve diğ., 2003)

Hidrolik sıçramadaki b taban genişliği, Q debi ve Δh enerji kaybı bilinirken, eşlenik derinlikler elde edilmelidir. Problemden benzer eşitlikler içeren denklemler enerji kaybı denklemi olan (2.9) denklemi ve aşağıda verilen (2.24) denklemdir.

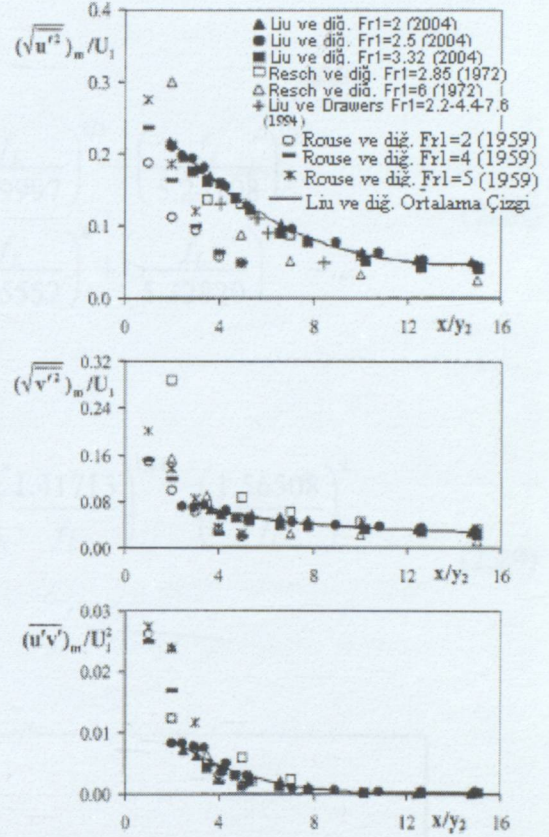
$$y_c^3 = \frac{1}{2} y_1 y_2 (y_1 + y_2) \quad (2.24)$$

Burada y_c , kritik derinlik olup (2.25) denklemi ile verilmiştir.

$$y_c = \left(\frac{Q^2}{gb^2} \right)^{1/3} \quad (2.25)$$



(a)Türbülans karakteristiklerinin farklı Froude Sayılarında Fr_1 x/y_2 boyunca değişimi



(b) Akım doğrultusundaki türbülans şiddetinin hidrolik sıçrama alanında farklı Froude Sayıları için Fr_1 dağılımı

Şekil 2.13. Hidrolik sıçramadaki türbülans karakteristikleri (Liu ve diğ. (2004))

Bu eşitliklerin sol tarafı bilinmekte ve eşlenik derinlikler bu eşitliklerin çözülmesiyle belirlenmelidir. (2.24) denklemi y_c^3 ile (2.9) denklemi de y_c ile bölündüğünde Crump (1930) bu eşitliklerin aşağıdaki formlarını elde etmiştir.

$$p_1 p_2 (p_1 + p_2) = 2 \quad (2.26)$$

$$f_L = \frac{(p_2 - p_1)^3}{4p_1p_2} \quad (2.27)$$

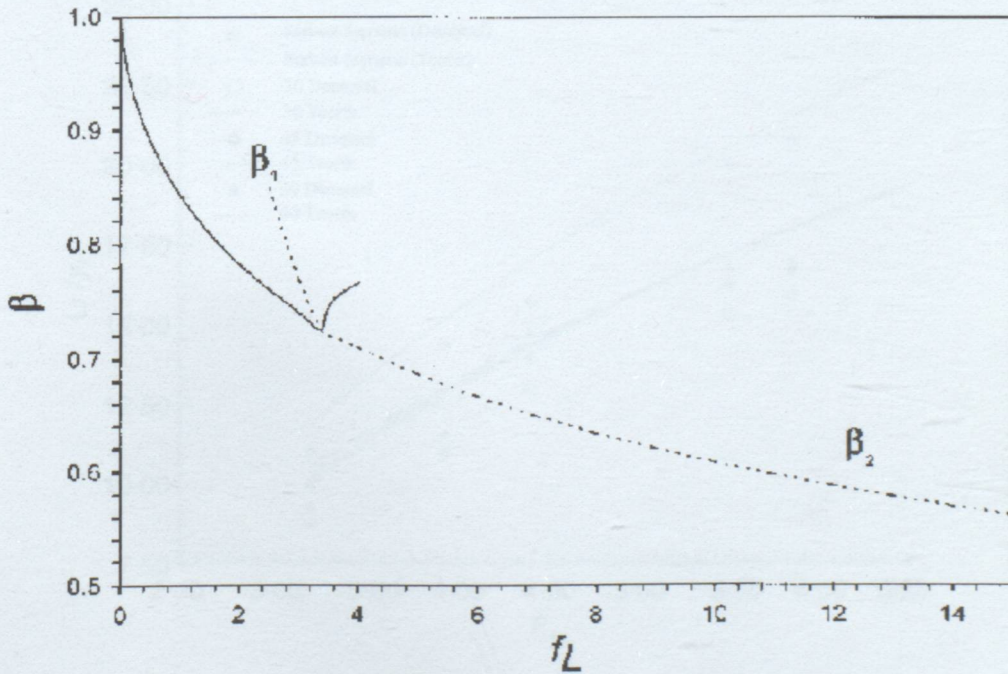
Burada $p_1 = y_1/y_c$, $p_2 = y_2/y_c$ ve $f_L = \Delta h/y_c$ dir. $\beta = p_1p_2$ boyutsuz bir parametre tanımlanarak yapılan analitik işlemlerle Lagrange teoremi ve Braaksma (1964) kullanılarak (2.28) ve (2.29) denklemleri bulunmuş ve $\beta - f_L$ grafiği Şekil 2.14'te görüldüğü gibi çizilmiştir.

$f_L < 3.375$ için;

$$\begin{aligned} \beta_1 = & 1 - \left(\frac{f_L}{10.39230} \right)^{2/3} + \left(\frac{f_L}{7.08476} \right)^{4/3} - \left(\frac{f_L}{6} \right)^2 + \left(\frac{f_L}{5.49997} \right)^{8/3} - \left(\frac{f_L}{5.24108} \right)^{10/3} \\ & + \left(\frac{f_L}{5.10966} \right)^4 - \left(\frac{f_L}{5.06012} \right)^{14/3} + \left(\frac{f_L}{5.07508} \right)^{16/3} - \left(\frac{f_L}{5.15552} \right)^6 + \left(\frac{f_L}{5.32820} \right)^{20/3} - \dots \end{aligned} \quad (2.28)$$

$f_L > 3.375$ için;

$$\begin{aligned} \beta_2 = & \left(\frac{2}{f_L} \right)^{1/4} - \frac{0.75}{f_L} + \left(\frac{1.01412}{f_L} \right)^{7/4} - \left(\frac{1.23689}{f_L} \right)^{10/4} + \left(\frac{1.41713}{f_L} \right)^{13/4} - \left(\frac{1.56508}{f_L} \right)^4 \\ & + \left(\frac{1.68882}{f_L} \right)^{19/4} - \left(\frac{1.79406}{f_L} \right)^{22/4} + \left(\frac{1.88484}{f_L} \right)^{25/4} - \dots \end{aligned} \quad (2.29)$$

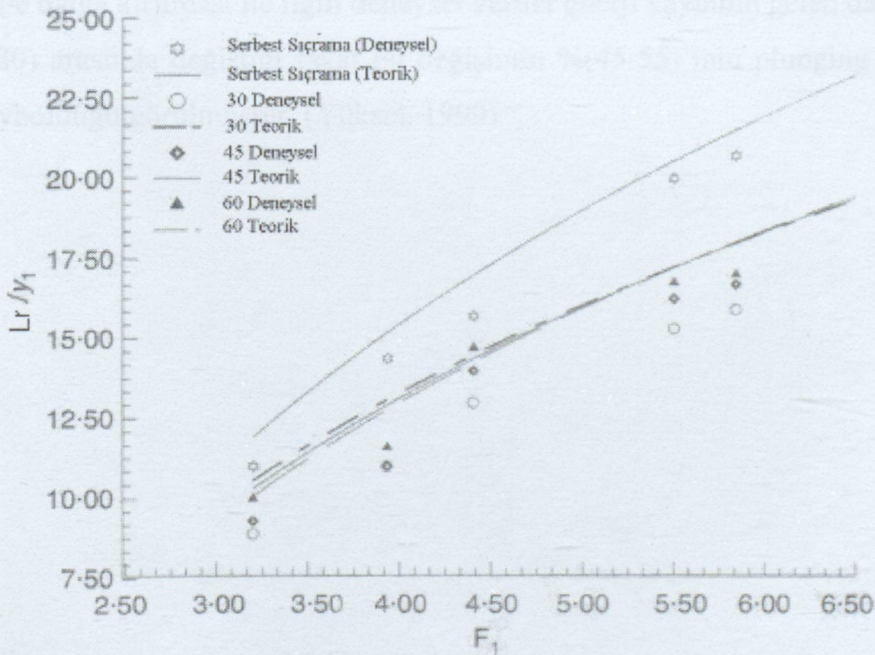


Şekil 2.14 (2.28) ve (2.29) denklemlerinin grafiği

Yüksel ve diğ.(1999) ile (2004)'te plunging tipi kırılan dalga'nın akım yapısının hidrolik sıçramadaki çevrinin hemen topuğuna uygulanan jet ile oluşacak akım yapısı ile benzeştiğini ifade etmişlerdir. Serbest sıçramanın spilling tipi kırılmaya benzeştiği, plunging tipi kırılmanın ise jetli sıçramaya benzeştiği düşünülmüştür. Bu amaçla yatay kanalda hidrolik sıçramanın topuğuna 30°, 45°, 60°'lik değişik açılarda sabit debili jet akımı uygulanarak plunging tipi kırılmaya benzeştirilmeye çalışılmıştır. Jet akımının sıçrama topuğuna uygulanması ile su yüzü ve ortalama akım parametreleri ölçülmüştür. Bu çalışmada deney koşullarında jet açısı $\theta = 30^\circ, 45^\circ$ ve 60° ve Froude sayısı 3.2-5.84 aralığında değiştirilmiştir.

Bostan (2000)'de ise çalışmanın ilk aşaması olan yatay ve eğimli kanalda yapılan hidrolik sıçrama deneyleri ile birlikte, dalga kanalında deneyler yaparak kırılma sırasında harcanan enerji miktarını belirlenmiştir. Deneyler sırasında ters kanal eğimi $S_0 = 0/100$ 4 olarak dikkate alınmıştır.

Her iki çalışmada da serbest sıçrama ve jetli sıçrama halleri yüksek hızlı bir SVHS kamera yardımı ile görüntü işleme tekniği kullanılarak incelenmiştir. Aynı çalışma Strip Integral Metodu kullanılarak sayısal olarak da çözülmüştür. Jet akımının sıçrama topuğuna uygulanması ile su yüzü ve ortalama akım parametreleri ölçülmüştür. Şekil 2.15'te farklı açılarda jetli ve jetsiz durumlar için menba Froude sayısı ile çevri uzunluğu değişiminin; sayısal yöntemden ve deneysel elde edilen sonuçlarının karşılaştırıldığı grafik verilmiştir.

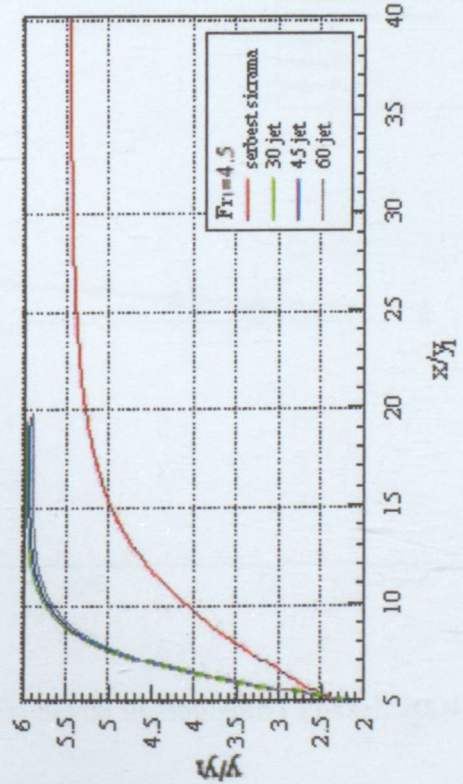
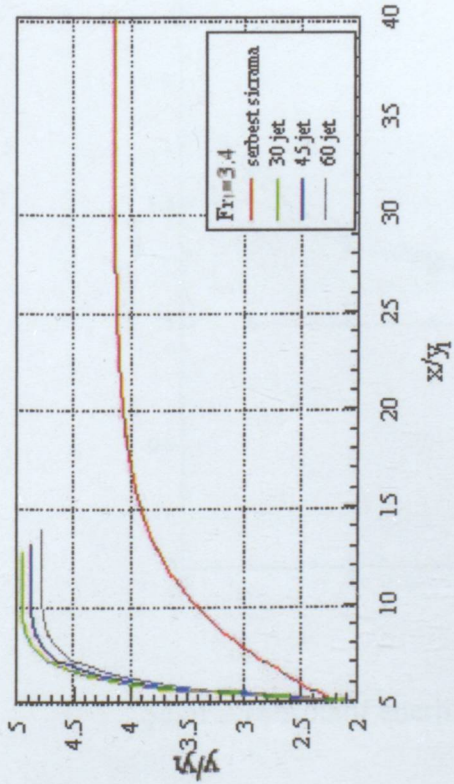
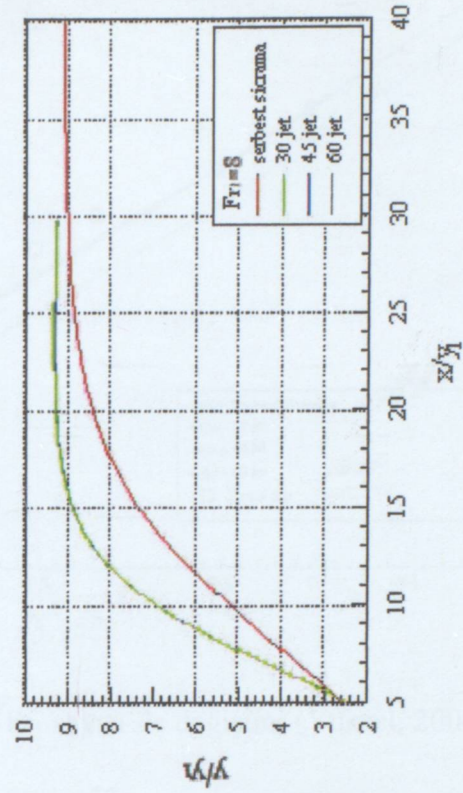
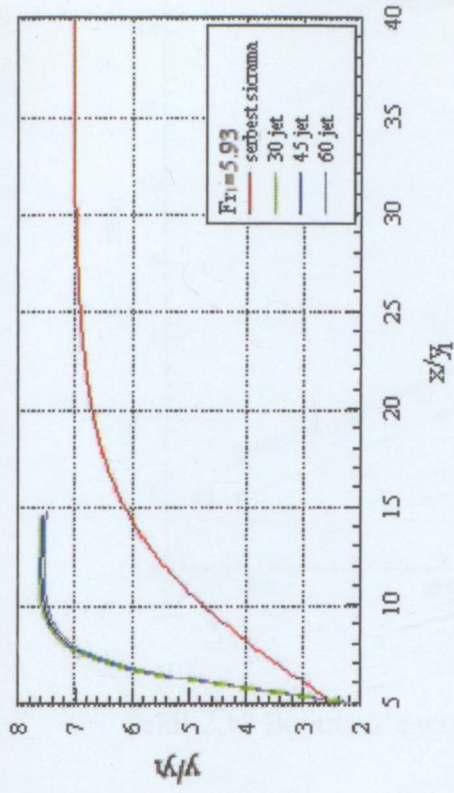


Şekil 2.15 Farklı açılarda Froude sayısına göre jetli ve jetsiz durumlar için çevri uzunluğu (Yüksel vd., 2004)

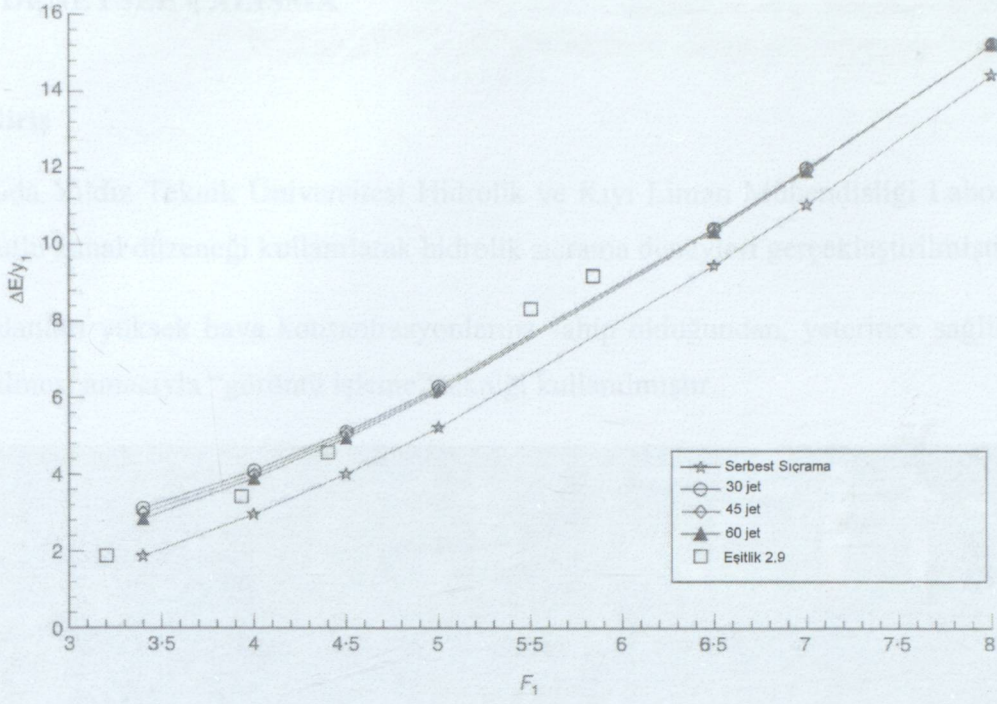
Aynı menba Froude sayısında çevri uzunluğunun jetli halde jetsiz hale göre daha kısa olduğu bulunmuştur. Jet açısı küçüldüğünde çevri uzunluğu azalmakta ve yine jet açısının etkisinin daha büyük Froude sayılarında azalmakta olduğu görülmüştür.

Sıçrama boyunca farklı pozisyonlarda yüzey profilini tanımlayan ortalama derinlik video görüntülerinden ve su yüzeyi ölçümlerinden hesaplanmıştır. Teorik ve deneysel ortalama derinlikler Şekil 2.16'da karşılaştırılmıştır. Şekillerden görüldüğü gibi ilave jet durumunda sıçrama yüzey profili artmaktadır. Jet açısının değişmesiyle sıçrama yüzey profilinin değişmesi ise sadece Fr_1 sayılarının küçük değerlerinde belirgin olmaktadır. Fr sayısı arttıkça jetli ve jetsiz haldeki yüzey profillerinin birbirlerine yaklaştığı görülmektedir. Bunun nedeni ise sıçramanın menbasındaki momentum miktarının menba Fr_1 sayısı arttıkça akım alanına daha da hakim olması olarak açıklanmıştır.(Yüksel, 1999)

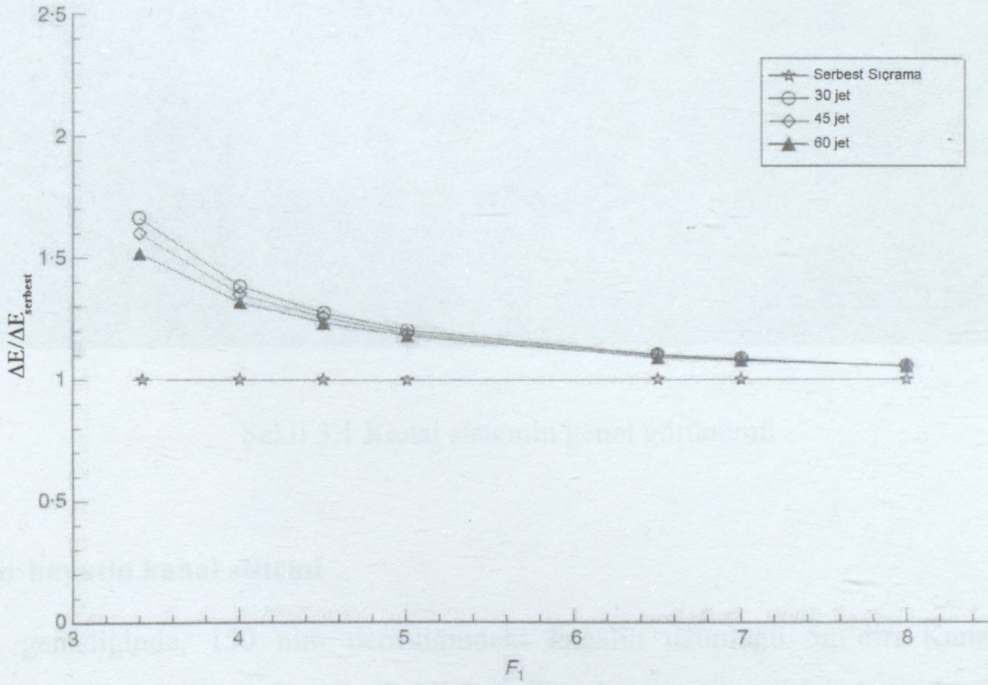
Jetli ve jetsiz hal için sıçrama sırasında kaybolan enerjinin başlangıç Fr_1 sayısının değişiminin belirlenmesi amacıyla Şekil 2.17'de boyutsuz enerji kaybının ($\Delta E/y_1$) değişimi verilmiştir. Şekil 2.18'de ise rölatif enerji kaybının ($\Delta E/\Delta E_{serbest}$) Fr sayısı ile değişimi verilmiştir. Jetin uygulanması halinde küçük menba Froude sayılarında enerji kaybı daha büyüktür. %60 daha büyük olan bu kayıp Froude sayısının büyümesiyle %20 oranında küçülmektedir. Eğimli kanal halinde büyük Froude sayısında enerji kaybı serbest sıçramada daha büyük olmaktadır. Hidrolik sıçrama analojisinde yaklaşan akım şartlarına bağlı olarak ortaya çıkan enerji kaybı %45'dir. Yine dalga kırılması ile ilgili deneysel veriler enerji kaybının gelen dalga koşullarına göre %(60-80) arasında değiştiği fakat bu değişimin %(45-55)'inin plunging jetin çarpması sırasında kaybolduğu görülmüştür. (Yüksel, 1999)



Şekil 2.16 Jetli ve jetsiz sıçramada su yüzü profilleri (Yüksel vd.,1999)



Şekil 2.17 Boyutsuz enerji kaybının Fr_1 sayısı ile değişimi (Yüksel, 2004)



Şekil 2.18 Rölatif enerji kaybının Fr_1 sayısı ile değişimi (Yüksel, 2004)

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Giriş

Çalışmada Yıldız Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Kıyı Liman Mühendisliği Laboratuvarında bir boyutlu kanal düzeneği kullanılarak hidrolik sıçrama deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Akım alanları yüksek hava konsantrasyonlarına sahip olduğundan, yeterince sağlıklı veriler elde edilmesi amacıyla “görüntü işleme” tekniği kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Kanal sistemin genel görünümü

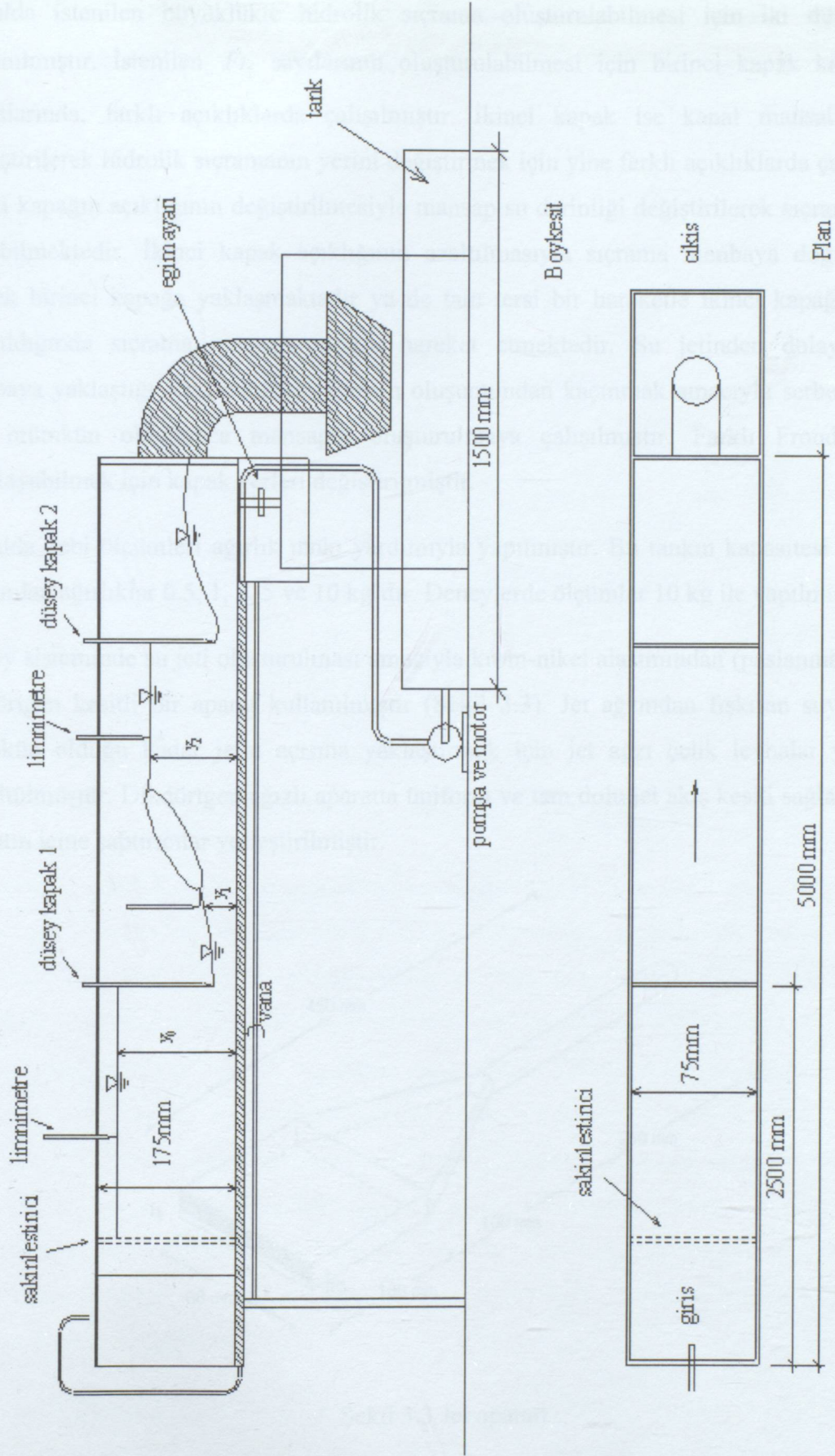
3.2 Bir boyutlu kanal sistemi

75 mm genişliğinde, 150 mm derinliğindeki kanalın uzunluğu 5m'dir. Kanalın eğimi istenildiğinde değiştirilebilmektedir (Şekil 3.1). Kanal sistemi kendi içinde su devrini pompa yardımıyla sağlamaktadır. Sistem özellikleri aşağıdaki gibidir.

Pompa kapasitesi: 2.2 lt/sn

Pompa motor gücü: 150 W

Su tankı kapasitesi: 180 lt.

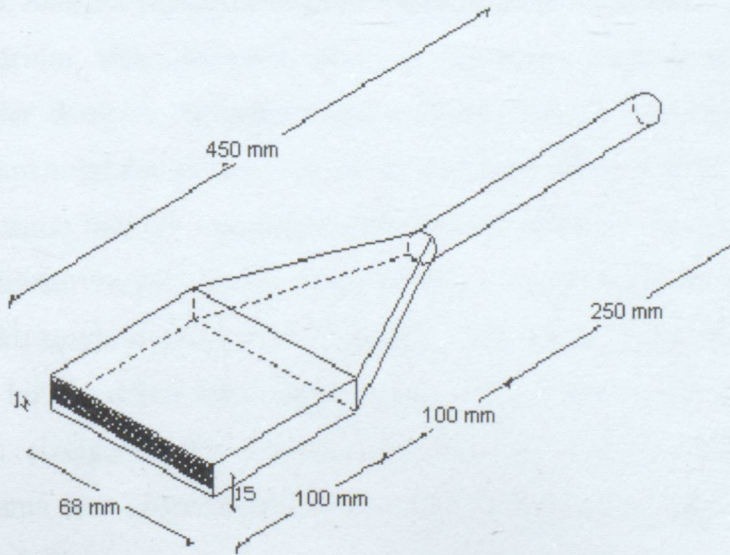


Şekil 3.2 Kanalin şematik görünümü

Kanalda istenilen büyüklükte hidrolik sıçrama oluşturulabilmesi için iki düşey kapak kullanılmıştır. İstenilen Fr_1 sayılarının oluşturulabilmesi için birinci kapak kanalın orta kısımlarında, farklı açıklıklarda çalışılmıştır. İkinci kapak ise kanal mansabına yakın yerleştirilerek hidrolik sıçramanın yerini değiştirmek için yine farklı açıklıklarda çalışılmıştır. İkinci kapağın açıklığının değiştirilmesiyle mansap su derinliği değiştirilerek sıçrama kontrol edilebilmektedir. İkinci kapak açıklığının azaltılmasıyla sıçrama menbaya doğru hareket ederek birinci kapağa yaklaşmaktadır ya da tam tersi bir hareketle ikinci kapağın açıklığı arttırıldığında sıçrama mansaba doğru hareket etmektedir. Su jetinden dolayı sıçrama menbaya yaklaştığı için, batık sıçramanın oluşumundan kaçınmak amacıyla serbest sıçrama hali mümkün olduğunca mansapta oluşturulmaya çalışılmıştır. Farklı Froude sayıları yakalayabilmek için kapak yerleri değiştirilmiştir.

Kanalda debi ölçümleri ağırlık tankı yardımıyla yapılmıştır. Bu tankın kapasitesi 30 lt olup kullanılan ağırlıklar 0.5, 1, 2, 5 ve 10 kg'dır. Deneylerde ölçümler 10 kg ile yapılmıştır.

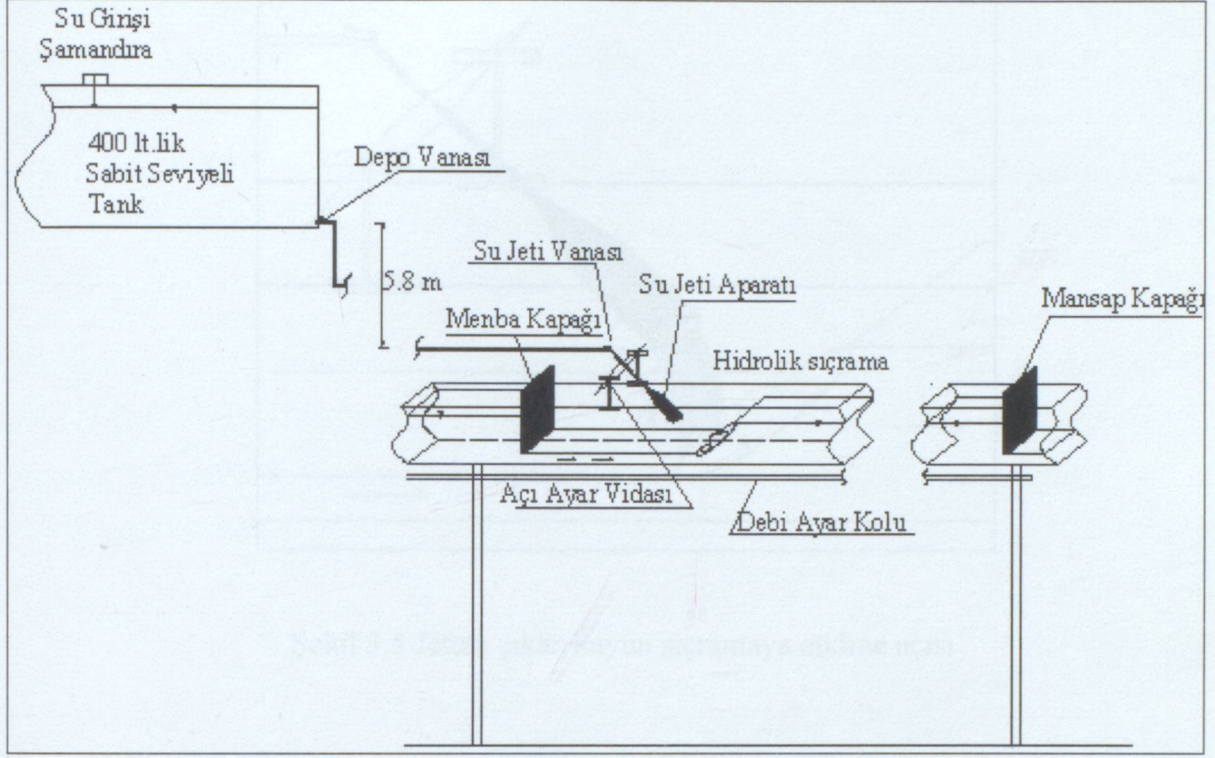
Deney sisteminde su jeti oluşturulması amacıyla krom-nikel alaşımından (paslanmaz) yapılan dikdörtgen kesitli bir aparat kullanılmıştır (Şekil 3.3). Jet ağzından fışkıran suyun açısını mümkün olduğu kadar jetin açısına yaklaştırmak için jet ağzı çelik levhalar yardımıyla küçültülmüştür. Dikdörtgen ağızlı aparatta üniform ve tam dolu jet akış kesiti sağlanması için aparatın içine saptırıcılar yerleştirilmiştir.



Şekil 3.3 Jet aparatı

Hidrolik sıçramanın topuğuna değişik açılarda jet tesir edebilmesi için jet aparatı oynar bir sehpa üzerine konularak kanalın üzerine yerleştirilmiştir. Jet akışının 5.80 m yükseklikteki bir tank

yardımıyla sürekliliği sağlanmıştır. Jetteki akış özelliklerinin değişmemesini sağlamak için tanktaki su sabit seviyede tutulmuştur. Şekil 3.4'te jetli hidrolik sıçramanın oluşumu gösterilmiştir.

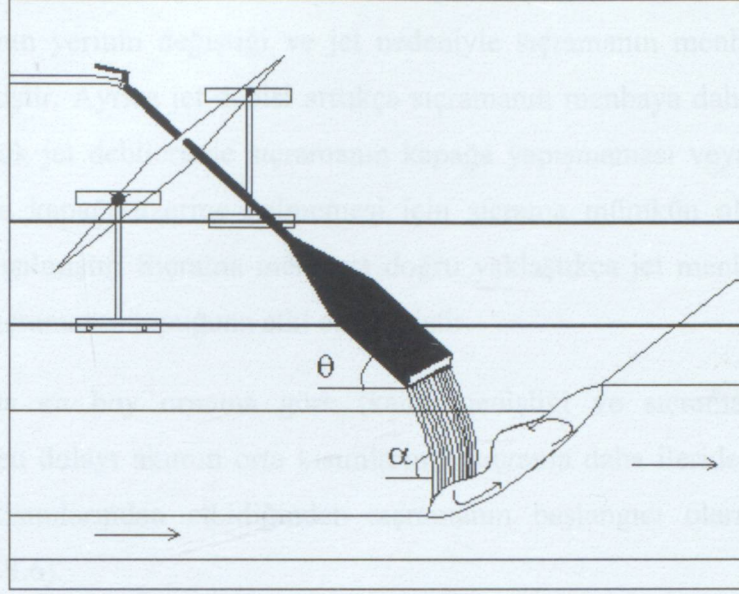


Şekil 3.4 Jetli hidrolik sıçramanın oluşumu

Deneylerde su jeti, hidrolik sıçrama topuğuna beş farklı debi ve üç farklı açıyla uygulanmıştır. Farklı jet debilerinin elde edilmesi için jet aparatına yerleştirilen vananın açıklığı değiştirilmiştir. Her deneyde ölçümler tekrar edilerek debinin aynı değer olmasına dikkat edilmiştir. Uygulanan debiler sırasıyla; 0.0467; 0.0539; 0.0638; 0.0782 ve 0.0972 lt/sn'dir. Farklı su jeti açılarının hidrolik sıçramaya etkilerinin belirlenmesi için jet aparatı 30°, 45° ve 60° lik açılarla yerleştirilmiştir. Ancak düşük debiler ve açığa bağlı olarak jetten çıkan su jet açısıyla değil, farklı açıyla sıçramaya etkimektedir. Jetten gelen suyun sıçramaya etkime şekli Şekil 3.5'te, her bir jet debisi için ortalama açılar belirlenerek açıları ise Çizelge 3.1 de gösterilmiştir. Bu çizelgede jetin yatayla olan açılara karşılık, suyun etkidiği noktada yatayla olan ortalama açısı gösterilmiştir. Suyun etkime açısındaki değişiklik en büyük debide 10° olarak gözükmiştir.

Hidrolik sıçrama farklı Fr_1 sayılarında oluşturulmuştur. Burada Fr_1 , sıçramanın menbasındaki Froude sayısıdır. Her bir Froude sayısında oluşturulan hidrolik sıçrama için akım şartlarının bozulmaması amacıyla kanal tankı tam dolu çalıştırılmış, kanal tankına jetten

dolayı gelen ilave akım taşınmıştır. Böylelikle menba Froude sayısı sabit tutulmuştur. Önce serbest hidrolik sıçrama oluşturularak serbest sıçrama için ölçümler yapılmış, sonra sırayla



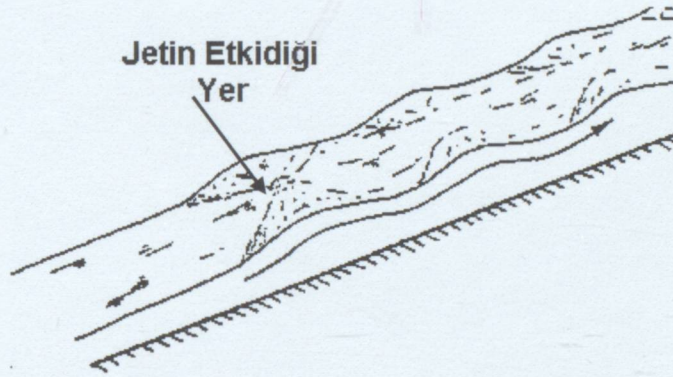
Şekil 3.5 Jetten çıkan suyun sıçramaya etkiye açısı

Çizelge 3.1 Suyun hidrolik sıçrama topuğuna etkiye açıları

	Jet debileri q_j (lt/s)	Jetin etkiye açısı (θ)	Suyun etkiye açısı (α)
1.jet	0.0467	30°	90°
		45°	
		60°	
2.jet	0.0539	30°	85°
		45°	
		60°	
3.jet	0.0638	30°	80°
		45°	
		60°	
4.jet	0.0782	30°	75°
		45°	
		60°	
5.jet	0.0972	30°	70°
		45°	
		60°	

değişen 5 farklı jet debisinde 3 farklı etkiye açıları için ölçümler yapılmıştır. Jet debisi en küçükten başlanıp büyüğe doğru artırılarak çalışılmıştır. Jet debisi ölçümleri her deneyde tekrarlanarak bütün deneyler için aynı olması sağlanmıştır. Deneylerde jetin uygulanması sırasında sıçramanın yerinin değiştiği ve jet nedeniyle sıçramanın menbaya doğru hareket ettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca jet debisi arttıkça sıçramanın menbaya daha da çok yaklaştığı görülmüştür. Büyük jet debilerinde sıçramanın kapağa yapışmaması veya jet oynar sehpa ayaklarının menba kapağı üzerine gelmemesi için sıçrama mümkün olduğunca mansapta oluşturulmaya çalışılmıştır. Sıçrama menbaya doğru yaklaştıkça jet menbaya doğru hareket ettirilerek tekrar sıçramanın topuğuna etki ettirilmiştir.

Sıçrama esnasında en boy oranına göre (kanal genişliği ve sıçrama sonrası derinlik) cidarlardaki etkiden dolayı akımın orta kısımlarında sıçrama daha ileride başlamaktadır. Jet sıçramaya orta kısımlarından etkidiğinden sıçramanın başlangıcı olarak daha ileri etki ettirilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Jetin etkidiği yer

Yatay kanalda oluşturulan Froude sayılarında 5 farklı jet debisi ve 3 farklı açıda yapılan deneylerin şartları Çizelge 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7’de verilmiştir.

Burada $q_j^* = \frac{q_j}{u_1 y_1}$ ve $u_j^* = \frac{u_j}{u_1}$ boyutsuz jet debisi ve hızı, q_j ; birim jet debisi ($m^3/s.m$), u_j ; jet hızı (m/s), u_1 ; sıçramanın menbasındaki akım hızı (m/s), y_1 ; sıçramanın menbasındaki su derinliğidir.

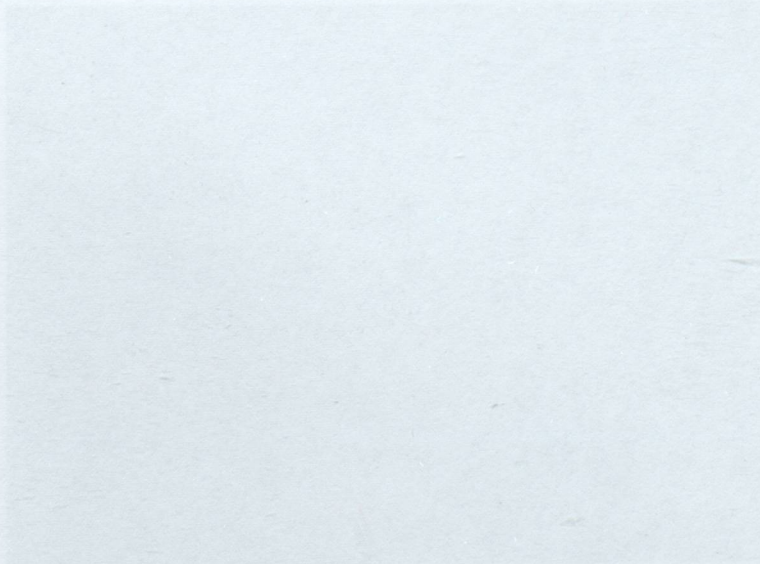
Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi 6 farklı Froude sayısı için, 5 farklı jet debisinde, 3 farklı açı değerleri için olmak üzere toplam 96 deney şartı için çalışılmıştır.

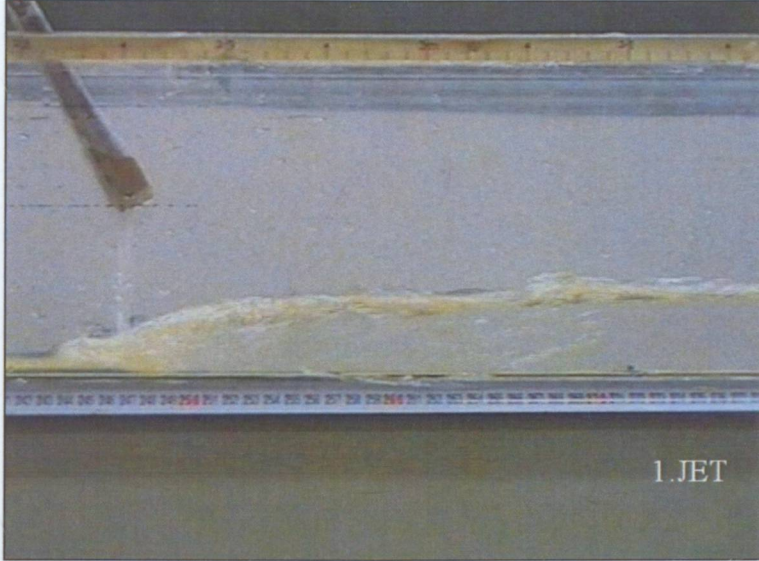
Serbest sıçrama ve jetli sıçrama şartlarında yüzey profilleri ve akımın çeşitli noktalarında

hızların belirlenmesi için akıma ABS (Acrilo Nitril Bütadien Styren) partikülleri atılarak izlenmiştir. Bu belirlenmeler görüntü işleme tekniği ile yapılmıştır.

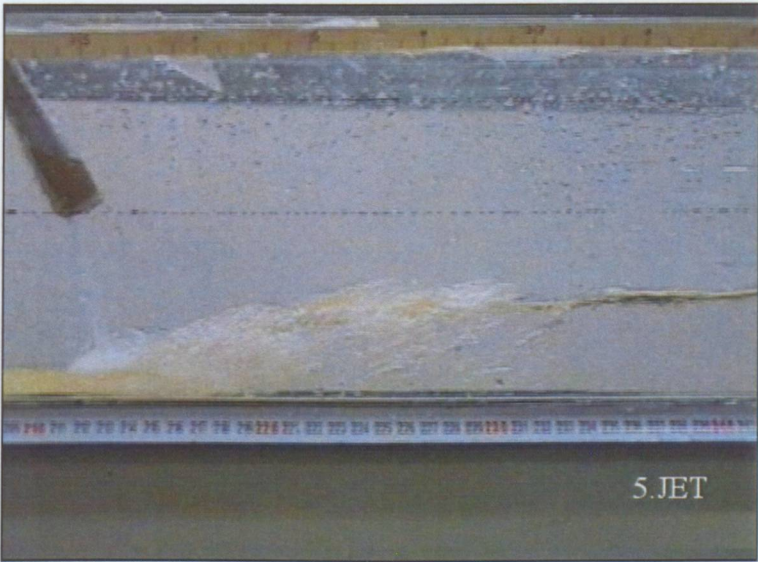
Çevri uzunluğunun belirlenmesi için sıçramanın çeşitli noktalarına pipet yardımıyla potasyum permanganat enjeksiyonu yapılarak, akımın döndüğü nokta bulunup çevri uzunlukları hesaplanmıştır. 1.düşey kapağın menbasında y_0 , sıçramanın menbasında y_1 ve sıçramanın mansabında y_2 derinlikleri limnimetre yardımıyla ölçülmüştür.

$Fr=3.43$ için serbest ve her bir jet için olan sıçramaların deney sırasında çekilmiş olan kayıtlarından incelenmek üzere alınmış olan resimler Şekil 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 ve 3.11’de gösterilmiştir. Bu resimlerde jet yatayla 60° açı yapmaktadır.





Şekil 3.7 $Fr_1=3.43$, jet açısı 60° için hidrolik sıçramalar



Şekil 3.7 $Fr_1=3.43$, jet açısı 60° için hidrolik sıçramalar (devam)

Çizelge 3.2 $Fr_1=3.43$ için deney şartları

	Sistem Debisi (m^3/s)	JET DEBİLERİ (m^3/s)	JET AÇISI	q_j ($m^3/s.m$)	q_j^*	y_1 (cm)	y_2 (cm)	u_1 (m/s)	u_j (m/s)	u_j^*
1	FR=3.43 $Q_S=66.80 \times 10^{-5}$	Serbest Sıçrama				0.85	4.3	0.99		
		$Q_{J1}=4.67 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	6.9702×10^{-4}	0.073	0.75	4.65	1.271	0.697	0.548
			$\theta=45^\circ$		0.073	0.75	4.65	1.271	0.697	0.548
			$\theta=60^\circ$		0.073	0.75	4.65	1.271	0.697	0.548
		$Q_{J2}=5.385 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	8.0373×10^{-4}	0.084	0.75	4.7	1.283	0.804	0.627
			$\theta=45^\circ$		0.084	0.75	4.7	1.283	0.804	0.627
			$\theta=60^\circ$		0.084	0.9	4.7	1.069	0.804	0.752
		$Q_{J3}=6.389 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	9.5358×10^{-4}	0.098	0.7	4.85	1.394	0.954	0.684
			$\theta=45^\circ$		0.098	0.7	4.85	1.394	0.954	0.684
			$\theta=60^\circ$		0.098	0.7	4.85	1.394	0.954	0.684
		$Q_{J4}=7.825 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	11.679×10^{-4}	0.117	0.75	5	1.327	1.168	0.88
			$\theta=45^\circ$		0.117	0.75	5	1.327	1.168	0.88
			$\theta=60^\circ$		0.117	0.8	5	1.244	1.168	0.939
		$Q_{J5}=9.71 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	14.493×10^{-4}	-	battı	-	batık	1.5	-
			$\theta=45^\circ$		0.142	0.4	5.15	2.55	1.5	0.588
			$\theta=60^\circ$		0.142	0.4	5.15	2.55	1.5	0.588

Çizelge 3.3 $Fr_1=3.71$ için deney şartları

	Sistem Debisi (m^3/s)	JET DEBİLERİ (m^3/s)	JET AÇISI	q_j ($m^3/s.m$)	q_j^*	y_1 (cm)	y_2 (cm)	u_1 (m/s)	u_j (m/s)	u_j^*
2	$FR=3.71$ $Q_s=74.42 \times 10^{-5}$	Serbest Sıçrama				0.9	4.6	1.103		
		$Q_{j1}=4.67 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	6.9702×10^{-4}	0.066	0.8	4.95	1.318	0.697	0.529
			$\theta=45^\circ$		0.066	0.8	4.95	1.318	0.697	0.529
			$\theta=60^\circ$		0.066	0.8	4.95	1.318	0.697	0.529
		$Q_{j2}=5.385 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	8.0373×10^{-4}	0.076	0.9	5.1	1.182	0.804	0.68
			$\theta=45^\circ$		0.076	0.9	5.1	1.182	0.804	0.68
			$\theta=60^\circ$		0.076	0.9	5.1	1.182	0.804	0.68
		$Q_{j3}=6.389 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	9.5358×10^{-4}	0.089	0.85	5.15	1.268	0.954	0.752
			$\theta=45^\circ$		0.089	0.9	5.15	1.197	0.954	0.797
			$\theta=60^\circ$		0.089	0.9	5.15	1.197	0.954	0.797
		$Q_{j4}=7.83 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	11.687×10^{-4}	0.107	0.85	5.25	1.29	1.169	0.906
			$\theta=45^\circ$		0.107	0.85	5.25	1.29	1.169	0.906
			$\theta=60^\circ$		0.107	0.7	5.25	1.567	1.169	0.746
		$Q_{j5}=9.718 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	14.5045×10^{-4}	-	battı	-	batık	1.45	-
			$\theta=45^\circ$		0.129	0.6	5.4	1.8697	1.45	0.776
			$\theta=60^\circ$		0.129	0.6	5.4	1.8697	1.45	0.776

Çizelge 3.4 $Fr_1=4.12$ için deney şartları

		Sistem Debisi (m^3/s)	JET DEBİLERİ (m^3/s)	JET AÇISI	q_j ($m^3/s.m$)	q_j^*	y_1 (cm)	y_2 (cm)	u_1 (m/s)	u_j (m/s)	u_j^*
3	FR=4.12	$Q_S=62.87 \times 10^{-5}$	Serbest Sıçrama				0.75	4.2	1.118		
			$Q_{J1}=4.67 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	6.9702×10^{-4}	0.077	0.7	4.75	1.287	0.697	0.542
				$\theta=45^\circ$		0.077	0.7	4.75	1.287	0.697	0.542
				$\theta=60^\circ$		0.077	0.7	4.75	1.287	0.697	0.542
			$Q_{J2}=5.39 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	8.0448×10^{-4}	0.088	0.75	4.8	1.214	0.804	0.662
				$\theta=45^\circ$		0.088	0.75	4.8	1.214	0.804	0.662
				$\theta=60^\circ$		0.088	0.75	4.8	1.214	0.804	0.662
			$Q_{J3}=6.38 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	9.5224×10^{-4}	0.103	0.65	4.9	1.421	0.952	0.67
				$\theta=45^\circ$		0.103	0.6	4.9	1.539	0.952	0.619
				$\theta=60^\circ$		0.103	0.55	4.9	1.679	0.952	0.567
			$Q_{J4}=7.83 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	11.687×10^{-4}	-	battı	-	batık	1.169	-
				$\theta=45^\circ$		0.124	0.55	5.1	1.714	1.169	0.682
				$\theta=60^\circ$		0.124	0.65	5.1	1.45	1.169	0.806
			$Q_{J5}=9.72 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	14.508×10^{-4}	0.15	0.5	5.25	1.936	1.45	0.749
				$\theta=45^\circ$		0.15	0.55	5.25	1.76	1.45	0.824
				$\theta=60^\circ$		-	battı	-	batık	1.45	-

Çizelge 3.5 $Fr_1=4.37$ için deney şartları

	Sistem Debisi (m^3/s)	JET DEBİLERİ (m^3/s)	JET AÇISI	q_j ($m^3/s.m$)	q_j^*	y_1 (cm)	y_2 (cm)	u_1 (m/s)	u_j (m/s)	u_j^*
4	FR=4.37 $Q_s=73.49 \times 10^{-5}$	Serbest Sıçrama				0.8	4.65	1.225		
		$Q_{j1}=4.669 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	6.9687×10^{-4}	0.067	0.85	5.05	1.226	0.697	0.569
			$\theta=45^\circ$		0.067	0.85	5.05	1.226	0.697	0.569
			$\theta=60^\circ$		0.067	0.85	5.05	1.226	0.697	0.569
		$Q_{j2}=5.39 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	8.0448×10^{-4}	0.077	0.85	5.15	1.237	0.804	0.65
			$\theta=45^\circ$		0.077	0.85	5.15	1.237	0.804	0.65
			$\theta=60^\circ$		0.077	0.85	5.15	1.237	0.804	0.65
		$Q_{j3}=6.386 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	9.531×10^{-4}	0.089	0.9	5.25	1.183	0.953	0.806
			$\theta=45^\circ$		0.089	0.85	5.25	1.253	0.953	0.761
			$\theta=60^\circ$		0.089	0.85	5.25	1.253	0.953	0.761
		$Q_{j4}=7.813 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	11.661×10^{-4}	-	battı	-	batık	1.166	-
			$\theta=45^\circ$		0.108	0.6	5.35	1.807	1.166	0.645
			$\theta=60^\circ$		0.108	0.6	5.35	1.807	1.166	0.645
		$Q_{j5}=9.709 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	14.491×10^{-4}	-	battı	-	batık	1.45	-
			$\theta=45^\circ$		-	battı	-	batık	1.45	-
			$\theta=60^\circ$		-	battı	-	batık	1.45	-

Çizelge 3.6 $Fr_1=4.59$ için deney şartları

	Sistem Debisi (m^3/s)	JET DEBİLERİ (m^3/s)	JET AÇISI	q_j ($m^3/s.m$)	q_j^*	y_1 (cm)	y_2 (cm)	u_1 (m/s)	u_j (m/s)	u_j^*
5	FR=4.59 $Q_s=77.12 \times 10^{-5}$	Serbest Sıçrama				0.8	4.7	1.285		
			$\theta=30^\circ$	6.9702×10^{-4}	0.064	0.7	5.15	1.558	0.697	0.447
			$\theta=45^\circ$		0.064	0.7	5.15	1.558	0.697	0.447
		$Q_{j1}=4.67 \times 10^{-5}$	$\theta=60^\circ$		0.064	0.7	5.15	1.558	0.697	0.447
			$\theta=30^\circ$	8.0448×10^{-4}	0.073	0.75	5.25	1.467	0.804	0.548
			$\theta=45^\circ$		0.073	0.8	5.25	1.375	0.804	0.585
			$\theta=60^\circ$		0.073	0.8	5.25	1.375	0.804	0.585
		$Q_{j3}=6.385 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	9.529×10^{-4}	0.086	0.9	5.3	1.237	0.953	0.77
			$\theta=45^\circ$		0.086	0.9	5.3	1.237	0.953	0.77
			$\theta=60^\circ$		0.086	0.9	5.3	1.237	0.953	0.77
		$Q_{j4}=7.82 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	11.671×10^{-4}	-	BATTI	-	batık	1.167	-
			$\theta=45^\circ$		0.103	0.65	5.4	1.742	1.167	0.67
			$\theta=60^\circ$		0.103	0.65	5.4	1.742	1.167	0.67
		$Q_{j5}=9.72 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	14.508×10^{-4}	0.123	0.8	5.6	1.477	1.45	0.982
			$\theta=45^\circ$		-	BATTI	-	batık	1.45	-
			$\theta=60^\circ$		0.123	0.8	5.6	1.477	1.45	0.982

Çizelge 3.7 $Fr_1=4.83$ için deney şartları

	Sistem Debisi (m^3/s)	JET DEBİLERİ (m^3/s)	JET AÇISI	q_j ($m^3/s.m$)	q_j^*	y_1 (cm)	y_2 (cm)	u_1 (m/s)	u_j (m/s)	u_j^*
6 FR=4.83	$Q_s=66.37 \times 10^{-5}$	Serbest Sıçrama				0.7	4.45	1.264		
		$Q_{j1}=4.67 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	6.9702×10^{-4}	0.074	0.55	4.95	1.722	0.697	0.405
			$\theta=45^\circ$		0.074	0.55	4.95	1.722	0.697	0.405
			$\theta=60^\circ$		0.074	0.6	4.95	1.579	0.697	0.441
		$Q_{j2}=5.39 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	8.0448×10^{-4}	0.084	0.5	5.05	1.9136	0.804	0.42
			$\theta=45^\circ$		0.084	0.5	5.05	1.9136	0.804	0.42
			$\theta=60^\circ$		0.084	0.45	5.05	2.126	0.804	0.378
		$Q_{j3}=6.38 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	9.5224×10^{-4}	-	battı	5.1	batık	0.952	-
			$\theta=45^\circ$		0.098	0.45	5.1	2.156	0.952	0.442
			$\theta=60^\circ$		0.098	0.45	5.1	2.156	0.952	0.442
		$Q_{j4}=7.825 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	11.679×10^{-4}	0.118	0.45	5.25	2.198	1.168	0.531
			$\theta=45^\circ$		-	battı	5.25	batık	1.168	-
			$\theta=60^\circ$		0.118	0.7	5.25	1.413	1.168	0.827
		$Q_{j5}=9.718 \times 10^{-5}$	$\theta=30^\circ$	14.5045×10^{-4}	0.143	0.6	5.45	1.691	1.45	0.857
			$\theta=45^\circ$		0.143	0.75	5.45	1.353	1.45	1.072
			$\theta=60^\circ$		0.143	0.85	5.45	1.193	1.45	1.215

3.3 Görüntü İşleme ile Ölçüm Sistemleri

Görüntü işleme sistemi; video kamera sistemi ve bilgisayar sistemi olmak üzere 2 sistemden oluşmaktadır. Kamera sistemi olarak S-VHS kamera kullanılarak görüntü kalitesi artırılmıştır. Kamera kullanımında bir seri netlik ayarları yapılarak görüntü niteliği artırılmıştır. Kamera her deneyden önce sehпасına yerleştirilerek ilk olarak beyaz ayarı yapılmıştır. Bu ayar ile görüntüde netlik sağlanmıştır. Odak ayarları yapılarak ve kamera ölçüm sistemine dik yerleştirilerek üçüncü boyut etkisi minimuma indirilmiştir. Kamera özellikleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Bilgisayar sistemi kullanımı şu şekilde yapılmıştır. Elde edilen görüntü bir bilgisayara yerleştirilmiş donanım ve yüklenen yazılım yardımıyla kameradan bilgisayara aktarıldıktan sonra istenen görüntüler saniyenin yirmi beşte bir aralıklarında ayrılarak incelenmiştir. Her deney şartı için kayıtlar bilgisayarda izlendikten sonra istenen görüntüler ayrı bir hard diske işlenmiş ve CD’lere kaydedilmiştir. Gerekli görünen görüntüler ya printer yardımıyla özel kağıtlara baskı alınmak suretiyle ya da AUTOCAD programı yardımıyla incelenmiştir. Böylelikle deneylerde çevri uzunluğu, hız ve profil belirlenmiştir.

Görüntü işleme sisteminin özellikleri Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Hız ölçümleri için deney sırasında akıma bırakılan ABS partikülleri kullanılmıştır. Küp biçiminde ve ortalama büyüklükleri 2mm civarında olan bu partiküllerin görüntü işleme sırasında takibi yapılmıştır. Bu taneciklerin yoğunluğu suyun yoğunluğuna oldukça yakın olup 1.04’dür ve küp şeklinde olduğu için akımda kolaylıkla sürüklenmektedir.

Deney sırasında atılan bu ABS partiküllerinin saniyenin yirmi beşte birinde kat ettikleri mesafeler ölçülerek hız vektörleri bulunmuştur.

Hız ölçümlerinde kullanılan ABS partiküllerinin akışkanın partiküllerini ifade ettikleri kabul edilmiştir. Bu partiküllerin suyla olan yoğunluk farkı (her ne kadar suyun yoğunluğuna yakın olsada) ve partiküllerin köşeli biçimde olması direnç kuvvetinden dolayı sürüklenme gücüne etki edeceği düşünülmüş ve bu etkilerin deney sonuçlarındaki etkisinin araştırılmıştır. Bunun için kanalda kararlı üniform akım şartlarında akım hızının pitot tüpü ve ağırlık tankı ile debi ölçülerek ve ABS partiküllerinin hızı karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda %1-2 civarında hata olduğu bulunmuştur (Bostan, 2000).

Çizelge 3.8 Video kameranın özellikleri

Model	Panasonic
Kaset Formatı	S-VHS
Kayıt Süresi	5 saat SE300
Video Televizyon Sistemi	CCIR; 625 lines, 50 fields PAL color
Video Çıkış Seviyesi	Video Out 1.0 V _{p-p} 75 ohm terminated
Audio Çıkış Seviyesi	Audio Out-6dBV/47 kohm loaded/less than 1 kohm
Giriş Hassasiyeti	Mic In (M3 Stereo)-70 dBV/4.7 kohm or more unbalanced
Audio Track	1 Track (Normal-Monaural), 2 Channels (Hi-Fi Sound Stereo)
Görüntü Sensörü	1/3 inch CCD image sensör
Lens	12:1 Power 200 m Lens (Optical Capability), F1.6 Focal Length; 5.6-67 mm , Digital AI Auto Focus/Auto Iris Filter Diameter; 49 mm
Viewfinder	0.7-inch Electronic Viewfinder
Standart Işık	1.400 Lux
Minimum Işık	4 Lax (Low Light Mode)
Çalışma Sıcaklığı	0° C-40° C
Çalışma Rutubeti	%10-80
Ağırlık	Batarya hariç 2.8 kg.
Boyut	130 mm(Genişlik)*245 mm(Yükseklik)*476 mm (Derinlik)

Çizelge 3.9 Görüntü işleme donanım sistemi miro video DC 30

Video Girişleri	Composit (FBAS), cinch soket S-Video (Y/C)
Video Çıkışları	Composit (FBAS), cinch soket S-Video (Y/C)
Video Standartları	PAL, NTSC, SECAM (CCIR 601 desteği)
Video yakalama ve Ölçeklendirme	768*576'a kadar (Pal,Secam), 640*840'a kadar (NTSC) 50/60 alan/saniye
Video Overlay	Direct Draw Uyumlu Grafik Kartı
Video Editing	Adobe Premiere için özel hızlandırıcı
Sıkıştırma	Hareketli JPEG sıkıştırma teknolojisi (MJPEG)
Sıkıştırma Oranı	3:1
Data Transfer Hızı	6 MB/saniye
Kare Yakalama Hızı	25/30 kare/saniye (PAL, NTSC) hareketli JPEG gerçek zamanda sıkıştırma
Renk Derinliği	16.7 Milyon (4:2:2 YUV)
Ses Yakalama	16 Bit Senkronize, 48 khz stereo
Ayar İmkanları	Işık, kontrast, renk oranı, filtre, hue, JPEG kalite ayarı, harddisk bilgi erişim hızı ayarı, lip sync.
Bus Yapısı	PCI
Program Sürücüler	Win 95- Win XP
Program Desteği	Adobe Premiere 4.2 LE, Ulead MediaStudio Pro 7.00.1000 (Video Paint-Video Editor 7.0) Jasc Paint Shop Pro8

4. TARTIŞMA

4.1 Su Yüzü Profilleri

Hidrolik sıçramaya jet etkisinin araştırılması için bu çalışma kapsamında, su yüzü profili değişimi akımın Froude sayısının, jet debilerinin ve jet etkime açılarının değiştirilmesi ile araştırılmıştır. Her bir deney şartında alınan görüntüler Autocad programına aktararak görüntülerden yatay ve düşey koordinatlar okunmuş ve böylelikle su yüzü profilleri çizilmiştir.

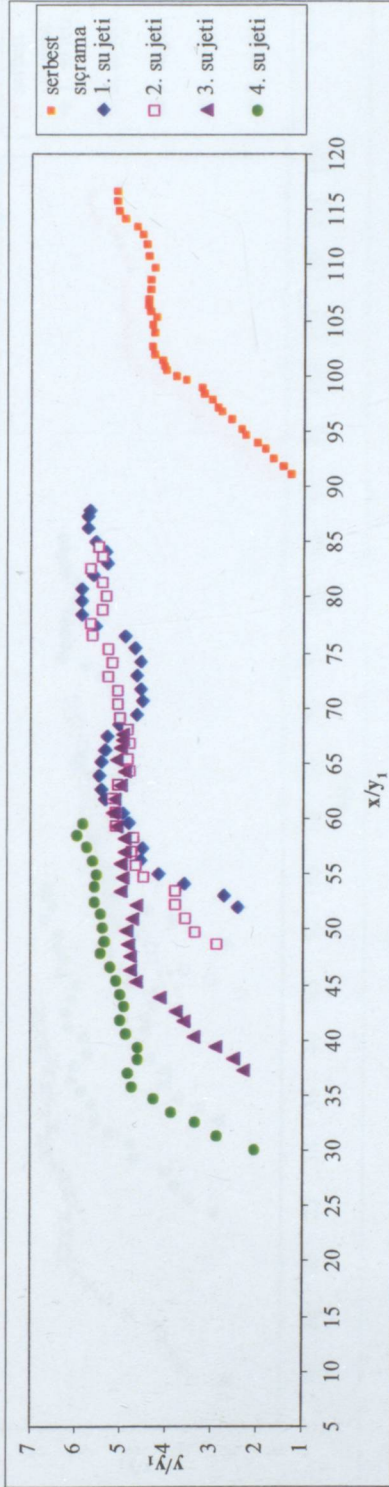
Su yüzü profillerinin değişiminin belirlenmesinde kullanılan grafikler her bir Froude sayısı için ; önce açılar sabit tutulması ile jet debileri değiştirilerek debi değişim etkisi araştırılmış, daha sonra farklı jet debilerinde açılar değiştirilerek açı etkisi araştırılmıştır.

Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te Froude sayısı 3.43 için 30° , 45° ve 60° jet etkime açılarına göre gruplandırılmış su yüzü profillerinde farklı jet debilerinin etkisi araştırılmıştır.

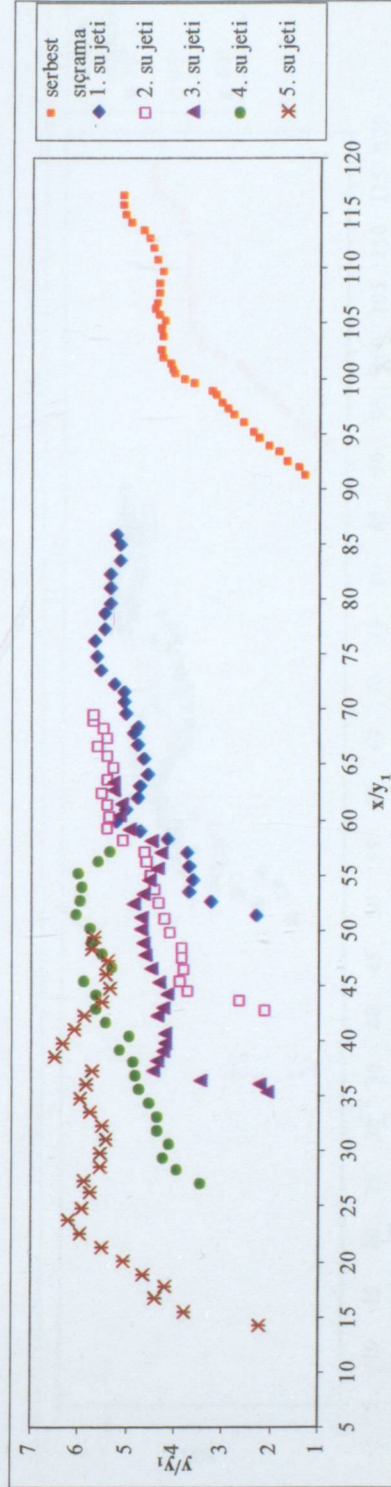
Şekil 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8'de ise Froude sayısı 3.43 için jet debisine göre gruplandırılmış su yüzü profillerinde jet açılarının etkisi araştırılmıştır.

Bu çizilen tüm grafiklerde akımın Froude sayısı ve jet etkime açısı ne olursa olsun artan jet debisi ile hidrolik sıçramanın akımın menbasına doğru ilerleyerek yerinin değiştiği gözlenmektedir. Hatta bazı deneylerde en büyük jet debilerinde hidrolik sıçrama kapağa çok yaklaştığından ve batık sıçrama oluştuğundan jet etki ettirilememiş bu jet ölçümleri değerlendirilmemiştir.

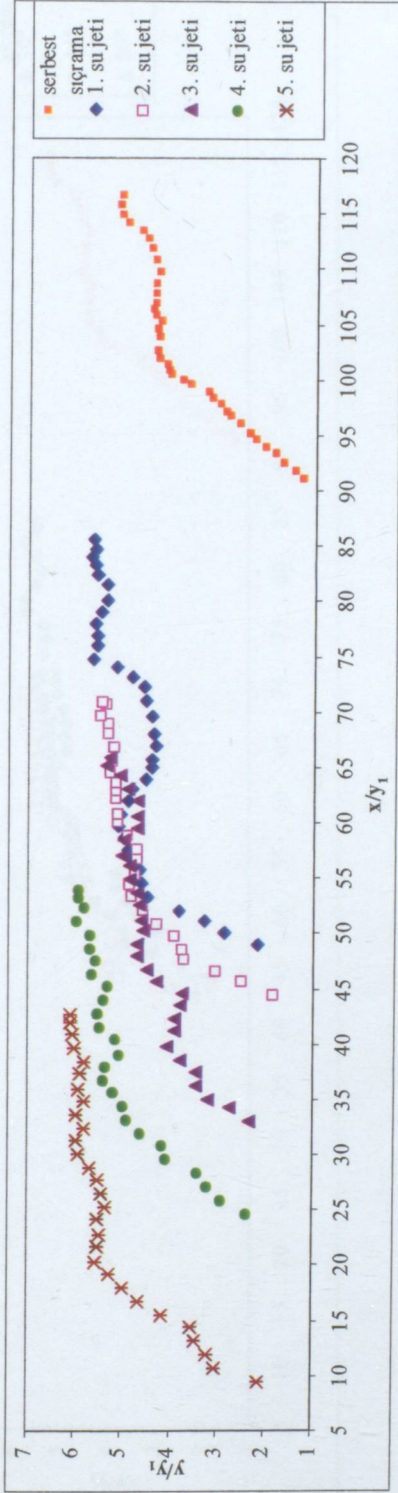
Değişen jet debilerinin etkisi hidrolik sıçrama yerinin değişiminde son derece etkili olmasına rağmen jet etkime açısının etkisi net olarak gözlenememiştir. Bunun nedeni muhtemelen suyun etkime açısının jetin etkime açısından çok farklı olması (Çizelge 3.1) ile suyun etkime açısındaki değişimin az olması ve bu hassasiyetle farklılığın hissedilememesindendir.



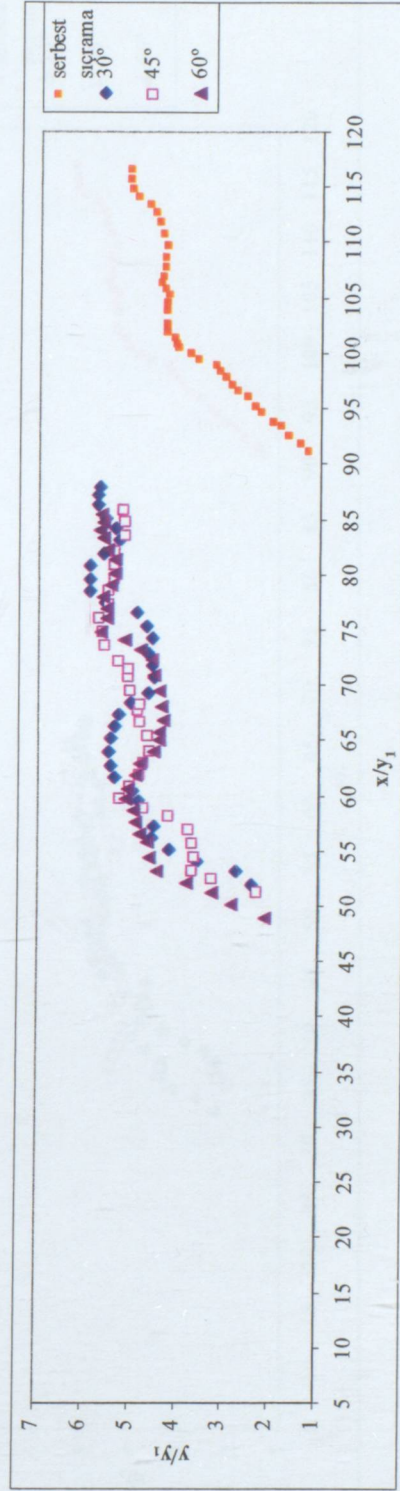
Şekil 4.1 $Fr_1=3.43$, jet açısı 30° için su yüzü profilleri



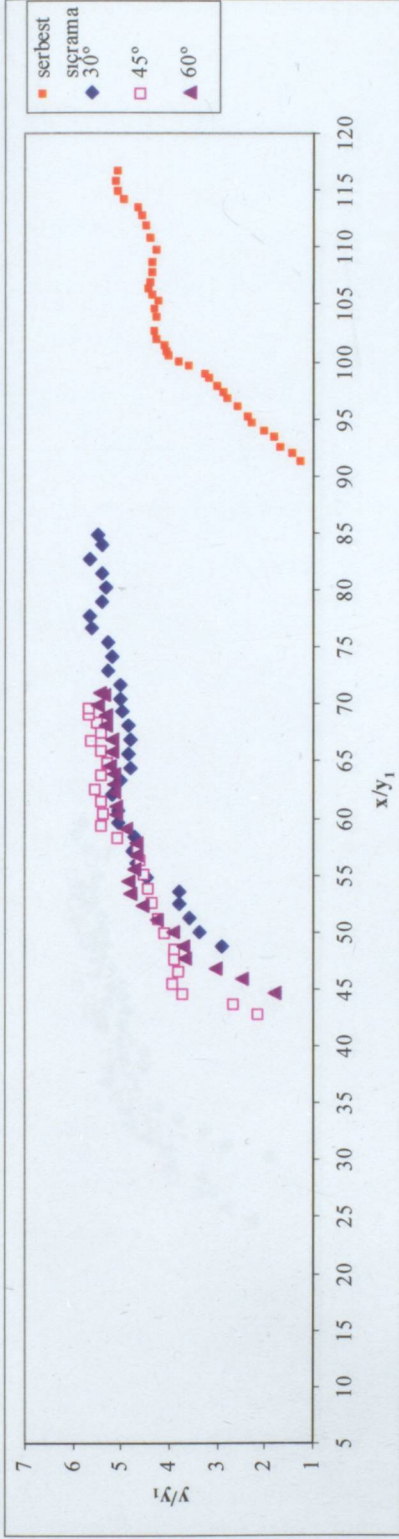
Şekil 4.2 $Fr_1=3.43$, jet açısı 45° için su yüzü profilleri



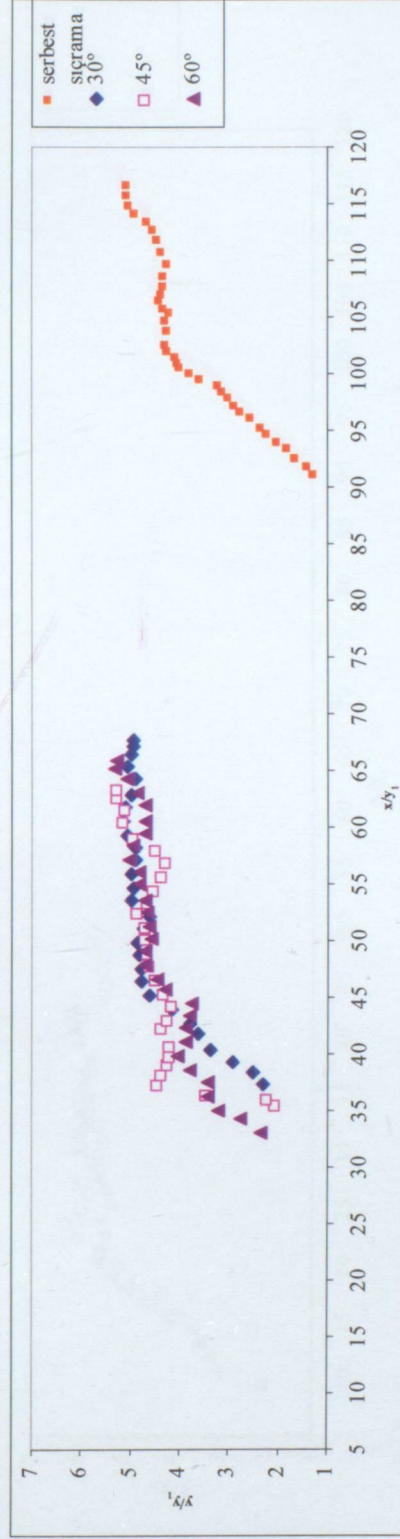
Şekil 4.3 $Fr_1=3.43$, jet açısı 60° için su yüzü profilleri



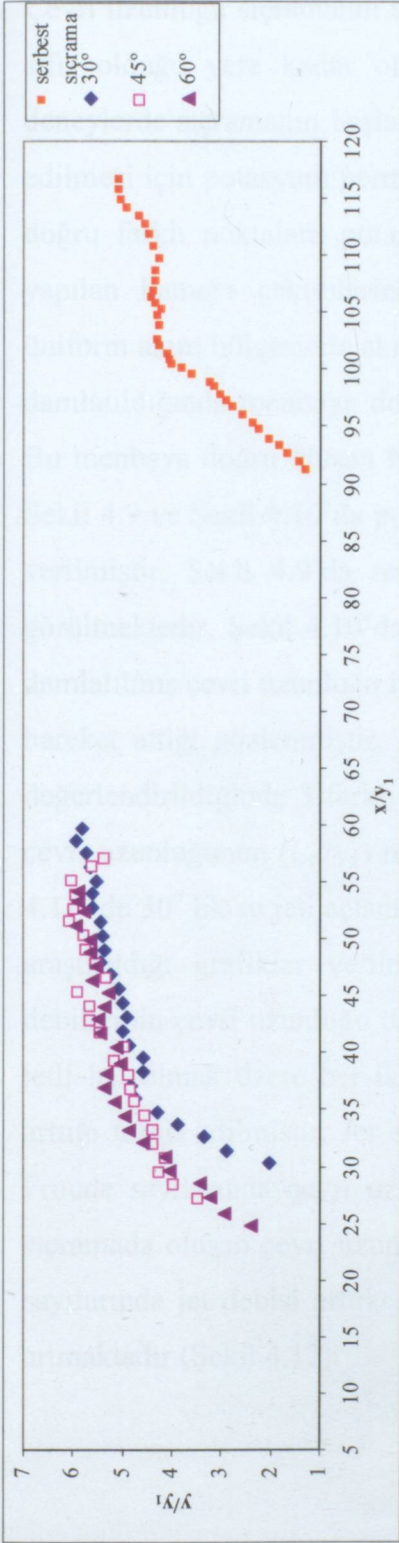
Şekil 4.4 $Fr_1=3.43$, 1. jet debisi için su yüzü profilleri



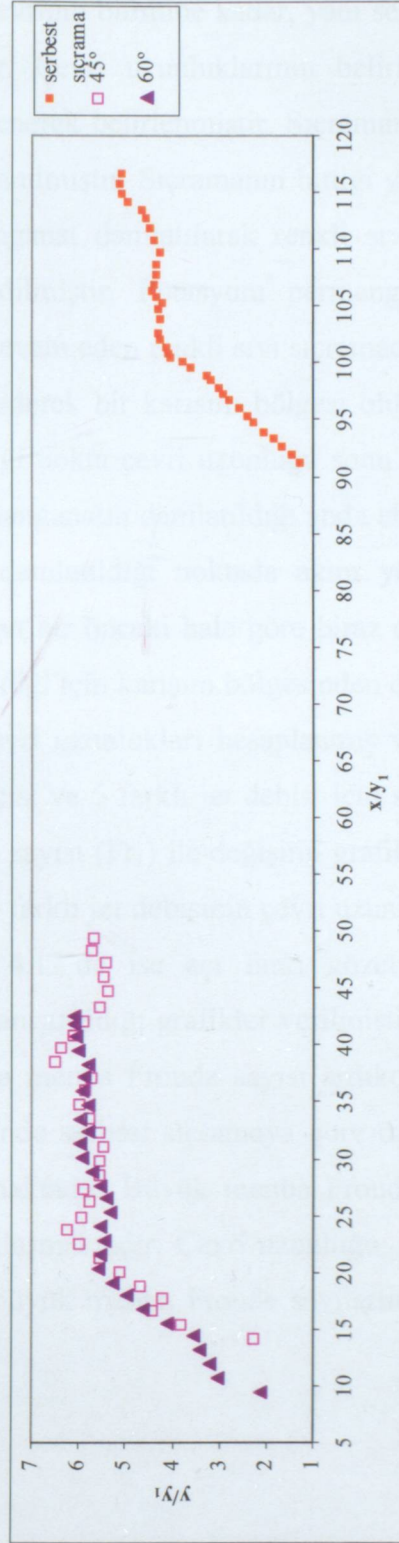
Şekil 4.5 $Fr_1=3.43$, 2.jet debisi için su yüzü profilleri



Şekil 4.6 $Fr_1=3.43$, 3.jet debisi için su yüzü profilleri



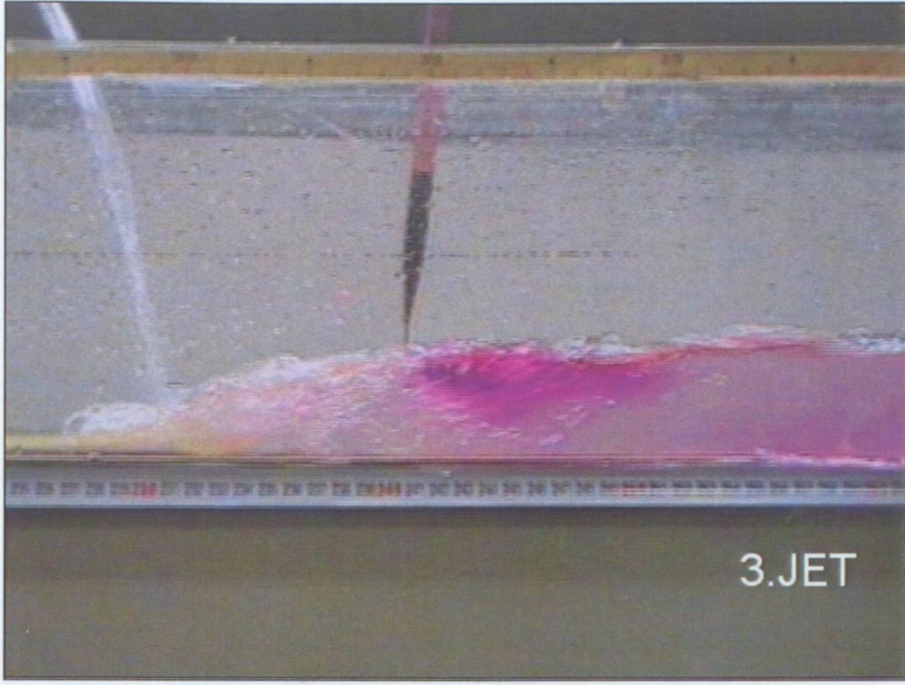
Şekil 4.7 $Fr_1=3.43$, 4.jet debisi için su yüzü profilleri



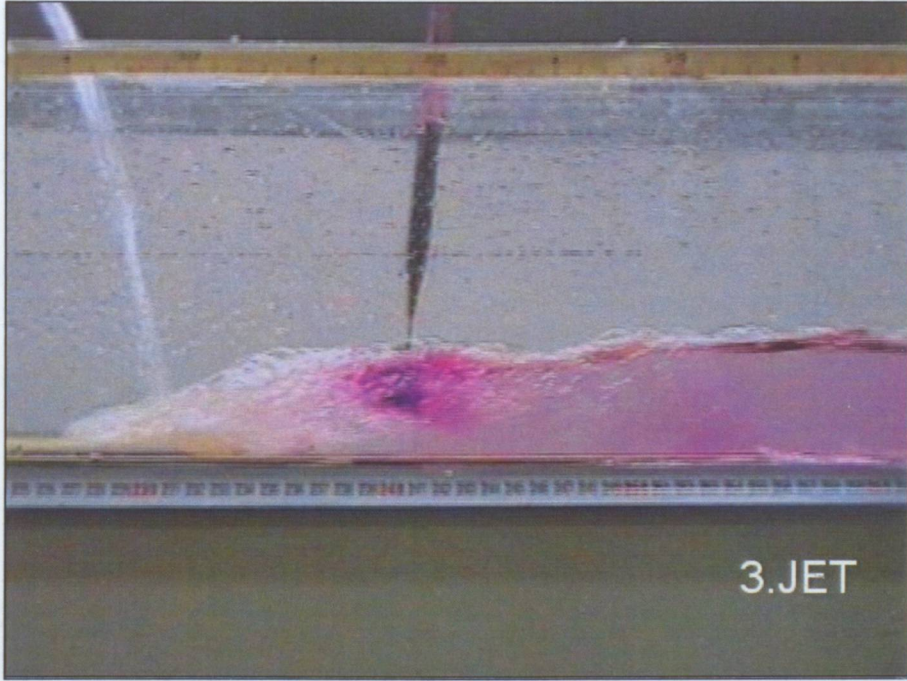
Şekil 4.8 $Fr_1=3.43$, 5.jet debisi için su yüzü profilleri

4.2 Çevri Uzunlukları

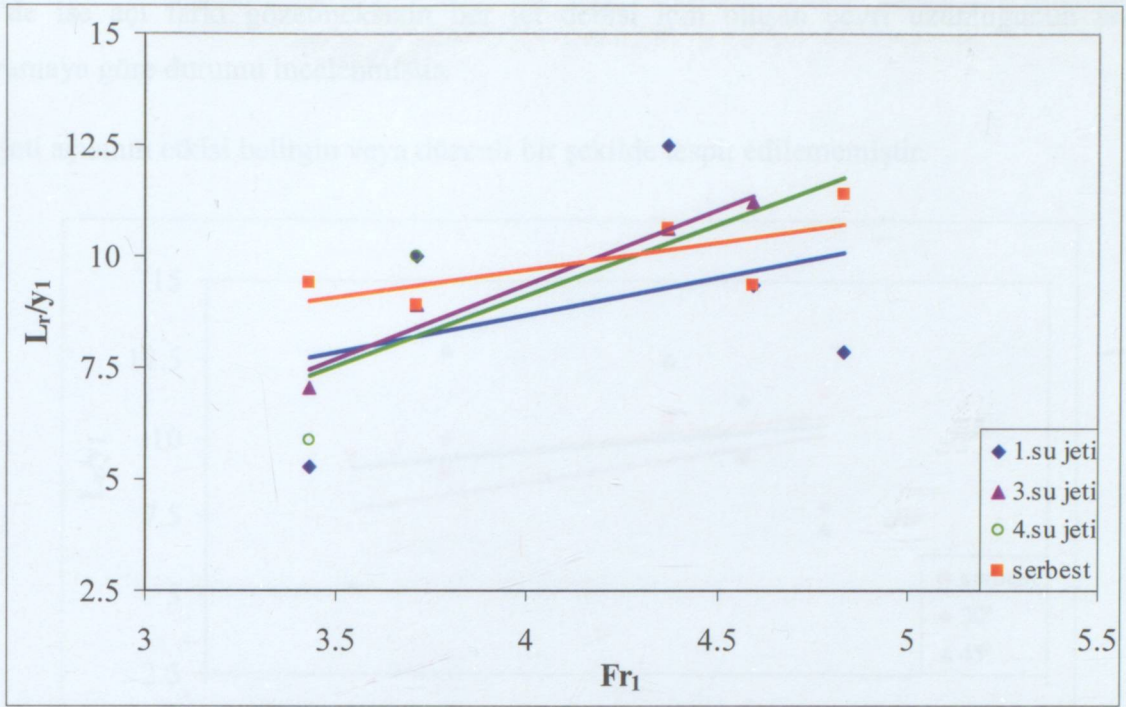
Çevri uzunluğu sıçramanın topuğundan çevrinin bitimine kadar, yani serbest yüzeydeki hızın sıfır olduğu yere kadar olan mesafedir. Çevri uzunluklarının belirlenmesi için yapılan deneylerde sıçramanın başladığı yer gözlenerek belirlenmiştir. Sıçramanın bittiği yerin tespit edilmesi için potasyum permanganat kullanılmıştır. Sıçramanın bittiği yer sıçramanın sonuna doğru farklı noktalara potasyum permanganat damlatılarak renkli sıvının hareketine göre yapılan kamera çekimlerinden tespit edilmiştir. Potasyum permanganat damlatıldığında üniform akım bölgesinde akım yönünde devam eden renkli sıvı sıçramadaki çevri uzunluğuna damlatıldığında menbaya doğru hareket ederek bir karışım bölgesi oluştuğunu göstermiştir. Bu menbaya doğru oluşan hareketin bittiği nokta çevri uzunluğu sonu olarak belirlenmiştir. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da potasyum permanganatın damlatıldığı anda elde edilmiş görüntüler verilmiştir. Şekil 4.9'da renkli sıvının damlatıldığı noktada akım yönünde devam ettiği görülmektedir. Şekil 4.10'da ise renkli sıvı bir önceki hale göre biraz daha sıçramaya yakın damlatılmış çevri uzunluğu içine denk geldiği için karışım bölgesinden dolayı menbaya doğru hareket ettiği gözlenmiştir. Böylelikle çevri uzunlukları hesaplanmış ve elde edilen veriler değerlendirildiğinde 3 farklı jet etkiye açısı ve 5 farklı jet debisi için sıçramaların boyutsuz çevri uzunluğunun (L_r/y_1) menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.11 'de 30° lik su jeti açısına göre çizilip farklı jet debisinin çevri uzunluğu üzerine etkisinin araştırıldığı grafikler verilmiştir. Şekil 4.12'de ise açı farkı gözetilmeksizin bütün jet debilerinin çevri uzunluğu üzerine etkisi araştırıldığı grafikler verilmiştir. Serbest sıçrama ve jetli hal olmak üzere her iki durumda da menba Froude sayısı arttıkça çevri uzunluğunun arttığı tespit edilmiştir. Jet etki ettirildiğinde serbest sıçramaya göre özellikle küçük menba Froude sayılarında çevri uzunluğu azalmaktadır. Büyük menba Froude sayılarında serbest sıçramada oluşan çevri uzunluklarına yaklaşmaktadır. Çevri uzunluğu; küçük menba Froude sayılarında jet debisi arttıkça azalırken, büyük menba Froude sayılarında jet debisi arttıkça artmaktadır (Şekil 4.12).



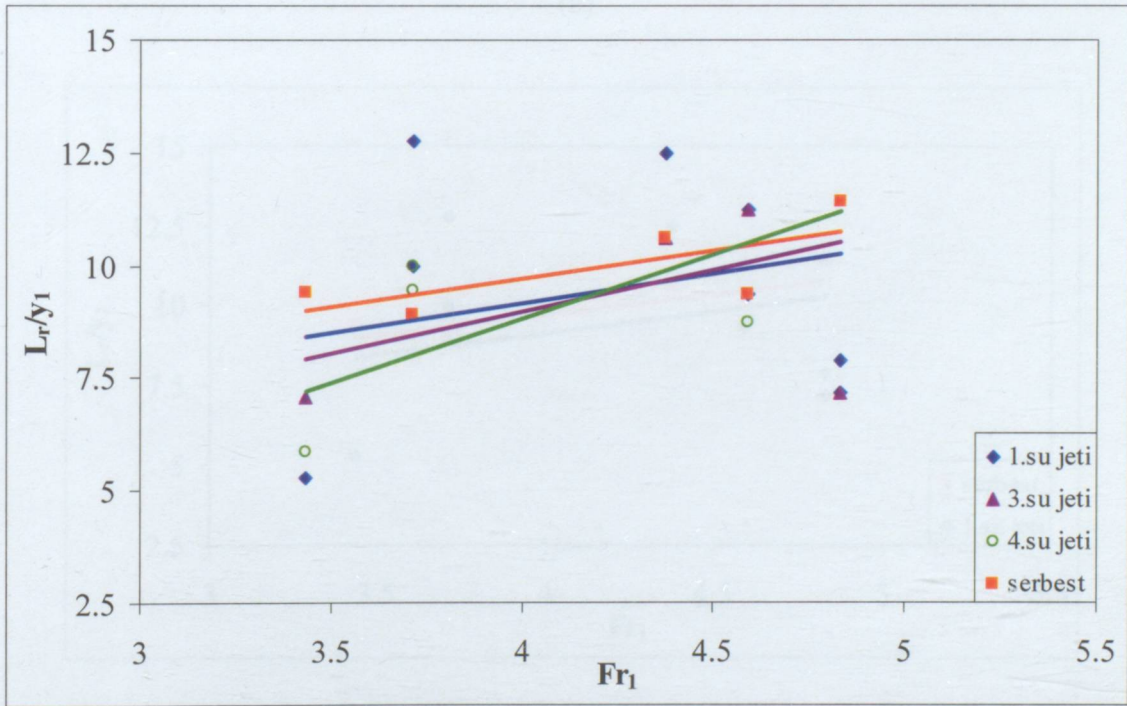
Şekil 4.9 $Fr_1=3.43$ için çevri uzunluğunun belirlenmesi (Çevri uzunluğunun mansabına damlatıldığında)



Şekil 4.10 $Fr_1=3.43$ için çevri uzunluğunun belirlenmesi (Çevri uzunluğu içine damlatıldığında)



Şekil 4.11 30° su jeti aparatı için çevri uzunluğunun menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi

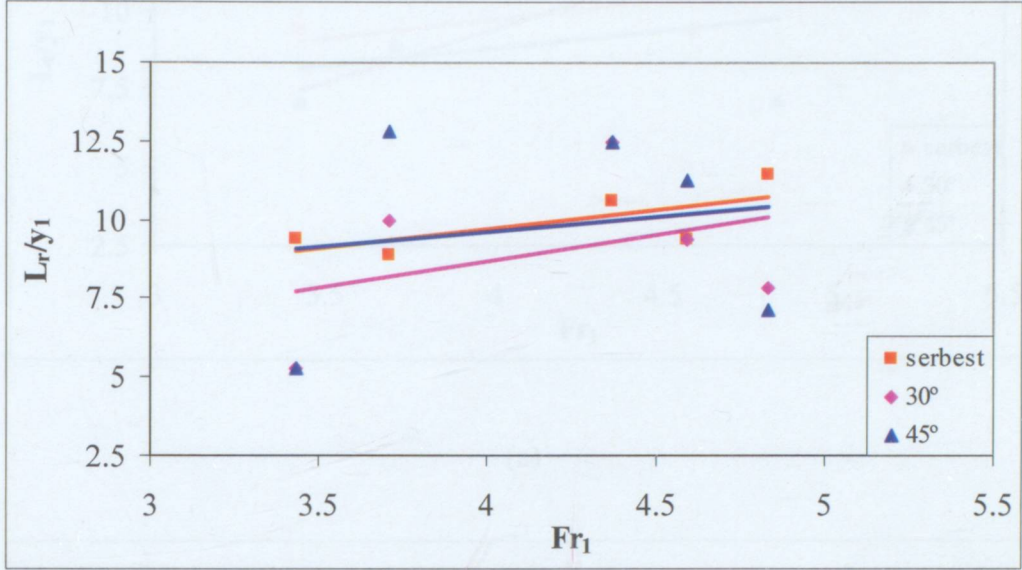


Şekil 4.12 Çevri uzunluğunun menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi

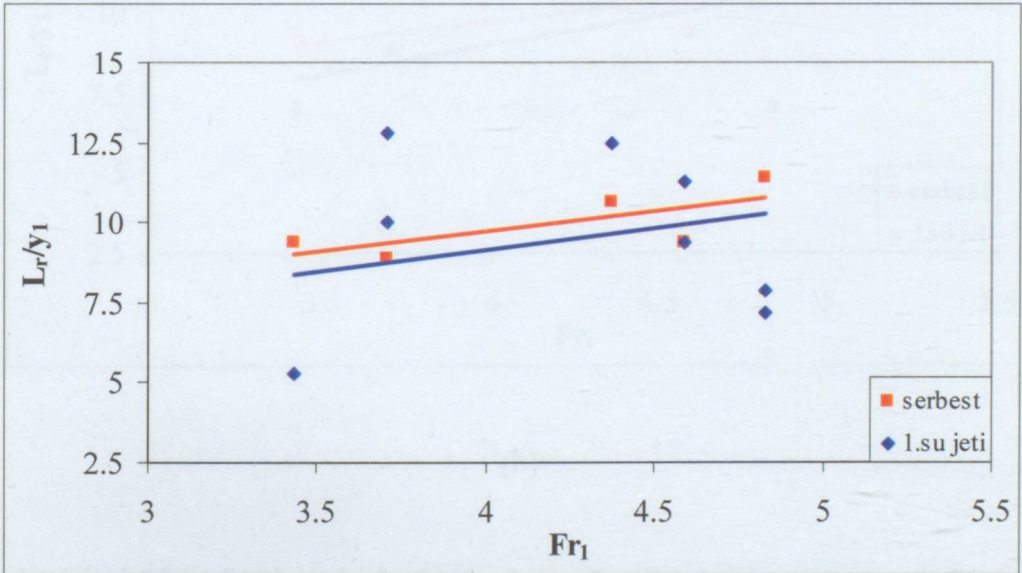
Şekil 4.13'te 1.jet, Şekil 4.14'de 3.jet ve Şekil 4.15'te 4.jet için (a)'da sabit jet debisi için farklı açılarda çizilerek su jeti açısının çevri uzunluğuna etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

(b)'de ise aç ı fark ı gözetmeksizin her jet debisi için oluşan çevri uzunluğunun serbest sıçramaya göre durumu incelenmiştir.

Su jeti açısının etkisi belirgin veya düzenli bir şekilde tespit edilememiştir.

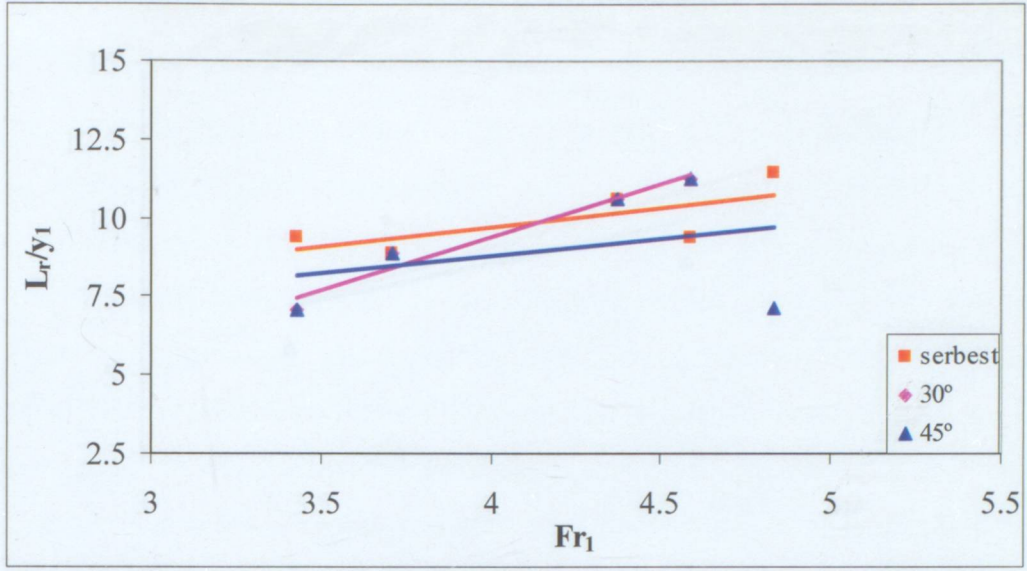


(a)

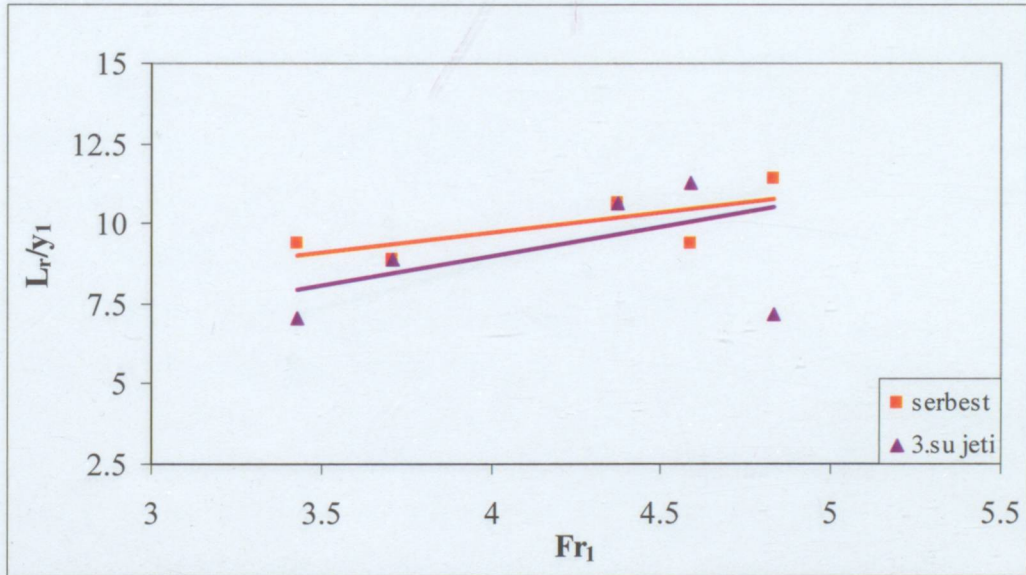


(b)

Şekil 4.13 1.jet için (a) farklı açılarda (b) aç ı fark ı gözetilmeksizin çevri uzunluğunun menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi

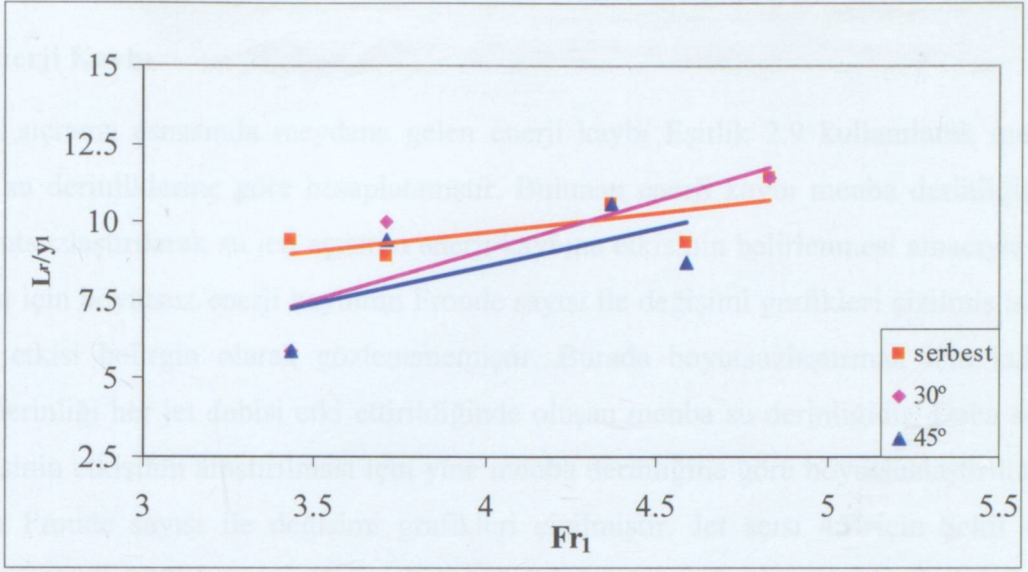


(a)

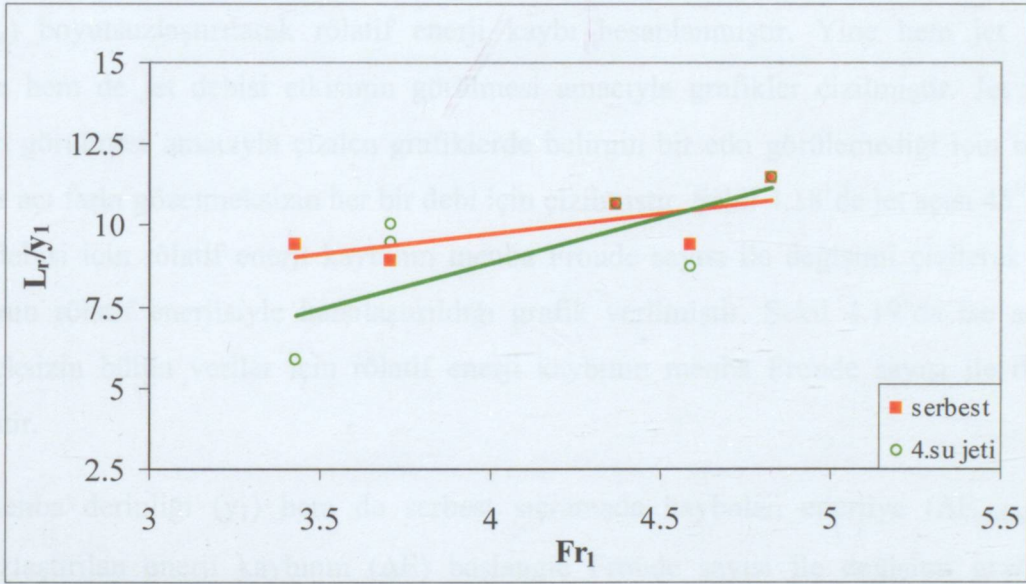


(b)

Şekil 4.14 3.jet için (a) farklı açılarda (b) açı farkı gözötilmeksizin çevri uzunluğunun menba Froude sayısı (Fr_1) ile değışimi



(a)



(b)

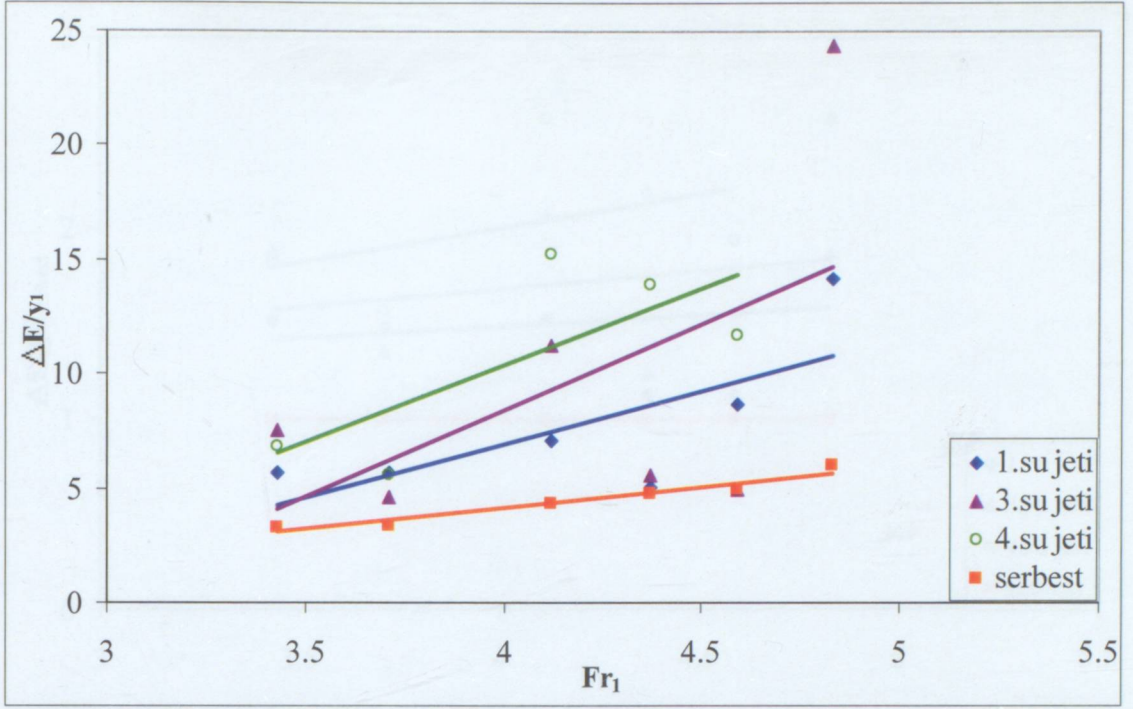
Şekil 4.15 4.jet için (a) farklı açılarda (b) açı farkı gözetilmeksizin çevri uzunluğunun menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi

4.3 Enerji Kaybı

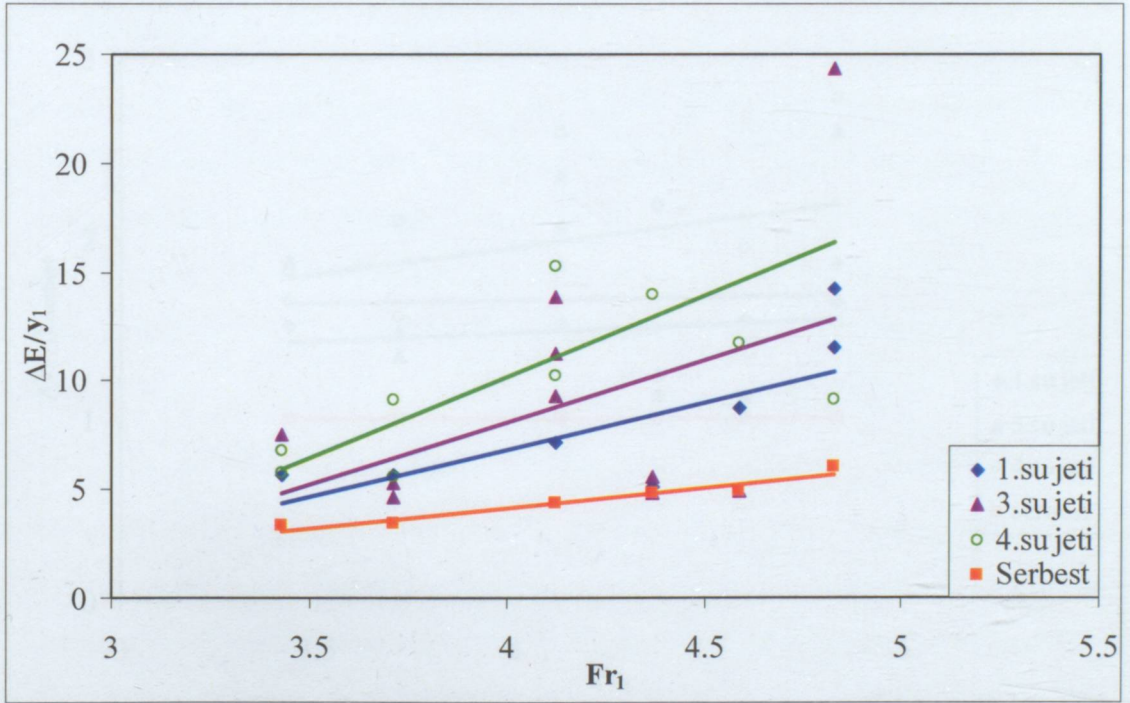
Hidrolik sıçrama esnasında meydana gelen enerji kaybı Eşitlik 2.9 kullanılarak menba ve mansap su derinliklerine göre hesaplanmıştır. Bulunan enerji kaybı menba derinliğine göre (y_1) boyutsuzlaştırılarak su jeti açısının enerji kaybına etkisinin belirlenmesi amacıyla her bir jet debisi için boyutsuz enerji kaybının Froude sayısı ile değişimi grafikleri çizilmiş ancak jet açısının etkisi belirgin olarak gözlenememiştir. Burada boyutsuzlaştırmak için kullanılan menba derinliği her jet debisi etki ettirildiğinde oluşan menba su derinliğidir. Daha sonra su jeti debisinin etkisinin araştırılması için yine menba derinliğine göre boyutsuzlaştırılan enerji kaybının Froude sayısı ile değişimi grafikleri çizilmiştir. Jet açısı 45° için Şekil 4.16'da verilmiştir. Şekil 4.17'de ise açı farkı gözetmeksizin bütün veriler için menba derinliğine göre boyutsuzlaştırılmış enerji kaybının Froude sayısı ile değişimi verilmiştir.

Ayrıca hesaplanan enerji kayıpları serbest sıçrama esnasında oluşan enerji kaybına göre ($\Delta E_{\text{serbest}}$) boyutsuzlaştırılarak rölatif enerji kaybı hesaplanmıştır. Yine hem jet açısının etkisinin hem de jet debisi etkisinin görülmesi amacıyla grafikler çizilmiştir. Jet açısının etkisinin görülmesi amacıyla çizilen grafiklerde belirgin bir etki görülemediği için buradaki grafikler açı farkı gözetmeksizin her bir debi için çizilmiştir. Şekil 4.18'de jet açısı 45° 'de her bir jet debisi için rölatif enerji kaybının menba Froude sayısı ile değişimi çizilerek serbest sıçramanın rölatif enerjisiyle karşılaştırıldığı grafik verilmiştir. Şekil 4.19'da ise açı farkı gözetmeksizin bütün veriler için rölatif enerji kaybının menba Froude sayısı ile değişimi verilmiştir.

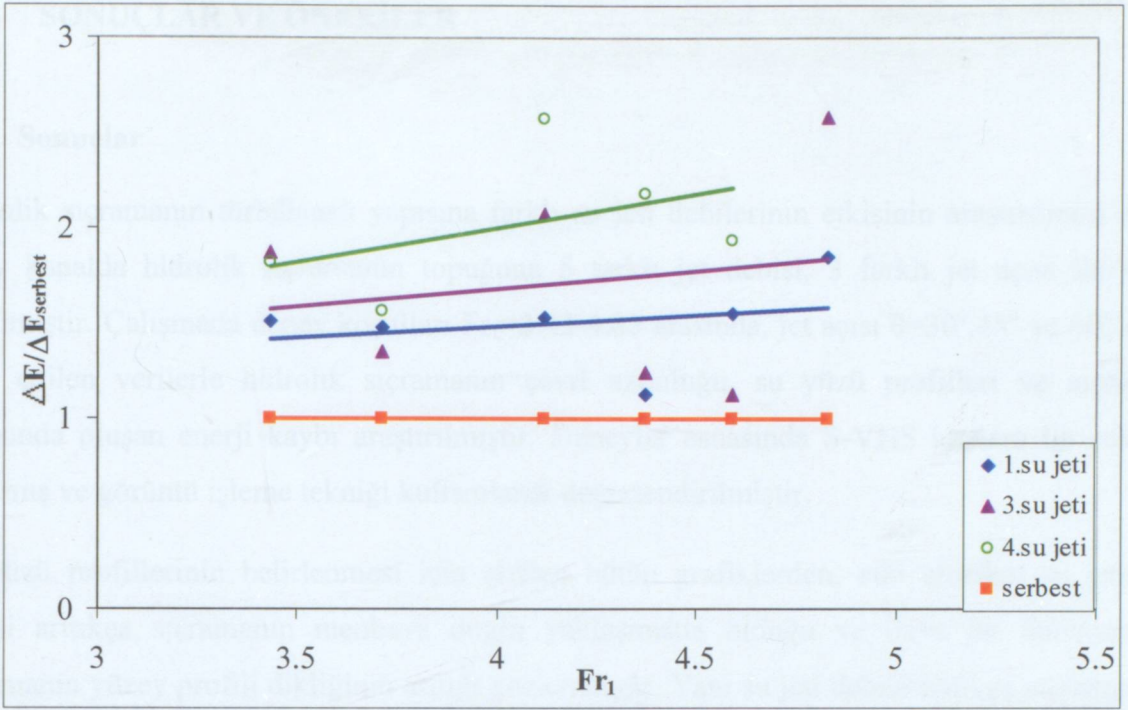
Hem menba derinliği (y_1) hem de serbest sıçramada kaybolan enerjiye ($\Delta E_{\text{serbest}}$) göre boyutsuzlaştırılan enerji kaybının (ΔE) başlangıç Froude sayısı ile değişimi grafiklerine bakıldığında Froude sayısı arttıkça enerji kaybı hem jetli hem de jetsiz halde artmaktadır. Su jeti etki ettirildiğinde serbest sıçrama haline göre enerji kaybının daha fazla olduğu görülmektedir. Su jeti debisi arttıkça kaybolan enerji miktarı da artmaktadır. Yine su jetinin etkime açıları etkisi belirgin olarak gözlenememiştir.



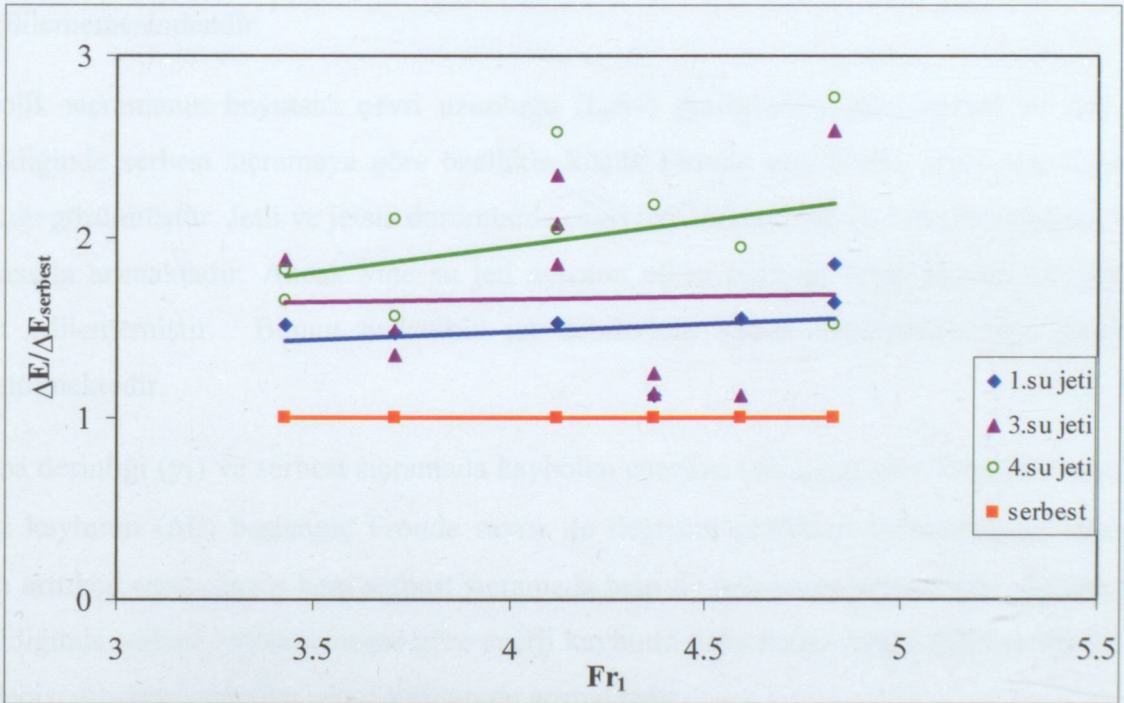
Şekil 4.16 Jet açısı 45° için enerji kaybının menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi



Şekil 4.17 Enerji kaybının menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi



Şekil 4.18 Jet açısı 45° için rölatif enerji kaybının menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi



Şekil 4.19 Rölatif enerji kaybının menba Froude sayısı (Fr_1) ile değişimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Hidrolik sıçramanın türbülanslı yapısına farklı su jeti debilerinin etkisinin araştırılması için yatay kanalda hidrolik sıçramanın topuğuna 5 farklı jet debisi, 3 farklı jet açısı ile etki ettirilmiştir. Çalışmada deney koşulları $Fr_1=3.43-4.83$ arasında, jet açısı $\theta=30^\circ, 45^\circ$ ve 60° dir. Elde edilen verilerle hidrolik sıçramanın çevri uzunluğu, su yüzü profilleri ve sıçrama esnasında oluşan enerji kaybı araştırılmıştır. Deneyler esnasında S-VHS kamera ile çekim yapılmış ve görüntü işleme tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir.

Su yüzü profillerinin belirlenmesi için çizilen bütün grafiklerden, etki ettirilen su jetinin debisi arttıkça sıçramanın menbaya doğru yaklaşmakta olduğu ve ilave jet durumunda sıçramanın yüzey profili dikliğinin arttığı gözlenmiştir. Yani su jeti debisi arttıkça sıçramanın mansabındaki derinlik olan y_2 artmaktadır. Jet açısının etkisi net olarak gözlenememiştir. Bunun nedeni muhtemelen suyun etkime açısının jetin etkime açısından çok farklı olması (Çizelge 3.1) ile suyun etkime açısındaki değişimin az olması ve bu hassasiyetle farklılığın hissedilememesindendir.

Hidrolik sıçramanın boyutsuz çevri uzunluğu (L_r/y_1) grafiklerine bakıldığında su jeti etki ettirildiğinde serbest sıçramaya göre özellikle küçük Froude sayılarında çevri uzunluğunun azaldığı görülmüştür. Jetli ve jetsiz durumlarda çevri uzunlukları menba Froude sayısının, Fr_1 , artmasıyla artmaktadır. Ancak yine su jeti açısının etkisi belirgin veya düzenli bir şekilde tespit edilememiştir. Bunun nedeninin jet debilerinin küçük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Menba derinliği (y_1) ve serbest sıçramada kaybolan enerjiye ($\Delta E_{\text{serbest}}$) göre boyutsuzlaştırılan enerji kaybının (ΔE) başlangıç Froude sayısı ile değişimi grafikleri incelendiğinde Froude sayısı arttıkça enerji kaybı hem serbest sıçramada hem de jetli halde artmaktadır. Su jeti etki ettirildiğinde serbest sıçrama haline göre enerji kaybının daha fazla olduğu görülmektedir. Su jeti debisi arttıkça kaybolan enerji miktarı da artmaktadır.

5.2 Öneriler

- 1) Daha büyük jet debilerinde veya su jeti sıçramaya daha yakın etki ettirilebilecek bir sistemde çalışılarak su jeti etkime açısının etkisi gözlenebilir.
- 2) Daha büyük Froude sayılarında çalışılabilir.
- 3) Daha büyük ölçekli kanallarda çalışılabilir.
- 4) Eğimli kanalda su jeti debilerinin etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Abdul Khader,M.H., ve Elango,K., (1974), "Turbulent pressure field beneath a hydraulic jump", Journal of Hydraulic Research, IAHR, 12:469-489.
- Bakhmeteff, B.A. ve Matzke, A.E. (1936), "The Hydraulic Jump in Terms of Dynamic Similarity", ASCE, 101:630-680.
- Bélanger, J.B., (1828), Essai sur la Solution Numérique de quelques Problèmes Relatifs au Mouvement Permanent des Eaux Courantes ('Essay on the Numerical Solution of Some Problems relative to Steady Flow of Water'),Carrilian-Goeury, Paris, France.
- Bidone,G., (1820),Expériences sur la propagation des remous, Memorie della Realle Accademia dele Science di Torino,30, 195-292.
- Bostan, T., (2000), Dalga Kırılmasının Hidrolik Sıçrama Analogisi ile Modellenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul.
- Braaksma, B. L. J. (1964), "Asymptotic expansions and analytic continuations for a class of Barnes-integrals", Compos. Math., 15, 239-341.
- Breitenöder,M., ve Dorrer,H., (1967), "Turbulent diffusion in the Hydraulic Jump", XII IAHR Congress,Colorado, USA,137-145.
- Chanson, H., and Montes, J. S. (1995), "Characteristics of undular hydraulic jumps: Experimental apparatus and flow patterns.", J. Hydraulic Eng., 121(2), 129-144
- Chaurasia, S.R. (2003), "Direct Equations for Hydraulic Jump Elements in Rectangular Horizontal Channel", Journal of Irrigation ve Drainage Eng., ASCE, 129:291-294.
- Chow,V.T., (1959), Open Channel Hydraulics, Mc-Graw-Hill International, New York
- Crump,E.S.(1930), A note on approximate method of determining the position of standing wave, (The Standing Wave 1950).
- Çeçen, K.,(1973), Hidrolik 1 ve 2, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi
- Dhaimat,O.H., (1986), Mean Flow and Turbulence Characteristics of Submerged Jump, Thesis Presented University of Manchester, UMIST.
- Ead, S.A. ve Rajaratnam, N.,(2002), "Hydraulic Jumps on Corrugated Beds", Journal of Hydraulic Eng., ASCE, 128:656-663
- Erkek,C. ve Ağırlioğlu N., (1993), Su Kaynakları Mühendisliği, Beta, İstanbul
- French,R.H.,(1986), Open Channel Hydraulics,McGraw-Hill,London.
- Garg, S.P. ve Sharma, H.R.,(1971), "Efficiency of Hydraulic Jump", Journal of the Hydraulic Divisions, Proc.of the ASCE, 97:409-419,March
- Günel, M., (1992), "Formation of the Hydraulic Jump on Sloping Chennels", Ms.C.Thesis, Univercity of Manchester, UMIST
- Günel, M. ve Narayanan R., (1996), "Hydraulic jump in Sloping Channels", J.Hydraulic Engineering, 122:436-442.
- Hager,W.H. ve Bremen,R., (1989), "Classical Hydraulic Jump:Sequent Depths", Journal of

Hydraulic Research,27:565-586.

Hager,W.H. ve Bremen,R., Kavagoshi,N., (1990),“Classical Hydraulic Jump:Length of Roller”, Journal of Hydraulic Research, IAHR, 28:591-608.

Hager,W.H.,(1992) Energy Dissipators and Hydraulic Jump, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

Henderson, F.M., (1966), Open Channel Flow, Macmillan Publishing CO.,Inc., Newyork, USA

Khatsuria, R.M.,(2005),Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators, Marcel Dekker Inc., Newyork, USA.

Khosla, A.N., Bose, N.K., and Taylor, E.M.,(1939), “Design of weir on permeable foundations”, Publication No.22, Central Board of Irrigation and Power, New Delhi, India.

Küçükali, S.,(2006), Hidrolik Sıçramanın Havalandırma Verimliliğinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul.

Leutheusser, H.J. ve Kartha, V.C., (1972), “Effects of Inflow Condition on Hydraulic Jump”, Journal of Hydraulic Division, Proc. of the ASCE, 98:1367-1385, August.

Liu, M., Rajaratnam, N. ve Zhu, D.Z.,(2004), “Turbulence Structure of Hydraulic Jumps of Low Froude Numbers”, Journal of Hydraulic Division, ASCE,130:511-520.

Long, D.,Steffler,P.M., and Rajaratnam,N., (1990), “LDA study of flow structure in submerged hydraulic jump”, Journal of Hydraulic Research, 28:437-460.

Mccorquodale, J. ve Khalifa, A., (1983), “Internal Flow in a Hydraulic Jump”, Journal of Hydraulic Division, ASCE, 106(3): 355-367

Madsen, P.A. ve Svendsen ,I.A., (1983), “Turbulent Bores and Hydraulic Jumps”, Journal of Fluid Mechanics, 129,1-25

Mossa,M.,Petrillo, A., (2003) A Brief history of the jump of Bidone, XXX IAHR Congress, Thessalonki, Greece, Theme 65.

Narayanan, R., (1975), “Wall Jet Analogy to Hydraulic Jump”, Journal of Hydraulic Division, ASCE, 101(3): 347-359

Ohtsu, I., Yasuda, Y., ve Gotoh, H., (1995), “Characteristics of undular jumps in rectangular channels”, Proc., XXVI Int. Association for Hydraulic Research Congress, London, 1C14, 450-455.

Ohtsu, I., Yasuda, Y., ve Gotoh, H., (1997), “Discussion of ‘Characteristics of undular hydraulic jumps: Experimental apparatus and flow patterns,’ by H. Chanson and J. S. Montes”, J. Hydraul. Eng., 124(2):161-162.

Ohtsu, I., Yasuda, Y., ve Gotoh, H., (2003), “Flow Conditions of Undular Hydraulic Jump in Horizontal Rectangular Channels”, J. Hydraul. Eng., 129(12): 948-955

Peterka, A.J.,(1978), Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators, Engineering, Monograph No.25, USBR.

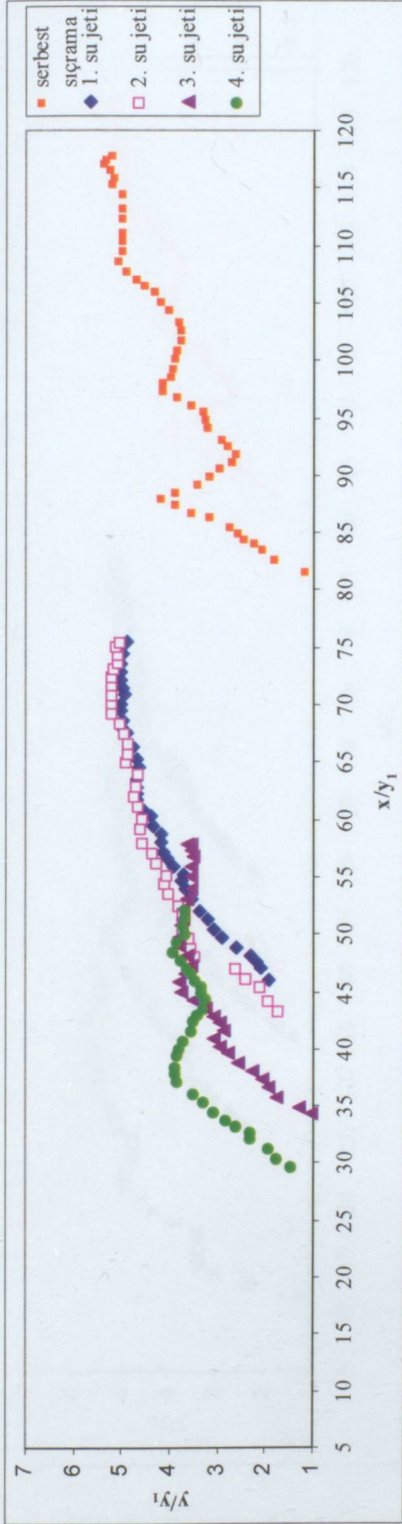
Reinauer, R., and Hager, W. H, (1995), “Non-breaking undular hydraulic jump”, J. Hydraul. Res., 33(5), 1-16.

- Rajaratnam, N., (1962), "An Experimental Study of Air Entrainment Characteristics of the Hydraulic Jump", J. of Instn. Eng. India, 42(7)
- Rajaratnam, N., (1965), "The Hydraulic Jump as a Wall Jet", Journal of Hydraulic Division, Proc. of the ASCE, 91(5): 107-132, September
- Rajaratnam, N., (1967), "The Hydraulic Jumps", Advances in Hydrosience, Ed. V.T. Chow, Academic Pres, New York, USA, 4: 197-280.
- Rajaratnam, N. ve Subramanya K., (1968), "Profile of the Hydraulic Jump", Journal of Hydraulic Division, ASCE, 94(3): 663-673
- Rajaratnam, N. ve Murahari, V., (1974), "Flow Characteristics of Sloping Channel Jumps", Journal of Hydraulic Division, ASCE, 100: 731-740.
- Resch, F.J. ve Leutheusser, H.G., (1972), "The Hydraulic jump: Turbulence Measurements in the Two-Phase Flow Region", J.Houille Blanche 4:279-293 (in French)
- Resch, F.J., Leutheusser, H.G. ve Alemu, S., (1974), "Bubbly Two-Phase Flow in Hydraulic Jump", J.Hydr.Div., ASCE, 100:137-149
- Rouse, H., Siao, T.T., and Nagaratnam, S., (1959), "Turbulence Characteristics of the Hydraulic Jump", Trans., ASCE, 124:926-966.
- Sarma, K.V.N. ve Newnham, D.A., (1973), "Surface Profile of Hydraulic Jump for Froude Numbers Less Than Four", Water Power, April, 139-142
- Squire, H.B. ve Trouncer, J., (1974), Rounds Jets in a General System, Aeronautical Research Committee, Reports and Memoranda.
- Sümer, B.M., Ünsal, İ., Bayazıt, M., (1982), Hidrolik, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Swamee, P. K., Mishra, G. C., and Salem, A. A. S., (1996), "Optimal Design of Sloping Weir", J. Irrig. Drain. Eng., 122(4), 248-255
- Swamee, P. K., Mishra, G. C., and Salem, A. A. S., (1997), "Effectivity of multiple sheet piles in weir design", J. Irrig. Drain. Eng., 123(3), 218-221.
- Swamee, P. K., ve Rathie, P.N., (2004), "Exact solutions for Sequent Depths Problem", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 130:520-522.
- Singh, B., (1975), Fundamentals of Irrigation Engineering, Nem Chand and Brothers, Roorkee, Uttaranchal, India, 209-215.
- Wielogorski, J.W. ve Wilson, E.H., (1970), "Nondimensional Profile Area Coefficients for Hydraulic Jump in Sloping Rectangular Channels", Water Power, 22(4):144-150
- Yüksel, Y., Narayanan, R., Kapdaşlı, S., Günel, M., Çevik, E., Bostan, T., Çelikoğlu Y., (1999), "Surf Bölgesinde Çift Fazlı Hidrodinamik Yapının İncelenmesi", Tübitak, Proje No: Intag 823, İstanbul.
- Yüksel, Y., Günel, M., Bostan, T., Çevik, E., ve Çelikoğlu Y., (2004), "The Influence of Impinging Jets on Hydraulic Jumps", Proc. of the Institution of Civil Eng., Water Management 157, WM2, 63-76.
- Yüksel, Y., (2005), Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik, Arıkan, İstanbul.

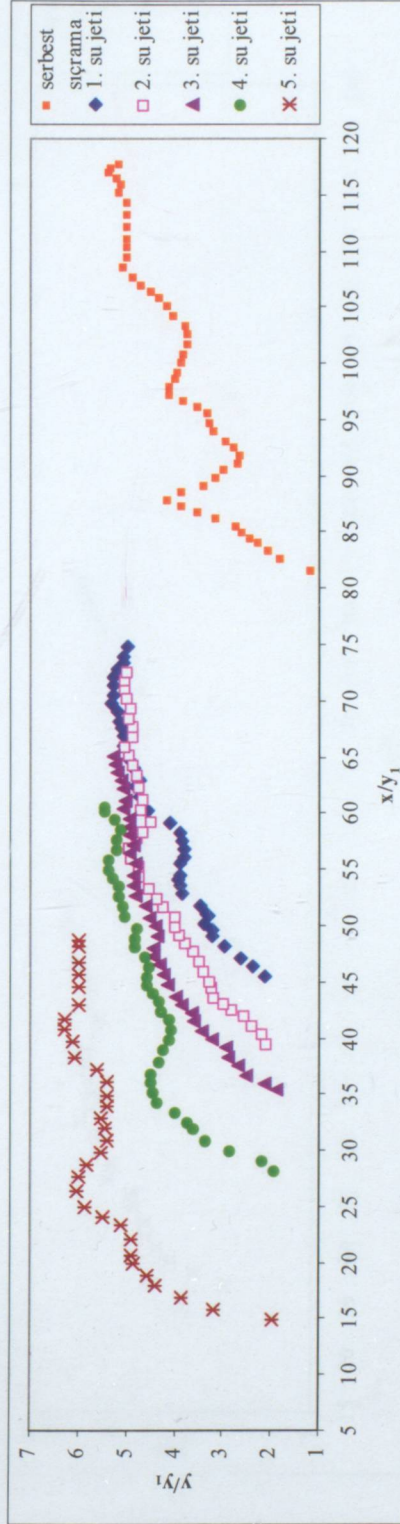
EKLER

- EK 1 $Fr=3.71, 4.12, 4.37, 4.59$ ve 4.83 'de su jeti etkime açısı $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ için su yüzü profilleri
- EK 2 $Fr= 3.71, 4.12, 4.37, 4.59$ ve 4.83 'de 1.su jeti, 2.su jeti, 3.su jeti, 4.su jeti ve 5.su jeti debileri için su yüzü profilleri

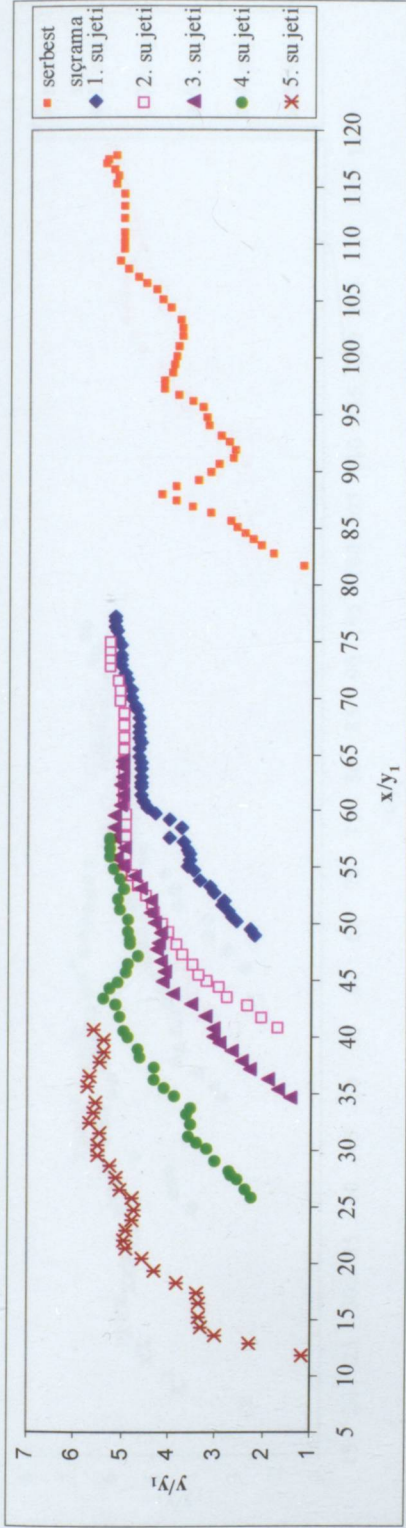
Ek 1 $Fr=3.71, 4.12, 4.37, 4.59$ ve 4.83 'de su jeti etkiye açısı $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ için su yüzü profilleri



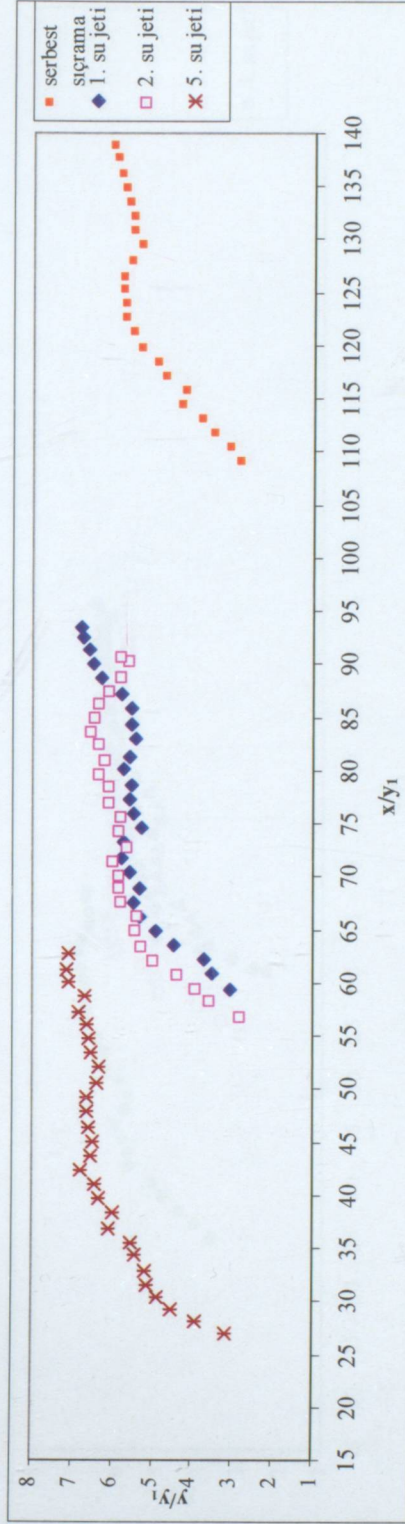
Şekil 1.1 $Fr=3.71$, jet açısı 30° için su yüzü profilleri



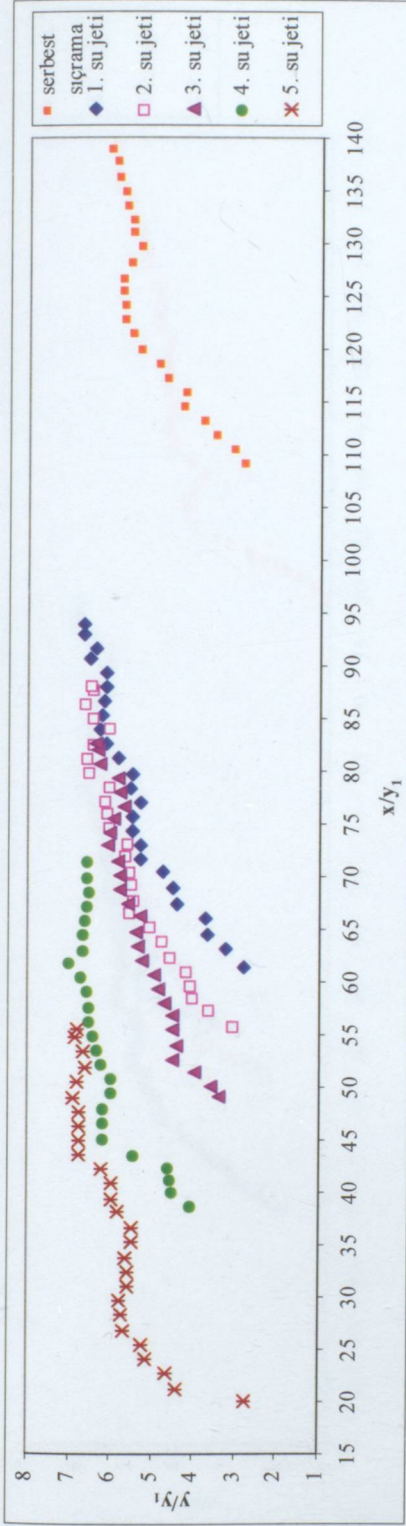
Şekil 1.2 $Fr=3.71$, jet açısı 45° için su yüzü profilleri



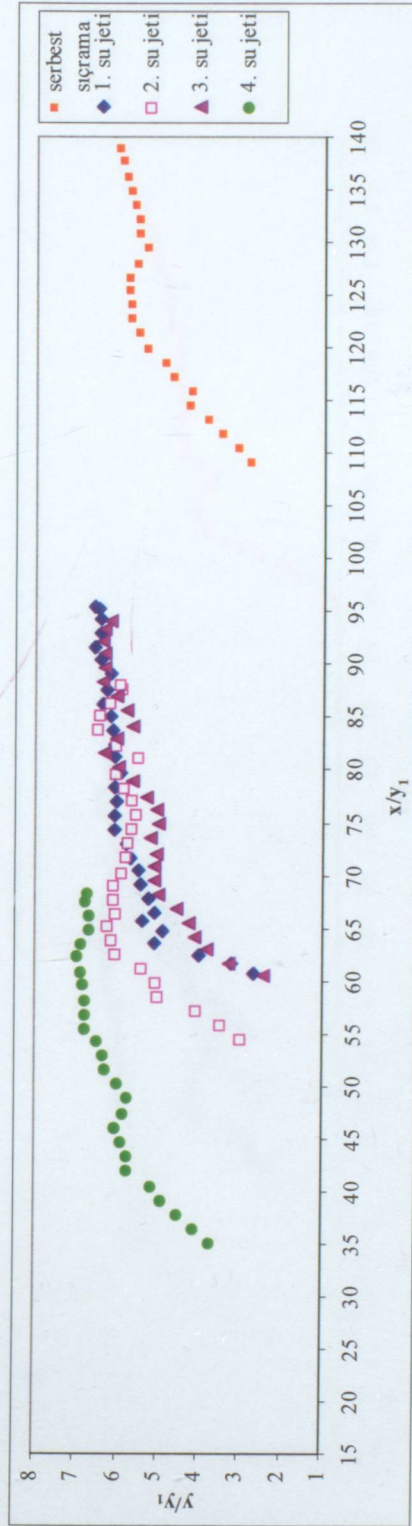
Şekil 1.3 $Fr=3.71$, jet açısı 60° için su yüzü profilleri



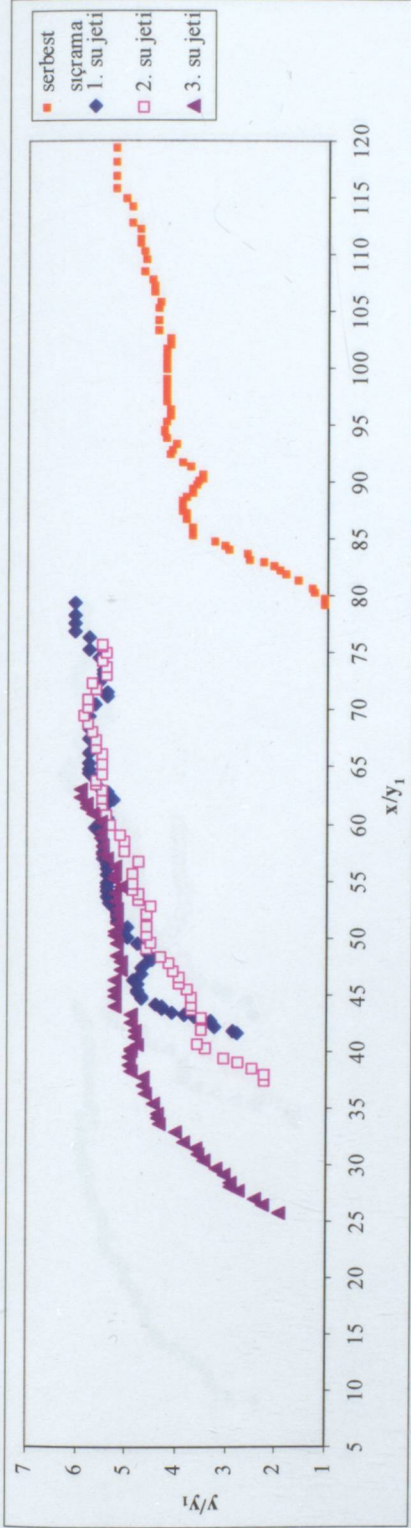
Şekil 1.4 $Fr=4.12$, jet açısı 30° için su yüzü profilleri



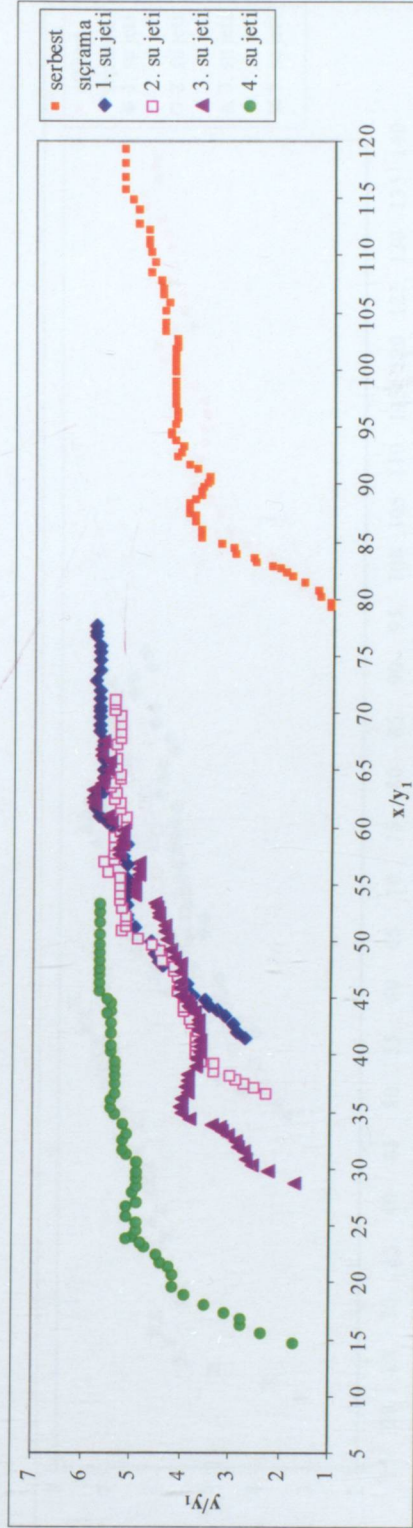
Şekil 1.5 $Fr=4.12$, jet açısı 45° için su yüzü profilleri



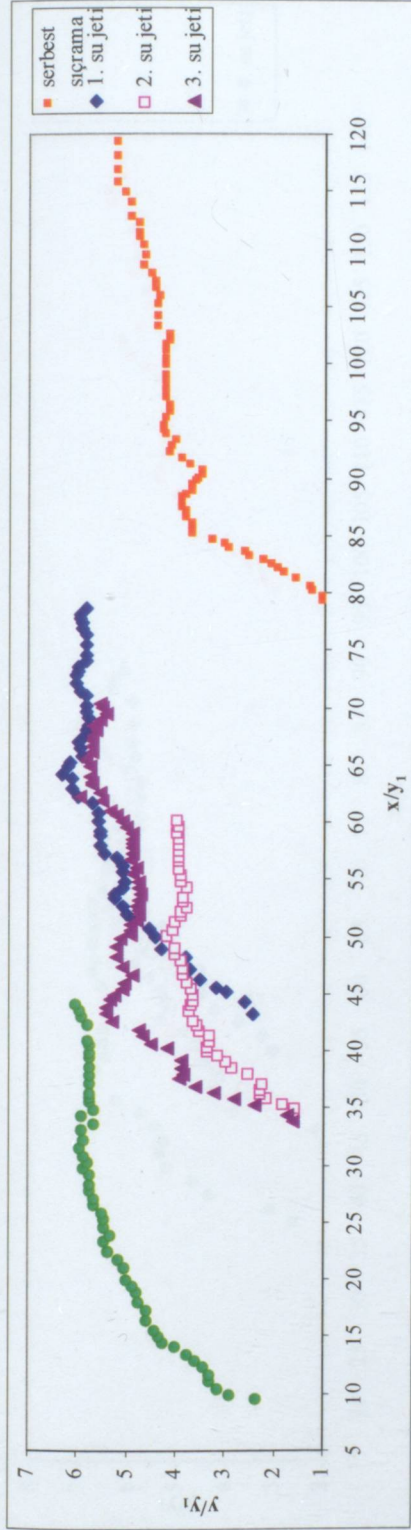
Şekil 1.6 $Fr=4.12$, jet açısı 60° için su yüzü profilleri



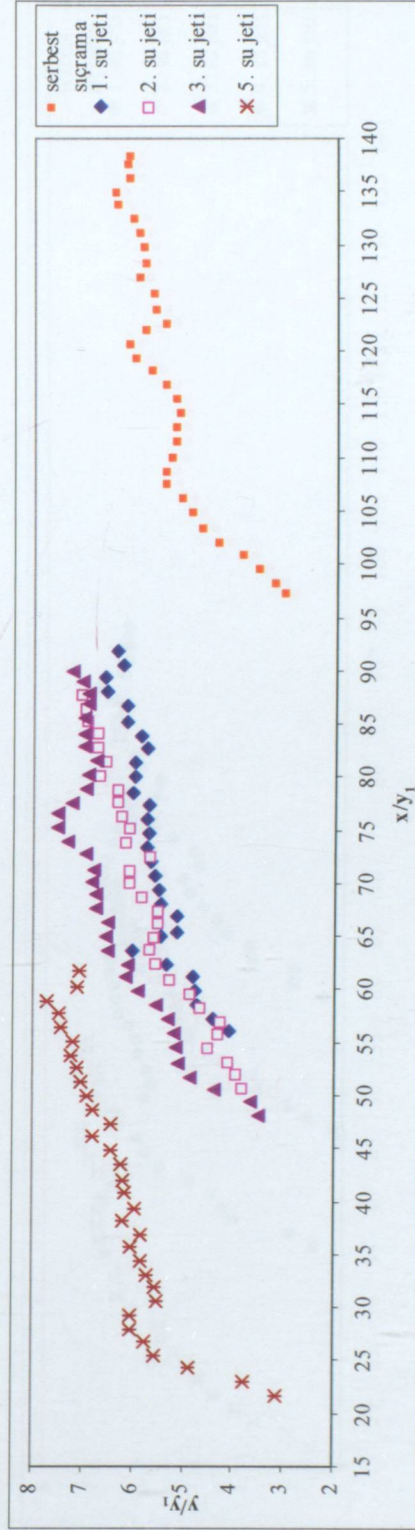
Şekil 1.7 $Fr=4.37$, jet açısı 30° için su yüzü profilleri



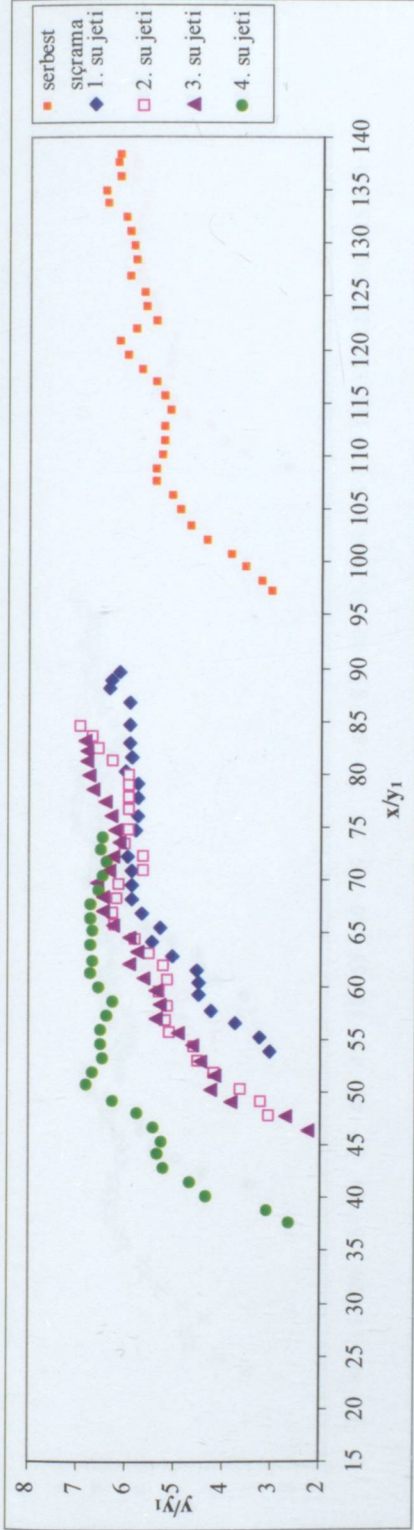
Şekil 1.8 $Fr=4.37$, jet açısı 45° için su yüzü profilleri



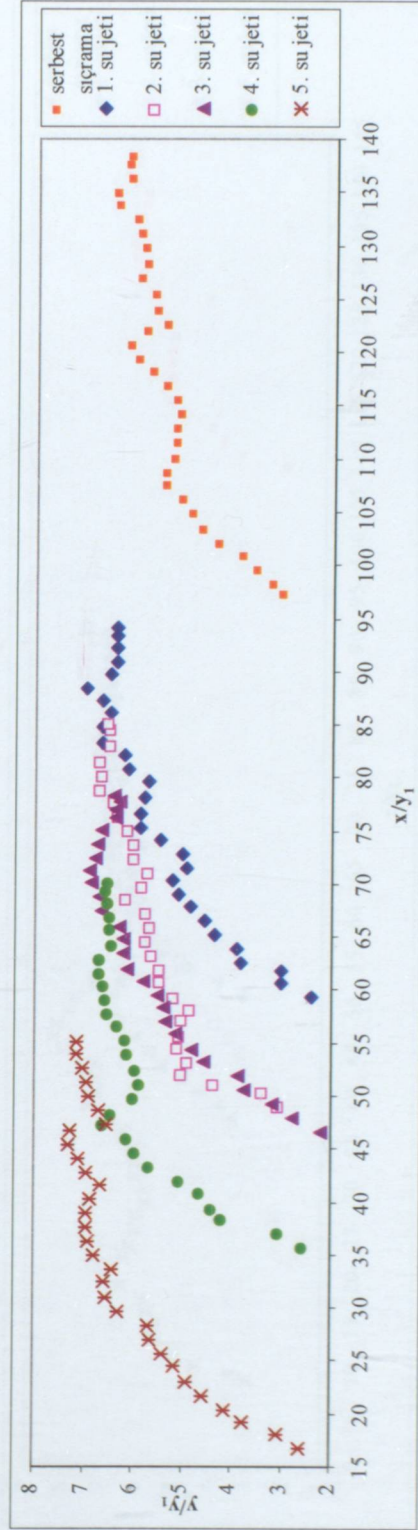
Şekil 1.9 $Fr=4.37$, jet açısı 60° için su yüzü profilleri



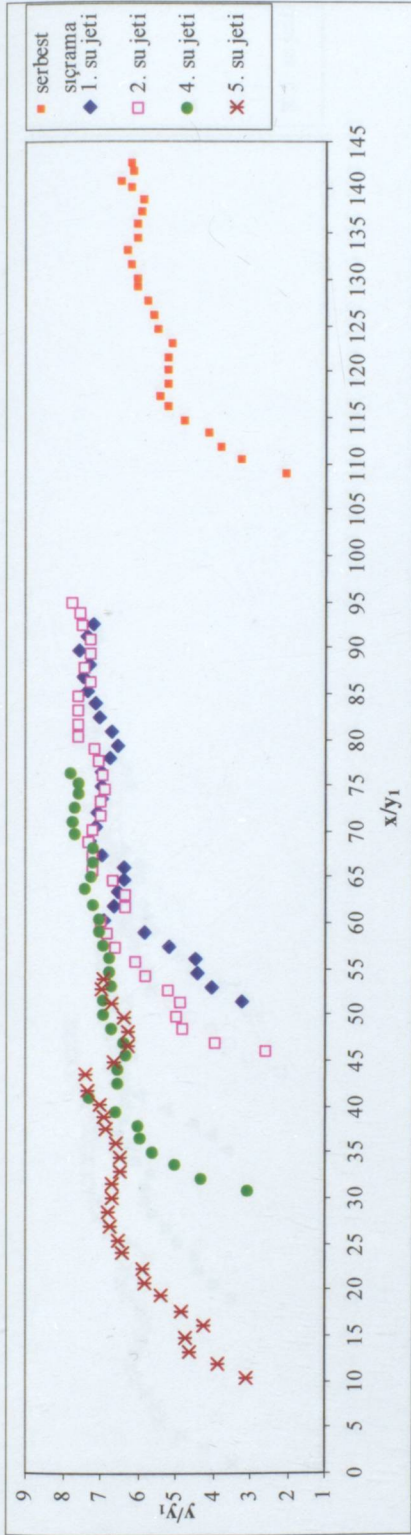
Şekil 1.10 $Fr=4.59$, jet açısı 30° için su yüzü profilleri



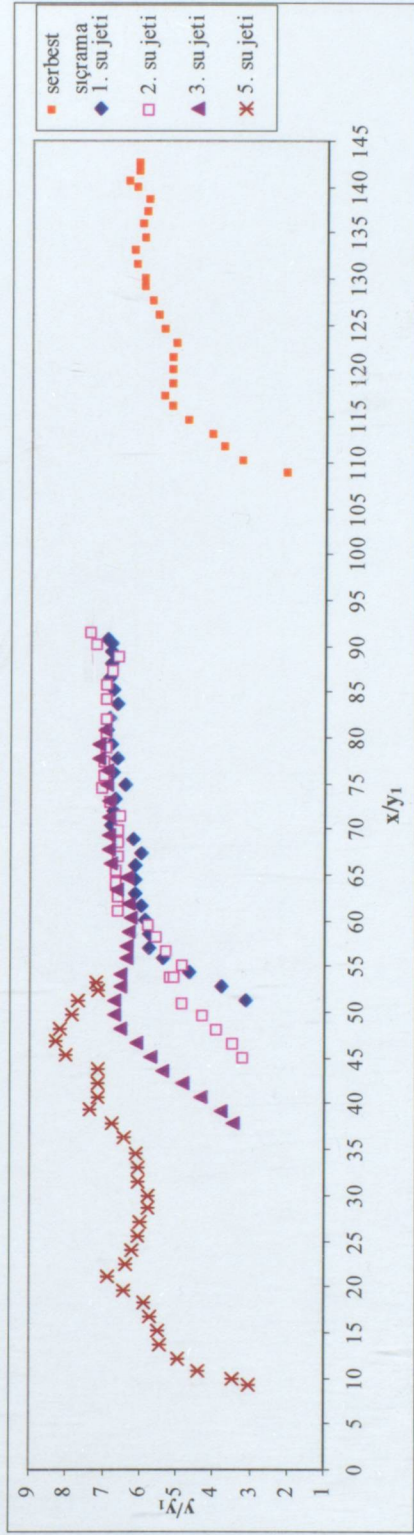
Şekil 1.11 $Fr=4.59$, jet açısı 45° için su yüzü profilleri



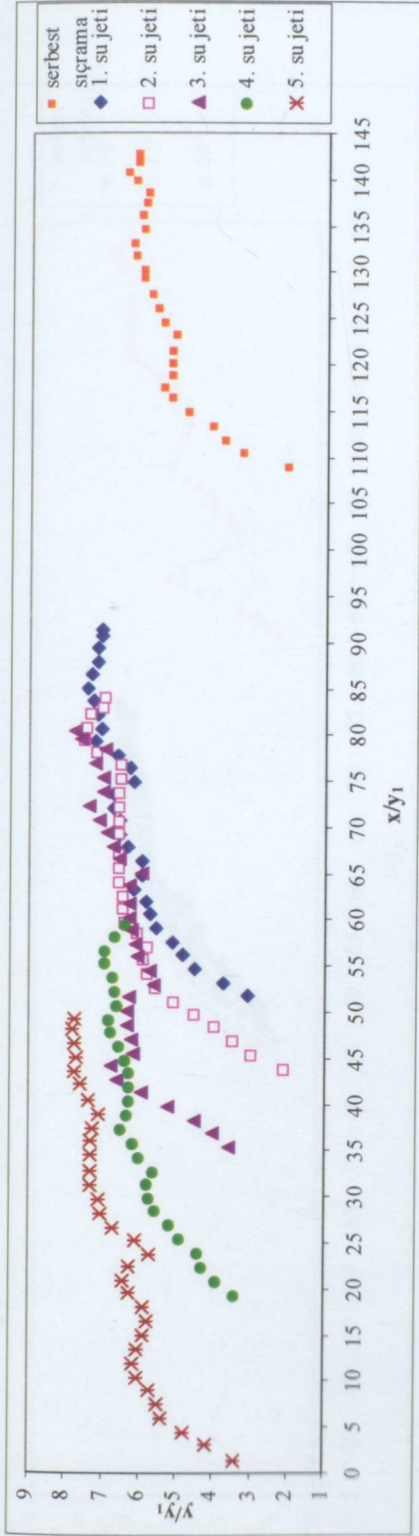
Şekil 1.12 $Fr=4.59$, jet açısı 60° için su yüzü profilleri



Şekil 1.13 $Fr=4.83$, jet açısı 30° için su yüzü profilleri

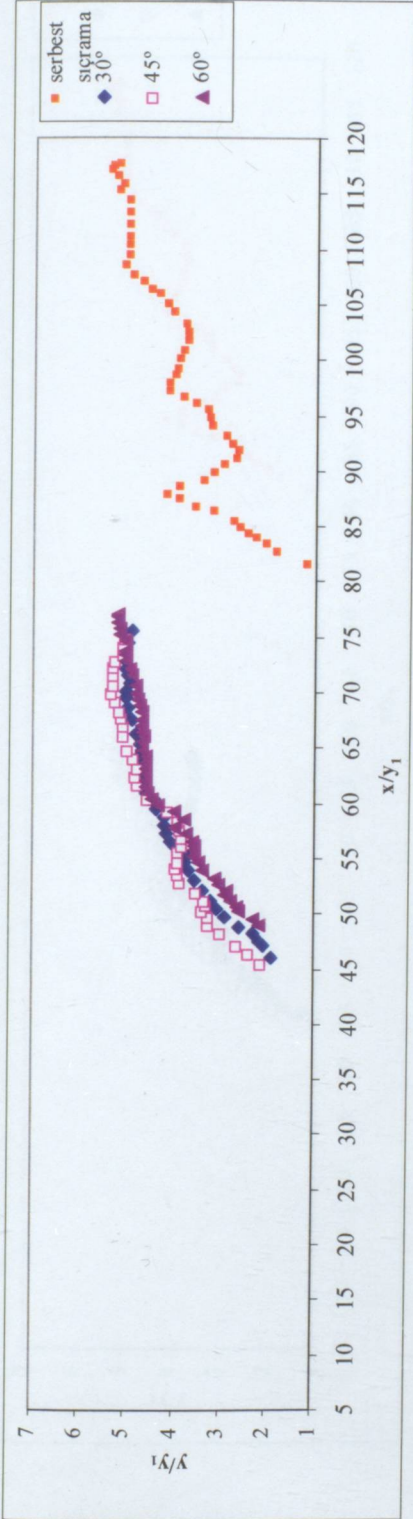


Şekil 1.14 $Fr=4.83$, jet açısı 45° için su yüzü profilleri

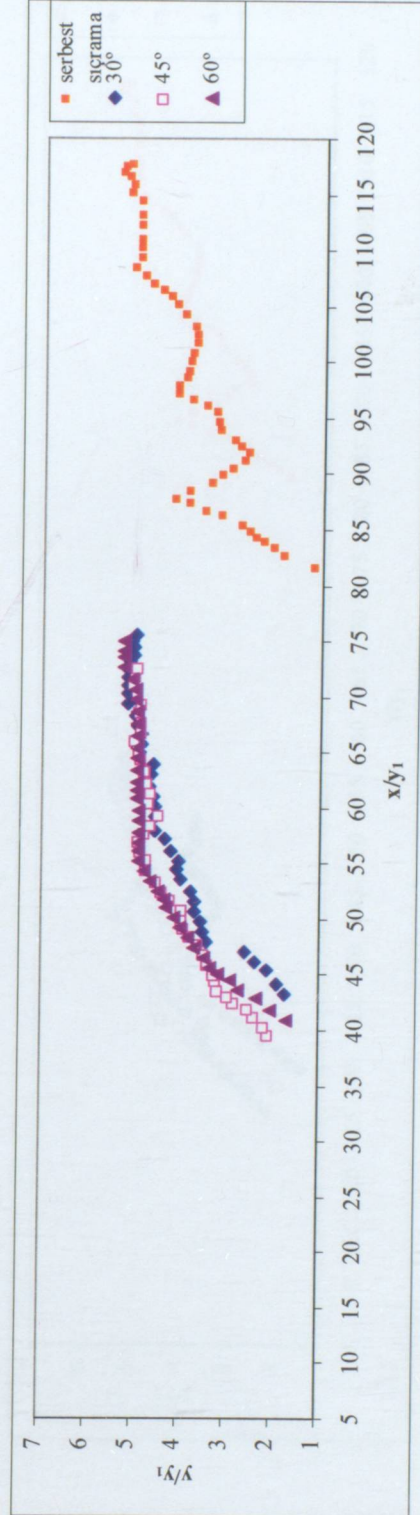


Şekil 1.15 $Fr=4.83$, jet açısı 60° için su yüzü profilleri

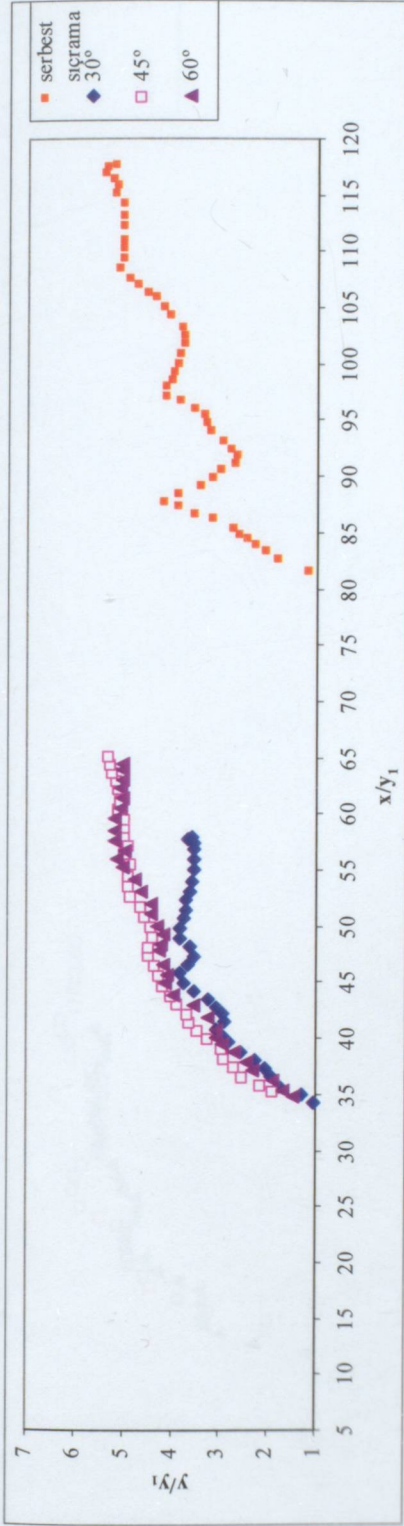
Ek 2 $Fr = 3.71, 4.12, 4.37, 4.59$ ve 4.83 'de 1.su jeti, 2.su jeti, 3.su jeti, 4.su jeti ve 5.su jeti debileri için su yüzü profilleri



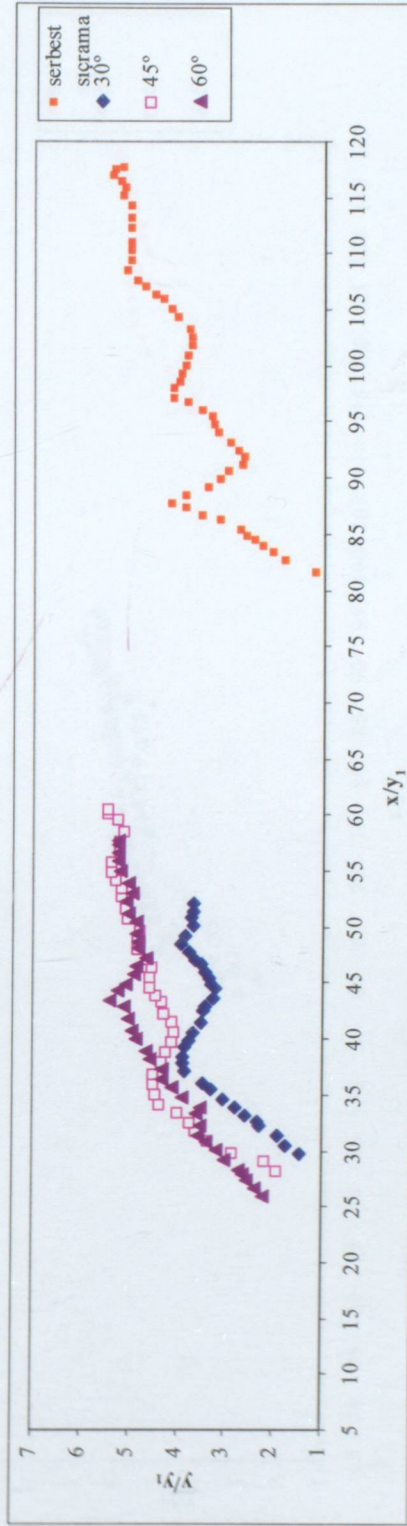
Şekil 2.1 $Fr=3.71$, 1.jet debisi için su yüzü profilleri



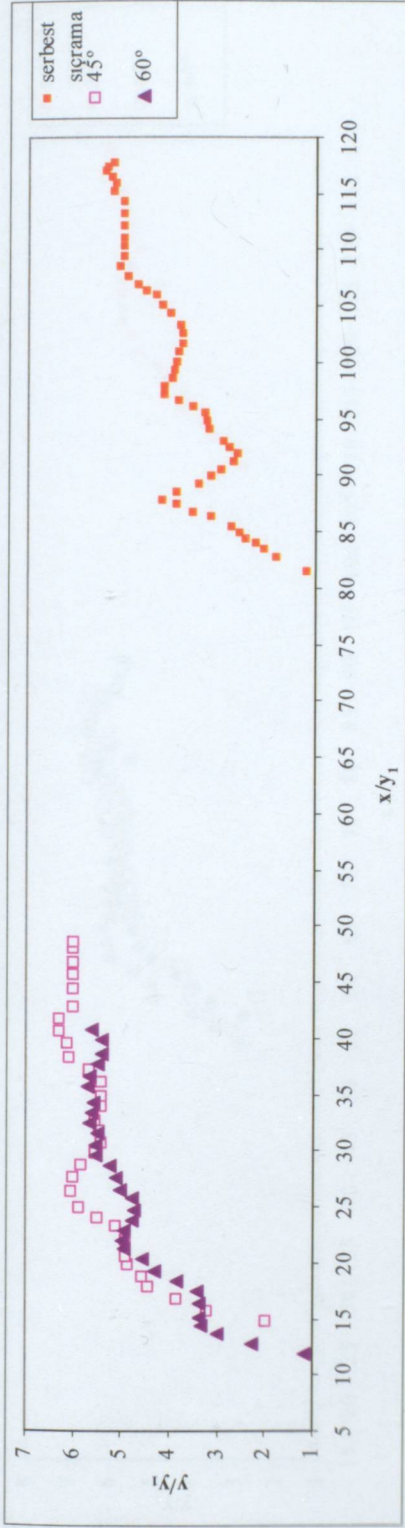
Şekil 2.2 $Fr=3.71$, 2.jet debisi için su yüzü profilleri



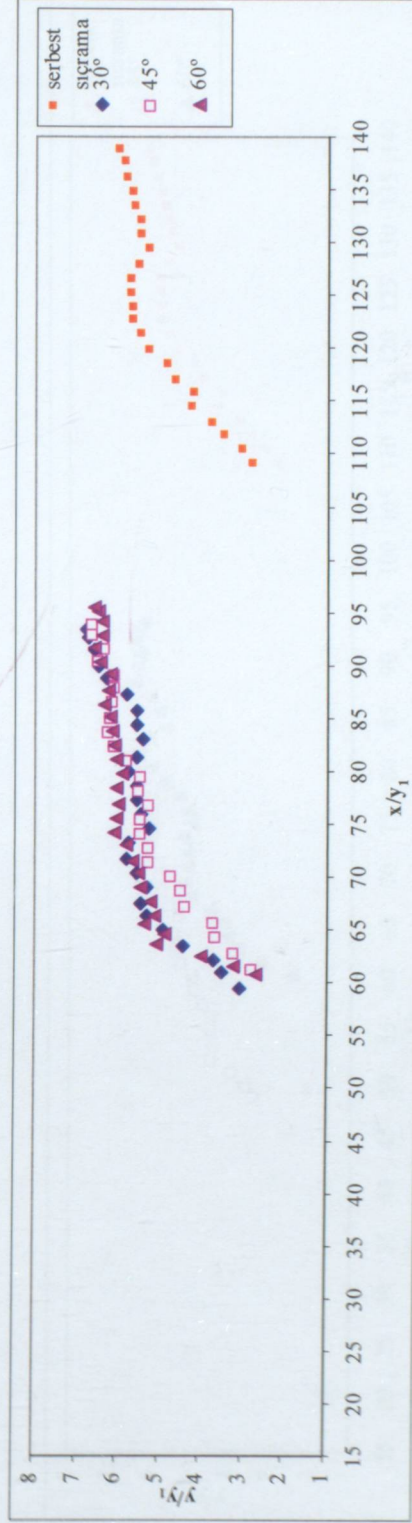
Şekil 2.3 Fr=3.71, 3. jet debisi için su yüzü profilleri



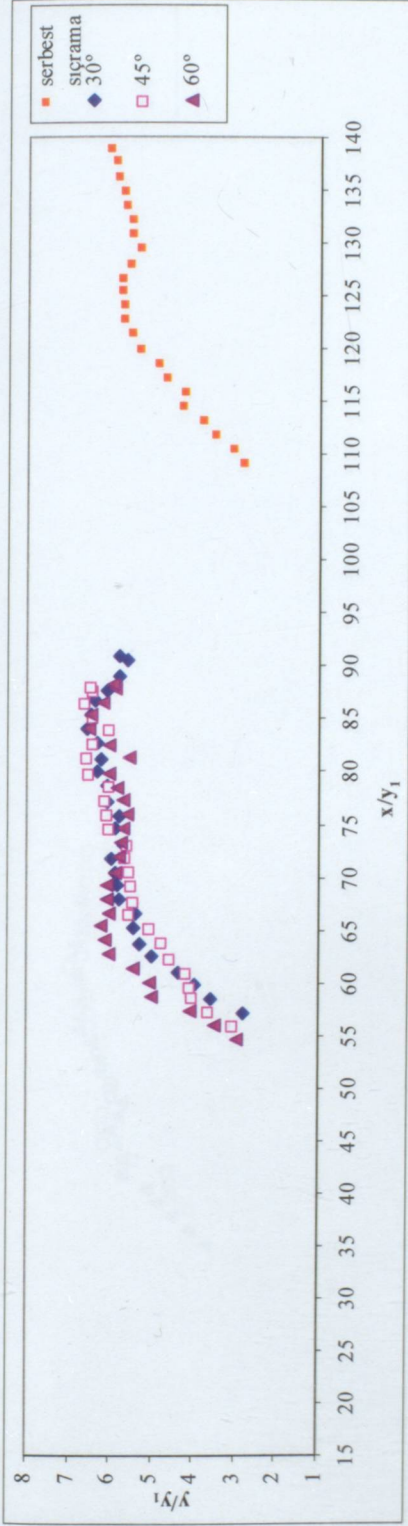
Şekil 2.4 Fr=3.71, 4. jet debisi için su yüzü profilleri



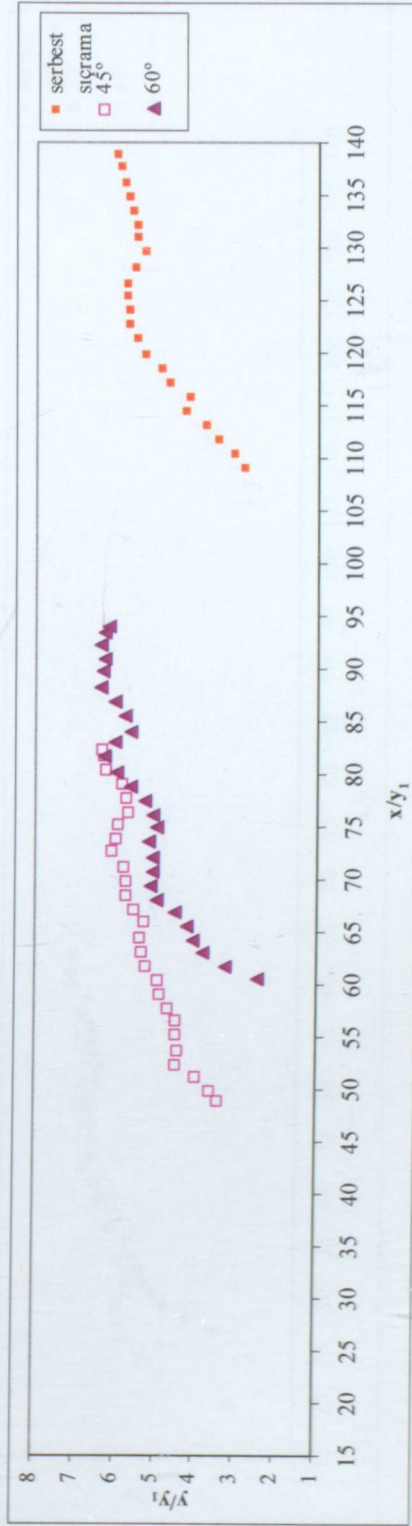
Şekil 2.5 $Fr=3.71$, 5.jet debisi için su yüzü profilleri



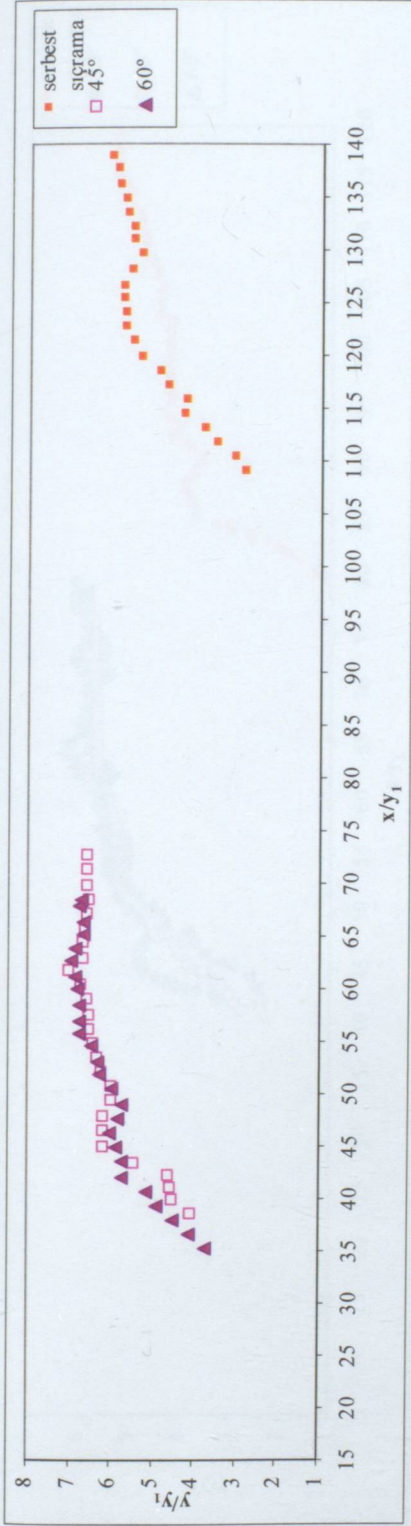
Şekil 2.6 $Fr=4.12$, 1.jet debisi için su yüzü profilleri



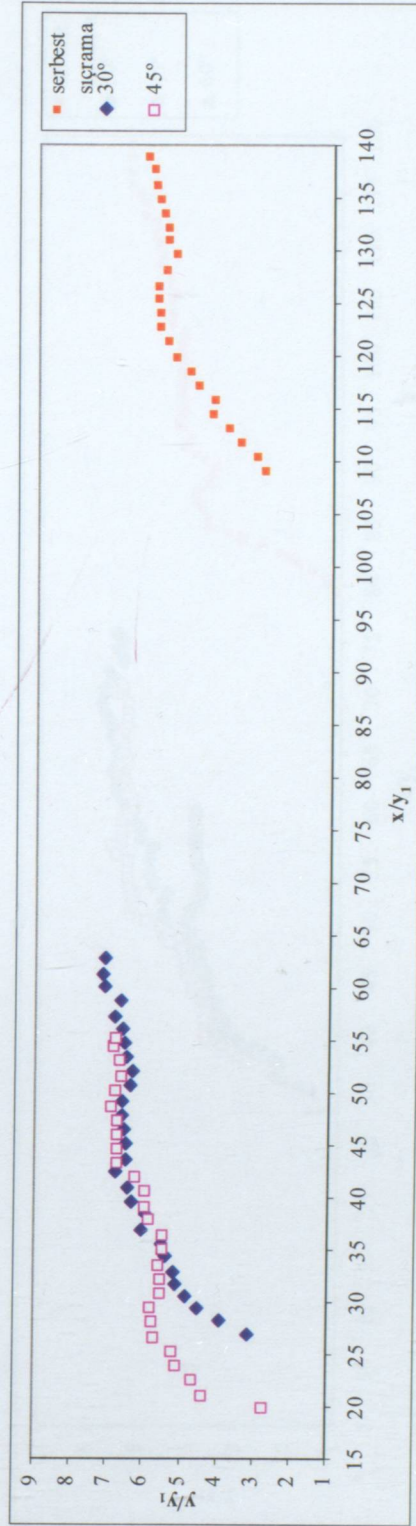
Şekil 2.7 $Fr=4.12$, 2.jet debisi için su yüzü profilleri



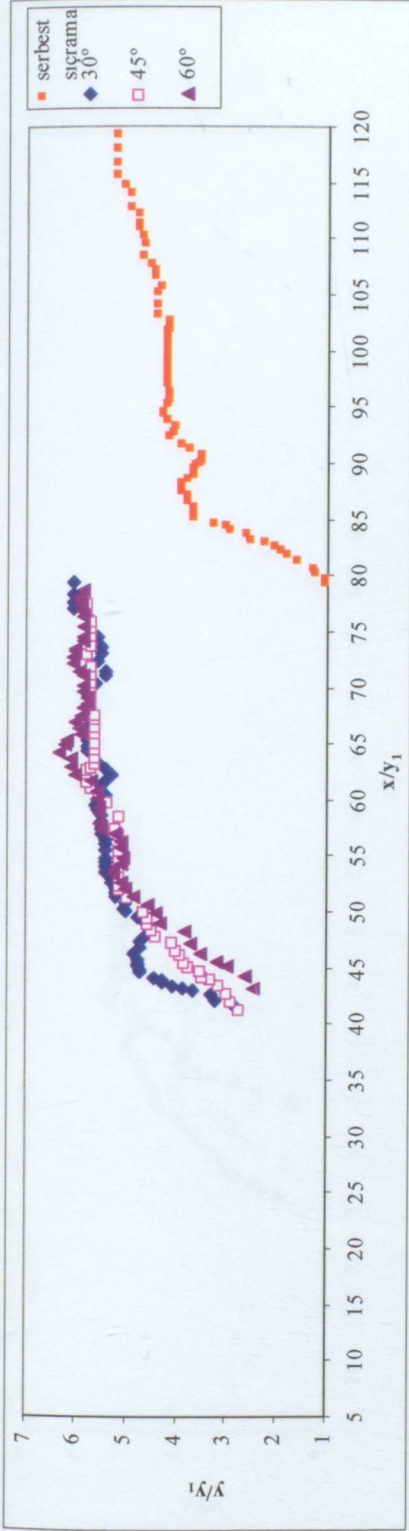
Şekil 2.8 $Fr=4.12$, 3.jet debisi için su yüzü profilleri



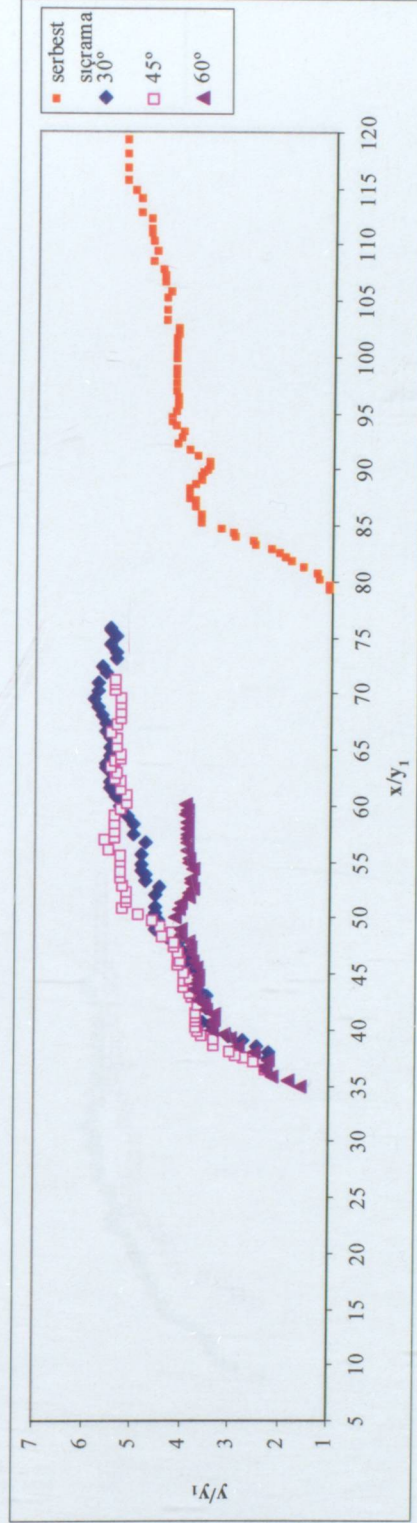
Şekil 2.9 $Fr=4.12$, 4.jet debisi için su yüzü profilleri



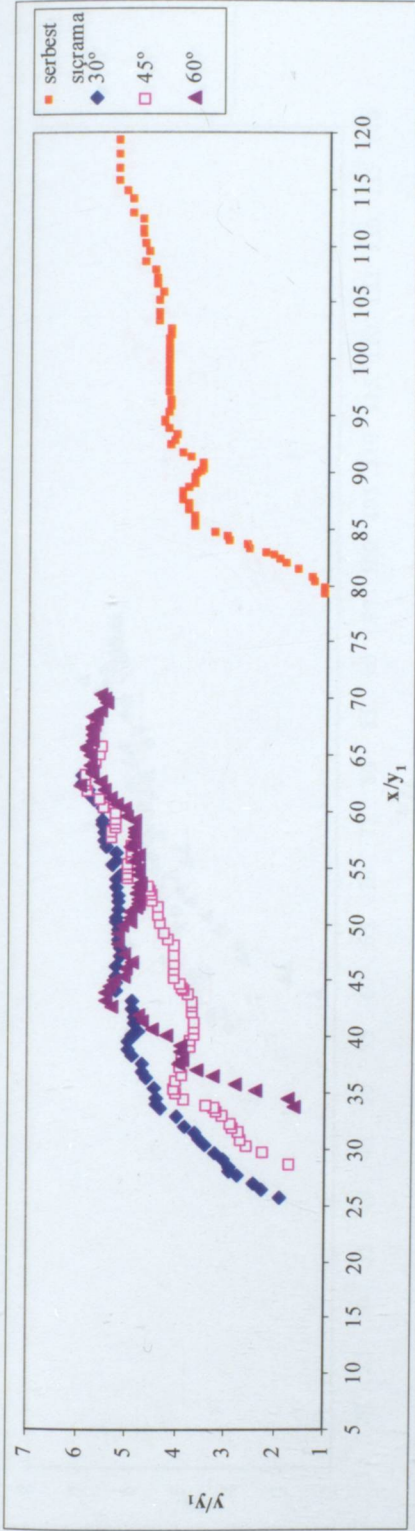
Şekil 2.10 $Fr=4.12$, 5.jet debisi için su yüzü profilleri



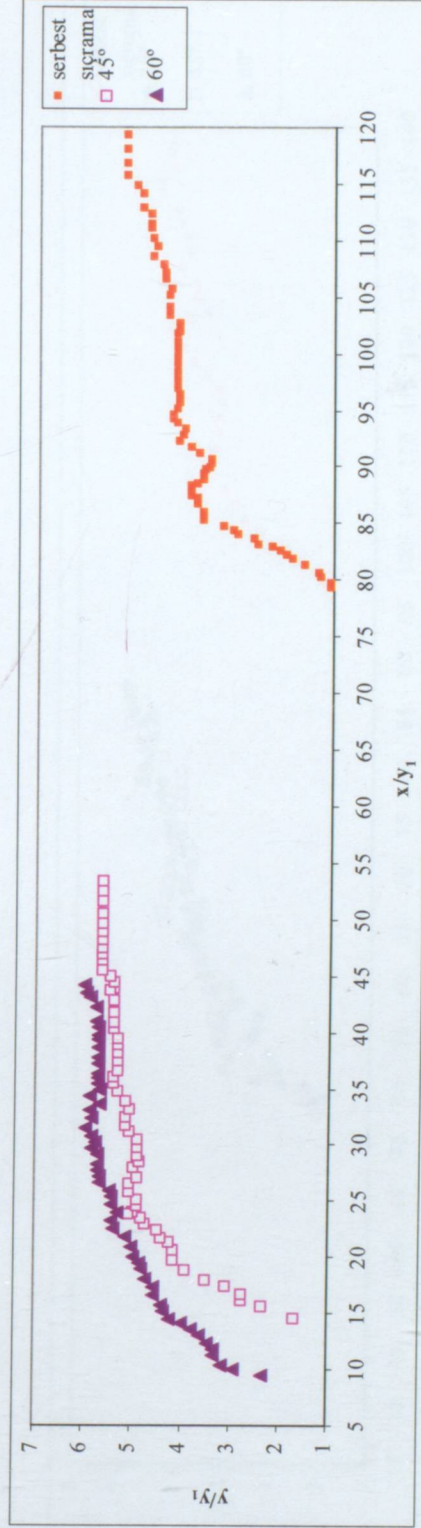
Şekil 2.11 $Fr=4.37$, 1.jet debisi için su yüzü profilleri



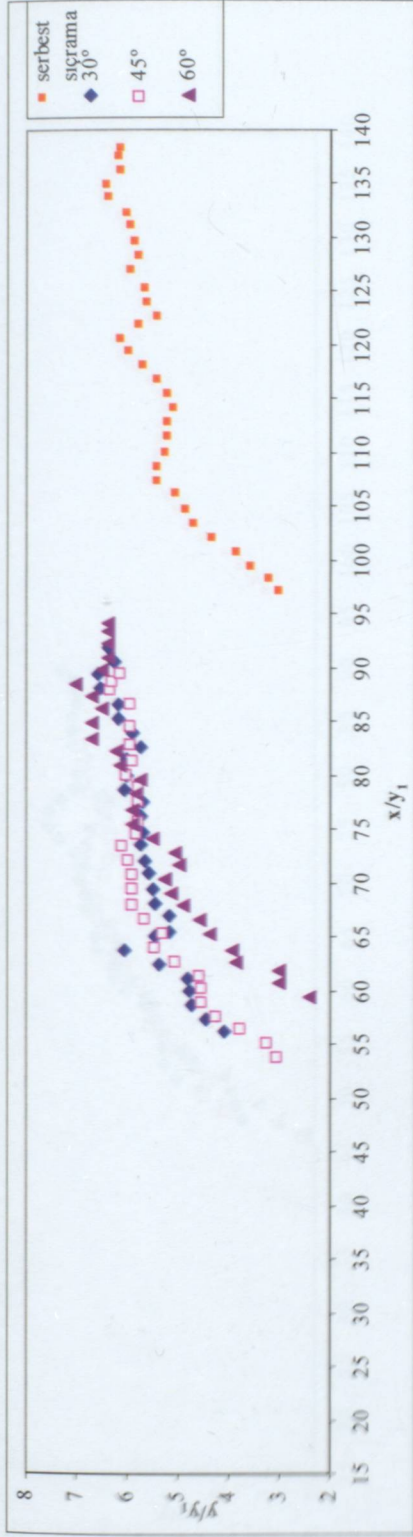
Şekil 2.12 $Fr=4.37$, 2.jet debisi için su yüzü profilleri



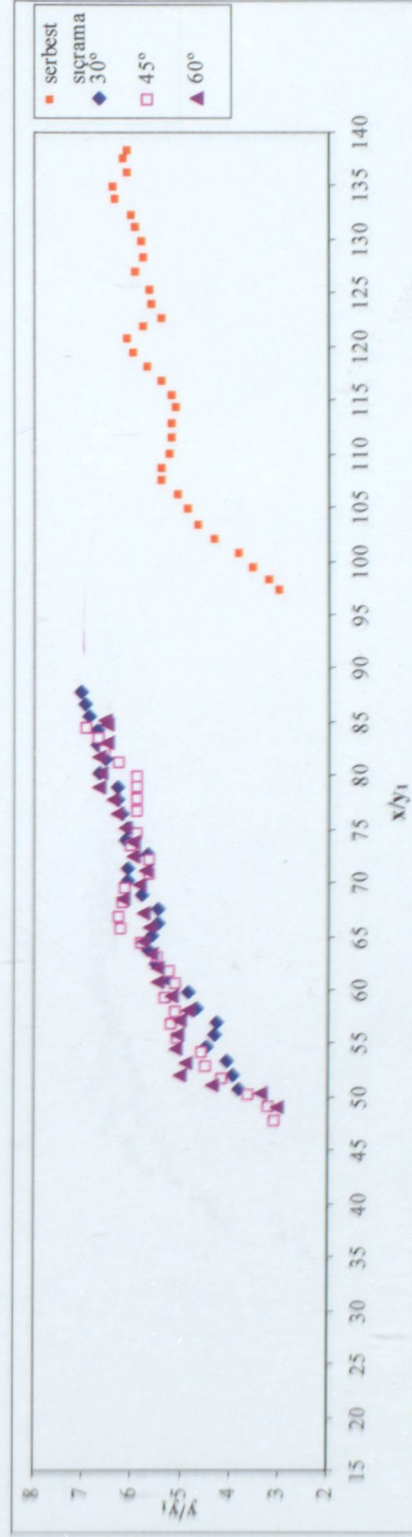
Şekil 2.13 $Fr=4.37$, 3.jet debisi için su yüzü profilleri



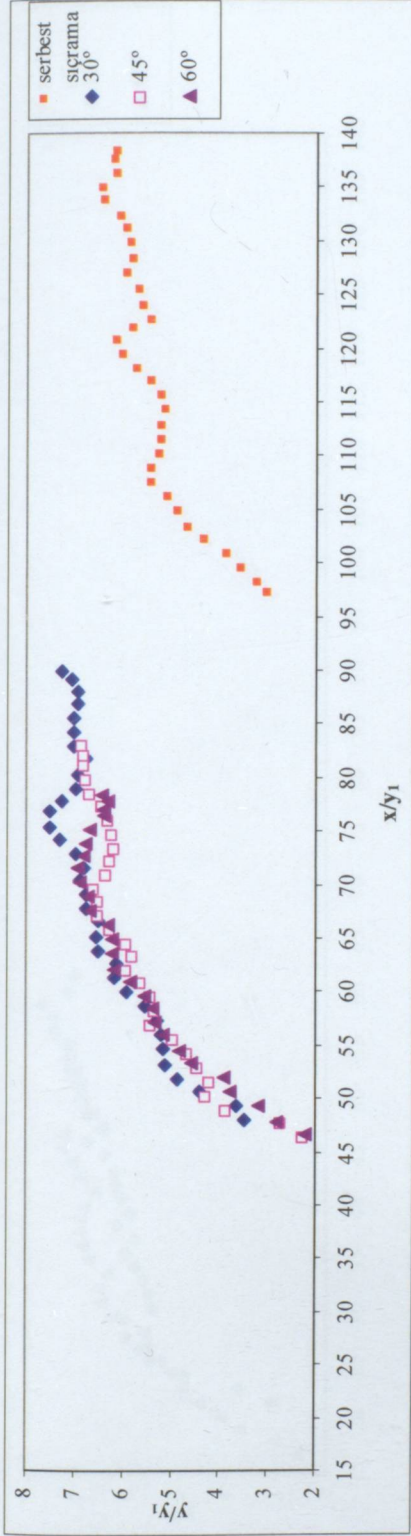
Şekil 2.14 $Fr=4.37$, 4.jet debisi için su yüzü profilleri



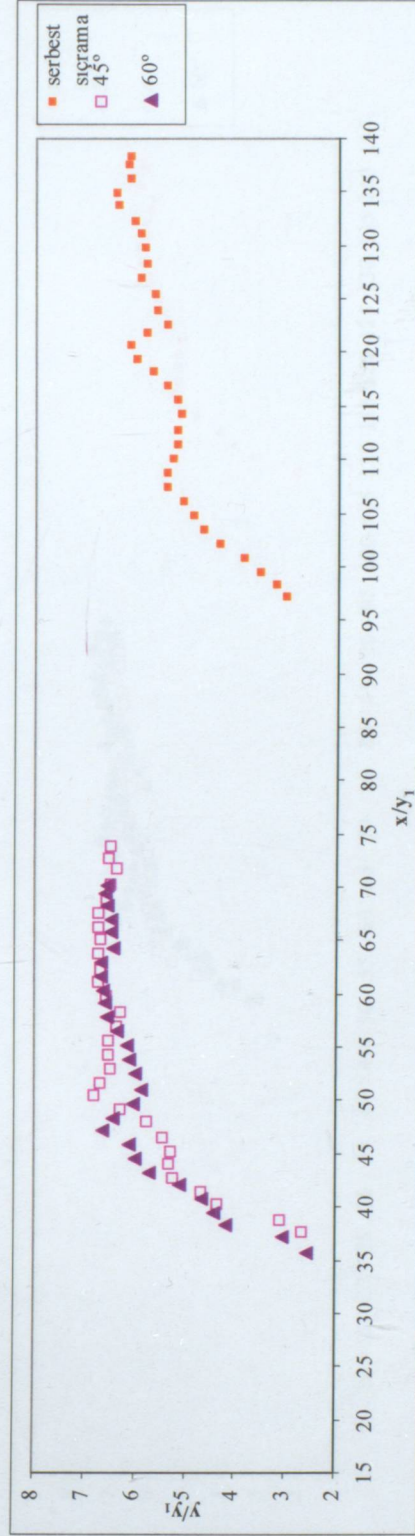
Şekil 2.15 $Fr=4.59$, 1. jet debisi için su yüzü profilleri



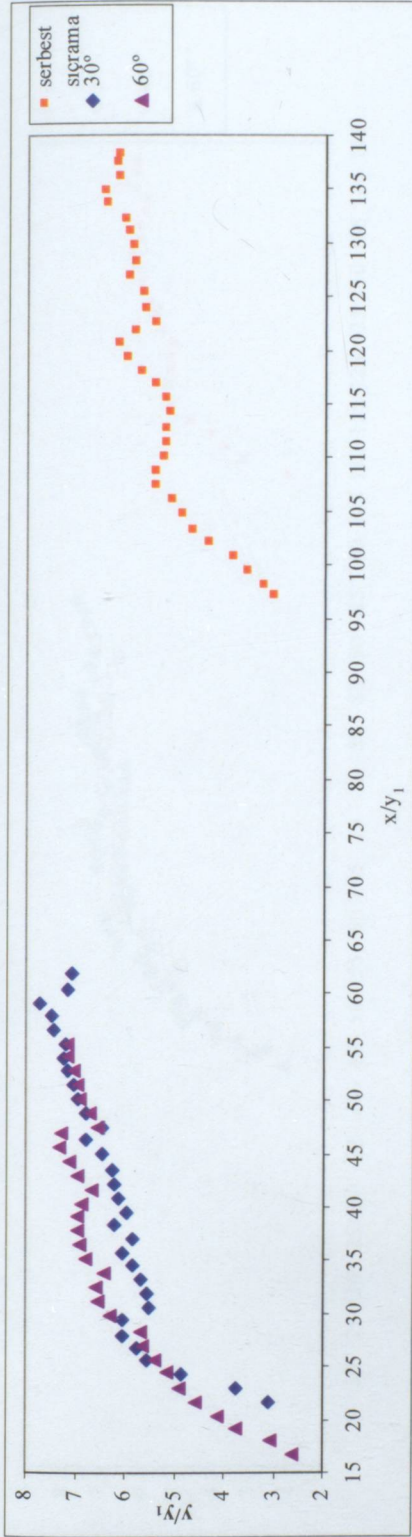
Şekil 2.16 $Fr=4.59$, 2. jet debisi için su yüzü profilleri



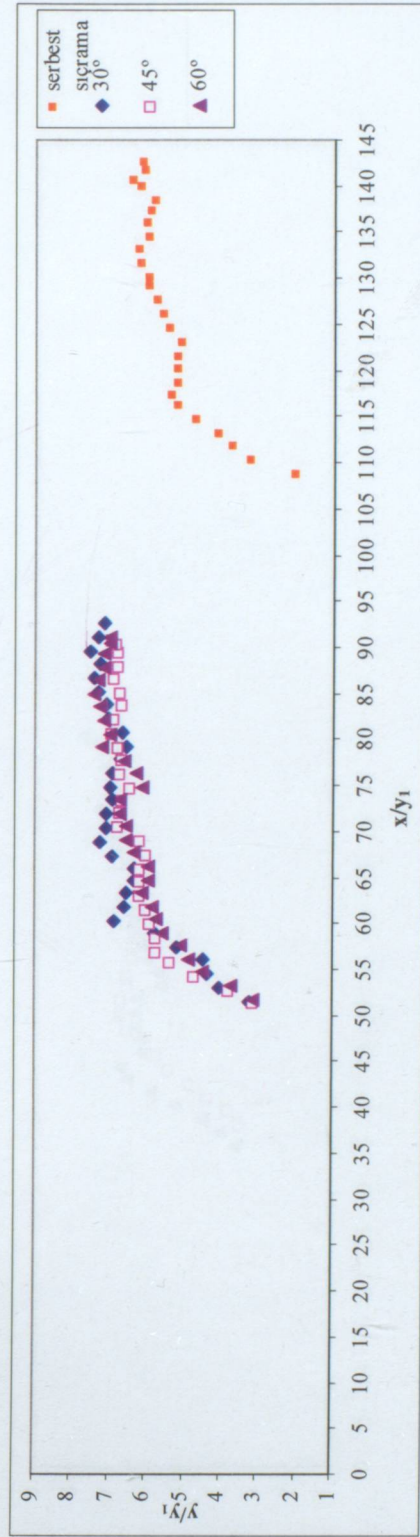
Şekil 2.17 $Fr=4.59$, 3.jet debisi için su yüzü profilleri



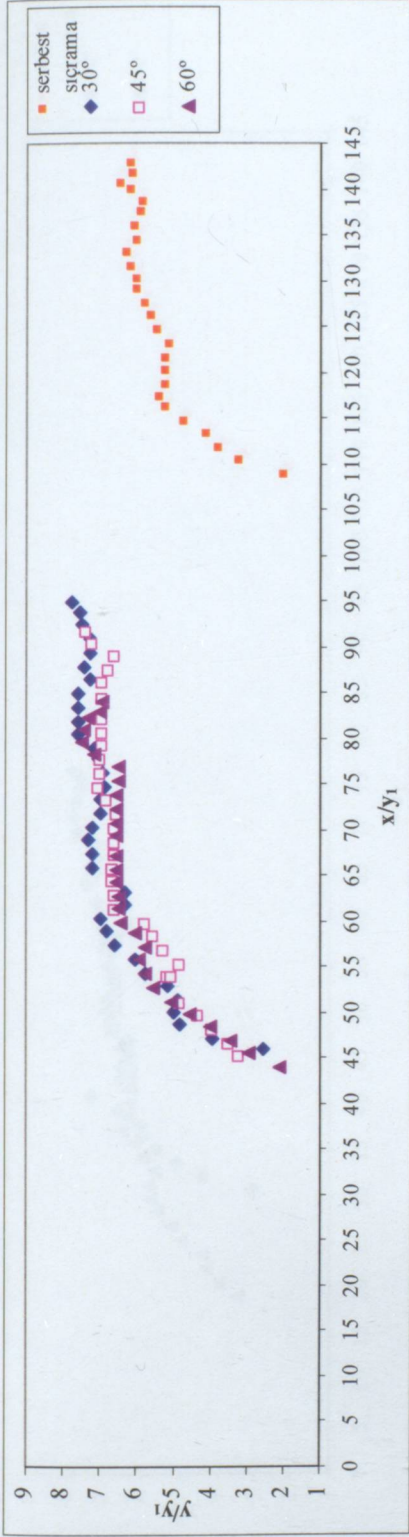
Şekil 2.18 $Fr=4.59$, 4.jet debisi için su yüzü profilleri



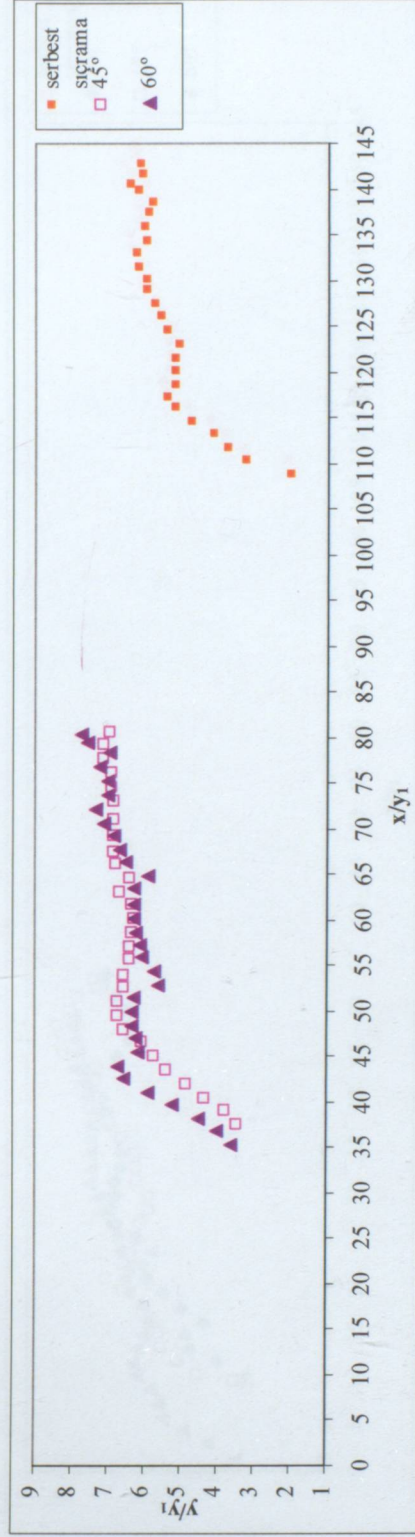
Şekil 2.19 $Fr=4.59$, 5. jet debisi için su yüzü profilleri



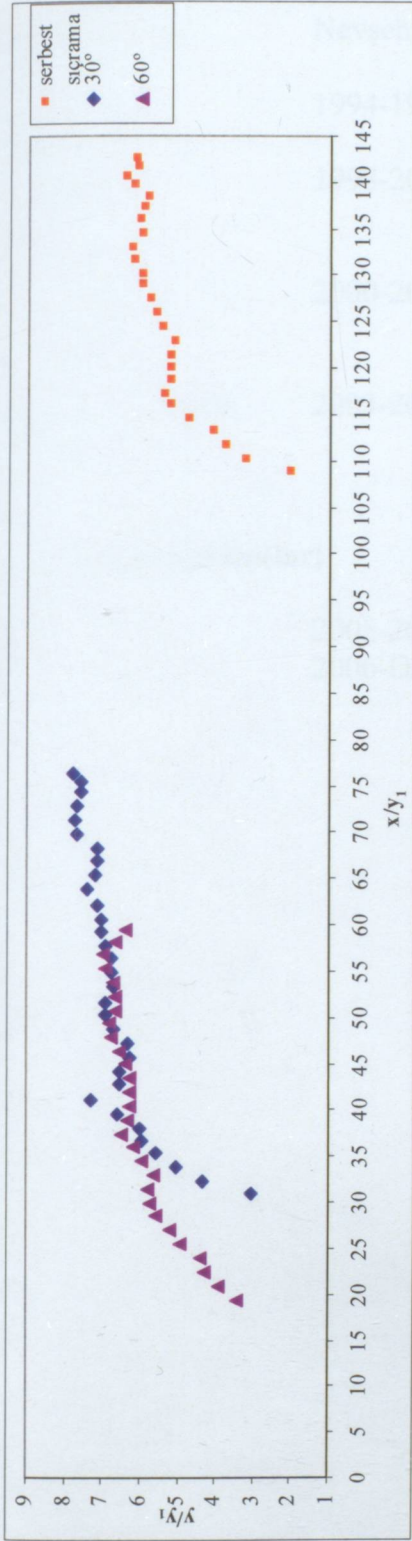
Şekil 2.20 $Fr=4.83$, 1. jet debisi için su yüzü profilleri



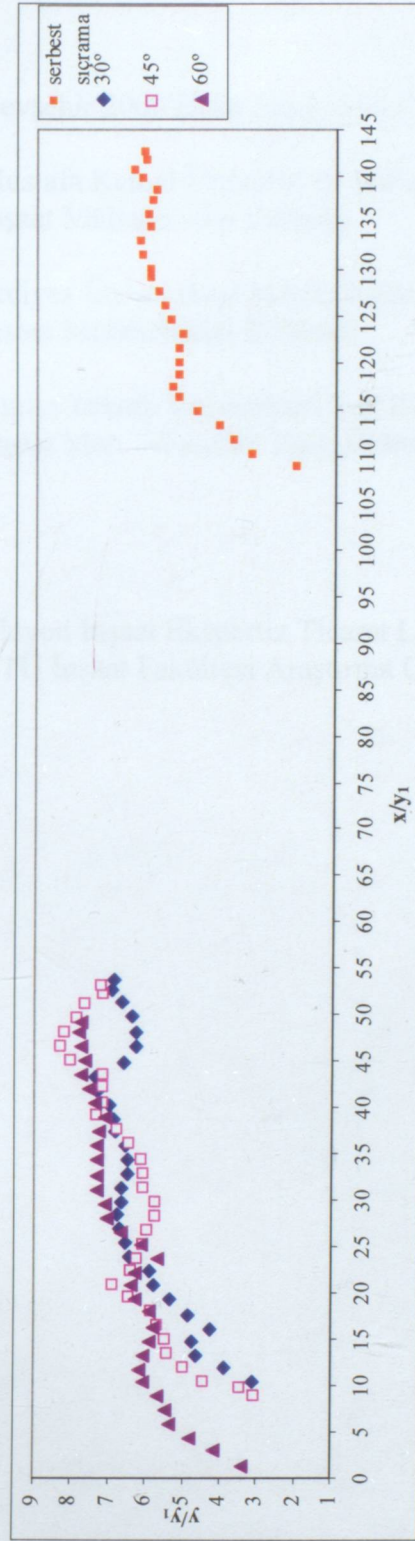
Şekil 2.21 $Fr=4.83$, 2. jet debisi için su yüzü profilleri



Şekil 2.22 $Fr=4.83$, 3. jet debisi için su yüzü profilleri



Şekil 2.23 $Fr=4.83$, 4. jet debisi için su yüzü profilleri



Şekil 2.24 $Fr=4.83$, 5. jet debisi için su yüzü profilleri

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	26.01.1981	
Doğum yeri	Nevşehir	
Lise	1994-1998	Nevşehir 2000 Evler Süper Lisesi
Lisans	1998-2000	Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Lisans	2000-2003	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2005-2006	Vizyon İnşaat Ekspertiz Ticaret Ltd Şti
2006-Devam ediyor	YTÜ İnşaat Fakültesi Araştırma Görevlisi

