

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

**HAREKETLİ TABANLI KIVRIMLI BİR KANALA
YERLEŞTİRİLEN LABİRENT YAN SAVAKLARIN
TABAN TOPOĞRAFYASINA ETKİSİ**

Nida BAŞGÜN

**Tez Yöneticisi
Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ELAZIĞ, 2007

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAREKETLİ TABANLI KIVRIMLI BİR KANALA YERLEŞTİRİLEN
LABİRENT YAN SAVAKLARIN TABAN TOPOĞRAFYASINA ETKİSİ**

Nida BAŞGÜN

Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, 08/10/2007 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği ile başarılı/başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU

Üye: Doç. Dr. Ubeyde İPEK

Üye: Yrd. Doç. Dr. Nihat KAYA

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAREKETLİ TABANLI KIVIRIMLI BİR KANALA YERLEŞTİRİLEN LABİRENT YAN SAVAKLARIN TABAN TOPOĞRAFYASINA ETKİSİ

Nida BAŞGÜN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2007, Sayfa: 104

Yan savaklar, herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin temin edilmesi veya fazla suyun uzaklaştırılması için sulama, arazi drenajı ve kanalizasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılır. Ancak, kıvrımlı kanallara yerleştirilen yan savakların temiz su oyulması ilgili herhangi bir çalışma mevcut değildir.

Bu çalışma yan savak bölgesine yerleştirilen 30° eğimli kanalın kıvrımlı kısmında yerel temiz su oyulması derinliğine dayanmaktadır. Yan savak olarak labirent savak kullanılmıştır. Savak kreti olarak tanımlanan bir labirent savak planda düz değildir. Labirent savak açısı 90° olarak alınmıştır. Deneyler, nehir rejimli akım şartlarında ve serbest savaklanma durumunda hareketli tabanlı bir kıvrımlı kanalda labirent savaklar için gerçekleştirilmiştir. Boyut analizi sonucunda rölatif denge oyulma derinliği H_d/p 'nin; rölatif akım şiddeti V_1/V_{kr} , savak kret yüksekliği h_1/p , yan savak uzunluğu L/b ve θ boyutsuzlarına bağlı olduğu bulunmuştur. Kıvrımlı kanalda 30° kıvrım açısında temiz su oyulması ($0.5 < V_1/V_{kr} < 1$) haline H_d/p 'nin V_1/V_{kr} değişimi deneysel olarak incelenmiştir.

Yapılan deneylerden, kret yüksekliğinin düşmesi ile temiz su oyulma derinliğinin arttığı gözlenmiştir. Oyulma çoğunlukla labirent savağın mansap ucunda gözlenmiştir. V_1/V_{kr} oranının artması ile maksimum oyulma derinliği de artmıştır. Savak bölgesinin mansabında savaktan sonra birikmeler gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yan savak, temiz su oyulması, hareketli taban, kıvrımlı kanal.

ABSTRACT

MSc Thesis

THE EFFECT OF LABIRINTH SIDE WEIRS LOCATED CURVED OPEN CHANNEL WITH LIVE BED ON BED TOPOGRAPHY

Nida BAŞGÜN

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

2007, Page:104

Side weirs, also known as lateral weirs, are widely used in irrigation, land drainage, urban sewerage systems by flow diversion or intake devices. Side weirs located on straight channels have attracted considerable interest and research effort. But, It is not available a study for clear water scour of labyrinth side weirs located on curved channels.

The present study focuses on the local depth of clear water scour at a side weir intersection located on the curved channel for labyrinth weirs in movable bed at 30° and 150° angle of bed center. Labyrinth weir was used as a side weir. A labyrinth weir is defined as a weir crest that is not straight in plan form. Labyrinth weir apex angle is taken as 90° . Investigations carried out in a curved channel which has movable bed for labyrinth weirs and subcritical flow conditions. As a result of dimensional analysis, it is found that the dimensionless equilibrium scour depth (H_d/p) depends on the dimensionless parameters of velocity V_1/V_{kr} , depth h_1/p , length L/b and bend angle of θ . The dimensionless equilibrium scour depth (H_d/p) versus V_1/V_{kr} is experimentally investigated for clear water scour ($0.5 < V_1/V_{kr} < 1$) at curved channels which has 30° angle.

Investigations showed that clear water scour depth increases when the crest depth decrease. Generally, maximum scour created at the end of the downstream of labyrinth weir. With the increase of V_1/V_{kr} , maximum scour depth increased too. Accumulation was shown at the downstream of the weir region.

Keywords: Side weir, clear water scour, live bed, curved channel.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı yöneten ve çalışmanın her aşamasında ilgi ve desteğini esirgemeyen hocam Doç. Dr. M. Emin Emiroğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince ilgi ve desteğini esirgemeyen değerli görüş ve tavsiyelerinden büyük ölçüde istifade ettiğim sayın Yrd. Dr. Nihat Kaya'ya (Fırat Üni.), Prof. Dr. Hayrullah Ağaçcıoğlu'na (Yıldız Teknik Üni.) ve Yrd. Doç. Dr. Fevzi Önen'e (Dicle Üni.) teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca manevi desteklerini esirgemeyen Hidrolik Anabilim Dalının tüm elemanlarına ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XII
SİMGELER LİSTESİ	XIII
1. GİRİŞ	1
2. YAN SAVAKLARIN HİDROLİĞİ VE KONUYLA İLGİLİ LİTERATÜR	2
2.1. Yan Savaklarla İlgili Literatür Özeti	7
3. LABİRENT SAVAKLAR VE UYGULAMALARI	44
3.1. Giriş	44
3.2. Labirent Savakların Uygulamaları	46
3.2.1 Ritschard Barajı (ABD)	46
3.2.2 Sarıoğlan Barajı (Türkiye)	48
3.2.3 Kızılcıpınar Barajı (Türkiye)	49
3.2.4. Avon Barajı (Avustralya)	50
3.2.5. Hyrum Barajı (A.B.D)	51
3.2.6 Ute Barajı (A.B.D)	52
4. KATI MADDE HAREKETİ	54
4.1. Giriş	54
4.2. Hareketin Başlaması	55
4.3. Taban Şekilleri	59
4.4. Katı Madde Ölçüm Teknikleri	60
4.4.1 Örnek Alma Sureti ile Yapılan Ölçümler	61
4.4.2 Gözlemsel Ölçümler	61
4.4. Oyulmanın Zamanla Değişimi	61
5. DENEY DÜZENİĞİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA	65
5.1. Giriş	65
5.2. Deney Seti	65

5.2.1. Su Temin Borusu ve Debimetre	65
5.2.2. Deney Kanalını Besleyen Dinlendirme Havuzu	66
5.2.3. Savaktan Sonraki Dinlendirme Havuzu	66
5.2.4. Deney Kanalı	66
5.2.4.1. Yaklaşım Kanalı	66
5.2.4.2. Kıvrımlı Kanal	66
5.2.4.3. Doğrusal Çıkış Kanalı	66
5.2.4.4. Yan Savaktan Ayırma Duvarı	66
5.2.4.5. Toplama kanalı	67
5.2.4.6. Boşaltım Havuzu	67
5.2.4.7. Boşaltım Havuzuna Bağlı Kanal	67
5.2.4.8. Hareketli Seviye Ölçüm Arabası	68
5.3. Giriş Debisinin Ölçülmesi	71
5.4. Toplama Kanalı Sonundaki Dikdörtgen Savak Anahtar eğrisinin Elde Edilmesi	71
5.5. Deneysel Çalışmada Olaya Etkili Parametrelerin Belirlenmesi	72
5.6. Boyut Analizi	73
5.7. Deneysel Çalışma	75
5.8. Taban Malzemesinin Kritik Hızlarının Tayini	76
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	77
6.1. Giriş	78
6.2. Konu ile İlgili Çalışmalar	78
6.3. Deney Düzeneği ve Deneylerin Yapılışı	80
6.4. Hareketli Tabanlı Akarsularda Labirent Yan Savak Bölgesinde Oluşan Temiz Su Oyulması	82
6.4.1 Hareketli Tabanlı Kıvrımlı kanallarda Yanal Akımın Taban Profiline Etkisi	87
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	100
7.1 Temiz Su Oyulması	100
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŞ	104

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 (a-e) Su yüzü profillerinin muhtemel tipleri	2-3
Şekil 2.2 Sabit özgül enerjili kanal akımı durumunda derinlik ve kanal debisi arasındaki ilişki (De Marchi, 1934)	4
Şekil 2.3 $\phi(h/E)$ fonksiyonunun. p/E parametresinin çeşitli değerleri için değişimi (De Marchi, 1934)	7
Şekil 2.4 Deneysel olarak gözlenen su yüzü profilleri (Engels (1920), Coleman ve Smith (1923), Tyler, Carollo ve Steyskal (1929))	8
Şekil 2.5 Yan savak boyunca meydana gelen sıçrama hali (Frazer 1954)	12
Şekil 2.6 Daire enkesitli kenarlardaki yan savak genel görünüşü (Allen, 1957)	15
Şekil 2.7 Nehir rejimli akım şartlarında C_d yan savak debi katsayısının Fr_1 ile değişimi (Subramanya ve Awasthy, 1972)	18
Şekil 2.8 Sel rejili akım şartlarında C_d yan savak debi katsayısının Fr_1 ile değişimi (Subramanya ve Awasthy, 1972)	19
Şekil 2.9 Yanal akım sebebiyle kanal enkesitindeki akımın hareketi (El-Khashab, 1975)	22
Şekil 2.10 Yanal akım sebebiyle kanal enkesitinde oluşan sekonder akım (El-Khashab, 1975)	22
Şekil 2.11 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi (El-Khashab, 1975)	23
Şekil 2.12 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda sel akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi (El-Khashab, 1975)	23
Şekil 2.13 Ana kanala dik bir kol bağlanması durumunda yan savağın genel görünüşü (a) Plan (b) Kesit (R.Raju, Prasad ve Grupta 1979)	26
Şekil 2.14 Dikdörtgen Prizmatik debi dağıtım kanalı genel görünüşü (Chao ve Trussel, 1980)	27
Şekil 2.15 Üniform debi dağılımı için üniform daralan debi dağılım kanalı genel görünüşü (Chao ve Trussel 1980)	28
Şekil 2.16 Enkesit genişliği yan savak boyunca tedricen daralan kanala yerleştirilen Yan savağın plan ve kesiti (Jain ve Fischer, 1981)	29

Şekil 2.17 Trapez enkesitli bir kanalda trapez en kesitli yan savak görünüşü (a) Plan, (b) Kesit, (c) Görünüş (Ramamurthy ve diğ., 1986)	31
Şekil 2.18 Yan savak görünüşü (a) Plan, (b) Kesit (Kumar ve Pathak, 1987)	33
Şekil 2.19 Yan savak genel görünüşü (Swamee ve diğ., 1994)	36
Şekil 2.20 Savak enkesiti ve plan [12]	37
Şekil 2.21. Doğrusal kanalda farklı L/b oranları için yan savak debi katsayısının Subramanya ve Awasthy denklemiyle karşılaştırılması (Ağaçcıoğlu, 1995)	39
Şekil 3.1 East Park Barajı Labirent Dolusavağı, California	44
Şekil 3.2 Üçgen ve Trapez Labirent Savakların Geometrik Şekilleri	45
Şekil 3.3 Labirent Savakların Mansabındaki Akımın Görünüşü	45
Şekil 3.4 Ritschard Barajı Dolusavak Genel Yerleşim Planı (Vermeyen, 1991)	47
Şekil 3.5 Ritschard Barajı Ana Dolusavak ve Labirent Tipi Yardımcı Dolusavağı (Vermeyen, 1991)	47
Şekil 3.6 Sarıoğlan Barajı Labirent Tipi Dolusavak Yerleşim Planı, Kesit ve Detayı (Falvey, 2003)	48
Şekil 3.7 Kızılcapınar Barajı Labirent Dolusavak Yerleşim Planı, Kesit ve Detayı (Falvey, 2003)	49
Şekil 3.8 Avon Barajı Labirent Dolusavak Yerleşim Planı ve Savak Detayı (Falvey, 2003)	50
Şekil 3.9 Hyrum Barajı Labirent Dolusavağı Yerleşim Planı ve Kesiti (Falvey, 2003)	51
Şekil 3.10 Ute Barajı Labirent Dolusavağı Yerleşim Planı (Falvey, 2003)	52
Şekil 3.11 Ute Barajı	53
Şekil 4.1 Üniform bir kanalın birim boyunda etkili kuvvetler (Bayazit, 1971)	56
Şekil 4.2 Shields diyagramı (Shields, 1936)	57
Şekil 4.3 Kum Dalgacıkları	59
Şekil 4.4 Eşikler	59
Şekil 4.5 Yıkanmış eşikler	59
Şekil 4.6 Düz Yatak	60
Şekil 4.7 Ters Eşikler	60
Şekil 4.8 Göller ve Düşümler	60
Şekil 4.9 Oyulma derinliğinin zamanla değişimi (Tsujimoto ve Mızukami, 1985)	62
Şekil 4.10 Oyulma derinliğinin akım hızı ve zamanla değişimi (Melville ve Chiew, 1999)	63
Şekil 4.11 Temiz su oyulması halinde oyulma derinliğinin gelişimi (Melville ve Chiew, 1999)	64

Şekil 4.12 (4.5) denklemine göre oyulma derinliğinin gelişimi (Melville ve Chiew, 1999)	64
Şekil 5.1 Üniform bir kanalın birim boyunda etkili kuvvetler (Bayazıt, 1971)	67
Şekil 5.2 Hareketli seviye ölçüm arabası	68
Şekil 5.3 Deney teorisi plan ve kesitleri, tüm ölçüler metre cinsindendir	68-69-70
Şekil 5.4 Giriş debisi ölçen elektromanyetik debi metre	71
Şekil 5.5 Giriş debisinin ayarladığı debi metrenin ön kısmındaki vana	71
Şekil 5.6 Dikdörtgen savak anahtar eğrisi	72
Şekil 5.7 Taban malzemesinin granülometri eğrisi	76
Şekil 6.1 $L/b=1$ ve $p=7$ cm'lik yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi	79
Şekil 6.2 Deney düzeneği	81
Şekil 6.3 Kıvrımlı kanalda $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi	83
Şekil 6.4 Kıvrımlı kanalda $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi	83
Şekil 6.5 Kıvrımlı kanalda $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi	84
Şekil 6.6 Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi	85
Şekil 6.7 Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi	86
Şekil 6.8 Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi	87
Şekil 6.9 Topograf ölçümleri alınan noktaların gösterimi	88
Şekil 6.10 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.7951$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.14$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	89
Şekil 6.11 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.74971$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.14$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	90
Şekil 6.12 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.8729$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.14$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	90
Şekil 6.13 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.6722$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.24$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	91
Şekil 6.14 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.7468$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.24$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	91

Şekil 6.15 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.8729$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.24$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	92
Şekil 6.16 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.5355$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.32$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	92
Şekil 6.17 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.7090$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.32$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	93
Şekil 6.18 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.8214$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.32$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	93
Şekil 6.19 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.5786$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.14$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	94
Şekil 6.20 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.6919$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.14$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	95
Şekil 6.21 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.7951$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.14$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	95
Şekil 6.22 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.6732$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.24$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	96
Şekil 6.23 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.7468$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.24$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	96
Şekil 6.24 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.8729$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.24$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	97
Şekil 6.25 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.5355$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.32$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	97
Şekil 6.26 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.7090$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.32$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	98
Şekil 6.27 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.8214$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.32$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).	99

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Savak katsayıları (Collinge, 1957)	17
Tablo 2.2 Savak boyutları ve akım karakteristikleri	32
Tablo 2.3 Nehir rejimli akım için doğrusal kanallarda yan savak debi katsayısıyla ilgili denklemler (Ağaçcıoğlu ve Yüksel, 1998)	41
Tablo 4.1 Katı madde hareketinde fiziksel büyüklükler	56
Tablo 5.1 Yan savak akımına etki eden parametreler	72
Tablo 5.2 Yan savak katsayısına etki eden parametreler için boyut analizi	74
Tablo 5.3 Yan savak katsayısına etki eden boyutsuz parametreler	74

SİMGELER LİSTESİ

A	Ana kanal ıslak kesit alanı (m^2)
b	Ana kanal genişliği (m)
b_s	Su yüzü genişliği (r_0-r_i)
b_d	Daralma oranı
b_f	Yaklaşım kanalı mansap genişliği (m)
b_0	Yaklaşım kanalı memba genişliği (m)
b_{ns}	Bağımlı direnç katsayısı
c	İntegral sabiti
C	Chezy katsayısı
C_e	Yersel teğetsel su yüzü eğimi katsayısı
C_d	Yan savak debi katsayısı
C_f	Sürtünme katsayısı
C_r	Yersel enine su yüzü eğimi katsayısı
C_s	Kabarma katsayısı
D	Silindirik ayak çapı (m)
D^*	Boyutsuz malzeme çapı
d	Volümetrik katı madde çapı
d_0	Katı maddenin başlangıçtaki medyan çapı
d_{50}	Malzemenin yüzde ellisini geçiren elek çapı (Medyan çap, mm)
d_{60}	Malzemenin yüzde altmışını geçiren elek çapı
d_{90}	Malzemenin yüzde doksanını geçiren elek çapı
E	Herhangi bir kesitteki özgül enerji yüksekliği (m)
F_D	Sürüklenme kuvveti,
F_L	Kaldırma kuvveti,
Fr	Froude sayısı,
Fr_1	Yan savak başlangıcındaki Froude sayısı
Fr^*	Tane Froude sayısı
g	Yerçekimi ivmesi (m^2/s)
h	Herhangi bir kesitteki akım derinliği (m)
h_a	Bir en kesitteki ortalama su derinliği (m)
h_1	Yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
h_2	Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
h_{kr}	Kritik akım halinde su derinliği (m)
h_L	Yan savak boyunca meydana gelen yük kaybı (m)
h_m	Ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
h_0	Başlangıç akım derinliği (m)
h_r	Rölatif yük (Savak üzerindeki nap kalınlığı /Toplam su derinliği)
h_w	Rölatif savak yükü
H_d	Oyulma derinliği (m)
H_{de}	Denge zamanındaki oyulma derinliği (m)
H_0	Su yüzeyindeki boyuna değişim (m)
H_{re}	En kesitteki iki nokta arasındaki su yüzü farkı (m)
H_s	Su yüzündeki yanal değişim (m)
J	Enerji çizgisi eğimi
J'	Teğetsel enerji gradyanı

J_0	Teğetsel su yüzü eğimi
J''	Radyal enerji gradyanı
J_{kr}	Kritik taban eğimi
J_0	Ana kanal taban eğimi
J_r	Radyal doğrultuda su yüzü eğimi
k	Pürüz yüksekliği
K	Su yüzü yanal değişim katsayısı
K_0	Rölatif yan savak debi katsayısı
L	Yan savak uzunluğu (m)
L_s	Kalın kenarlı savak uzunluğu (m)
n	Manning sürtünme katsayısı
p	Yan savak kret yüksekliği (m)
P	Islak çevre (m)
Q_r	Savaklanma oranı
Q_w	Yan savak debisi (m^3/s)
Q_1	Ana kanal debisi (m^3/s)
Q_2	Yan savaktan sonraki ana kanal debisi (m^3/s)
Q_s	Katı madde (sediment) debisi (m^3/s)
q_r	Birim genişlikte enine doğrultudaki katı madde oranı
q_s	Birim uzunluktan savaklanan debi ($m^3/s.m$)
q_w	Yan savaktan savaklanma oranı (%)
$q_{T(B)}$	Tabanın geometrisine bağlı olarak taşıma kapasitesi,
$q_{T(S)}$	O kesite membadan gelen katı madde miktarı,
r	Kıvrım eğrilik yarıçapı (m)
r_i	İç kıyı eğrilik yarıçapı (m)
r_0	Dış kıyı eğrilik yarıçapı (m)
r_e	Kanal eksen eğrilik yarıçapı (m)
R	Hidrolik yarıçapı (m)
Re	Reynolds sayısı
Re_*	Tane Reynolds sayısı
S	Batmış tane özgül ağırlığı $((\gamma_s - \gamma)/\gamma)$
S_{xy}	Helikoidal akımın gücü (%)
t	zaman (dakika)
t_e	Denge zaman
τ	Kayma gerilmesi (N/m^2)
τ_{kr}	Kritik kayma gerilmesi (N/m^2)
τ_o	Taban kayma gerilmesi (N/m^2)
τ_r	Radyal yöndeki kayma gerilme
τ_{0r}	Taban Kayma gerilmesinin enine bileşeni
τ_{00}	Taban Kayma gerilmesinin boyuna bileşeni
U_b	Kayma (Slip) hızı
u_*	Taban kayma hızı (m/s)
u_{*e}	Kanal eksenindeki kayma hızı (m/s)
u_{*r}	Radyal yöndeki ortalama kayma hızı
u_{*kr}	Kritik kayma hızı (m/s),
V	Ana kanaldaki ortalama akım hızı (m/s)
V_a	Bir en kesitteki ortalama hız (m/s)
V_{ac}	Bir düşey üzerindeki ortalama hızın ortalama teğetsel bileşeni
V_0	Su yüzeyindeki boyuna hız (m/s)

V_{θ}	Kıvrımda teğetsel (boyuna) hız bileşeni (m/s)
$V_{\theta b}$	Kanal tabanındaki teğetsel hız (m/s)
V_e	Kanal eksenindeki derinlik boyunca ortalama hız (m/s)
V_m	Doğrusal kanalda ortalama hız
$V_{\theta m}$	Akım derinliklerine göre ortalama teğetsel hız (m/s)
V_l	Yan savak membasında ana kanal eksenindeki ortalama akım hızı (m/s)

1. GİRİŞ

Savaklar; hidrolik mühendisleri tarafından debi ölçümü ve taşkın kontrolü gibi amaçlar için yüzyıllardır kullanılan en eski ve kullanım açısından en basit hidrolik yapılardandır. Farklı savak tiplerinin tanımının birbirine benzer olmasına rağmen 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. Birleşik sistemlerde yağmur suyu ve atıksu birlikte taşınmaktadır. Ana kollektördeki temiz olan fazla yağmur suyu yan savaklar yardımıyla alıcı ortama direkt olarak verilmektedir. Böylece arıtma tesisinin yükü azaltılmış olur.

Vadi yamaçlarından geçirilen kanallarda yüzeysel akış etkisiyle meydana gelecek fazla debi de yan savaklar yardımıyla uzaklaştırılmaktadır. Ayrıca 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.

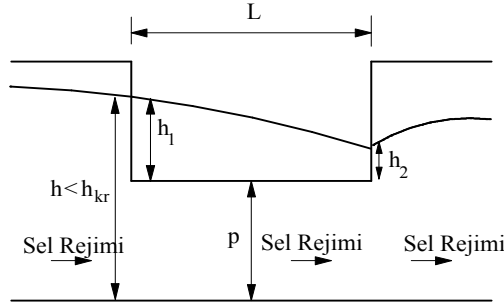
Yan savakların farklı enkesit tipleri mevcuttur. Yan savaklar dikdörtgen, trapez veya dairesel kanalların yan duvarlarına farklı enkesitlerde inşa edilirler. Bunları dikdörtgen, üçgen, trapez ve dairesel yan savaklar olarak saymak mümkündür. Bu yan savaklar ana kanalın yanına inşa edilirken ana kanal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

Yan savakların debi katsayısı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Fakat savak bölgesindeki oyulma ile ilgili çok az sayıda (birkaç tane) çalışma mevcuttur. Literatürde, çalışmalar temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması şeklinde yürütülmektedir. Bu çalışmada sadece temiz su oyulması incelenecektir. Hareketli tabanlı açık kanallarda labirent yan savakların savak bölgesinde oyulma ile ilgili literatürde herhangi bir çalışma mevcut değildir.

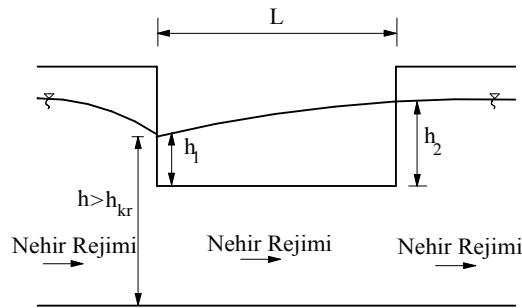
2. YAN SAVAKLARIN HİDROLİĞİ VE KONUYLA İLGİLİ LİTERATÜR

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.

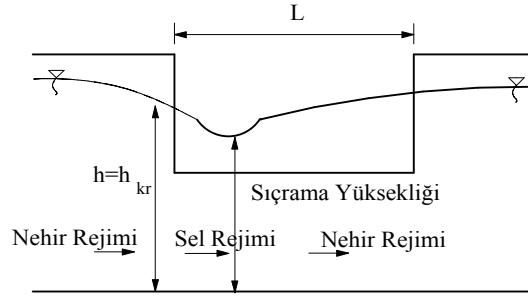
- a- Savak başlangıcında veya yakınında kritik akım şartları meydana gelir. Akım savak boyunca sel rejimindedir ve su derinliği savak üzerinde azalır (Şekil 2.1.a).
- b- Savak başlangıcında su derinliği kritik derinlikten büyüktür. Akım savak boyunca nehir rejimindedir ve su derinliği savak boyunca gittikçe 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).



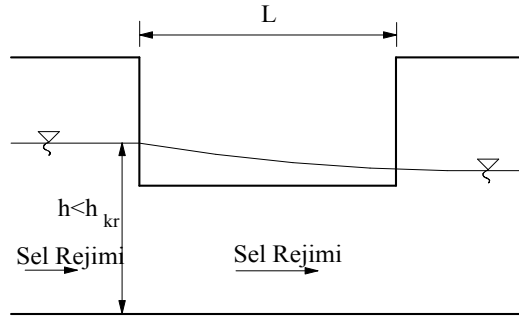
Şekil 2.1.a



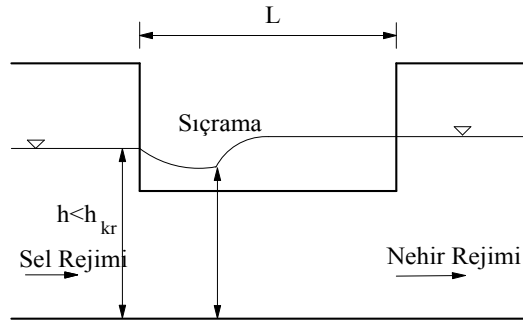
Şekil 2.1.b



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.

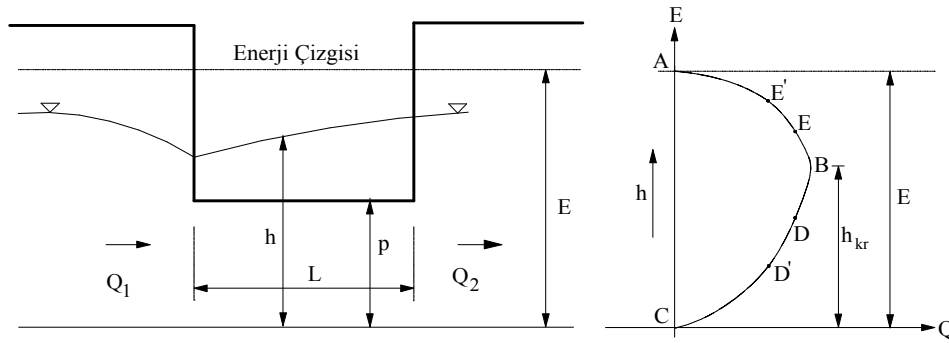
$$\frac{dQ'}{dx} = C_d \sqrt{2g} (h - p)^{3/2} \quad (2.1)$$

Burada; Q' = yan savak debisi, C_d = debi katsayısı, g = yerçekimi ivmesi, h = su yüksekliği, p = kret yüksekliği'dir.

- Enerji çizgisi kanal tabanına paraleldir.

Buradan, kısa yan savak ya da kanaldaki akım derinliğinin değişmediğinin varsayıldığı anlamı çıkarılmalıdır.

Buradan, kısa yan savak ya da kanaldaki akım derinliğinin değişmediğinin 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 alınır,

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

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 $(V < \sqrt{2bh})$ dh/dx'in pozitif değerinde, 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 hızıdır.

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, (2.7) 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,

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

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,

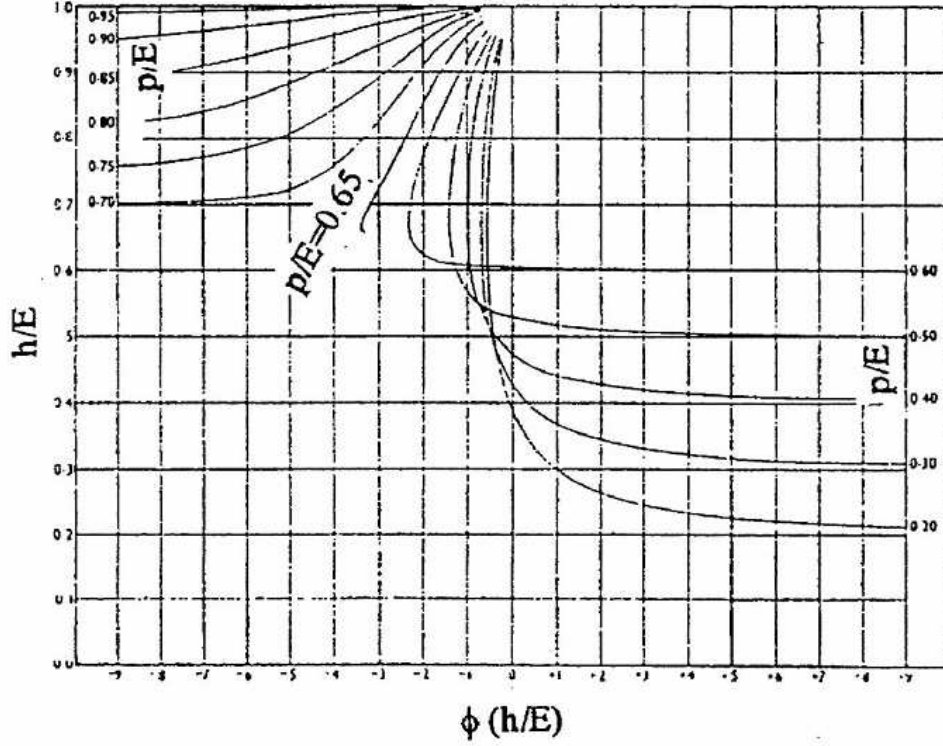
$$x_2 - x_1 = \frac{b}{C_d} \left\{ \left[\frac{2E-3p}{E-p} \sqrt{\frac{E-h_2}{h_2-p}} - 3 \text{Arc sin} \sqrt{\frac{E-h_2}{h_2-p}} \right] - \left[\frac{2E-3p}{E-p} \sqrt{\frac{E-h_1}{h_1-p}} - 3 \text{Arc sin} \sqrt{\frac{E-h_1}{h_1-p}} \right] \right\} \quad (2.13)$$

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 da 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]

2.1. Yan Savaklarla İlgili Literatür Özeti

Yan savak ile ilgili çok sayıda bilimsel çalışmalara ulaşılmıştır. Bunlar aşağıda özetlenmiştir.

Parmley [2], yapmış olduğu çalışmalar sonucunda sel rejimli akım şartları için yan savak uzunluğunu veren ifadeyi aşağıdaki gibi bulmuştur.

$$L = 0.106bV\sqrt{g}\left[\sqrt{\left(\frac{I}{h_2 - p}\right)} - \sqrt{\left(\frac{I}{h_1 - p}\right)}\right] \quad (2.15)$$

Burada; L: Yan savak uzunluğu (m), b: Ana kanal genişliği (m), V: Ana kanaldaki ortalama akım hızı (m/sn), h_1 : Yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği (m), h_2 : Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği (m), p: Savak eşik su yüksekliği (m).

Bu denklem deneysel çalışmalarla karşılaştırıldığında $(h_2 - p)$ teriminin küçülmesi durumunda L yan savak uzunluğu sonsuza gittiğinden $(h_2 - p)$ teriminin minimum 19 mm alınması önerilmiştir.

Engels [3], araştırmacı yaptığı deneysel çalışmalarda yan savaklar üzerindeki su yüzü profillerini gözlemleyerek yan savaktan savaklanan debi için;

$$Q' = C_d \sqrt{2g} L^{0.83} (h_2 - p)^{1.67} \quad (2.16)$$

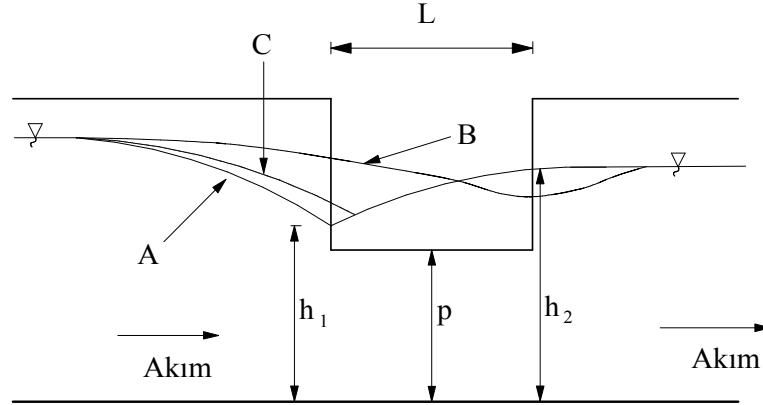
formülünü vermiştir. Deneyler dikdörtgen enkesitli kanallarda gerçekleştirilmiştir. Burada; Q' : Yan savak debisi (m^3/s).

Araştırmacının vermiş olduğu (2.16) eşitlik sabit genişlikli dikdörtgen kanallar için geçerlidir. Araştırmacı ayrıca yan savak uzunluğu boyunca kanal genişliğini tedricen azalan dikdörtgen enkesitli kanallar için ise;

$$Q' = C_d \sqrt{2g} L^{0.90} (h_2 - p)^{1.60} \quad (2.17)$$

ifadesini vermiştir. Deneysel çalışmalarını nehir rejimli akım şartlarında yaptığından yukarıda verilen ifadeler nehir rejimli akım şartları için geçerlidir. Su yüzü profillerinin yan savak memba kesitinden kısa bir mesafe önce azalmaya başladığını ve yan savak girişinden itibaren ise arttığını gözlemlemiştir (Şekil 2.4, A Profili).

Coleman ve Smith [4], 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.



Şekil 2.4 Deneysel olarak gözlenen su yüzü profilleri [3, 4 ve 5]

Coleman ve Smith [4], 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 hız'dır.

(2.84) denkleminde $(h_2 - p)$ teriminin 19 mm.den daha az alınmaması gerektiği belirtilmiştir. Çünkü denklemden görüleceği gibi $(h_2 - p)$ terimi küçüldükçe L yan savak uzunluğu sonsuza gitmektedir.

Nimmo [6], 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 sayısı.

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 katsayısı

Nimmo [6] ayrıca (2.87) ifadesinin kanalın yatay ($J=J_0$) ve sürtünme yük kayıplarının ihmal edilebileceği kabulü ile;

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

şeklinde basitleştirilebileceğini belirtmiştir.

Tyler Steyskal ve Carollo [5], dalgıç perdeli ve perdesiz yan savak tipleri üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalar sonucu Engels'in elde ettiği su yüzü profiline benzer şekilde su yüzü profili gözlemlemişler fakat minimum derinliğin yan savak başlangıcından sonra meydana geldiğini deneysel

alışmalar sonucu bulmuşlardır. Engels [3]'in çalışmalarında elde ettiği formüllerin de uygun olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 2.4. C Profili). Tyler Steyskal ve Carollo [5], yaptıkları çalışmalarda dalgıç perdenin yan savak debisini arttırıcı bir etki yaptığını ve dalgıç perdenin ana kanalla 90°'lik açı yapacak şekilde yerleştirilmesi durumunda bu etkinin maksimum olacağını ifade etmişlerdir. Bu etkinin % 20–30 oranında olduğunu tespit etmişlerdir.

Forchheimer [7], özgül enerjinin sabit olduğu kabulü ile yan savak memba ve mansap su derinlikleri arasındaki farkı veren bağıntıyı şu şekilde bulmuşlardır.

$$(h_2 - h_1) = \frac{Q^2 - Q_c^2}{2gA^2} - \left[\frac{Q + Q_c}{2A} \right]^2 \frac{n^2}{R^{1.4}} L \quad (2.23)$$

Burada; Q: Ana kanal debisi (m³/sn), Q_c: Yan savaktan sonraki ana kanal debisi (m³/sn), n: Manning pürüzlülük katsayısı, R: Hidrolik yarıçap.

De Marchi [1], yan savaklar için aşağıdaki kabulleri yaparak konuyu incelemiştir.

- 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.

$$\frac{dQ'}{dx} = C_d \sqrt{2g} (h - p)^{3/2} \text{ dir.} \quad (2.24)$$

Burada; Q' = yan savak debisi, C_d = debi katsayısı, g = yerçekimi ivmesi, h = su yüksekliği, p = kret yüksekliği'dir.

Enerji çizgisi kanal tabanına paraleldir.

Gentilini [8], De Marchi'nin [1] çalışmalarını izleyerek yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda, De Marchi'nin [1] çalışmalarının nehir rejimli akım şartlarında uygun olabileceğini, sel rejimli akımlarda ise teori ve deneysel çalışmalar arasında farklılıklar olduğunu göstermiştir.

Babbitt [9], 0.46 m ve 0.61 m çapa sahip borular üzerine yerleştirilen 0.41 m ve 1.07 m uzunluklu yan savaklar ile deneysel çalışma yapmış ve tüm deneylerinde Coleman ve Smith [4]'in elde etmiş olduğu su yüzü profillerine benzer profiller gözlemlemiştir.

Araştırmacı sel rejimli akım şartları için yan savak uzunluğunu veren ifadeyi;

$$L = 7.55V_1D_s \log\left(\frac{h_1 - p}{h_2 - p}\right) \quad (2.25)$$

şeklinde vermiştir. Bu ifade de h_2 değerinin yan savak eşik yüksekliğine yaklaşması durumunda yan savak uzunluğu sonsuza gideceğinden formülün kullanımının deney şartları ile sınırlı olduğu görülmektedir.

Frazer [10], dikdörtgen enkesitli kanaldaki yan savaklarda yaptığı deneylerle konuyu teorik ve deneysel olarak incelemiş, çalışmalarında hem ana kanaldaki akım miktarını ve ana kanal genişliğini, hem de yan savak boyutları ve savaklanan akım miktarını değiştirmiştir.

Araştırmacı teorik incelemeleri sonucunda büyük eğimli kanallarda üç farklı su yüzü hareketinin olabileceğini ifade etmiştir. Bunlar;

- Yan savak boyunca su derinliği azalan sel rejimli ana kanal akımı,
- Yan savak boyunca su derinliği artan nehir rejimli ana kanal akımı,
- Yan savak başlangıcında ana kanaldaki sel rejimli akım, yan savak kesitinde hidrolik sıçrama meydana geldikten sonra nehir rejimli akım şeklindedir.

Bu hareketlerin De Marchi [1] tarafından belirtilen akım durumlarıyla aynı olduğu görülmektedir. Analizlerinde aşağıdaki kabulleri yaptığını belirtmiştir.

- Herhangi bir noktadaki basınç yükü o noktadaki su derinliğine eşittir.
- Ana kanalın herhangi bir kesitindeki hız üniformdur.
- Birbirine çok yakın iki kesit arasında sürtünme kayıpları ihmal edilebilir(Bundan da akım şartlarının ana kanaldaki Reynolds sayısından bağımsız olduğu kabulü yapıldığı anlaşılabılır).
- Savak üzerindeki Q' debisinin ana kanal doğrultusuna paralel hız bileşeni ana kanalın akım doğrultusundaki V_1 hızına eşittir.
- Savaklanan debi Q' debisine yalnızca atmosfer basıncının etkisi vardır.
- Kanal tabanına yakın derinliklerde akım çizgisi yatay kabul edilebilecek kadar küçük eğriliklere sahiptir.

Araştırmacı yukarıdaki kabulleri yapmış ve momentum yaklaşımını kullanarak olayı teorik olarak çözmemiş fakat yaptığı deneysel çalışma sonuçlarına dayanarak yarı ampirik ifadeler elde etmiştir. Araştırmacı yaptığı deneysel çalışmalarda çeşitli denemelerden sonra ve yaptığı kabullerle Simpson metodunu kullanarak ortalama akım derinliğini veren ifadeyi aşağıdaki şekilde elde etmiştir.

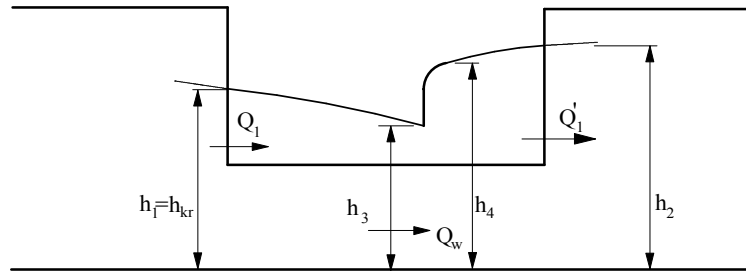
$$h_f = \frac{h_b + 4h + h_w}{6} \quad (2.26)$$

Burada; h_b : Dış kıyıdaki ana kanal su derinliği (m), h : Ana kanal eksenindeki su derinliği (m), h_w : Yan savak bölgesindeki su derinliği (m).

Ayrıca araştırmacı yan savak üzerindeki hidrolik sıçramayı inceleyen ilk araştırmacıdır. Yan savak üzerinde meydana gelen hidrolik sıçramanın, sıçramadan önceki akım şartlarını değiştirmedeği ama sıçramadan sonraki kesitlerde sıçramadan ötürü bir etkinin görüldüğünü belirtmiştir. Ayrıca sıçramadan sonraki nehir rejimli akım, sıçramadan önceki sel rejimli akımın özgül enerjisinden daha küçük bir özgül enerjiye sahiptir. Bu özgül enerji değerinin bulunabilmesi için sel rejiminden nehir rejimine geçişte meydana gelen su yüzü artışının alınabileceğini belirtmiştir. Sel rejiminden nehir rejimine geçiş uzunluğunun sıçrama yüksekliğinin beş katı olduğu bilinmesine rağmen savakta olayın daha kısa bir uzunlukta meydana geldiği kabul edilmiştir. Froude sayısının 1-2 değerleri arasında meydana gelen sıçrama, dalgalı yüzeysel sıçrama şeklinde olup momentum denkleminde elde edilen ortalama akım derinliği ifadesi aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 2.12).

$$h_{4,r} = \frac{h_{3,r}}{2} \left[\sqrt{\frac{8q^2}{h_{3,r}^3} + 1} - 1 \right] \quad (2.27)$$

Burada; $h_{4,r}$: h_4/h_{kr} , $h_{3,r}$: h_3/h_{kr} , q : Q_1/Q , h_4 : Sıçramadan sonraki ana kanal su derinliği (m), h_3 : Sıçramadan önceki ana kanal su derinliği (m).



Şekil 2.5 Yan savak boyunca meydana gelen sıçrama hali [10]

Sıçramadan sonraki durumda debi ile su derinliği arasında ilişkiyi veren bağıntı;

$$q_2 = h_{2,r} \sqrt{(\psi - 2h_{2,r})} \quad (2.28)$$

şeklindedir. Burada; $h_{2,r}=h_2/h_{kr}$ $\Psi=2h_{4,r}+(q_3/h_{3,r})^2$ (2.29)
olarak verilmektedir

Schmidt [11], dikdörtgen enkesitli kanallarda nehir rejimine sahip akım şartlarında deneysel çalışmalar yaparak normal savak denkleminde benzeyen aşağıdaki ifadeyi vermiştir.

$$Q' = C_d L \sqrt{2g} \left(\frac{(h_1 - p) + (h_2 - p)}{2} \right)^{3/2} \quad (2.30)$$

Burada; Q' yan savaktan savaklanan debi'dir. Ayrıca yan savak debi katsayısının;

$$C_d: (0.70-0.75) C_{nor}$$

ifadesinden hesaplandığında oldukça iyi sonuçlar verdiğini ileri sürmüştür. Burada;

C_{nor} : Akıma dik olarak kanala yerleştirilen aynı savak için savak debi katsayısı.

Deneyler nehir rejimli akım şartlarında yapıldığından h_2 değeri mansap şartlarından bilindiği için hesaplar membaya doğru yapılır. Yan savak memba ve mansap kesitleri arasında ana kanal için yazılacak enerji denklemi;

$$h_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad (2.31)$$

şeklindedir. Bu denklemden h_1 değeri hesaplanabilir. Burada; α_1 : Yan savak membasındaki hız katsayısı ($\alpha_1=1.1$), α_2 : Yan savak mansabındaki hız katsayısı ($\alpha_2= 1.1$), h_L : Yan savak boyunca oluşacak yük kaybı (m).

h_L değerinin hesaplanmasında $V = [(V_1 + V_2)/2]$ ortalama hız değeri kullanılarak;

$$h_L = \frac{\left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right)^2}{2g} \quad (2.32)$$

ifadesinden hesaplanabilir. Sonuç olarak (2.77) denklemi;

$$\xi \frac{h_2 - h_1}{\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - h_L} = \xi \left[\frac{(h-p)_{ort}}{(h-p)_{ort} + p} \right] \quad (2.33)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Hesaplarda (h_2-p) değeri mansap şartlarından bilindiğinden ξ değeri grafik ve hesap yöntemi ile ayrı ayrı bulunarak eşitliği sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Kontrolde yeterli hassasiyet sağlanamazsa, istenilen hassasiyet sağlanana kadar işleme devam edilir. Schmidt [11] tarafından bu yöntemin $V_1/V_{kr} < 0.75$ değerleri için uygun sonuçlar verdiği belirtilerek bunun dışındaki değerler için deneysel çalışmalar yapılarak incelenmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Collinge [12] $Fr = 0.95$ civarında ve $Fr = 1.15$ değerinden daha büyük değerlerde deneysel sonuçların De Marchi'nin [1] teoremine çok iyi uyum sağladığını söylemiş fakat $Fr = 1.0$ civarında teori ile deneysel çalışmalar arasında büyük farklılıklar olduğunu belirtmiş, teori ile deneysel sonuçlar arasındaki bu farklılığı enerji kayıplarına ve savak katsayısına bağlamıştır.

Hem sel rejimli hem de nehir rejimli akımlarda enerji kayıplarından dolayı deneysel sonuçlardan elde edilen su yüzü profilleri teorik o ifadelerden elde edilenlerden daha büyüktür. Bunun sonucu deneysel olarak bulunan yan savak debisi teoriye göre daha fazladır.

Çalışmada C_d yan savak debi katsayısının yaklaşık değeri kullanılarak teorik debi hesaplanmıştır. Kanaldaki akım hızı artarken C_d debi katsayısı azaldığından yan savaktan savaklanan debi teorik debiden daha küçüktür. Collinge [12] de Gentilini [8] gibi De Marchi [1] teoreminin yalnızca nehir rejimli akım şartlarında iyi sonuçlar verdiğini ifade etmiştir.

Allen [13], dairesel enkesitli kanallarda yan savaklar üzerinde yaptığı deneysel çalışmalarında iç çapı 0.15 m, uzunluğu 2.14 m olan boru kullanmıştır. Şekil 2.11'de de gösterildiği gibi çapı D_s olan dairesel kesitli bir kanalda kanal eksenini üzerindeki herhangi bir noktanın yan savağın memba ucuna olan uzaklığı x ve yan savak su yükü $(h-p)$ ile verilirse, $(h-p)$ savak yükü x uzaklığının bir fonksiyonu olarak değişim gösterir.

$$(h-p) = f(x)$$

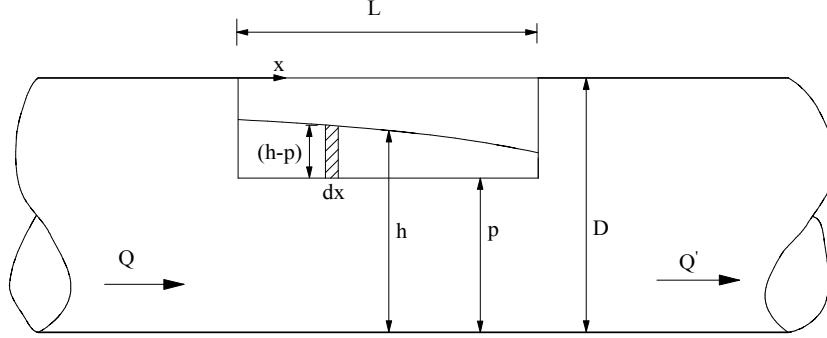
Savak yükünün sabit olduğu kabulü ile savağın birim uzunluğundan (dx) savaklanan debi;

$$dQ' = C_d (h-p)^{n'} dx \quad (2.34)$$

olarak verilmiştir. Allen [13] yapmış olduğu deneysel çalışmalar sonucunda $n' = 2/3$ olarak elde etmiştir. Buna göre savağın birim uzunluğundan geçen debi;

$$dQ' = C_d (h - p)^{2/3} dx \quad (2.35)$$

olarak bulunur.



Şekil 2.6 Daire enkesitli kanallardaki yan savak genel görünüşü [13]

Ayrıca Allen [13] tarafından su yüzü profilini veren ampirik ifade, savağın başlangıç kısmında deneysel olarak elde edilen su yüzü profili ile iyi bir uyum sağlamamasına karşın belirli bir mesafeden başlayarak savak mansabına kadar iyi bir uyum göstermiştir.

Ackers [14], sel rejimli akım halinde dikdörtgen enkesitli kanalda özgül enerjinin sabit olduğunu kabul ederek su yüzü profilini veren denklemi incelemiştir. Özgül enerji denklemindeki hız yükü α , basınç yükü β , katsayıları ile çarpılmalıdır.

Pratikte kanal tabanına yakın noktalarda akım hızı daha üst noktalardaki hıza göre daha küçük olduğundan hız yükü $\alpha > 1$ olmak koşuluyla, basınç enerjisi de sel rejimli akım durumunda su derinliği savak mansabına doğru düştüğü için azalma göstereceğinden $\beta < 1$ olmak koşuluyla β katsayısı ile çarpılmalıdır.

Araştırmacı α ve β katsayılarını deneysel olarak belirlemiş ve $1.15 < \alpha < 1.40$ için $\beta = 0.80$ değerini vermiştir. α ve β katsayılarının belirlenmesinde kullanılan özgül enerji denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\beta \frac{h}{E} + \alpha \frac{V^2}{2gE} = 1 \quad (2.36)$$

Araştırmacı 'ya göre diferansiyel denklemden bulunan savak uzunluğu normalden büyük çıktığından mansap savak yükü minimum 20 mm olmalı ve buna göre savak uzunluğu hesaplanmalıdır.

Collinge [12], De Marchi [1] ve Gentilini [8]'nin çalışmalarını baz alarak yaptığı deneysel çalışmalarda aşağıda belirtilen maddeleri açıklamıştır.

- Değişik akım şartlarında yan savak boyunca elde edilen su yüzü profillerini gözlemek
- De Marchi'nin teorisinin yan savaklara uygunluğunu kontrol etmek ve uygulama sınırlarını belirlemek.
- Ana kanaldaki hız değişimleri ile savak katsayısının değişimini bulmak.
- Yan savak bölgesinde tabandaki katı madde hareketini tespit etmek

Collinge [12]'nin su yüzü profilleri hakkında gözlemleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Küçük debilerde su seviyesi savak başlangıcına kadar kanal tabanına paraleldir. Daha sonra yan savak uzunluğu boyunca tedricen azalır.
- Akımın debisi arttıkça su seviyesi savak başlangıcına kadar azalır. Bu durum Froude sayısının savak başlangıcında 0.98 değerine kadar elde edilmiştir.
- Akımın debisi biraz daha artırılırsa, savak başlangıcında Froude sayısının 1.01 değerinde ve savak başlangıcından savağın ortasına kadar azalan bir su yüzü profili gözlenir ve bu noktadan sonra tekrar artar.
- Debi daha da artırılırsa su seviyesi savak membasından savak mansabına doğru azalmaya devam ederken sıçrama noktası savak boyunca hareket eder.

Collinge [12], De Marchi'nin [1] teoreminde vermiş olduğu savaklanan debi ifadesindeki

$$Q' = C_d \sqrt{2gL(h-p)^{n'}} \quad (2.37)$$

C_d ve n' katsayılarını bulmak için yan savak üzerinden savaklanan akımla ilgili deneyler yapmıştır. Bu deneylerle napın serbest ve batık olması durumlarını ayrı ayrı inceleyerek uzunluğu 30.48 cm ve yüksekliği 5.08 cm olan yan savak için farklı ana kanal genişliği kullanarak C_d ve n' katsayılarını belirlemiş ve Tablo 2.2'deki sonuçları vermiştir. Collinge [12] ayrıca C_d yan savak katsayısının ana kanal akım hızıyla da değişebileceğini belirtmiştir.

Tablo 2.1 Savak katsayıları [12]

Kanal Genişliği (m)	Batık Nap		Serbest Nap	
	C_d	n'	C_d	n'
0.305	-----	-----	0.35	1.42
0.102	1.33	1.80	0.37	1.46

Subramanya ve Awasthy [15], yan savaklarla ilgili yapılmış olan araştırmaların (1972'ye kadar) çoğunun ampirik formda olduğunu ve konu ile ilgili ilk geręekęi yaklaşımın De Marchi [1] tarafından ortaya atıldığını, fakat teorik olarak elde edilen denklemdaki katsayı değişimi hakkında ise yeterli olmadığını ifade etmişlerdir.

Bu nedenle yazarlar yaptıkları ęalıřmalarında, debi katsayısının değişimini belirleme üzerine yoğunlaşmışlardır. ęalıřmalarını, nehir rejimli akım şartlarında hem sıfır savak eşik yękseklęi hem de sonlu savak eşik yękseklęi için, sel rejimli akım şartlarında ise sonlu yęseklikli savaklar için yapmışlardır.

Araştırmacılar, yan savağın birim boyundan geçen debiyi (q_w);

$$q_w = -\frac{dQ'}{dx} = C_d \sqrt{2g} (h - p)^{3/2} \quad (2.38)$$

şeklinde belirlemişlerdir. Buna gęre debi katsayısının, C_d , değişimini incelemişler ve boyut analizi sonucunda C_d 'ye etkili boyutsuz parametreleri;

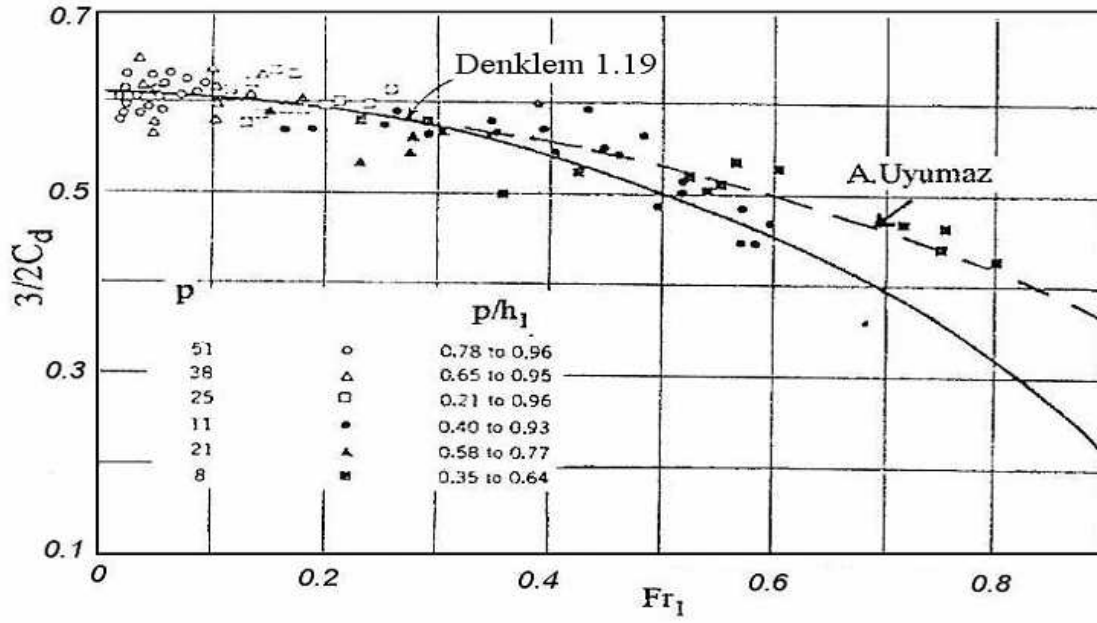
$$C_d = f \left\{ Fr = \frac{V_l}{\sqrt{gh_l}}, \frac{L}{b}, \frac{h}{L}, \frac{p}{h} \right\} \quad (2.39)$$

olarak ifade etmişlerdir. Araştırmacılarca kanaldaki değişik akım şartları için C_d değerinin değişimi ile ilgili yeterli bir bilgi mevcut değildir. Yazarların ifadesine gęre, Ackers [14] h 'ın savaktan uzakta ęlęölmesi durumunda $C_d = 0.417$ değerini, h 'ın savak kesatine yakın ęlęölmesi durumunda ise $C_d = 0.483$ değerinin alınmasını ęnermiřlerdir. Yine araştırmacılar gęre Collinge [12] C_d değerinin kanal membасыndaki akımın ortalama hızı ile değiştiğini ifade etmiştir.

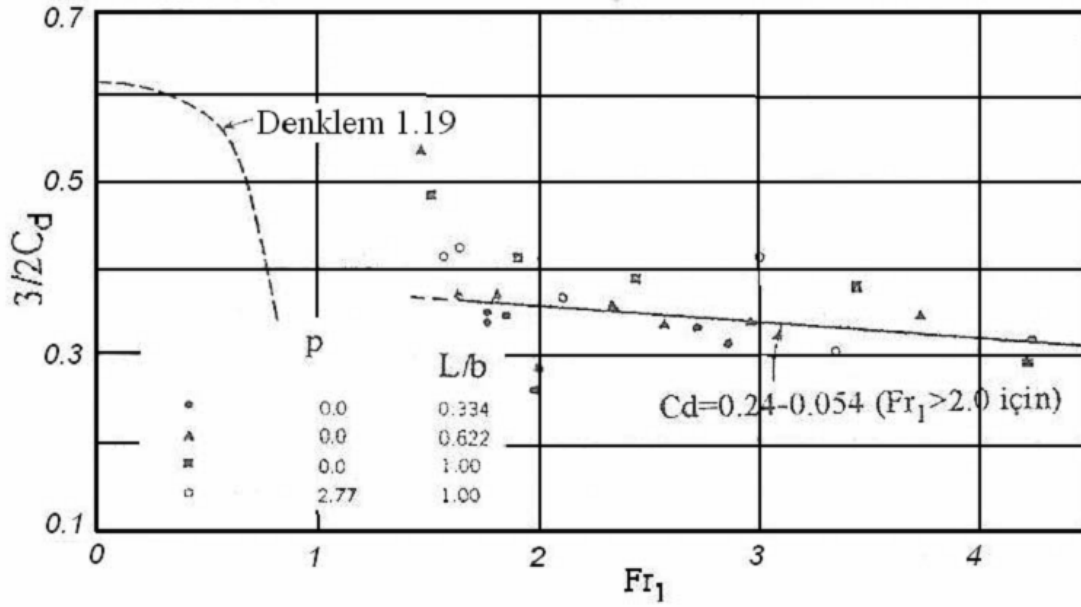
Ayrıca C_d 'ye etkili en ęnemli parametrenin ana kanaldaki Froude sayısı (Fr) olduğunu belirtmişler, diğer parametrelerin etkisinin az olduğunu ęne sýrerek nehir rejimli akım şartları ięin yan savak debi katsayısı ifadesini;

$$C_d = 0.407 \left[1 - \sqrt{\frac{3Fr^2}{Fr^2 + 2}} \right] \quad (2.40)$$

şeklinde sunmuşlardır. Bu ifadenin nehir rejimine sahip kanal şartlarında sıfır eşik yükseklikli savaklar için deneysel olarak bulunan C_d değerleri ile iyi bir uyum sağladığı görülmüştür. Sonlu yükseklikli yan savaklar için ise $Fr < 0.6$ değerlerinde küçük sapmalar görülmektedir. Bu sapmalar araştırmacılar tarafından deneysel hatalara bağlanmıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Nehir rejimli akım şartlarında C_d yan savak debi katsayısının Fr_1 ile değişimi [15]



Şekil 2.8 Sel rejimli akım şartlarında C_d yan savak debi katsayısının Fr_1 ile değişimi [15]

Sel rejimindeki akım şartlarında ise p/h_1 , h_1/L , L/b boyutsuz parametrelerinin etkilerinin olmadığı ve nehir rejiminde debi katsayısına etkiyen Fr sayısının etkisinin de çok az olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Buna ilaveten sel rejiminde Fr sayısının etkisinin az olmasının muhtemelen sürtünme tesirlerinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Yazarlar $Fr > 2.0$ için C_d katsayısının değişimini ise;

$$C_d = 0.24 - 0.054.Fr_1 \quad (2.41)$$

eşitliği ile vermişlerdir (Şekil 2.8). Araştırmacılar, gerek nehir rejimli akım şartları için verilen (2.69) bağıntısının gerekse sel rejimli akım şartları için verilen (2.70) bağıntısının yan savaklar üzerinden geçen debinin hesaplanması için kullanılabileceğini ve bu ifadelerin hem sıfır hem de sonlu savak yüksekliğine sahip yan savaklar için geçerli olduğunu vurgulamışlardır.

Smith [16], 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 [1] 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;

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

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

$$q = C_d \sqrt{2g} (h - p)^{3/2} \quad (2.42)$$

- 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;

$$\frac{dh}{dx} = \frac{J_0 - J - \alpha \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx} + \frac{Q^2 h}{gA^2} \frac{db}{dx}}{1 - \alpha \frac{Q^2 b}{gA^3}} \quad (2.43)$$

olarak elde etmiştir.

Smith [16], yapılan kabullerden ötürü yan savak su yüzü profilini veren bağıntının kullanılmasıyla yapılan çözümlerin hatalı sonuçlar verdiğini belirterek, yeni formüller geliştirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca bu formüllerin enerji kayıplarını da kapsayacak şekilde düzenlenebileceğini ve bununla ilgili bilgisayar programları yapılarak çözülmesi durumunda oldukça iyi sonuçlar verebileceğini ileri sürmüştür.

Akan [17], Smith [16] tarafından yapılan deneysel çalışmalarda enerji yüksekliğinin sabit olarak alınmasının doğru olmadığını belirtmiş ve ayrıca akım savağa belli bir açı yaparak girdiğinden klasik yan savak ifadesinin kullanımının hatalı olduğunu belirtmiştir.

El-Khashab [18], 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;

$$C_d = f(Fr, p/h_1, L/h_1, b/h_1) \quad (2.44)$$

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

$$\psi = f\{Fr, p/h_1, L/h_1, b/h_1\} \quad (2.45)$$

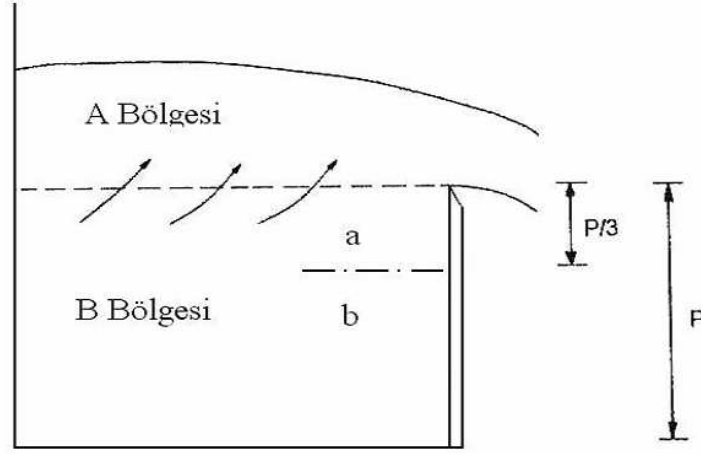
olarak belirtmiştir. Yukarıdan da görüleceği gibi C_d ve ψ aynı boyutsuz parametrelerin fonksiyonudur ve birbirleriyle doğrudan ilişkilidir.

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

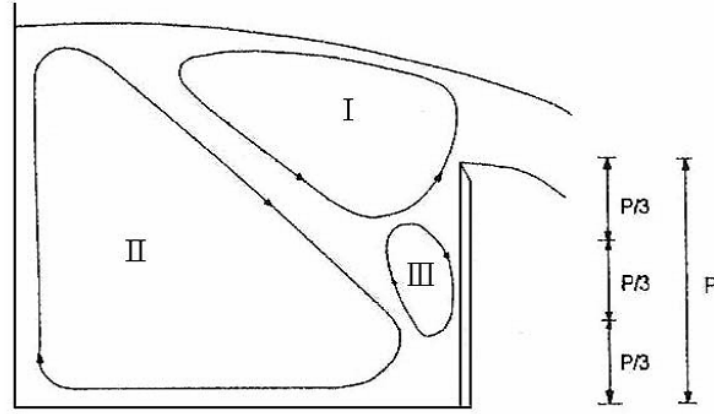
Yan savak eşiği üzerinde A bölgesindeki su kütlesi doğrudan yan savağa hareket ederek savaklanır (Şekil 2.13). Yan savak eşiği altındaki B bölgesindeki akım iki farklı davranış gösterir.

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 2.14). 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, süresizlik meydana gelir (III bölgesi). Bu bölgede de sınıra yakın çok şiddetli sekonder akım görülür.



Şekil 2.9 Yanal akım sebebiyle kanal enkesitindeki akımın hareketi [18]



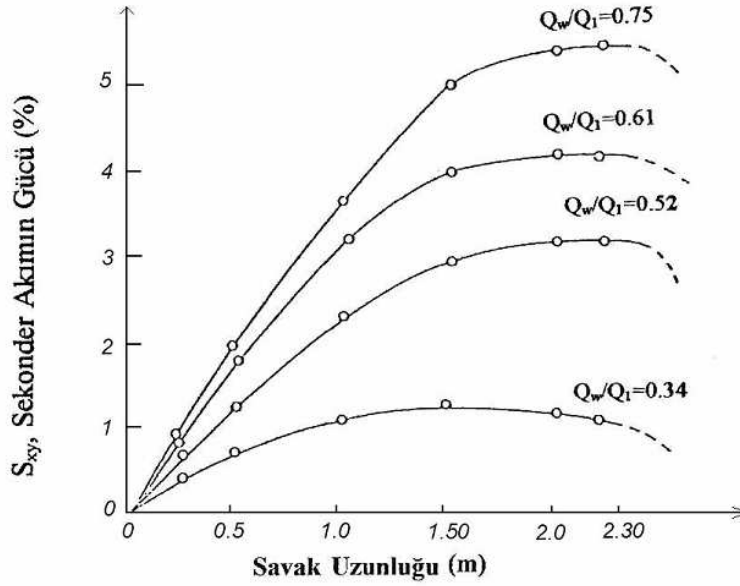
Şekil 2.10 Yanal akım sebebiyle kanal enkesitinde oluşan sekonder akım [18]

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 (1950) yaklaşımı kullanılarak elde edilen sekonder akımın gücünün yan savak boyunca değişimi Şekil 2.15 ve Şekil 2.16'de nehir ve sel rejimli akım şartları için ayrı ayrı verilmiştir. Şekillerde verilen sekonder akımın gücü, kanal enkesiti 20 cm^2 '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.

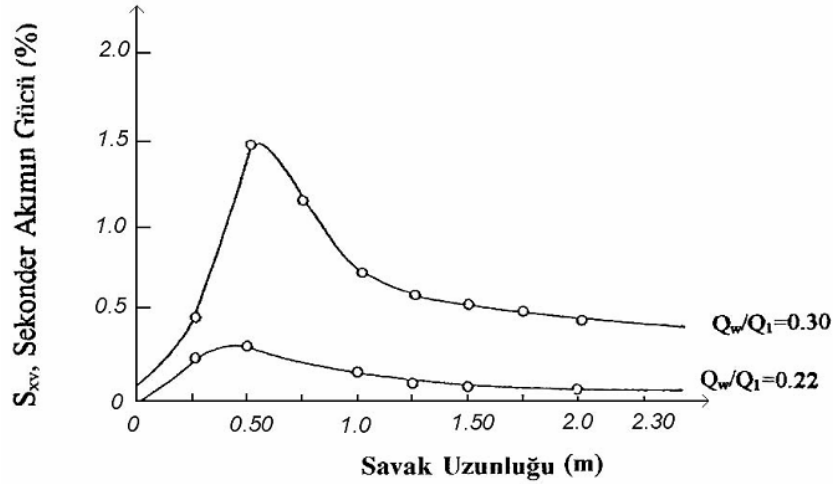
$$S_{xy} = \left\{ \sum V_x^2 / 2g + \sum V_y^2 / 2g \right\} / \left\{ V^2 / 2g \right\} \quad (2.46)$$

Şekil 2.15'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 2.11 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi [18]



Şekil 2.12 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda sel rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi [18]

Şekil 2.15 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi [18].

Yen [19], bir kanal üzerinde yan savak varsa hız vektörü, basınç ve su yüzü profilinin enine doğrultudaki değişimlerinin de bilinmesi gerektiğini söylemiştir. El-Khashap ve Smith [20] tarafından

verilen momentum denkleminin enerji denkleminde daha iyi olduğu fikrine katılmadığını belirterek denklemlerin doğru kullanılmaları halinde her ikisinin de iyi sonuç verebileceğini ifade etmiştir.

Balmforth ve Sarginson [21], yaptıkları deneysel çalışmalarda elde ettikleri α ve β katsayılarını kullanarak (2.60) ve (2.61) denklemlerini çözmüşler ve bunun El-Khashab ve Smith'in [20] yapmış oldukları çözümlerden daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişler.

El- Khashab ve Smith [20], yaptıkları kabullerden hareket ederek dikdörtgen enkesitli kanallarda yan savak üzerindeki su yüzü profilini veren genel bir bağıntı elde etmişlerdir.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{J_0 - J_f - \alpha \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - \alpha \frac{Q^2 b}{gA^3}} \quad (2.47)$$

Bu ifade de dQ/dx savak boyunca azalan bir terim olduğundan eksi (-) işaretli olarak alınmıştır. Aynı zamanda bu ifade daha önceden Smith tarafından verilen (2.66) 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.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{J_0 - J - \frac{I}{gA} (2\beta v - u) \frac{dQ}{dx}}{1 - \beta \frac{Q^2 b}{gA^3}} \quad (2.48)$$

$u=v$ ve $\alpha=\beta=1$ kabul edildiğinde (2.60) ve (2.61) denklemlerinin aynı ifade olduğu görülür.

Burada; u : Yan savak üzerinde akım hızının ana kanal eksenine paralel bileşeni'dir.

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 [20], 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. [22], 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 2.10).

Q , Q' , h_1 , h_2 ve p değerlerini ölçerek, De Marchi [1] tarafından verilen (2.8) ve (2.9) ifadelerini kullanarak keskin kenarlı yan savağın bir branşa yerleştirilmesi durumundaki yan savak debi katsayısı için;

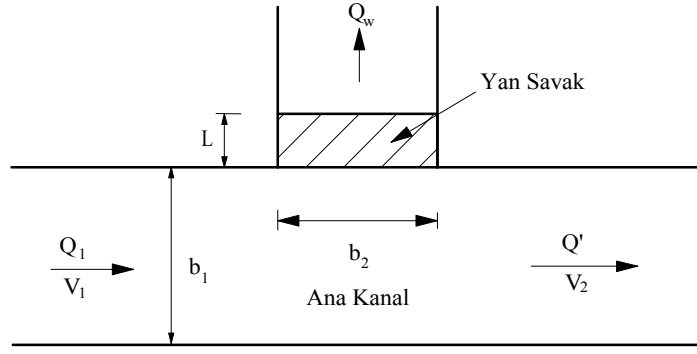
$$C_d = 0.54 - 0.40Fr \quad (2.49)$$

bağıntısını vermişlerdir.

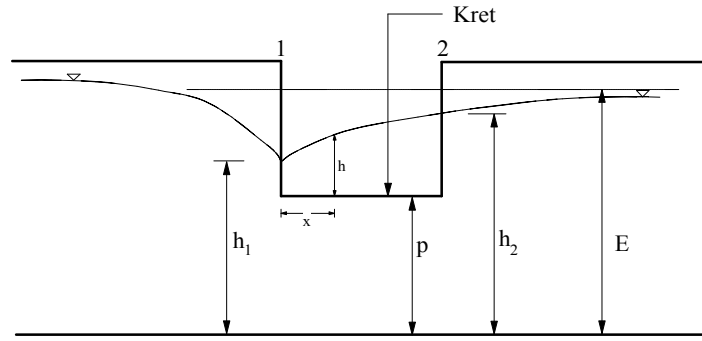
Ranga Raju ve diğ. [22], C_d yan savak debi katsayısının keskin kenarlı savaklarda sadece Froude sayısına, kalın kenarlı savaklarda ise Froude sayısının yanı sıra $(h_1 - p)/L_s$ değerine de bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Ranga Raju ve diğ. [22]'e göre bu ifadeden elde edilen C_d değeri Subramanya ve Awasthy [15] tarafından verilmiş olan (2.69) bağıntısındaki değerden daha büyük çıkmaktadır. Bu farkın yan savağın bağlandığı branş duvarlarının etkisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kalın kenarlı yan savağın branşa yerleştirilmesi halinde ise (2.64) bağıntısının K katsayısı ile çarpılarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

$$C_d = (0.54 - 0.40Fr)K \quad (2.50)$$



(a)



(b)

Şekil 2.13 Ana kanal dik bir kol bağlanması durumunda yan savağın genel görünüşü
(a) Plan (b) Kesit [22]

K katsayısının değişimini de;

$$K=0.80+0.10[(h_1-p)/L_s] \quad (2.51)$$

ifadesiyle vermişlerdir. Bu denklem Kumar ve Pathak [23] tarafından verilen ifadenin aynısıdır. Burada; L_s : Kalın kenarlı savak kalınlığı'dır.

Rammurthy ve Carballada [24], dikdörtgen enkesitli ve yatay tabanlı bir kanalda yaptıkları deneysel çalışmaları yan savak memba kısmındaki akım nehir rejimli ve $L/b < 1$ olması şartlarında gerçekleştirmişlerdir.

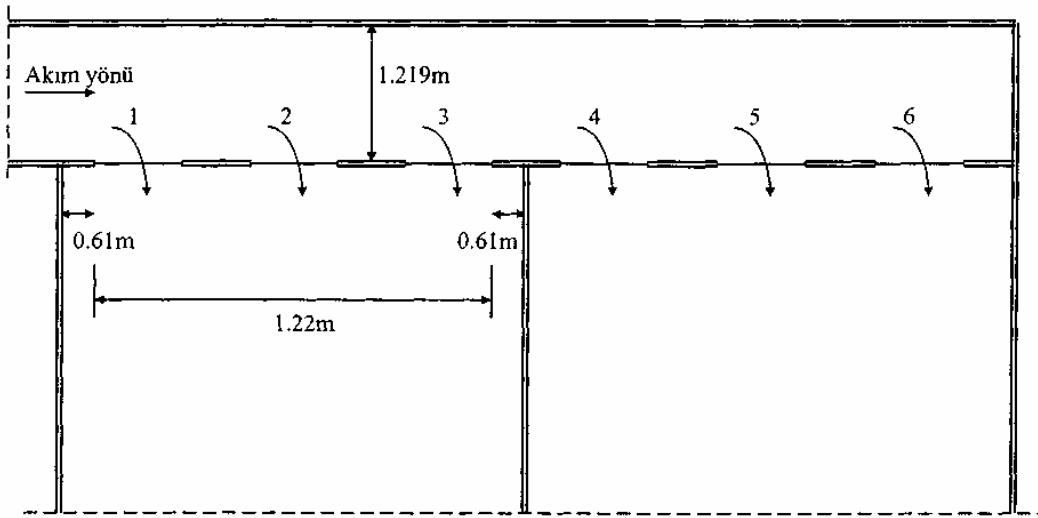
Ayrıca yan savak üzerinden geçen akımı ana kanalla açı yapan bir su jeti gibi düşünerek akım modeli geliştirmişler ve yan savak debisi için iki boyutlu bir akım modeli kurmuşlardır. Deneysel çalışmadan elde ettikleri verilerin kurdukları modele uygun olduğunu ifade etmişlerdir.

Chao ve Trussel [25], içme ve atıksu arıtma tesislerine üniform debi sağlamak için nehir rejimli akım şartlarında dikdörtgen prizmatik bir kanala seri olarak yerleştirilen yan savaklar üzerinde

alışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada her bir savağın akım karakteristiğini ayrı ayrı incelemişlerdir (şekil 2.8).

Her bir savaktaki debiyi tayin etmek için De Marchi [1] tarafından verilen (1) denklemini kullanmışlar ve C_d yan savak debi katsayısı için de Subramanya ve Awasthy [15] tarafından verilmiş olan (2.69) ifadesinden yararlanmışlardır.

Chao ve Trussel [25], 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 grlmştir.

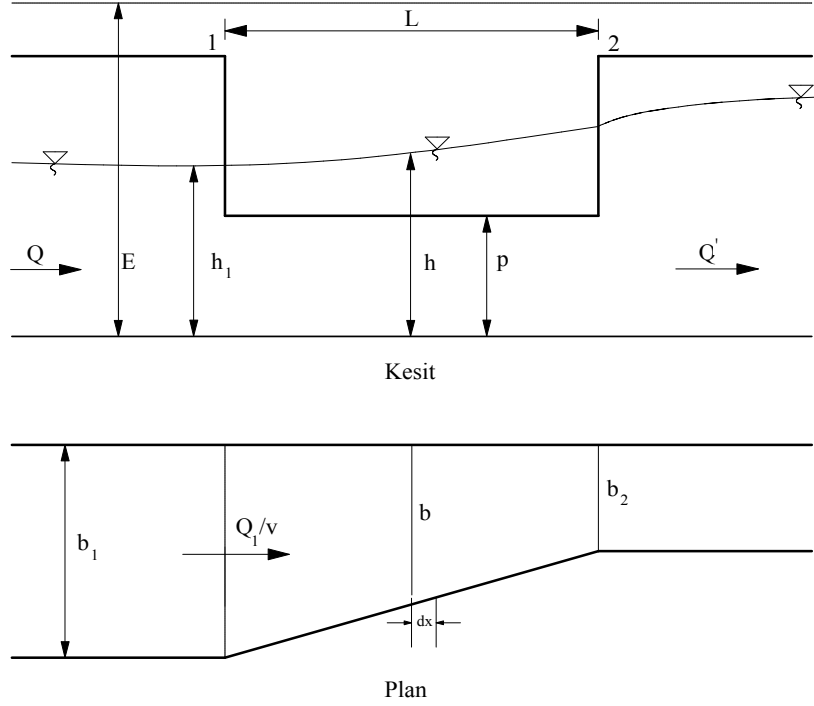


şekil 2.14 Dikdörtgen prizmatik debi dağıtım kanalı genel görünüşü [25]

Chao ve Trussel [25], 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 2.9)'da 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 oluşturmak.

Chao ve Trussel [25], b ve c şıklarında belirtilen alternatifler katı madde çökelmesi gibi problemler yaratmasına karşın daha iyi bir çözüm getirdiğini ifade etmiştir.



Şekil 2.16 Enkesit genişliği yan savak boyunca tedricen daralan kanala yerleştirilen yan savağın plan ve kesiti [26]

Uyumaz [27], 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;

$$C_d = B_I + C_I \sqrt{I + Fr} \quad (2.52)$$

şeklinde bulmuştur. Burada;

$$B_I = 0.21 + 0.094 \sqrt{1.74 \frac{L}{D_s} - 1} \quad (2.53)$$

$$C_I = 0.22 - 0.08 \sqrt{1.68 \frac{L}{D_s} - 1} \quad (2.54)$$

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;

$$C_d = MFr + N \quad (2.55)$$

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;

$$M = 0.046 + 0.054 \sqrt{1.67 \frac{L}{D_s} - 1} \quad (2.56)$$

ve

$$N = 0.24 + 0.021 \sqrt{1 + 35.3 \frac{L}{D_s}} \quad (2.57)$$

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

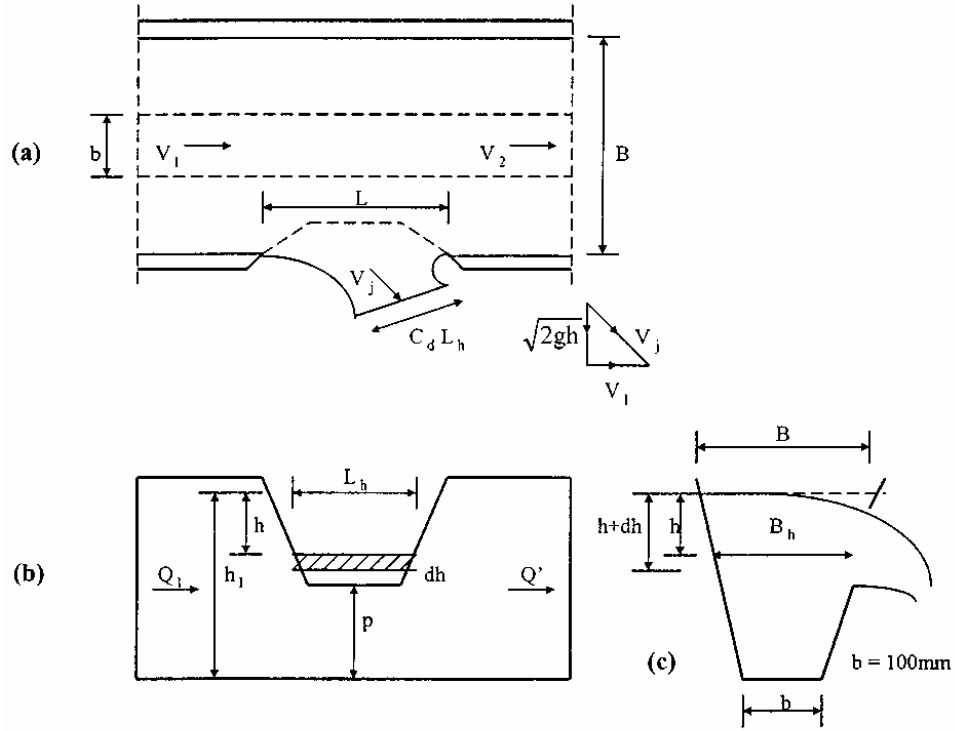
Ramamurthy ve Satish [28], dikdörtgen enkesitli kanal tabanına enine olarak açılmış bir açıklık boyunca oluşan akım şartlarını incelemek için deneysel çalışmalar yapmışlar ve tabandaki açıklıktan geçen debinin hesaplanmasında kanal debisi ve açıklık ve genişliğinin önemli parametreler olduğunu belirtmişler.

Ramamurthy ve Satish [28], Ramamurthy ve Carballada [24]'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 2.6).

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 aymıdır.
- Su yüzeyinden h kadar derinlikte sonsuz küçük bir tabakadan çıkan su jeti için, kanal eksenine normal hız bileşeni $\sqrt{2gh}$ 'dır.



Şekil 2.17 Trapez enkesitli bir kanalda trapez enkesitli yan savak görünüşü; (a) plan, (b) kesit, (c) görünüş [28]

Kumar ve Pathak [23], 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 (2.11) denkleminin yan savak uzunluğunun hesaplanmasında kullanılabileceğini ve (1) ile (2) kesitlerinde ölçülen debi ve derinlik değerlerinden C_d 'nin hesaplanabileceğini belirtmişlerdir (Şekil 2.18). Bu eşitlik üçgen yan savaklar için aşağıdaki şekilde elde etmişlerdir.

$$L = x_2 - x_1 = \frac{15b}{4C_d} \left[\phi\left(\frac{h_2}{E}\right) - \phi\left(\frac{h_1}{E}\right) \right] \quad (2.58)$$

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 (2.59.a) ifadesi ile kalın kenarlı yan savaklar için ise (2.59.b) ifadesi ile vermişlerdir.

$$C_d = f\{Fr, \alpha, p/h\} \quad (2.59.a)$$

$$C_d = f\{Fr, \alpha, p/h, h/L_s\} \quad (2.59.b)$$

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 2.2 'de verilmiştir.

Tablo 2.2 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 [23], Subramanya ve Awasthy [15]'nin dikdörtgen yan savaklarda p/h'nin etkisini ihmal ettiklerini belirterek, kendilerinin de bu çalışmada p/h'nin 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.

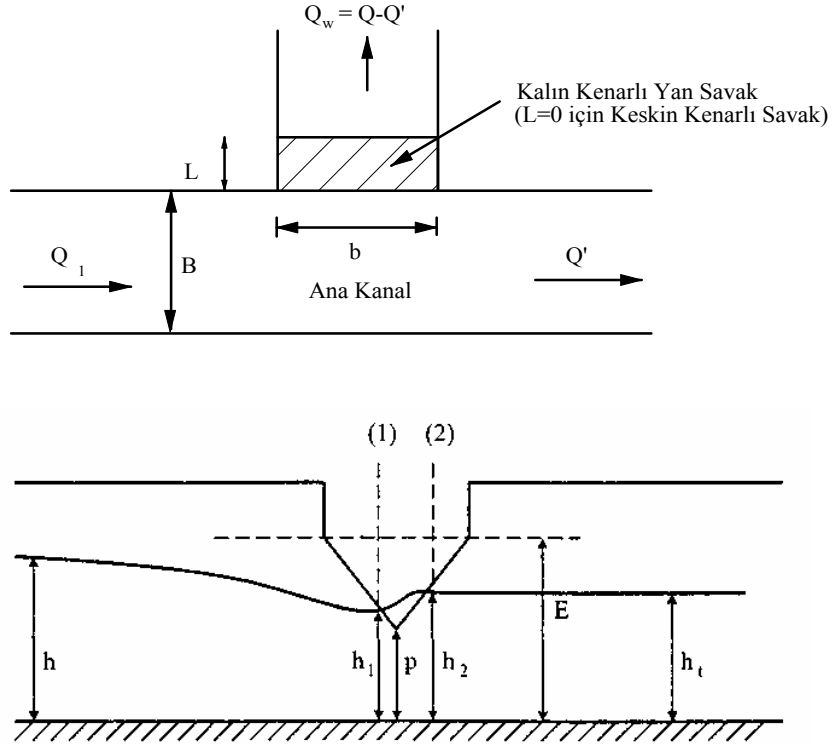
$$\begin{aligned} C_d &= 0.668 - 0.381 Fr \quad (\phi = 60^\circ \text{ için}) \\ C_d &= 0.619 - 0.203 Fr \quad (\phi = 90^\circ \text{ için}) \\ C_d &= 0.642 - 0.042 Fr \quad (\phi = 120^\circ \text{ için}) \end{aligned} \quad (2.60)$$

Yukarıdaki ifadelerden de görüleceği gibi Kumar ve Pathak (1987) 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;

$$C_d = \left[0.811 - 0.321 \tan \frac{\phi}{2} + 0.129 \tan^2 \frac{\phi}{2} \right] - \left[0.695 - 0.638 \tan \frac{\phi}{2} + 0.150 \tan^2 \frac{\phi}{2} \right] \quad (2.61)$$

ifadesinden hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.18 Yan savak görünüşü (a) Plan (b) Kesit [23]

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 ;

$$K = 0.80 + 0.10 \left(\frac{h_1 - p}{L_s} \right) \quad (2.62)$$

ifadesinden hesaplanması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu denklem yan savaklar için Ranga Raju, Prasad ve Gupta [22] tarafından dikdörtgen yan savaklar için verilen (2.59) ifadesinin aynısıdır.

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

$$Q_w = 0.5908 C_d \sqrt{2g} \tan \frac{\alpha}{2} (h_1 - p)^{5/2} \quad (2.63)$$

kalın kenarlı üçgen yan savaklar için ise,

$$Q_w = 0.5566 K C_d \sqrt{2g} \tan \frac{\alpha}{2} (h_1 - p)^{5/2} \quad (2.64)$$

ifadesinden hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.

Uyumaz ve Smith [29], 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 [30], 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;

$$C_d = 0.30 - 0.147 Fr^{-2} \quad (2.65)$$

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. [31], 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 [32], özgül enerjinin sabit kaldığı kabulü ile üçgen kanaldaki yan savak boyunca su yüzü profilini incelemiş ve üçgen kanalda yan savak uzunluğu veren ifadeyi,

$$L = \frac{\tan \alpha E}{2m} \left| -\phi(z) \right|_{z_1}^{z_2} = \frac{\tan \alpha E}{2m} \left| \psi(z) \right|_{z_1}^{z_2} \quad (2.66)$$

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

Hager [33], 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 [33]'in verdiği debi katsayısı aşağıdaki gibidir.

$$C_{de} = 0.042 \left(7 + \frac{\Delta L}{D} - 1.25 F_r \right) \quad (2.67)$$

Burada, $\Delta L/D$ = savağın uzunluğu, $F_r < 2$ = giriş Froude sayısı.

Hidrolik sıçrama için de aşağıdaki denklemi vermiştir.

Swamee ve diğ. [31], 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;

$$C_d = 0.447 \left[\left(\frac{44.7 p}{49 p + h} \right)^{6.67} + \left(\frac{h - p}{h} \right)^{6.67} \right]^{-0.15} \quad (2.68)$$

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

$$\frac{h_2}{h_1} = F_r \quad (2.69)$$

Singh ve diğ. [34], 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 2.4). 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;

$$C_d = f\{F_r, p / h_1, L / h_1\} \quad (2.70)$$

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

$$C_d = f\{F_r, p / h_1\} \quad (2.71)$$

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(F_r) ve p/h_1 ile lineer bir değişim gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

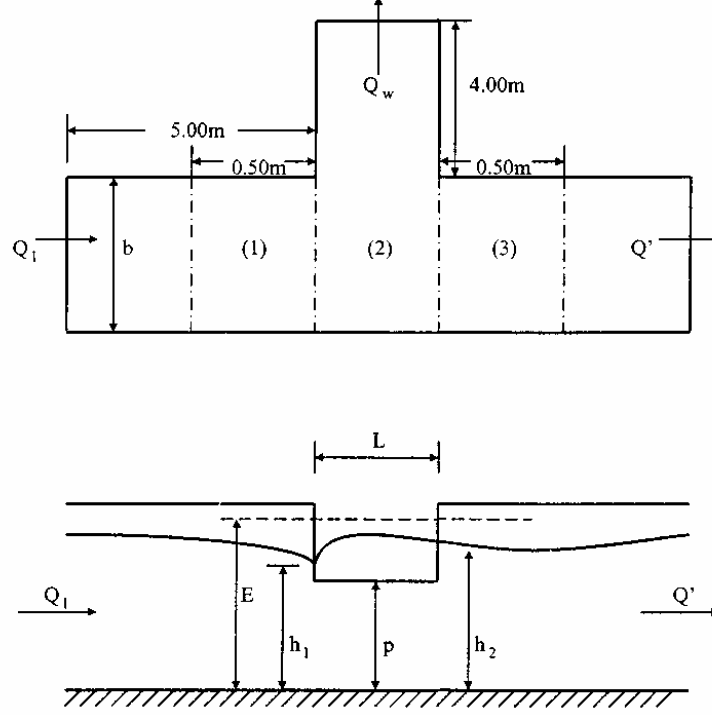
Bu lineer değişimleri sırasıyla;

$$C_d = 0.66 - 0.84Fr \quad (2.72)$$

$$C_d = 0.16 - 0.36 p / h_1 \quad (2.73)$$

$$C_d = 0.22 - 0.12Fr + 0.327 p / h_1 \quad (2.74)$$

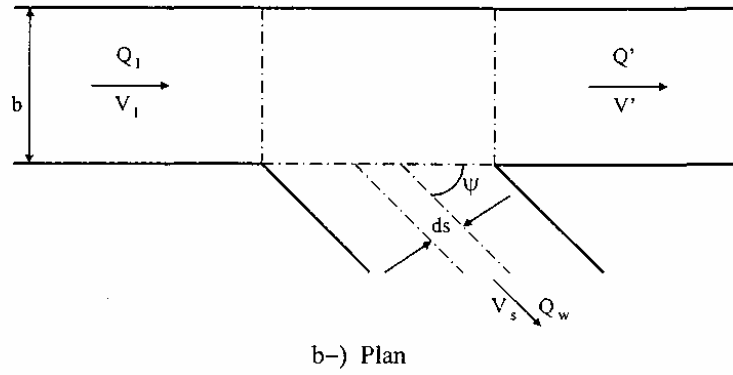
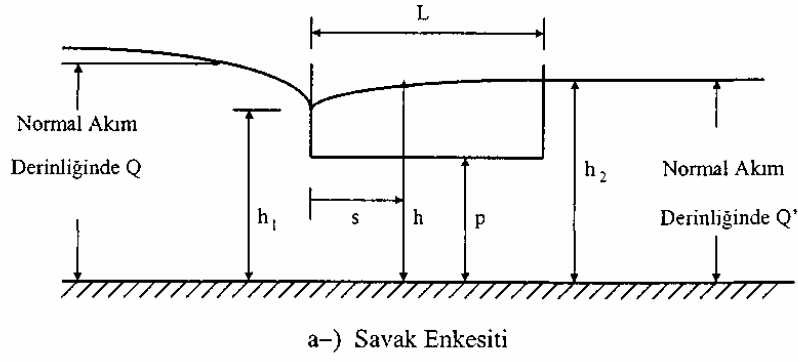
ifadeleri ile vermişlerdir. Burada; C_d = yan savak debi katsayısı, Fr =Froude sayısı'dır.



Şekil 2.19 Yan savak genel görünüşü [31]

Tozluk [35], yan savak probleminin çözümünde en uygun yaklaşımlardan birinin De Marchi [1] tarafından enerjinin korunumu kullanılarak yapıldığını ifade etmiştir. Subramanya ve Awasthy [15] tarafından verilen (2.70) denklemindeki C_d yan savak debi katsayısının yan savaktan savaklanan akımın kanal eksenini 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 (2.69) denkleminde elde edilen değerlerle deneysel sonuçların farklı dağılımlar gösterdiğini söylemiştir (Şekil 2.3).

Tozluk [35], 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.



Şekil 2.20 Savak enkesiti ve plan [35]

Tozluk [35], elde ettiği sonuçları aşağıdaki şekilde vermiştir.

- ψ savaklanma açısı, savak boyunca değişen Froude sayısının bir fonksiyonu olarak değişir. Bu fonksiyon savak uzunluğunu veren (2.11) 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;

$$\psi = 1.0 - 0.2 \left(\frac{L}{b_1} \right) Fr^2 \quad (2.75)$$

eşitliğine bağlı olarak değişmektedir.

Swamee ve diğ. [31], yan savak boyunca temel debi katsayısına alternatif bir görüş belirtmişlerdir. Debi ve akım derinliği için 2 ordinatlı diferansiyel denklemin sayısal çözümünü temel alan bir metot önermişlerdir. Önerilen metot ve temel debi katsayısı kullanılarak yan savak üzerindeki debinin doğru olarak tanımlanabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmayı yaparken aşağıdaki durumları göz önünde bulundurmuşlardır.

- Keskin kenarlı yan savaklar sınırlandırılmamış çıkış debisiyle, yan kanalda duvar olmadığı zaman ve su jetinin duvarlarla sınırlandırılmadığı zaman,
- Keskin kenarlı yan savaklar sınırlandırılmış çıkış debisiyle, yan kanalda duvar olduğu zaman ve su jetinin duvarla sınırlandırıldığı zaman,
- Kalın kenarlı yan savaklar sınırlandırılmamış çıkış debisiyle,
- Kalın kenarlı yan savaklar sınırlandırılmış çıkış debisiyle,
- Keskin kenarlı üçgen yan savaklar.

Bu mevcut durumlara göre yapılan çalışmalar sonucunda temel debi katsayısı olarak şu denklemi vermişlerdir.

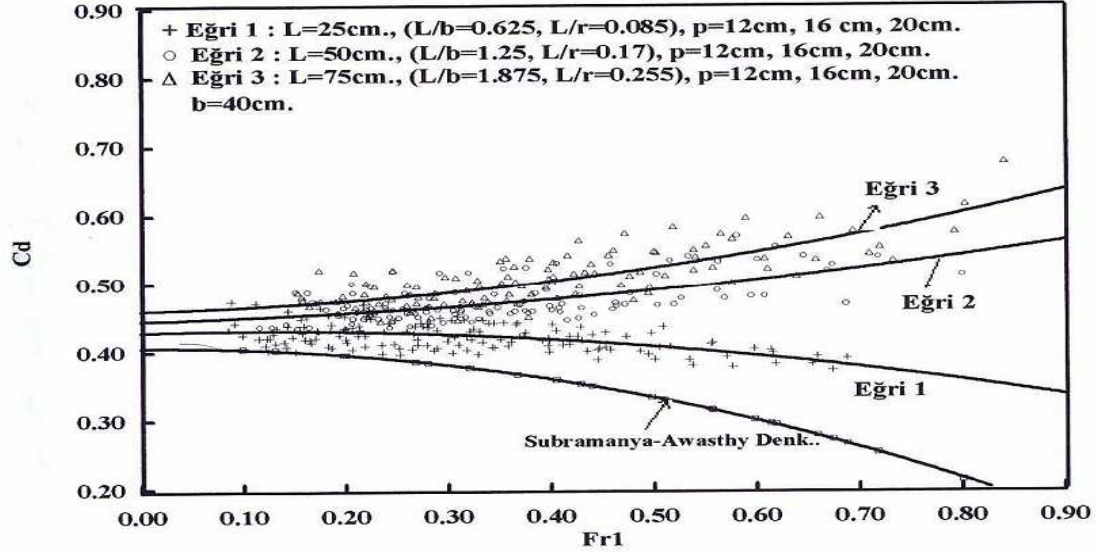
$$C_d = 0.447 \left\{ \left[\left(\frac{44.7}{50 + \eta_w} \right)^{6.67} + \left(\frac{\eta_w}{\eta_w + 1} \right)^{6.67} \right] \left[\left(\frac{1.8}{\eta_L} \right)^{18} + 1 \right]^{-1} + 1.4 \left(\frac{1 + 5.5\eta_L^{0.02}}{1 + 5.5\eta_L^{0.02} + 0.235\eta_L^{3.3} + 0.00588\eta_L^7} \right)^{6.67} \left[1 + \left(\frac{\eta_L}{2} \right)^{18} \right]^{-1} \right\}^{-0.15} \quad (2.76)$$

(Sınırlandırılmamış çıkış debisi için)

$$C_d = 0.465 \left\{ \left[\left(\frac{46.5}{41.1 + \eta_w} \right)^{10} + \left(\frac{\eta_w}{\eta_w + 1} \right)^{10} \right] \left[\left(\frac{1.8}{\eta_L} \right)^{18} + 1 \right]^I + 1.484 \left(\frac{1 + 2.9\eta_L^{0.02}}{1 + 2.9\eta_L^{0.02} + 0.224\eta_L^{1.79} + 0.0112\eta_L^{1.69}} \right)^{10} \left[1 + \left(\frac{\eta_L}{2} \right)^{18} \right]^I \right\}^{0.1} \quad (2.77)$$

Ağaçcıoğlu [36], dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda farklı uzunluklara sahip yan savaklarla yaptığı deneysel çalışmalarda C_d yan savak debi katsayısının Fr_1 ile değişimini incelemiş ve elde ettiği eğrileri Awasthy'nin (2.19) eşitliğinden elde ettiği eğri ile karşılaştırmıştır (Şekil 2.12). Araştırmacı $L/b=0.625$ için elde ettiği C_d yan savak debi katsayısı eğrisinin Subramanya ve Awasthy'nin (1972) elde ettiği eğri ile aynı eğilime sahip olduğunu belirtmiştir. Ayrıca araştırmacı

$L/b=1,25$ ve $L/b=1,875$ için elde ettiği C_d yan savak debi katsayılarının Subramanya ve Awasthy'nin (1972) elde ettiği eğriyle karşılaştırmış ve büyük farklılıklar gösterdiğini belirtmiştir. Subramanya ve Awasthy [15] deneylerini $L/b<1$ için yaptıklarından dolayı vermiş oldukları eşitliğin $L/b>1$ için yeterli olmadığı belirtilmiştir. Araştırmacı, büyük uzunluklu yan savaklarda yanal akımın yarattığı sekonder akımın şiddetinin arttığını ve bunun sonucunda da daha büyük C_d yan savak debi katsayısı elde edildiğini ifade etmiştir.



Şekil 2.21 Doğrusal kanalda farklı L/b oranları için yan savak debi katsayısının Subramanya ve Awasthy denklemiyle karşılaştırılması [36]

Pinheiro ve Silva [37], yan savak debi katsayısı üzerine çalışmalarda bulunmuşlar. Bu çalışmaları yaparken deneysel çalışmaların sonuçları ile değişik formülle (Subramanya ve Awasthy [15], Raju ve diğ. [22], Cheong [30]) analiz sonuçlarını kıyaslayarak aşağıdaki gibi bir debi katsayısı formülü önermişlerdir.

$$\frac{I}{C_d} = 1,57 + 0,127 \frac{I}{F_r} + 7,45 \frac{I}{L_{ndim}} + 0,52 \frac{h_m}{p} \quad (2.78)$$

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 yüksekliği (Sınırlandırılmış çıkış debisi için)

Uyumaz [38], özgül enerji denklemini kullanarak U kesitli kanallara yerleştirilmiş yan savaklar üzerine incelemelerde bulunmuştur. Bu çalışması sonunda savak boyu için aşağıdaki denklemi vermiştir.

$$L = \frac{D_s(\pi + 4)}{16m} \left| \psi(t) \right|_{t_1}^{t_2} \quad (2.79)$$

Burada, L= Yan savağın uzunluğu, D_s= Kanal çapı, ψ(t)= integral alanları.

Ayrıca U kesitli kanallara yerleştirilmiş yan savaklar için t≤0.5 olan durumlarda Uyumaz [38], tarafından verilen aşağıdaki debi katsayısı formülünün kullanılabileceğini belirtmiştir.

$$m = \left(0.21 + 0.094\sqrt{1.75L/D-1}\right) + \left(0.22 - 0.08\sqrt{1.67L/D-1}\right)\sqrt{1-F_r} \quad \text{Nehir Rejimi } (F_r < 1) \quad (2.80)$$

$$m = -\left(0.046 + 0.0054\sqrt{1.67L/D-1}\right)F_r + \left(0.24 + 0.021\sqrt{1+35.3L/D}\right) \quad \text{Sel Rejimi } (F_r > 1) \quad (2.81)$$

t≥0.5 olan durumlarda da Subramanya ve Awasthy [15] tarafından verilen aşağıdaki debi katsayısı formülünün kullanılabileceğini belirtmiştir.

$$m = \frac{2}{3}0.611\sqrt{1 - \left(\frac{3F_r^2}{F_r^2 + 2}\right)} \quad \text{Nehir Rejimi } (F_r < 1) \quad (2.82)$$

$$m = \frac{2}{3}(0.36 - 0.008F_r) \quad \text{Sel Rejimi } (F_r > 2) \quad (2.83)$$

Burada, F_r= Ya Ağaçoğlu ve Yüksel [39], yapmış oldukları çalışmalar sonucunda kıvrımlardaki akımın en önemli karakteristiklerinden birinin helikoidal akım diğeri de maksimum hız yörüngesinin hareketi olduğunu belirtmişlerdir. Helikoidal akım sürtünme, merkezkaç ve atalet kuvvetlerinin birbirlerinin etkilemesinden dolayı ortaya çıkmaktadır. Kanal tabanı yakınlarında akışkan zerreciklerinin hızları sınır direnci tarafından büyük ölçüde geciktirilir. Taban yakınlarında daha yavaş hareket eden akışkan, merkezkaç ve basınç kuvvetleri arasında bir denge meydana getirmek için daha keskin eğrisel bir yörüngeyi izlemek zorunda kalırken, daha büyük hızlardan dolayı daha büyük ataletle sahip olan yüzeydeki akışkan zerreciklerinin yörüngeleri kanal tabanına doğru olmaktadır. Akışkan kütlelerinin sürekliliğini sürdürmesi için su dış kıyıda tabana hareket ederken iç kıyı boyunca yukarı doğru hareket etmektedir. Böylece teğetsel hız bileşenine ilave olarak kanal eksenine dik radyal hız bileşeni meydana gelir. Bu radyal hız bileşeni enkesit planında sekonder akım oluşturur.

Kıvrımlı bir kanalda sekonder hareket kıvrım girişinden önce başlamakta, kıvrımda şiddetlenerek devam etmekte ve kıvrım çıkışına doğru da şiddeti azalmaktadır. Değişik akım şartları altındaki farklı kıvrımlarda sekonder akımın etkisi ve büyüklüğü sekonder hareketin gücü olarak tanımlanmıştır. Bu terim yanal akımın kinetik enerjisinin, akımın toplam kinetik enerjisine oranı olarak belirtilmiştir. Buna göre sekonder akımın gücü,

$$S_{yz} = \frac{V_{yz}^2}{V^2} \quad (2.84)$$

eşitliği ile verilmektedir. Burada; V_{yz} : yz planındaki hız vektörü, V : Enkesitteki ortalama hızdır.
n savak başlangıcındaki Froude Sayısı, $t=\text{Sabit } (h/D)$

Ağaçcıoğlu ve Yüksel [39], çeşitli araştırmacıların doğrusal kanallardaki nehir rejimli akımlar için C_d yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimini veren bağıntıları toplu halde Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3 Nehir rejimli akım için doğrusal kanallarda yan savak debi katsayısı ile ilgili denklemler [39]

Kaynak (1)	C_d Katsayısıyla İlgili denklemler (2)	Froude Sayısı (3)	L/b (4)	p/h ₁ (p, m) (5)	Standart sapma (6)
Subramanya ve Awasthy [15]	$C_d = 0.576 \left\{ \frac{1 - F_l^2}{2 + F_l^2} \right\}^{0.5}$	0.02-0.85	0.2-1.0	0.2-0.96 (0.0-0.6)	0.09
Nandesamoorthy ve Thomson [40]	$C_d = 0.288 \left\{ \frac{2 - F_l^2}{1 + 2F_l^2} \right\}^{0.5}$	-	-	(0.0-0.6)	-
Yu-Tech [41]	$C_d = 0.415 - 0.148F_l$	-	-	(0.0-0.6)	-
Ranga Raju vd., [22]	$C_d = 0.54 - 0.40F_l$	0.1-0.5	0.1-0.7	(0.2-0.5)	0.08
Cheong [30], yamuk kanallar için	$C_d = 0.30 - 0.14F_l^2$	0.28-0.78	0.5-1.64	(0.0)	0.09
Sing vd., [34]	$C_d = 0.99 - 1.26F_l$ $C_d = 0.24 + 0.54p/h_l$	0.23-0.43	0.25-0.5	0.42-0.85	0.07 0.09
Jalili ve Borghei [42]	$C_d = 0.474 - 0.273F_l - 0.146p/h_l$	0.671	9.42	0.86	-
Borghei vd., [42]	$C_d = 0.467 - 0.32F_l - 0.2p/h_l + 0.04L/b$	0.1-0.9	0.66-2.3	0.86	-

Borghei ve diğ. [42], keskin kenarlı yan savaklarda nehir rejimini için debi katsayısını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda C_d debi katsayısını $f(F_r, L, b_1, p, h, J_0)$ fonksiyonuyla ifade etmişler ve aşağıdaki denklemi vermişlerdir.

$$C_d = 0.687 - 0.46F_r - 0.3\frac{h}{p} + 0.06\frac{L}{b_1} + 1.2J_0 \quad (2.85)$$

Burada, F_r =Membadaki Froude sayısı, p =Savak yüksekliği, h =Ana kanal su derinliği, L = Savak uzunluğu, b_1 =Kanal genişliği, J_0 =Kanal eğimi'dir.

Ura ve diğ. [43], eğik olarak yerleştirilmiş yan savakların debi katsayısı üzerine bir dizi çalışma yürütmüşler ve en büyük debi katsayısının savağın ana kanal eksenine 70°'lik açı yapacak şekilde yerleştirilmesiyle meydana geldiğini bulmuşlardır. Araştırmacılar eğik olarak yerleştirilmiş savaklar için debi katsayısını aşağıdaki gibi vermişlerdir.

$$C_d = 0.611 \sqrt{1 - \frac{3\gamma^2 F_r^2}{2 + F_r^2}} \quad (2.86)$$

Burada, C_d = yan savak debi katsayısı, γ = Yan savak üzerindeki hızın kanaldaki hıza oranı, F_r = yan savak membasındaki Froude Sayısı

Bu denklemde γ sabiti bir birim olduğu zaman Subramanya ve Awasthy [1972] tarafından bulunan eşitlik meydana gelmektedir.

Muslu [44], yüzey profili ve debi için genel denklemler geliştirmek amacıyla yan savağı temel şartlara bölerek enerji prensipleri ve eğri uydurma metodunu kullanarak yan savak akım modelini incelemiş, debi katsayısı ve savak uzunluğu için aşağıdaki formülleri vermiştir.

$$C_d = 0.611 \sqrt{3 \frac{h'}{H} - 2} = 0.611 \sqrt{3\psi z - 2} \quad (2.87)$$

Burada, $z=h/H$ = kanal eksenindeki boyutsuz akım derinliği'dir.

$$-\phi(z) = A(1-z)^{0.55} + B(1-z)^3 \quad (2.88)$$

Burada, $\phi(z)=z$ 'den $z=1$ 'e herhangi bir değer için savak uzunluğunun negatif değerini ifade eder.

Yukarıdaki savak uzunluğu denkleminde A ve B sadece p/H oranıyla ilişkilidir ve bu ilişki aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$A = 15 \times 10^{1.75[(p/H)-0.65]} \quad p/H < 0.65 \quad (2.89)$$

$$A = 15 \times 10^{4.142(p/H)^2[(p/H)-0.65]} \quad p/H > 0.65 \quad (2.90)$$

$$B = 200 \times 10^{6[(p/H)-0.65]} \quad p/H < 0.65 \quad (2.91)$$

$$B = 200 \times 10^{9.231(p/H)[(p/H)-0.65]} \quad p/H > 0.65 \quad (2.92)$$

Muslu [44], yan savak akımıyla ilgili nümerik bir analiz geliştirerek deneysel sonuçlarla karşılaştırmış ve iyi sonuçlar elde etmiştir. Çalışmasında eğri uydurma yöntemini kullanmıştır.

Khorchani ve Blanpain [45], yan savaklar üzerindeki yüzey profilinin tespitinde video izleme tekniğini kullanmışlardır. İzlenen veriler model için nümerik verilere dönüştürülmüş ve memnun edici sonuçlar elde edilmiştir.

Ghodsian [46], dikdörtgen yan savakların akım özelliklerini sel rejimi için deneysel olarak incelemiştir. Debi katsayısının belirlenmesi için aşağıdaki eşitliği vermiştir.

$$C_e = \left\{ \left[\left(0.611 + 0.08 \frac{y-w}{w} \right) \left(1 - 0.802 F^{0.212} \right)^{0.85} \right]^{-3.984} + \left[1.06 \left(1 + \frac{w}{y-w} \right)^{1.5} \left(1 - 0.195 F^{0.657} \right)^{1.55} \right]^{-3.984} \right\}^{-0.251} \quad (2.93)$$

Burada, C_e =debi katsayısı, y =ana kanaldaki akım derinliği, F = yaklaşık Froude sayısı ve w =savak yüksekliğini göstermektedir.

Mizumura et. al [47], sel rejimli kanal akımlarında yanal akımları hem teorik ve hem de deneysel olarak incelemişler ve elde ettiği sonuçları karşılaştırmışlardır.

Ghodsian [46], dikdörtgen yan savaklar hakkında yaptığı çalışmasında sel rejimi şartlarında dikdörtgen yan savakların debi katsayısını inceleyerek aşağıdaki formülü elde etmiştir.

$$C_d = \left\{ \left[\left(0.61 + 0.08 \frac{h-p}{p} \right) \left(1 - 0.802 F_r^{0.212} \right)^{0.85} \right]^{-3.984} + \left[1.06 \left(1 + \frac{p}{h-p} \right)^{1.5} \left(1 - 0.195 F_r^{0.657} \right)^{1.55} \right]^{-3.984} \right\}^{-0.251} \quad (2.94)$$

Burada; C_d =yan savak debi katsayısı, h =su yüksekliği, p =kret yüksekliği, F_r = Froude sayısı'dır.

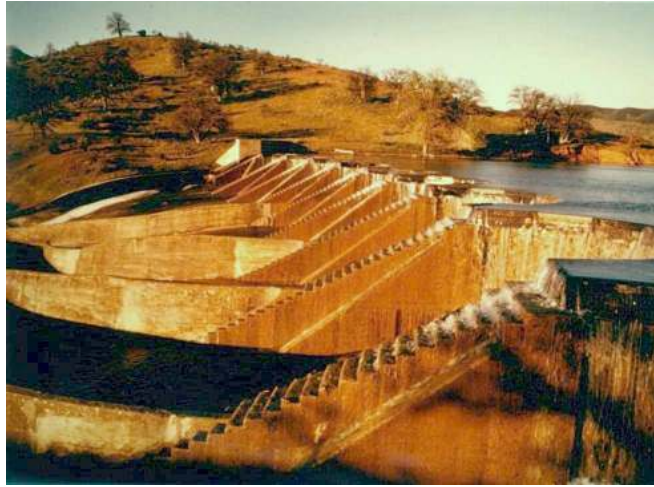
Yüksel [48], yanal akımlara özgül enerjinin değişiminin etkisini araştırmıştır. Bir yan savak akımı boyunca özgül enerjideki değişimin etkisini incelemek için nümerik bir model kullanılmıştır.

3. LABİRENT SAVAKLAR VE UYGULAMALARI

3.1 Giriş

Dolusavakların deşarj kapasitelerinin artırılması için çözüm alternatiflerinden birisi de savağın kret uzunluğunu arttırmaktır. Bu da labirent veya çeşitli geometrik plan formlarına sahip savakların projelendirilmesi ile gerçekleştirilebilir.

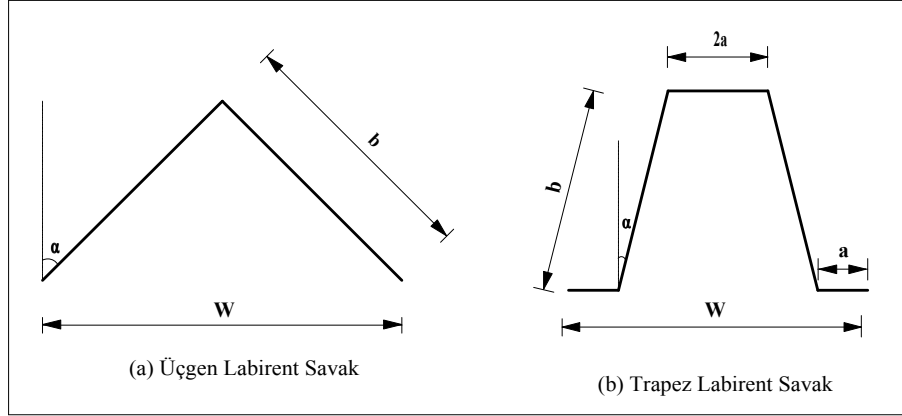
Labirent tipindeki bir savak aynı bir trapez veya üçgen formda sürekliliğe sahip olan kırıklı bir savak planı olarak düşünülebilir. Böylece belirli bir genişlik için labirent tipindeki savaklar doğrusal veya radyal olanlara nazaran daha uzun bir kret uzunluğuna sahip olurlar. Bu tip savaklar eşit bir toplam genişlik ve eşit su yükünde diğer savaklara oranla daha büyük debileri deşarj ederler veya aynı toplam genişlikte daha düşük su yükünde aynı debinin deşarjını sağlarlar. İkinci durumda barajın gövde yüksekliğinin azaltılması veya rezervuarın normal su seviyesinin yükseltilmesi avantajı sağlanabilmektedir. Labirent ismi savağın geometrik formundan gelmektedir. Labirent savaklar genellikle dolusavağa serbest akış olanağı tanıyacak şekilde bir ince duvar yapısı göz önüne alınarak projelendirilirler. Bu savaklara planda çeşitli formlar verilebilir. Şekil 3.1’de görülen labirent dolusavakta, her bir labirent gözü dairesel olarak tasarlanmıştır.



Şekil 3.1 East Park Barajı Labirent Dolusavağı, California [49]

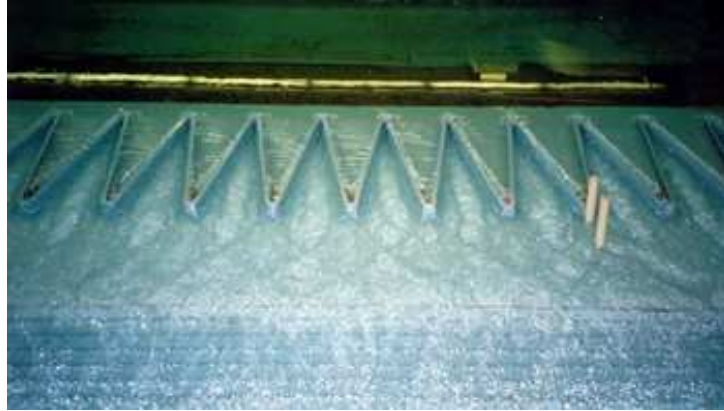
Labirent savaklarda kırıklı bölümler sabit bir genişlikte savak uzunluğunun artırılabilmesi olanağını sağlar. Labirent için herhangi bir geometrik şekil kullanılabilmesine rağmen, inşaat kolaylığı açısından çoğunlukla üçgen veya trapez şekiller tercih edilmektedir (Şekil 3.2).

Labirent savakların geometrik şekilleri; kırıklı kret uzunluğunun $(4a+2b)$, bir gözün genişliğine (W) oranı ve savak gözü yan duvarlarının akım doğrultusuyla yaptığı açı ile (α) tanımlanırlar [49].



Şekil 3.2 Üçgen ve Trapez Labirent Savakların Geometrik Şekilleri [49]

Labirent savak üzerindeki akım koşulları lineer savaklara nazaran daha düzensizdir. Her bir kıvrımda birbirine yaklaşan savak geometrisi akımın büyük bir bölümünü savak kreti üzerinden bir açı ile geçmeğe zorlar. Bu durum, aynı zamanda savak kreti boyunca su yükü farklılıkları yaratmaktadır. Akım savak kıvrımları arasından geçerek kret üzerinden kanala geçtiğinde mansapta girişime başlamaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Labirent Savakların Mansabındaki Akımın Görünüşü [49]

Bir labirent savağın projelendirilmesi için aşağıda verilen lineer bir savağın temel eşitliği kullanılabilir. Bu deneysel çalışmalarda da debi katsayıları (C_d), bu eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır [49].

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot \sqrt{2g} \cdot L_{ef} \cdot h^{3/2} \quad (3.1)$$

Burada,

Q: Debi

C_d : Debi katsayısı

L_{ef} : Savağın etkili uzunluğu

h: Kret üzerindeki nap yükünü gösterir.

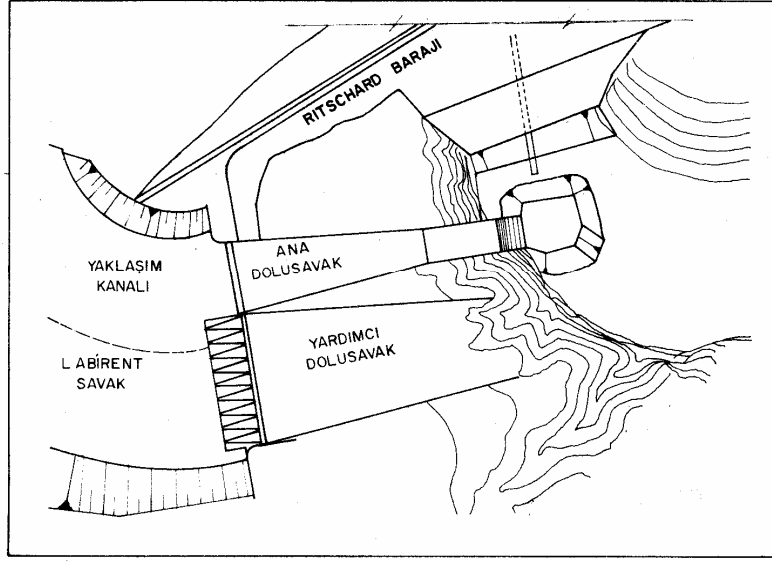
g: Yerçekimi ivmesini ifade etmektedir.

3.2 Labirent Savakların Uygulamaları

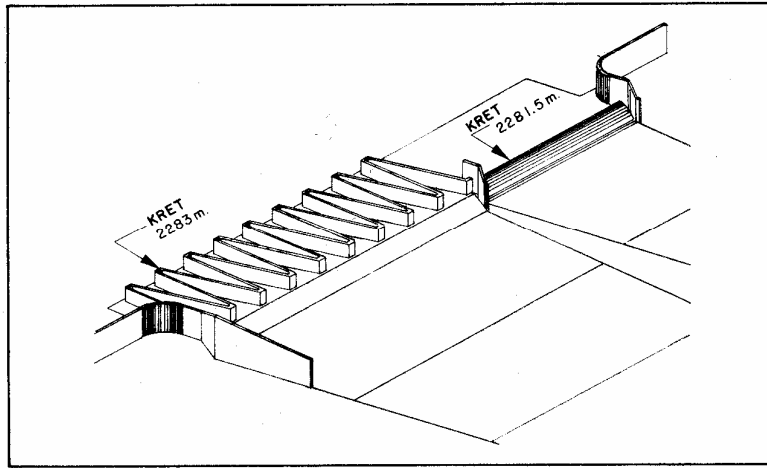
3.2.1 Ritschard Barajı (ABD)

Labirent tipi dolusavakların büyük debileri daha küçük su yüklerinde geçirebilme özellikleri, bu tip yapıların birçok yerde uygulama alanı bulması sonucunu doğurmuştur. Labirent dolusavaklar genellikle baraj dolusavakları olarak uygulanmıştır. Bu tip dolusavaklar daha çok arazide dolusavağın yerleştirileceği bölgenin genişliğinin kısıtlı olduğu veya rezervuardaki taşkın öteleme hacminin kısıtlı olduğu bölgeler için uygun olmaktadır. Kapaklı dolusavak tiplerine nazaran daha düşük maliyeti olan bu dolusavaklar aynı zamanda kontrolsüz dolusavaklarla kıyaslandıklarında dolusavağın eşit kret kotlarında baraj gövdesi kret kotunun düşürülmesine, olanak tanımaktadır. Bunun yanı sıra, gövde kret kotunun eşit olduğu durumda ise klasik kontrolsüz dolusavaklara oranla rezervuarın aktif depolama kapasitesinin artırılmasına olanak tanımaktadır. Labirent dolusavaklar kapaklı dolusavaklara nazaran daha güvenilir ve düşük maliyetli işletme olanağı sağlamaktadır [50].

Labirent savaklar yardımcı dolusavak uygulamalarında en uygun tipi oluşturmaktadır. Bu tip savaklar, baraj yeri topografyası dolusavak genişliğini kısıtladığında özellikle önem kazanırlar ve genellikle küçük bir servis dolusavağı ile birlikte kullanılırlar. Bu yaklaşım ABD’de Ritschard Barajı projesinde kullanılmıştır (Şekil 3.4). Labirentin kreti servis dolusavağı ogee kretinden 1,5 m yüksekte projelendirilmiştir. Kret seviyeleri arasındaki 1,5 m’lik fark yardımcı dolusavağın 100 yıllık taşkın debilerin den daha küçük debi değerlerinde işletme dışı olması amacıyla seçilmiştir (Şekil 3.5). Labirent tipi yardımcı dolusavak, az olan işletme olasılığından dolayı kaplamasız bir kaya kanal içine inşa edilmiştir [50].

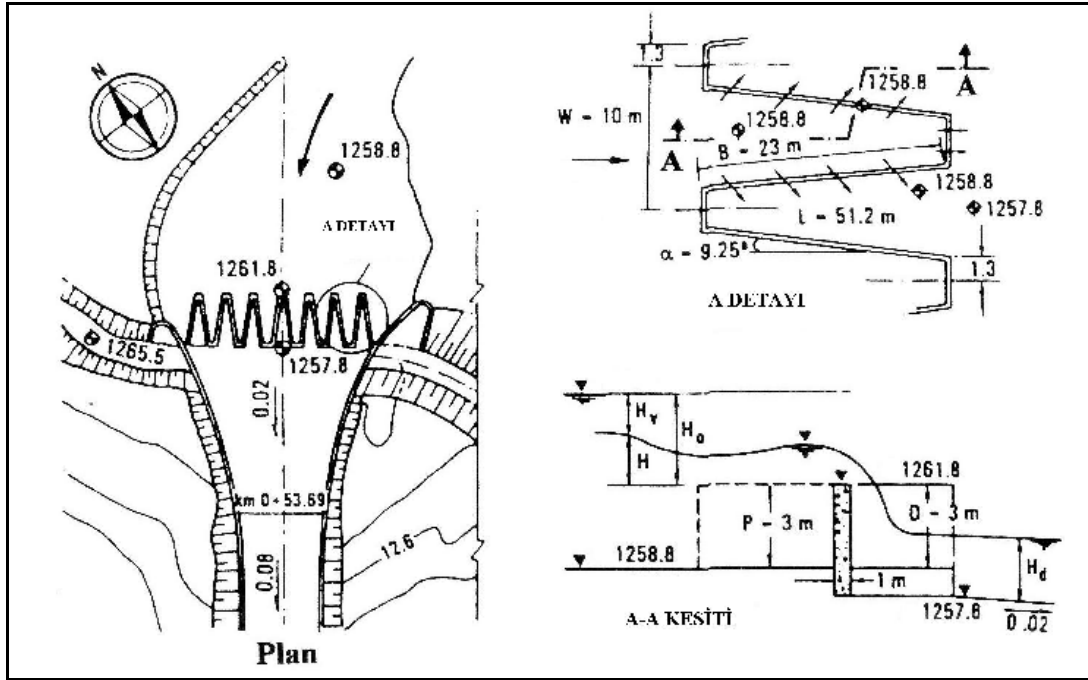


Şekil 3.4 Ritschard Barajı Dolusavak Genel Yerleşim Planı [51]



Şekil 3.5 Ritschard Barajı Ana Dolusavak ve Labirent Tipi Yardımcı Dolusavağı [51]

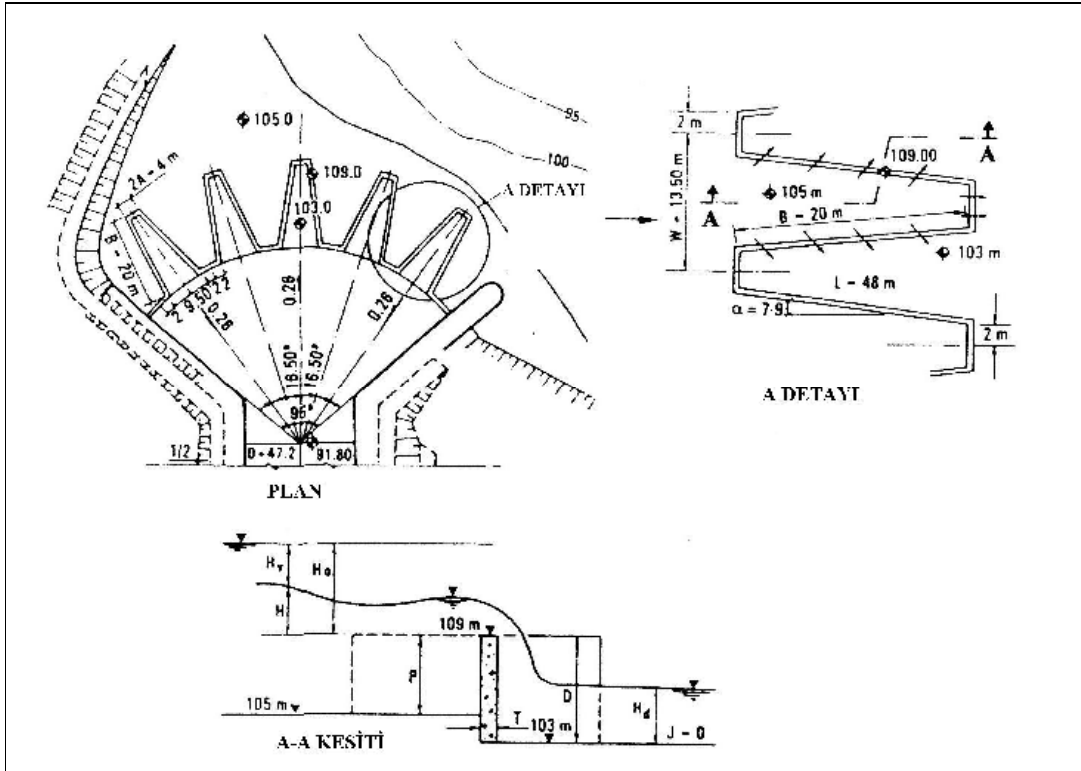
3.2.2 Sarıoğlu Barajı (Türkiye)



Şekil 3.6 Sarıoğlu Barajı Labirent Tipi Dolusavak Yerleşim Planı, Kesit ve Detayı [52]

Sarıoğlu Barajı, Kayseri yakınlarında olup Kestuvan suyu ile Düzcik çayı üzerinde sulama amacı için inşa edilmektedir. Baraj homojen toprak dolgu tipindedir. Kret kotu 1265,50 m, kret uzunluğu 1783,535 m, kret genişliği 10,00 m, talveg kotu 1234,30 m, temel kotu 1227,50 m, temelden yüksekliği 38,00 m'dir. Barajın deşarj kapasitesi 490,70 m³/s'dir [50].

3.2.3 Kızılcapınar Barajı (Türkiye)

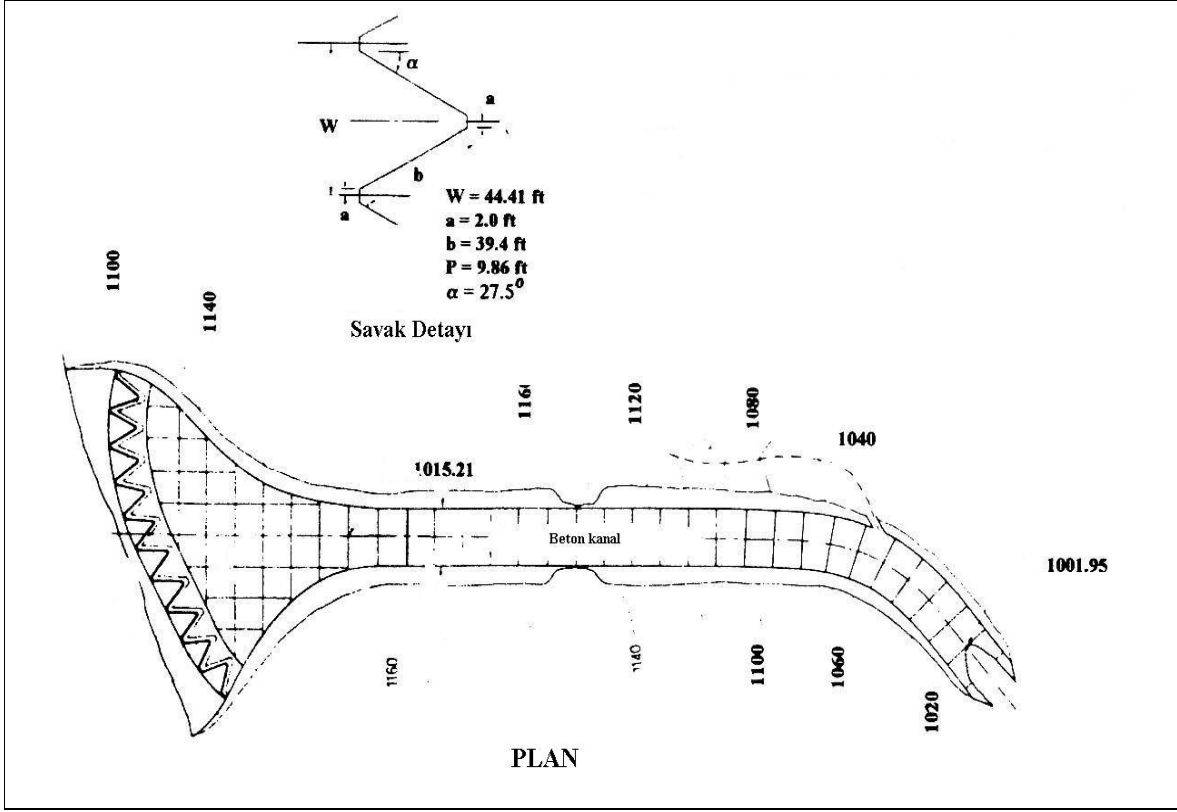


Şekil 3.7 Kızılcapınar Barajı Labirent Dolusavak Yerleşim Planı, Kesit ve Detayı [52]

Erdemir Su Temini Projesi Kızılcapınar Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Zonguldak ili Ereğli ilçesi Kızlar çayı üzerindedir. Endüstri, içme suyu temini, sulama ve enerji üretimi amaçları için inşa edilmektedir. Baraj kaya dolgu tipindedir. Kret kotu 117 m, kret uzunluğu 263 m, kret genişliği 10 m, talveg kotu 63 m, talvegden yüksekliği 53 m ve temel kotu 57 m'dir.

Barajın deşarj kapasitesi $2270 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir [50].

3.2.4. Avon Barajı (Avusturalya)

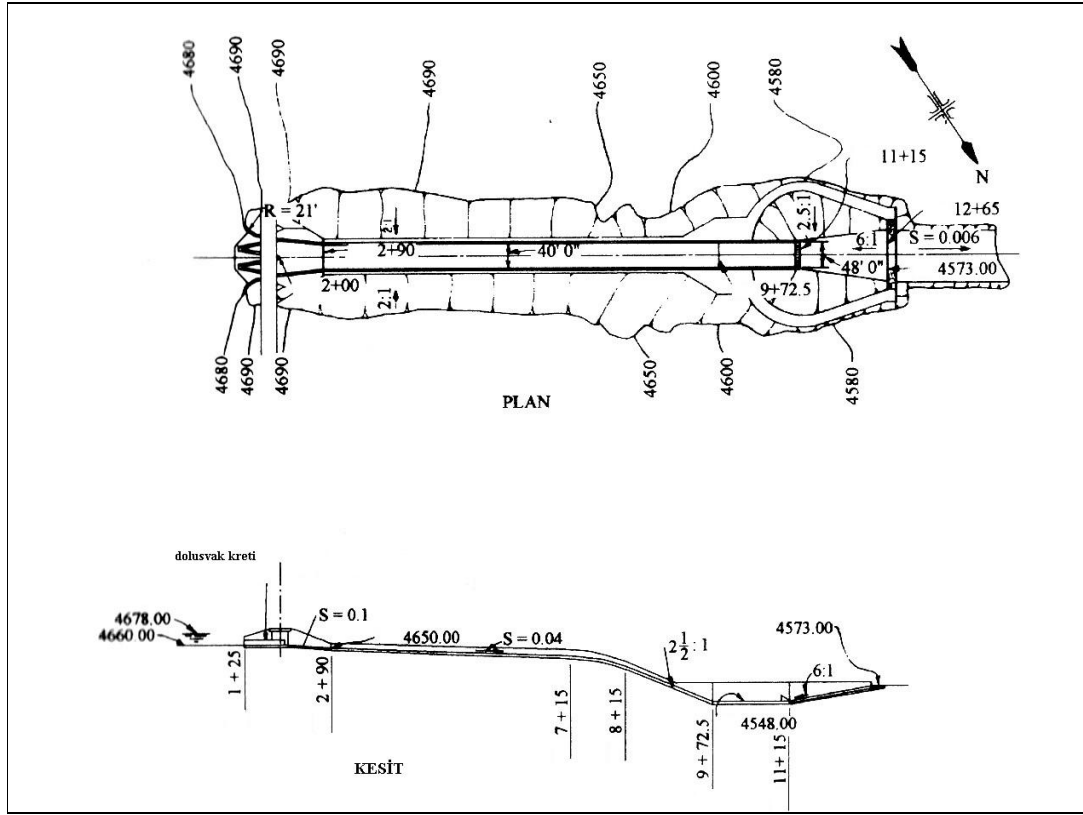


Şekil 3.8 Avon Barajı Labirent Dolusavak Yerleşim Planı ve Savak Detayı [52]

Avon barajı Avustralya’da 1927 yılında tamamlanmıştır. 27 m yüksekliğinde kargir olarak inşa edilen baraj 146 m uzunluğunda fan şeklinde bir dolusavağa (fan shape weir) sahiptir. Dolusavağın maksimum debisi $756 \text{ m}^3/\text{s}$ olup bu debide kret üzerindeki su yükü 2,80 m’dir [50].

Daha sonra yapılan hidrolojik çalışmalar, olası taşkın debisinin projelendirilmede kullanılan değerden çok yüksek olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yapılan hidrolik model çalışmaları sonunda, orijinal savağın yerine aynı genişlikte bir labirent savak yerleştirilmesine karar verilmiştir. 1970 yılında yapılan labirent savak 265 m toplam uzunluğa sahip olup, on gözden oluşmuştur. Yapılan hidrolik model çalışmalarında bu savağın 2,8 m’lik su yükünde $1970 \text{ m}^3/\text{s}$ ’lik debiyi deşarj ettiği belirlenmiştir. Bu değer aynı su yükünde orijinal savaktan geçen debinin 2,3 katına karşılık gelmektedir.

3.2.5. Hyrum Barajı (A.B.D)

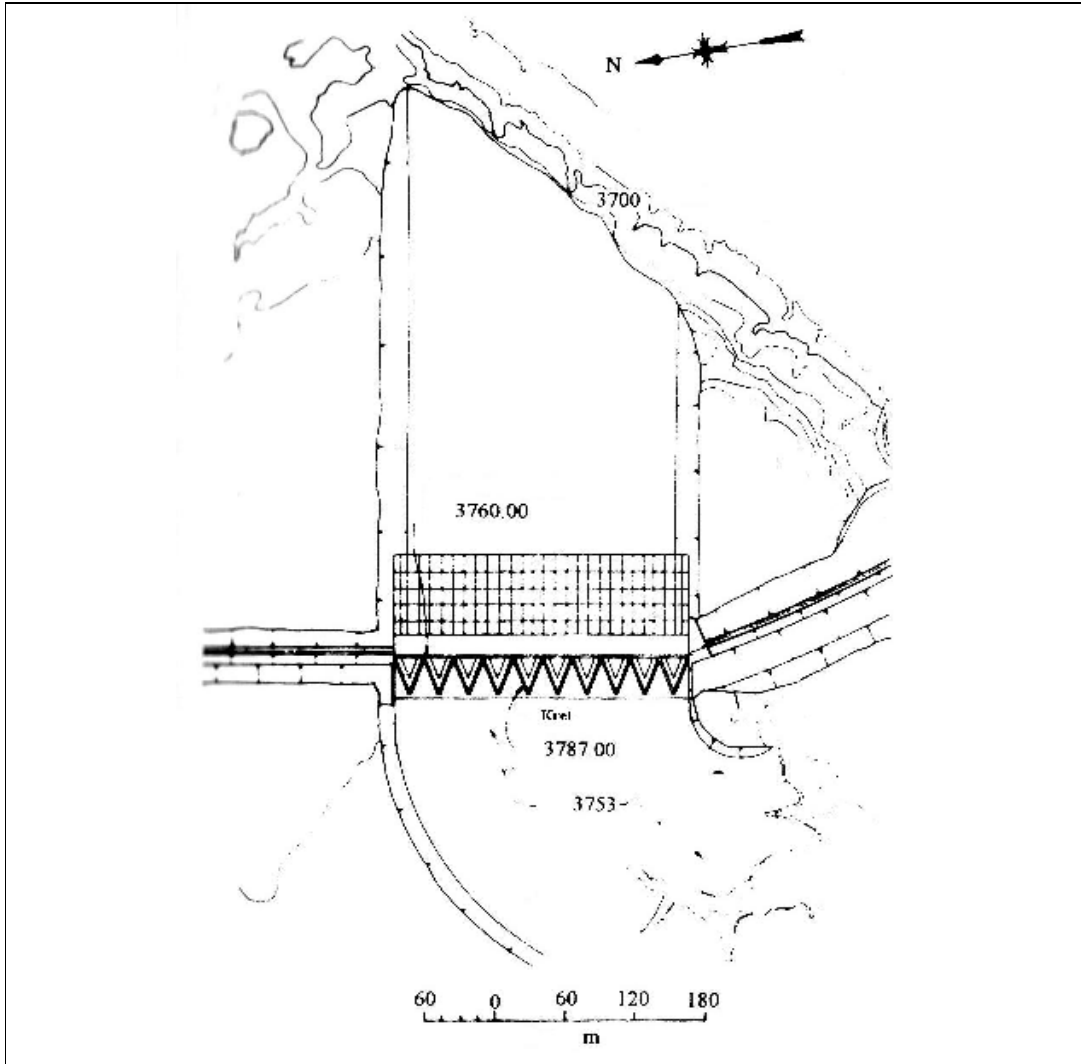


Şekil 3.9 Hyrum Barajı Labirent Dolusavağı Yerleşim Planı ve Kesiti [52]

ABD'nin Utah eyaletinin Little Bear nehri üzerinde bulunan Hyrum Barajı, 1935 yılında tamamlanmıştır. Baraj dolusavağı 15 m genişliğinde kapaklı bir dolusavaktır. Dolusavak proje debisi $160 \text{ m}^3/\text{s}$, dipsavak deşarj kapasitesi ise $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir [50].

Rezervuar taşkın debisinin 1981 yılında revize edilmesinden sonra mevcut yapının bu debiyi deşarj edemeyeceği anlaşılmıştır. Bazı alternatifler üzerine yapılan çalışmalar sonunda, labirent tipi yardımcı dolusavağın en ekonomik alternatif olduğuna karar verilmiştir. Bu dolusavağın hidrolik model çalışmaları yapılarak savağın iki açıklıklı, 18,20 m toplam genişlikte, 91,40 m toplam uzunlukta yapılması önerilmiştir. Söz konusu savağın $256 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik debiyi 1,68 m su yükü ile deşarj ettiği belirlenmiştir [53].

3.2.6 Ute Barajı (A.B.D)



Şekil 3.10 Ute Barajı Labirent Dolusavağı Yerleşim Planı [52]

37 m yüksekliğinde ve toprak dolgu tipindeki baraj, ABD'nin New Mexico eyaletinde 1962 yılında tamamlanmıştır. Barajın dolusavağı doğrusal ve ogee profiline sahip olup, 265 m uzunluğundadır. Dolusavak daha sonra üzerine kapak yerleştirmeye uygun olarak projelendirilmiştir. Ancak birkaç sene sonra rezervuar depolama kapasitesinin artırılması için kapak yerleştirilmesine ihtiyaç duyulduğunda, kapak maliyetinin 30 milyon dolar olduğu tespit edilmiş ve bu miktar kabul edilmeyecek oranda yüksek bulunmuştur. Yapılan araştırmalar sonunda, baraj gövdesinin 3,35 m yükseltilmesi ve mevcut dolusavağın yerine labirent tipi dolusavak inşa edilmesinin en ekonomik çözüm olacağı belirlenmiştir [54]. Bu düzenlemelerin toplam maliyetinin yaklaşık 10 milyon dolar olacağı hesaplanmıştır. Yapılan hidrolik model çalışmaları sonunda, mevcut dolusavağın yerine 256 m genişliğinde, 14 gözü bulunan ve toplam uzunluğu 1024 m olan bir labirent savak projelendirilmiş ve

inşaatı da 1983 yılında tamamlanmıştır [53]. Bu labirent dolusavağın $1557 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik debiyi 5,79 m'lik su yükü ile geçirdiği tespit edilmiştir.



Şekil 3.11 Ute Barajı

4. KATI MADDE HAREKETİ

4.1 Giriş

Akarsularda su akarken beraberinde katı maddelerde taşır. Bu katı maddeler ya akarsu havzasındaki erozyondan veya akarsu yatağındaki aşınmalardan kaynaklanır. Akarsu yatağındaki aşınmalar o bölgede bir takım oyulmaların oluşmasına sebep olur. Öte yandan akarsudaki akımın sürüklenme gücünün azaldığı bölgelerde, taşınmakta olan katı maddelerin bir kısmı tabana çöker ve yığılmalar olur. Böylece akarsu boyunca katı madde hareketlerinden kaynaklanan bir takım oyulma ve yığılmalar meydana gelir. Bu katı madde olayları sonucunda akarsu morfolojisi değişir, akarsu üzerinde yapılan yapılar fonksiyon ve sağlamlık açısından zarar görür, hatta akarsuyun su kalitesi etkilenir. Söz konusu değişme ve etkilemeleri daha iyi anlamak ve sağlıklı belirlemek için akarsulardaki katı madde hareketinin prensiplerini bilmek gerekir. Konu ile ilgili çok sayıda araştırma yapılmış ve bazı kitaplar yazılmıştır [55].

Akarsuların taşıdığı katı maddeler çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir:

1. Malzemenin kaynağına göre sınıflandırma. Buna göre:
 - a. yatak malzemesi,
 - b. yıkanmış malzeme.

Yatak malzemesi, hareketli bir tabanı oluşturan malzemedir. Yıkanmış malzeme ise çoğunluğu havza erozyonundan gelen ve yatak malzemesinden daha ince olan malzemedir.

2. Akarsudaki taşınma şekline göre sınıflandırma. Buna göre:
 - a. askıda madde,
 - b. sürüntü maddesi.

Askıda maddeler suyun içinde askı halinde hareket eden maddelerdir. Sürüntü maddesi ise akarsu yatağında yuvarlanarak ve kayarak hareket eden maddelerdir. Tabanda sıçrayarak hareket eden maddeler de sürüntü maddesi sınıfına girer.

Askıda madde daha ince çaplı olmakla birlikte bunu sürüntü maddesinden ayıran kesin bir dane çapı yoktur. Çünkü katı madde hareketi sadece dane çapına değil, akım durumuna da bağlıdır. Söz gelişi, hızlı akım olan bir bölgede askıda ilerleyen bir parçacık, daha durgun akan bir bölgeye gelince sürüntü hareketine geçebilir. Bu ayrım için bir takım bağıntılar geliştirilmiştir. Bunlara bir örnek olarak, $B/(gD)^{0.5}$ değerini, danenin Froude sayısını, 19 yapan çap D, sürüntü ve askıda maddesini ayıran bir ölçü olarak alınabilir. Burada V akımın akarsu kesitindeki ortalama hızı, g yerçekimi ivmesidir.

Bir de suyun üzerinde yüzen ağaç, yaprak gibi maddeler vardır. Bunların yoğunluğu sudan az olduğu için hemen hemen hepsi akım boyunca yüzeyde kalır.

Katı madde hareketinin incelenmesinde taşıma şekillerine göre yapılan sınıflandırma daha çok kullanılır. Diğerinde olduğu gibi bu sınıflandırmada da sınıflandırmaya giren maddelerin toplamına, toplam katı madde denir. Söz gelişi, taşıma şekillerine göre sınıflandırmada, sürüntü maddesi ve askıda madde toplamına toplam katı madde denir.

Yapılan tanımlardan da anlaşılacağı gibi, askıda maddesi, yıkanmış malzeme ve yatak malzemesinden oluşur. Sürüntü maddesi ise, sadece yatak malzemesinden meydana gelir. Yatak malzemesi hareketli bir tabanı oluşturan malzemedir. Yıkanmış malzeme ise çoğunluğu havza erozyonundan gelen ve yatak malzemesinden daha ince olan malzemedir.

Birim zamanda taşınan katı madde miktarı, ya birim zamanda taşınan kuru hacim (m^3/sn), ya birim zamanda taşınan kuru ağırlık (kg/sn), ya da birim zamanda taşınan boşluk hacmi de dahil toplam hacim (m^3/sn) cinsinden ifade edilir. Genellikle ilk ikisi kullanılır.

Katı madde konsantrasyonu, su içindeki askıda maddesi miktarının su ve askıda maddesi karışım oranına denir. Genellikle bu, bir milyonda kısım olarak ifade edilir ve ppm ile gösterilir. Konsantrasyon, milyon metre küpte metre küp ($m^3/10^6m^3$) veya litrede miligram (mg/l) birimleri ile verilir.

4.2 Hareketin Başlaması

Sediment hareketindeki mekanik olay oldukça fazla sayıdaki fiziksel büyüklük ile tanımlanmaktadır. Bunlardan önemli olan fiziksel büyüklükler, Tablo 4.1’de gruplar halinde verilmektedir [56].

Tablo 4.1 Katı madde hareketinde fiziksel büyüklükler

Sediment ile ilgili büyüklükler:	Özgül kütle	ρ_s
	Dane çapı	D
	Sürüntü mad. birim debisi	q_s
Akışkan ve akım ile ilgili büyüklükler:	Özgül kütle	ρ
	Viskozite	ν
	Su derinliği	h
	Ortalama hız ve sürüklenme hızı	$\bar{v}, v^*$
Sediment ve akışkan ile ilgili büyüklük:	Yerçekimi ivmesi	g

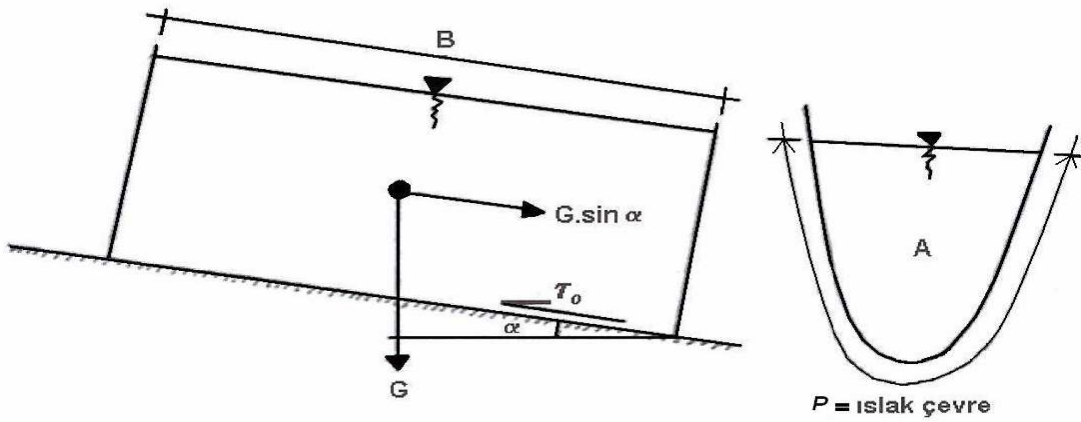
Akarsulardaki katı madde hareketlerinde önemli bir rol oynayan kayma (sürüklenme) gerilmesi

$$\tau_0 = \gamma R J \quad (4.1)$$

Tablo 4.1'de " v^* " ile gösterilen sürüklenme hızı, akarsularda katı madde hareketinde önemli bir rol oynayan bir parametredir. 4.1 de verilen bağıntıda "J" taban eğimi ve "R" ile gösterilen hidrolik yarıçaptır. Sürüklenme hızı (v^*);

$$v^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{g R J} \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 4.1 Üniform bir kanalın birim boyunda etkili kuvvetler [57]

Aralarında elektrokimyasal kuvvetler bulunmayan, kohezyonsuz kum ve çakıl gibi ayrık taneleri tabanda tutan en önemli faktör tanelerin ağırlığıdır. Akım ise, taneye kayma gerilmesi uygulayarak onu hareket ettirmeye çalışır. Akımın yarattığı kayma gerilmesinin (τ_0) belli bir değere erişmesi halinde (τ_{kr}), tabanda bazı taneler kayarak ve yuvarlanarak ilerler. Bu hareket şekline “sürüntü hareketi” denilmektedir. Akımın taban kayma gerilmesini daha da artması durumunda, sürüntü hareketi yapan tanelerinden bir kısmı tabandan koparak akıma karışıp, kısa bir zaman akım içinde hareket ettikten sonra tekrar tabana dönerek “sıçrama” hareketi yapar. Sıçramanın başlamasının nedeni tane yakınındaki basıncın değişmesi ya da başka bir tanenin çarpmasıdır. Akım hızının daha da artırılması, büyüyen taban kayma gerilmesinin etkisi ile tabandan ayrılan tanelerin türbülans çevrileri yardımıyla tabandan daha uzak noktalara taşınmasına yol açar. Bu hareket şekline “askı” hareketi denir. Askı hareketi yapan tanelerin çökme hızları, akımın türbülans hızının düşey

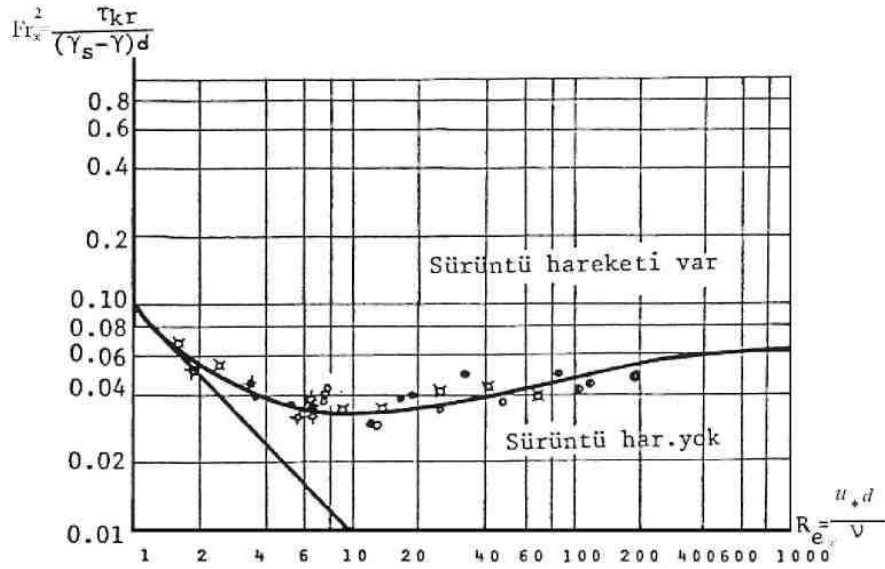
bileşeni tarafından karşılanır. Bu etkiler altında, tanelerin bir kısmı uzun zaman akarsu içinde askı halinde taşınabilir veya askıdaki tane tekrar tabana dönebilir [57].

Akarsu yatağında bulunan kohezyonsuz bir parçacığın dengesi düşünülürse bu parçacığa:

- parçacığın su içindeki ağırlığı,
- Suyun sürüklenme kuvveti,

etki eder. Son kuvvete parçacığın etrafındaki akım sebep olur. Bu kuvvet parçacığın etrafında basınç farkları ve kayma gerilmeleri doğurur.

Parçacığa etki eden kuvvetlerin büyüklükleri, parçacığın büyüklüğüne, biçimine, yatağın pürüzlülüğüne, etrafındaki hızın ortalama hızına ve bu hızdaki dalgalanmalara bağlıdır.



Şekil 4.2 Shields diyagramı [56 ve 58]

Shields [58] da harekete başlama durumu için kayma hızını belirlemiş, Reynolds sayısı $R_* = u_* D / \nu$ ile $\psi = \tau_0 / (\gamma_s - \gamma) D$ arasındaki bağıntıyı incelemiş ve deneysel olarak yaptığı çalışmalardan Şekil 4.2'deki grafiği hazırlamıştır. Bu bağıntı çeşitli araştırmacıların sonradan yaptığı deneylerle de doğrulanmış olup halen güncelliğini korumaktadır.

Hareket ile hareket olmaması durumları arasındaki sınır, "denge durumu" olarak tanımlandığında, Shields eğrisi üzerinde bulunan noktalar tabanda oluşan kayma gerilmesinin (τ_0) kritik sürüklenme gerilmesine (τ_{kr}) eşit olduğunu göstermektedirler. Bu gerilme aynı zamanda sınır kayma gerilmesi veya oyulma kayma gerilmesi adları ile de anılmaktadır. $\tau_0 > \tau_{kr}$ olduğu zaman o kesitte hareket ve taşınım buna bağlı olarak oyulma söz konusu iken, $\tau_0 < \tau_{kr}$ olduğu zamanda şayet membadan gelen sürüntü maddesi söz konusu ise akarsu yatağındaki yığılmadan bahsedilmektedir.

Shields diyagramında düşey eksenle farklı şekiller ile ifade edilen boyutsuz kayma gerilmesi (ψ) görülmektedir.

Shields eğrisi üzerinde yer alan noktalar denge durumunu karakterize ederken ($\tau_0 = \tau_{kr}$), eğrinin yukarısında kalan alanda katı madde hareketinin olacağı ($\tau_0 > \tau_{kr}$), eğrinin aşağısındaki alanda ise katı madde hareketinin olmayacağı ($\tau_0 < \tau_{kr}$) açıktır. Tam eğrinin üzerindeki noktalar hareketin başlama durumunu göstermektedir. Eğriden görüleceği üzere hareket başlangıcında $Re_* > 200$ için $\psi = 0.06$ ve $Re_* = 10$ için $\psi = 0.03$ olmaktadır. Burada ψ parçacığın şekline ve akımın hızına bağlı bir parametredir. Özellikle bir yatakta aşınma olup olmayacağı bu kriterler kullanılarak belirlenebilir. Ayrıca bu diyagramla çözüme gidilirken yapılan hesaplar iterasyonu gerektirmemektedir.

Bu incelemeler hareketin başlamasının, τ_k ile gösterilen kritik kayma gerilmesiyle bağıntılı olduğunu göstermektedir. Kritik kayma gerilmesi, τ_k , hareketin başladığı andaki kayma gerilmesi olarak tanımlanır. Bu ise, kritik derinlik ve dolayısıyla kritik hız ile karakterize edilebilir. Buradaki kritik hız, katı madde hareketinin başladığı andaki akım hızı olarak tanımlanabilir.

Taban kayma gerilmesi (τ_0), kritik sürüklenme gerilmesinin (τ_{kr}) üstündeki bir değere çıktığı zaman cidardaki daneler sürüklenmeye başlar. Sürüntü maddesi akarsu tabanında hareket eden yuvarlanan küçük parçalardan oluşur. Bu daneler yatağın üst yüzeyi ile sürekli temas halindedir. Eğer akımın hızı daha yüksek değerlere ulaşırsa bazı daneler sıçramaya başlar. Yuvarlanarak, kayarak, sıçrayarak hareket halinde bulunan bu daneler bir süre sonra durgunlaşırlar.

Askıda maddesi daha ince çaplı olmakla birlikte, bunu sürüntü maddesinden ayıran belirli bir dane çapı yoktur. Çünkü katı madde hareketi yalnızca dane çapı ile ilgili olmayıp akım durumuna bağlıdır. Örneğin hızlı akım olan bir bölgede askıda ilerleyen bir parçacık daha durgun akan bir bölgeye gelince sürüntü maddesi durumuna geçebilir. Örneğin, bu ayırım için geliştirilen bağıntıların birinde, $F_r^2 = v^2/gD$ (v =hız, D =dane çapı, g =yerçekimi ivmesi) ifadesini 360 yapan çap, sürüntü maddesi ve askıda maddesini ayıran bir ölçüt olarak alınmaktadır.

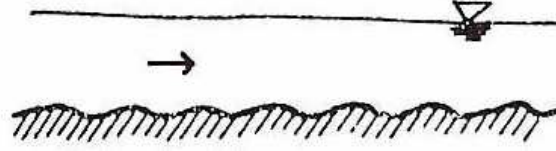
4.3 Taban Şekilleri

Hareketli tabanlı akarsularda taban şekillerinin bilinmesi aşağıdaki iki sebepten dolayı pratikte önemlidir.

- 1) Akarsuyun taban şekli sürüntü maddesi hareketinin stokastik yapısını yansıtır. Bu bakımdan sürüntü maddesi miktarını ölçmede kullanılan teknik, taban şekline uygun olmalıdır.
- 2) Taban şekli taban pürüzlülüğünü, taban pürüzlülüğü ise hem debiyi, hem de su derinliğini etkiler. Bunun için ulaşım gibi su derinliğinin önemli olduğu düzlemlerde taban şekilleri göz önüne alınır.

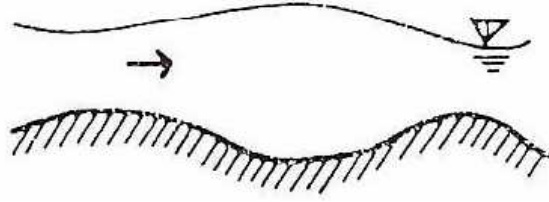
Akarsularda karşılaşılan taban şekilleri şunlardır;

- a. Kum dalgacıkları: "D" dane ϕ 'nin 0,6 mm'den küçük olduğu durumlar için söz konusudur. Dalga boyları 5-10 cm, yükseklikleri 1 cm'dir. Dalga boyları ve yükseklikleri su derinliğine bağlı olmayıp, dane ϕ 'ından etkilenmektedir.



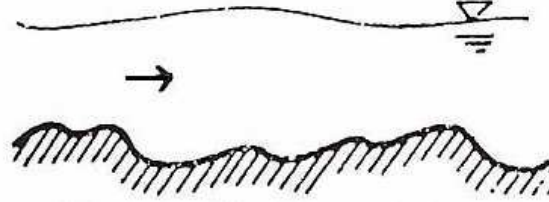
Şekil 4.3 Kum Dalgacıkları

- b. Eşikler.: Her büyüklükteki sediment için kayma gerilmesinin artışına bağlı olarak gelişirler. Şekilleri üçgendir. Uzunlukları su derinliğinin birkaç katı büyüklüğündedir.



Şekil 4.4 Eşikler

- c. Yıkanmış eşikler,



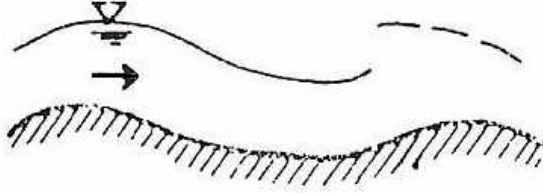
Şekil 4.5 Yıkanmış Eşikler

- d. Düz yatak: "v" hızı arttıkça eşikler düzleşir buna bağlı olarak katı madde taşınımı artar.



Şekil 4.6 Düz Yatak

- e. Ters eşikler: Froude sayısı yaklaşık olarak 1'e eşittir. Su yüzeyinde stabil olmayan dalgalar oluşturur. Zaten akarsu yatağı ve bu dalgaların etkileşimi ile böyle bir oluşum söz konusu olmaktadır.



Şekil 4.7 Ters Eşikler

f. Göller ve düşümler: Büyük kanallarda şüt oluşumu ve göllenmeler söz konusudur.



Şekil 4.8 Göller ve Düşümler

Bu sıralanış bir bakıma akımdaki hıza göre yapılmıştır. Başka bir deyimle hızı az olan akımlarda kum dalgacıkları oluşurken, hız arttıkça taban şekilleri sıra ile öteki tiplere dönüşür.

Taban şekilleri, ya yatak şeklinin ilerleyişine veya yatak dalgası ile su dalgası arasındaki faz farkına göre sınıflandırılırlar. Birinci sınıflamada kum dalgacıkları ve eşikler mansaba doğru, ters eşikler ise menbaya doğru ilerleyen şekillerdir. İkinci sınıflandırmada, kum dalgacıkları ve eşiklerde, taban ve su dalgalanmaları aynı fazda oluşmuyor.

4.4 Katı Madde Ölçüm Teknikleri

Katı madde taşınımında, ampirik yaklaşımlar ile taşınım miktarları hesaplanmasına karşın, teorik yaklaşımların doğrulanabilmesi hususunun yanı sıra, nehrin ve akım özelliklerinin değişimlerinin iyi tanımlanabilmesi açısından da katı madde ölçümlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Ölçümlerde, yıkantı ve yatak maddesi diye tanımlanan katı maddenin orijinini belirleyen ayırımın aksine katı madde taşınım şekli önemli rol oynar. Bu nedenle sürüntü maddesi ve askıda maddesi ölçümleri birbirinden farklıdır. Askıda maddesi ölçümlerine nazaran sürüntü maddesi ölçümleri daha zordur. Bu sebeple çok büyük akarsularda, toplam katı madde miktarı; ölçümler ile bulunan askıda maddesi miktarına %5-15'lik bir ilave yapmak sureti ile bulunmaktadır.

Mevcut ölçüm teknikleri iki gruba ayrılabilir:

- Örnek alma sureti ile yapılan ölçümler
- Gözlemsel ölçümler

4.4.1 Örnek Alma Sureti ile Yapılan Ölçümler

Katı madde taşınım miktarı ölçümü direkt veya indirekt olarak yapılabilir. Direkt metotlar belirli bir zamanda geçen katı maddenin ağırlığını içermektedir. İndirekt metotlarda ise katı madde konsantrasyonu, kesitteki ıslak alan ve hareket halindeki partiküllerin hızı göz önüne alınmaktadır.

Örnek alınımında aşağıdaki hususlar önem arzeder.

- Örnek alınımında kullanılan aygıt
- Örnek alınımı ile ilgili zamanlama
- Örnek alma tekniği
- Örneklerin değerlendirilmesi

4.4.2 Gözlemsel Ölçümler

Katı madde ölçümlerinde gözlemlene yönteminin de yeri vardır. Bu yöntemde işaretlenmiş daneler küçük miktarlarda akım içerisine katılır ve bu danelerin hareketi gözlemlenir. Yapmış olduğu hareketlerden taşınım miktarı hesaplanır.

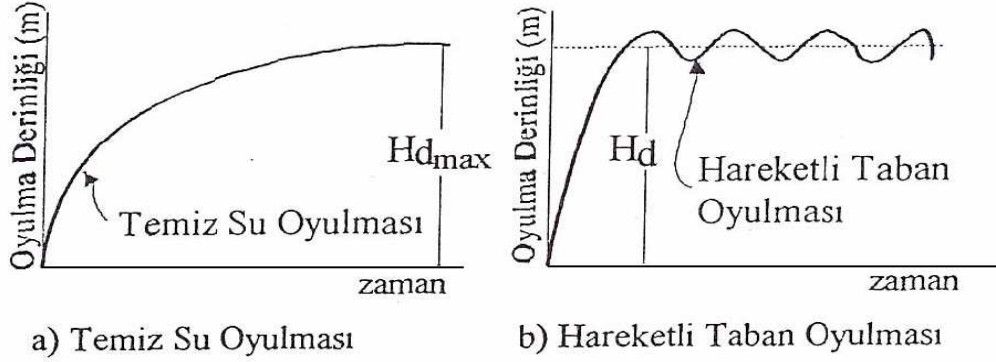
4.5 Oyulmanın Zamanla Değişimi

Akarsularda katı madde hareketinde bir süreklilik vardır. Sürekli bir katı madde girişi ve çıkışı gözlenir. Uzun bir zaman sürecinde doğal olarak akarsuyun taşıma kapasitesindeki değişimin sonucu akarsuda denge bozulabileceği gibi, herhangi bir kesimin kısa bir süreçte denge durumundan erozyon durumuna veya alüvyon durumuna geçmesi; akarsu üzerinde insan eliyle yapılan yapılardan veya akarsuya dışardan müdahaleden kaynaklanmaktadır.

Akarsu üzerine yapılan bir su yapısı, akım alanında rahatsızlık yaratıcı bir parametre olduğundan, yerine ve özelliklerine bağlı olarak akarsu tabanında oyulmaya neden olur. Örneğin bir baraj haznesinin mansabında rastlanan oyulma, bu su yapısının doğal bir sonucudur. Çünkü gelen malzeme rezervuarda tutulmakta ve baraj mansabına ulaşmamakta ve böylece mansap kesiminde taşınan katı madde gelen katı maddeden daha büyük olduğu için oyulma olmaktadır. Bu tip oyulmalara genel oyulma denir. Bunun yanı sıra akarsu içinde bir yapının inşaa edilmesi, akarsuyun taşıma kapasitesini değiştirerek büyük değişikliklere neden olur. Örneğin akarsuyun üzerine yapılan köprünün ayaklarının kesiti daraltması ile akım hızlanır ve köprü ayakları çevresinde oyulmalar görülür. Bu tip oyulmalara yerel oyulma denir.

Doğal olarak, oyulma nedeniyle akarsu tarafından taşınan katı maddenin bir yerde birikmesi gerekir. Bu ise genellikle akarsuların denize çıkış ağızlarında, baraj göllerine girişte, akarsu kesitinin genişlediği yerlerde veya akım hızının düştüğü yerlerde olmaktadır. Bu olaya ise yığılma adı verilir.

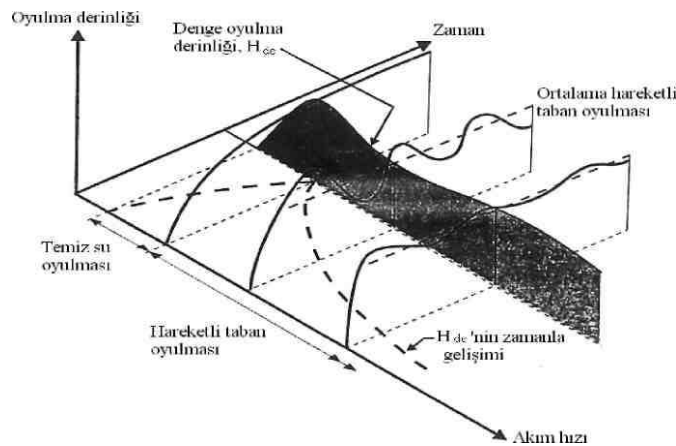
Şekil 4.9’da gösterildiği gibi, oyulma derinliğinin değişimi zamanla karakterize edilebilir. Ayrıca, hareketli taban oyulmasının karakteristiklerinden biri de, oyulma derinliğinin denge oyulma derinliği etrafında salınımlar yapmasıdır (Tsujimoto ve Mizukami, 1985)



Şekil 4.9 Oyulma derinliğinin zamanla değişimi [59]

Tsujimoto ve Mizukami [59], köprü ayakları etrafındaki yerel oyulmayı incelemişler ve temiz su oyulması durumunda oyulma derinliğinin zamanla arttığını ve belli bir zamandan sonra asimptot olarak devam ettiğini tespit etmişlerdir.

Melville ve Chiew [60], temiz su oyulması halinde farklı büyüklükteki köprü ayaklarında meydana gelen maksimum denge oyulma derinlikleri ile ilgili deneysel çalışmalar yapmışlardır. Araştırmacılar, temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması halinde oyulma derinliklerinin akım hızı ve zamanla değişimini Şekil 4.10’de göstermişlerdir.



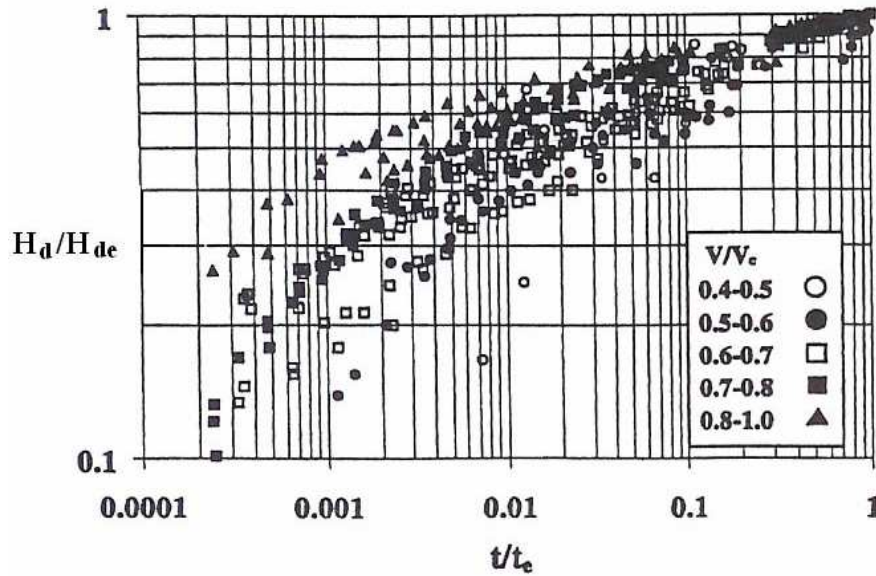
Şekil 4.10 Oyulma derinliğinin akım hızı ve zamanla değişimi [60]

Araştırmacılar, temiz su oyulması için deneysel verileri logaritmik formda Şekil 4.5’de göstermişlerdir. Şekilde $H_d/H_{dc} - t/t_c$ değişimi farklı V/V_{kr} değerleri için incelenmiştir. H_d , t zamanındaki

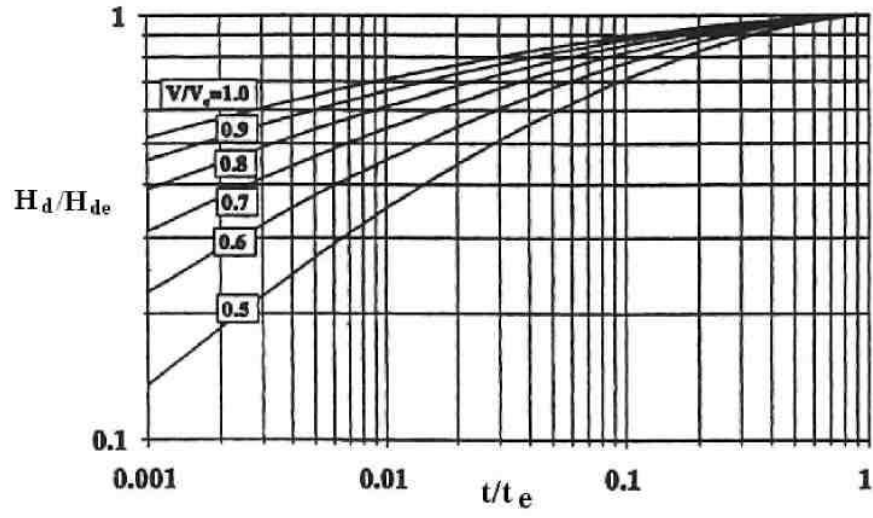
oyulma derinliği, H_{de} , t_e zamanındaki denge oyulma derinliği olarak verilmiş ve bütün eğrilerin (1,1) noktasından geçtikleri de görülebilmektedir. Ayrıca Şekil 4.5'deki eğriler, rölatif hız (V/V_{kr}) ve oyulma derinliklerinin artmasıyla (veya zamanın azalması) artmaktadır. Araştırmacılar Şekil 4.5'deki verilerin aşağıdaki ifadeyle tanımlanabileceğini belirtmişlerdir.

$$\frac{H_d}{H_{de}} = \exp \left\{ -0.03 \left| \frac{V_{kr}}{V} \ln \left(\frac{t}{t_e} \right) \right|^{1.6} \right\} \quad (4.2)$$

Bu ifade Şekil 4.13'de farklı V/V_{kr} 'e göre gösterilmiştir. Bu denklem üstel (eksi) bir ifadeyi göstermektedir. Araştırmacılar, önceki araştırmacıların temiz su oyulması hali için köprü ayaklarında denge oyulma derinliği için elde ettikleri denge zamanlarının kısa tutulduğunu ve denge oyulma derinliğine ulaşma sürelerinin çok daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, akım hızına bağlı olarak denge zamanının %0.1 ile %10'lık kısımlarında denge oyulma derinliğinin %50'lik kısmına ulaşıldığını ve benzer şekilde denge zamanının %5 ve %40'lık kısımlarında denge oyulma derinliğinin %80 civarında olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca denge zaman 3 gün (72 saat) olan bir deney 4 saat sonunda durdurulursa oyulma derinliğinin yaklaşık % 50 ile % 80'lik kısmına ulaşıldığını belirtmişlerdir.



Şekil 4.11 Temiz su oyulması halinde oyulma derinliğinin gelişimi [60]



Şekil 4.12 (4.5) denklemine göre oyulma derinliğinin gelişimi [60]

5. DENEY DÜZENEGİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1 Giriş

Nümerik modellerle ve bu şekilde hazırlanmış paket programlar kullanılarak hidrolik problemlerinin çözümü sıkça başvurulmuş bir yöntemdir. Nümerik çözümlemelerde olaya etki eden parametreleri tespit etmek mümkün olmaktadır. Ancak, nümerik çözümleme ile bazı problemlerin tam olarak tanımlanması mümkün olmadığından, çözüme ulaşmak için bazı kabullerin ve hesaba katılmayan diğer faktörlerin etkisi laboratuvar model çalışmaları ile elde edilebilmektedir. Hazır paket programlarının kullanımı günümüzde oldukça yaygındır. Programa çözülecek problem uygun girilememişse hatalı sonuçlar vereceği açıktır. Böylece teorik sonuçların deneysel verilerle tamamlanması ve karşılaştırılması halinde daha gerçekçi sonuçlar almak mümkün olacaktır.

5.2 Deney Seti

Bu çalışmayı yürütmek için Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarında mevcut deney sistemi kullanılmıştır. Mevcut 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. Bunun nedeni labirent savaktan su dökülürken serbest naplı ve akıma herhangi bir sınırlama olmaması içindir.

Deney setinin tüm yan duvarları cam ve fleksiglas malzemeden imal edilmiştir. İki kanalı birbirinden ayıran kısım ise sac malzemeden yapılmıştır. Set, püskürtme boya ile boyanmıştır. Set üzerine gerekli yerlere sakinleştiriciler yerleştirilmiştir. Deneyler yapılırken bu mevcut sakinleştiriciler yeterli gelmediği zaman su yüzüne paralel 6'lık demirden imal edilmiş küçük karelere sahip bir sakinleştirici imal edilmiş, gerektiğinde kullanılmıştır. Tuğlalar da kullanılarak kararlı akım koşulları temin edilmiştir. Bu şekilde limnimetre ile alınan okumalar oldukça hassas olmuştur.

Deney kanalı sırasıyla aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

5.2.1 Su Temin Borusu ve Debimetre

Su temin borusunun 10 inç çapındadır. Ana su temin borusundan yaklaşık 210 L/s debi alınabilmektedir. Laboratuvarımızda iki adet tank vardır. Biri bodrum katta diğeri üçüncü kattadır. Bodrum kattaki tank 100 m³ ve üst kattaki tank ise 50 m³ tür. Üst kattaki tank üzerinde bir dolu savak yapılmıştır. Bu şekilde deney süresince su seviyesi sabit tutulmaktadır. Bu tanka bodrumdaki tanktan

su basan üç adet pompa mevcuttur. Bunların her biri yaklaşık 77 L/s su basabilmektedir. 75 L/s'ye kadar tek pompa, sonraki debiler için ise iki veya üç pompa çalıştırılmaktadır.

5.2.2 Deney Kanalı Besleyen Dinlendirme Havuzu

Kanalı besleyen dinlendirme havuzu üç bölmeden oluşmaktadır. Bunlar üzerinde sakinleştiriciler imal edilmiştir. Boyutları Şekil 5.3'te verilmiştir. Havuzun sonunda ise, debi ölçümü amacıyla 90° keskin kenarlı bir üçgen savak yerleştirilmiştir. Savağın tepe noktasının, havuz tabanından yüksekliği 1.44 m dir. Debi ölçümü debimetre ile yapıldığından üçgen savak sadece karşılaştırma için ilk aşamalarda kullanılmıştır.

5.2.3 Savaktan Sonraki Dinlendirme Havuzu

Üçgen savaktan kanala akan su, 0.90x0.90 m boyutunda ikinci bir dinlendirme havuzunda dinlendirilmiştir. Bu havuzun, su giriş ve çıkışında sakinleştiriciler mevcuttur.

5.2.4 Deney Kanalı

5.2.4.1 Yaklaşım Kanalı

Yaklaşım kanalı 4.50x0.90 m'lik doğrusal giriş kanalı, 0.80 m geçiş kanalı ve 9.20 m uzunluğunda ve 0.50x0.50 m enkesitli doğrusal ana kanaldan oluşmaktadır.

5.2.4.2 Kıvrımlı Kanal

Kıvrımlı kanal, $r = 3$ m eksen yarıçaplı ve 180° lik kıvrımlı kanal kısmından oluşmaktadır. Kıvrımlı kanal üzerine 30°, 60°, 90°, 120°, 150° üzerinde yan savakların yerleştirileceği özel kapaklar inşa edilmiştir.

5.2.4.3 Doğrusal Çıkış Kanalı

Doğrusal çıkış kanalı 3 m uzunluğundadır. Toplama kanalı sonunda dikdörtgen savak yerleştirilmiştir. Bu kısımda iki adet sakinleştirici mevcuttur. Dorusal kanalın ana kanal sonunda iki parçalı ve düz seviye ayar kapağı yerleştirilmiştir. Bu kapakların boyutları 0.25x0.50 m dir.

5.2.4.4 Yan Savak Ayırma Duvarı

Ana kanal dış duvarı, 5 mm lik sac malzemedan imal edilmiştir. Üst kısmı kutu profile tutturulmuştur. Bu duvar üzerinde kıvrım girişinden 365 cm membasında ve kıvrım kısmında 30°, 60°,

90°, 120°, 150° lik daire yaylarını görecekle şekilde yan savak yerleri hazırlanmıştır. Bu kısımlara kapaklar imal edilmiştir. Hangi kısımda çalışılacaksa o kapak çıkartılmakta ve yerine çalışılacak yan savak yerleştirilmektedir. Her yan savak bölgesinde 0.25, 0.50 ve 0.75 m uzunluğunda, 0.12, 0.16 ve 0.20 m eşik yüksekliğinde, 0°, 60°, 90°, 120°, 150° kıvrım açlarına sahip labirent savaklar olmak üzere 45 farklı yan savak boyutunda çalışılmaktadır.



Şekil 5.1 Labirent yansavak üzerindeki akım

5.2.4.5 Toplama Kanalı

Yan savaklardan savaklanan su toplama kanalı ile uzaklaştırılmaktadır. 0.50x0.70 m enkesitinde olan bu toplama kanalı 10 m doğrusal kısım, 3.50 m eksen yarıçapına sahip 180° lik daire yay parçası ve 3 m lik doğrusal çıkış kanalından ibarettir. Toplama kanalının sonuna 0.50 m genişlikli ve 0.0705 m eşik yükseklikli bir dikdörtgen savak yerleştirilerek savaklanma debisi belirlenmiştir. Bunun içi dikdörtgen savaktan 40 cm ötede bir elektronik limnometre (± 0.01 mm hassasiyetli) sabit olarak yerleştirilmiştir.

5.2.4.6 Boşaltım Havuzu

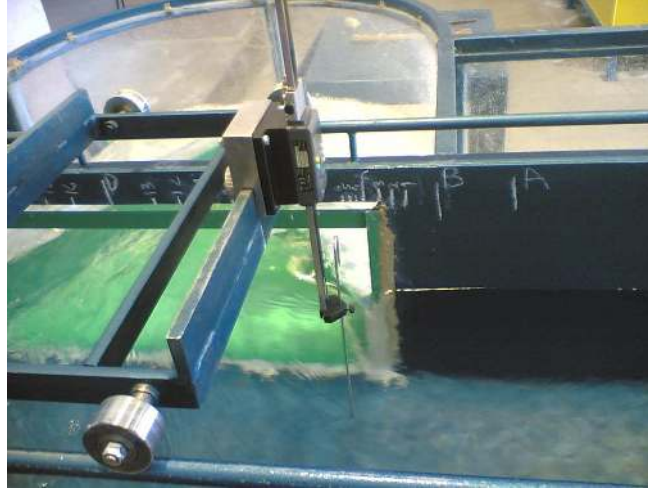
Ana kanal ve toplama kanalından dökülen su boşaltım havuzuna dökülmektedir. Bu kısımdaki su seviyesini düşük tutmak amacıyla bu kısım Şekil 5.3'teki gibi tasarlanmıştır.

5.2.4.7 Boşaltım Havuzuna Bağlı Kanal

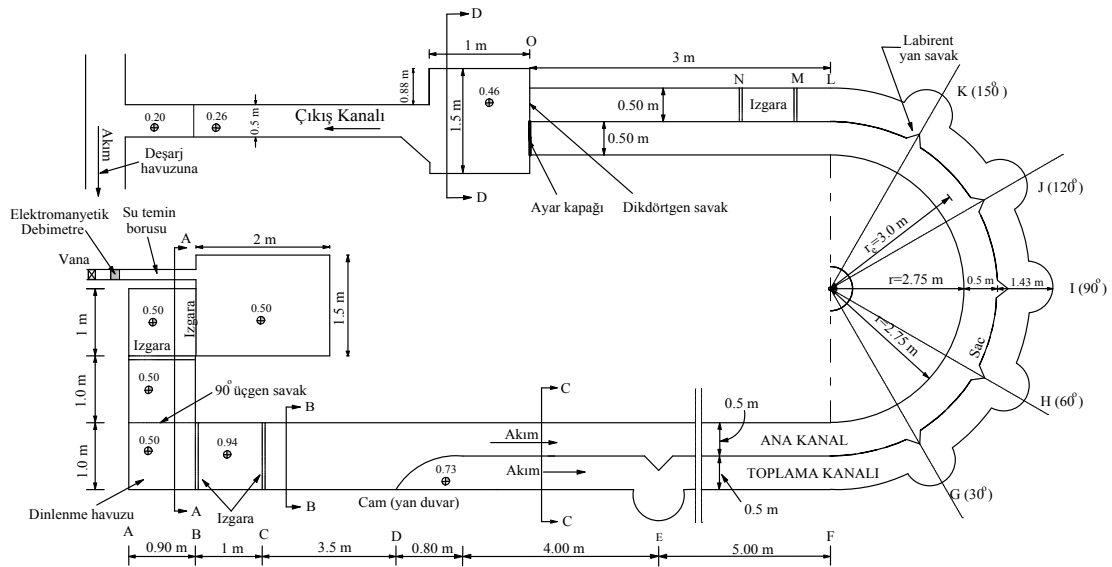
Boşaltım havuzundaki suyu ana tahliye kanalına veren taban eğimi büyük kanaldır. Bu kısımda taban eğimi büyük olduğundan bu kısımdaki akım sel rejiminde olmakta ve boşaltım havuzunda suyun kabarmasını önlemektedir. Böylece, dikdörtgen savaktan savaklanan su serbest naplı olarak dökülmektedir.

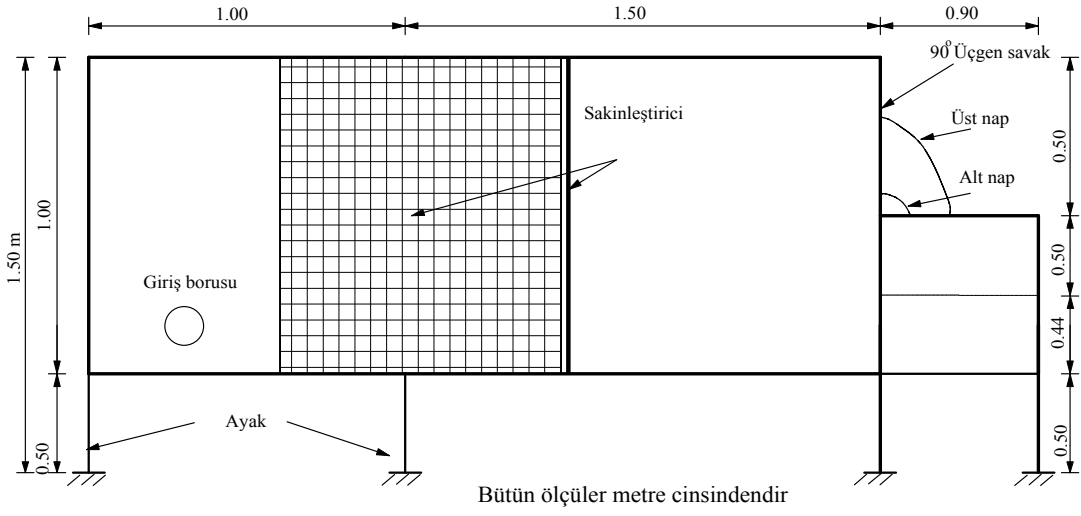
5.2.4.8 Hareketli Seviye Ölçüm Arabası

Ana kanal ve yan savak üzerindeki seviye ölçümleri raylar üzerinde hareket eden arabaya monte edilmiş elektronik limnimetre (± 0.01 mm hassasiyetli) ile yapılmıştır. Araba hem doğrusal kısımda ve hem de kıvrımlı kısımda rahatlıkla hareket edecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece, hem x ve hem de y doğrultusunda okumalar alınabilmektedir (Şekil 5.2).

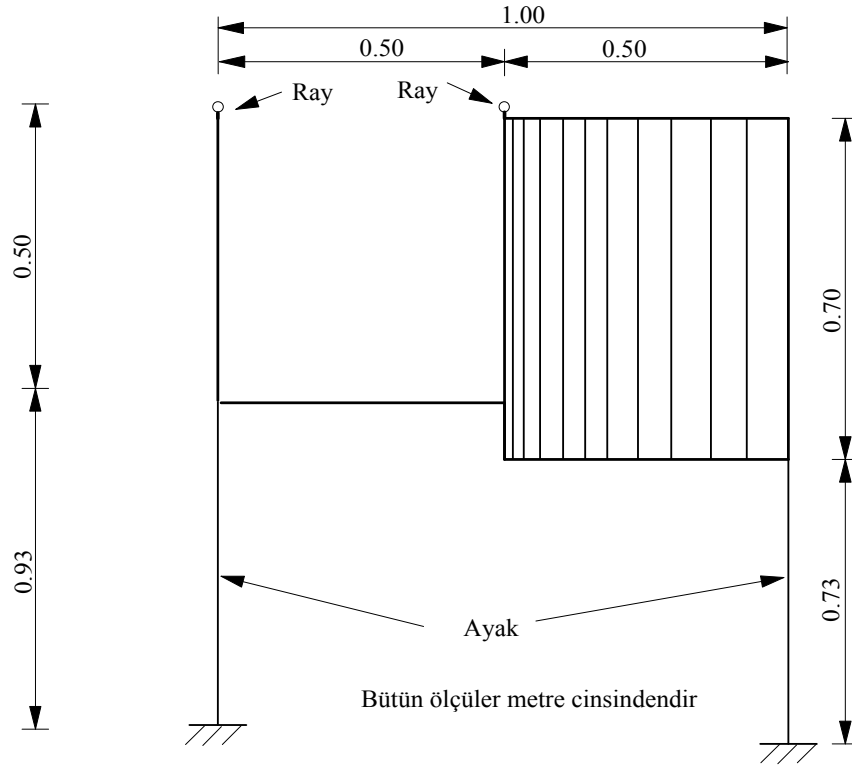


Şekil 5.2. Hareketli seviye ölçüm arabası

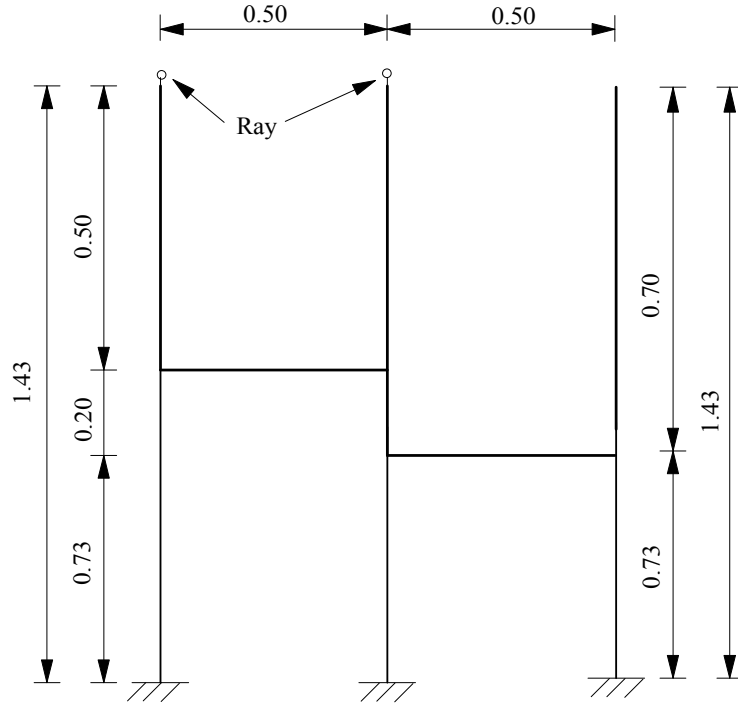




A-A Kesiti

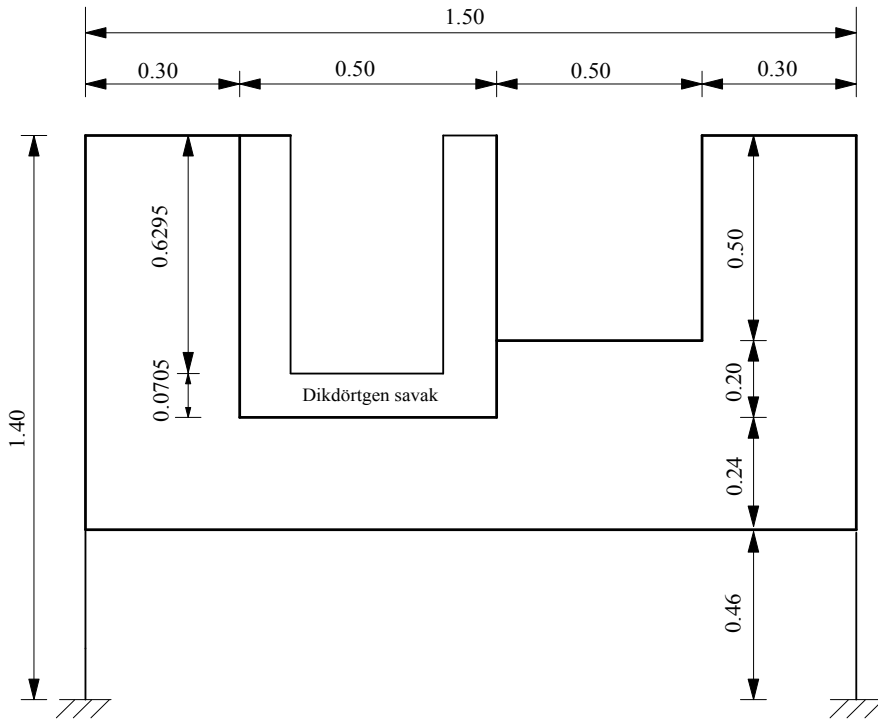


B-B Kesiti



Bütün ölçüler metre cinsindendir

C-C Kesiti



D-D Kesiti

Şekil 5.3. Deney tesisi plan ve kesitleri, tüm ölçüler metre cinsindendir.

5.3 Giriş Debisinin Ölçülmesi

Giriş debisi Siemens marka elektromanyetik bir debimetre kullanılarak belirlenmiştir. Debiler L/s cinsinden ölçülmüştür. Ayrıca, 90 derece ince kenarlı bir savak ile de karşılaştırmalar yapılmıştır.



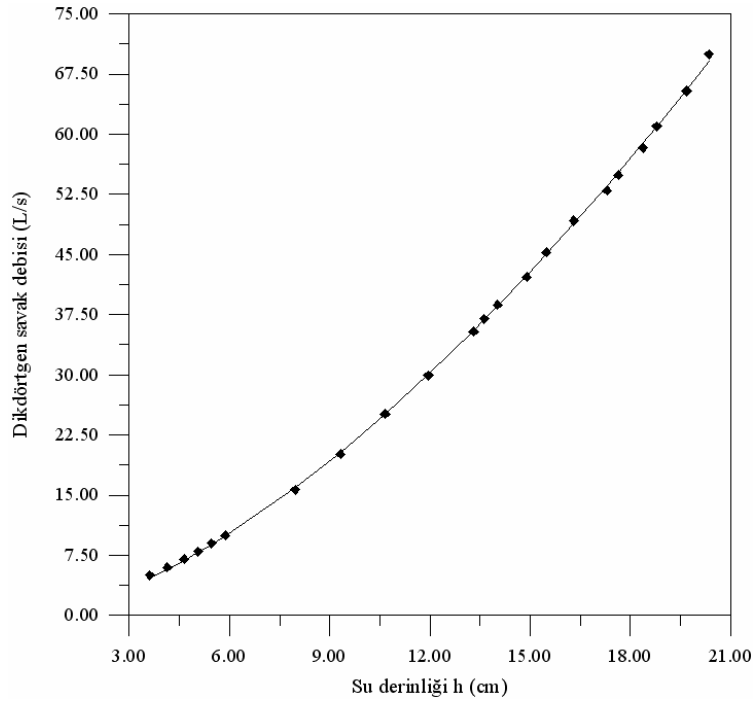
Şekil 5.4. Giriş debisi ölçen elektromanyetik debimetre



Şekil 5.5. Giriş debisinin ayarlandığı debimetrenin ön kısmındaki vana

5.4 Toplama Kanalı Sonundaki Dikdörtgen Savak Anahtar Eğrisinin Elde Edilmesi

Dikdörtgen savak anahtar eğrisi, ana kanaldaki akımın tamamı toplama kanalına verilerek elde edilmiştir. Elektromanyetik debimetreden okunan debiler dikdörtgen savak üzerindeki nap kalınlığı ölçülerek elde edilen anahtar eğrisi Şekil 5.6'da verilmiştir. Toplama kanalı sonundaki dikdörtgen savağa ait eşitlik aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.



Şekil 5.6. Dikdörtgen savak anahtar eğrisi

$$Q = 0,619356 . h^{1,564577} \quad (5.1)$$

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

5.5 Deneysel Çalışmada Olaya Etkili Parametrelerin Belirlenmesi

Dikdörtgen en kesitli ve hareketli tabanlı kıvrımlı bir kanalda dikdörtgen yan savak üzerindeki akıma birçok değişken etki etmektedir. Bunlar Tablo 5.1’de sıralanmıştır.

Tablo 5.1 Yan savak akımına etki eden parametreler

DEĞİŞKENLER	İŞARET	BİRİM	BOYUT
1) Kanala Ait Değişkenler			
a) Kanal Taban Eğimi	J_0	---	---
b) Ana Kanal Genişliği	b	m	L
c) Kıvrım Eğrilik Yarıçapı	r	m	L
d) Kıvrım Merkez Açısı	θ	---	---
2) Akışkana Ait Değişkenler			
a) Akışkanın Özgül Kütlesi	ρ	kg/m^3	ML^3

b) Akışkann Kinematik Viskozitesi	ν	m^2/sn	$L^{+2}T^{-1}$
c) Yüzey Gerilmesi	σ	kg^*/m^2	KL^{-2}
d) Yerçekimi tvmesi	g	m/sn^2	LT^{-2}
3) Akıma Ait Değişkenler			
a) Akım Derinliği	h_1	m	L
b) Yan Savak Başlangıcında Ortalama Hız	V_1	m/sn	LT^{-1}
c) Ana Kanaldaki Akımın Yan Savağa Sapma Açısı	ψ	---	---
4) Yan Savağa Ait Değişkenler			
a) Yan Savak Eşik Yüksekliği	p	m	L
b) Yan Savak Su Yüzü Genişliği	L	m	L
5) Taban Malzemesine Ait Değişkenler			
a) Taban Malzemesinin Özgül Kütlesi	ρ_s	kg/m^3	ML^{-3}
b) Taban Malzemesinin Medyan Çapı	d_{50}	m	L

kg*=kg.kuvvet

5.6 Boyut Analizi

Hareketli tabanlı kıvrımlı bir kanalda yan savağın mansap kısmında meydana gelen oyulma derinliği H_d , aşağıdaki parametrelerin fonksiyonudur.

$$f(H_d, \nu, g, \rho_s, h_1, b, p, L, \psi, V_1, \rho, d_{50}, \theta, J_0, \sigma, r)=0 \quad (5.2)$$

Elementer bir akım parçacığı için J_0 ve σ etkileri küçük olduğundan, olaya etkileri ihmal edilebilir. Sonuç olarak H_d 'ye etki eden parametreler,

$$f(H_d, \nu, g, \rho_s, h_1, b, p, L, \psi, V_1, \rho, d_{50}, \theta, r)=0 \quad (5.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada; h_1 yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği, V_1 bu akım derinliğine göre elde edilen yan savak memba ucundaki ortalama akım hızıdır.

Deneysel çalışmada olaya etkili değişkenleri azaltmak ve deneysel çalışmaların sonuçlarını daha kolay ortaya koymak için boyut analizi uygulanarak, ρ , V_1 ve p değişkenleri tekrarlanan (esas) değişkenler olarak dikkate alınmış ve Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2 Yan savak katsayısına etki eden parametreler için boyut analizi.

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}
	H_d	v	g	ρ_s	h_1	b	d_{50}	L	ψ	θ	r	p	ρ	V_1	α
L	1	+2	1	-3	1	1	1	1	0	0	1	1	-3	1	0
M	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
T	0	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0

Tablo 5.2'den;

$$k_4 + k_{13} = 0$$

$$-k_2 - 2k_3 - k_{14} = 0$$

$$k_1 + 2k_2 + k_3 - 3k_4 + k_5 + k_6 + k_7 + k_8 + k_{11} + k_{12} - 3k_{13} + k_{14} = 0$$

bağıntılar yazılabilir. Bu üç denklemden k_{12} , k_{13} ve k_{14} çekilerek,

$$k_{13} = -k_4$$

$$k_{14} = -k_2 - 2k_3$$

$$k_{12} = -k_1 - 2k_2 - k_3 + 3k_4 - k_5 - k_6 - k_7 - k_8 - k_{11} + 3k_{13} - k_{14}$$

$$k_{12} = -k_1 - 2k_2 - k_3 + 3k_4 - k_5 - k_6 - k_7 - k_8 - 3k_4 + k_2 + 2k_3 - k_{11} \quad k_{12} = -k_1 - k_2 + k_3 - k_5 - k_6 - k_7 - k_8 - k_{11}$$

eşitlikleri elde edilmiştir. Buna bağlı olarak elde edilen boyutsuz parametreler Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3 Yan savak katsayısına etki eden boyutsuz parametreler.

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}	k_{13}	k_{14}	k_{15}
	H_d	v	g	ρ_s	h_1	b	d_{50}	L	ψ	α	r	p	ρ	V_1	θ
Π_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
Π_2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0
Π_3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-2	0
Π_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
Π_6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
Π_7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0
Π_8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0
Π_9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Π_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Π_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0
Π_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tablo 5.3'ten boyutsuz parametreler;

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= H_d/p & \Pi_2 &= v/V_1 = 1/Re^* & \Pi_3 &= gp/V_1^2 = 1/Fr^{*2} & \Pi_4 &= \rho_s/\rho \\ \Pi_5 &= h_1/p & \Pi_6 &= b/p & \Pi_7 &= d_{50}/p & \Pi_8 &= L/p & \Pi_9 &= \psi & \Pi_{10} &= \alpha & \Pi_{11} &= r/p & \Pi_{12} &= \theta \end{aligned}$$

olarak belirlenmiştir.

Bu boyutsuz büyüklükler arasında dönüşümler yapılarak;

$$\Pi_8/\Pi_6 = (L/p)/(b/p) = L/b \text{ ve } \Pi_7/\Pi_{11} = (d_{50}/p)/(r/p) = d_{50}/r$$

boyutsuzlar elde edilir. O halde olaya etkili boyutsuz parametreler;

$$H_d/p = f(v/V_1, p = 1/Re^*, gp/V_1^2 = 1/Fr^{*2}, \rho_s/\rho, h_1/p, L/b, d_{50}/r, \psi, \theta) \quad (5.4)$$

olarak bulunur. Yüksek türbülanslı akım sebebiyle taban malzemesinin hareket başlangıcında etkili olan $1/Re^*$ terimi (Melville ve Sutherland, 1988) ile ρ_s/ρ , d_{50}/r , ψ sabit terimleri elimine edilerek

$$H_d/p = f(1/Fr^{*2}, h_1/p, L/b, \alpha, \theta) \quad (5.5)$$

boyutsuzlar bulunur. $1/Fr^{*2}$ terimi, akımın ataletini ifade etmek üzere V_1/V_{kr} ifadesi ile değiştirilirse,

$$H_d/p = f(V_1/V_{kr}, h_1/p, L/b, \alpha, \theta) \quad (5.6)$$

boyutsuzlar bulunur.

5.7 Deneysel Çalışma

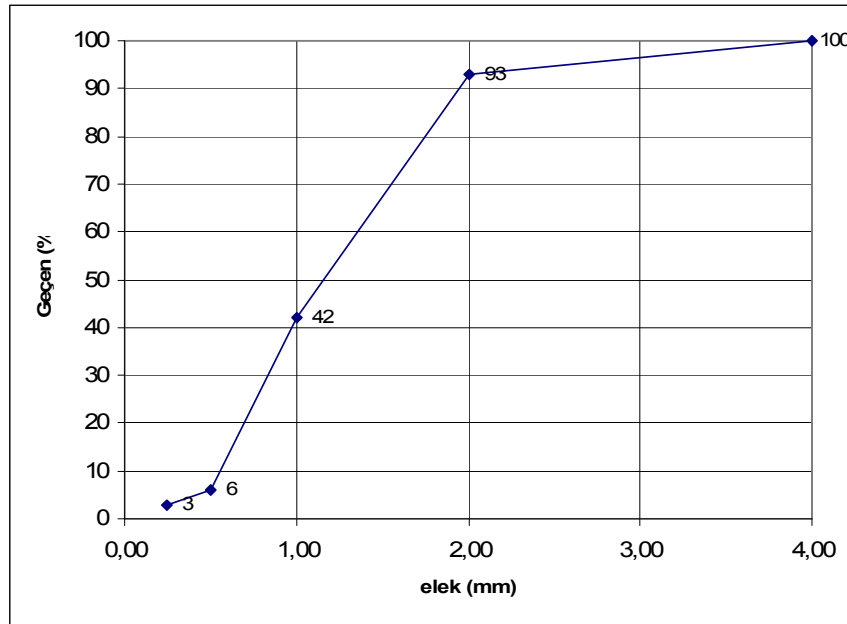
Bu çalışma, 10 m'lik doğrusal yaklaşım kanalı, 180° lik 3 m eksen eğrilik yarıçapına sahip 100 cm genişliğinde kıvrımlı kanal ve kıvrımdan sonra 3 m lik doğrusal mansap kanalında gerçekleştirilmiştir. Ana kanal taban eğimi % 0.1 dir. Deneyler kıvrımlı kanal üzerinde 30 derece kıvrım açısında yapılmıştır. Yan savak olarak labirent yan savak kullanılmıştır. Labirent savağın açısı ise 90 derece olarak alınmıştır. Üç kret yüksekliğinde çalışmalar yürütülmüştür. Kret yükseklikleri 7, 12 ve 16 cm olarak alınmıştır. Savak açıklığı 25 cm olarak seçilmiştir. Her kret yüksekliğinde üç adet taban topografyası çıkarılmıştır.

Deneyler yapılırken V_1/V_{kr} değeri 0.50 ile 1 arasında alınmıştır. Temiz su oyulması ile ilgili deneyler yürütülürken süre 18 saat olarak seçilmiştir. Literatürde bu süre 12 saat olarak da alınmıştır. Oyulma derinlikleri elektronik limnimetre kullanılarak yapılmıştır. İlk 1 saatte 15 dakikada bir, ikinci 1 saatte 20 dakikada bir, üçüncü bir saatte yarım saatte bir, dördüncü saat ve diğerlerinde ise bir saatte bir maksimum oyulma derinlikleri ölçülmüştür.

Deneyler yapılırken taban topografyası değişmesin diye hem memba kısmında ve hem de mansap kısmında bazı önlemler alınmıştır. Örneğin, memba başlangıcında kumun başlatıldığı kısma ve sonuna 20 cm yüksekliğinde bir eşik yerleştirilmiştir. Debi ayarlaması yapılırken vana çok yavaş açılmış ve topografya değişiminin olmamasına özen gösterilmiştir. Mansap kısmında 20 cm

yüksekliğindeki eşik üzerine 20 cm yüksekliğinde ikinci bir eşik daha deney başlangıcında yerleştirilmiş, şartlar oluştuğunda kaldırılmıştır.

Kanal tabanına 20 cm yüksekliğinde kuvars kumu yerleştirilmiştir Kumun granülometrisi ve özgül ağırlığı deneyleri Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı laboratuvarında yapılmıştır. Kumun özgül ağırlığı $\gamma_s=2.65 \text{ kg/m}^3$ tür. Yapı laboratuvarında elde edilen granülometri eğrisi Şekil 5.7’de verilmiştir. Şekil 5.7’den $d_{10}=0.56\text{mm}$, $d_{50}=1.16 \text{ mm}$, $d_{60}=1.35\text{mm}$, $d_{90}=1.94\text{mm}$ olarak belirlenmiştir. Burada d_{50} malzemenin yüzde ellisini geçiren elek çapını ifade etmektedir. Seçilen granülometriye bakıldığında üniform malzeme kullanıldığı görülmektedir. $U=d_{60}/d_{10}=2.41<3$ ’tür. Burada, U üniformluk katsayısını göstermektedir. $d_{50}=1.16 \text{ mm}$ dir.



Şekil 5.7 Taban malzemesinin granülometri eğrisi

5.8. Taban Malzemesi Kritik Hızların Tayini

Taban malzemesini harekete geçirecek kritik akım hızları V_{kr} , logaritmik formdaki 5.7 ifadesinden hesaplanmıştır [60, 61].

$$\frac{V_{kr}}{u_{*kr}} = 5.75 \log \left(5.53 \frac{h}{d_{50}} \right) \quad (5.7)$$

Burada u_{*kr} kritik kayna hızı (m/s), h su derinliği (m) ve d_{50} , malzemenin %50'sini geçiren elek çapıdır. Kayma hızları Shields Diyagramı kullanılarak bulunmuştur. 20 °C'de kuvars kumu için Shields Diyagramı kullanılarak aşağıdaki ifade yazılabilir [60, 61].

$$u_{*kr} = 0.0305d_{50}^{0.5} - 0.0065d_{50}^{-1}, 1 \text{ mm} < d_{50} < 100 \text{ mm} \quad (5.8)$$

$d_{50}=1.16$ mm için (5.7) ve (5.8) eşitliklerinden, akımın çeşitli derinlikleri için taban malzemesini hareket ettirebilecek kritik hızlar için (5.9) eşitliği elde edilmiştir.

$$V_{kr} = 0.1557 \cdot \log(4767 \cdot h) \quad (5.9)$$

Bu eşitlik deney kanalında test edilerek doğrulanmıştır.

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Giriş

Su mühendisliği problemlerinin çözümünde, teori, ampirik ve yarı ampirik metotlar, matematik ve fiziksel modeller kullanılmaktadır.

Sadece teorik yaklaşım, laminar akımın birkaç hali dışında kullanılamamaktadır. Ampirik metotlar ise fiziksel sistemde gözlenen etkili değişkenler arasındaki korelasyona dayandırılmakta ve ancak benzer verilerin olması halinde kullanılabilir. Yarı ampirik metotlar ise uygun şekilde tasarlanmış deneylerle elde edilen teorik kavramlar esas alınarak bulunan matematiksel formüllerdir. Matematik modelleme ise son yıllarda yüksek hızlı bilgisayarlar yardımı ile yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Matematik modelde, önce sistemin fiziği ortaya konularak matematik denklemlerle tanımlanmakta, daha sonra denklemler sayısal yöntemlerle çözülmektedir. Fiziksel modelde ise, matematik modelle problemlerin tam olarak ifade edilememesi halinde, çözüme ulaşmak için yapılan kabullerin ve hesaba katılmayan diğer faktörlerin etkisini belirlemek için laboratuvarda yapılan deneysel çalışmaları kapsar. Böylece teorik sonuçların model çalışmaları ile karşılaştırılması imkânı doğar [61].

Bu bölümde hareketli tabanlı akarsularda yanal su alma ağzı etrafında oluşan temiz su oyulması problemi deneysel olarak incelenecektir. İlk önce incelenecek problemle ilgili boyutsuz parametreler belirlenmiş ve boyut analizi yapılmıştır. Problem bu boyutsuz parametrelere göre incelenmiştir.

6.2 Konu ile İlgili Çalışmalar

Tsujimoto ve Mizukami [59], köprü ayakları etrafındaki yerel oyulmayı incelemişler ve temiz su oyulması durumunda oyulma derinliğinin zamanla arttığını ve belli bir zamandan sonra asimptot olarak devam ettiğini tespit etmişlerdir.

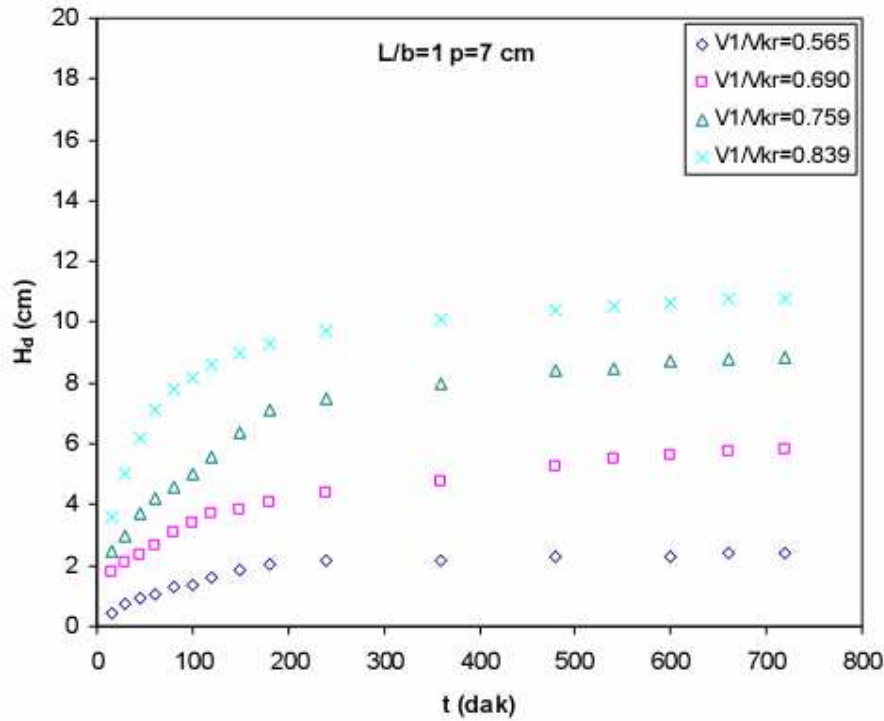
Yanmaz ve Altınbilek [62], temiz su oyulması için köprü ayaklarında deneylerini 240-300 dakika aralığında yapmışlar ve bu süreler sonunda denge oyulma derinliğinin zamana bağlı olarak devam ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca denge zamanının %33 ile %67'lik kısımlarında denge oyulma derinliklerinin %87 ile %95'lik kısmına ulaşıldığını ifade etmişlerdir.

Melville ve Chiew [60], köprü ayaklarında temiz su oyulması halinde, $H_d/H_{de}-t/t_e$ değişimini farklı V/V_{kr} değerleri için incelemişlerdir. Yazarlar, önceki araştırmacıların temiz su oyulması hali için köprü ayaklarında denge oyulma derinliği için elde ettikleri denge zamanlarının az olduğu ve denge oyulma derinliğine ulaşma sürelerinin çok daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar, V/V_{kr} 'e

(bağıl hız) bağılı olarak denge zamanının %0.1 ile %10'luk kısımlarında denge oyulma derinliğinin %50'lik kısmına ulaştığını ve benzer şekilde denge zamanının %5 ve %40'lık kısımlarında denge oyulma derinliğinin %80 civarında olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca denge zamanı 3 gün (72 saat) olan bir deney 4 saat sonunda durdurulursa denge oyulma derinliğinin yaklaşık %50 ile %80'lik kısmına ulaşıldığını ifade etmişlerdir.

Önen [61], hareketli tabanlı akarsularda yanal akımın hidrodinamiğini deneysel olarak incelemiştir. Hem doğrusal kanalda ve hem de kıvrımlı kanalda farklı kıvrım açılarında dikdörtgen yan savakların taban topografyasına etkisini araştırmıştır.

Bu çalışmada, nehir rejimli akım şartlarında ve serbest savaklanma durumunda hareketli tabanlı 180° lik kıvrımlı bir kanal boyunca, dikdörtgen kesitli ve keskin kenarlı yan savaklar için gerçekleştirilmiştir. Boyut analizi sonucunda rölatif denge oyulma derinliği H_d/p 'nin; rölatif akım şiddeti V_1/V_{kr} , savak kret yüksekliği h_1/p , yan savak uzunluğu L/b ve θ boyutsuzlarına bağlı olduğu bulunmuştur. Araştırmacı, hem doğrusal kanalda ve hem de kıvrımlı kanalda temiz su oyulması ($0.5 < V_1/V_{kr} < 0.95 \sim 1.0$) ve hareketli taban oyulması ($0.95 \sim 1.0 < V_1/V_{kr} < 2.5$) hallerinde H_d/p 'nin V_1/V_{kr} ile değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Şekil 6.1'de temiz su oyulması için deney süresi maksimum 12 saat olarak seçilmiştir. 12 saat sonra oyulmanın denge haline geldiği kabul edilmiştir.



Şekil 6.1 $L/b=1$ ve $p=7$ cm'lik yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi [61]

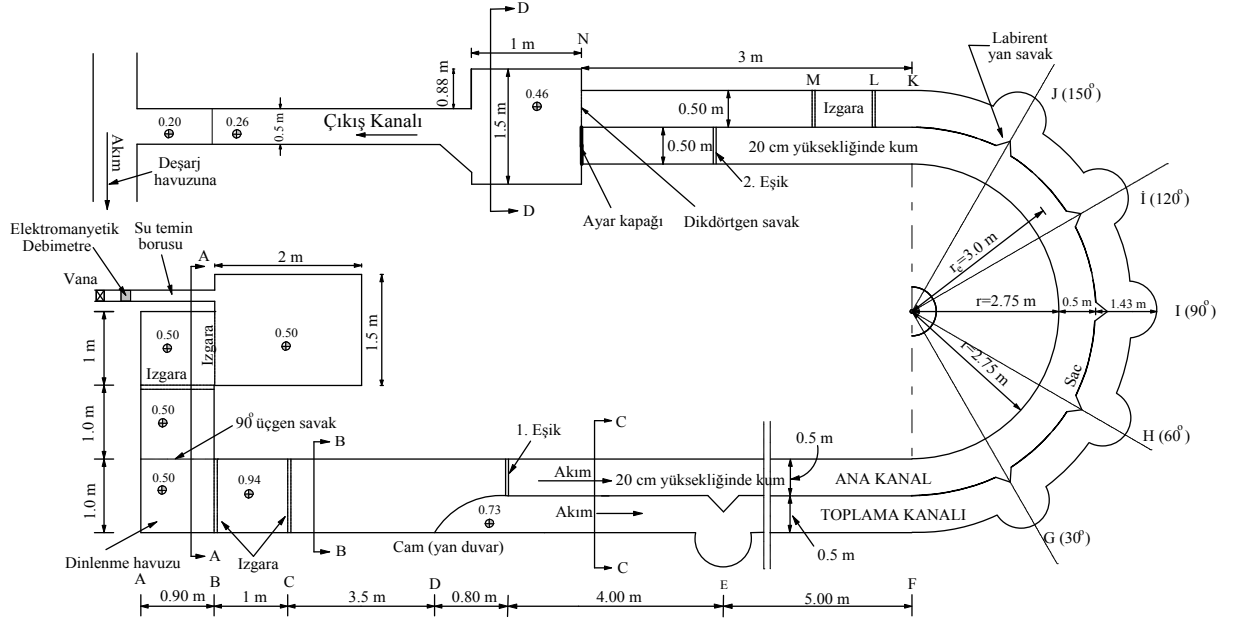
Ağaçcıoğlu ve Önen [63], bir kanal boyunca dikdörtgen yan savakların su alma bölgesinde oluşan oyulmaları temiz incelemişlerdir. Bu çalışmada, nehir rejimli akım şartlarında ve yan savaktan serbest savaklanma halinde, hareketli tabanlı kıvrımlı bir kanala yerleştirilen dikdörtgen enkesitli ve keskin kenarlı yan savaklar için gerçekleştirilmiştir. Hareketli tabanlı kıvrımlı bir kanal boyunca rölatif denge oyulma derinliği H_d/p nin V_1/V_{kr} ile değişimi temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması için incelemişlerdir. Temiz su oyulmasında, oyulma derinliğinin (H) zamana bağlı olarak lineer arttığı ve belli bir süre sonra asimtotik olarak denge konumuna ulaştığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar tarafından, $V_1/V_{kr}=0.5-1.0$ arasında temiz su oyulması gözlemiş ve oyulmanın hız ile hemen hemen lineer olarak arttığı belirlenmiştir. $\theta=30^\circ$ kıvrım açısında en büyük oyulmayı gözlemişlerdir.

6.3 Deney Düzenegi ve Deneylerin Yapılışı

Bu çalışma 3 m eksen eğrilik yarıçapına sahip bir kıvrımlı kanalda, G bölgesinde ($\alpha=30^\circ$) ve J bölgesinde ($\alpha=150^\circ$) yapılmıştır. Kıvrımlı kanal genişliği 100 cm'dir. Bunun 50 cm'lik kısmı ana kanal, diğer 50 cm'lik kısmı ise toplama kanalının genişliğidir. Ana kanal derinliği 50 cm, toplama kanalının derinliği ise 70 cm'dir (Şekil 6.2).

Ana kanal taban eğimi % 0.1'dir. G ve J bölgelerine labirent yan savak tepe açısı 90° olan yan savaklar yerleştirilmiştir. Deneyler, yan savak uzunluğu $L=25$ cm, kum tabanından itibaren $p=7, 12$ ve 16 cm kret yükseklikli yan savaklar için yapılmıştır.

Ana kanalın memba ve mansap uçlarına Şekil 6.2'te gösterilen 20 cm yüksekliğinde 1. eşik ve 2. eşik yerleştirilmiştir. 1. eşik'ten önce ve 2. eşikten sonra kanal tabanına kadar açılı olarak bir sac levha yerleştirilmiştir. Bu şekilde oluşturulan kum tabanının bozulmaması temin edilmiştir. Kararlı akım koşullarını temin etmek için kanalın memba kısmına delikli tuğlalar yerleştirilmiştir. Aynı şekilde toplama kanalının sonuna L ve M noktalarının önüne tuğlalar yerleştirilmiştir. Bunun nedeni N noktasındaki dikdörtgen savak üzerinde kararlı akım koşullarını sağlamaktır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Deney düzeneği

Kanal tabanına yerleştirilen kumun $d_{50}=1.16$ mm ve $\gamma_s=2.65$ kg/m³'tür. Ana kanal üzerindeki 1. eşik ve 2. eşik arasına 20 cm yüksekliğinde kuvars kumu yerleştirilmiştir. Her deneyden önce kum karıştırılarak taban düzlenmiştir. Taban düzlenmesini aynı seviyede düzgün olarak sergilemek için, raylar üzerinde hareket eden araba üzerine bir aparat yerleştirilerek taban düzlemesi yapılmıştır.

Deneye başlarken vana çok az açılarak kanala su yavaş bir şekilde vermeye başlanmıştır. Su, kanalın memba ucundaki eşik önündeki rampadan yavaş yavaş yükselerek kum üzerinde akarken, mansap taraftaki eşik üzerine tekrar ikinci bir 20 cm yüksekliğinde bir eşik yerleştirilmiştir. Böylece, tabandaki kumun bozulmaması sağlanmıştır. Ana kanalın 2. eşikten sonraki kısımdaki su derinliği ile ana kanal üzerindeki su derinliği eşit oluncaya kadar beklenilmiştir. Bütün kanal boyunca su seviyesi eşit olduktan sonra ihtiyaç debisine ulaşılması sağlanmış ve daha sonra tabandaki kumun bozulmaması için kanala bırakılan ikinci eşik kaldırılmıştır.

Deneyler nehir rejimli ve kararlı akım şartlarında ve serbest savaklanma durumları için gerçekleştirilmiştir. V_{kr} değerleri Eşitlik 5.9'dan hesaplanmıştır. V_1 ana kanalın yan savak memba ucunda kanal eksenindeki ortalama hız olarak alınmıştır. Deneyler $V_1/V_{kr}<1$ alınarak temiz su oyulması deneyleri yapılmıştır.

Kıvrımlı kanalda yapılan deneylerde önce, $L=25$ cm uzunluklu, ve $p=7, 12, 16$ cm kret yükseklikli ve $\theta=90^\circ$ tepe açılı labirent yan savakta temiz su oyulması hali için oyulma derinliği H_d 'nin zamanla değişimi incelenmiştir. Temiz su oyulmasında deneyler, 1080 dakikaya kadar

yapılmıştır. Bu süreye birkaç deneme deneyi neticesinde karar verilmiştir. Deneylerde, ilk bir saatte 15 dakikada bir, ikinci saatte 20 dakikada bir, üçüncü ve dördüncü saatlerde 30 dakikada bir ve sonraki sürelerde 60'şar dakikada bir oyulma derinlikleri ölçülmüştür. Denge oyulma süresi olarak oyulma derinliği değişiminin birbirini takip eden bir saatte savak kret yüksekliğinin %1'inden küçük olması halinde denge oyulma derinliğine ulaşıldığı kabul edilmiştir. Tüm deneyler 1080 dakika süresinde gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 600 dakikadan sonra oyulma derinlikleri arasındaki değişim milimetre mertebesinde olduğu gözlenmiştir.

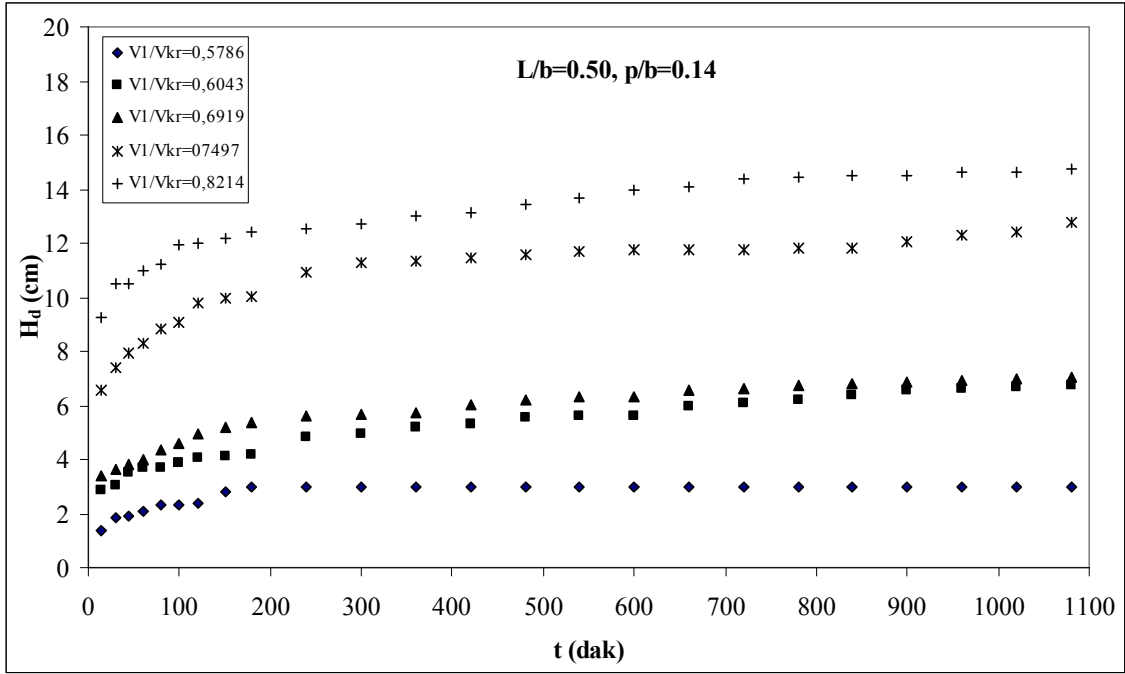
Bu çalışmada hareketli taban oyulması deneyleri yapılmamıştır. Bu çalışmanın ayrı bir çalışma altında yürütülmesi daha doğru olacağı düşünülmektedir. Çok kapsamlı ve uzun deney süreleri olan bir konudur.

6.4 Hareketli Tabanlı Akarsularda Labirent Yan Savak Bölgesinde Oluşan Temiz Su Oyulması

Savak uzunluğu $L=25$ cm ve labirent yan savak kret uzunluğu $\ell=35,36$ cm olan $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta, $p=7, 12$ ve 16 cm kret yükseklikleri için temiz su oyulması deneyleri yapılmış ve sonuçlar aşağıda sunulmuştur (Şekil 6.3'ten 6.8'e kadar). Yukarıda da belirtildiği gibi deneyler, 30 derece ve 150 derece kıvrım merkez açılarında gerçekleştirilmiştir.

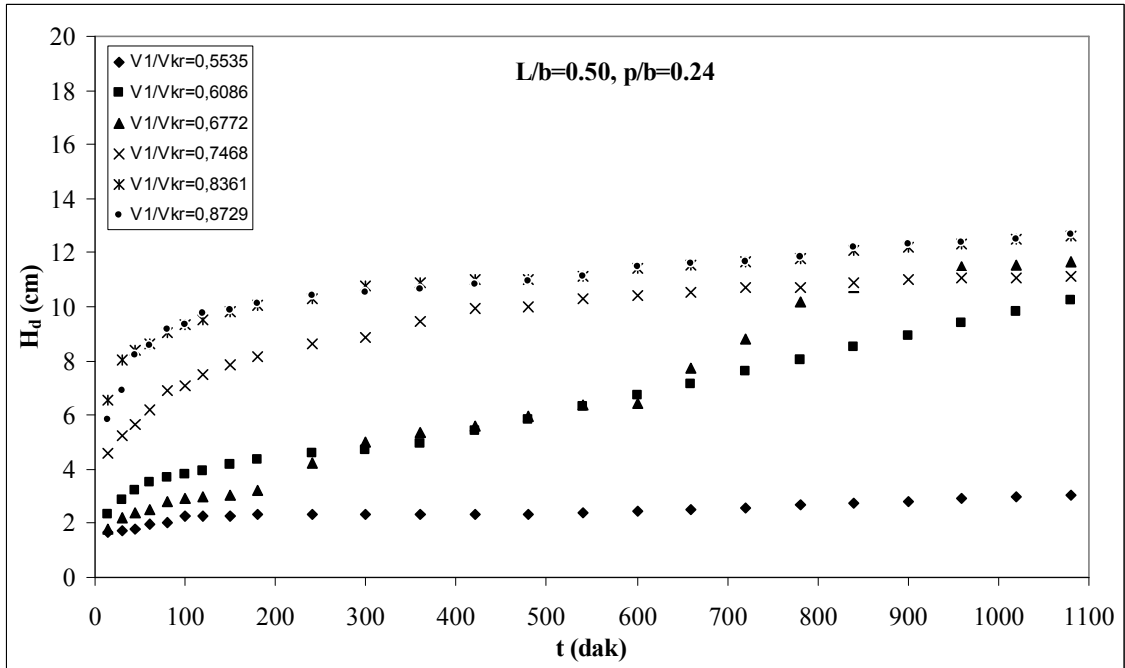
Şekil 6.3'te $L/b=0.50$, $p/b=0.14$, $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ için V/V_{kr} (bağıl hız)'in zamanla (t) oyulma derinliklerinin (H_d) değişimi verilmiştir.

Söz konusu şekil incelendiği zaman V/V_{kr} arttığı zaman oyulma derinliğinin de arttığı görülmektedir. 180 dakikaya kadar oyulma derinliği oyulmanın büyük bir kısmının gerçekleştiği bu süreden sonra oyulma derinlikleri hemen hemen asimptotik olmaktadır.



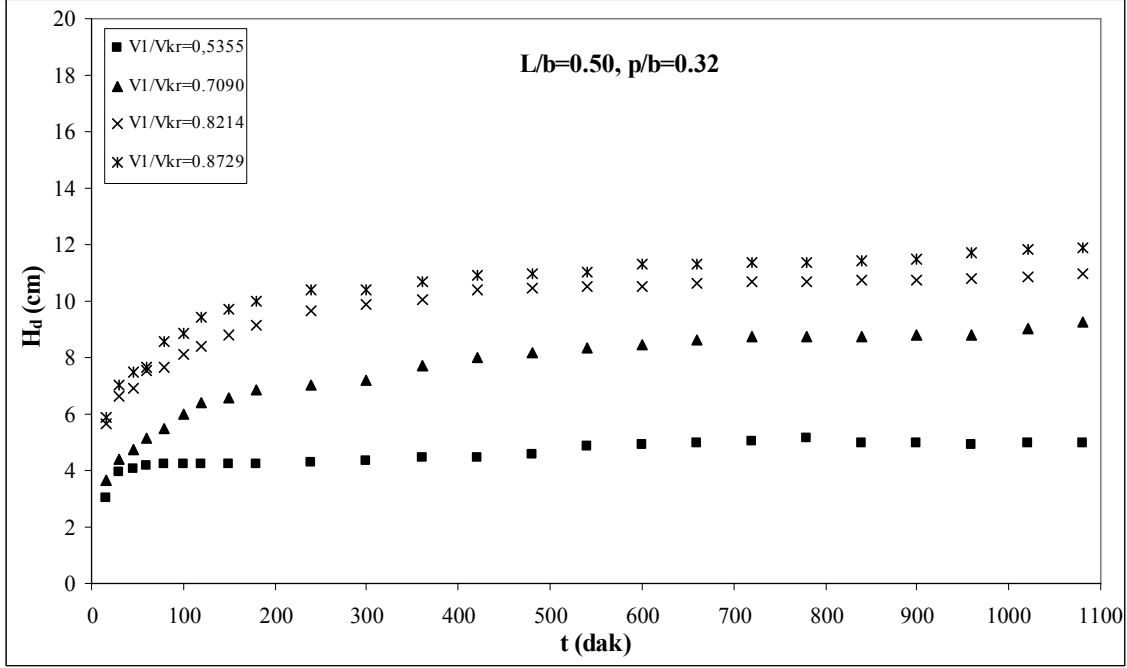
Şekil 6.3 Kırımlı kanalda $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi

$p/b=0.24$, $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ için farklı akım şartlarında (V/V_{kr}) oyulma derinliği H_d 'nin zamanla değişimi temiz su oyulması için incelenmiş Şekil 6.4'te verilmiştir. Küçük V/V_{kr} değerinde denge oyulma derinliğine erken sürede ulaşılmıştır. Büyük V/V_{kr} değerlerinde denge oyulma derinliğine ulaşma süreleri de artmaktadır.



Şekil 6.4 Kırımlı kanalda $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi

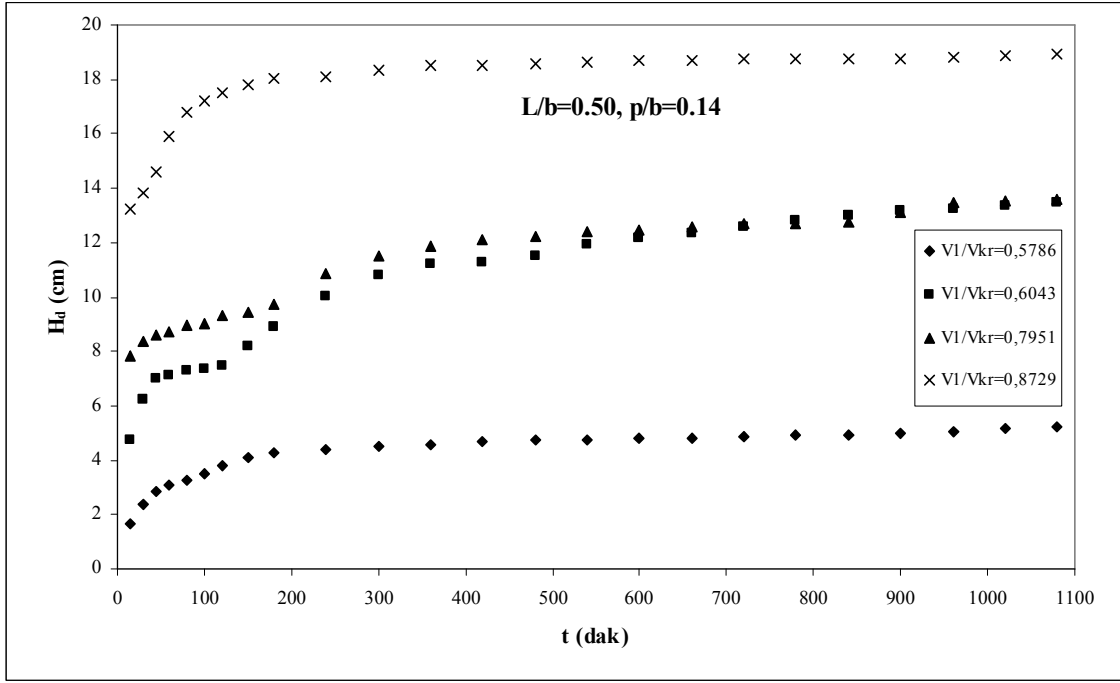
Şekil 6.5'te $L/b=0.50$, $p/b=0.32$, $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ için farklı V/V_{kr} değerlerinin zamanla H_d oyulma derinlikleriyle değişimi görülmektedir. 240 dakika sonra denge oyulma derinliğine hemen ulaşmış ve bundan sonra asimptotik olduğu görülmektedir. Bu süre küçük V/V_{kr} değerlerinde daha erken sürede olmuştur.



Şekil 6.5 Kırıklı kanalda $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi

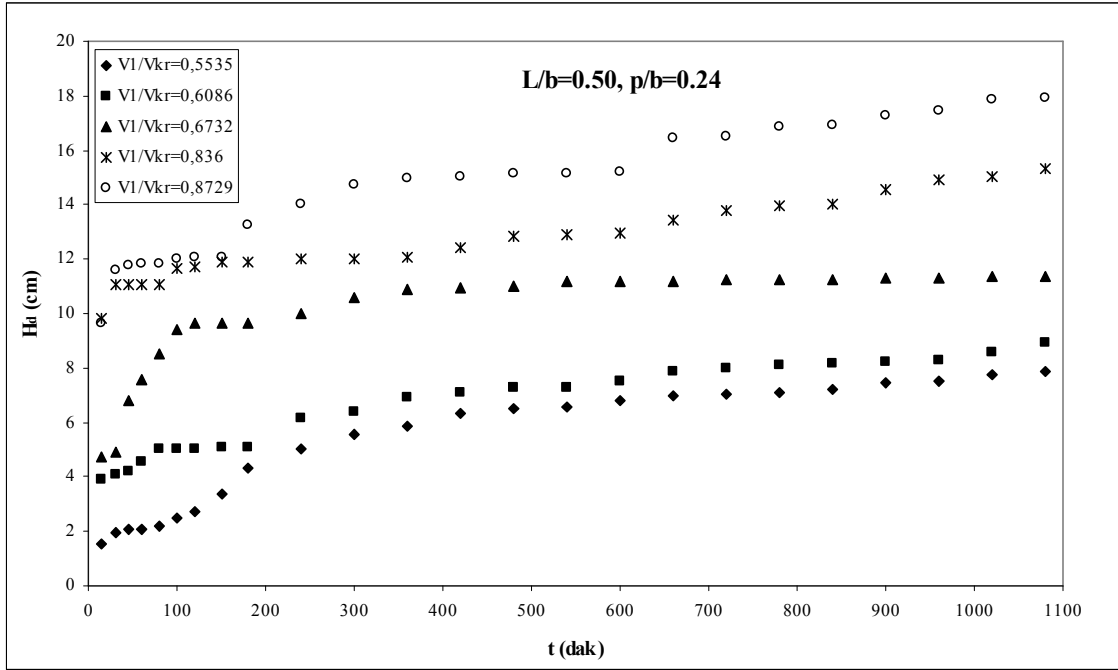
Şekil 6.6'de $L/b=0.50$, $p/b=0.14$, $\alpha=30^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ için V/V_{kr} 'lerin zamanla oyulma derinliklerinin değişimi verilmiştir. Benzer şekilde oyulmanın büyük kısmının 200 dakikanın altında gerçekleştiği görülmektedir. $V/V_{kr}=0.6043$ ve $V/V_{kr}=0.7951$ 'in değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Benzer şekilde V/V_{kr} değerlerinin artmasıyla oyulma derinlikleri de artmıştır.

Önen [61], tarafından dikdörtgen yan savaklar için yaptığı deneylerde elde ettiği oyulma derinlikleri bu çalışmada bulunan H_d derinliklerinden daha küçüktür. Bunun nedeni labirent yan savakların dikdörtgen savaklara göre daha büyük debi geçirmesidir.



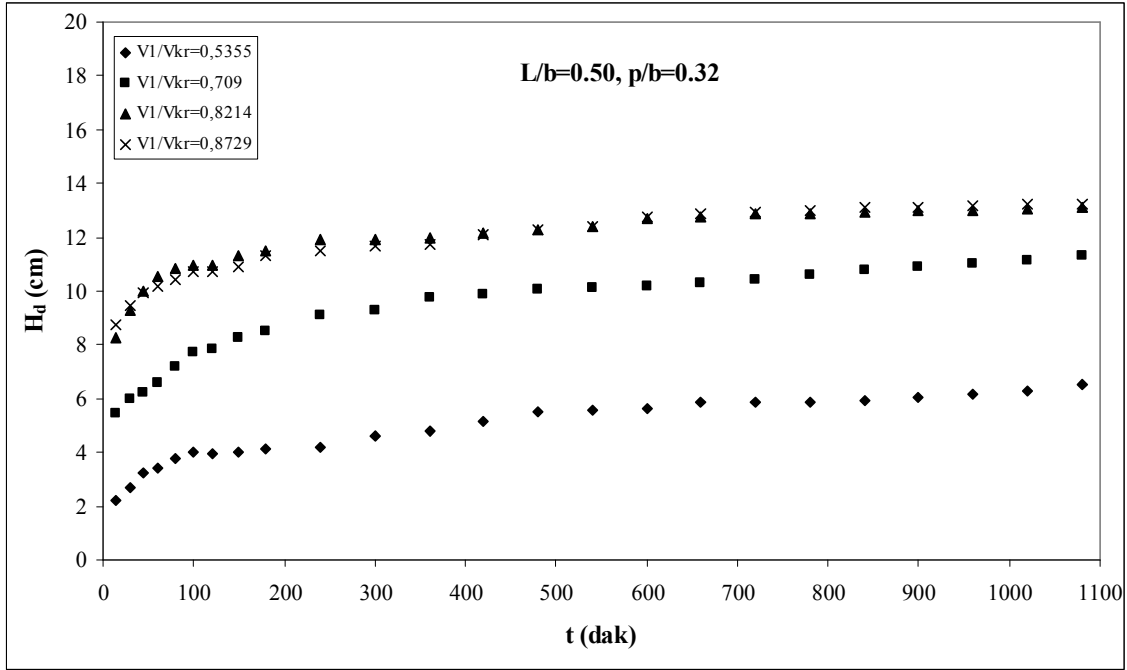
Şekil 6.6 Kırırlı kanalda $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi

Şekil 6.7’te $L/b=0.50$, $p/b=0.24$, $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ için V/V_{kr} ’lerin zamanla oyulma derinliklerinin değişimi verilmiştir. Diğer test edilen savak tipleri ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. p/b oranının azalması ile daha büyük oyulma derinlikleri elde edilmiştir. Bunun nedeni savaklanma esnasında oluşan vortekslerin düşük kret yüksekliklerinde daha etkili olmasındandır. Bir başka deyişle, kret yüksekliğinin artmasıyla vortekslerin kum tabanına ulaşma şiddeti azalmaktadır.



Şekil 6.7 Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değişimi

Şekil 6.8’te $L/b=0.50$, $p/b=0.32$, $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ için V/V_{kr} ’lerin zamanla oyulma derinliklerinin değişimi verilmiştir. Maksimum oyulma derinlikleri 240 dakikadan önce meydana gelmiştir. Bu süreden sonra oyulma derinlikleri oldukça az artış göstermiştir. Önen [61] tarafından elde edilen oyula derinliği grafikleri ile aynı eğilime sahiptirler. Labirent savakların oyulma derinlikleri dikdörtgen savakların oyulma derinliğinden daha fazladır. Labirent savakların su yüzeyinde meydana getirdiği çevrintiler daha büyük oyulma çukurlarının oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 6.8 Kırırmlı kanalda $\alpha=150^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ labirent yan savakta temiz su oyulmasının zamanla değışimi

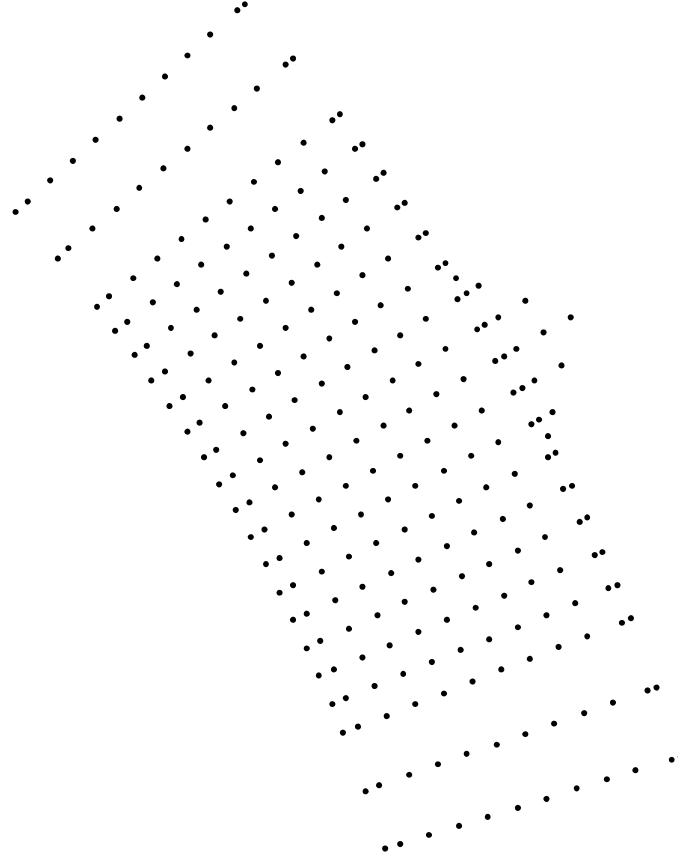
6.4.1 Hareketli Tabanlı Kırırmlı kanallarda Yanal Akımın Taban Profiline Etkisi

Kırırmlı kanalda aktif savaklanma durumunda 1080 dakika sonundaki taban topografyasını aşağıdaki şekillerde oyulma çukurunun yeri de gösterilerek verilmiştir (Şekil 6.10'dan 6.27'ye kadar).

Taban topografyası ölçümleri elektronik limnimetre ile yapılmıştır. Bu limnimetre yardımıyla, 0,01 mm hassasiyetle ölçümler yapılabilir. Taban topografyası ölçümleri, suyun topografyayı bozmadan tamamen boşalması beklendikten sonra alınmıştır. Topografya için alınan ölçüm noktaları Şekil 6. 9'da görülmektedir. Kanal tabanına 20 cm yüksekliğinde kum serilmiştir. Bu nedenle denge halinde topografya kotu 20 cm olarak alınmıştır.

Deneyler nehir rejimi ve kararlı akım koşullarında $\theta=90^\circ$ için yapılmıştır. $V_1/V_{kr}<1$ için temiz su oyulması durumunda taban topografyaları elde edilmiştir. Söz konusu şekiller incelendiğinde $V_1/V_{kr}<1$ olması nedeniyle kanal tabanında kum dalgaları gözlenmediği görülmektedir.

Oyulma çukuru labirent yan savağın mansap ucu civarında oluşmaktadır. Maksimum oyulma dış kıyıda yanal akım nedeniyle savak bölgesinde oluşmaktadır. Savaklanan suyun miktarının artmasıyla oyulma deriliği de artmaktadır. Bunun nedeni kırırmdan ve yanal akımdan dolayı sekonder akımın şiddetinin artmasıdır.



Şekil 6. 9. Topograf ölçümleri alınan noktaların gösterimi

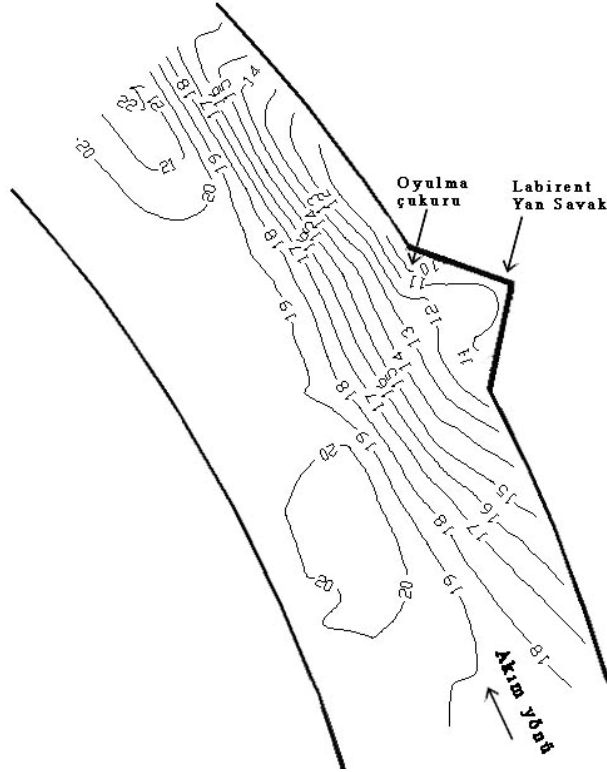
$\alpha=30^\circ$ kıvrım merkez açısında, V_1/V_{kr} değerlerinin artması ile oyulma derinliği de artmıştır. Ayrıca V_1/V_{kr} değerlerinin artması ile oyulma çukurunun yeri yan savağın mansap ucundan mansaba doğru yönelmiştir. Bu durum 6.10-6.12 ve 6.13-6.16 incelendiğinde açıkça görülmektedir.

Yan savak bölgesinde iç kıyıda topografya pek değişmemektedir. Bu kısımlarda durgunluk bölgelerinin olması nedeniyle topografyada değişimler gözlenmemiştir.

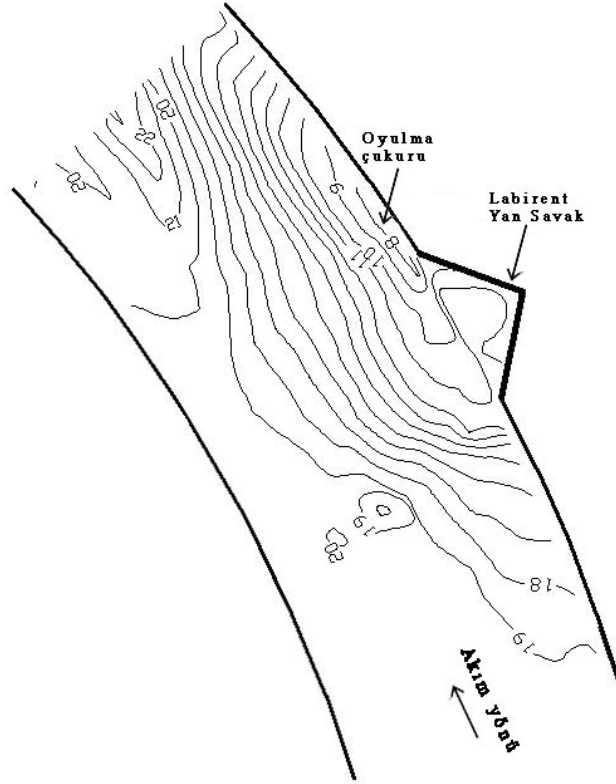
Labirent yan savakların dikdörtgen yan savaklarda çok daha fazla debi savakladıkları diğer bölümlerde sunulmuştur. Buradan sekonder akımın daha şiddetli olduğu sonucu çıkartılabilir. Böylece dikdörtgen yan savaklarda temiz su oyulmasını çalışan Önen (2005)'in bulduğu oyulma derinliklerinden daha büyük derinlikler elde edilmiştir.

Önen [61] de oyulma çukurunu dış kıyıda savak civarında elde etmiştir. Bu çalışmada elde edilen zamana bağlı olarak Hd eğrilerinin eğilimi Önen [61] tarafından verilen eğrilerin eğilimi ile oldukça uyumludur.

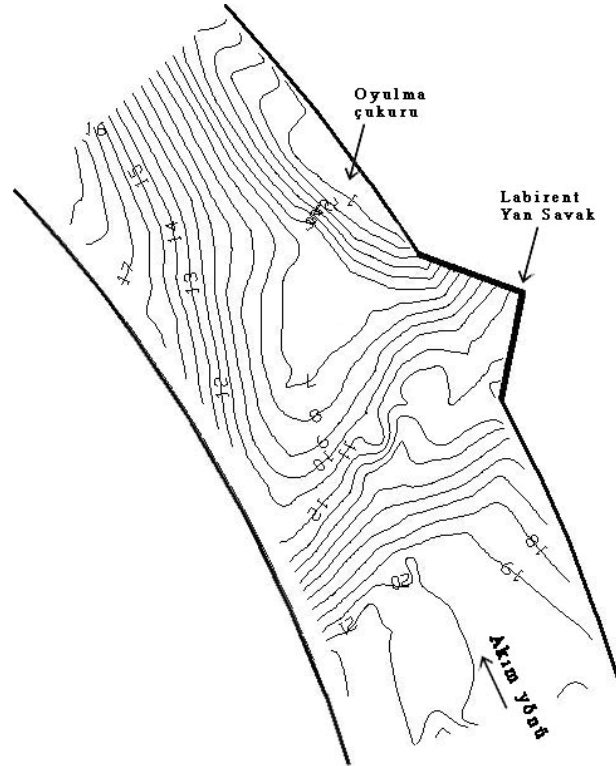
$\alpha=30^\circ$ kıvrım merkez açısında, labirent yan savak bölgesinde mansaba doğru belirli bir mesafe sonra boyuna bar oluşumu gözlenmiştir. Bu oluşum genellikle kanal eksenini civarında olmuştur.



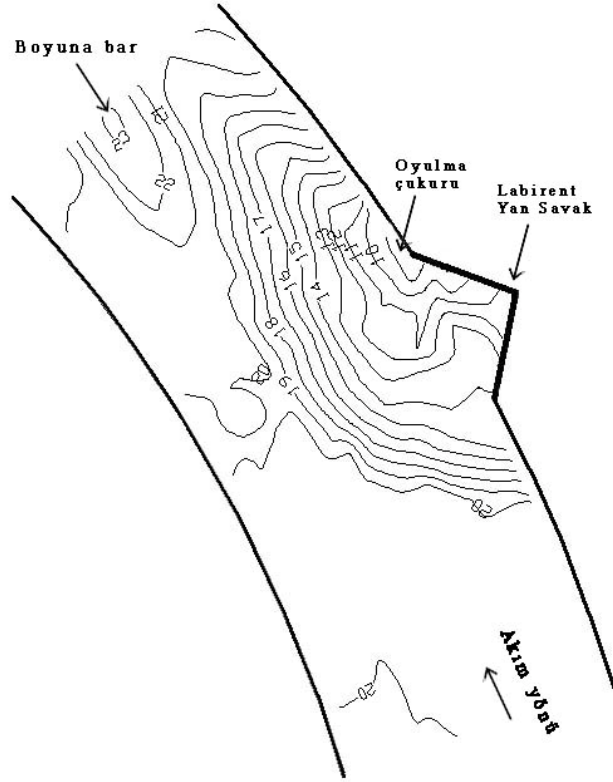
Şekil 6.10. $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.7951$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.14$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



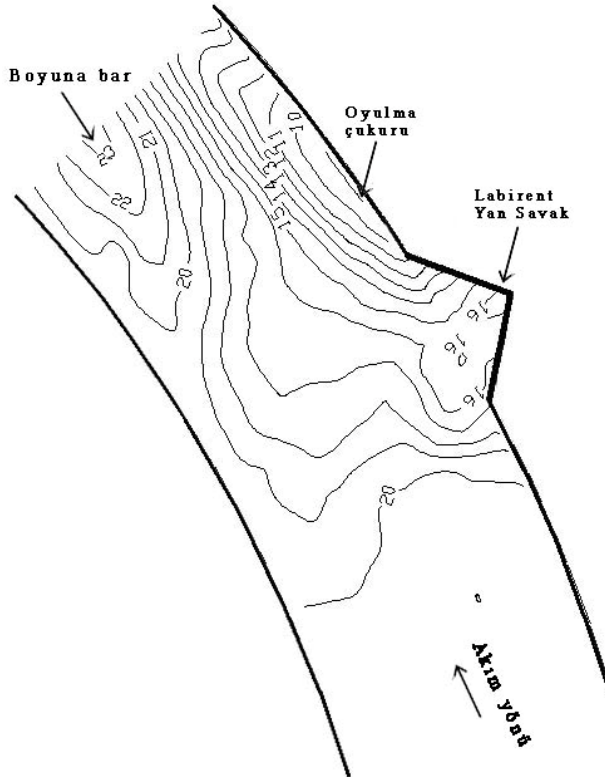
Şekil 6.11 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.74971$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.14$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



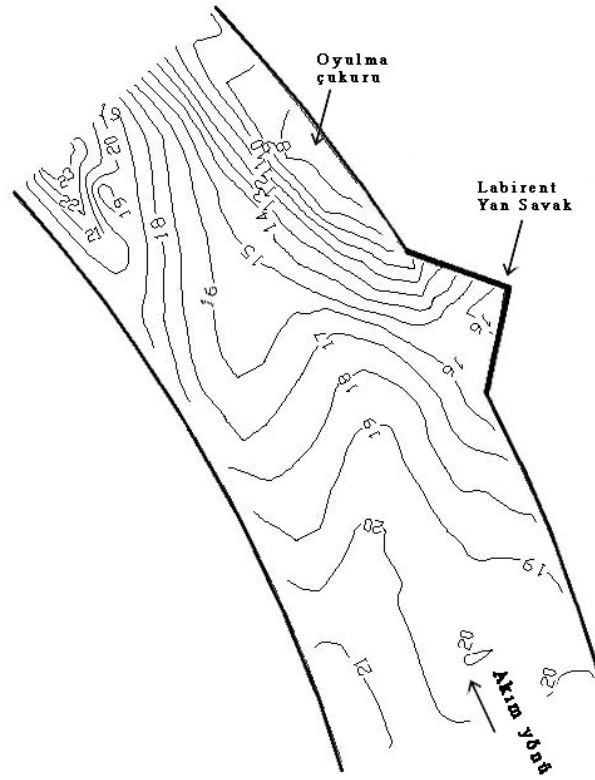
Şekil 6.12 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.8729$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.14$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



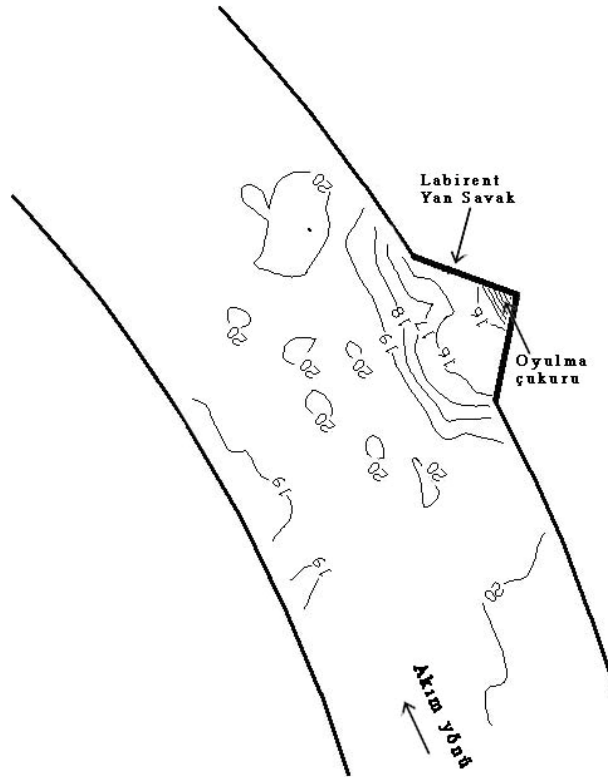
Şekil 6.13 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.6722$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.24$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



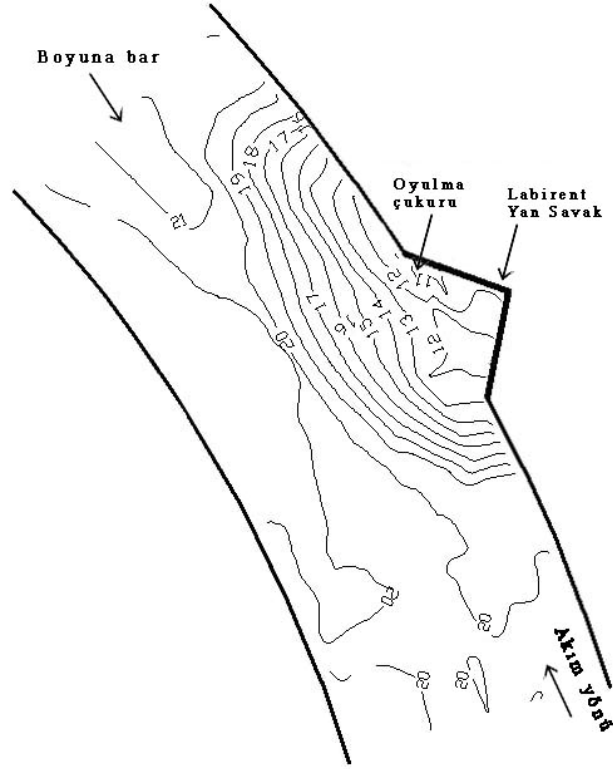
Şekil 6.14 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.7468$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.24$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



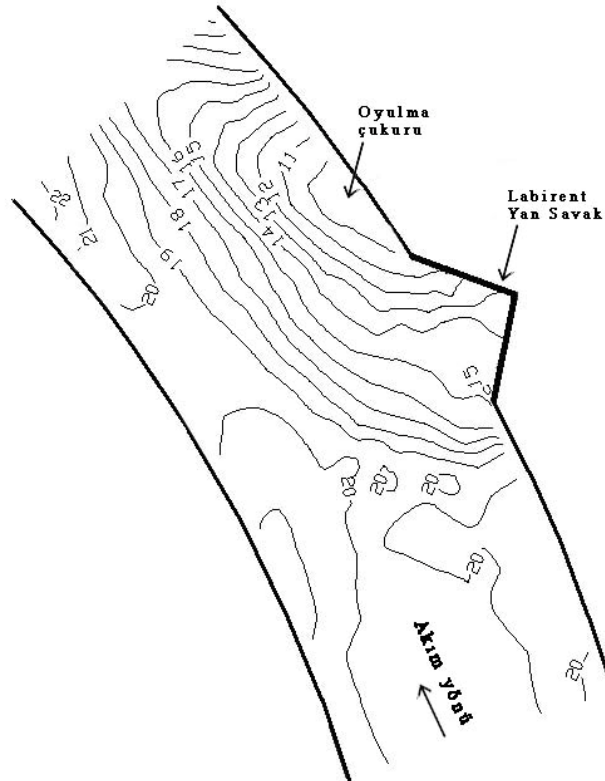
Şekil 6.15 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.8729$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.24$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



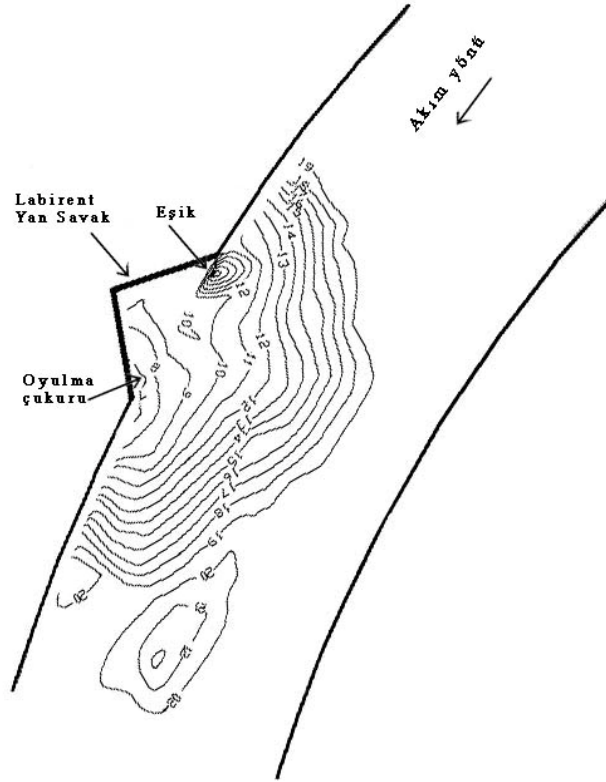
Şekil 6.16 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.5355$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.32$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



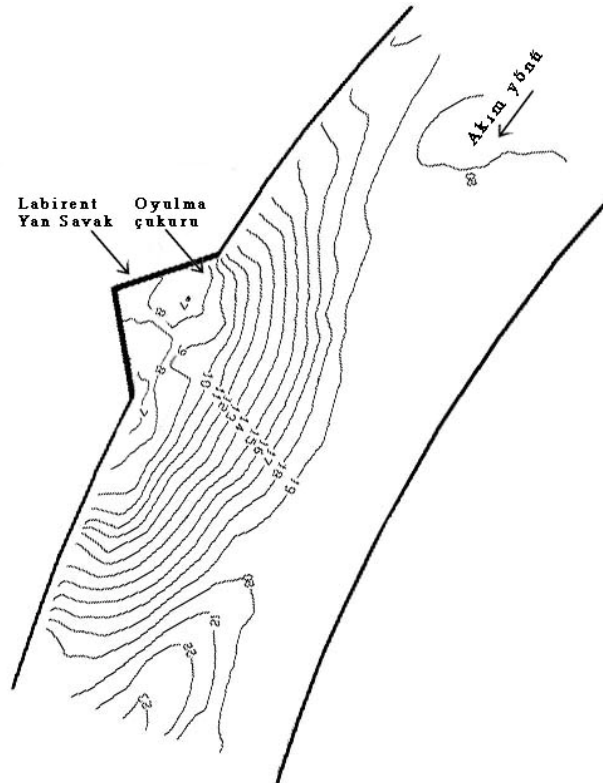
Şekil 6.17 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.7090$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.32$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



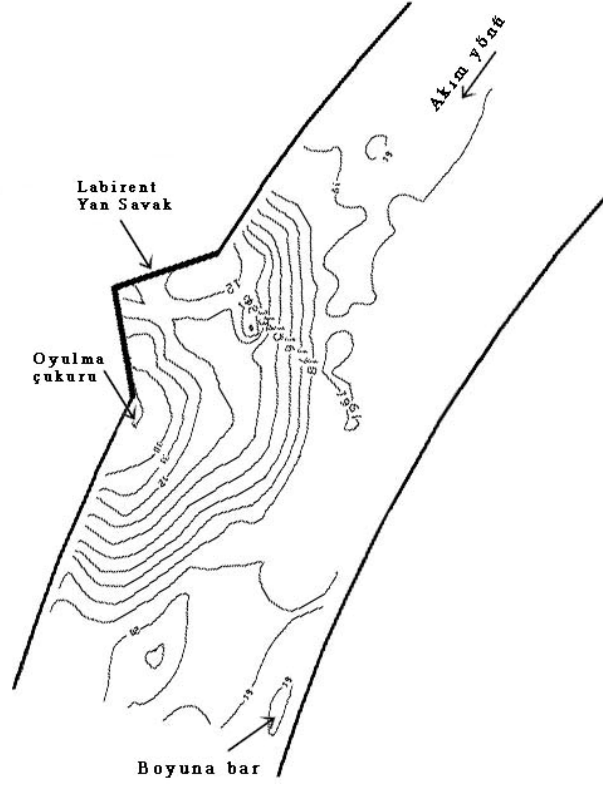
Şekil 6.18 $\alpha=30^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.8214$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.32$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



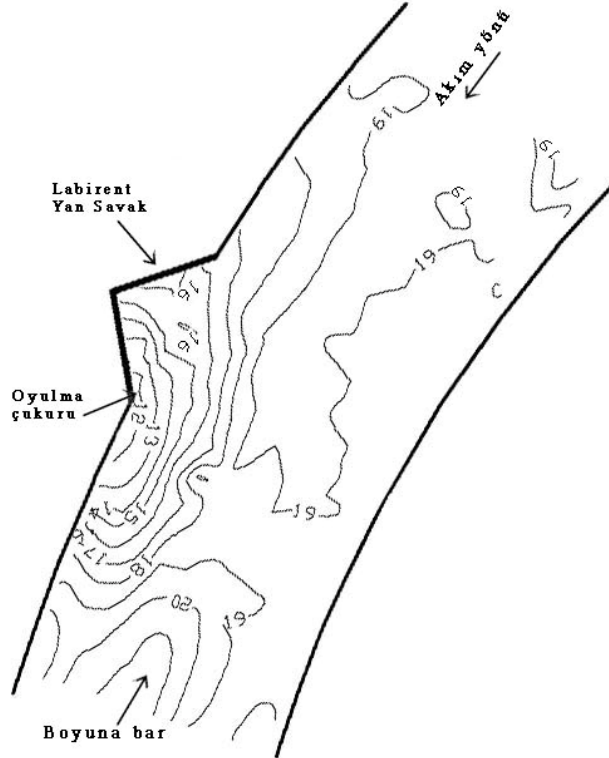
Şekil 6.20 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.6919$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.14$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



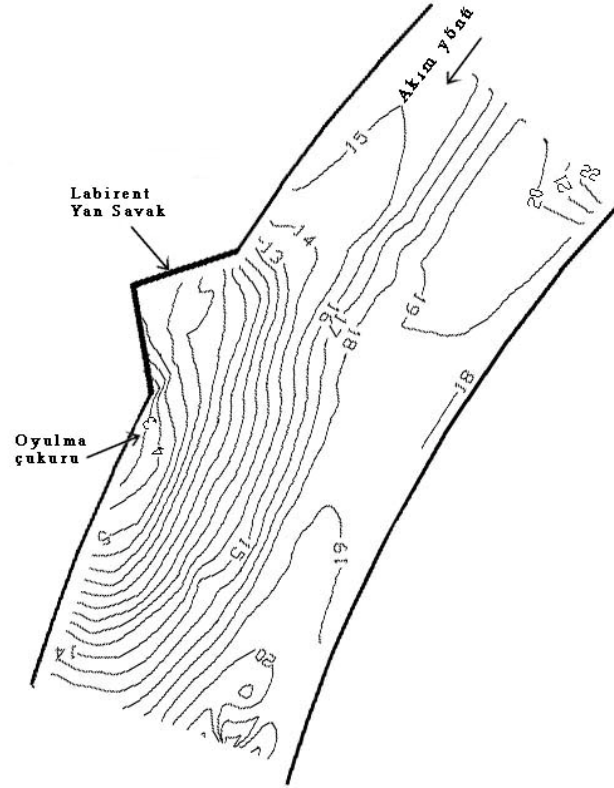
Şekil 6.21 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.7951$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.14$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



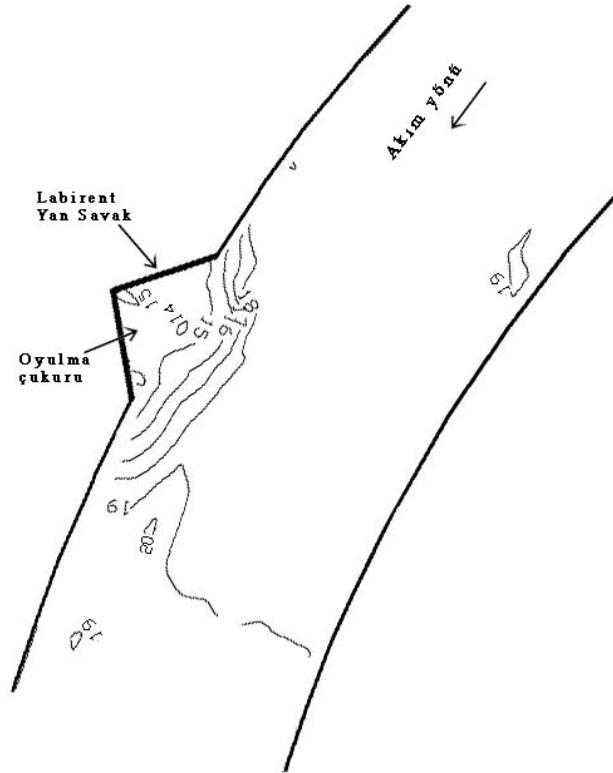
Şekil 6.22 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.6732$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.24$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



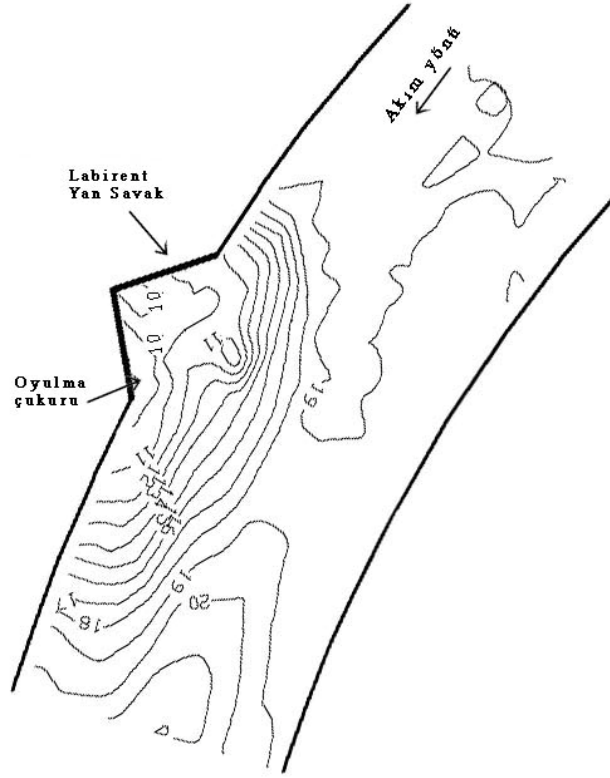
Şekil 6.23 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.7468$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.24$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



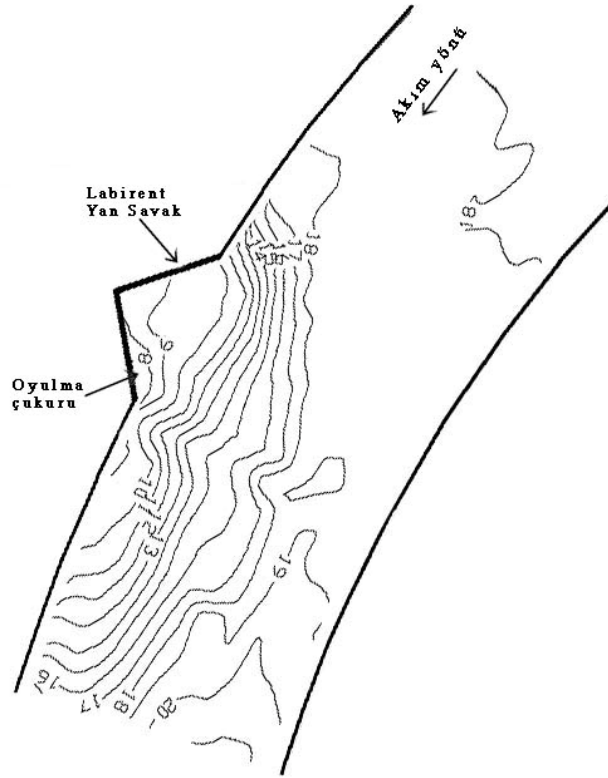
Şekil 6.24 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.8729$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.24$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



Şekil 6.25 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{kr}=0.5355$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0.32$ için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



Şekil 6.26 $\alpha=150^\circ$, $\theta=90^\circ$, $V_1/V_{k1}=0.7090$, $L/b=0.50$ ve $p/b=0$. 32 için taban topografyasındaki değişimler (Kararlı taban seviyesi 20 cm'dir).



7. SONUÇLAR

Hareketli tabanlı 180° kıvrımlı bir kanal boyunca nehir rejimli ve kararlı akım şartlarında serbest savaklanma durumunda $L=25$ cm uzunluklu, kum tabanından itibaren 7, 12 ve 16 cm kret yükseklikli $\theta=90^\circ$ labirent yan savak tepe açısına haiz yan savaklarda $\alpha=30^\circ$ ve $\alpha=150^\circ$ kıvrım merkez açılarındaki temiz su oyulması deneyleri yapılmış, taban topografyasındaki değişimler ve rölatif denge oyulma derinlikleri incelendiğinde bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Hareketli tabanlı kıvrımlı kanala yerleştirilen labirent yan savaklar civarında oluşan rölatif denge oyulma derinliğine etki eden parametreler boyut analizi ile belirlenmiş ve rölatif denge oyulma derinliğinin,
$$H_d/p = f(V_1/V_{kr}, h_1/p, L/b, \alpha, \theta)$$
boyutsuzlarına bağlı olduğu tespit edilmiştir.
2. $V_1/V_{kr} > 0.50$ 'den sonra oyulma görülmeye başlanmıştır.
3. Oyulma çukurunun dengeye ulaşma süresi yan savak kret (eşik) yüksekliği ve V_1/V_{kr} ile yakından ilgilidir. Büyük V_1/V_{kr} değerlerinde dengeye ulaşma süresi artmaktadır. Kret yüksekliğinin artması ile süre azalmaktadır.
4. Oyulma çukurunun yeri yan savak civarında ve mansap ucu yakınında olmuştur.
5. Yanal akımın fazlalığı daha büyük oyulma derinlikleri oluşmasına sebep olmaktadır. Böylece büyük L/b oranlarında oyulma derinliği de artacaktır.
6. V_1/V_{kr} değerlerinin artmasıyla oyulma çukurunun yeri labirent yan savağın mansap ucundan mansaba doğru kaymaktadır.
7. p/b oranının azalmasıyla denge oyulma derinliği büyümektedir.

KAYNAKLAR

1. De Marchi G., 1934, "Saggio di teoria de funzionamento delgi starmazzi laterali" *L'Energia Elettrica, Milano*, 11, 849-860
2. Parmley, 1905. Discharge coefficient of side weirs.
- 3.. Engels H., 1920, "Mitteilungen aus der Dresdener Flussbaulaboratorium Weiten", 362-365;387-390.
4. Coleman GS., Smith D., 1923, "The discharging capacity of side weirs" *Selected Engineering Paper 6, Ins. Civ. Eng.*
5. Tyler RC., Carolla JA., Steyskal NA., 1929, "Discharge over side weirs with and without Baffles" *Journal Boston Soc. Civ. Eng.*, 16, 118.
6. Nimmo WHR., 1928 "Side spillways for regulating diversion canals" *Trans., ASCE*, 92:1561-1584.
7. Forchhemier P., 1930, Hydraulic, Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, Berlin, 3rd. ed.
8. Gentilini B., 1938, Ricerche Specimentali Sogli Sforatori Longitudinali, *L'Energia Elettrica*,9.
9. Babbitt HE., 1953, Sewerage and Sewage Treatment, Wiley New York.
10. Frazer W., 1954 , The Behaviour of Side Weirs in Prismatic Rectengular Channels, *Ph.D. Thesis*, Presented Glasgow University.
11. Schmidt M., 1955, Die Berechnung von Streicwehren, Die Wasserwirtschaft, Berlin.
12. Collinge VK., 1957, "The discharge capacity of side weirs" *Proc. of the ICE*, London, 6, 288-304.
13. Allen JW., 1957, "The discharge of water over side weirss in circular pipes" *Proc. of the ICE*, London, 6, 270-287.
14. Ackers P., 1957, "A theoretical consideration of side weirs as storm water overflows" *Proc. of the ICE*, London, 6, 250-269.
15. Subramanya K., Awasthy SC., 1972, "Spatially varied flow over side weirs" *Journal of Hydraulics Division, Proc, ASCE*, 98(HY1), 1-10.
16. Smith KVH., 1974, "Computer programming for flow over side weirs" *Journal of Hydraulics Division, Proc., ASCE*, 99(HY3), 495-508.
17. Akan AO., 1974, "Computer programming for flow over side weirs" *Journal of Hydraulics Division, Discussion, Proc., ASCE*, 100(HY3), 489-490.
18. El-Khashab AMM., 1975, Hydraulic of flow over side weirs, *Ph.D. Thesis*, Presented to the University of Southampton, England.
19. Yen BC., 1977, "Experimental investigation of flow over side weirs" *Journal of Hydraulics Division, Discussion; Proc., ASCE*, **103**(HY5), 580-581.
20. El-Khashab AMM., Smith KVH., 1978, "Experimental investigation of flow over side weirs" *Journal of Hydraulics Division, Closure, Proc., ASCE*, **104**(HY1), 126-128.
21. Balmforth DJ., Sarginson EJ., 1977, "Experimental investigation of flow over side weirs" *Journal of Hydraulics Division, Discussion, Proc., ASCE*, 103(HY3), 941-943.
22. Ranga Raju KG., Prasad B. Grupta SK., 1979, "Side weir in rectangular channels" *Journal of Hydraulics Division, Proc., ASCE*, 105(HY5), 547-554.
23. Kumar CP., Pathak SK., 1987, "Triangular side weirs" *Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE*, 113(1), 98-105.

24. Ramamurthy AS., Carballada L., 1980, "Lateral weirs flow model" *Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE*, 112(2), 130-137.
25. Chao JL., Trussel RR., 1980, "Hydraulic design of flow distribution channels" *Journal of Environmental Engineering Division, ASCE*, 106(EE2), 321-333.
26. Jain SC. Fischer EE., 1982, "Uniform flow over skew side weir" *Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE*, 108(2), 163-166.
27. Uyumaz A., 1982, Yan savaklardaki akımın teorik ve deneysel incelenmesi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Ens., İST.
28. Ramamurthy AS., Satish MG., 1986, "Discharge characteristics of flow past a flor slot" *Journal of Irrigation Drainage Engineering, ASCE*, 112(1):20-27.
29. Uyumaz A., Smith RH., 1991, "Design procedure for flow over side weirs" *Journal of Irrigation Drainage Engineering, Proc., ASCE*, 119(7), 79-90.
30. Cheong HF., 1991, "Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel" *Journal of Irrigation Drainage Engineering, Proc., ASCE*, 117(4), 321-333.
31. Swamee PK., Pathak SK., Mohan M., Agraval SK., Masoud SA., 1994, "Subcritical flow over rectengular side weir", *ASCE*, 120(1), 212-217.
32. Uyumaz A., 1993, "Side weir in triangular channel" *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 118, 965-970.
33. Hager WH., 1994, "Supercritical flow in circular-shaped side weirs" *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, Vol.120.
34. Singh R., Manivannan D., Satyanarayana T., 1994, "Discharge coefficient of rectangular side weirs" *Journal of Irrigation Drainage Engineering, Proc., ASCE*, 120(4), 814-819.
35. Tozluk H., 1994, "Yan savak akımının hesabı için nümerik bir yaklaşım" *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Ens., İST.
36. Ağaçcıoğlu H., 1995, Yan Savaklardaki Akımın Kıvrımlı Bir Kanal Boyunca İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 165s, İstanbul.
37. Pinheiro AN., Silva IN., 1999, "Discharge coefficieent of side weirs; Experimental study and comparative analysis of different formulas" *IAHR Congress*, Graz, Austria.
38. Uyumaz A., 1997, "Side weir in U-shaped channels" *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(7), July 1997, 639-646.
39. Ağaçcıoğlu H., Yüksel Y., 1998, "Side weir flow in curved channels" *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 124(3), May/June 1998, 163-175.
40. Nandesamoorthy, T., and Thamson, A., (1972), "Discussion of spatially varied flow over side-weir." *J. Hydr.Engng.*, ASCE, 98(12),2234-2235.
41. Yu-Tech, L., (1972), "Discussion of spatially varied flow over side-weir." *J. Hydr.Engng.*, ASCE, 98(11),2046-2048.
42. Borghei M., Jalili MR., Ghodsian M., 1999, "Discaharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow" *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(10), October 1999, 1051-1056.
43. Ura M., Kita Y., Akiyama J., Moriyama H., Jha AK., 2001, "Discaharge coefficient of oblique side-weirs" *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering*, 19(1), May 2001, 85-96.
44. Muslu Y. 2002, "Lateral weir flow model using a curve fitting analysis" *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(7), 712-715.
45. Khorchani, M. and Blanpain, O., 2004, "Free surface measurement of flow over side weirs using the video monitoring concepit", *Flow Measurement and Instrumentation*, 15, 111-117.

46. Ghodsian M., 2003, "Supercritical flow over a rectangular side weir" *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30, 596-600.
47. Mizumura, K., Yamasaka, M. and Adachi, J., 2003, "Side outflow from supercritical channel flow", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 129(10), 769-776.
48. Yüksel, E., 2004, "Effect of specific energy variation on lateral overflows", *Flow Measurement and Instrumentation*, 15, 259-269.
49. Bilhan, Ö. (2005). Labirent savakların hidrolik karakteristiklerinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üni. Fen Bilimleri Ens., 64s.
50. Yıldız D., Üzücek E., Labirent dolusavakların projelendirilme kriterleri. Devlet Su İşleri Teknik Araştırma Kalite ve Kontrol Dairesi Başkanlığı. Yayın No: Hİ-862 Ankara 1993.
51. Vermeyen, T.B., Hydraulic model study of Ritschard Dam Spillway report R – 91-08, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, October 1991.
52. Falvey, H.T., 2003, Hydraulic Design of Labyrinth Weirs ASCE, 162p.53. Houston, 1983
53. Houston K.L., Hydraulic model study of Ute Dam Labyrinth Spillway, report no. GR-82-7, Bureau of Reclamation Denver, Colorado, August 1982.
54. ENR, 1983 – BUREC Stretches Spillway. Engineering News-Record Set. 1, 1983.
55. Erkek C., Ağırlioğlu N. 2002, "Su Kaynakları Mühendisliği" Beta Yayınevi, 4. Baskı, İst.
56. Özbek, T., Özcan, Ç. 2001, "Akarsularda Katı Madde", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ank.
57. Bayazit, M., (1971), Hareketli Tabanlı Akımların hidroliği, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
58. Shield, A., (1936), "Adwendung der Aehnlichkeitsmechanik und Turbulenz Forshung Auf Die Geschiebepbewegung", Berlin.
59. Tsujimoto, T., and Mizukami, T., (1985), "Effect of Migration to Local Scour Around a Bridge Pier", Memoirs, Faculty of Tecnology, Kanazawa University, Vol. 19, No.1, pp.23-34
60. Melville, B. W., ve Chiew, Y. M., (1999), "Time Scale for Local Scour at Bridge Piers", *Journal of Hydraulics Engineering*, ASCE, 125(1):59-65
61. Önen, F., 2005, "Hareketli tabanlı akarsularda yanal akımın hidro dinamiğinin incelenmesi", *Doktora tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 174s, İstanbul.
62. Yanmaz, A. M., and Altınbilek, H. D., 1991, "Study of time –dependent local scour around bridge piers", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 117(10), 1247-1267.
63. Ağaçcioğlu, H. and Önen, F., 2005, "Clear-water scour at a side-weir intersection along the bend", *Irrigation and Drainage*, 54, 553-569.

ÖZGEÇMİŞ

23.08.1982 Elazığ doğumluyum. Lise öğrenimimi Elazığ Anadolu Lisesi'nde 2000 tarihinde tamamladım. 2000–2004 tarihleri arasında Lisans öğrenimimi Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Bölümünde tamamladım. Yüksek Lisans Öğrenimime 2004'te Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı Hidrolik Bilim Dalı'nda başladım. Şu anda Karayolları 11. Bölge Müd. Köprü Baş Müh.'liğinde Köprü Bakım Onarım Kontrol Teknik Elemanı Olarak çalışmaktayım.