

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAN SAVAK TİPİNİN SU YÜZÜ PROFİLİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih ŞEVGİN

(091115104)

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Hidrolik

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Emin EMİROĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20 Ocak 2012

Ocak-2012

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAN SAVAK TİPİNİN SU YÜZÜ PROFİLİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih ŞEVGİN

(091115104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Ocak 2012

Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Şubat 2012

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Emin EMİROĞLU (F.Ü)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Ömer KELEŞOĞLU (F.Ü)

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Nihat KAYA (F.Ü)

OCAK-2012

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı yöneten ve çalışmanın her aşamasında ilgi ve desteğini esirgemeyen hocam Prof. Dr. M. Emin EMİROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, çalışmam süresince ilgi ve desteğini esirgemeyen sayın Yrd. Dr. Nihat KAYA'ya teşekkür ederim. Ayrıca, bu tez çalışmamda TÜBİTAK 104M394 No'lu proje verilerinden de yararlanılmıştır. Bu nedenle, TÜBİTAK'a da çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca hep yanımda olup desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli abim Necmettin ŞEVGİN'e ve bana tez döneminde yardımcı olup sıkıntılara ortak olan eşim Tuba ŞEVGİN'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Fatih ŞEVGİN
ELAZIĞ-2012

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	VII
TABLoların LİSTESİ.....	IX
SEMBOLLERİN LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. YAN SAVAK AKIMLARININ HİDROLİĞİ	3
2.1 Yan Savakların Hidroliği.....	3
2.2 Yan Savaklarda Su Yüzü Profili İle İlgili Literatür Özeti	10
3. DENEY DÜZENİĞİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA.....	35
3.1 Deneysel Çalışma	35
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	44
4.1 Doğrusal Kanalda Yapılan Su Yüzü Profili Deneyleri.....	44
4.2 Kıvrımlı Kanalda Yapılan Su Yüzü Profili Deneyleri.....	49
4.2.1 $\alpha=30^\circ$ Kıvrımlı Kanal	49
4.2.2 $\alpha=60^\circ$ Kıvrımlı Kanal	52
4.2.3 $\alpha=90^\circ$ Kıvrımlı Kanal	56
4.2.4 $\alpha=120^\circ$ Kıvrımlı Kanal	59
4.2.5 $\alpha=150^\circ$ Kıvrımlı Kanal	62
4.3 Farklı Yan Savak Tiplerinin Su Yüzü Profillerinin Karşılaştırılması	65
4.3.1 Farklı Kıvrım Açısına Sahip Labirent Yan Savaklar.....	65
4.3.2 Dikdörtgen ve Labirent Yan Savakların Su Yüzü Profillerinin Karşılaştırılması..	67
4.4 Yan Savaklarda Su Yüzü Profiline Görülen Bazı Özel Durumlar	68
4.4.1 Savaşın Bir Kısımında Savaklanmanın Olmaması Durumu	68
4.4.2 Labirent Yan Savak Bölgesinde Vorteks Oluşumu.....	69
4.4.3 Yan Savak Mansap Ucunda Aşırı Yükselmesi.....	70
5. SONUÇLAR.....	71
KAYNAKLAR.....	73

ÖZGEÇMİŞ	76
-----------------------	-----------

ÖZET

Yan savaklar, herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin temin edilmesi veya fazla suyun uzaklaştırılması için taşkın, sulama, arazi drenajı, birleşik sistem kanalizasyon tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğrusal kanallar üzerine yerleştirilmiş yan savaklar ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bunu kıvrımlı kanallar için söylemek doğru değildir. Bu çalışmada bu güne kadar kullanılan ince kenarlı yan savakların yerine labirent yan savaklar kullanılmıştır. Bir labirent savak planda düz olmayan bir savak kretine sahiptir. Kret uzunluğunun artması ile belirli bir debi için memba taraftaki nap yükü azaltılmaktadır. Bu nedenle bu savaklar, özellikle kret genişliği sınırlı olduğu yerlerde daha büyük debi geçirilmesi gereken yerlerde avantajlı olmaktadır.

Bu çalışmada, doğrusal ve kıvrımlı kanallara yerleştirilen yan savakların su yüzü profillerini belirlemek amacıyla deneyler farklı labirent savak kıvrım açısı, farklı savak uzunlukları ve farklı kret yükseklikleri için yapılmıştır. Klasik dikdörtgen yan savaklar karşılaştırma amacıyla test edilmiştir. Sonuçta, elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yan savak, yanal akım, labirent savak, su yüzü profili

ABSTRACT

The side weirs, also known as the lateral weirs, are widely used in flood channels, irrigation channels, land drainage, and urban sewerage systems by flow diversion or intake devices. There are a lot of studies related to the side weirs located on straight channels. However, the same is not true for curved channels. In this study, the labyrinth weirs have used instead of sharp crested side weirs. A labyrinth weir is defined as a weir crest that is not straight in plan form. The increased sill length provided by labyrinth weirs effectively reduces upstream head for a particular discharge. They can therefore be used to a particular advantage where the width of a channel is restricted and a weir is required to pass a range of discharges with a limited variation in upstream water levels.

In this study, a series of laboratory experiments were conducted in order to determine water surface profile at the curved channel for different labyrinth weir apex angles, weir lengths, and crest heights. Rectangular side weirs were tested in order to compare with the labyrinth side weirs. As a result, obtained results were discussed in detail in this study.

Keywords: Curved channel, lateral flow, labyrinth weir, water surface profile.

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	(a-e) Su yüzü profillerinin muhtemel tipleri	6
Şekil 2.2	Sabit özgül enerjili kanal akımı durumunda derinlik ve kanal debisi arasındaki ilişki.....	7
Şekil 2.3	$\phi(h/E)$ fonksiyonunun, p/E parametresinin çeşitli değerleri için değişimi.....	10
Şekil 2.4	Deneysel olarak gözlenen su yüzü profilleri	11
Şekil 2.5	Yanal akım sebebiyle kanal enkesitindeki akımın hareketi	15
Şekil 2.6	Yanal akım sebebiyle kanal enkesitinde oluşan sekonder akım	15
Şekil 2.7	Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi	16
Şekil 2.8	Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda sel rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi.....	16
Şekil 2.9	Ana kanal dik bir kol bağlanması durumunda yan savağın genel görünüşü (a) Plan (b) Kesit	19
Şekil 2.10	Dikdörtgen prizmatik debi dağıtım kanalı genel görünüşü	20
Şekil 2.11	Üniform debi dağılımı için üniform daralan debi dağılım kanalı genel görünüşü	21
Şekil 2.12	Enkesit genişliği yan savak boyunca tedricen daralan kanala yerleştirilen yan savağın plan ve kesiti	22
Şekil 2.13	Trapez enkesitli bir kanalda trapez enkesitli yan savak görünüşü; (a) plan, (b) kesit, (c) görünüş.....	25
Şekil 2.14	Yan savak görünüşü (a) Plan (b) Kesit	27
Şekil 2.15	Yan savak genel görünüşü	31
Şekil 2.16	Savak enkesiti ve plan	32
Şekil 3.1	Yan savağın karşısında toplama kanalı	35
Şekil 3. 2.	Deney kanalına yerleştirilen yan savağın görünüşü (ölçeksizdir).....	36
Şekil 3.3.	Labirent yansavağın boyutları	37
Şekil 3.4.	22 kW'lık Pompalar	37
Şekil 3.5..	Giriş debisini ölçen elektromanyetik debimetre.....	38
Şekil 3.6.	Giriş debisinin ayarlandığı debimetrenin ön kısmındaki vana.....	38
Şekil 3.7.	Dikdörtgen savak anahtar eğrisi	39

Şekil 3.8.	Hidrolik laboratuvarındaki tanklar.	40
Şekil 3.9.	Deney seti plan ve kesitleri, tüm ölçüler metre cinsindendir	42
Şekil 3.10.	Hareketli seviye ölçüm arabası	43
Şekil 4.1.	Sağdan sola doğru akan kanalda labirent yan savak üzerindeki akım	47
Şekil 4.2.	Doğrusal kanalda aktif savaklanma durumunda su yüzü profilleri.....	48
Şekil 4.3.	L=75 cm için klasik dikdörtgen ve labirent yan savak için su yüzü profilleri.	49
Şekil 4.4	Kıvrımlı kanalda $\alpha=30^\circ$ 'de aktif savaklanma durumunda su yüzü profilleri.	52
Şekil 4.5.	Küçük labirent savak tepe açılarında ve büyük Froude sayılarında savak üzerinde oluşan çevrintiler.	53
Şekil 4.6.	Kıvrımlı kanalda $\alpha=60^\circ$ 'de aktif savaklanma durumunda su yüzü Profilleri	55
Şekil 4.7	L/b=0.50 için su yüzü profilinin aldığı şekil	56
Şekil 4.8.	Kıvrımlı kanalda $\alpha=90^\circ$ 'de aktif savaklanma durumunda su yüzü profilleri	58
Şekil 4.9.	Dikdörtgen ve labirent yan savak üzerinde yanal akım	59
Şekil 4.10.	Kıvrımlı kanalda $\alpha=120^\circ$ 'de aktif savaklanma durumunda su yüzü profilleri.	62
Şekil 4.11.	Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ 'de aktif savaklanma durumunda su yüzü profilleri	64
Şekil 4.12.	Farklı kıvrım açısına sahip labirent yan savak su yüzü profillerinin karşılaştırılması	66
Şekil 4.13.	Dikdörtgen ve labirent yan savak su yüzü profillerinin karşılaştırılması.....	67
Şekil 4.14.	Labirent savağın büyük tepe açılarında ve büyük Fr sayılarında gözlenen savaklanma olmayan bölge	68
Şekil 4.15.	Labirent yan savağın büyük açılarında ve büyük Fr sayılarında yan savağın üzerindeki nap yükü.....	69
Şekil 4.16.	$\theta=90^\circ$ 'de vorteks oluşumu ve yeri	69
Şekil 4.17	L/b=0.50 için su yüzü profilinin aldığı şekil	70

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1.	Savak boyutları ve akım karakteristikleri.....	26
Tablo 2.2.	Nehir rejimli akım için doğrusal kanallarda yan savak debi katsayısı ile ilgili denklemler	34

SEMBOLLER LİSTESİ

Q'	: Yan savak debisi (m^3/s)
C_d	: Yan savak debi katsayısı (-)
g	: Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
h	: Kanaldaki su derinliği (m)
p	: Kret yüksekliği (m)
h_{kr}	: Kritik derinlik (m)
E	: Herhangi bir kesitteki özgül enerji yüksekliği (m)
Q	: Ana kanal debisi (m^3/s)
A	: Dikdörtgen enkesitli ana kanaldaki ortalama ıslak alan (m^2)
b	: Yan savak kanal genişliği (m)
V	: Enkesitteki ortalama akım hızı (m/s)
Q_w	: Yan savak debisi (m^3/s)
x_0	: İntegral sabiti
ϕ	: İntegral alanını gösteren sembol
h_1	: Yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
h_2	: Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
L	: Yan savak uzunluğu (m)
ψ	: Yan savak sapma açısı ($^\circ$)
V_1	: Yan savak membasında ana kanal eksenindeki ortalama akım hızı (m/s)
J	: Enerji çizgisi eğimi
J_0	: Ana kanal taban eğimi
Fr	: Froude sayısı
q_x	: Savaşın dx uzunluğundan savaklanan debi (m^3/s)
S_{yz}	: Sekonder akımın gücü (%)
Σ	: Toplama fonksiyonu
Q_w / Q_1	: Savaklama oranı
β	: Momentum katsayısı
v	: Hız bileşeni

u	: Yan savak üzerinde akım hızının ana kanal eksenine paralel bileşeni
K	: Katsayı
x	: Yan savağın herhangi bir noktasının, yan savağın başlangıcına olan uzaklığı (m)
L_s	: Kalın kenarlı savak kalınlığı (m)
b_1	: Yan savak başındaki ana kanal genişliği (m)
b_2	: Yan savak sonundaki ana kanal genişliği (m)
Q_ζ	: Yan savaktan sonraki ana kanal debisi (m ³ /s)
D_s	: Dairesel enkesitli kanalın çapı (m)
M	: Katsayı
N	: Katsayı
α	: Üçgen savak tepe açısı (°)
B	: Ana kanal genişliği (m)
m	: Yan savak debi katsayısı
$\phi(z), \psi(z)$	: İntegral alanları
C_{de}	: Yan savak debi katsayısı
ψ	: Yan savağa doğru sapma açısı (°)
s	: Üçgen savak eşik yüksekliği (m)
L_{ndim}	: Yan savak yüksekliğinin memba akım hızına oranı
h_m	: Orta akım yüksekliği (m)
p	: Yan savak kret yüksekliği (m)
t	: Sabit
V_{yz}	: yz planındaki hız vektörü
γ	: Yan savak üzerindeki hızın kanaldaki hıza oranı
H	: Enerji yüksekliği (m)
C_e	: Debi katsayısı
w	: Savak yüksekliği (m)
θ	: Labirent yan savak kıvrım açısı (°)
S_{xy}	: Sekonder akımın gücü (%)
h	: Herhangi bir kesitteki akım derinliği (m)

Q_1 : Ana kanal debisi (m^3/s)

Q_2 : Yan savaktan sonraki ana kanal debisi (m^3/s)

1. GİRİŞ

Savaklar; debi ölçmek, taşkın kontrolü yapmak gibi amaçlar için yüzyıllardır kullanılan en eski ve kullanım açısından en basit hidrolik yapılardandır. İnce kenarlı, kalın kenarlı ve labirent savaklar olmak üzere üç temel tipleri mevcuttur. Farklı savak tiplerinin her birinin hidrolik davranışı birbirinden farklıdır. Ayrıca, karşıdan alıslı savaklar ve yan savaklar şeklinde de sınıflandırılmaktadırlar. Bu nedenle her bir savak tipinin akım karakteristiklerini ayrı ayrı incelemek önemlidir.

Karşıdan alıslı savak, debi ölçmek için sıklıkla kullanılan bir hidrolik yapıdır. Yan savaklar ise bir kanaldaki fazla debinin azaltılması veya herhangi bir kanaldan ihtiyaç olan debinin alınması için kullanılan bir hidrolik yapıdır. Bu savaklar kanalların yan duvarlarına akıma paralel olarak inşa edildiklerinden bu ismi almışlardır.

Yan savaklar birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Yan savaklar herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin temin edilmesi veya fazla suyun uzaklaştırılması için sulama, arazi drenajı ve kanalizasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Birleşik kanalizasyon sistemlerinde ana kolektördeki temiz sayılan fazla yağmur suları, yan savaklar yardımıyla alıcı ortama direkt olarak verilmektedir. Böylece arıtma tesisinin yükü azaltılmakta ve yan savağın mansap tarafındaki iletim hattının kesiti küçültülmektedir. Ayrıca, vadi yamaçlarından geçirilen kanallarda yüzeysel akış etkisiyle meydana gelecek fazla debi de yan savaklar yardımıyla uzaklaştırılmaktadır. Yine, sulamada dağılım ve kayıpların kontrolü yapılırken de yan savaklardan faydalanılır. Düşük randımanla yapılan sulama işlemi sonucu ortaya çıkan su kayıplarının önüne geçmek için yan savak kullanılarak bu kayıpları en düşük seviyeye indirmek mümkün olmaktadır.

Yan savakların farklı enkesit tipleri mevcuttur. Yan savaklar dikdörtgen, trapez veya dairesel kanalların yan duvarlarına farklı enkesitlerde inşa edilirler. Bunları dikdörtgen, üçgen, trapez ve dairesel enkesitler olarak saymak mümkündür. Yan savaklar ana kanalın yanına inşa edilirken ana kanal eksenini ile belirli bir açı yapacak şekilde inşa edilebileceği gibi ana kanala paralel olarak da inşa edilebilmektedir.

Yerleştirme yapılırken kullanılacak yan savak tipi, kanal enkesiti ve yerleştirme açısı savaklanacak debinin miktarını değiştirmektedir. Yan savakların debi katsayısı ile ilgili birçok

Çalışma yapılmıştır. Günümüzde bu konu ile ilgili çalışmalar halen yapılmaktadır. Yan savaklar ile ilgili hem teorik hem de deneysel çalışmalar literatürde mevcuttur. Hidrolik projelendirmede su yüzü profilinin şekli önemlidir. Su yüzü profili akım rejimi ile yakından ilgilidir. Bu çalışmada nehir akım rejimi dikkate alınmıştır. Farklı Froude sayıları, farklı yan savak uzunluğunun ana kanal genişliğine oranı, farklı kret yükseklikleri, doğrusal kanal ve farklı kıvrımlı kanal kıvrım açıları ve labirent yan savak kıvrım açıları için bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir. Böylece su yüzü profili belirlenmeye çalışılmış ve oluşacak özel durumlar tespit edilmeye çalışılmıştır.

2. YAN SAVAK AKIMLARININ HİDROLİĞİ

2. 1. Yan Savakların Hidroliğı

Savaklar; hidrolik mühendisleri tarafından debi ölçümü ve taşkın kontrolü vb. amaçlar için yüzyıllardır kullanılan en eski ve kullanım açısından en basit hidrolik yapılardandır. Farklı savak tiplerinin her birinin hidrolik davranışı birbirinden çok farklıdır.

Yan savaklar; bir kanaldaki fazla debinin azaltılması veya herhangi bir kanaldan ihtiyaç olan debinin alınması için kullanılan bir hidrolik yapıdır. Bu savaklar kanalların yan duvarlarına akıma paralel olarak inşa edildiklerinden bu ismi almışlardır.

Yan savaklar birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Yan savaklar herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin temin edilmesi veya fazla suyun uzaklaştırılması için sulama, arazi drenajı ve kanalizasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Birleşik sistemlerde ana kollektördeki temiz olan fazla yağmur suları, yan savaklar yardımıyla alıcı ortama direkt olarak verilmektedir. Böylece arıtma tesisinin yükü azaltılmaktadır.

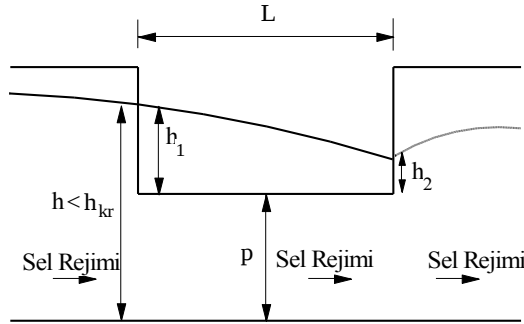
Ayrıca, vadi yamaçlarından geçirilen kanallarda yüzeysel akış etkisiyle meydana gelecek fazla debi de yan savaklar yardımıyla uzaklaştırılmaktadır. Yine, sulamada dağılım ve kayıpların kontrolü yapılırken de yan savaklardan faydalanılır. Düşük randımanla yapılan sulama işlemi sonucu ortaya çıkan su kayıplarının önüne geçmek için yan savak kullanılarak bu kayıpları en düşük seviyeye indirmek mümkündür.

Yan savakların farklı enkesit tipleri mevcuttur. Yan savaklar dikdörtgen, trapez veya dairesel kanalların yan duvarlarına farklı enkesitlerde inşa edilirler. Bunları dikdörtgen, üçgen, trapez ve dairesel yan savaklar olarak saymak mümkündür. Yan savaklar ana kanalın yanına inşa edilirken ana kanal eksenine ile belirli bir açı yapacak şekilde inşa edilebileceği gibi ana kanala paralel olarak da inşa edilebilmektedir.

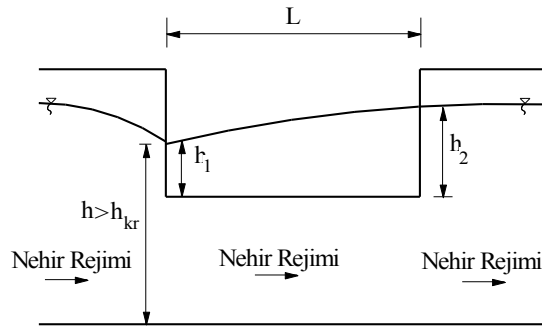
Yerleştirme yapılırken kullanılacak yan savak tipi, kanal enkesiti ve yerleştirme açısı savaklanacak debinin miktarını değiştirmektedir. Yan savakların debi katsayısı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Günümüzde bu konu ile ilgili çalışmalar halen yapılmaktadır. Yan savaklar ile ilgili hem teorik hem de deneysel çalışmalar literatürde mevcuttur.

Yan savaklarda, savak üzerinden aşan su napının savak boyunca meydana gelecek serbest yüzey çizgisi, kanaldaki rejime bağlı olarak meydana gelmektedir. Aşağıda savak üzerinde muhtemel meydana gelebilecek beş farklı durum verilmiştir.

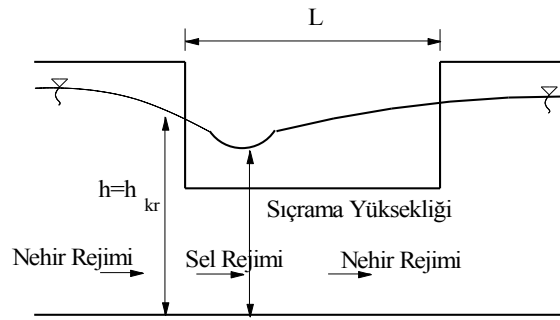
- a- Savak başlangıcında veya yakınında kritik akım şartları meydana gelir. Akım savak boyunca sel rejimindedir ve su derinliği savak üzerinde azalır (Şekil 2.1.a).
- b- Savak başlangıcında su derinliği kritik derinlikten büyüktür. Akım savak boyunca nehir rejimindedir ve su derinliği savak boyunca gittikçe artar (Şekil 2.1.b).
- c- Yan savaktan önce nehir rejiminde olan akım savak başında kritik seviyeye yakın değere düşmekte ve enerji kaybına uğrayarak nehir rejimine geçmektedir. Başlangıçta savak yükü azalmakta sıçramadan sonra artmaktadır (Şekil 2.1.c).
- d- Savaktan önce akım sel rejimindedir ve derinlik kritik derinliğin altındadır. Yan savak boyunca da akım sel rejiminde devam etmektedir (Şekil 2.1.d).
- e- Girişte su seviyesi kritik seviyenin altına düşmüştür. Debi azalmasından dolayı bir sıçrama meydana gelmekte akım enerjisi kayba uğrayarak daha küçük bir enerji seviyesine inmektedir (Şekil 2.1.e).



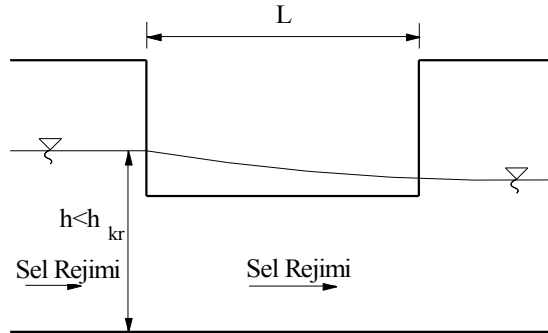
Şekil 2.1.a



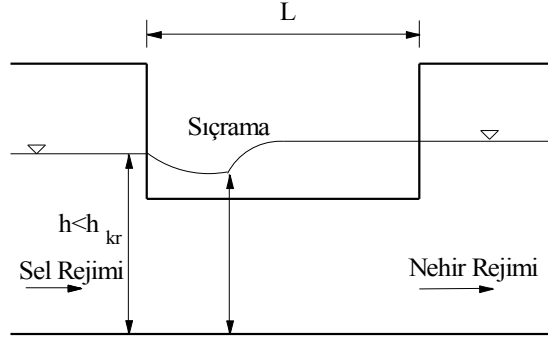
Şekil 2.1.b



Şekil 2.1.c



Şekil 2.1.d



Şekil 2.1.e

Şekil 2.1 (a-e) Su yüzü profillerinin muhtemel tipleri

De Marchi [1] yan savak boyunca özgül enerjinin sabit kaldığını varsayarak teorik bir çalışma yapmıştır. Yazarın yaptığı kabuller aşağıdaki gibidir;

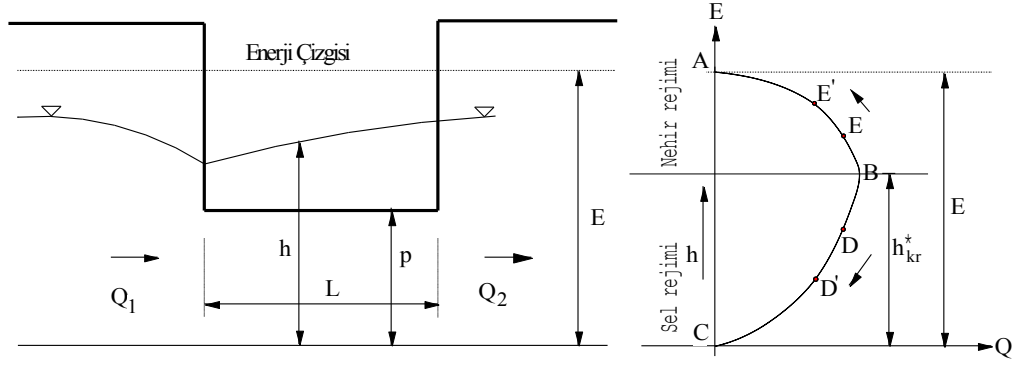
- Ana kanalda kararlı akım şartları mevcuttur.
- Yan savak kreti ana kanal tabanına paraleldir.
- Yan savak, üniform enkesitli uzun bir kanal üzerine yerleştirilmiştir.
- Yan savağın memba ve mansabındaki belirli mesafelerde kanaldaki akım üniformdur.
- Verilen herhangi bir yan savak uzunluğunda geçen debi, normal savak formüllerinde olduğu gibi, aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\frac{dQ'}{dx} = C_d \sqrt{2g} (h - p)^{3/2} \quad (2.1)$$

Burada; Q' = yan savak debisi (m^3/s), C_d = debi katsayısı, g = yerçekim ivmesi (m/s^2), h = su yüksekliği (m), p = kret yüksekliği (m)'dir.

- Enerji çizgisi kanal tabanına paraleldir.

Buradan, kısa yan savak ya da kanaldaki akım derinliğinin değişmediğini varsayıldığı anlamı çıkarılabilir. Bir kanalın sabit bir enerji seviyesinde geçirebileceği debi ile su derinliği arasındaki bağıntı Koch parabolü ile verilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Sabit özgül enerjili kanal akımı durumunda derinlik ve kanal debisi arasındaki ilişki [1]

Yan savak başlangıcında akım sel rejiminde ise $h < h_{kr}$ olduğundan, debi-derinlik ilişkisi D noktası ile verilir. Yan savak boyunca ana kanal debisi azalacağından akım D' noktası ile verilir. Yan savak başlangıcında akım nehir rejiminde ise $h > h_{kr}$ olacağından akım bir E noktası ile belirlenecektir. Nehir rejiminde ana kanal debisi yan savak boyunca azalacağından akım E' gibi bir nokta ile belirlenebilir. Buna göre, Şekil 2.1'de görüldüğü üzere, yan savak boyunca ana kanal ekseninde su derinliği nehir rejiminde artarak, sel rejiminde azalarak gider.

Herhangi bir kesitte özgül enerji,

$$E = h + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (2.2)$$

ifadesi ile verilebilir.

(2.2) ifadesinin 'x' savak boyunca türevi alınırsa,

$$\frac{dE}{dx} = \frac{d}{dx} \left(h + \frac{Q^2}{2gA^2} \right) = 0 \quad (2.3)$$

şeklinde olur. Bütün terimler gA^3 ile çarpılırsa,

$$gA^3 \frac{dh}{dx} + QA \frac{dQ}{dx} - Q^2 \frac{dA}{dx} = 0 \quad (2.4)$$

olur. Kanal tabanının dikdörtgen olması durumunda ıslak alanın yükseklikle değişimi,

$$\frac{dA}{dx} = b \cdot \frac{dh}{dx} \quad (2.5)$$

olacağından, yukarıdaki ifade,

$$\frac{dh}{dx} = \frac{QA}{Q^2b - gA^3} \cdot \frac{dQ}{dx} \quad (2.6)$$

şeklinde yazılabilir. Bu, su yüzü profilini veren diferansiyel denklemdir.

(2.6) eşitliğinden Q, A, dQ/dx ve b ifadelerinin bilinmesi durumunda herhangi bir kesitteki su yüzü profili bulunabilir. Bu denklemde, nehir rejimli akım durumunda $(V < \sqrt{2bh})$ ise dh/dx'in pozitif değerde, sel rejimli akım durumunda $(V > \sqrt{2bh})$ ise dh/dx'in negatif olduğu görülebilir. Yani ilk durumda profilin yükseldiği ikincisinde ise profilin alçaldığı görülmektedir. Burada V, enkesitteki ortalama akım hızını ifade etmektedir.

De Marchi [1], dikdörtgen kesitli bir kanal için de (2.6) eşitliğinin kesin çözümünün elde edileceğini göstermiştir. Buna göre (2.6) eşitliği yeniden yazılırsa,

$$\frac{dh}{dx} = \frac{Qh}{Q^2 - gb^2h^3} \cdot \frac{dQ}{dx} \quad (2.7)$$

olur. (2.2) eşitliğinden elde edilen,

$$Q = bh\sqrt{2g(E - h)} \quad (2.8)$$

bağıntısı ve

$$\frac{dQ_w}{dx} = -\frac{dQ}{dx} = C_d\sqrt{2g}(h - p)^{3/2} \quad (2.9)$$

kabulü yapılarak denklemler birlikte kullanılırsa, (2.9) eşitliği

$$\frac{dh}{dx} = -\frac{2C_d}{b} \frac{\sqrt{(E-h)(h-p)^{3/2}}}{2E-3h} \quad (2.10)$$

şeklinde yazılabilir. Tekrar düzenlenerek,

$$\frac{dx}{dh} = -\frac{b}{2C_d} \frac{2E-3h}{\sqrt{(E-h)(h-p)^{3/2}}} \quad (2.11)$$

ifadesi elde edilir. Bu eşitliğin integrasyonu sonucunda ise,

$$x - x_0 = \frac{b}{C_d} \left[\frac{2E-3p}{E-p} \sqrt{\frac{E-h}{h-p}} - 3 \text{Arcsin} \sqrt{\frac{E-h}{h-p}} \right] \quad (2.12)$$

bağıntısı elde edilir. Burada, x_0 =integral sabitidir.

Derinliklerin sırasıyla h_1 ve h_2 olduğu kesitlerdeki x_1 ve x_2 mesafeleri arasındaki fark,

$$x_2 - x_1 = \frac{b}{C_d} \left\{ \left[\frac{2E-3p}{E-p} \sqrt{\frac{E-h_2}{h_2-p}} - 3 \text{Arcsin} \sqrt{\frac{E-h_2}{h_2-p}} \right] - \left[\frac{2E-3p}{E-p} \sqrt{\frac{E-h_1}{h_1-p}} - 3 \text{Arcsin} \sqrt{\frac{E-h_1}{h_1-p}} \right] \right\} \quad (2.13)$$

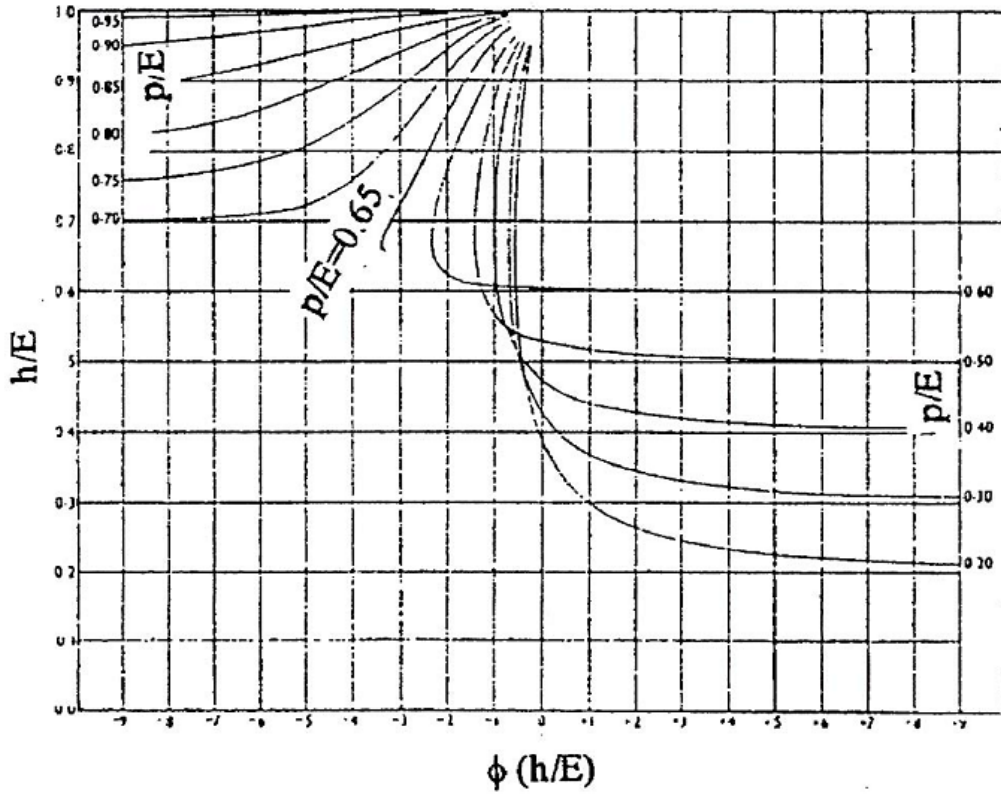
şeklinde yazılabilir. Genel parantez içindeki terim $\phi(h/E)$ ile gösterilirse ve $L=x_2-x_1$ kabulüyle (2.13) ifadesi,

$$L = \frac{b}{C_d} \left(\phi \left[\frac{h_2}{E} \right] - \phi \left[\frac{h_1}{E} \right] \right) \quad (2.14)$$

olarak elde edilir. Burada L, yan savak uzunluğunu, h_1 yan savak memba ucunda ana kanaldaki akım derinliğini, h_2 yan savak mansap ucunda ana kanaldaki akım derinliğini göstermektedir.

p/E parametresinin çeşitli değerleri için $\phi(h/E)$ eğrileri Şekil 2.3'te verilmiştir. Eğer yan savak debisi, memba veya mansap uçlarının herhangi birindeki akım rejimi (aynı

zamanda (h/E) biliniyorsa, 2.14 eşitliği kullanılarak yan savağın diğer ucundaki (h/E) değeri bulunabilir.

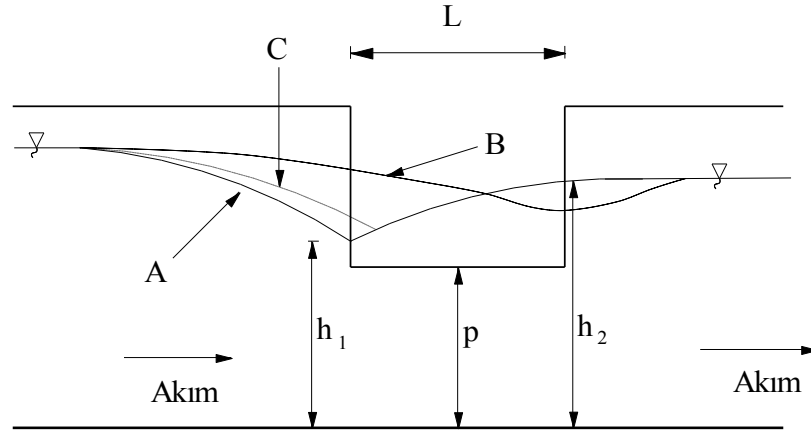


Şekil 2.3 $\phi(h/E)$ fonksiyonunun, p/E parametresinin çeşitli değerleri için değişimi [1]

2.2. Yan Savaklarda Su Yüzü Profili ile İlgili Literatür Özeti

Yan savak ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur. Bunlardan su yüzü profili ile ilgili olanlar aşağıda özetlenmiştir.

Coleman ve Smith [2], sel rejimli akım şartlarında yapmış oldukları yan savaklarla ilgili çalışmalarda su yüzü profilinin yan savak boyunca membadan mansaba doğru azaldığını ve mansap kısmında tekrar artarak normal akım derinliğine ulaştığını gözlemlemiştir (Şekil 2.4, B Profili). Deneyler dikdörtgen enkesitli kanallarda yapılmıştır. A ve C profilleri ise nehir akım rejimine aittir. Burada p kret yüksekliğini, h_1 memba su derinliğini ve h_2 ise mansap su derinliğini ifade etmektedir.



Şekil 2.4 Deneysel olarak gözlenen su yüzü profilleri [2, 3, 4].

Coleman ve Smith [2] yan savak debisini veren bağıntıyı da;

$$Q' = 2.58bL^{0.72}(h_1 - p)^{1.645} \quad (2.18)$$

şeklinde vermişlerdir. Buna ilaveten, yan savak uzunluğunu veren bağıntı da aşağıdaki gibi sunmuşlardır.

$$L = 1.16bV_1(h_1 - p)^{0.13} \left[\sqrt{\left(\frac{I}{h_2 - p}\right)} - \sqrt{\left(\frac{I}{h_1 - p}\right)} \right] \quad (2.19)$$

burada; V_1 yan savak membasında ana kanal kesitindeki hızı gösterir.

(2.19) denkleminde $(h_2 - p)$ teriminin 19 mm'den daha az olmaması gerektiğini Coleman ve Smith [2] belirtmişlerdir. Çünkü denklemden görüleceği gibi $(h_2 - p)$ terimi küçüldükçe L yan savak uzunluğu sonsuza gitmektedir. Nap yükü küçüldükçe yüzeysel gerilme etkileri de artmaktadır. Daha sonra Novak ve Cabelka [5] minimum nap yükünün 30 mm alınması gerektiğini söylemişlerdir. Son yıllarda kabul gören değer de budur.

Nimmo [6] yan savak problemi teorik bir yaklaşım geliştirerek incelemiş ve sabit dikdörtgen enkesitli bir kanalda momentum prensibini kullanarak su yüzü eğimini veren ifadeyi aşağıdaki şekilde elde etmiştir.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{(J - J_0) - \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ'}{dx}}{1 - Fr_1^2} \quad (2.20)$$

burada; J : Enerji çizgisi eğimi, J_0 : Ana kanal taban eğimi, g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2), A : Dikdörtgen enkesitli ana kanaldaki ortalama ıslak alan (m^2), dQ'/dx : Savağın dx uzunluğundan savaklanan debi (m^3/s), Fr : Froude sayısını göstermektedir.

Nimmo [6] dQ'/dx ifadesinin $(h-p)$ savak yüküne bağlı olarak aşağıdaki ifade ile bulunabileceğini belirtmiştir.

$$\frac{dQ'}{dx} = q_x = -C_d (h - p)^{3/2} \quad (2.21)$$

burada; C_d : Yan savak debi katsayısını ifade eder.

Nimmo [6] ayrıca (2.21) ifadesinin kanalın yatay ($J=J_0$) ve sürtünme yük kayıplarının ihmal edilebileceği kabulü ile;

$$\frac{dh}{dx} = \frac{Q}{gA^2} \left(\frac{1}{Fr^2} - 1 \right) \frac{dQ'}{dx} \quad (2.22)$$

şeklinde basitleştirilebileceğini göstermiştir.

Smith [7], deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen yaklaşık çözüm yollarının belli bir sayıda değişkeni içermesinden dolayı uygulamaların yetersiz olduğunu söylemiştir. Sabit dikdörtgen enkesitli kanallarda, kanal tabanının yatay ve sürtünme kayıplarının ihmal edildiği durumlarda De Marchi teoreminin çözümünün geçerli olduğunu fakat zor bir kullanıma sahip olduğunu ifade etmiştir. Yüksek hıza sahip bilgisayarlarla çeşitli enkesite sahip kanallar ve oldukça fazla değişim gösterebilen yan savak eşik yüksekliği ve kanal tabanı için çözümün yapılabileceğini belirtmiştir. Ayrıca aşağıdaki kabulleri yapmıştır;

- Yan savak uzunluğu boyunca toplam enerji sabittir.
- Yan savak üzerindeki yük $(h-p)$, enine değişimler ihmal edilirse, teğetsel hız yükü;

$$\alpha \left(\frac{V^2}{2g} \right), \text{dir.}$$

- Yan savak üzerindeki akım savak normali ile açı yapmasına rağmen hesaplamalarda yan savak debi ifadesi kullanılabilir.

$$q = C_d \sqrt{2g} (h - p)^{3/2} \quad (2.24)$$

- Kanaldaki basınç dağılımı su yüzü değişimine ve su yüzeyinde meydana gelen dalgalanmalara rağmen hidrostatiktir.

Araştırmacı yukarıdaki kabulleri yaparak özgül enerji denkleminde hareketle su yüzü profilini veren ifadeyi;

$$\frac{dh}{dx} = \frac{J_0 - J - \alpha \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx} + \frac{Q^2 h}{gA^2} \frac{db}{dx}}{1 - \alpha \frac{Q^2 b}{gA^3}} \quad (2.25)$$

olarak elde etmiştir.

El-Khashab [8], dikdörtgen enkesitli bir kanalda yan savaklarla ilgili yapmış olduğu deneysel çalışmalarda C_d yan savak debi katsayısını, savak üzerindeki su yüzü profilini, savak kesitinde ana kanaldaki su yüzü profilini, hız dağılımlarını ve yanal akımdan ötürü ana kanalda oluşan sekonder akımı incelemiştir. C_d yan savak debi katsayısına etkili parametreleri boyut analizi yardımıyla;

$$C_d = f(Fr, p/h_l, L/h_l, b/h_l) \quad (2.26)$$

şeklinde vermiştir. Ayrıca akımın yan savak sapma açısı ψ 'ye etki eden boyutsuz parametreleri de ;

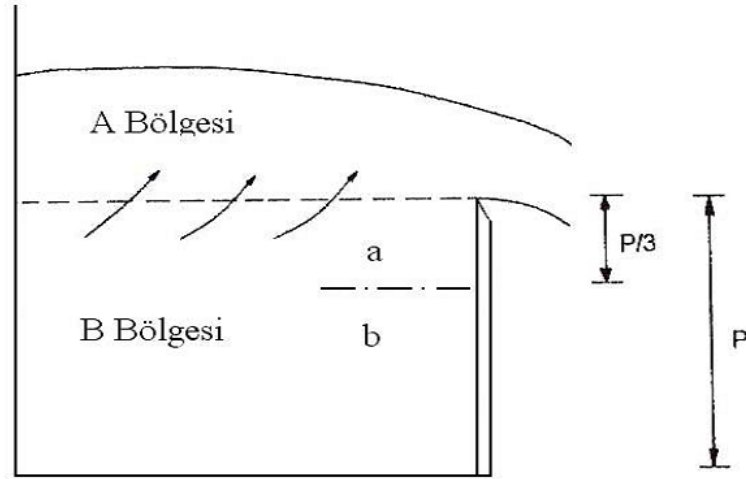
$$\psi = f\{Fr, p/h_l, L/h_l, b/h_l\} \quad (2.27)$$

olarak belirtmiştir. Yukarıdan da görüleceği gibi C_d ve ψ aynı boyutsuz parametrelerin fonksiyonudur ve birbirleriyle doğrudan ilişkilidir.

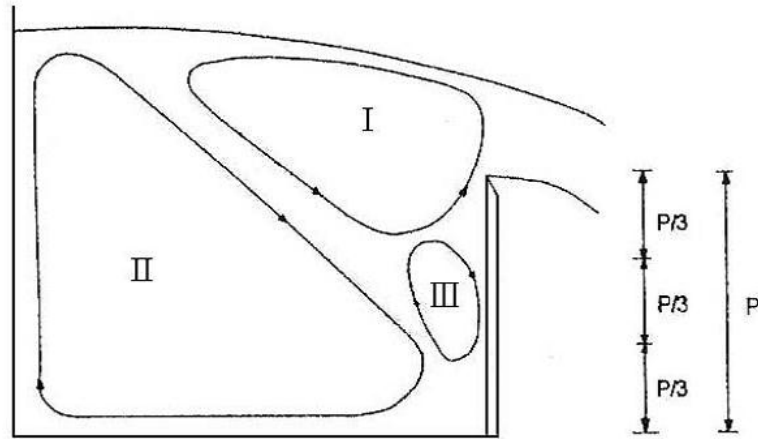
Araştırmacı, yan savak boyunca akımın hareketini ve sekonder akımın yapısını aşağıdaki gibi özetlemiştir:

Yan savak eşiği üzerinde A bölgesindeki su kütlesi doğrudan yan savağa hareket ederek savaklanır (Şekil 2.5). Yan savak eşiği altındaki B bölgesindeki akım iki farklı davranış gösterir.

- a) Savak eşiği yakınlarındaki su kütlesi (Savak eşik yüksekliğinin yaklaşık 1/3 lük kısmı) A bölgesindeki su kütlesine katılır ve savağa yönelir. Bu, sekonder akım planındaki her su zerreciğinin hızının düşey bileşeninden kaynaklanmaktadır.
- b) Savak eşiği altındaki 2/3 p'lik kısımdaki su kütlesi doğrudan kanal tabanına yönelir. Yan savağın ikinci yarısı boyunca sekonder akımın etkisi daha belirgin hale gelir. Bundan sonra sekonder akımda bozulmalar olur. İç kıyıda düşük hız alan (durgunluk bölgesi) hızla gelişir. Bu bölgede iç kıyıya yakın çok şiddetli sekonder akımın mevcut olduğu tespit edilmiştir. Kanal taban yakınlarında düşük enerjili akışkan savak tarafından iç kıyıya süpürülür ve iç kıyıda yükselerek, akımın üst bölgelerinde iç kıyıda düşük enerjili bir durgunluk bölgesi oluşur (II bölgesi). Yüksek hızlı akım çizgileri durgunluk bölgesinin daha da üzerinden geçerek savaklanır (Şekil 2.6). Bunun sonucunda, yüksek hızlı akım yeni bir bölge oluşturarak bunu yan savağa doğru iter (I bölgesi). Yan savak boyunca bu alanın değişimi hızlıdır fakat bu değişim savak sonuna doğru kararlı hale gelir. Bu yeni bölgenin (I bölgesi) büyüklüğü yan savak mansabına doğru gidildikçe küçülerek, savağa yakın bölgeler hariç tüm enkesitte küçük hızlar elde edilir. Ana kanal boyunca enkesitteki durgunluk bölgesi devam ederken, I bölgesindeki su kütlesi yan savağa yönelir. I ve II bölgeleri arasında, büyük hız azalması sebebiyle, süreksizlik meydana gelir (III bölgesi). Bu bölgede de sınıra yakın çok şiddetli sekonder akım görülür.



Şekil 2.5 Yanal akım sebebiyle kanal enkesitindeki akımın hareketi [8].

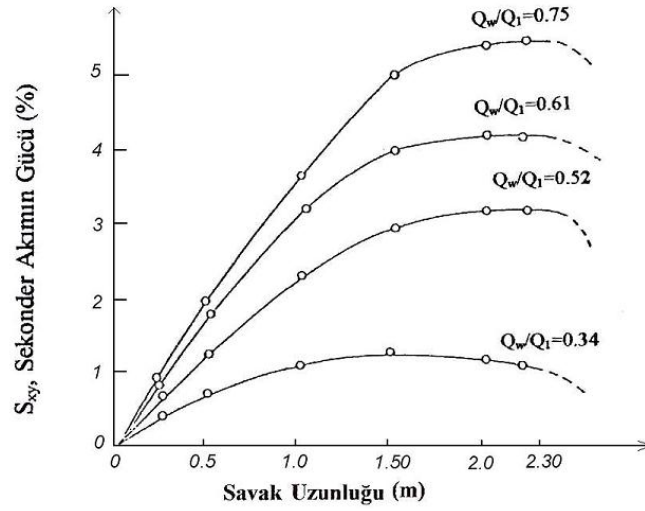


Şekil 2.6 Yanal akım sebebiyle kanal enkesitinde oluşan sekonder akım [8].

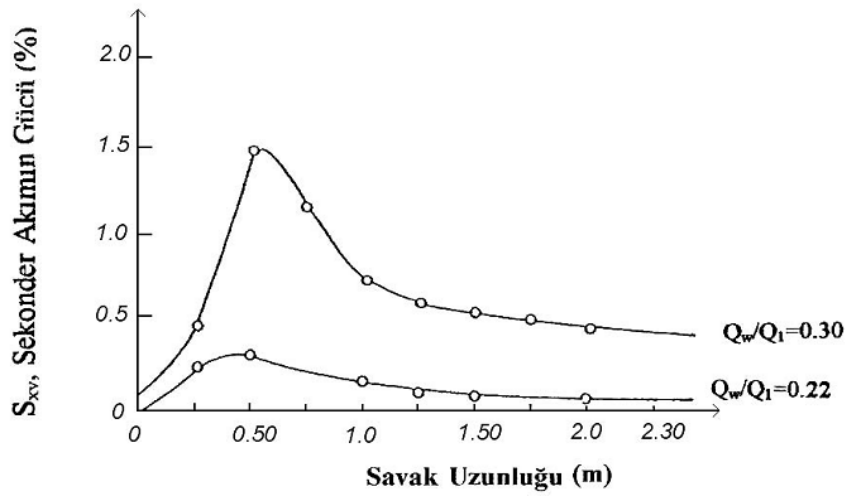
Araştırmacının en önemli tespitlerinden biri de daha önceki çalışmalarda belirtilmeyen yanal akımdan dolayı ana kanalda meydana gelen sekonder akımdır. Sekonder akımın tayini için Shukry'nin [9] yaklaşımı kullanılarak elde edilen sekonder akımın gücünün yan savak boyunca değişimi Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de nehir ve sel rejimli akım şartları için ayrı ayrı verilmiştir. Şekillerde verilen sekonder akımın gücü, kanal enkesiti 20 cm²'lik alanlara bölünmüş ve her bir alanın kinetik enerjisi $(V_x^2/2g + V_y^2/2g)$ beş delikli pitot tüpü ile, akımın toplam enerjisi $(V^2/2g)$ ise klasik pitot tüpü ile hesaplanmış ve aşağıdaki eşitlik ile verilmiştir.

$$S_{xy} = \left\{ \sum V_x^2 / 2g + \sum V_y^2 / 2g \right\} / \left\{ \sum V^2 / 2g \right\} \quad (2.28)$$

Şekil 2.7’den de görüleceği gibi, nehir rejimli akım durumunda sekonder akımın gücü yan savak boyunca artarak gitmekte ve yan savaktan b kanal genişliği kadar mesafe sonra azalmaktadır. Yan savak yüksekliği ve yan savak uzunluğu sabit tutulursa Q_w/Q_1 oranı (savaklama oranı) arttıkça yani yan savak üzerindeki nap kalınlığı arttıkça sekonder akımın gücü artar. Sel rejimli akımlarda ise sekonder akımın gücü hızlı bir şekilde artarak maksimuma ulaşmakta ve sonra hızla azalmaktadır.



Şekil 2.7 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi [8].



Şekil 2.8 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda sel rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi [8].

Yen [10], bir kanal üzerinde yan savak varsa hız vektörü, basınç ve su yüzü profilinin enine doğrultudaki değişimlerinin de bilinmesi gerektiğini söylemiştir. El-Khasap ve Smith [11] tarafından verilen momentum denkleminin enerji denkleminden daha iyi olduğu fikrine katılmadığını belirterek denklemlerin doğru kullanılmaları halinde her ikisinin de iyi sonuç verebileceğini ifade etmiştir.

El- Khashab ve Smith [11], yaptıkları kabullerden hareket ederek dikdörtgen enkesitli kanallarda yan savak üzerindeki su yüzü profilini veren genel bir bağıntı elde etmişlerdir.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{J_0 - J_f - \alpha \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - \alpha \frac{Q^2 b}{gA^3}} \quad (2.29)$$

Bu ifadede dQ/dx savak boyunca azalan bir terim olduğundan eksi (-) işaretli olarak alınmıştır. Aynı zamanda bu ifade daha önceden Smith [12], tarafından verilen (2.24) denklemine benzer. Yalnız fazla terim olarak kanal genişliğinin savak boyunca değişimini gösteren;

$$\frac{Q^2 h}{gA^3} \frac{db}{dx}$$

ifadesi kanal genişliği sabit olduğundan sıfır olarak alınmıştır.

Ayrıca yan savak için momentumun korunumu prensibinden hareketle su yüzü profilini veren denklemi aşağıdaki şekilde elde etmiştir.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{J_0 - J - \frac{1}{gA} (2\beta v - u) \frac{dQ}{dx}}{1 - \beta \frac{Q^2 b}{gA^3}} \quad (2.30)$$

$u=v$ ve $\alpha=\beta=1$ kabul edildiğinde (2.42) ve (2.43) denklemlerinin aynı ifade olduğu görülür. burada; u : Yan savak üzerinde akım hızının ana kanal eksenine paralel bileşenidir.

Buradaki u ve v arasındaki ilişki deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Ayrıca sürtünme kayıplarının değerleri tahmini olarak çizilen enerji çizgisi ile deneysel verilerden elde edilen enerji çizgisi karşılaştırıldığında iyi bir uyum gösterdiği gözlemlenmiştir.

El-Khashab ve Smith [11], dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savak olayının incelenmesinde kanaldaki boyuna hız bileşeninin savak üzerindeki akımdan ötürü değişmemesi nedeni ile momentum denkleminin enerji denklemine göre daha kolay sonuçlar verdiğini söylemişlerdir. Yan savak uzunluğunun çok kısa olmaması ve $Q'/Q = 0.75$ değerinde, herhangi bir savak uzunluğu için uygulanabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca savak yüksekliğinin sıfıra yaklaşması halinde çözümün geçerli olacağını, fakat $Q'/Q = 1$ değerinde ise çözümün geçersiz olacağını ifade etmişlerdir.

Yapmış oldukları çözümün dikdörtgen enkesitli kanaldan başka kesitlerde uygulanması gerektiğinde deneysel çalışma yapılarak araştırılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Ranga Raju ve diğ. [13], dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savağın ana kanala dik bir branşa yerleştirilmesi durumunda keskin ve kalın kenarlı yan savaklarda nehir rejimli akım halinde deneysel çalışmalar yaparak yan savak boyunca özgül enerjinin sabit kaldığı kabulüyle yan savak debi katsayılarını belirlemişlerdir (Şekil 2.8).

Q , Q' , h_1 , h_2 ve p değerlerini ölçerek, De Marchi [1], tarafından verilen (2.12) ve (2.13) ifadelerini kullanarak keskin kenarlı yan savağın bir branşa yerleştirilmesi durumundaki yan savak debi katsayısı için;

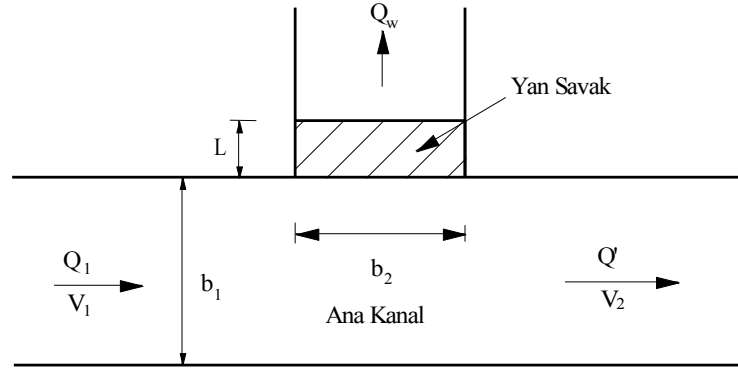
$$C_d = 0.54 - 0.40Fr \quad (2.31)$$

bağıntısını vermişlerdir.

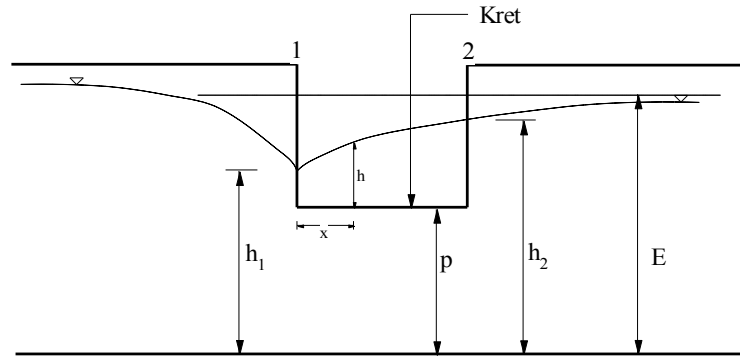
Ranga Raju ve diğ. [13], C_d yan savak debi katsayısının keskin kenarlı savaklarda sadece Froude sayısına, kalın kenarlı savaklarda ise Froude sayısının yanısıra $(h_1 - p)/L_s$ değerine de bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Ranga Raju ve diğ. [13], göre bu ifadeden elde edilen C_d değeri Subramanya ve Awasthy [14], tarafından verilmiş olan değerden daha büyük çıkmaktadır. Bu farkın yan savağın bağlandığı branş duvarlarının etkisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kalın kenarlı yan savağın branşa yerleştirilmesi halinde ise (2.32) bağıntısının K katsayısı ile çarpılarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

$$C_d = (0.54 - 0.40Fr)K \quad (2.32)$$



(a)



(b)

Şekil 2.9 Ana kanal dik bir kol bağlanması durumunda yan savağın genel görünüşü (a) Plan (b) Kesit [13].

K katsayısının değişimini de;

$$K = 0.80 + 0.10[(h_1 - p)/L_s] \quad (2.33)$$

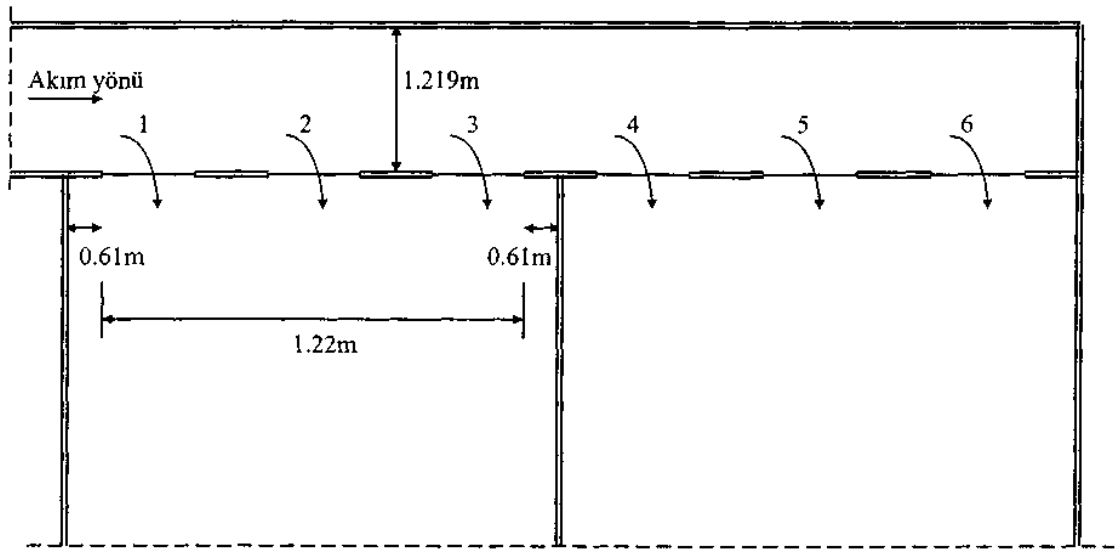
ifadesiyle vermişlerdir. Bu denklem Kumar ve Pathak [15], tarafından verilen ifadenin aynısıdır. Burada; L_s : Kalın kenarlı savak kalınlığı'dır.

Rammurthy ve Carballada [16], dikdörtgen enkesitli ve yatay tabanlı bir kanalda yaptıkları deneysel çalışmaları yan savak memba kısmındaki akım nehir rejimli ve $L/b < 1$ olması şartlarında gerçekleştirmişlerdir.

Ayrıca yan savak üzerinden geçen akımı ana kanalla açtı yapan bir su jeti gibi düşünerek akım modeli geliştirmişler ve yan savak debisi için iki boyutlu bir akım modeli kurmuşlardır. Deneysel çalışmadan elde ettikleri verilerin kurdukları modele uygun olduğunu ifade etmişlerdir.

Chao ve Trussel [17], içme ve atıksu arıtma tesislerine üniform debi sağlamak için nehir rejimli akım şartlarında dikdörtgen prizmatik bir kanala seri olarak yerleştirilen yan savaklar üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada her bir savağın akım karakteristiğini ayrı ayrı incelemişlerdir (Şekil 2.10).

Chao ve Trussel [17], tarafından 6 no'lu savaktan 1 no'lu savağa göre % 30 daha fazla debi geçtiği, ayrıca 4, 5, 6 no'lu savakların bulunduğu ikinci tankın birinciye göre % 17 daha fazla debi aldığını gözlemlenmiştir. Buradan da akım yönüne gidildikçe savaklanan debinin arttığı görülmüştür.



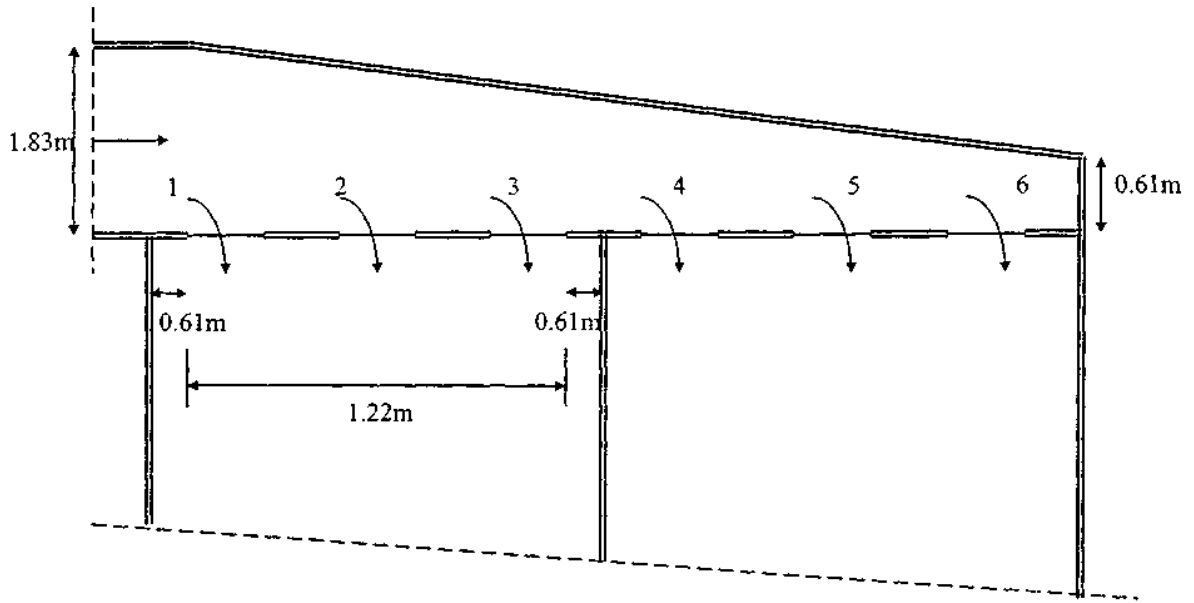
Şekil 2.10 Dikdörtgen prizmatik debi dağıtım kanalı genel görünüşü [17].

Chao ve Trussel [17], istenilen üniform akımın sağlanması için dağıtım kanalı ve yan savaklarda yapılması gerekli değişiklik ve düzenlemelerin aşağıda belirtilen şekillerde yapılmasını tavsiye etmişlerdir. Üniform akım sağlanması için deney kanalında yapılan değişiklikler Şekil 2.11'te gösterilmiştir.

- Dağıtım kanalının geometrik şeklini değiştirmeden savak yüksekliğinin ayarlanması,
- Üniform daralan dağıtım kanalında savak yüksekliklerinde küçük ayarlamalar yapılması,

- Tüm savak katsayıları sabit kalacak şekilde küçük Froude sayıları elde etmek için dağıtım kanalının genişliğini veya derinliğini yada her ikisini arttırmak,
- Sabit Froude sayılarında sabit savak katsayısı elde edecek şekilde üniform daralan dağıtım kanalını oluşturmaktır.

Chao ve Trussel [17], b ve c şıklarında belirtilen alternatifler katı madde çökmesi gibi problemler yaratmasına karşın daha iyi bir çözüm getirdiğini ifade etmiştir.



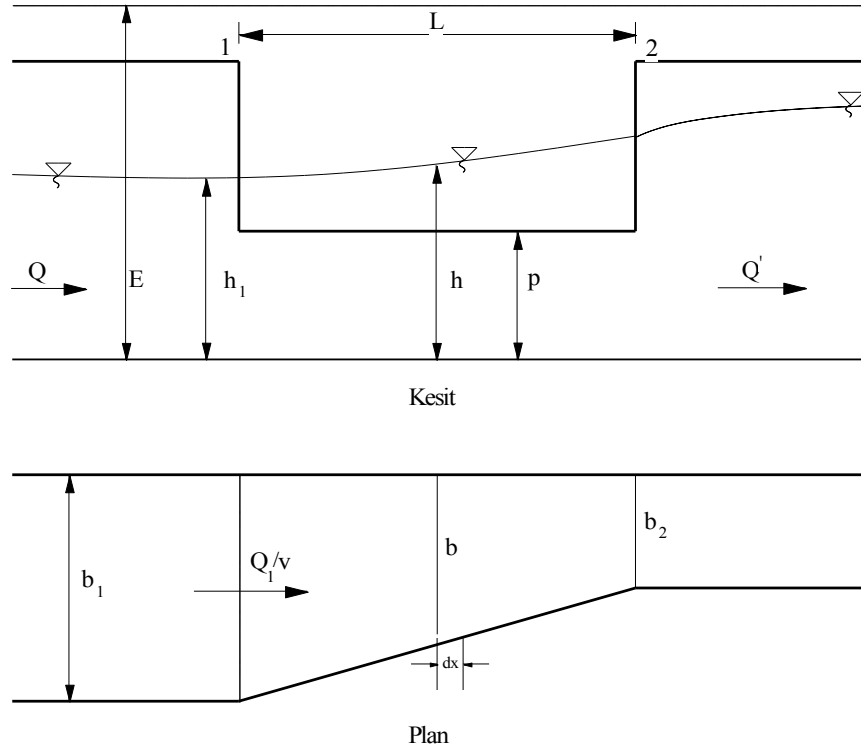
Şekil 2.11 Üniform debi dağılımı için üniform daralan debi dağılım kanalı genel görünüşü [17].

Jain ve Fischer [18], yan savak üzerinde üniform bir debi elde etmek için kanal genişliği savak boyunca azalan dikdörtgen enkesitli bir kanala eğik olarak yerleştirilmiş dikdörtgen enkesitli savaklarla çalışmalarını yapmışlardır (Şekil 2.12).

Problemin çözümünde kanalın yatay olduğunu ve sürtünme yük kayıplarının ihmal edildiğini kabul ederek enerji denkleminde hareketle üniform debi dağılımı için kanal genişlikleri arasındaki bağıntıyı aşağıdaki şekilde vermişlerdir.

$$b_1 = \frac{Q}{Q_s} b_2 \quad (2.34)$$

Burada; b_2 : Yan savak sonundaki ana kanal genişliği (m), Q : Yan savaktan önceki ana kanal debisi (m^3/sn), Q_c : Yan savaktan sonraki ana kanal debisi (m^3/sn).



Şekil 2.12 Enkesit genişliği yan savak boyunca tedricen daralan kanala yerleştirilen yan savağın plan ve kesiti [18].

Uyumaz [19], dairesel enkesitli kanallardaki yan savaklarda ana kanal eksenindeki su yüzü profilinin diferansiyel denklemini çıkararak bu denklemin nümerik çözümünü yapmış ve çözümün deneysel verilerle uygunluğunu araştırmıştır. Ayrıca dikdörtgen enkesitli kanallardaki çözümlerle karşılaştırmış ve dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savaklar için verilen bağıntıların dairesel enkesitli kanallardaki yan savaklar için geçerli olup olmadığını belirtmiştir. Araştırmacı, nehir ve sel rejimli akım şartlarında yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda nehir rejimli akım şartlarında yan savak enkesitinden ana kanal eksenindeki su yüzü profilinin membadan mansaba doğru giderek arttığını, sel rejimli akım şartlarında ise membadan mansaba doğru gittikçe azaldığını gözlemlemiştir. Araştırmacı, deneysel çalışmalar sonucunda nehir rejimli akım şartlarında elde edilen yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişiminin exponansiyel bir karakter taşıdığını, L/D_s 'nin (D_s dairesel enkesitli kanalın çapıdır) büyük değerlerinde Froude sayısına fazla bağlı olmadığını ama küçük L/D_s değerlerinde bağımlılığın arttığını

gözlemlemiştir. Araştırmacı nehir rejimli akım şartları için yan savak debi katsayısını veren ifadeyi;

$$C_d = B_1 + C_1 \sqrt{1 + Fr} \quad (2.35)$$

şeklinde bulmuştur. Burada;

$$B_1 = 0.21 + 0.094 \sqrt{1.74 \frac{L}{D_s} - 1} \quad (2.36)$$

$$C_1 = 0.22 - 0.08 \sqrt{1.68 \frac{L}{D_s} - 1} \quad (2.37)$$

şeklinde verilmiştir. Burada L savak uzunluğunu, D_s ise ana kanal çapını göstermektedir.

Sel rejimli akım şartlarında ise yan savak debi katsayısının Froude sayısına çok az bağlı olduğunu ve lineer formda değişim gösterdiğini belirterek;

$$C_d = MFr + N \quad (2.38)$$

ifadesini vermiştir. M ve N katsayılarının p/D_s 'ye fazla bağımlı olmadığını, L/D_s 'ye ise bağlı olduğunu belirtmiş ve p/D_s 'yi ihmal ederek M ve N katsayıları için;

$$M = 0.046 + 0.054 \sqrt{1.67 \frac{L}{D_s} - 1} \quad (2.39)$$

ve

$$N = 0.24 + 0.021 \sqrt{1 + 35.3 \frac{L}{D_s}} \quad (2.40)$$

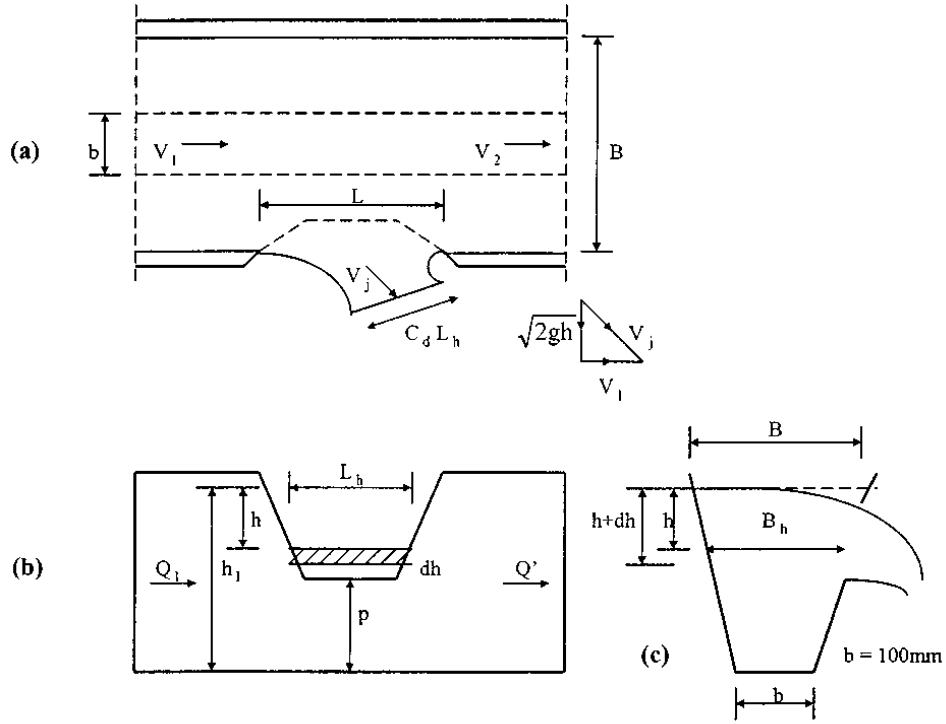
bağıntılarını vermiştir. p/D_s ifadesini ihmal etmekle maksimum % 5'lik bir hata yapılabileceğini belirtmiştir.

Ramamurthy ve Satish [20], dikdörtgen enkesitli kanal tabanına enine olarak açılmış bir açıklık boyunca oluşan akım şartlarını incelemek için deneysel çalışmalar yapmışlar ve tabandaki açıklıktan geçen debinin hesaplanmasında kanal debisi ve açıklık ve genişliğinin önemli parametreler olduğunu belirtmişler.

Ramamurthy ve diğ. [20], Ramamurthy ve Carballada [16]'nın dikdörtgen enkesitli kanalda dikdörtgen yan savak için kurdukları matematiksel modeli baz alarak, trapez enkesitli kanalda trapez kesitli yan savaklar için bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelde yan savaktaki akımın ana kanaldan belli bir açı ile sapan çok sayıda jet akımının toplamı olduğunu kabul etmişlerdir (Şekil 2.13).

Yan savak katsayısı için aşağıdaki kabulleri yapmışlardır;

- Kanal tabanı ve serbest su yüzeyi yataydır.
- Yan savak membasında ana kanaldaki akım nehir rejimindedir.
- Yan savak membasındaki hız su derinliği ile değişmez.
- Su yüzeyindeki yan savak uzunluğunun ana kanaldaki su yüzey uzunluğuna oranı, serbest su yüzeyinden h kadar derinlikte yan savak uzunluğunun yine aynı derinlikteki kanal genişliğine oranı aynıdır.
- Su yüzeyinden h kadar derinlikte sonsuz küçük bir tabakadan çıkan su jeti için, kanal eksenine normal hız bileşeni $\sqrt{2gh}$ 'dır.



Şekil 2.13 Trapez enkesitli bir kanalda trapez enkesitli yan savak görünüşü; (a) plan, (b) kesit, (c) görünüş [20].

Kumar ve Pathak [15], dikdörtgen enkesitli kanallarda nehir rejimli akım şartlarında keskin ve kalın kenarlı üçgen yan savakların debi katsayısını belirlemek için deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Ayrıca De Marchi [1], tarafından verilen (2.14) denkleminin yan savak uzunluğunun hesaplanmasında kullanılabileceğini ve (1) ile (2) kesitlerinde ölçülen debi ve derinlik değerlerinden C_d 'nin hesaplanabileceğini belirtmişlerdir (Şekil 2.14). Bu eşitlik üçgen yan savaklar için aşağıdaki şekilde elde etmişlerdir.

$$L = x_2 - x_1 = \frac{15b}{4C_d} \left[\phi\left(\frac{h_2}{E}\right) - \phi\left(\frac{h_1}{E}\right) \right] \quad (2.41)$$

Yazarlar, yüzeysel gerilmenin ve viskozitenin etkisini ihmal etmek için nap yüksekliği (h-p)'ni 0.10 m'de büyük aldıklarını belirtmişler ve olaya etkili boyutsuz parametreleri keskin kenarlı üçgen yan savaklar için (2.42.a) ifadesi ile kalın kenarlı yan savaklar için ise (2.42.b) ifadesi ile vermişlerdir.

$$C_d = f\{Fr, \alpha, p/h\} \quad (2.42.a)$$

$$C_d = f\{Fr, \alpha, p/h, h/L_s\} \quad (2.42.b)$$

Burada; Fr: Froude sayısı, α : Üçgen savak tepe açısı, p: Kret yüksekliği, h: Kanaldaki su derinliği, L_s ise kalın kenarlı savak kalınlığını göstermektedir.

Ayrıca yan savaklara ve akım karakteristiklerine ait değerler Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 Savak boyutları ve akım karakteristikleri

Savak Tipi	α	p(m)	Q(L/s)	Q'(L/s)	Fr
Keskin Kenarlı	60°, 90°, 120°	0.0608-0.2422	19.5-118.1	4-43.1	0.09-0.694

Kumar ve Pathak [15], Subramanya ve Awasthy [14]’nin dikdörtgen yan savaklarda p/h’n etkisini ihmal ettiklerini belirterek, kendilerinin de bu çalışmada p/h’n etkisini ihmal ettiklerini ifade etmişlerdir. Böylece yan savak debi katsayısı C_d ’nin yalnızca Fr_1 ve θ ’ya bağlı olduğunu kabul ederek C_d için aşağıdaki ifadeleri vermişlerdir.

$$C_d = 0.668 - 0.381 Fr \quad (\phi = 60^\circ \text{ için})$$

$$C_d = 0.619 - 0.203 Fr \quad (\phi = 90^\circ \text{ için}) \quad (2.43)$$

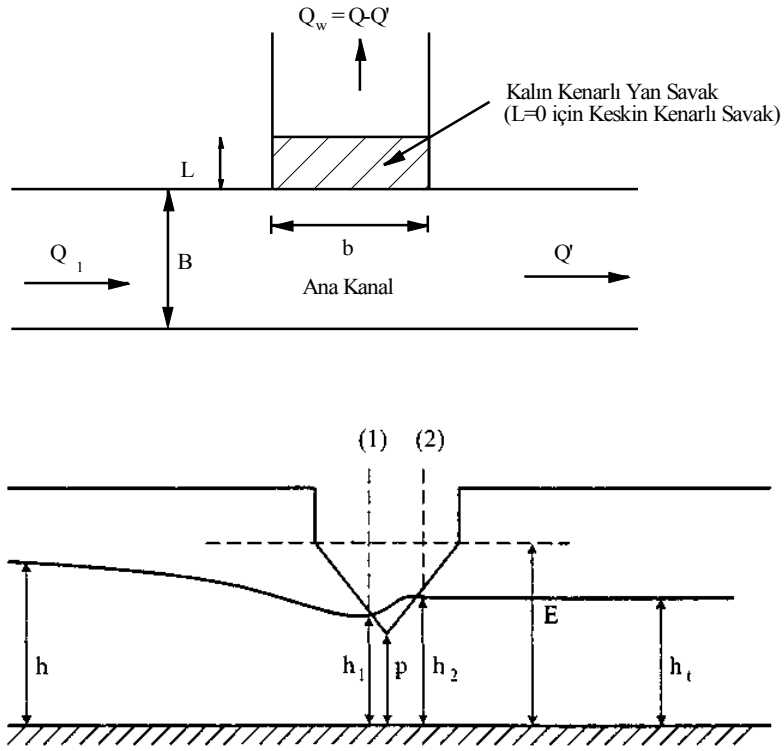
$$C_d = 0.642 - 0.042 Fr \quad (\phi = 120^\circ \text{ için})$$

Yukarıdaki ifadelerden de görüleceği gibi Kumar ve Pathak [15] deneysel çalışmalarını 60°, 90°, 120°’lik tepe açıları için gerçekleştirmişlerdir.

Ayrıca değişik tepe açlarına sahip üçgen yan savakların kullanılması durumunda ise C_d yan savak debi katsayısının;

$$C_d = \left[0.811 - 0.321 \tan \frac{\phi}{2} + 0.129 \tan^2 \frac{\phi}{2} \right] - \left[0.695 - 0.638 \tan \frac{\phi}{2} + 0.150 \tan^2 \frac{\phi}{2} \right] \quad (2.44)$$

ifadesinden hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.14 Yan savak görüntüsü (a) Plan (b) Kesit [15].

Kalın kenarlı üçgen yan savaklarda ise ince kenarlı üçgen yan savaklar için verilen yan savak debi katsayısı C_d ifadesinin K gibi bir katsayı ile çarpılarak kullanılması gerektiğini ve K katsayısının da ;

$$K = 0.80 + 0.10 \left(\frac{h_1 - p}{L_s} \right) \quad (2.45)$$

ifadesinden hesaplanması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu denklem yan savaklar için Ranga Raju ve diğ. [13] tarafından dikdörtgen yan savaklar için verilen ifadesinin aynısıdır.

Araştırmacılar ayrıca, savaklanan debinin keskin kenarlı üçgen yan savaklar için,

$$Q_w = 0.5908 C_d \sqrt{2g} \tan \frac{\alpha}{2} (h_1 - p)^{5/2} \quad (2.46)$$

kalın kenarlı üçgen yan savaklar için ise,

$$Q_w = 0.5566KC_d \sqrt{2g} \tan \frac{\alpha}{2} (h_1 - p)^{5/2} \quad (2.47)$$

ifadesinden hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.

Uyumaz ve Smith [21], özgül enerjinin sabit olduğunu kabul ederek sonlu farklar metodu ile dikdörtgen ve dairesel enkesitli kanallardaki yan savak akımını nümerik olarak araştırmışlar ve dikdörtgen ile dairesel enkesitli kanallardaki yan savak uzunluklarını deneysel ve teorik olarak belirlemeye çalışmışlardır. Dairesel enkesitli kanallarda su yüzü profilinin belirlenmesi veya yan savak boyutlandırılmasının sadece $p/D=0.66$ için dikdörtgen yan savaklar gibi hesap yapabileceğini ve bunun dışındaki değerlerde ise yaklaşımın hatalı sonuçlar vereceğini ifade etmişlerdir.

Cheong [22], trapez enkesitli kanalda yaptığı deneysel çalışmada enerji ve momentumun korunumu prensiplerini ayrı ayrı kullanarak yan savak debi katsayısını araştırmıştır.

Çalışmada, kanalın yan duvar eğimi ve savak uzunlukları değiştirilerek yan savak debi katsayısını veren ifadeyi;

$$C_d = 0.30 - 0.147Fr^{-2} \quad (2.48)$$

olarak elde etmiştir. Bu eşitlik özgül enerjinin sabit olması durumu için verilmiştir. Araştırmacı tarafından özgül enerjinin sabit kaldığı kabulü ile elde edilen bu eşitliğin momentum yaklaşımı ile elde edilene çok yakın olduğu ifade edilmiştir.

Swamee ve diğ. [23], keskin ve kalın kenarlı dikdörtgen ve üçgen yan savaklarda, yan savak boyunca debisi azalan (spatial) akım eşitliğinden faydalanarak yönlendirilmiş ve yönlendirilmemiş akım şartları için elementer yan savak debi katsayısı üzerine araştırmalarda bulunmuşlardır.

Uyumaz [24], özgül enerjinin sabit kaldığı kabulü ile üçgen kanaldaki yan savak boyunca su yüzü profilini incelemiş ve üçgen kanalda yan savak uzunluğu veren ifadeyi,

$$L = \frac{\tan \alpha E}{2m} \left| -\phi(z) \right|_{z_1}^{z_2} = \frac{\tan \alpha E}{2m} \left| \psi(z) \right|_{z_1}^{z_2} \quad (2.49)$$

olarak elde etmiştir. Burada, L = yan savak uzunluğu, m = yan savak debi katsayısı, $\phi(z), \psi(z)$ = integral alanları, E = özgül enerji'dir.

Hager [25], dairesel kesitli yan savaklarda sel rejimini ve bu tür savaklarda meydana gelen hidrolik sıçramayı incelemiş ve bu incelemeleri sonucunda dairesel kesitli yan savaklarda debi katsayısı ve hidrolik sıçrama formülünü vermiştir. Hager [25]'in verdiği debi katsayısı aşağıdaki gibidir.

$$C_{de} = 0.042 \left(7 + \frac{\Delta L}{D} - 1.25 F_r \right) \quad (2.50)$$

burada, $\Delta L/D$ =savağın uzunluğu, $F_r < 2$ =giriş Froude sayısı. Hidrolik sıçrama için de (2.51) formülü verilmiştir.

Swamee ve diğ. [23], De Marchi [1] eşitliğinden faydalanılarak ana kanal Froude sayısına bağlı olarak yan savak debi katsayısını veren birçok araştırma bulunduğunu, fakat bunların hiçbirisinde p/h 'a bağlı bir değişimin bulunmadığını ifade etmişlerdir. p/h 'ı dikkate alarak yan savak üzerindeki sonsuz küçük bir düşey eleman için yan savak debi katsayısını;

$$C_d = 0.447 \left[\left(\frac{44.7p}{49p+h} \right)^{6.67} + \left(\frac{h-p}{h} \right)^{6.67} \right]^{-0.15} \quad (2.51)$$

ifadesi ile vermişlerdir. Daha önce yan savak debi katsayısı ile ilgili yapılan çalışmalarını değerlendirmişler ve bu çalışmaların hiçbirinin yan savak debi katsayısının doğru olarak tespitinde kullanılmayacağını ifade etmişlerdir

$$\frac{h_2}{h_1} = F_r \quad (2.52)$$

Singh ve diğ. [26], özgül enerjinin sabit olduğunu kabul ederek nehir rejimli akım şartlarında yan savak debi katsayısı belirlemeye çalışmışlar ve etkili parametre olarak ana kanal debisini, yan savak uzunluğunu ve savak eşik yüksekliğini göz önüne almışlardır (Şekil 2.15). Yan savak debi katsayısının memba Froude sayısına ve p/h_1 oranına bağlı olarak değişimini incelemişler ve daha sonra bu iki değişkenin birbirine etkisini araştırmışlardır. Boyut analizi yardımıyla olaya etkili parametreleri;

$$C_d = f\{Fr, p/h_1, L/h_1\} \quad (2.53)$$

olarak belirlemişler ve C_d 'nin L/h_1 'den bağımsız olduğu kabulü ile;

$$C_d = f\{Fr, p/h_1\} \quad (2.54)$$

olarak vermişlerdir.

Araştırmacılar (1) ve (3) bölgelerinde 0.10m , (2) bölgesinde ise 0.02m aralıklarla yük ölçümü yapmışlardır. C_d yan savak debi katsayısının yan savak memba Froude sayısı (Fr) ve p/h_1 ile lineer bir değişim gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

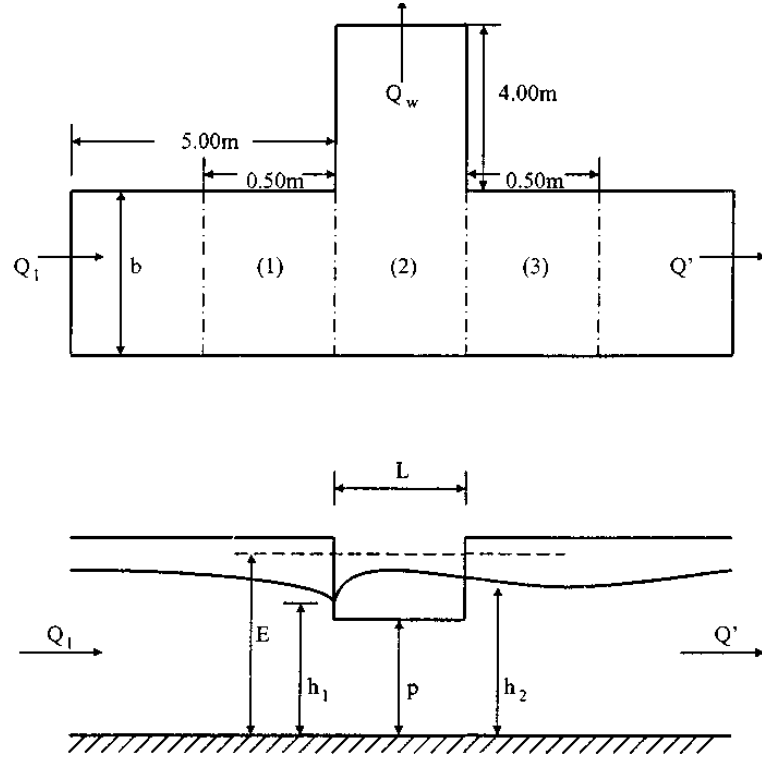
Bu lineer değişimleri sırasıyla;

$$C_d = 0.66 - 0.84Fr \quad (2.55)$$

$$C_d = 0.16 - 0.36p/h_1 \quad (2.56)$$

$$C_d = 0.22 - 0.12Fr + 0.327p/h_1 \quad (2.57)$$

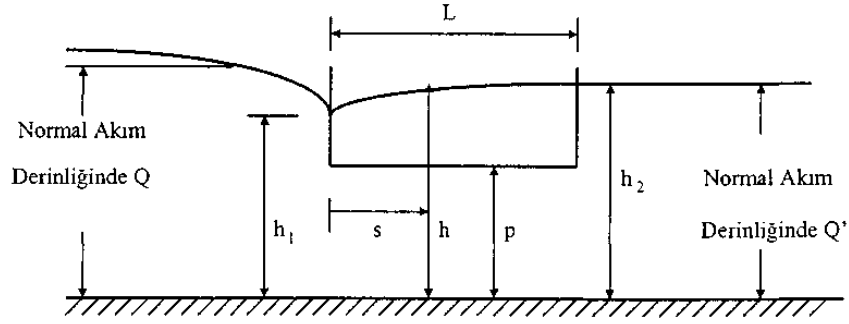
ifadeleri ile vermişlerdir. Burada; C_d = yan savak debi katsayısı, F_r =Froude sayısı'dır.



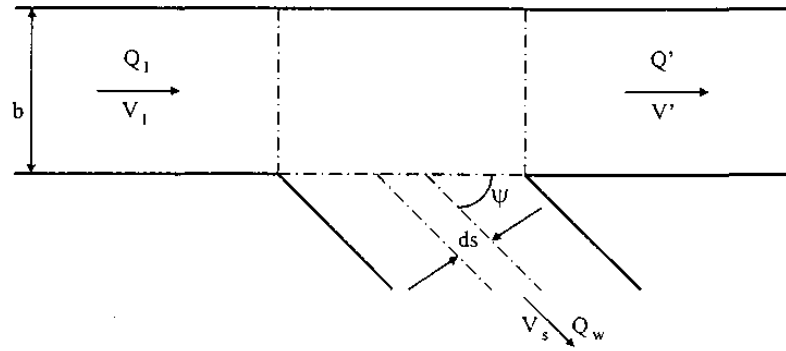
Şekil 2.15 Yan savak genel görünüşü [23].

Tozluk [27], yan savak probleminin çözümünde en uygun yaklaşımlardan birinin De Marchi [1], tarafından enerjinin korunumu kullanılarak yapıldığını ifade etmiştir. Subramanya ve Awasthy [14] tarafından verilen C_d yan savak debi katsayısının yan savaktan savaklanan akımın kanal eksenine ile yapmış olduğu ψ savaklanma açısının sabit olması hali için verildiğini, fakat gerçekte bu açının savak boyunca değişerek her biri sıvı elemanı için farklı bir değer aldığını ifade etmiştir. ψ savaklanma açısının sabit olmasından dolayı elde edilen değerlerle deneysel sonuçların farklı dağılımlar gösterdiğini söylemiştir (Şekil 2.16).

Tozluk [27], çalışmasında ψ sapma açısının değiştiğini kabul ederek ve C_d katsayısını, yan savak membasındaki ana kanal Froude sayısından başka h/E , p/E , ve ψ boyutsuz parametrelerinin de fonksiyonu olduğunu göz önüne alarak nümerik integrasyon yöntemi ile elde etmiştir.



a-) Savak Enkesiti



b-) Plan

Şekil 2.16 Savak enkesiti ve plan [27].

Tozluk [27] elde ettiği sonuçları aşağıdaki şekilde vermiştir.

- ψ savaklanma açısı, savak boyunca değişen Froude sayısının bir fonksiyonu olarak değişir. Bu fonksiyon savak uzunluğunu veren (2.14) ifadesinde yerine yazılırsa yan savak probleminin çözümü daha gerçekçi olabilir.
- Yan savak probleminin çözümünde su yüzünün enine doğrultuda savak kretine doğru azalmasını ifade eden bir ψ parametresinin hesaba katılması gerekir. Deneysel verilerin değerlendirilmesi sonucunda ψ 'nin Fr_1 sayısına ve L/b oranına bağlı olduğu görülmüştür.
- Deneyler, ψ sapma açısına savak yüksekliğinin önemli bir etkisinin olmadığını, L/b 'nin büyük değerlerinde ise ψ ile Fr_1 sayısı arasında çizilen grafiklerde deneysel verilerde oldukça farklı dağılımlar olduğunu göstermektedir. L/b 'nin küçük değerlerinde ise ψ değeri Fr sayısının fonksiyonu olarak;

$$\psi = 1.0 - 0.2 \left(\frac{L}{b_l} \right) Fr^2 \quad (2.58)$$

eşitliğine bağlı olarak değişmektedir.

Pinheiro ve Silva [28], yan savak debi katsayısını belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmaları yaparken deneysel çalışmaların sonuçları ile farklı araştırmacıların eşitlikleriyle [13, 14, 22] kendi elde ettikleri eşitlikleri karşılaştırmışlardır. Analiz sonuçlarını kıyaslayarak aşağıdaki gibi bir debi katsayı formülü önermişlerdir.

$$\frac{I}{C_d} = 1,57 + 0,127 \frac{I}{F_r} + 7,45 \frac{I}{L_{ndim}} + 0,52 \frac{h_m}{p} \quad (2.59)$$

burada; F_r = Froude sayısı, L_{ndim} = Yan savak yüksekliğinin memba akım hızına oranı $[L/(V_1^2 / 2g)]$, h_m = Orta akım yüksekliği, p = Yan savak yüksekliğini ifade eder.

Khorchani ve Blanpain [29], yan savaklar üzerindeki yüzey profilinin tespitinde video izleme tekniğini kullanmışlardır. İzlenen veriler model için nümerik verilere dönüştürülmüş ve memnun edici sonuçlar elde edilmiştir.

Yüksel [30], yanal akımlara özgül enerjinin değişiminin etkisini araştırmıştır. Bir yan savak akımı boyunca özgül enerjideki değişimin etkisini incelemek için nümerik bir model kullanılmıştır.

Tablo 2.2’de dikdörtgen yan savaklar için debi katsayısı eşitlikleri verilmiştir.

Tablo 2.2 Nehir rejimli akım için doğrusal kanallarda yan savak debi katsayısı ile ilgili denklemler

Referans	Debi Katsayısı	Froude sayısı	L/b	p/h ₁
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Subramanya ve Awasthy [14]	$C_d = 0.864 \left\{ \frac{1 - F_L^2}{2 + F_L^2} \right\}^{0.5}$	0.02-0.85	0.2-1.0	0.2-0.96
Yu-Tech [31]	$C_d = 0.415 - 0.148F_L$	-	-	0.2-0.5
Nandesamoorthy ve Thomson [32]	$C_d = 0.288 \left\{ \frac{2 - F_L^2}{1 + 2F_L^2} \right\}^{0.5}$	-	-	(p=0.0-0.6 m)
Ranga Raju ve diğ., [13]	$C_d = 0.54 - 0.40F_L$	0.10-0.50	0.10-0.70	(p=0.2-0.5 m)
Hager [33]	$C_d = 0.485 \left\{ \frac{2 + F_L^2}{2 + 3F_L^2} \right\}^{0.5}$	0.0-0.87	3.33	(p=0.0-0.2 m)
Cheong [22] trapez kanallar için	$C_d = 0.30 - 0.14F_L^2$	0.28-0.78	0.50-1.64	0.42-0.85
Singh ve diğ., [26]				
Borghei ve diğ., [34]	$C_d = 0.33 - 0.18.F_L + 0.49p / h_L$	0.23-0.43	0.25-0.50	0.42-0.85
	$C_d = 0.7 - 0.48F_L - 0.3p / h_L + 0.06L / b$	0.1-0.9	0.67-2.33	(p=0.01-0.19m)

3. DENEY DÜZENEĞİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deneyisel çalışma

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarındaki kıvrımlı kanal deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Kurulan açık kanal, bir ana kanal ve bir adet toplama kanalından oluşmaktadır. Ana kanal 0.50 m genişliğinde ve 0.50 m yüksekliğindedir. Toplama kanalı 0.50 m genişliğinde 0.70 m yüksekliğindedir. Yan savakların yerleştirileceği kısımların karşısındaki toplama kanalı genişliği 1.30 m yarıçapında daire şeklinde inşa edilmiştir (Şekil 3.1). Deney koşulları sağlandıktan sonra okumalar, yeterli süre sonra alınmıştır.

Deney setinin tüm yan duvarları cam ve fleksiglas malzemeden inşa edilmiştir. İki kanalı birbirinden ayıran kısım ise sac malzemeden yapılmıştır. Set, püskürtme boya ile boyanmıştır. Set üzerine gerekli yerlere sakınleştiriciler yerleştirilmiştir (Şekil 3.1). Deneyler yapılırken bu mevcut sakınleştiriciler yeterli gelmediği zaman su yüzüne paralel 6 inçlik demirden küçük karelere sahip bir sakınleştirici imal edilmiş, gerektiğinde kullanılmıştır. Bu şekilde limnimetre ile alınan okumalar oldukça hassas olmuştur. Bu çalışmada Mitutoyo marka dijital bir limnimetre kullanılmıştır.



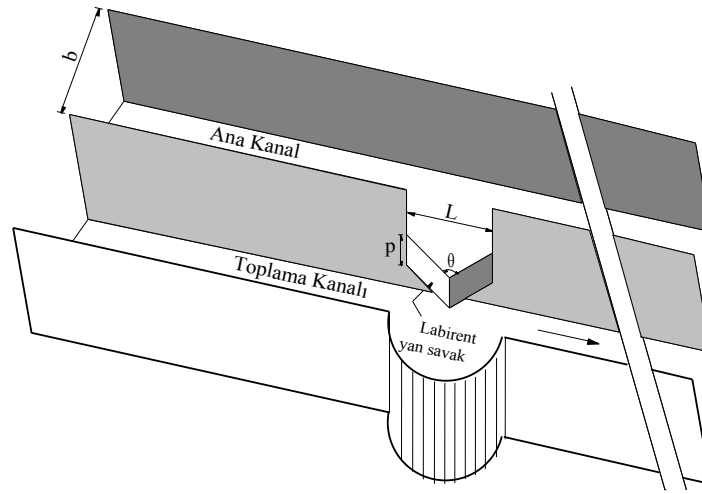
Şekil 3.1 Yan savağın karşısında toplama kanalı

Giriş debisi Siemens marka elektromanyetik bir debimetre kullanılarak belirlenmiştir. Debiler L/s cinsinden ölçülmüştür. Ayrıca, 90° ince kenarlı bir savak ile elde edilen

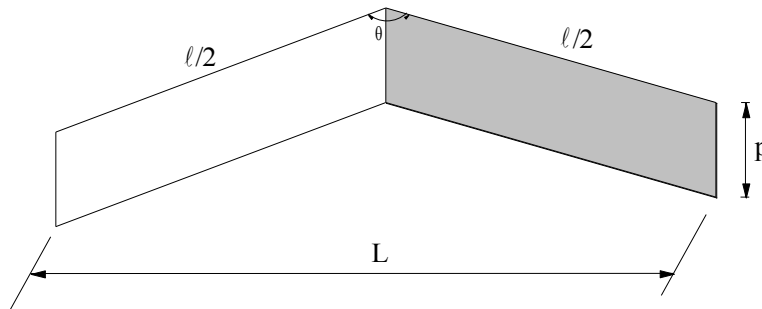
debilerle karşılaştırılmıştır. Toplama kanalı sonundaki dikdörtgen savaktan geçen debi ise elde edilen bir eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

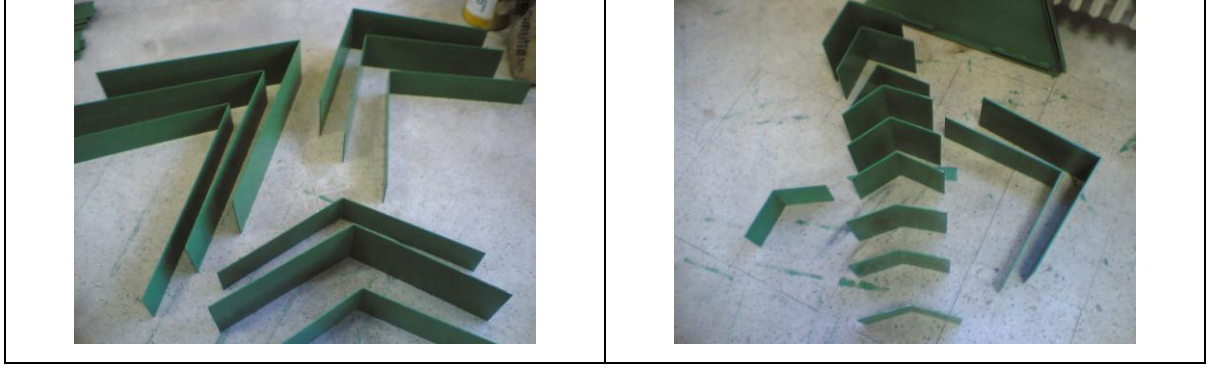
Ana kanal taban eğimi % 0.1'dir. Deneyler nehir rejimli ve kararlı akım şartlarında ve serbest savaklanma hali için gerçekleştirilmiştir. Yan savak nap kalınlığı (nap yükü) olarak, yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliğine göre elde edilen nap kalınlığı dikkate alınmıştır. Literatürdeki birçok çalışmada bu şekilde alınmıştır [35, 36] Deneylerde minimum nap kalınlığı 30 mm olarak alınmıştır. Deneyler, kıvrımlı kanalda $L=25, 50$ ve 75 cm savak uzunluğuna sahip, $p=12, 16$ ve 20 cm kret yüksekliklerinde, $\theta=45^\circ, \theta=60^\circ, \theta=90^\circ, \theta=120^\circ, \theta=150^\circ$ labirent savak kıvrım tepe açıları için ve kıvrımlı kanalda $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ kıvrım merkez açılarında deneyler yapılmıştır.

Su yüzü profilleri hem kıyıda ve hem de kanal merkezinde belirlenmiştir. Boykesit boyunca okumalar yeterli sıklıkta alınmıştır. Özellikle değişimin fazla olduğu savak başlangıcında ve sonunda daha sık alınmıştır.



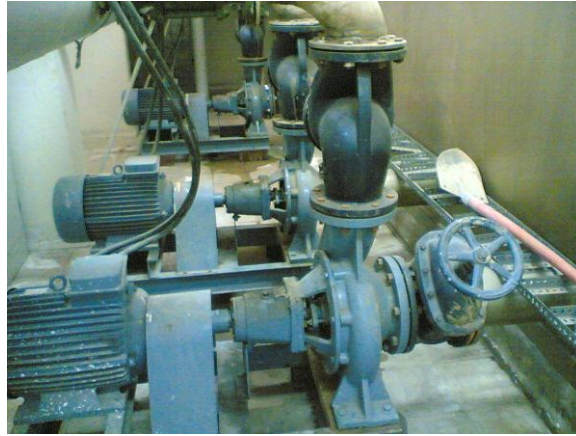
Şekil 3. 2. Deney kanalına yerleştirilen yan savağın görünüşü (ölçeksizdir)





Şekil 3.3. Labirent yansavağın boyutları

Fırat Üniversitesi hidrolik laboratuvarında devir-daim sistemine bağlı iki adet tank mevcuttur. Bunlardan biri bodrum kattaki 100 m^3 'lük tank, diğeri ise 50 m^3 'lük üst kattaki tanktır. Üst kattaki tank üzerinde bir taşma savağı vardır. Bu savak yardımı ile bu tanktaki su seviyesi sabit tutulmaktadır. Bodrum kattaki tanka bağlı üç adet 22 kW 'lık pompa bağlıdır. Bu pompaların her biri üst kattaki depoya yaklaşık 77 L/s lik debi basabilmektedir. Kıvrımlı kanal setinin çıkışındaki su bodrum kattaki depoya akmakta, buradan da pompalar yardımı ile üst kattaki depoya tekrar basılmaktadır.



Şekil 3.4. 22 kW 'lık Pompalar

Deneyler yapılırken 75 L/s 'ye kadar bir adet pompa, daha üst debiler için ise iki adet pompa çalıştırılması yeterli olmuştur. Kıvrımlı kanal deney setine su, ana su temin borusundan alınmıştır.

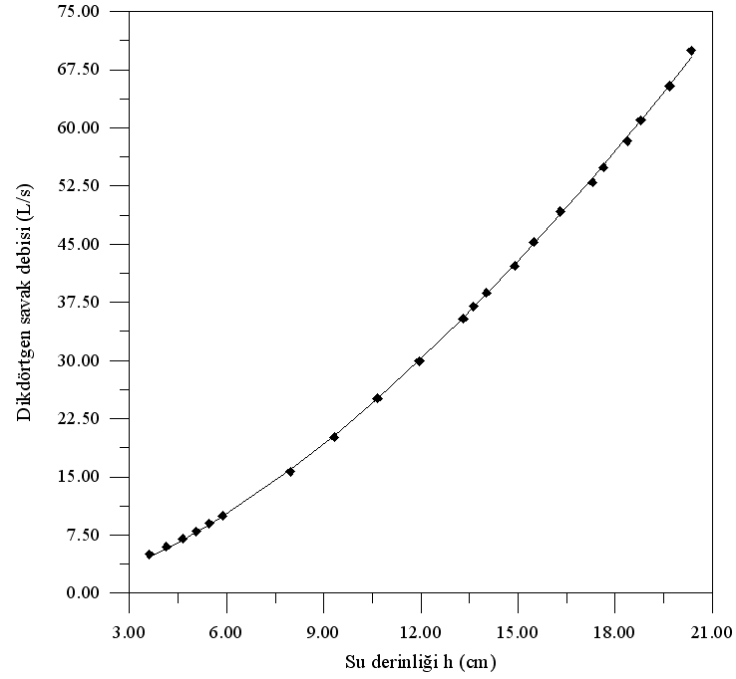


Şekil 3.5.. Giriş debisini ölçen elektromanyetik debimetre



Şekil 3.6. Giriş debisinin ayarlandığı debimetrenin ön kısmındaki vana

Toplama kanalına yan savaktan dökülen debinin ölçülmesi için ise toplama kanalının sonuna yerleştirilmiş ince kenarlı bir dikdörtgen savak yardımı ile ölçülmüştür.

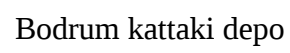


Şekil 3.7. Dikdörtgen savak anahtar eğrisi

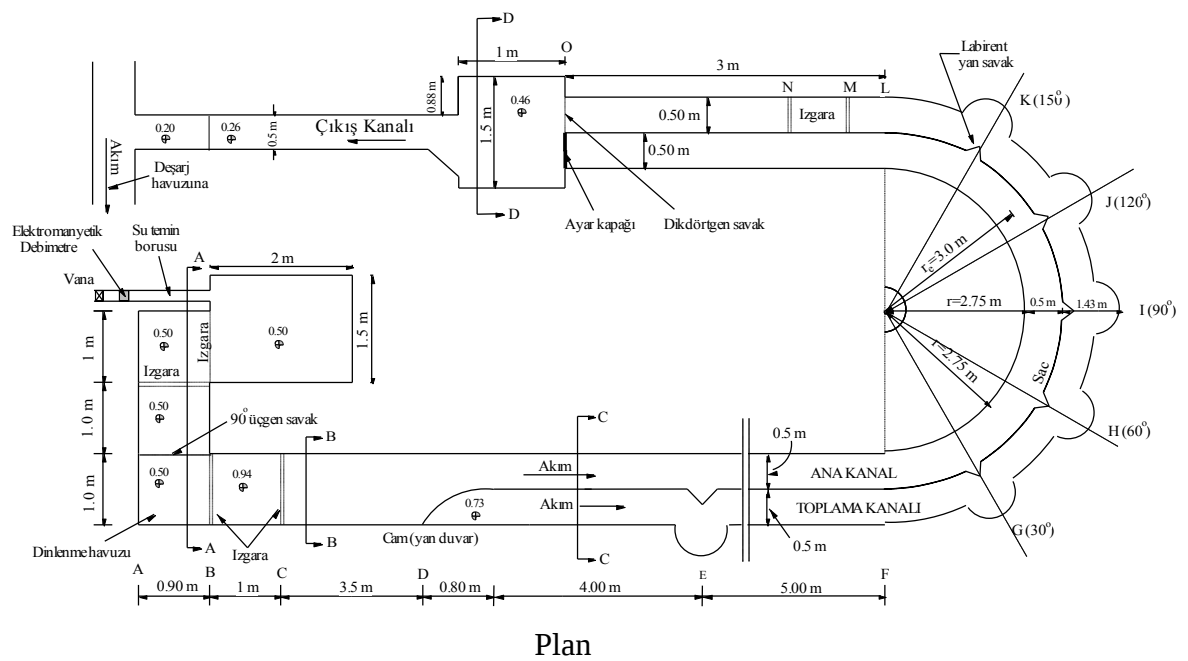
$$Q = 0,619356h^{1,564577} \quad (3.1)$$

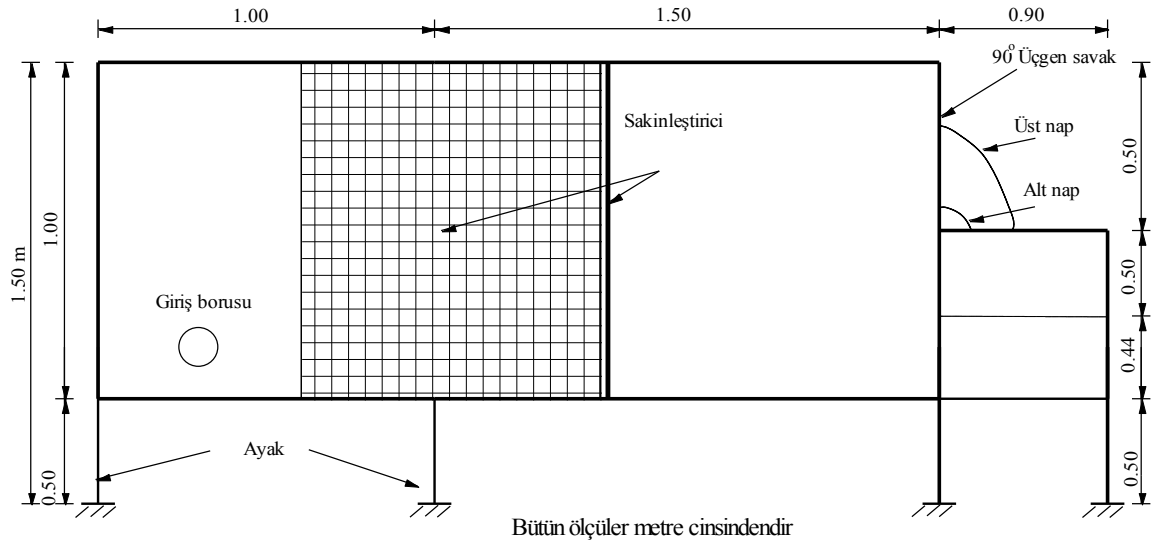
burada, Q dikdörtgen savaktan savaklanan debi (L/s), h nap yükü (cm) dir.

Seviye ölçümleri Mitutoyo marka bir elektronik limnimetre ile yapılmıştır. Bu limnimetre yardımı ile ± 0.01 mm hassasiyetle ölçümler gerçekleştirilmiştir. Limnimetre ölçü aleti taşıyıcısı üzerine yerleştirilmiş, deney kanalı üzerindeki raylar üzerinde hareket ettirilerek ölçümler x ve y yönünde yapılmıştır.

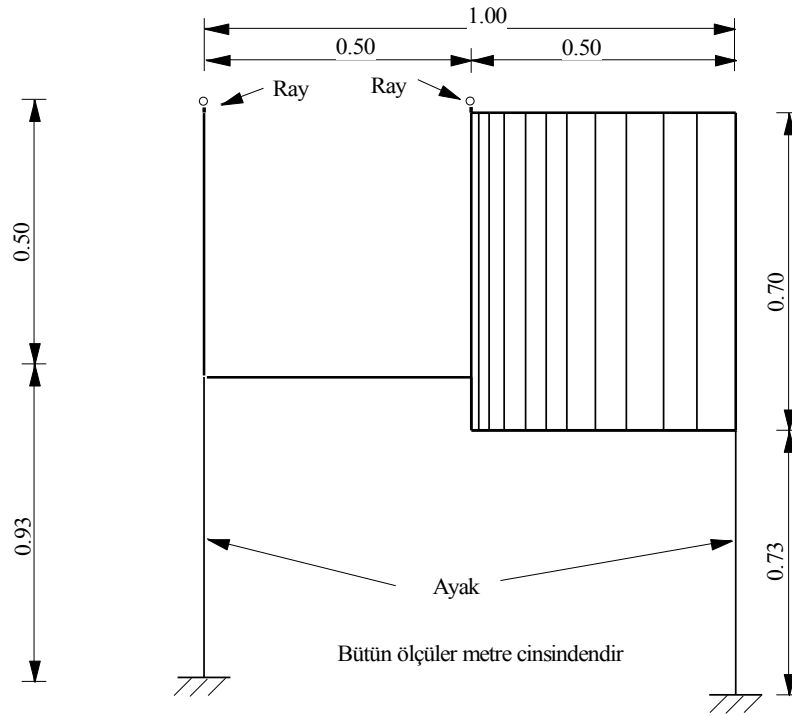


Şekil 3.8. Hidrolik laboratuvarındaki tanklar.

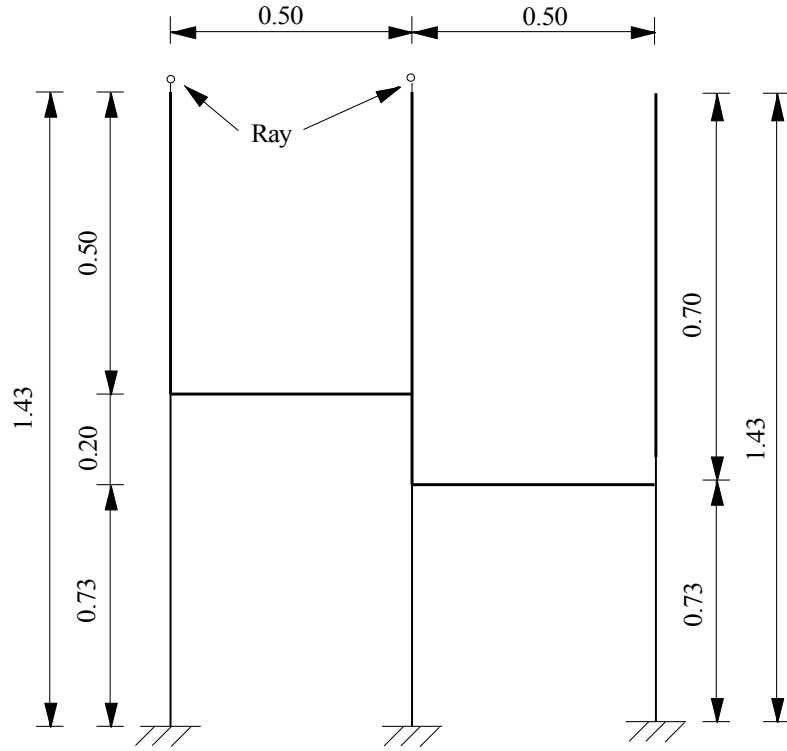




A-A Kesiti

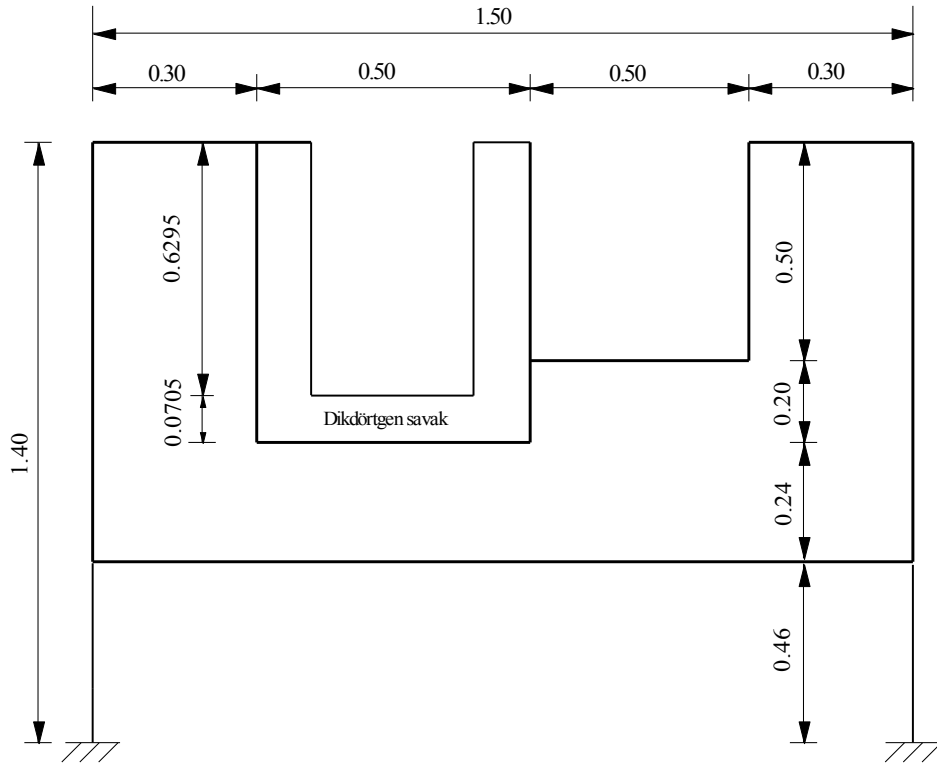


B-B Kesiti



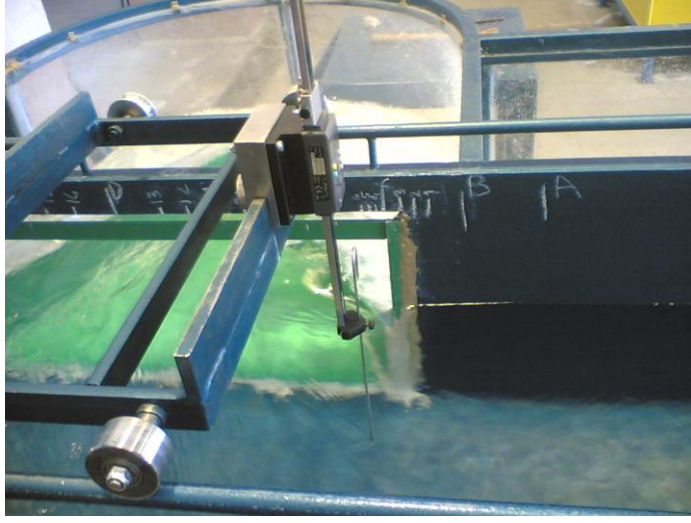
Bütün ölçüler metre cinsindendir

C-C Kesiti



D-D Kesiti

Şekil 3.9. Deney seti plan ve kesitleri, tüm ölçüler metre cinsindendir.



Şekil 3.10. Hareketli seviye ölçüm arabası

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Doğrusal Kanalda Yapılan Su Yüzü Profili Deneyleri

Deneyler nehir rejiminde yapılmıştır. Bu çalışmanın asıl amacı, labirent yan savaklarda su yüzü profilini belirlemeye yöneliktir. Bu nedenle çeşitli labirent savaklar üzerinde bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte klasik dikdörtgen yan savaklar için deneyler yapılmıştır.

Şekil 4.2 incelendiği zaman, yan savağın memba ucundaki su seviyesi mansap ucundan daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni yan savağın memba ucundan itibaren savaklamanın başlaması ve akımın nehir rejiminde olmasıdır. Borghei ve diğ. [34], yan savağın memba ucunda akım derinliğinin kritik derinlikten fazla olması durumunda çizdiği su yüzü profili ile bu çalışmada elde edilen profiller uyum içerisindedir. Ayrıca, Engels [3] su yüzünün yan savak bölgesinde önce minimuma ulaştığı ve sonra tedricen arttığını ifade etmiştir. Yine, Tyler ve diğ. [4], su yüzünde minimum derinliğin yan savak başlangıcında meydana geldiğini ve sonra yükseldiğini deneysel olarak belirlemiştir. Bu araştırmacının sonuçları ile de benzer bulgular elde edilmiştir. Fakat şu durumu açıkça ifade etmek gerekir ki, yukarıda verilen araştırmacılar çalışmalarını klasik dikdörtgen yan savaklar için yapmışlardır. Bu çalışmada ise yeni bir yan savak tipi olan labirent yan savaklar ele alınmıştır. Buradan şu sonuca varmak mümkündür. Labirent yan savakların su yüzü profilleri, klasik yan savaklar ile benzerlik göstermektedir.

Yukarıda da ifade edildiği gibi, ana kanalda debinin azalması ile mansap ucundan itibaren kanaldaki su derinliğinde artış gözlenmektedir. Bu durum Şekil 2.2’de Koch parabolünde açıkça görülmektedir. Debinin azalmasıyla su seviyesi artmaktadır. Yan savağın memba ucundan itibaren su seviyesi belirli bir mesafe sonra minimuma ulaşmakta ve daha sonra küçük L/b oranlarında ani olarak, diğerlerinde tedrici olarak yükselmektedir. Bu minimum su seviyesinin yeri Fr sayısı, nap yüksekliği ve savak tipine göre farklılık göstermesine karşın, çoğunlukla labirent yan savağın memba kısmının üçte birlik kısmında meydana gelmektedir. El-Khashab [8], minimum noktanın yerinin değişimini, yan savak girişinin akıma olan etkisinden kaynaklandığını ifade etmiştir. Ayrıca Tyler, Carolla ve

Steyskal [4], Aaçcıoğlu [37] ve Coşar [38] tarafından da benzer su yüzü profilleri elde edilmiştir. Buna ilaveten Şekil 2.1.b de verilen su yüzü şekli ile de belirlenen profiller uyum içerisinde dir.

Şekil 4.3’de $L/b=1.50$ için su yüzü profilleri incelendiğinde, su yüzünde dalgalanmaların olduğu gözlenmektedir. Genellikle yan savağın mansap tarafına yakın kısımda küçük bir kabarma oluşmaktadır. Mansap ucunda tekrar su kabarak en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Bu durum ile büyük Fr sayılarında daha çok karşılaşılmıştır. Oluşan tepeliğin yeri Fr sayısının artmasıyla mansap ucuna doğru kaymaktadır. Fakat hiçbir deneyde yan savak mansap ucunu geçmemiştir. Büyük Froude sayılarında ve büyük debilerde L/b ve p/b ’nin küçük değerlerinde yan savağın memba ve mansap tarafındaki su seviyeleri arasındaki kot farkı test edilen diğer durumlardan daha fazla olmuştur.

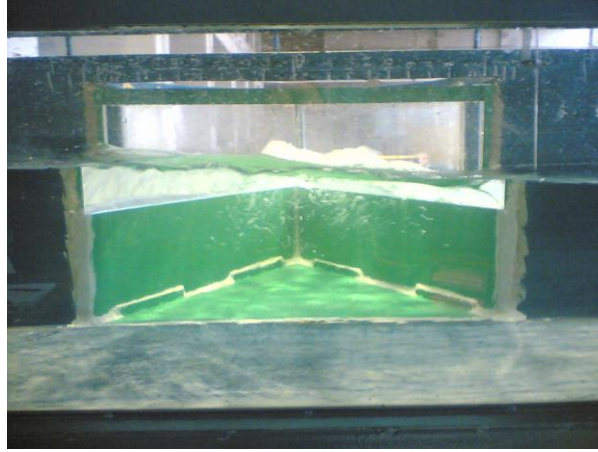
Labirent yan savak üzerindeki savaklanan akım, düşük Fr sayılarında savaklanan akımda düzensizlik pek gözlenmemiş, fakat Froude sayısının artmasıyla ($Fr>0.70$) labirent yan savak üzerindeki akımda çevrintiler meydana gelmiştir. Labirent savak tepe açısının küçülmesiyle labirent savak üzerindeki vorteksler de artmaktadır. Bu durum özellikle $\theta=45^\circ$ ve 60° ’de büyük Froude sayılarında daha çok meydana gelmiştir. $\theta=120^\circ$ ve 150° ’de savaklanan akım daha düzenli olmuştur. Bu açılarda vorteks gözlenmemiştir. Labirent yan savağın memba tarafındaki savaklanan akım, çoğunlukla mansap taraftan savaklanan akımdan daha az olmuştur. Aynı şekilde labirent yan savağın memba kısmı nap kalınlığı da mansap kısmının nap kalınlığından her koşulda daha az olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni akım çizgileri yönü akım yönünde olması nedeni ile akımın yan savağın mansap kısmına doğru yönelmesindendir.

Labirent savağın kıvrım açısı küçüldükçe labirent savak üzerinde su yüzeyinde çevrintiler daha fazla gözlenmiştir. Test edilen savaklar içerisinde sadece $\theta=90^\circ$ labirent yan savak tepe açısında çevrinti nedeni ile, akım içerisine doğru dalarak huni şeklinde bir vorteks oluşmuştur (Şekil 4.16). L/b ’nin küçük değerlerinde ve sadece $\theta=90^\circ$ ’de bu olay gözlenmiştir ve çoğunlukla aynı bölgede oluşmuştur. Bu olay, büyük nap yüklerinde meydana gelmiştir. L/b ’nin artmasıyla yine söz konusu açıda pek gözlenmemiştir. Bunun nedeni L/b ’nin küçük değerlerinde ters akımın dar bir alanda meydana gelmesidir. L/b ’nin artması ile bu alan artmaktadır. Diğer labirent savak tepe açılı yan savaklarda bu duruma rastlanmamıştır. Ayrıca, nap yükü düştüğünde test edilen 2~4 cm için dönerek akım içerisine giren vorteks oluşumu gözlenmemiştir. Yanal akım, labirent yan savağın mansap kısmındaki kret yüksekliği engeli ile karşılaşıncaya savak üzerinde dönerek ters akımlar

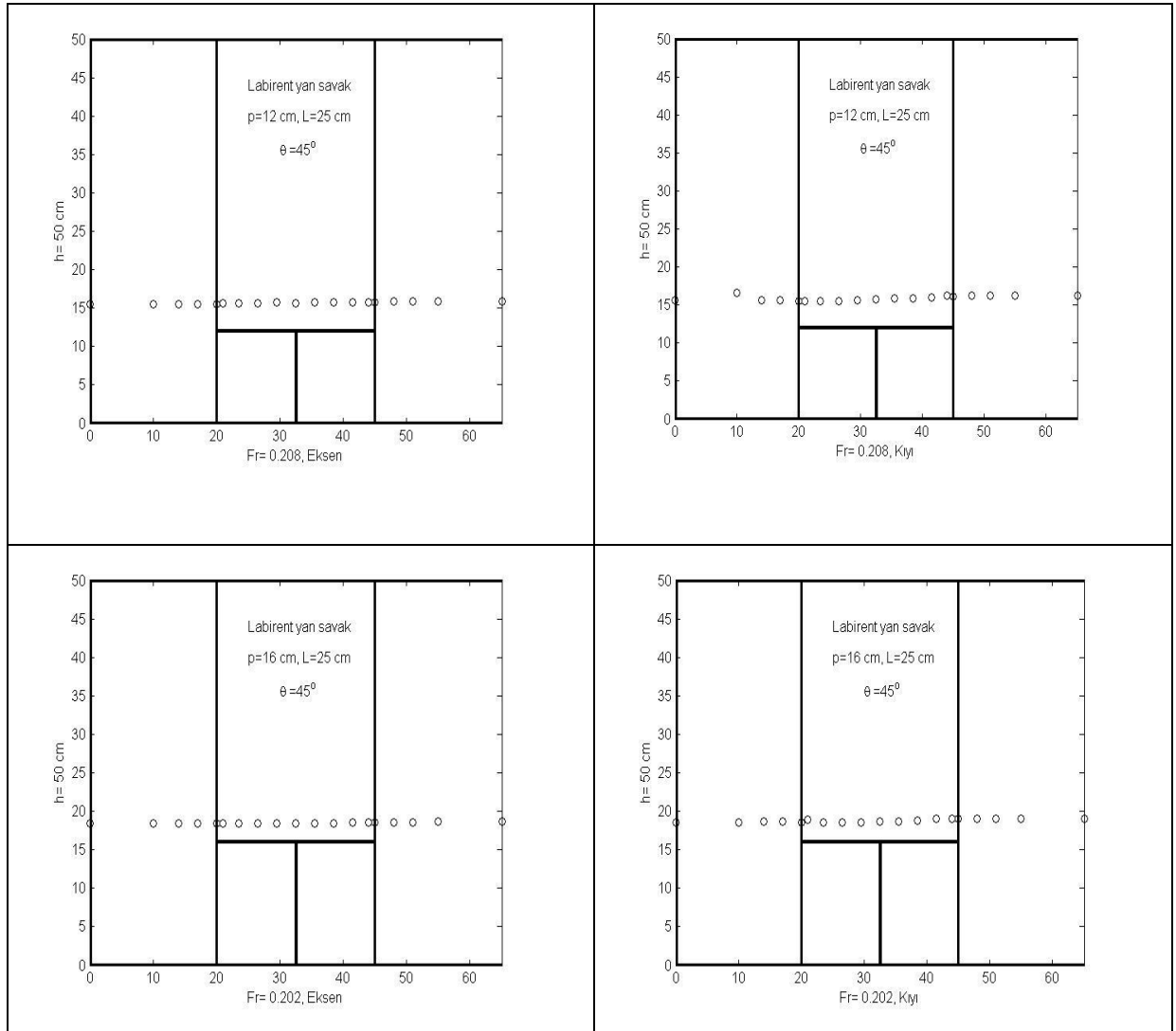
oluşturarak çevrinti meydana gelmiştir. Test edilen labirent savağın küçük tepe açılarında kret uzunluğunun daha fazla olması ve böylece engelin uzunluğunun da fazla olması nedeniyle, savak üzerinde çevrıntiler daha fazla olmuştur. Ayrıca, küçük tepe açılarında daha fazla savaklanma olması da çevrıntilerin daha fazla olmasına neden olmuştur.

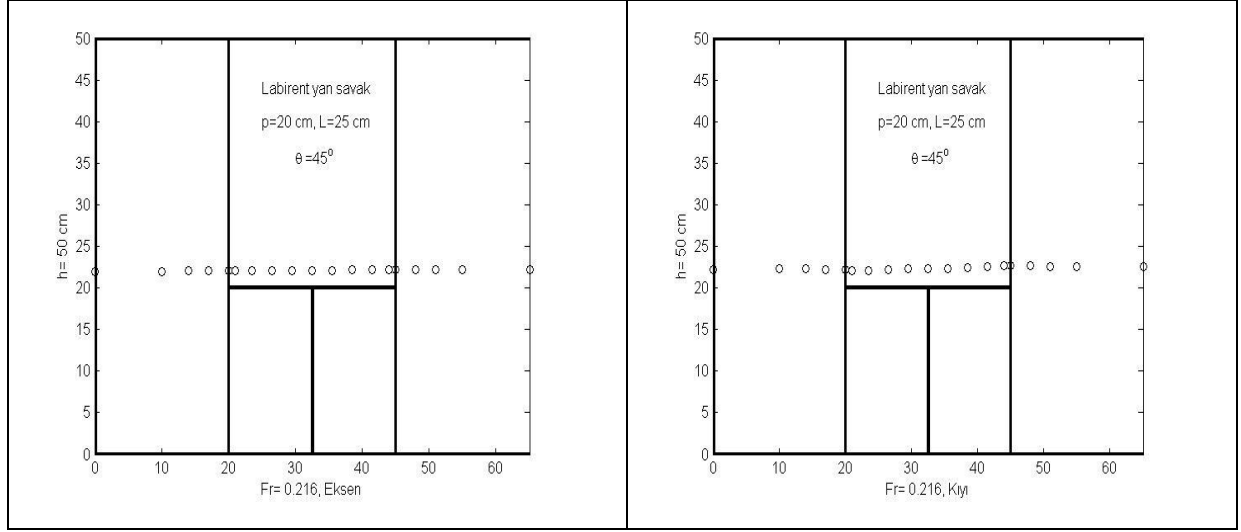
Yan savak boyunca mansaba doğru gidildikçe yanal akımdan dolayı, ana kanaldaki akım yavaşlamakta ve bunun sonucu olarak ana kanaldaki sekonder akım şiddetlenmektedir. Bundan dolayı, yan savağın ilk yarısı sonunda ayrılma bölgesi oluşmakta ve yan savağın ikinci yarısında ters akım meydana gelmektedir. Bunun sonucu olarak ana kanalın iç kıyısında bir durgunluk bölgesi oluşmaktadır. Yapılan deneylerde özellikle düşük Fr sayılarında bu durum açıkça gözlenmiştir. Test edilen büyük Fr sayılarında ters akım oluşumu pek gözlenmemiştir. Daha çok büyük nap kalınlığı, düşük Fr sayılarında açıkça belirlenmiştir. El-Khashab [8] tarafından $L/b=5.05$ için doğrusal kanalda gözlenen bu durum, Fares ve Herbertson [39] tarafından $L/b=0.6$ için 60° 'lik bir kıvrımın dış kıyısına yerleştirilen kalın kenarlı yan savak üzerinde de gözlenmiştir. Ayrıca Ağaçcıoğlu [37] da kıvrım girişinde $L/b=1.875$ için aynı olayı gözlemesine karşın $L/b=0.6$ ve $L/b=1.25$ için fazla belirgin olmadığını ifade etmiştir. Yine Coşar [38] ayrılma bölgesi ve durgunluk bölgesinin oluşumunu ters akımın meydana gelmesini, 120° 'lik tepe açısına sahip üçgen yan savakta gözlemlediğini belirtmiştir. El-Khashab [8]'ın ters akımı iyi bir şekilde gözlemlemesinde yan savak uzunluğunu oldukça fazla almış olmasındandır. Literatürde bu kadar büyük yan savak uzunluğu pek test edilmemiştir.

Froude sayısı arttıkça ters akım pek gözlenmemiştir. Ayrıca, Fr sayısının artmasıyla yan savak bölgesinde küçük kabarmalar oluşmaktadır. Deneylerde bu durum büyük L/b oranlarında gözlenmiştir. Frazer [40], doğrusal kanallar üzerindeki yan savaklarda hidrolik sıçramanın $Fr=1.0\sim 2.0$ civarında oluştuğunu belirtmiştir.

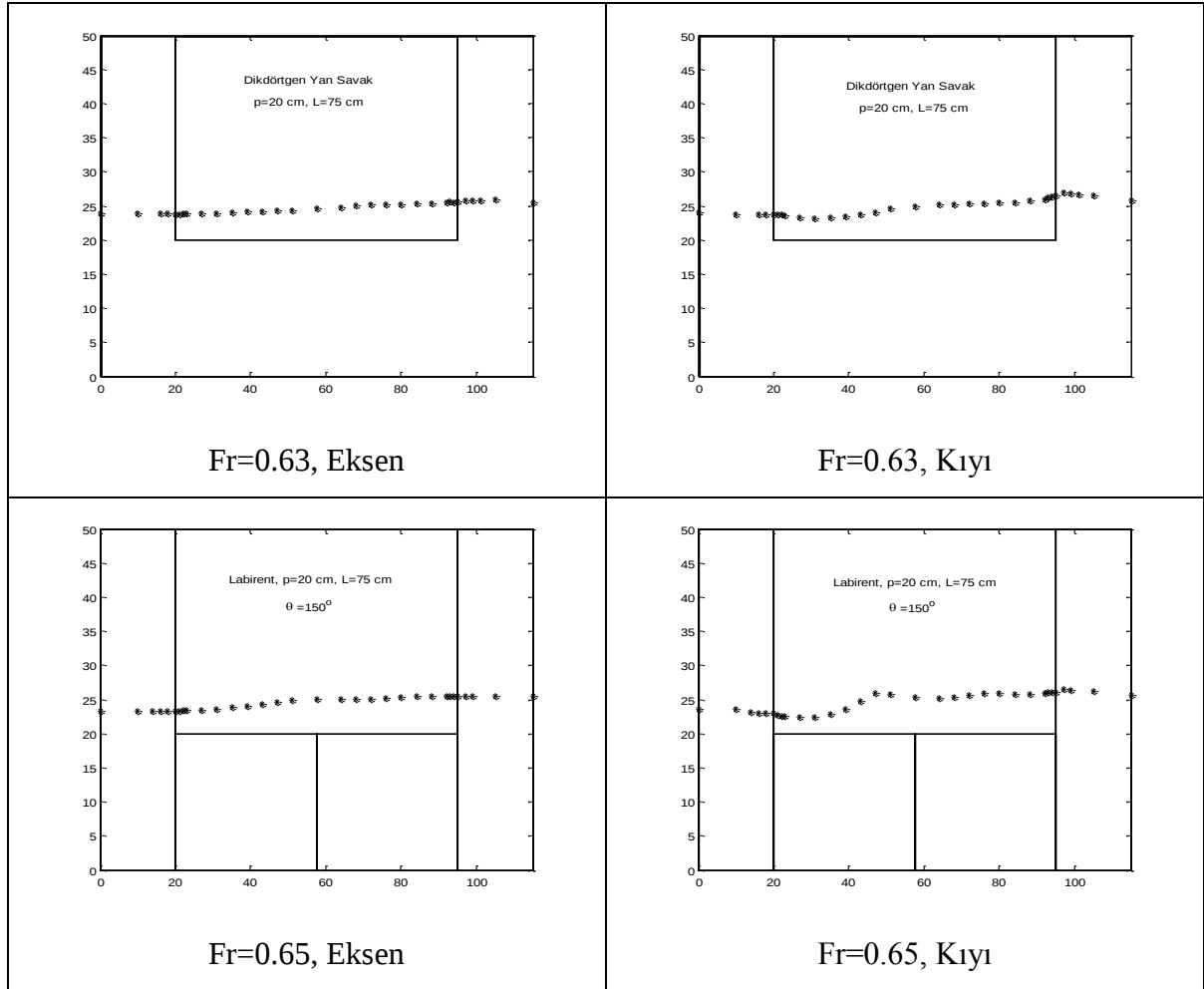


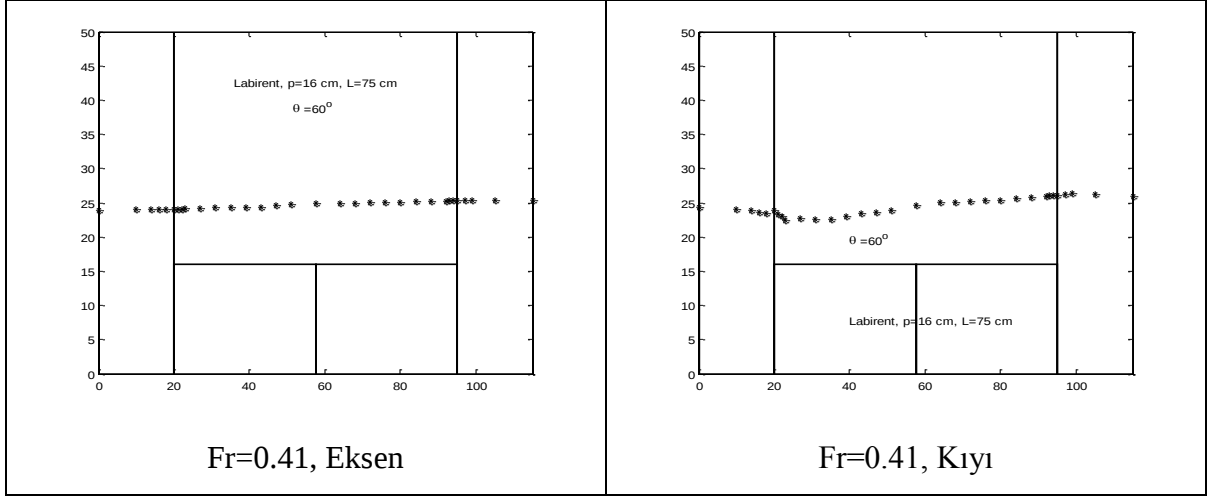
Şekil 4.1. Sağdan sola doğru akan kanalda labirent yan savak üzerindeki akım .





Şekil 4.2. Doğrusal kanalda aktif savaklanma durumunda su yüzü profilleri.





Şekil 4.3. L=75 cm için klasik dikdörtgen ve labirent yan savak için su yüzü profilleri.

4.2 Kıvrımlı Kanalda Yapılan Su Yüzü Profili Deneyleri

4.2.1 $\alpha=30^\circ$ Kıvrımlı Kanal

Şekil 4.4'te G bölgesinde aktif savaklanma durumunda, yan savak üzerinde elde edilen su yüzü profilleri görülmektedir. Elde edilen su yüzü profillerinden burada sadece dikdörtgen yan savak ve $\theta=60^\circ$ için olanlar verilmiştir.

E bölgesinde de G bölgesinde gözlendiği gibi yan savak membasında su derinliği düşmeye başlamakta ve yan savak başlangıcından belirli bir mesafe sonra minimuma düşmektedir (Şekil 4.4). Bu durum kıyıda elde edilen su yüzü profillerinde daha da belirginleşmektedir. De Vriend ve Struiksmas [41] tarafından açıklandığı şekilde kıvrım bölgesine yaklaştıkça akım, akım çizgisinin eğriliğini tedrici olarak arttırmaya çalışan memba taraftaki basınç yükünün etkisiyle karşılaşmakta ve kıvrıma girişte, akım çizgisinin eğriliği kıvrımın iç kıyısında akımın hızlanmasına yol açan (potansiyel akım etkisine yol açan) enine ve boyuna basınç gradyanlarına sahip olmaktadır [37, 42]. Bu düşüş ekseninde kıyıya göre çok az hissedilmektedir. Buradan eksende su yüzü profilinin, yan savak akımından çok fazla etkilenmediği sonucu çıkarılabilir, bu nedenle hemen hemen yatay konumdadır. Kıyıda yanal akımdan dolayı su yüzü profili daha çok etkilenmektedir. Özellikle kıvrımda sekonder akımın şiddetlenmesiyle su yüzü profilinde kıyıda su yüzeyinde kabarmalar oluşmaktadır. Yan savağın mansabındaki su derinliği membasındaki su derinliğinden hemen hemen tüm deneylerde daha fazla olmuştur. Bunun nedeni, ana

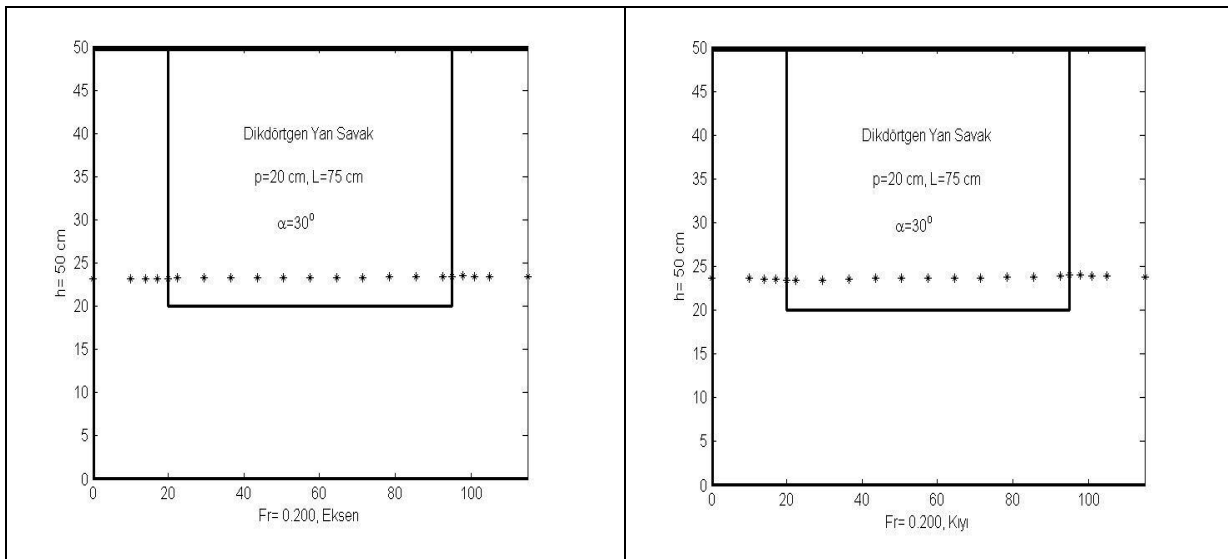
kanaldaki suyun azalmasıyla, Koch parabolünden de iyi bir şekilde görüleceği gibi, mansapta su derinliğinde artış gözlenmesindendir.

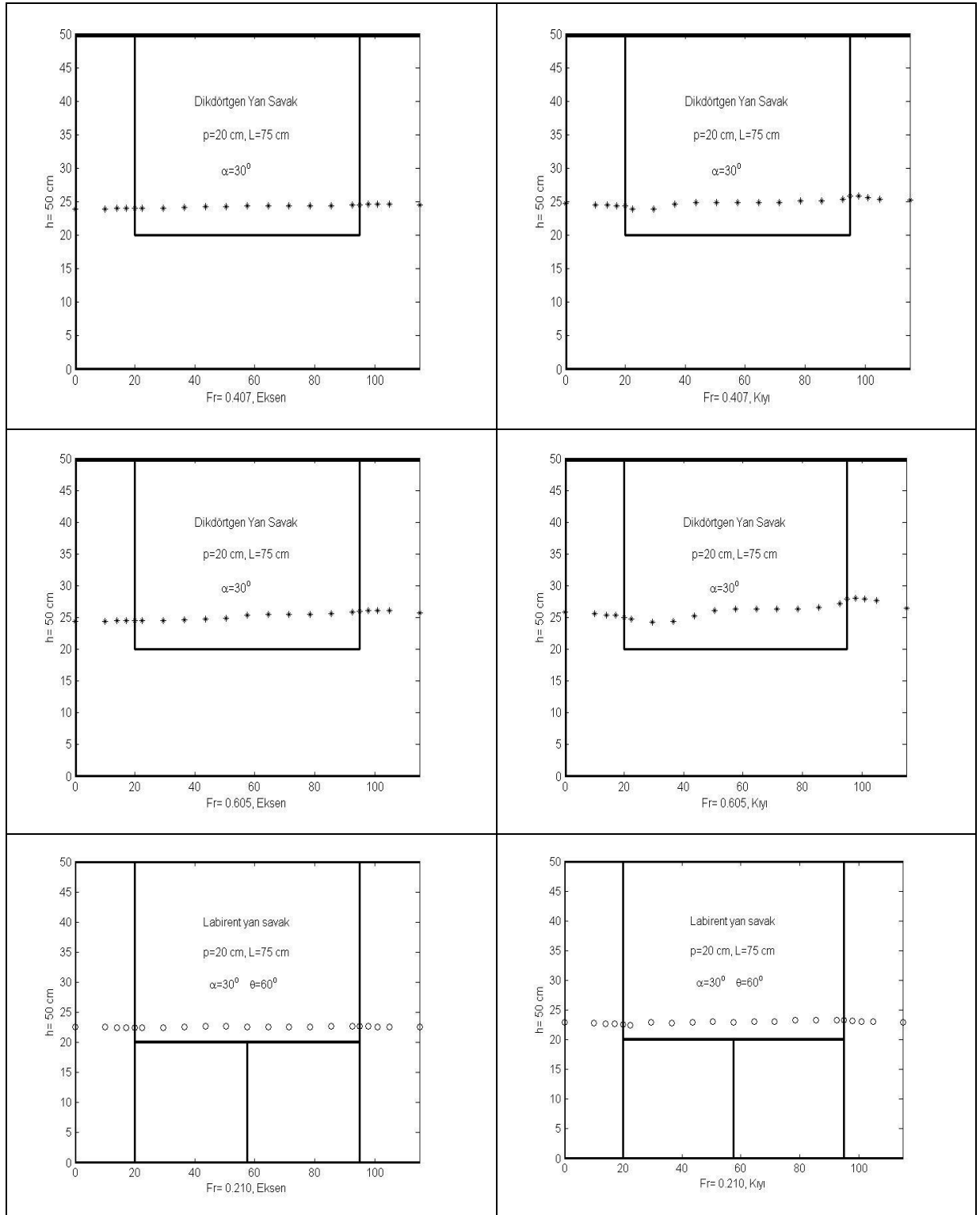
Dikdörtgen savakların kıvrımın ilk yarısında $\alpha=30^\circ$ 'de elde edilen su yüzü profilleri hemen hemen yatay durumdadır. Kıyıda büyük Froude sayılarında yan savağın mansap ucu civarında bir yükselme gözlenmiştir. Ağaçcıoğlu [37] ve Coşar [38] kıvrımlı kanallarda $\alpha=30^\circ$ 'de yan savakların su yüzü profillerini elde etmişlerdir. Birinci araştırmacı yan savağı dikdörtgen, ikinci araştırmacı ise üçgen olarak almıştır. Ağaçcıoğlu [37] ve Coşar [38] elde ettiği su yüzü profilleri incelendiğinde memba ucunda bir alçalma belirli bir mesafe sonra minimuma ulaşmakta ve mansap kısmında ise yükselme meydana gelmektedir. Böylece bu araştırmacıların sonuçları ile bu çalışmanın sonuçları uyum içerisinde. Bu çalışmada dikdörtgen yan savakların da test edilmesinin nedeni diğer araştırmacıların sonuçları ile karşılaştırmaktır.

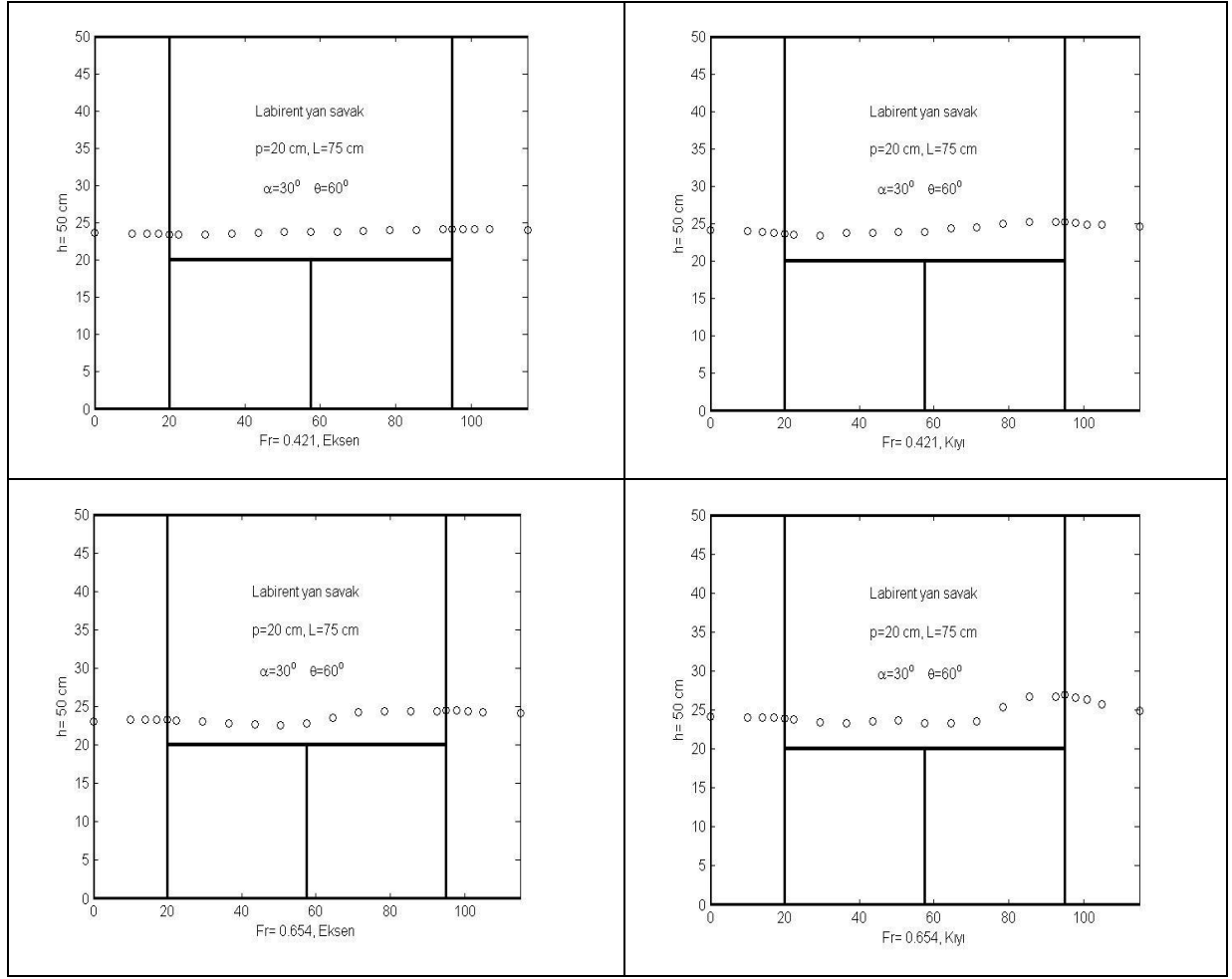
$\theta=60^\circ$ labirent yan savak üzerindeki akım küçük Froude sayılarında ($Fr < 0.25$) çevrintisiz ve düzenli bir şekilde toplama kanalına boşalmaktadır. Fr sayısının artmasıyla savak üzerinde hareketlenmeler de artmaktadır. Bu durum hem yanal akımdan ve hem de kıvrımdan dolayı sekonder akımın şiddetlenmesinden kaynaklanmaktadır.

Kıvrımlı kanal boyunca kanal ekseninde elde edilen su yüzü profilleri doğrusal kanaldakine benzer şekilde hemen hemen yatay gittiği görülmüştür.

Doğrusal kanalda $\theta=90^\circ$ 'de küçük L/b oranlarında huni şeklinde dönerek akım içerisine sokulan vorteks oluştuğu yukarıda ilgili bölümde ifade edilmiştir. $\alpha=30^\circ$ kıvrım açısında bu olay gözlenmemiştir.







Şekil 4.4. Kıvrımlı kanalda $\alpha=30^\circ$ 'de aktif savaklanma durumunda su yüzü profilleri

4.2.2 $\alpha=60^\circ$ Kıvrımlı Kanal

H bölgesinde dikdörtgen ve farklı tepe açısına haiz labirent yan savakların $\alpha=60^\circ$, 90° , 120° ve 150° kıvrım açılarında hem ekseninde ve hem de kıyıdaki su yüzü profilleri ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir (Şekil 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.15).

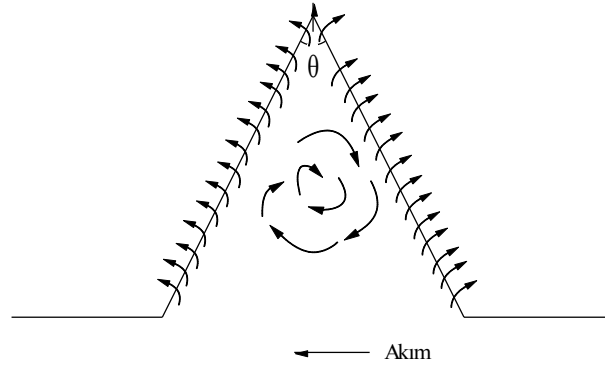
Söz konusu şekiller incelendiği zaman $\alpha=30^\circ$ için yapılan yorumların hemen hemen bunlar için de geçerli olduğu anlaşılmaktadır. Yine dikdörtgen yan savakta su yüzü profilleri hemen hemen yatay durumdadır. Yan savağın memba ucu civarında bir minimum derinlik oluşmakta sonra tedrici olarak artmakta ve mansap ucunda ise yine bir kabarma oluşmaktadır.

Labirent yan savakların su yüzü profilleri incelendiğinde dikdörtgen yan savaklara göre biraz farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. Özellikle kıyıda elde edilen su yüzü profilinde labirent yan savaklarda mansap ucunda daha büyük kabarma oluşmaktadır. Bu farklılık labirent yan savaklardan olan savaklanmanın dikdörtgen yan savaklarınkinden çok fazla olmasından ve labirent savakların üçüncü boyutunun olmasından kaynaklanmaktadır.

$\alpha=60^\circ$ için $\theta=45^\circ$, 60° ve 90° 'da ve $Fr>0.60$ 'dan sonra savak üzerinde çevrıntiler gözlenmiştir (Şekil 4.5). Böylece akım içerisine hava kabarcıkları sokulduğu görülmüştür. p/b 'nin artması ile bu çevrıntilerde önemli azalmalar gözlenmiştir.

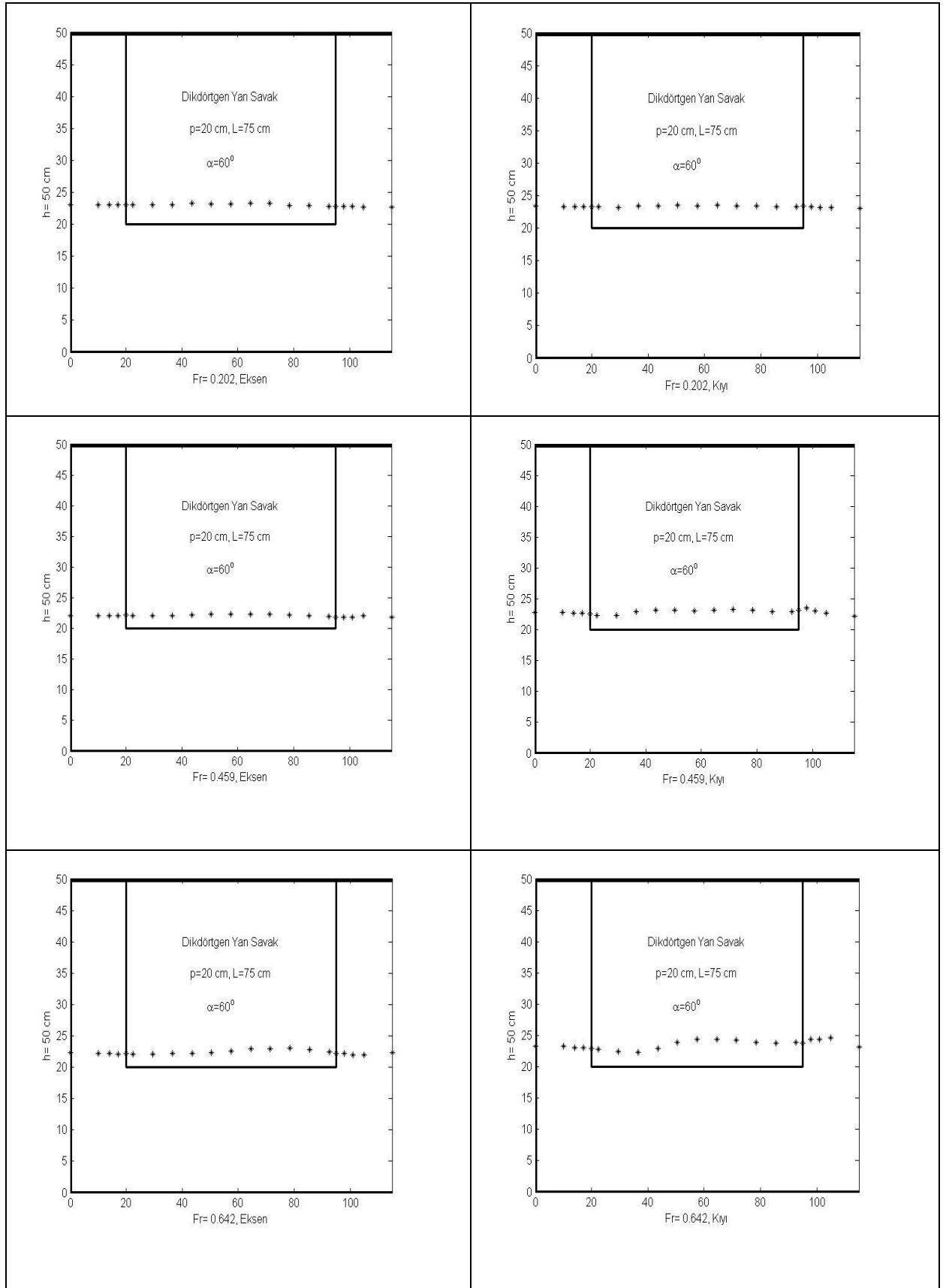
$\theta=120^\circ$ ve $\theta=150^\circ$ labirent yan savakların memba ucunda su derinliği büyük Froude sayılarında ve büyük L/b oranlarında oldukça azalmakta ve savağın memba tarafındaki kısmının yaklaşık ilk beşte birlik kısmında bazen çok az veya hiç savaklanma olmadığı gözlenmiştir (Şekil 4.14).

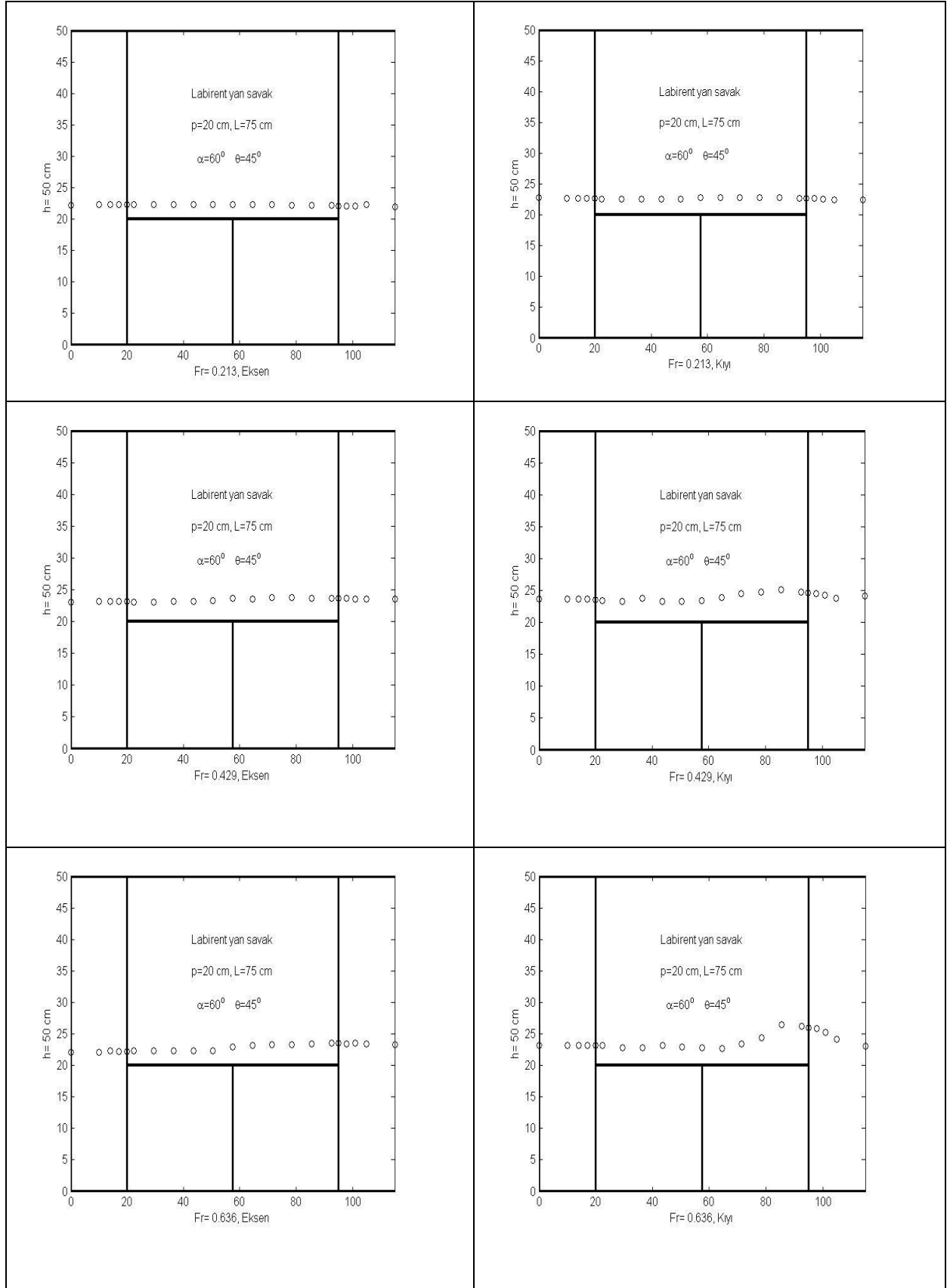
Büyük Froude sayılarında $\theta=90^\circ$ 'de doğrusal kanalda gözlenen vorteks $\alpha=60^\circ$ 'de küçük L/b oranlarında da kısmen gözlenmiştir. Doğrusal kısımda gözlendiği kadar şiddetli olmadığı görülmüştür. p/b 'nin artması ile bu olay gözlenmemiştir.



Şekil 4.5. Küçük labirent savak tepe açılarında ve büyük Froude sayılarında savak üzerinde oluşan çevrıntiler

$\alpha=60^\circ$ için $\theta=120^\circ$ ve 150° 'de büyük Froude sayılarında ($Fr>0.80$) ve L/b 'nin büyük değerlerinde labirent yan savağın memba kısmının hemen hemen beşte birlik kısmında az veya hiç savaklanma olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum büyük Froude sayılarında akım çizgilerinin labirent yan savağın ikinci yarısına doğru yönelmesinden kaynaklanmaktadır.





Şekil 4.6. Kırımlı kanalda $\alpha=60^\circ$ 'de aktif savaklanma durumunda su yüzü profilleri

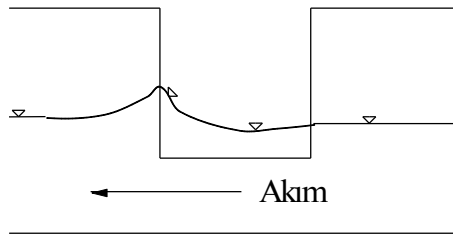
4.2.3 $\alpha=90^\circ$ Kıvrımlı Kanal

Şekil 4.8’de $\alpha=90^\circ$ ’de elde edilen su yüzü profilleri verilmiştir. Yine burada dikdörtgen yan savak ve $\theta=60^\circ$ labirent yan savak için elde edilenler sadece verilmiştir. Söz konusu şekil incelendiğinde eksende elde edilen su yüzü profilleri hemen hemen yatay durumdadır. Kıyıda elde edilen su yüzü profillerinde yan savağın memba ucundan belirli bir nokta sonra minimum bir su derinliği meydana gelmekte ve mansap ucunda su seviyesinde artış gözlenmiştir. Test edilen L/b ’nin en küçük değerinde ve büyük Froude sayılarında genellikle Şekil 4.7’de verilen su yüzü profili elde edilmiştir.

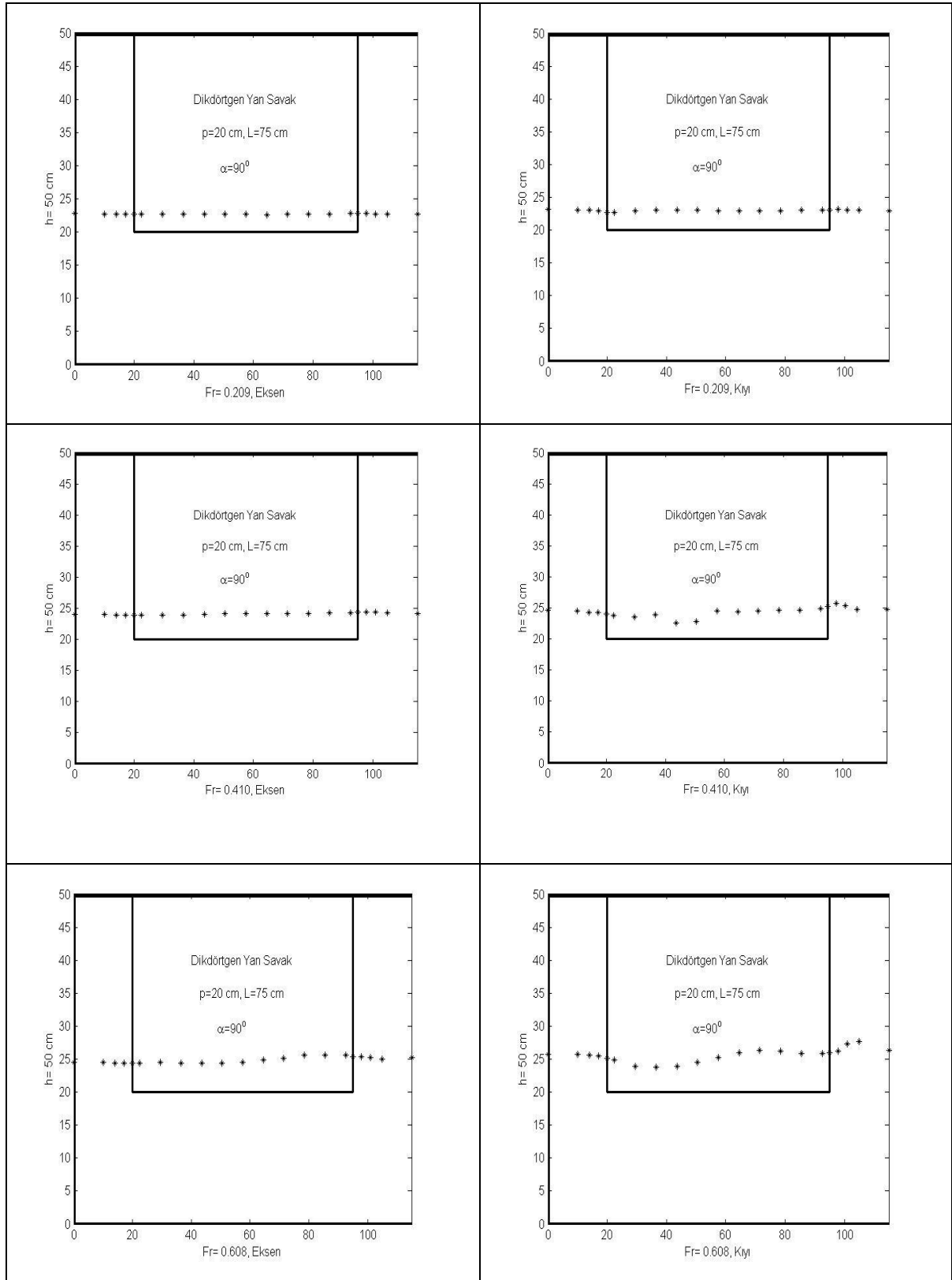
$\alpha=90^\circ$ için $\theta=45^\circ$ ve 60° ’de büyük Froude sayılarında ($Fr>0.80$) savak üzerinde çevrıntiler gözlenmiştir. Bunun nedeni savak alanının büyük olmasındandır. Test edilen $\theta=120^\circ$ ve $\theta=150^\circ$ labirent yan savakların savaklanma alanı daha küçüktür. Bu nedenle $\theta=120^\circ$ ve $\theta=150^\circ$ ’de çevrıntiler daha az gözlenmiştir.

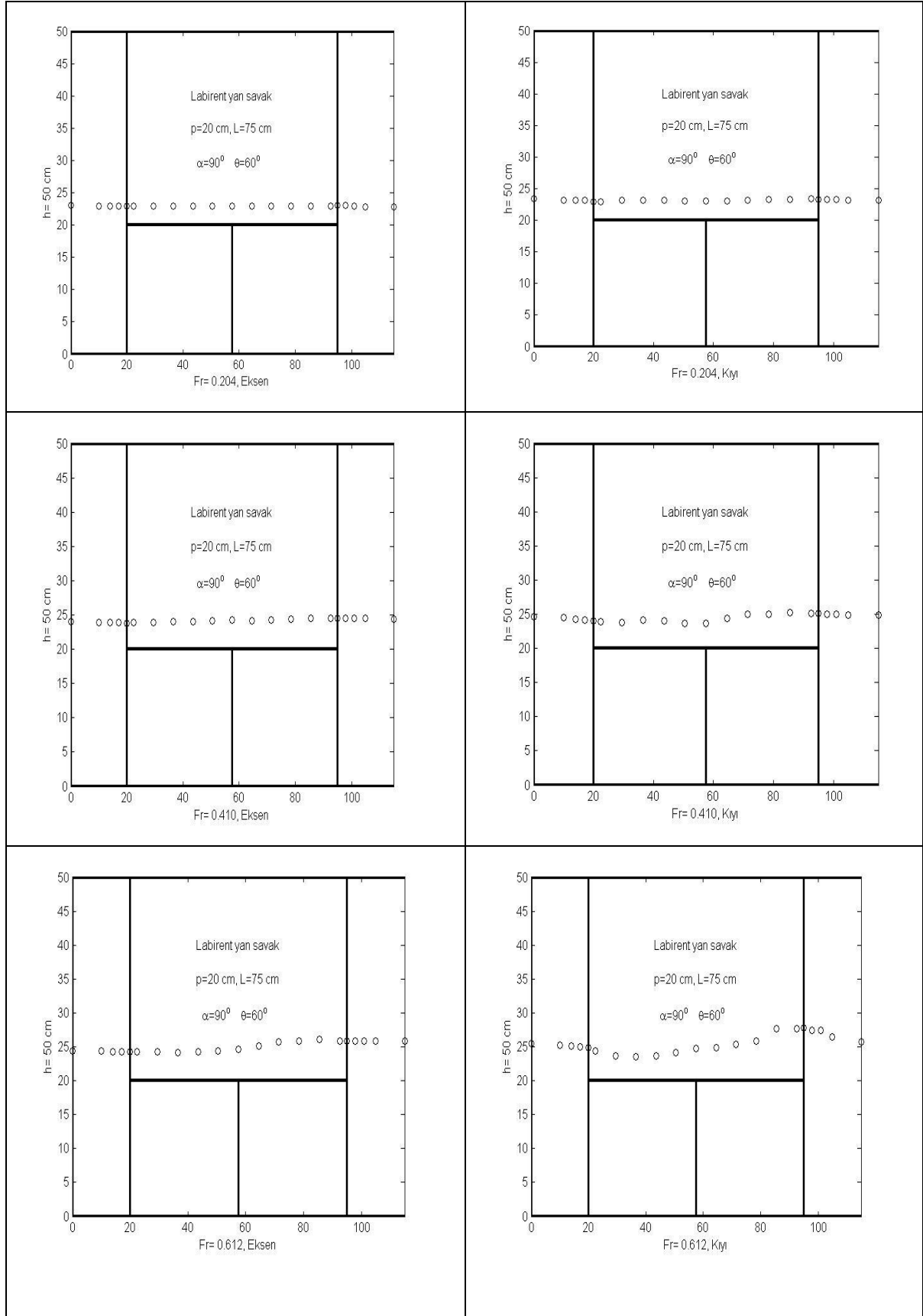
$\alpha=90^\circ$ için $\theta=90^\circ$ ’de küçük L/b oranlarında ve büyük nap yüksekliklerinde kısmen huni şeklinde akım içerisine sokulan vorteks gözlenmiştir. Fakat bu oluşum $\alpha=30^\circ$ ’de meydana gelene göre daha etkisiz olduğu tespit edilmiştir. Test edilen diğer deneylerde labirent savak üzerindeki akımda herhangi bir sorun gözlenmemiştir.

$L/b=0.50$ için su yüzü profili çoğunlukla Şekil 4.7’de verildiği gibi olduğu ölçümlerle belirlenmiştir. Memba kısmında bir alçalma ve mansap ucunda ise yükselme gözlenmiştir. Bu profil Froude sayısının artmasıyla daha belirginleşmiştir.



Şekil 4.7 $L/b=0.50$ için su yüzü profilinin aldığı şekil.





Şekil 4.8. Kıvrımlı kanalda $\alpha=90^\circ$ 'de aktif savaklanma durumunda su yüzü profilleri

4.2.4 $\alpha=120^\circ$ Kıvrımlı Kanal

Büyük Froude sayılarında ve labirent savağın küçük tepe açılarında savak üzerinde çevrıntiler gözlenmiştir. Bu çevrıntiler nedeniyle akım içerisine hava kabarcıkları sokulmaktadır. Bu olay küçük nap yükseklikleri ve büyük Fr sayılarında daha belirgin olarak gözlenmiştir. Test edilen diğer deneylerde labirent savak üzerindeki akımda herhangi bir sorun gözlenmemiştir.



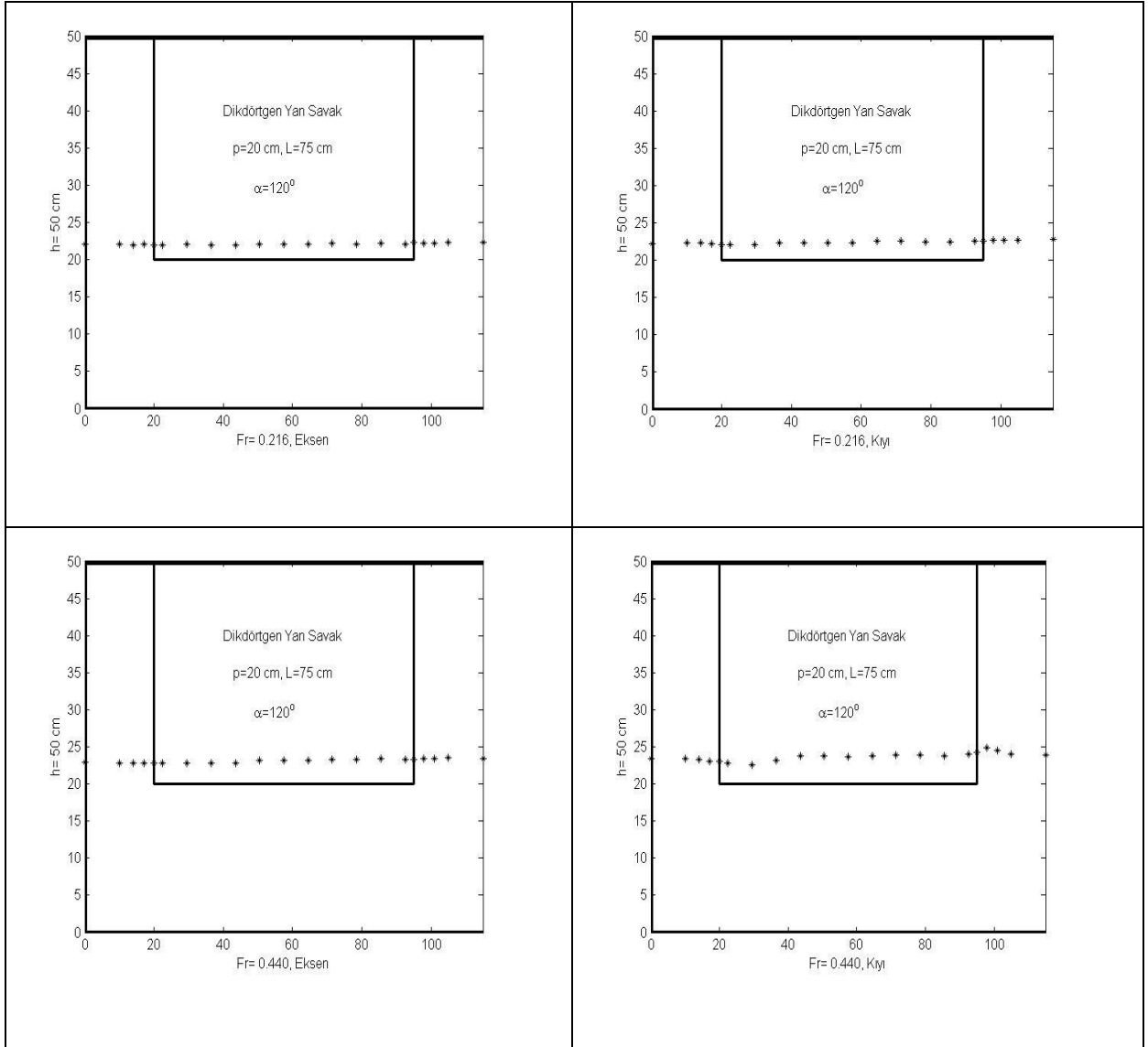
Şekil 4.9. Dikdörtgen ve labirent yan savak üzerinde yanal akım

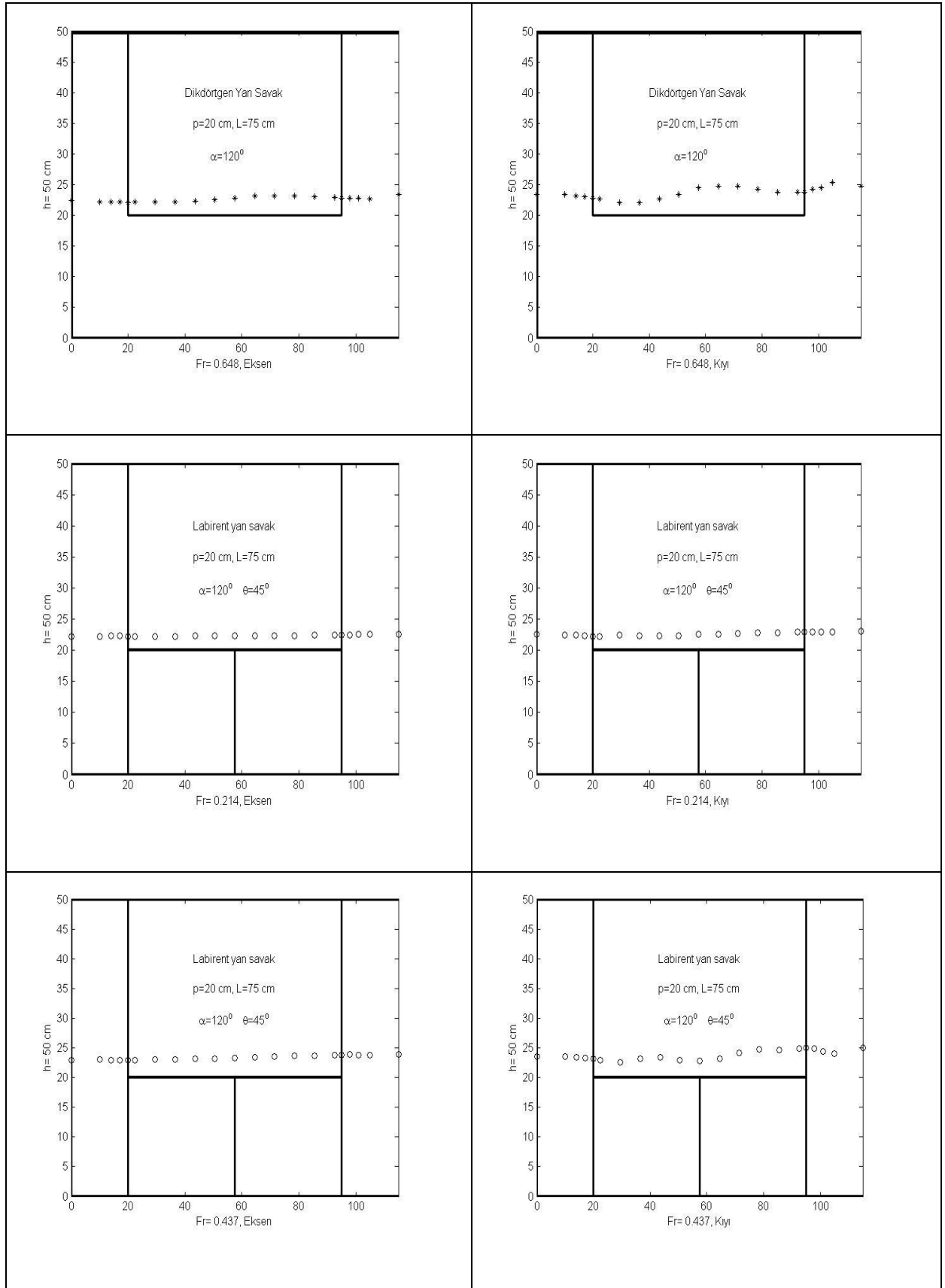
Diğer kıvrım açılarında ve doğrusal kanalda olduğu gibi $\alpha=120^\circ$ 'de de dikdörtgen yan savaktaki akım toplama kanalına sapma açısı yaparak akmaktadır (Şekil 4.9). Hemen

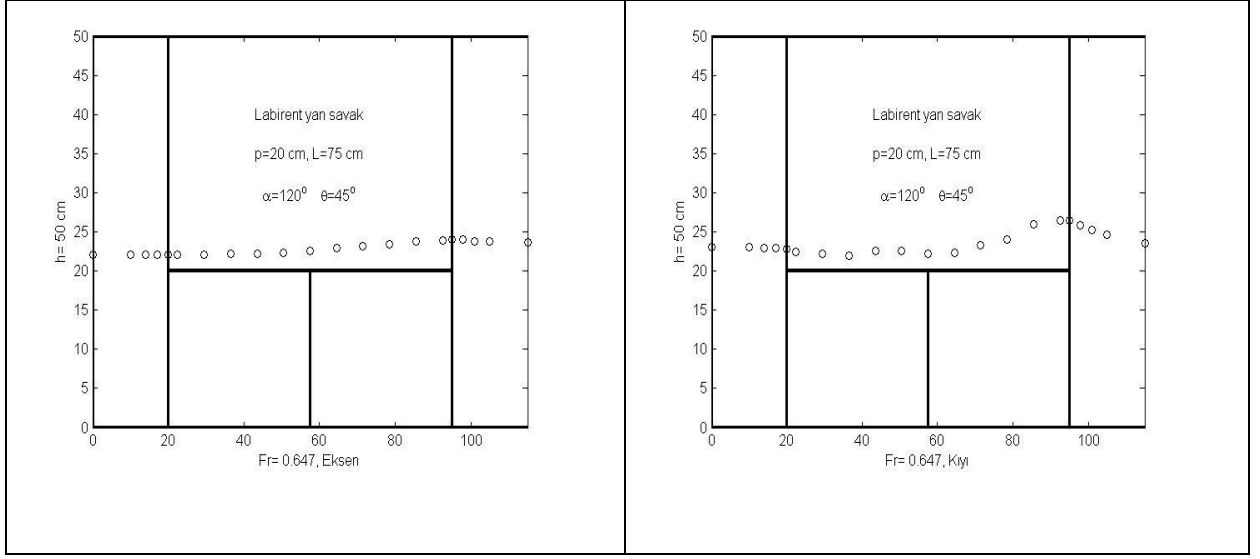
hemen tüm Froude sayılarında akım bu şekilde olmuş ve Fr sayısının artması ile sapma açısı büyümüşür. Bunun nedeni ters akımın oluşmaması ve teğetsel hızların büyük olması ve akım çizgilerinin savağın ikinci yarısına doğru yönelmesidir. Labirent savaklarda aynı koşullarda akım, labirent savağın her iki kreti üzerinde de bir sapma yapmadan savaklanmıştır.

Şekil 4.10'da $\alpha=120^\circ$ 'de elde edilen su yüzü profilleri verilmiştir. Burada elde edilen su yüzü profilleri test edilen diğer kıvrım açılarında elde edilen sonuçlar ile uyumludur.

$\alpha=120^\circ$ 'de, $\theta=90^\circ$ kıvrım tepe açısına haiz labirent yan savakta huni şeklinde akım içerisine sokulan vorteks gözlenmemiştir. Bu kıvrım açısında da küçük θ değerlerinde savak su yüzeyinde vorteksler gözlenmiştir.







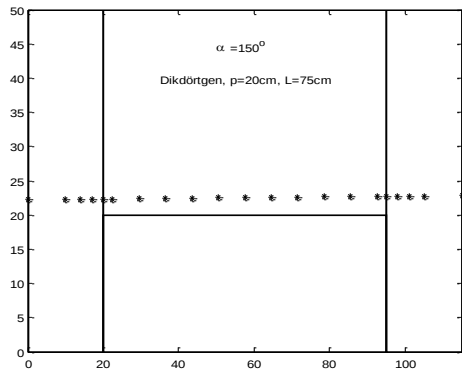
Şekil 4.10. Kıvrımlı kanalda $\alpha=120^\circ$ 'de aktif savaklanma durumunda su yüzü profilleri

4.2.5 $\alpha=150^\circ$ Kıvrımlı Kanal

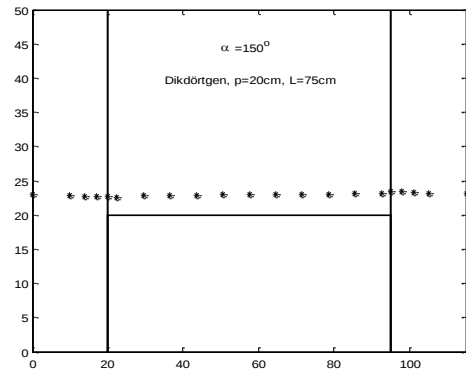
Şekil 4.11'de, $\alpha=150^\circ$ için elde edilen su yüzü profilleri verilmiştir. Test edilen diğer yan savak yerlerinde elde edilen sonuçlar ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Küçük Froude sayılarında savak üzerindeki akım oldukça düzenli bir şekilde toplama kanalına akmaktadır. Savaşın membasındaki su derinliği mansabındaki su derinliğinden daha az olmaktadır. Yine savaşın memba ucundan belirli bir mesafe sonra su derinliği minimuma ulaşmakta ve daha sonra yükselerek mansap ucunda maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Eksende elde edilen su yüzü profilleri hemen hemen yatay konumdadır. Elde edilen su yüzü profilleri, Ağaçcıoğlu [37] ve Coşar [38] tarafından elde edilen su yüzü profilleri ile uyum içerisindedir.

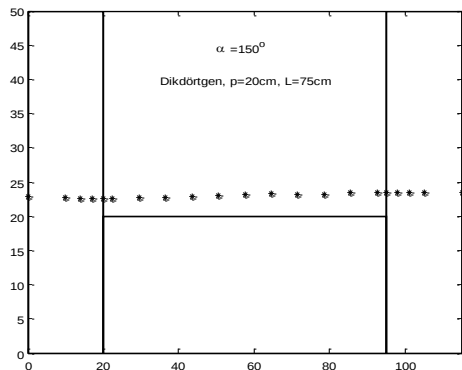
$\alpha=150^\circ$ için, $\theta=45^\circ$ ve $\theta=60^\circ$ 'de büyük Froude sayılarında ($Fr>0.70$) ve debilerde savak üzerinde vorteksler gözlenmiştir. Bu vorteksler nedeniyle akım içerisine hava kabarcıkları sokulmaktadır.



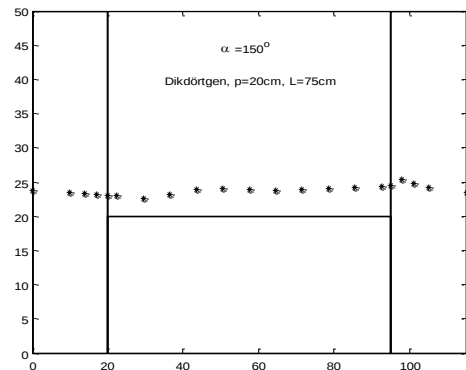
Fr=0.211, Eksen



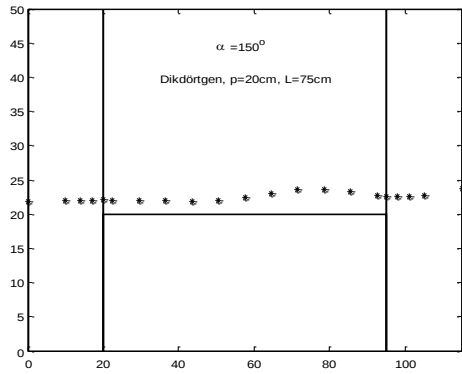
Fr=0.211, Kıyı



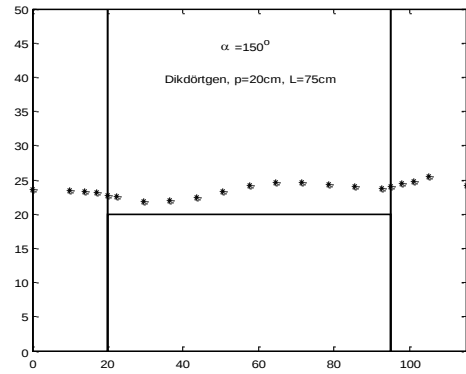
Fr=0.446, Eksen



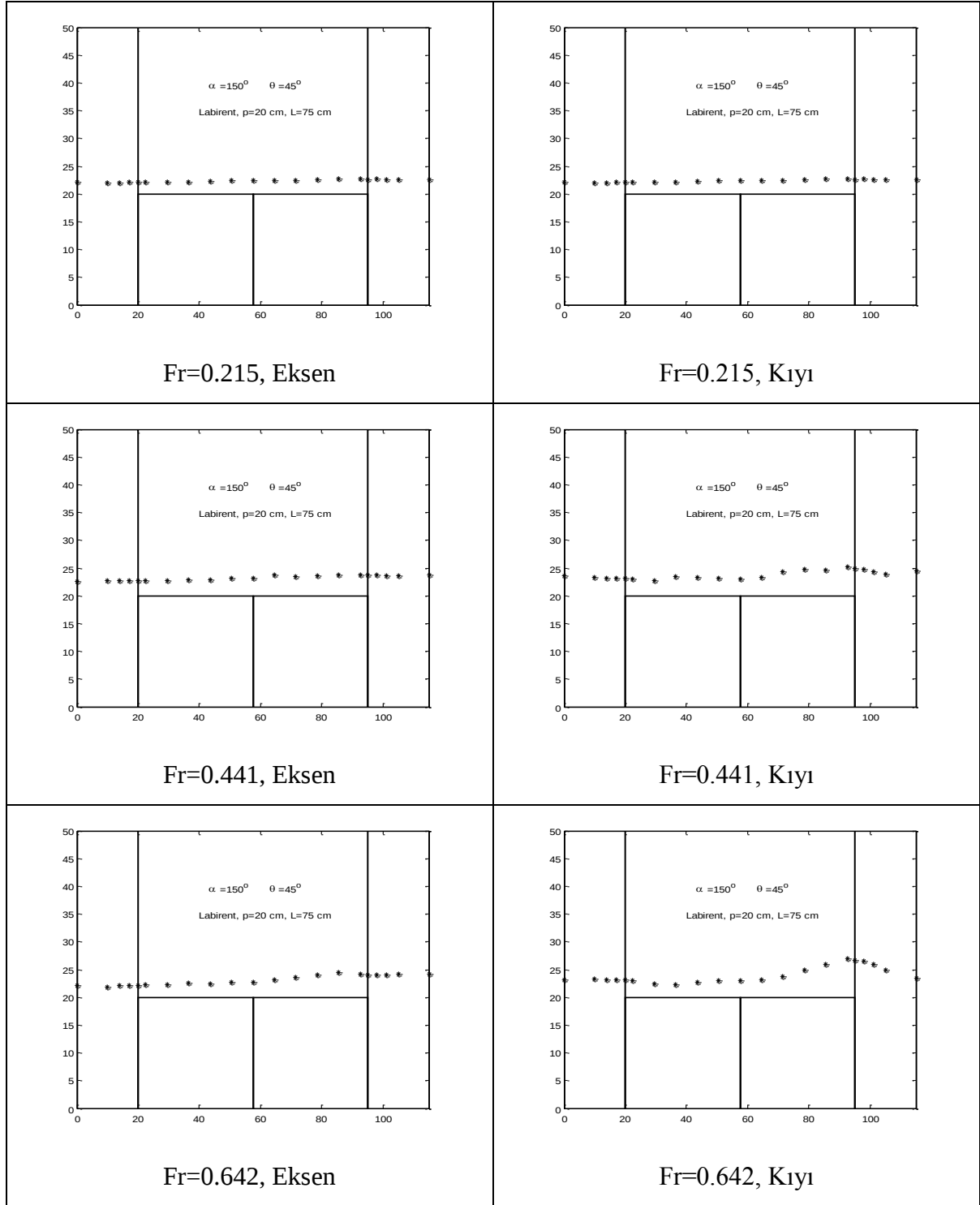
Fr=0.446, Kıyı



Fr=0.645, Eksen



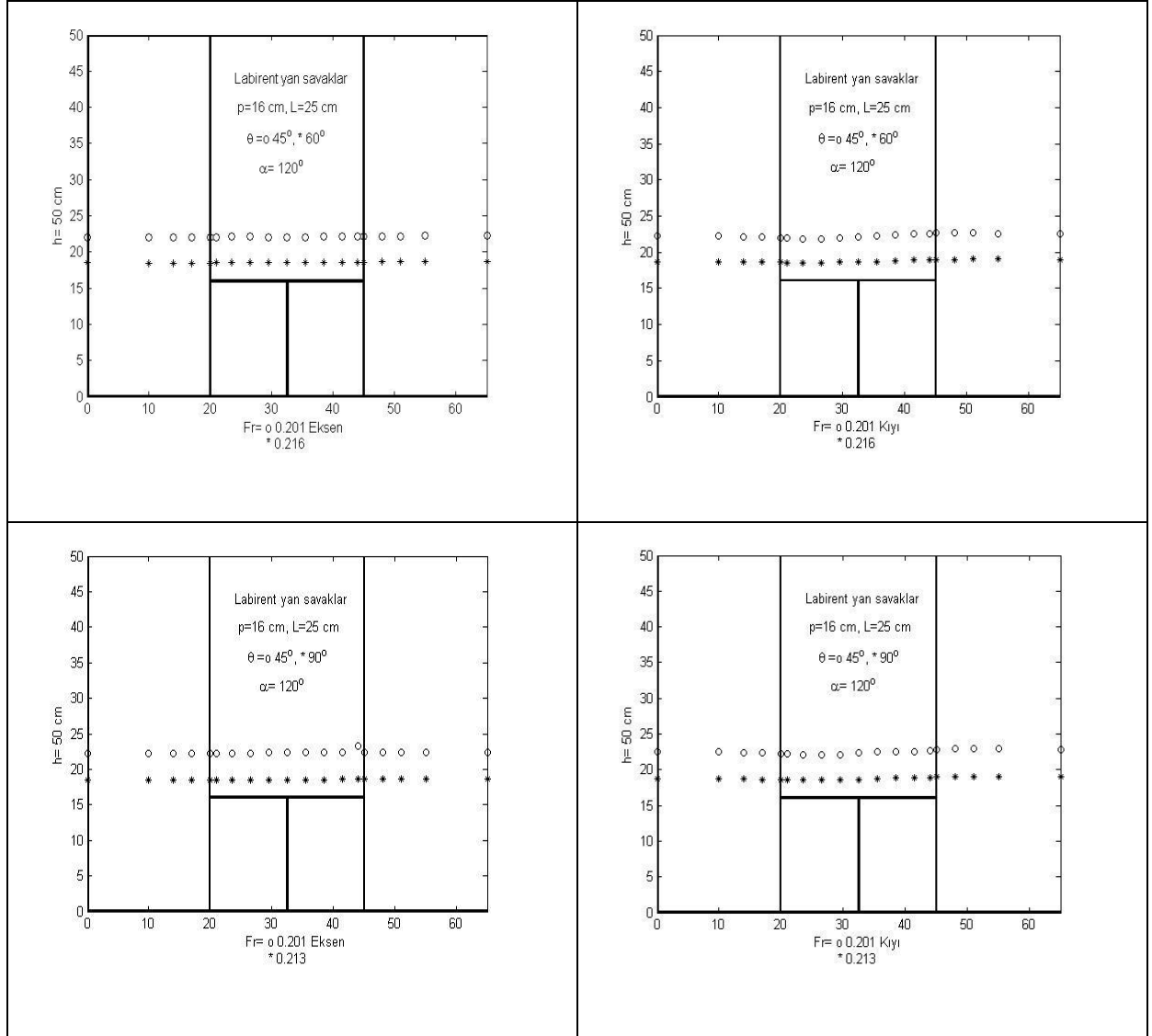
Fr=0.645, Kıyı

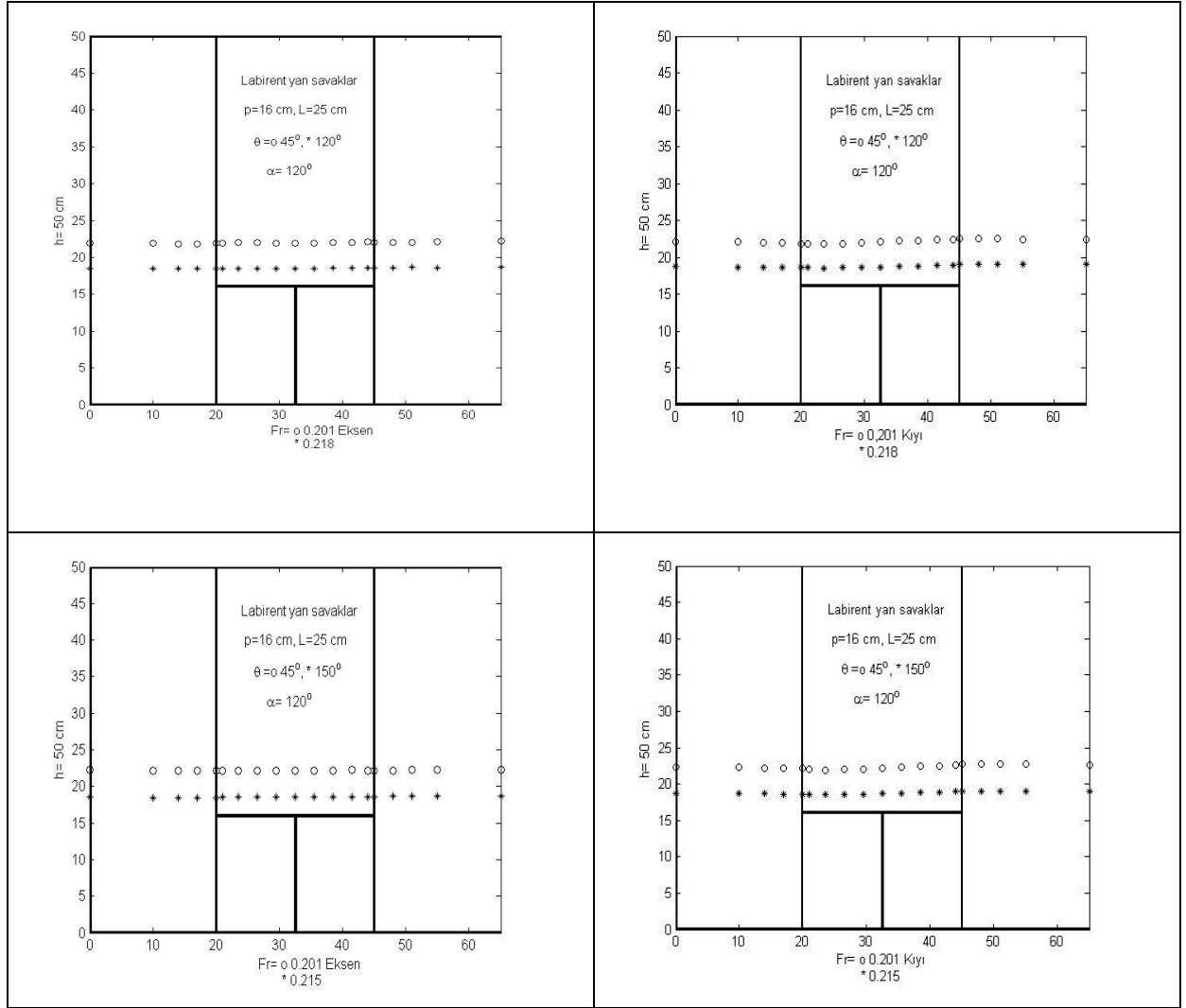


Şekil 4.11. Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ de aktif savaklanma durumunda su yüzü profilleri

4.3 Farklı Yan Savak Tiplerinin Su Yüzü Profillerinin Karşılaştırılması

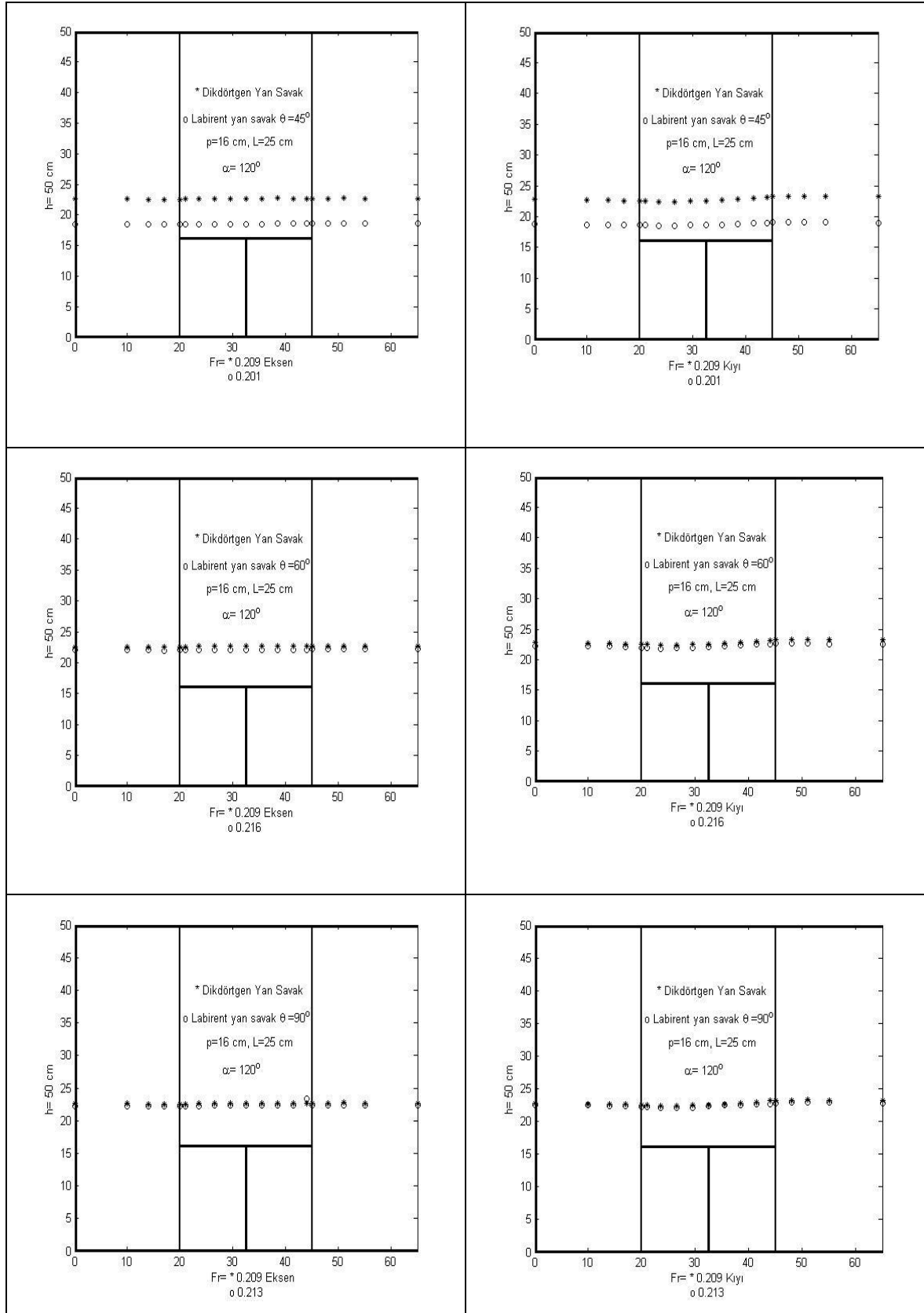
4.3.1 Farklı Kıvrım Açısına Sahip Labirent Yan Savaklar





Şekil 4.12. Farklı kıvrım açısına sahip labirent yan savak su yüzü profillerinin karşılaştırılması

4.3.2 Dikdörtgen ve Labirent Yan Savakların Su Yüzü Profillerinin Karşılaştırılması

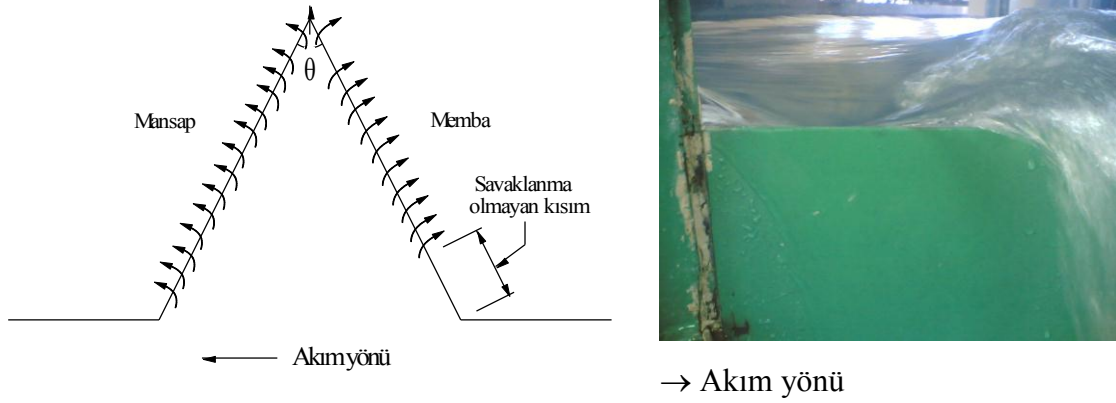


4.13. Dikdörtgen ve labirent yan savak su yüzü profillerinin karşılaştırılması

4.4 Yan Savaklarda Su Yüzü Profiline Görülen Bazı Özel Durumlar

4.4.1 Savaşın Bir Kısımında Savaklanmanın Olmaması Durumu

$\alpha=60^\circ$ için $\theta=120^\circ$ ve 150° 'de büyük Froude sayılarında ($Fr>0.80$) ve L/b 'nin büyük değerlerinde labirent yan savaşın memba kısmının hemen hemen beşte birlik kısmında az veya hiç savaklanma olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum büyük Froude sayılarında akım çizgilerinin labirent yan savaşın ikinci yarısına doğru yönelmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.14. Labirent savaşın büyük tepe açılarında ve büyük Fr sayılarında gözlenen savaklanma olmayan bölge

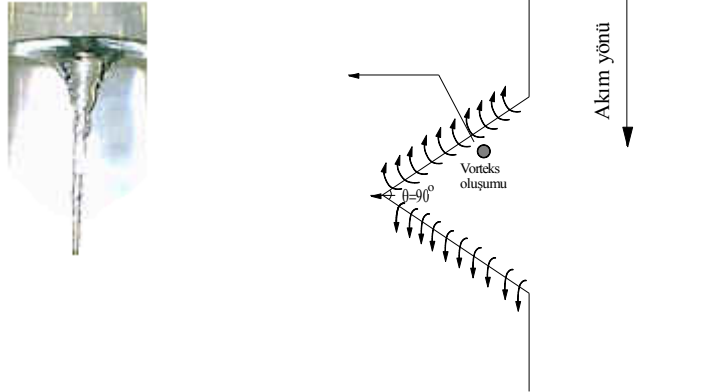
$\alpha=90^\circ$ için $\theta=120^\circ$ ve 150° 'de büyük Froude sayılarında ($Fr>0.80$) ve L/b 'nin büyük değerlerinde labirent yan savaşın memba kısmında hemen hemen 1/5'lik kısmında çok az savaklanma gözlenmiştir (Şekil 4.15). Bu durumda yan savaşın memba ucunda kıyıda ve eksende 2 cm'den fazla nap kalınlığı olduğunu açıkça belirtmekte yarar vardır. Sadece belirtilen kısımda nap yükü ya çok az ya da hiç olmamıştır.



Şekil 4.15. Labirent yan savağın büyük açılarında ve büyük Fr sayılarında yan savağın üzerindeki nap yükü

4.4.2 Labirent Yan Savak Bölgesinde Vorteks Oluşumu

Akım çizgileri yan savağa doğru yönelirken savaklanma hem memba ve hem de mansap kret uzunluğu boyunca olmaktadır. Akım çizgileri, labirent yan savağın kret uzunluğundan savaklanırken akım yönünde olmaktadır. Fakat, memba tarafından savaklanırken akım çizgileri dönmektedir. Böylece vorteks oluşumu memba kısmında meydana gelmektedir (Şekil 4.16).



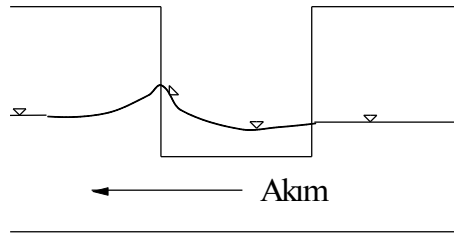
Şekil 4.16. $\theta=90^\circ$ 'de vorteks oluşumu ve yeri

Vorteks oluşumunu etkileyen en önemli parametreler; yan savak uzunluğunun ana kanal genişliğine oranı (L/b), Froude sayısı (Fr), kret yüksekliği (p) ve labirent savak kıvrım açısı (θ) şeklinde sıralanabilir. Vorteks oluşumu veya şiddetini azaltmak mümkündür. Bunun için düşey levhalar kullanılabilir. Bir örnek vermek gerekirse, cetvele

benzer bir levhanın labirent savak teknesi içerisine düşey olarak tutturulması şeklinde temsili bir örnek verilebilir.

4.4.3 Yan Savak Mansap Ucunda Aşırı Su Yükselmesi

$L/b=0.50$ için su yüzü profili çoğunlukla Şekil 4.17’de verildiği gibi olduğu ölçümlerle belirlenmiştir. Memba kısmında bir alçalma ve mansap ucunda ise yükselme gözlenmiştir. Bu profil Froude sayısının artmasıyla daha belirginleşmiştir.



Şekil 4.17 $L/b=0.50$ için su yüzü profilinin aldığı şekil

5. SONUÇLAR

Labirent yan savaklar son birkaç yıldır literatürde yer almaya başlamıştır. Labirent savaklar barajlarda kullanılan ve iyi bilinen bir dolusavak tipidir. Fakat bu hidrolik yapının yan savak olarak kullanılmasına ait araştırmalar oldukça yenidir. Bu yeni yan savak tipinin deşarj kapasitesi, yan savak uzunluğu aynı kalmakla birlikte, klasik yan savaklara göre 2 ile 5 kat daha fazla olmaktadır. Bu nedenle bu tip savakların gelecekte sık kullanılan bir hidrolik yapı olacağı açıktır. Bu çalışmada, bu tip savakların su yüzü profilleri nehir akım rejimi ($Fr < 1$) durumunda; farklı savak uzunlukları, farklı kret yükseklikleri, farklı kıvrım açıları ve farklı Froude sayıları için incelenmiştir. Su yüzü profilleri incelenirken hem ana kanal ekseninde ve hem de kıyı boyunca ölçümler alınmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- 1) Labirent yan savak memba ucunda bir alçalma meydana gelmekte ve sonra su yüzü profili tedrici olarak artmakta ve mansap ucunda maksimuma ulaşmaktadır.
- 2) Nehir akım rejiminde hidrolik sıçrama meydana gelmemektedir. Küçük Froude sayılarında su yüzünde çok hafif dalgalanmalar gözlenmesine karşın, büyük Froude sayılarında su yüzünde daha fazla dalgalanmalar gözlenebilmektedir. Özellikle bu dalgalanmalar, büyük L/b (yan savak uzunluğunun ana kanal genişliğine oranı) oranlarında daha belirgin olmaktadır.
- 3) Labirent savak teknesi üzerinde vorteks oluşmaktadır. Vorteks oluşumu Froude sayısının ve L/b oranının artması ile artmaktadır. Vorteks oluşumunu azaltmanın yolu, labirent savak teknesi üzerine düşey doğrultuda levha veya levhalar yerleştirmektir. Bu şekilde vortekslerin şiddeti azaltılabilir.
- 4) Labirent savaklardaki su yüzü profili, klasik yan savaklar ile karşılaştırıldığında ortaya çıkan en önemli farklılık labirent savağın teknesi üzerinde gözlenen vorteks oluşumudur.

- 5) Klasik dikdörtgen yan savaklarda büyük Froude sayılarında ve düşük nap yüklerinde savaklanma açılı ve düzensiz bir savaklanma şeklinde gözlenmektedir. Fakat aynı koşullarda labirent yan savaklarda savaklanma oldukça düzenli bir şekilde oluşmaktadır.
- 6) L/b 'nin su yüzü profili üzerinde önemli etkisi vardır. Küçük L/b oranlarında yan savağın mansap ucunda ani yükselme gözlenmektedir. Büyük L/b oranlarında özellikle büyük Froude sayılarında su yüzünde büyük dalgalanmalar oluşmaktadır.
- 7) $\alpha=60^\circ$ için $\theta=120^\circ$ ve 150° 'de büyük Froude sayılarında ($Fr>0.80$) ve L/b 'nin büyük değerlerinde labirent yan savağın memba kısmının hemen hemen beşte birlik kısmında az veya hiç savaklanma olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum büyük Froude sayılarında akım çizgilerinin labirent yan savağın ikinci yarısına doğru yönelmesinden kaynaklanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **De Marchi G.**, 1934. Essay on the performance of lateral weirs (in Italian). *L' Energia Electtrica, Milan*, 11(11): 849-860.
- [2] **Coleman, G. S. and Smith, D.**, 1923. "The discharging capacity of side weirs.", *Proc. of the ICE, London*, 6, 288-304.
- [3] **Engels, H.**, 1920. Mitteilungen aus dem Dresdner Flussbau-Laboratorium. *Zeitschrift Des Vereines Deutscher Ingenieure*, (in German). 64(5): 101-106
- [4] **Tyler, R.C., Carolla J.A., Steyskal NA.**,1929. Discharge over side weirs with and without Baffles, *Journal Boston Soc. Civ. Eng.*, 16, 118.
- [5] **Novak, P., Cabelka, J.**, 1981. Models in Hydraulic Engineering, *Pitman Publishing Limited, London*.
- [6] **Nimmo, W.H.R.**, 1928. Side spillways for regulating diversion canals, *Trans., ASCE*, 92:1561- 1584.
- [7]. **Smith, KVH.**, 1974. Computer programming for flow over side weirs, *Journal of Hydraulics Division, Closure, Proc., ASCE*, 100(HY1), 1722-1723.
- [8]. **El-Khashab, A. M. M.**, 1975. Hydraulics of flow over side weirs. Ph.D. thesis, University of Southampton (England).
- [9]. **Shukry, A.**, 1950. Flow around bends in open flume. *Journal of Hydraulic Engineering*, 115: 751-759.
- [10]. **Yen B.C.**, 1977. Experimental investigation of flow over side weirs, *Journal of Hydraulics Division, Discussion; Proc., ASCE*, 103(HY5), 580-581.
- [11]. **El-Khashab., A. M. M. Smith K.V.H.**, 1976. "Experimental investigation of flow over side weirs.", *J. of Hydraul. Div., Proc.*, 102(Hy9), 1255-1268.
- [12]. **Smith, K.V.H.**, 1973. Computer programming for flow over side weirs, *Journal of Hydraulics Division, Proc., ASCE*, 99(HY3), 495-508.
- [13]. **Ranga, Raju., K. G. Prasad, B. Grupta, S. K.**, 1979. Side weir in rectangular channels, *Journal of Hydraulics Division, Proc., ASCE*, 105(HY5), 547-554.
- [14]. **Subramanya., K. Awasthy., S. C.**, 1972. Spatially varied flow over side weirs, *Journal of Hydraulics Division, Proc, ASCE*, 98(HY1), 1-10.
- [15]. **Kumar., C. P. Pathak., S. K.**, 1987. Triangular side weirs, *J Irrig Drainage Eng ASCE* 113(1), 98-105

- [16]. **Ramamurthy, AS., Carballada L.**, 1980. "Lateral weirs flow model", *J. of Irrig. Drain. Eng.*, 112(2), 130-137.
- [17]. **Chao JL., Trussel RR.**, 1980. Hydraulic design of flow distribution channels, *Journal of Environmental Engineering Division, ASCE*, 106(E2), 321-333.
- [18]. **Jain, SC., Fischer EE.**, 1982. Uniform flow over skew side weir, *Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE*, 108(2), 163-166.
- [19]. **Uyumaz, A.**, 1982. Yan savaklardaki akımın teorik ve deneysel incelenmesi, (*Doktora Tezi*), *İTÜ Fen Bilimleri Ens.*, İstanbul.
- [20]. **Ramamurthy, A.S., Satish MG.**, 1986. Discharge characteristics of flow past a flor slot, *Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE*, 112(1):20-27,
- [21]. **Uyumaz, A., Smith R.H.**, 1991. Design procedure for flow over side weirs, *Journal of Irrigation Drainage Engineering, Proc., ASCE*, 119(7), 79-90.
- [22]. **Cheong, H. F.**, 1991. Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel, *Journal of Irrigation Drainage Engineering, Proc., ASCE*, 117(4), 321-333.
- [23]. **Swamee, P. K., Santosh, K. P., Masoud, S. A.**, 1994. Side weir analysis using elementary discharge coefficient, *J Irrig Drainage Eng ASCE* 120(4), 742-755.
- [24]. **Uyumaz, A.**, 1993. Side weir in triangular channel, *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 118, 965-970.
- [25]. **Hager, W. H.**, 1994. Supercritical flow in circular-shaped side weirs, *J Irrig Drainage Eng ASCE* 120(1), 1-12.
- [26]. **Singh, R., Manivannan, D., Satyanarayana, T.**, 1994. Discharge coefficient of rectangular side weirs, *Journal of Irrigation Drainage Engineering, Proc., ASCE*, 120(4), 814-819.
- [27]. **Tozluk, H.**, 1994. Yan savak akımının hesabı için nümerik bir yaklaşım, (*Doktora Tezi*), *İTÜ Fen Bilimleri Ens.*, İstanbul.
- [28]. **Pinheiro, A.N., Silva I.N.**, 1999. Discharge coefficieent of side weirs; Experimental study and comparative analysis of different formulas, *IAHR Congress*, Graz, Austria,
- [29]. **Khorchani, M. and Blanpain, O.**, 2004. Free surface measurement of flow over side weirs using the video monitoring concept, *Flow Measurement and Instrumentation*, 15, 111-117,
- [30]. **Yüksel, E.**, 2004. Effect of specific variation on lateral overflows. *Flow Measurement and Instrumentation*; 15(5-6): 259-269.

- [31]. **Yu-Tech, L.**, 1972. Discussion of spatially varied flow over side weir, *Journal Hydraulic Engineering, ASCE*, 98(11), 2046-2048.
- [32]. **Nandesamoorthy T., Thomson A.**, 1972. Discussion of spatially varied flow over side weir. *ASCE Journal of the Hydraulics Division*; 98(12): 2234-2235.
- [33]. **Hager., W. H.**, 1987. Lateral outflow over side weirs. *J Irrig Drainage Eng ASCE* 113(4), 491-504.
- [34]. **Borghei, M., Jalili M. R., Ghodsian M.**, 1999. Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(10), 1051-1056.
- [35]. **Agaccioglu, H., Yüksel Y.**, 1998. Side-weir flow in curved channels. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*; 124(3): 163-175.
- [36]. **Coşar, A., Agaccioglu, H.**, 2004. Discharge coefficient of a triangular side weir located on a curved channel. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE* 130(5): 410-423.
- [37]. **Ağaccioğlu, H.**, 1995. Yan Savaklardaki Akımın Kıvrımlı Bir Kanal Boyunca İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 165s, İstanbul.
- [38]. **Coşar, A.** 1999. Üçgen kesitli yan savakların kıvrımlı bir kanal boyunca incelenmesi, (*Doktora tezi*), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 191s.
- [39]. **Fares, Y.R., Herbertson., J.G.**, 1993. Comportement de l'écoulement dans un canal courbe avec un deversior lateral alimentant un canal évacuateur de crue. *Journal of Hydraulic Research*, 31(3): 383-401.
- [40]. **Frazer, W.**, 1957. The behavior of side weirs in prismatic rectangular channels, *Proc. Inst. of Civ. Engrs*, 6, London, England, 305-327.
- [41]. **De Verient, H. J.**, 1973. Theory of viscos flow in wide curved open channels, *Proceeding of the International Symp. On River Mech.*, International Association for Hydraulics Research, Bangkok, Thailand,
- [42]. **Emiroğlu, E. M., Kaya, N ve Öztürk, M.**, 2007. Labirent yan savaklardaki akımın ve su alma bölgesindeki oyulmanın kıvrımlı bir kanal boyunca incelenmesi. Tübitak Projesi No:104M394, Elazığ.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Van ili Merkezinde doğdu. İlkokulu Cumhuriyet ilkokulu, Ortaokul ve Lise öğrenimini 1999 yılında Kazım Karabekir lisesinde tamamladı. 2001 yılında Dicle Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. 2005 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2005 yılında Van İl Özel İdaresi'nde kontrol mühendisi olarak çalıştı. 2007 yılında kendi şirketini kurup altyapı ve üstyapı işleri yaptı. 2008 yılında Muş Alparslan Üniversitesi'nde Öğretim görevlisi olarak göreve başladı. Halen Muş Alparslan Üniversitesi'nde Öğretim Görevlisi olarak görevini sürdürmektedir.

Adres: Muş Alparslan Üniversitesi
Meslek Yüksekokulu
49100 Merkez- Muş

Telefon: 0 535 654 27 75

E-Posta: fatihsevgin65@gmail.com