

128728

İnş. Müh. Harun AKSU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

128728

: Doç.Dr. Hayrullah AĞAÇÇIOĞLU

Prof. Dr. Necati AĞIRALI OĞLU Tuncel
İSTANBUL, 2001

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	ix
1 YAN SAVAK, KIVIRIMLI KANAL VE HAREKETLİ TABANLI AKIMLARIN HİDROLİĞİ.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Yan Savak Akımlarının Hidroliği.....	3
1.3 Kıvrımlı Kanalların Hidroliği.....	21
1.4 Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği.....	41
1.4.1 Tanelerin Harekete Başlaması.....	41
1.4.2 Kritik Hız.....	43
1.4.3 Hareketli Tabanın Aldığı Şekiller.....	43
1.4.3.1 Taban Şekillerinin Özellikleri.....	43
1.4.3.2 Dalgaların Meydana Geliş Nedenleri.....	46
2 KIVIRIMLI KANALLARDA YAN SAVAK AKIMI.....	49
2.1 Giriş.....	49
2.2 Konu İle İlgili Çalışmalar.....	49
2.3 İncelenecek Problem.....	54
3 DENEY KANALI VE BOYUT ANALİZİ.....	56
3.1 Giriş.....	56
3.2 Deney Tesisi.....	56
3.3 Giriş Üçgen Savak Anahtar Eğrisinin Elde Edilmesi.....	58
3.4 Çıkış Üçgen Savak Anahtar Eğrisinin Elde Edilmesi.....	59
3.5 Deneylerin Yapılışı.....	60
3.5.1 Hız Profillerinin Belirlenmesi İle İlgili Çalışmalar.....	60
3.5.2 Taban Profilinin Elde Edilmesi İle İlgili Çalışmalar.....	60
3.6 Deneysel Çalışmada Etkili Parametrelerin Belirlenmesi.....	61
3.7 Boyut Analizi.....	61
4 DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	65
4.1 Deneysel Çalışma.....	65
4.2 Doğrusal Kanalda ve Kıvrımda Oluşan Hız Profilleri ve Değerlendirilmesi.....	66

4.2.1	L=25 cm Uzunluğundaki Yan Savakta Doğrusal Kanal ve Kıvrımda Oluşan Hız Profilleri	66
4.2.2	L=50 cm Uzunluğundaki Yan Savakta Doğrusal Kanalda Oluşan Hız Profilleri ..	71
4.2.3	L=50 cm Uzunluğundaki Yan Savakta Kıvrımda Oluşan Hız Profilleri	73
4.2.4	Doğrusal Kanal ve Kıvrımda Alınan Hız Profillerinin Karşılaştırılması.....	77
4.3	Hareketli Tabanlı Doğrusal Kanallara Yerleştirilen Kret Yükseklikleri Farklı Yan Savaklarda Yanal Akımın Taban Profiline Etkisi.....	77
4.4	Hareketli Tabanlı Doğrusal Kanallara Yerleştirilen Farklı Uzunluklu Yan Savaklarda, Yanal Akımın Taban Profiline Etkisi.....	80
4.5	Hareketli Tabanlı Kıvrımlı Kanalda Yanal Akımın Taban Profiline Etkisi	83
4.6	Doğrusal Kanal İle Kıvrımlı Kanalda Elde Edilen Taban Profillerinin Karşılaştırılması	86
4.7	Hız Profilleri İle Taban Profillerinin Birlikte Değerlendirilmesi	88
4.7.1	Doğrusal Kanaldaki Hız ve Taban Profillerinin Değerlendirilmesi	88
4.7.2	Kıvrımlı Kanaldaki Hız ve Taban Profillerinin Değerlendirilmesi	90
5	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	92
5.1	Sonuçlar	92
5.2	Öneriler	93
KAYNAKLAR		94
ÖZGEÇMİŞ		96

SİMGE LİSTESİ

A	Ana kanal ıslak kesit alanı (m^2)
b	Ana kanal genişliği (m)
β	Momentum katsayısı
b_d	Daralma oranı (b/b_0)
b_f	Yaklaşım kanalı mansap genişliği (m) (A.D.Georgiadou, K.V.H.Smith, 1986)
b_o	Yaklaşım kanalı menba genişliği (m) (A.D.Georgiadou, K.V.H.Smith, 1986)
C	Chezy katsayısı
C_θ	Yersel teğetsel su yüzü eğimi katsayısı (C. L. Yen, B. C. Yen, 1971)
Cd	Yan savak debi katsayısı
C_{nor}	Akıma dik olarak kanala yerleştirilen savak için savak debi katsayısı
C_r	Yersel enine su yüzü eğimi katsayısı (C. L. Yen, B. C. Yen, 1971)
C_s	Sirkülasyon sabiti (Chow, 1957)
C_s	Kabarma miktarı (C. L. Yen, B. C. Yen, 1971)
D	Dairesel enkesitli ana kanal çapı (m)
D^*	Sedimentolojik çap (m)
dQ_w/dx	savağın birim uzunluğundan savaklanan debi (m^3/sn)
E	Herhangi bir kesitteki özgül enerji yüksekliği (m)
ϕ	İntegral alanını gösteren sembol
Fr_1	Yan savak başlangıcındaki Froude sayısı
g	Yer çekimi ivmesi (m^2/sn)
h	Herhangi bir kesitteki akım derinliği (m)
h_1	Yan savak menbaında 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) (Frazer, 1954)
H_θ	Su yüzeyindeki boyuna değişim (m) (C. L. Yen, B. C. Yen, 1971)
H_{rc}	Enkesitteki iki nokta arasındaki su yüzü farkı (m) (C. L. Yen, B. C. Yen, 1971)
H_s	Su yüzündeki yanıl değişim (m) (C. L. Yen, B. C. Yen, 1971)
h_w	rölatif savak yükü (Y. R. Fares, J. G. Herbertson, 1993)
h_w	yan savak bölgesindeki akım derinliği (m)
J	Enerji çizgisi eğimi
J'	Teğetsel enerji gradyanı (H. H. Chang, 1983)
J_θ	Teğetsel su yüzü eğimi
J''	Radyal enerji gradyanı
J_{kr}	Kritik taban eğimi
J_o	Ana kanal taban eğimi
J_r	Radyal doğrultuda su yüzü eğimi
K	Su yüzü yanıl değişim katsayısı
L	Yan savak uzunluğu (m)
L_s	Kalın kenarlı savak boyu (m)
n	Manning sürtünme katsayısı
p	Yan savak eşik yüksekliği (m)
Q	Ana kanal debisi (m^3/sn)
Q'	Yan savaktan sonraki ana kanal debisi (m^3/sn)
q_s	Birim uzunluktan savaklanan debi ($m^3/s-m$)
Q_w	Yan savak debisi (m^3/sn)
Q_r	Yan savaktan savaklanma oranı (%)
r	Eğrilik yarıçapı,
ρ	Özgöl kütle (kg/m^3)

R	Hidrolik yarıçap (m)
r_0	Dış kıyı eğrilik yarıçapı (m)
r_c	Kanal eksen eğrilik yarıçapı (m)
Re	Reynolds sayısı
Re_*	Tane Reynolds sayısı
r_1	İç kıyı eğrilik yarıçapı (m)
S_{xy}	Helikoidal akımın gücü (%)
τ	Taban kayma gerilmesi (N/m^2)
τ_{kr}	Kritik kayma gerilmesi (N/m^2)
u_*	Taban kayma hızı (m/s)
V	Ana kanaldaki ortalama akım hızı (m/sn)
V_θ	Kıvrımda teğetsel hız bileşeni
$V_{\theta m}$	Akım derinliklerine göre ortalama teğetsel hız (m/s)
V_1	Yan savak menbaında ana kanal eksenindeki ortalama akım hızı (m/s)
V_2	Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki ortalama akım hızı (m/s)
V_{kr}	Kritik hız (m/s)
V_r	Kıvrımdaki radyal hız bileşeni
V_{xy}	xy planındaki ortalama hız vektörü
V_z	Eğrilik merkezinden r radyal uzaklıkta kıvrımdaki teğetsel hız (m/s)
x	Yan savağın herhangi bir noktasının yan savak başlangıcına olan mesafesi (m)
ψ	Savaklanma (sapma) açısı
γ	Akışkanın özgül ağırlığı
λ	Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı
ε	Eddy viskozitesi
ν	Kinematik viskozite
η	rölatif derinlik (z/h)
χ	Von Karman sabiti
ξ	Vortex bileşeni
α_0	Ortalama merkezkaç kuvveti katsayısı
α_2	Yan savak mansabındaki hız katsayısı
α_1	Yan savak membasındaki hız katsayısı
ΔE	Özgül enerji gradyanı
θ	Kıvrım açısı
Δh	Su yüzeyindeki enine kabarma miktarı (m)
τ_{r0}	Taban kayma gerilmesi radyal bileşeni (N/m^2)
ε_s	Difüzyon katsayısı
δ	Viskoz alt tabaka kalınlığı (m)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Deneysel olarak gözlenen su yüzü profilleri (Coleman ve Smith, 1923; Engels, 1920; Tyler vd., 1929).....	3
Şekil 1.2	Sabit özgül enerjiye sahip kanal akımında derinlik ile kanal debisinin ilişkisi (De Marchi, 1934).....	6
Şekil 1.3	Muhtemel su yüzü profilleri (De Marchi, 1934).....	8
Şekil 1.4	$\phi(h/E)$ fonksiyonunun (p/E) parametresinin farklı değerleri için değişimi (De Marchi, 1934).....	11
Şekil 1.5.a	Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak debi katsayısının değişimi. (Subramanya-Awasthy, 1972)	15
Şekil 1.5.b	Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda sel rejimli akım durumunda yan savak debi katsayısının değişimi. (Subramanya-Awasthy, 1972).....	16
Şekil 1.6	Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi (El-Khashap, 1975)	17
Şekil 1.7	Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda sel rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi (El-Khashap, 1975).....	18
Şekil 1.8	Trapez enkesitli bir kanalda trapez enkesitli yan savak genel görünüşü (Ramamurthy, Tim ve Carballada, 1986)	19
Şekil 1.9	Savak en kesiti ve plan.....	20
Şekil 1.10	Kanal en kesiti (Chow, 1957).....	22
Şekil 1.11	Kıvrımlı bir kanalda su yüzü profilleri ve maksimum hız yörüngesinin değişimi (Shukry, 1950).....	24
Şekil 1.12	Açık kanal kıvrımında enerji çizgisi ve su yüzü profilleri (Chow, 1957).....	27
Şekil 1.13	Max V_0 'nın kıvrım açısına göre kesitten kesite değişimi. a) $r/b=3$, b) $r/b=7.9$.	32
Şekil 1.14	Kıvrımlı kanaldaki bir akışkan parçacığına etki eden basınç kuvvetleri	33
Şekil 1.15	Deney kanalı (C. L. Yen ve B. C. Yen)	36
Şekil 1.16	Deney seti (A.D.Georgiadou ve K. V.H.Smith).....	40
Şekil 1.17	Shields Diyagramı	41
Şekil 1.18	Solda nehir rejimindeki akımlarda taban dalgalarının hareketi, sağda sel rejimindeki akımlarda taban dalgalarının hareketi.....	45
Şekil 1.19	Hareketli tabanın akımın hızı arttıkça alacağı çeşitli şekiller : (a) Dalgacıklar (ripple) (b) Sırtlarında dalgacıklar bulunan eşikler (dune), (c) Eşikler, (d) Düzlem taban, (e) Hareketsiz dalgalar, (f) Ters eşikler (antidune) ve kırılan dalgalar	46
Şekil 1.20	Liu'nun taban şekillerinin başlangıcına ait diyagramı	47
Şekil 1.21	Shields ve Liu'nun diyagramlarının karşılaştırılması	48
Şekil 2.1	Dış kıyısında yan savağa sahip 60°'lik bir kanal kıvrımı(Y.R.Fares ve J.G.Herbertson, 1993)	50
Şekil 2.2	Dış kıyısındaki yan savak üzerinden yanal akıma sahip 60°'lik kanal kıvrımında derinlik boyunca hız dağılımları(Y.R.Fares ve J.G.Herbertson, 1993)	51
Şekil 2.3	$Fr_1 < 0.3$ için yan savak boyunca akım çizgilerinin değişimi	52
Şekil 2.4	$Fr_1 > 0.3$ için yan savak boyunca akım çizgilerinin değişimi	52
Şekil 3.1	Deney kanalı planı.....	57
Şekil 3.2	Üçgen savak anahtar eğrisi.....	59
Şekil 3.3	Çıkış üçgen savak anahtar eğrisi	60
Şekil 4.1.a	Noktasal hızların belirlendiği istasyonlar ($L=25$ cm,ölçeksiz)	66
Şekil 4.1.b	Noktasal hızların belirlendiği istasyonlar ($L=25$ cm,ölçeksiz)	67
Şekil 4.2	Doğrusal kanalda yan savak boyunca ana kanaldaki enine ve boyuna hız profilleri ($L=25$ cm $p=17$ cm).....	69

Şekil 4.3	30° Kıvrımlı kanalda yan savak boyunca ana kanaldaki enine ve boyuna hız profilleri (L=25 cm p=17 cm).....	70
Şekil 4.4.a	Noktasal hızların belirlendiği istasyonlar (L=50 cm,ölçeksiz)	72
Şekil 4.4.b	Noktasal hızların belirlendiği istasyonlar (L=50 cm,ölçeksiz)	73
Şekil 4.5	Doğrusal kanalda L=50cm ve p=17cm için enine ve boyuna hız profilleri	74
Şekil 4.6	Doğrusal kanalda L=50cm ve p=17cm için enine ve boyuna hız profilleri.....	75
Şekil 4.7	30° Kıvrımlı kanalda L=50cm ve p=17cm için enine ve boyuna hız profilleri	76
Şekil 4.8	L=25 cm ve p=7 cm için yan savak kreti boyunca kanal taban profilindeki değişim	78
Şekil 4.9	L=25cm ve p=12cm için yan savak kreti boyunca kanal taban profilindeki değişim	79
Şekil 4.10	L=25 cm ve p=17 cm için yan savak kreti boyunca kanal taban profilindeki değişim	79
Şekil 4.11	L=25 cm ve p=12 cm için yan savak kreti boyunca kanal taban profilindeki değişim	82
Şekil 4.12	L= 50 cm ve p=12 cm için yan savak kreti boyunca kanal taban profilindeki değişim	82
Şekil 4.13	Kıvrımda L=25 cm ve p=12 cm için yan savak kreti boyunca kanal taban profilindeki değişim	85
Şekil 4.14	Kıvrımda L=50 cm ve p=12 cm için yan savak kreti boyunca kanal taban profilindeki değişim	85
Şekil 4.15.a	Düşük mansap hızlarında oluşan taban profili	86
Şekil 4.15.b	Büyük mansap hızlarında oluşan taban profili.....	86
Şekil 4.16	L=25 cm ve p=12 cm için yan savak kreti boyunca doğrusal kanal ve kıvrımdaki kanal taban profilindeki değişim	87
Şekil 4.17	L=50 cm ve p=12 cm için yan savak kreti boyunca doğrusal kanal ve kıvrımdaki kanal taban profilindeki değişim	88
Şekil 4.18	Doğrusal kanalda L=50 cm p=17 cm için taban profillerindeki değişim.....	89
Şekil 4.19	L=50 cm ve p=17 cm için en kesitler boyunca kanal taban profilindeki değ. ..	91
Şekil 4.20	L=50 cm p=12 cm için oluşan taban profili.....	91

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1	Savak katsayıları (Collinge,1957).....	13
Çizelge 1.2	Farklı akım şartlarında 'd' ve 's' noktalarının değişimi.....	24
Çizelge 3.1	Yan Savak Akımına Etki Eden Parametreler	61
Çizelge 3.2	Yan Savak Katsayısına Etki Eden Parametreler İçin Boyut Analizi.....	62
Çizelge 3.3	Yan Savak Katsayısına Etki Eden Boyutsuz Parametreler	63
Çizelge 4.1	Çalışmada kullanılan yan savak boyutları.....	65
Çizelge 4.2	L=25 cm ve p=17 cm'lik yan savak için hız profiline ait akım şartları	68
Çizelge 4.3	L=50 cm ve p=17 cm'lik yan savak için hız profiline ait akım şartları	71
Çizelge 4.4	L=50 cm ve p=17 cm'lik yan savak için hız profiline ait akım şartları	72
Çizelge 4.5	L=25 cm ve p=12 cm'lik yan savak için akım şartları.....	80
Çizelge 4.6	L=50 cm ve p=12 cm'lik yan savak için akım şartları.....	81
Çizelge 4.7	30 ⁰ 'lik kıvrım açısında L=25 cm ve p=12 cm'lik yan savak için akım şartları	83
Çizelge 4.8	30 ⁰ 'lik kıvrım açısında L=50 cm ve p=12 cm'lik yan savak için akım şartları	84
Çizelge 4.9	Doğrusal kanaldaki L=50 cm ve p=17 cm'lik yan savak için akım şartları.....	89
Çizelge 4.10	30 ⁰ 'lik kıvrım açısında L=50 cm ve p=17 cm'lik yan savak için akım şartları	90

ÖNSÖZ

Bu çalışmama destek veren ve yol gösteren hocam Prof. Dr. Sabahattin Üç'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı yöneten ve çalışmanın her aşamasında ilgi ve desteğini eksik etmeyen hocam Yrd. Doç. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam süresince ilgi ve desteğini gördüğüm ve değerli görüş ve tavsiyelerinden büyük ölçüde yararlandığım ve deney kanalının kurulması sırasında ve deneyler süresince teknik bilgilerini esirgemeyen hocam Dr. Ali COŞAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı maddi yönden destekleyen Y.T.Ü. Araştırma Fonu Başkanlığına teşekkürlerimi sunarım.

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

Çalışmam süresince bana yardımcı dokunan arkadaşım Deniz TÜMER'e ve aileme teşekkür ederim.



ÖZET

Yan savaklar, herhangi bir kanaldan ihtiyaç duyulan debinin temini veya fazla suyun uzaklaştırılması için sulama, arazi drenajı ve kanalizasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Konu ile ilgili rasyonel yaklaşım De Marchi (1934) tarafından yapılmıştır. Daha sonra, birçok araştırmacı kararlı tabanlı kanallar için De Marchi'nin verdiği denklemleri kullanarak savak debi katsayısını belirlemek için çalışmışlardır.

Ancak, hareketli tabanlı kanallara yerleştirilen yan savaklar için yeterli sayıda çalışma mevcut değildir.

Bu araştırmada, hareketli tabanlı kanallara yerleştirilen yan savakların kanal taban profiline ve ana kanaldaki akım karakteristiklerine etkisi incelenmiştir.

Gerek yanal akım ve gerekse kıvrım tarafından yaratılan sekonder akım, ana kanaldaki taban profili ve hidrolik karakteristiklerinde çok önemli değişikliklere sebep olmaktadır. Çalışmada, iç kıyıda ayrılma bölgesi gözlenmiştir. Bu ayrılma bölgesine bağlı olarak ters akım alanı oluşmuştur. Ayrılma bölgesinin boyutu ana kanal yan savak başlangıcındaki Froude sayısına bağlıdır.

Çalışma sonucunda, gerek doğrusal ve gerekse hareketli tabanlı kanallar üzerine yerleştirilen yan savaklar, ana kanal taban profili ve akım karakteristiklerinde çok önemli değişiklikler meydana getirmiştir. Ana kanaldaki akım hızı, boyutsuz yan savak uzunluğu ve kret yüksekliği ve taban malzemesi çapı taban profiline etki eden en önemli parametreler olarak ortaya çıkmıştır.

Anahtar kelimeler: Yan savak, hareketli taban, doğrusal kanal, kıvrımlı kanal, taban profili

ABSTRACT

Side-weirs, also known as lateral weirs, are widely used in irrigation, land drainage, urban sewage systems by flow diversion or intake structures. Probably, first rational approach to studying side-weir flow was made by De-Marchi (1934). Since then, many investigators have been attracted considerable interest and researched in the weir discharge coefficient with the main channel's upstream Froude number by using De Marchi's equations for fixed bed channel

The same thing however is not true for side-weirs located on the straight and curved channel under the movable bed conditions

The present study is aimed that the effect of both the side overflow and the bend under the movable bed conditions to the bed profile and the main channel characteristics have been experimentally investigated.

The secondary flow that is created by both the lateral flow and the bend causes very strong disturbance to the bottom profile and hydraulic characteristics in the main channel. The stagnation zone was observed along the inner bank and reverse flow occurred due to the stagnation zone. The size of stagnation zone depends on the approach Froude number.

This study shows that the effect of both the lateral flow and the bend flow to the bed profile and the main channel flow characteristics depend on the approach velocity in the main channel, the dimensionless side-weir length, weir crest height and the size of the bed material.

Keywords: Side weir, movable bed, straight channel, curved channel, bed profile

1. YAN SAVAK, KIVIRIMLI KANAL VE HAREKETLİ TABANLI AKIMLARIN HİDROLİĞİ

1.1 Giriş

Sulama, hidroelektrik ve diğer hidrolik yapıların su temini amaçlı tesislerinin iletim kanalları ihtiyaç ve ekonomi göz önüne alınarak optimum kapasiteye göre projelendirilir. Kanala giren fazla suyun taşarak çevreye zararlı olmaması için gerekli yerlere yan savaklar yapılır. Bu savaklar bazen kanalın bir veya iki yanına bazen de çökeltim havuzu gibi tesislerin yan tarafına yapıldıkları için yan savak olarak adlandırılırlar. Meskun bölgelerdeki birleşik kanalizasyon sistemlerinde de yan savaklar oldukça sık kullanılır.

Birleşik kanalizasyon sistemlerinde yağmur suyunun da taşınması istendiğinde boru çapları büyük seçilir. Fakat arıtma tesisi, sadece normal zamanlarda gelen atık suları tasfiye edecek şekilde dizayn edildiklerinden yağışlı zamanlarda fazla yüklenirler. Bu yüklenme sırasında kapasite fazlası yağmur suları yan savaklarla tahliye edilerek arıtma tesisinin normal kapasite ile çalışması sağlanır.

Vadi yamaçlarından geçirilen kanallarda, havzadan yüzeysel akış yoluyla gelecek fazla sular da yan savaklarla deşarj edilebilir.

Daha önceden yapılmış ve literatürde de yer alan çalışmalardan da görüleceği gibi dikdörtgen, trapez ve daire kesitli kanallara yerleştirilen yan savaklar kanal eksenine paralel veya kanal eksenine ile belli bir açı yapacak şekilde inşa edilirler. Kanal enkesit tipi ile yan savak tipi ve yerleştirilme şekli savaklanma kapasitesini büyük ölçüde değiştirir. Yan savak eşiği, kalın veya keskin kenarlı olarak havalandırılmış nap şeklinde yapılır. Savaklanma kapasitesi, keskin kenarlı yan savaklarda kalın kenarlı olanlara göre daha büyüktür.

Yan savaklarla ilgili günümüze kadar yapılmış pek çok çalışma vardır. 1928'den önce dikdörtgen kesitli kanallarda yapılan deneysel çalışmalarda ampirik bağıntılar elde edilmiştir. Daha sonraları konu teorik olarak incelenmeye başlanarak deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlarla karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bir açık kanaldaki kıvrım veya eğrilik, doğrusal kanallara yerleştirilmiş köprü ayaklarında meydana gelen veya kanal pürüzlülüğünün artırılması sonucu oluşan dirence benzer ek bir akım direncine sebep olur. Akım direncinde meydana gelen bu değişim, kıvrımın memba kısmında derinliğin artmasına ve akım hızında azalmaya yol açar. Kabarma etkisi, dış kıvrımın mansap bölgesi yakınlarında özellikle, sınır tabakasından ayrılma sonucu oluşan keskin

eğriliklerde daha belirgin hale gelir.

Kıvrımda meydana gelen akımın en önemli karakteristikleri helikoidal akım ve maksimum hız yörüngesinin hareketidir. Helikoidal akım sürtünme, merkezkaç ve atalet kuvvetlerinin birbirleriyle etkileşimi sonucu ortaya çıkmaktadır. Kanal tabanı yakınlarında akışkan zerreciklerinin hızları tabanda oluşan sınır direncinden dolayı büyük ölçüde azalır. Taban yakınlarında daha yavaş hareket eden akışkan zerrecikleri, merkezkaç ve basınç kuvvetleri arasında bir denge oluşturmak için daha keskin eğrisel bir yörüngeyi izlerken, daha büyük hızlardan dolayı daha büyük ataletle sahip olan yüzeydeki akışkan zerreciklerinin yörüngeleri kanalın tabanına doğru olacaktır. Akışkan kütlelerinin sürekliliğini devam ettirmesi için akışkan, dış kıyıda tabana doğru hareket ederken iç kıyı boyunca tabandan yukarı doğru hareket eder. Bunun sonucu, teğetsel hız bileşenine ilave olarak kanal eksenine dik radyal hız bileşeni meydana gelir. Bu radyal hız bileşeni enkesit planında sekonder akımı oluşturur.

Kıvrımlı kanaldaki sekonder akım ve maksimum hız yörüngesinin davranışı, hareketli tabana sahip olan bir kanalda tabanda topografya değişikliklerine yol açmakta ve dış kıyıda oyulma, iç kıyıda ise yığılma bölgelerinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu sebeple, kıvrımda su alma yapısı vb hidrolik yapıların yerinin belirlenmesinde kıvrımlı kanaldaki akım özelliklerinin önceden bilinmesi gereklidir.

Tabiattaki akarsuların yatakları her zaman akımın belli şartları altında hareket edebileceği katı madde tanelerinden (kum, çakıl, kaya) oluşmaktadır. Bu taneler daha önceden akarsu yatağında bulunabileceği gibi, havzadan akarsuya taşınmış aşınma malzemeleri de olabilir.

Aralarında elektrokimyasal kuvvetler bulunmayan kum, çakıl cinsinden ayrık taneleri tabanda tutan en önemli faktör tanelerin ağırlığıdır. Akım ise, taneye kayma gerilmeleri uygulayarak onu hareket ettirmeye çalışmaktadır. Akımın yarattığı kayma gerilmesinin belli bir değere erişmesi halinde, tabanda bazı tanelerin kayarak ve yuvarlanarak ilerlediği görülür. Bu hareket şekline “sürüntü hareketi” denilmektedir. Akımın taban kayma gerilmesinin daha da artması durumunda, sürüntü hareketi yapan tanelerden bir kısmı tabandan koparak akıma karışıp, kısa bir zaman tabanın biraz üstünde ve akım içinde hareket ettikten sonra tekrar tabana dönmektedir. Böylece “sıçrama” hareketi başlamış olmaktadır. Sıçramanın başlamasının nedeni tane yakınındaki basıncın değişmesi ya da bir tanenin çarpması olabilir. Akım hızının daha da büyümesi halinde, artan taban kayma gerilmesinin etkisi ile tabandan ayrılan taneler türbülans çevrileri yardımıyla tabandan daha uzak noktalara taşınırlar. Bu hareket şekli “askı” hareketidir. Askı hareketi tanelerin çökelme hızlarının, akımın türbülans hızının düşey

bileşeni tarafından karşılanması ile oluşur. Bu etkiler altında, tanelerin bir kısmı uzun zaman akarsu içinde askı maddesi halinde taşınırlar. Askı halindeki tane tekrar tabana dönebilir. Ancak, bu noktada da askı hareketine neden olan akım şartları varsa, tane yine tabandan ayrılıp askı halinde hareketine devam eder.

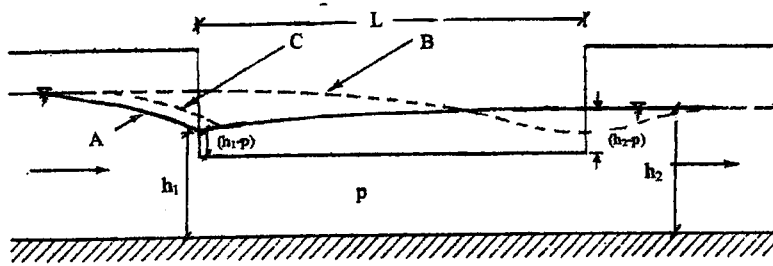
Görüldüğü gibi, tanenin gerek tabandan ayrılmasında gerekse askı halinin devam etmesinde, türbülansın önemli ölçüde etkisi vardır. Türbülans çevrilerinin meydana getirdiği pozitif basınç gradyanı ile tane tabandan ayrılmaktadır.

Tanelerin hareketinde türbülansın yapısı önemli rol oynar. Türbülanslı hareketin, akımın sürüklenme gerilmesine, tanelerin askı hareketine, yığılmasına ve difüzyonuna çok önemli etkileri olduğu bilinmektedir.

1.2 Yan Savak Akımlarının Hidroliği

Engels (1920) deneysel çalışmalarını nehir rejimli akım şartlarında yapmıştır. Araştırmacı, su yüzü profillerinin yan savak memba kesitinden önce azalmaya başladığını ve yan savak girişinden itibaren arttığını gözlemlemiştir (Şekil 1.1, A Profili).

Coleman ve Smith (1923), sabit dikdörtgen enkesitli kanallarda 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 gözlemişlerdir (Şekil 1.1, B Profili).



Şekil 1.1 Deneysel olarak gözlenen su yüzü profilleri (Coleman ve Smith, 1923; Engels, 1920; Tyler vd., 1929)

Collinge (1957)'nin belirttiğine göre, Nimmo (1928) problemi teorik bir yaklaşım geliştirerek incelemiş ve sabit dikdörtgen enkesitli bir kanalda momentum prensibini kullanarak su yüzü eğimini veren ifadeyi aşağıdaki şekilde elde etmiştir.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{(J - J_o) - \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - Fr_1^2} \quad (1.1)$$

Burada;

J = Enerji çizgisi eğimini,

J_o = Ana kanal taban eğimini,

g = Yer çekimi ivmesini (m^2/sn),

A = Dikdörtgen enkesitli ana kanaldaki ortalama ıslak alanı (m^2),

dQ_w/dx = savağın dx uzunluğundan savaklanan debiyi (m^3/sn),

Fr_1 = Froude sayısını ifade etmektedir.

Tyler, Steyskal ve Carollo (1929), dalgıç perdeli ve perdesiz yan savak tipleri üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda Engels (1920)'in elde ettiği su yüzü profiline benzer profil gözlemlemişler fakat minimum derinliğin yan savak başlangıcından biraz ileride meydana geldiğini söylemişlerdir (Şekil 1.1, C Profili).

Araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda dalgıç perdenin yan savak debisini artırıcı bir etki yaptığını ve dalgıç perdenin ana kanalla 90° lik açı yapacak şekilde yerleştirilmesi durumunda bu etkinin maksimum olacağı ifade etmişler ve yan savak debisinde % 20-30 bir artış gözlemlemişlerdir.

Forchheimer (1930), özgül enerjinin sabit olduğu kabulü ile yan savak memba ve mansap su derinlikleri arasındaki farkı veren ifadeyi aşağıdaki şekilde elde etmişlerdir.

$$h_2 - h_1 = \frac{Q^2 - Q'^2}{2gA^2} - \left[\frac{Q + Q'}{2A} \right]^2 \frac{n^2}{R^{1.4}} L \quad (1.2)$$

Burada,

Q = ana kanal debisi (m^3/sn),

Q' = yan savaktan sonraki ana kanal debisi (m^3/sn),

n = manning sürtünme katsayısı,

R = hidrolik yarıçap (m) dır.

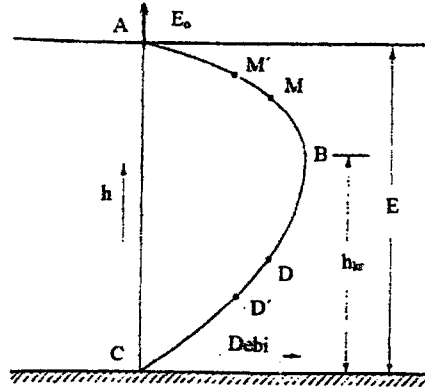
De Marchi (1934), yan savak boyunca özgül enerjinin sabit kaldığını kabul ederek bir teori geliştirmiş ve aşağıdaki kabulleri yapmıştır:

- a) Ana kanalda kararlı akım şartları mevcuttur.
- b) Yan savak üniform enkesitli uzun bir kanala yerleştirilmiştir.
- c) Yan savak eşiği ana kanal tabanına paraleldir.
- d) Yan savağın memba ve mansabından belirli bir uzaklıkla ana kanaldaki akım üniformdur.
- e) Savak uzunluğu boyunca savaklanan debi aşağıda verilen normal savak formülünden hesaplanabilir.

$$\frac{dQ_w}{dx} = C_d \sqrt{2g} (h - p)^{3/2} \quad (1.3)$$

- f) Enerji çizgisi kanal tabanına paraleldir.

Sabit bir enerji seviyesi için ana kanaldaki akım derinliği ile debi arasındaki ilişki Koch parabolü ile verilebilir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Sabit özgül enerjiye sahip kanal akımında derinlik ile kanal debisinin ilişkisi
(De Marchi, 1934)

Yan savak başlangıç kesitinde sel rejimli akım ($h < h_{kr}$) mevcut ise bu D noktası ile verilir. Yan savak kesiti boyunca ana kanaldaki debi savaklanmadan dolayı azalacağından akım D' noktası ile ifade edilecektir. Eğer yan savak başlangıç kesitinde nehir rejimli akım ($h > h_{kr}$) mevcut ise bu sefer M noktası ile verilir ve aynı şekilde savaklanmadan dolayı ana kanaldaki debi azalacağından akım bu sefer M' noktası ile ifade edilebilir. Şekilden de görüleceği gibi ana kanal eksenindeki su derinliği, akımın yan savak kesitine karşı gelen bölümünde akım sel rejiminde ise azalarak, nehir rejiminde ise artarak gider.

Herhangi bir kesitteki özgül enerji,

$$E = h + \frac{Q^2}{2gA^2} = \text{sabit} \quad (1.4)$$

ifadesi ile verilebilir. Bu ifadenin 'x' savak uzunluğu boyunca türevi alınıp bütün terimler gA^3 ile çarpılırsa,

$$gA^3 \frac{dh}{dx} + QA \frac{dQ}{dx} - Q^2 \frac{dA}{dx} = 0 \quad (1.5)$$

elde edilir. Kanal en kesitinin dikdörtgen olması durumunda ıslak alanın su derinliği ile değişimi,

$$\frac{dA}{dx} = b \frac{dh}{dx} \quad (1.6)$$

olacağından, yukarıdaki ifade,

$$\frac{dh}{dx} = \frac{AQ}{bQ^2 - gA^3} \frac{dQ}{dx} \quad (1.7)$$

şeklinde yazılabilir. Bu, yan savak boyunca ana kanaldaki su yüzü profilini veren diferansiyel denklemdir.

(1.7) eşitliğinden, Q , A , dQ/dx ve b ifadelerinin bilinmesi durumunda herhangi bir kesitteki su yüzü profili bulunabilir. Bu denklemde, nehir rejimli akım durumunda $(V < \sqrt{gh})$ dh/dx 'in pozitif değerde, sel rejimli akım durumunda $(V > \sqrt{gh})$ 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 (1934), bu yaklaşımla çalışmasında üç farklı profil gözlemlediğini ifade etmiştir. Bunlar:

a) Yan savak membasında akım üniform sel rejiminde ve kanal büyük eğimli ise akım memba kontrollüdür ve savak boyunca derinlik tedricen azalır. Memba tarafına yan savağın etkisi yoktur (Şekil 1.3.a).

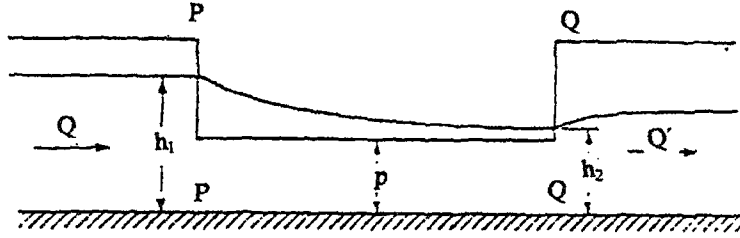
b) Yan savak membasında nehir rejiminde bir akım oluşacak şekilde bir kanal eğimi mevcut ise savağın etkisi memba tarafında hissedilir. Yani akım mansap kontrollüdür. QQ kesitinin mansap tarafındaki derinlik, kanalda kalan Q' debisine karşı gelen normal akım derinliği olacaktır. Yan savak boyunca derinlik tedricen artacak ve PP kesitinin memba tarafındaki derinlik, başlangıçtaki Q debisine karşı gelen normal akım derinliğine asimptot olacaktır (Şekil 1.3.b).

c) Yan savak eşik yüksekliğinin Q debisine karşı gelen kritik derinlikten küçük olması durumunda, akım sel rejimindedir ve su seviyesi membadan mansaba doğru alçalarak gider. QQ kesitindeki akım derinliği kritik derinlikten küçük olur. Bu da yan savak mansap kısmında hidrolik sıçramaya sebep olur (Şekil 1.3.c).

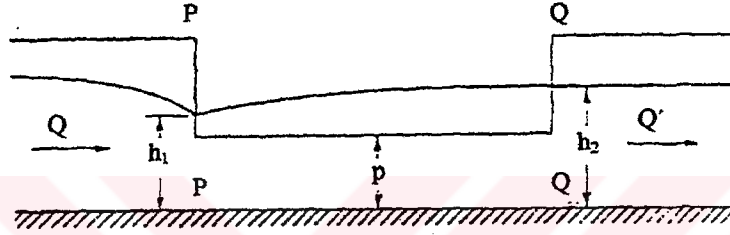
De Marchi (1934), dikdörtgen kesitli bir kanal için de (1.7) eşitliğinin kesin çözümünün elde edilebileceğini göstermiştir. Buna göre (1.7) eşitliği yeniden yazılırsa,

$$\frac{dh}{dx} = \frac{Qh}{Q^2 - gb^2h^3} \frac{dQ}{dx} \quad (1.8)$$

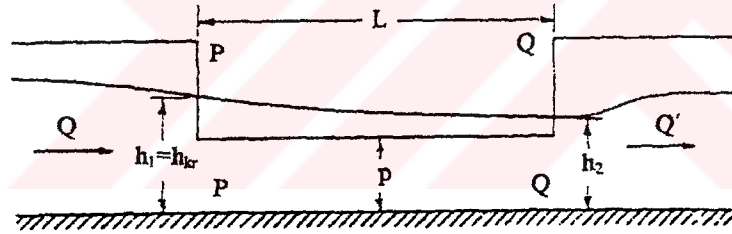
olur. (1.4) eşitliğinden elde edilen



a-) Akım Sel Rejiminde (Büyük Eğimli Kanal; Yani $J_0 > J_{kritik}$)



b-) Akım Nehir Rejiminde (Yani $J_0 > J_{kritik}$; Ayrıca $p > h_{kritik}$)



c-) Akım Sel Rejiminde (Küçük Eğimli Kanal; Fakat $J_0 < J_{kritik}$; Ayrıca $p < h_{kritik}$)

Şekil 1.3 Muhtemel su yüzü profilleri (De Marchi, 1934)

$$Q = bh\sqrt{2g(E-h)} \quad (1.9)$$

bağıntısı ve

$$\frac{dQ_w}{dx} = -\frac{dQ}{dx} = C_d\sqrt{2g}(h-p)^{3/2} \quad (1.10)$$

kabulü yapılarak denklemler birlikte kullanılırsa, (1.8) eşitliği,

$$\frac{dh}{dx} = -\frac{2C_d}{b} \frac{\sqrt{(E-h)(h-p)^{3/2}}}{2E-3h} \quad (1.11)$$

şeklinde yazılabilir. Tekrar düzenlenerek,

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

ifadesi elde edilir. Bu eşitliğin integrasyonu sonucunda ise,

$$x - x_0 = \frac{b}{C_d} \left\{ \frac{2E-3p}{E-p} \sqrt{\frac{E-h}{h-p}} - 3 \text{Arc sin} \sqrt{\frac{E-h}{E-p}} \right\} \quad (1.12)$$

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,

$$x_2 - x_1 = \frac{b}{C_d} \left[\left\{ \frac{2E-3p}{E-p} \sqrt{\frac{E-h_2}{h_2-p}} - 3 \text{Arc sin} \sqrt{\frac{E-h_2}{E-p}} \right\} - \left\{ \frac{2E-3p}{E-p} \sqrt{\frac{E-h_1}{h_1-p}} - 3 \text{Arc sin} \sqrt{\frac{E-h_1}{E-p}} \right\} \right] \quad (1.13)$$

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

$$L = \frac{b}{C_d} \left\{ \phi\left(\frac{h_2}{E}\right) - \phi\left(\frac{h_1}{E}\right) \right\} \quad (1.14)$$

olarak bulunur.

p/E parametresinin çeşitli değerleri için $\phi(h/E)$ eğrileri Şekil 1.4'de verilmiştir. Eğer yan savak debisi, memba veya mansap uçlarının herhangi birindeki akım rejimi (aynı zamanda (h/E)) biliniyorsa, (1.14) eşitliğinden yan savağın diğer ucundaki (h/E) değeri bulunabilir.

Gentilini (1938), De Marchi (1934)'nin çalışmalarını izleyerek yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda De Marchi'nin çalışmasının nehir rejimli akım şartlarında uygun olabileceğini, sel rejimli akımlarda ise teori ve deneysel çalışmalar arasında farklılıklar olduğunu göstermiştir.

Babbitt (1953), 0.46m. ve 0.61m. çapa sahip dairesel borular üzerine yerleştirilen 0.41m. ve 1.07m. uzunluklu yan savaklar ile deneysel çalışma yapmış ve tüm deneylerinde Coleman ve Smith (1923)'in elde etmiş olduğu su yüzü profillerine benzer profiller gözlemlemiştir.

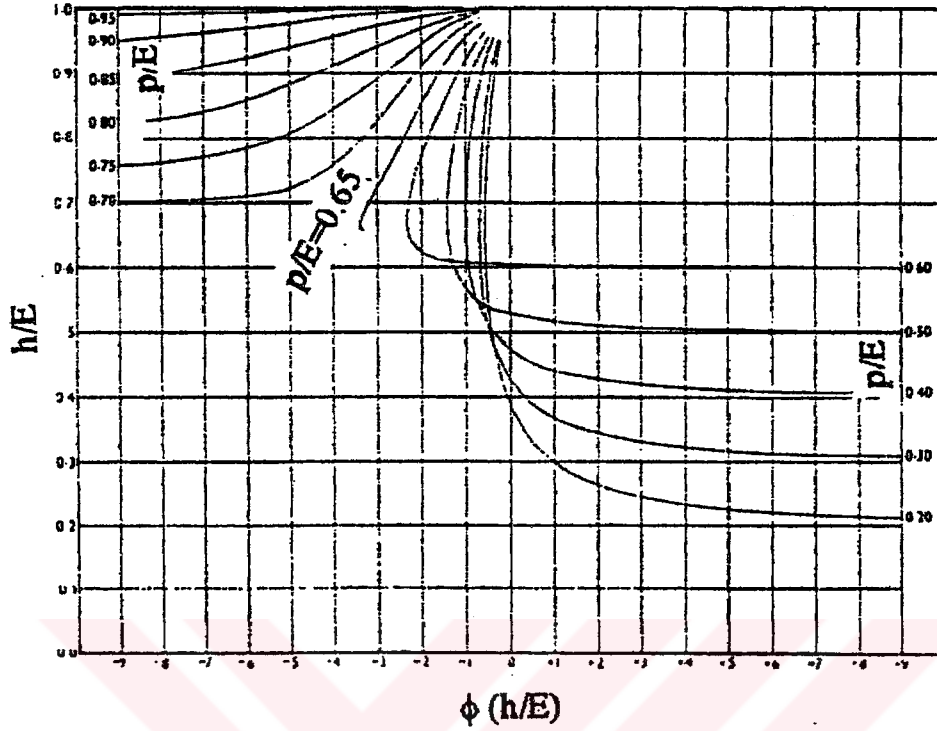
Frazer (1954), dikdörtgen enkesitli kanaldaki yan savaklarda yaptığı deneylerle konuyu teorik ve deneysel olarak incelemiş, çalışmalarında hem ana kanaldaki akım miktarını ve ana kanal genişliğini, hem de yan savak boyutları ve savaklanan akım miktarını değiştirmiştir.

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

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

Bu hareketlerin De Marchi (1934) tarafından belirtilen akım durumlarıyla aynı olduğu görülmektedir. Araştırmacı analizlerinde aşağıdaki kabulleri yaptığını belirtmiştir.

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



Şekil 1.4 $\phi(h/E)$ fonksiyonunun (p/E) parametresinin farklı değerleri için değişimi
(De Marchi, 1934)

Araştırmacı, yukarıdaki kabulleri yapmış ve momentum yaklaşımını kullanarak olayı teorik olarak çözememiş fakat yaptığı deneysel çalışma sonuçlarına dayanarak yarı ampirik ifadeler elde etmiştir.

Frazer (1954), yan savak üzerindeki hidrolik sıçramayı inceleyen ilk araştırmacıdır. Araştırmacı, yan savak üzerinde meydana gelen hidrolik sıçramanın, sıçramadan önceki akım şartlarını değiştirmediğini ama sıçramadan sonraki kesitlerde sıçramadan dolayı bir etkinin görüldüğünü söylemiştir. Ayrıca sıçramadan sonraki nehir rejimli akım, sıçramadan önceki sel rejimli akımın özgül enerjisinden daha küçük bir özgül enerjiye sahiptir. Araştırmacı 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 şeklindedir.

Collinge(1957), De Marchi (1934) ve Gentiline (1938)'in çalışmalarını baz alarak yaptığı deneysel çalışmalarda aşağıdakileri amaçlamıştır.

- a) Değişik akım şartlarında yan savak boyunca elde edilen su yüzü profillerini gözlemlemek.
- b) De Marchi (1934) teorisinin yan savaklara uygunluğunu kontrol etmek ve uygulama sınırlarını belirlemek.
- c) Ana kanaldaki hız değişimleri ile savak katsayısının değişimini bulmak.
- d) Yan savak bölgesinde taban katı madde hareketini tespit etmek.

Collinge (1957)'nin su yüzü profilleri hakkındaki gözlemleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

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

Araştırmacı, De Marchi (1934)'nin teoreminde vermiş olduğu savaklanan debi ifadesi

$$Q_w = C_d \sqrt{2gL}(h - p)^{n'} \quad (1.15)$$

deki C_d ve n' katsayılarını bulmak için yan savak üzerinden savaklanan akımla ilgili deneyler yapmıştır. Bu deneylerde napın serbest ve batık olması durumlarını ayrı ayrı inceleyerek uzunluğu 30.48 cm ve yüksekliği 5.08 cm olan yan savak için iki farklı ana kanal genişliğini kullanarak C_d ve n' katsayılarını belirlemiş ve Çizelge 1.1'deki sonuçları vermiştir. Ayrıca araştırmacı, C_d yan savak katsayısının ana kanal akım hızıyla da değişebileceğini belirtmiştir.

Collinge (1957), $Fr_1=0.95$ civarında ve $Fr_1=1.15$ değerinden daha büyük değerlerde deneysel sonuçların De Marchi (1934)'nin teoremine çok iyi uyum sağladığını söylemiş fakat $Fr_1=1.0$ civarında teori ile deneysel çalışmalar arasında büyük farklılıkların olduğunu belirtmiştir.

Araştırmacı, teori ile deneysel sonuçlar arasındaki bu farklılığı enerji kayıplarına ve savak katsayısına bağlamıştır.

Çizelge 1.1 Savak katsayıları (Collinge,1957)

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

Hem sel rejimli hem de nehir rejimli akımlarda enerji kayıplarından dolayı deneysel sonuçlardan elde edilen su yüzü profilleri teorik ifadeden elde edilenlerden daha büyüktür. Bunun sonucu olarak, 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 (1957) de Gentilini (1938) gibi, De Marchi (1934) teoreminin yalnızca nehir rejimli akım şartlarında iyi sonuçlar verdiğini ifade etmiştir.

Ackers (1957), sel rejimli akım halinde dikdörtgen enkesitli kanalda özgül enerjinin sabit olduğunu kabul ederek su yüzü profilini veren denklemi incelemiştir. Araştırmacıya göre, özgül enerji denklemindeki hız yükü α , basınç yükü β katsayılarıyla çarpılmalıdır. Pratikte kanal tabanına yakın noktalarda akım hızı, daha üst noktalardaki hıza göre daha küçük olduğundan hız yükü $\alpha > 1$ olmak koşuluyla α ile, basınç enerjisi de sel rejimli akım durumunda su derinliği savak mansabına doğru düştüğü için azalma göstereceğinden $\beta < 1$ olmak koşuluyla β katsayısı ile çarpılmalıdır.

Ackers 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 denkleminde aşağıdaki gibidir,

$$\beta \frac{h}{E} + \alpha \frac{V^2}{2gE} = 1 \quad (1.16)$$

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

Subramanya ve Awasthy (1972), yan savaklarla ilgili çalışmaların çoğunun ampirik formda olduğunu ve konu ile ilgili ilk gerçekçi yaklaşımın De Marchi (1934) tarafından ortaya konulduğunu fakat teorik olarak elde edilen denklemdeki katsayı değişimi hakkında ise yeterli bilgi olmadığını söylemişlerdir.

Bu sebeple Araştırmacılar yaptıkları çalışmaları, De Marchi (1934) katsayısının değişimini belirleme üzerine yoğunlaştırmışlardır. Araştırmacılar deneysel çalışmalarını, nehir rejimli akım şartlarında hem sıfır savak eşik yüksekliği hem de sonlu savak eşik yüksekliği için, sel rejimli akım şartlarında ise sonlu yükseklikli savaklar için yapmışlardır.

Subramanya ve Awasthy (1972), yan savağın birim boyundan geçen debiyi,

$$q_w = -\frac{dQ}{dx} = C_d \sqrt{2g(h-p)}^{3/2} \quad (1.17)$$

olarak belirlemişlerdir. Buna göre, C_d katsayısının değişimini incelemişler ve boyut analizi sonucunda, C_d 'ye etkili boyutsuz parametreleri,

$$C_d = f \left\{ Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}, \frac{L}{b}, \frac{h}{L}, \frac{p}{h} \right\} \quad (1.18)$$

olarak elde etmişlerdir. Araştırmacılara göre, kanaldaki değişik akım şartları için C_d değerinin değişimi ile ilgili tatminkar bilgi mevcut değildir. Araştırmacıların belirttiğine göre, Ackers (1957), h 'ın savaktan uzakta ölçülmesi durumunda $C_d=0.417$ değerini, h 'ın savak kesitine yakın ölçülmesi durumunda ise $C_d=0.483$ değerinin alınmasını tavsiye etmiştir. Yine araştırmacıya göre, Collinge (1957), C_d değerinin kanal membasındaki akımın ortalama hızı ile değiştiğini ifade etmiştir.

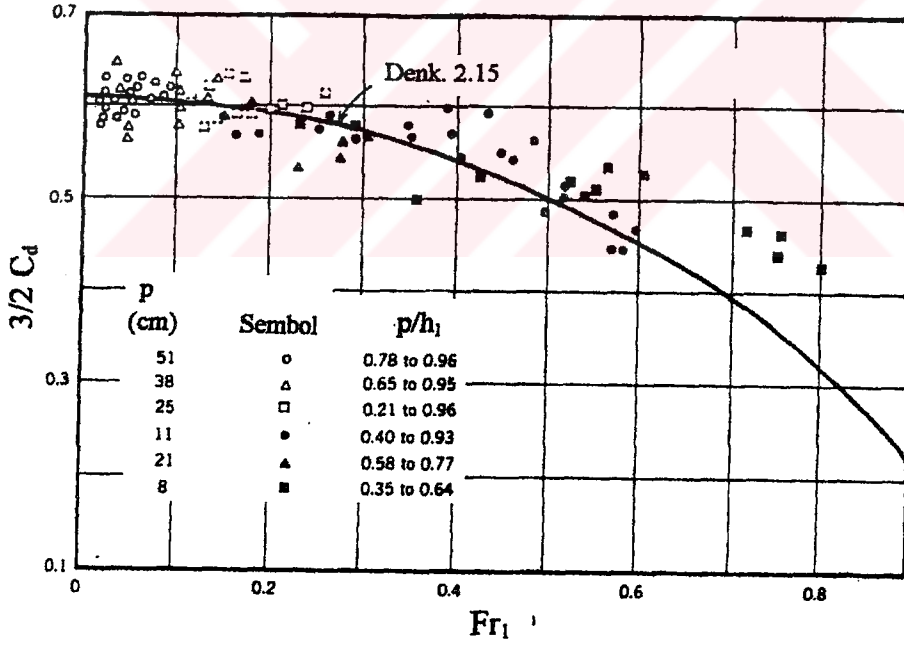
Araştırmacılar C_d 'ye etkili en önemli parametrenin ana kanaldaki Froude sayısı (Fr_1) olduğunu belirtmişler, diğer parametrelerin etkisinin az olduğunu öne sürerek nehir rejimli akım şartları için yan savak debi katsayısı ifadesini,

$$C_d = 0.407 \left[1 - \sqrt{\frac{3Fr_1^2}{Fr_1^2 + 2}} \right] \quad (1.19)$$

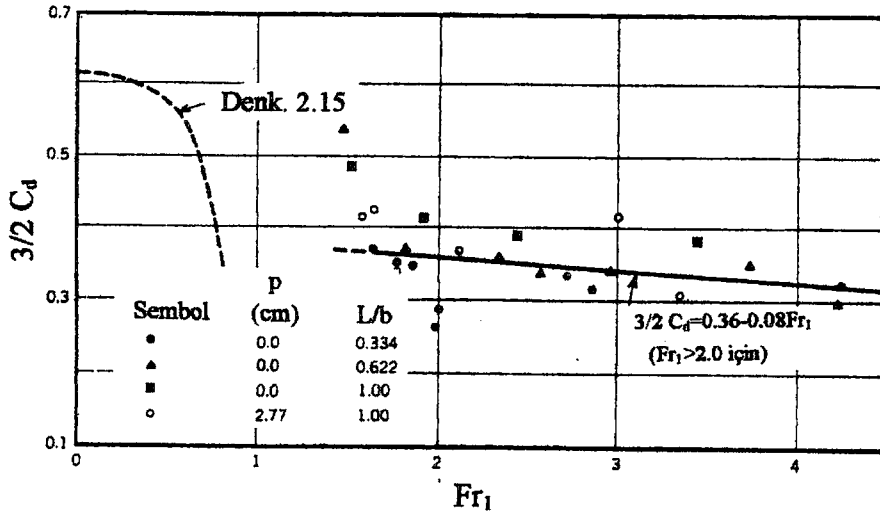
şeklinde vermişlerdir. Bu ifadenin nehir rejimine sahip kanal şartlarında sıfır eşik yükseklikli yan savaklar için deneysel olarak bulunan C_d değerleri ile iyi bir uyum sağladığı görülmüştür. Sonlu yükseklikli yan savaklar için ise $Fr_1 > 0.6$ değerlerinde küçük sapmalar görülmektedir. Bu sapmalar araştırmacılar tarafından deneysel hatalara bağlanmıştır (Şekil 1.5).

Sel rejimindeki akım şartlarında ise L/b , h_1/L , p/h_1 parametrelerinin etkilerinin olmadığı ve nehir rejiminde debi katsayısına etki eden Fr_1 sayısının etkisinin de çok az olduğu araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir. Ayrıca araştırmacılara göre, sel rejiminde Fr_1 sayısının etkisinin az olması muhtemelen sürtünme tesirlerinden kaynaklanmaktadır. Araştırmacılar, $Fr_1 > 2.0$ için C_d katsayısının değişimini de,

$$C_d = 0.24 - 0.054Fr_1 \quad (1.20)$$



Şekil 1.5.a Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak debi katsayısının değişimi. (Subramanya-Awasthy, 1972)



Şekil 1.5.b Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda sel rejimli akım durumunda yan savak debi katsayısının değişimi. (Subramanya-Awasthy, 1972)

Araştırmacılar gerek nehir rejimli akım şartları için verilen (1.19) bağıntısının gerekse sel rejimli akım şartları için verilen (1.20) 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 ifade etmişlerdir.

El-Khashap (1975), dikdörtgen enkesitli bir kanalda yan savaklarla ilgili yapmış oldukları deneysel çalışmalarında C_d yan savak debi katsayısını, savak üzerindeki su yüzü profilini, savak kesitinde ana kanaldaki su yüzü profilini, hız dağılımlarını ve yanal akımdan dolayı ana kanalda oluşan sekonder akımı incelemiştir. Araştırmacı C_d yan savak debi katsayısına etkili parametreleri boyut analizi yardımıyla,

$$C_d = f\{Fr_1, p/h_1, L/h_1, b/h_1\} \quad (1.21)$$

olarak ve ayrıca akımın yan savağa sapma açısı ψ 'ye etki eden boyutsuz parametreleri de,

$$\psi = f\{Fr_1, p/h_1, L/h_1, b/h_1\} \quad (1.22)$$

olarak belirlemişlerdir (Şekil 1.9). Yukarıdan da görüleceği gibi C_d ve ψ aynı boyutsuz parametrelerin fonksiyonudur ve birbirleriyle doğrudan ilişkilidir.

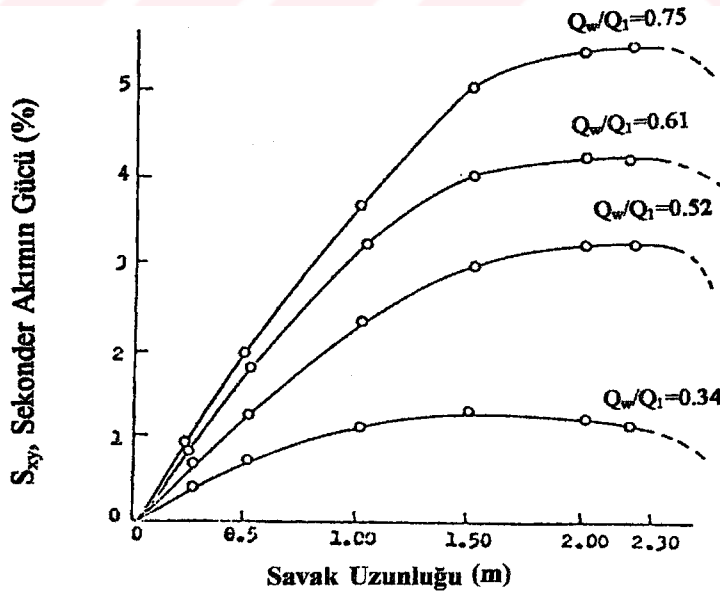
Araştırmacıya göre, C_d yan savak debi katsayısı ile ilgili çalışmalardaki farklılıklar, yan savak

boyunca değişen boyuna hız değerleri ve ψ sapma açısından meydana gelmektedir.

Araştırmacının en önemli tespitlerinden biri de daha önceki çalışmalarda belirtilmeyen yanal akımdan dolayı ana kanalda meydana gelen sekonder akımdır. Sekonder akımın belirlenmesinde Shukry (1950)'nin yaklaşımı kullanılarak elde edilen sekonder akımın gücünün yan savak boyunca değişimi Şekil 1.6 ve Şekil 1.7 de nehir ve sel rejimli akım şartları için ayrı ayrı verilmiştir. Şekillerde verilen sekonder akımın gücü, kanal enkesiti 20 cm²'lik alanlara bölünmüş ve her bir alanın kinetik enerjisi $(V_x^2 / 2g + V_y^2 / 2g)$ beş delikli pitot tüpü ile, akımın toplam kinetik enerjisi $(V^2 / 2g)$ ise klasik pitot tüpü ile hesaplanmış ve aşağıdaki eşitlikle verilmiştir.

$$S_{xy} = \left\{ \sum V_x^2 / 2g + \sum V_y^2 / 2g \right\} / \left\{ V^2 / 2g \right\} \quad (1.23)$$

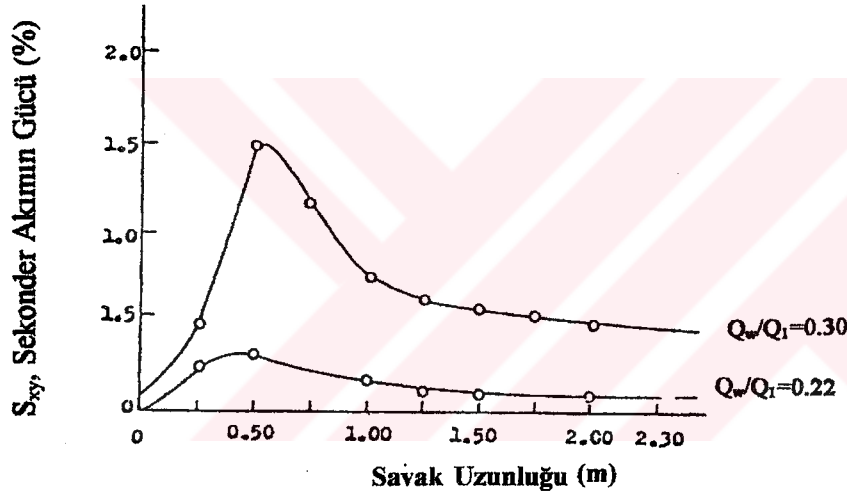
Şekil 1.6'dan da görüleceği gibi, nehir rejimli akım durumunda sekonder akımın gücü yan savak boyunca artarak gitmekte ve yan savaktan b kanal genişliği kadar mesafe sonra azalmaktadır. Yan savak yüksekliği ve yan savak uzunluğu sabit tutulursa Q_w/Q_1 oranı (savaklanma oranı) arttıkça yani yan savak üzerindeki nap kalınlığı arttıkça sekonder akımın gücü artmaktadır. Sel rejimli akımlarda ise sekonder akımın gücü hızlı bir şekilde artarak maksimuma ulaşmakta ve sonra hızla azalmaktadır.



Şekil 1.6. Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi (El-Khashap, 1975)

Yen (1977), bir kanal üzerinde yan savak varsa hız vektörü, basınç ve su yüzü profilinin enine doğrultudaki değişimlerinin de bilinmesi gerektiğini söylemiştir.

El-Khashap ve Smith (1978), dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savak olayının incelenmesinde kanaldaki boyuna hız bileşeninin savak üzerindeki akımdan dolayı değişmesi nedeniyle momentum denkleminin enerji denklemine göre daha kolay sonuçlar verdiğini söylemişlerdir. Araştırmacılar, yan savak uzunluğunun çok kısa olmaması ve $Q_w/Q=0.75$ değerinde, herhangi bir savak uzunluğu için uygulanabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca savak yüksekliğinin sıfıra yaklaşması halinde çözümün geçerli olacağını, fakat $Q_w/Q=1$ değerinde ise çözümün geçersiz olacağını ifade etmişlerdir.



Şekil 1.7. Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda sel rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi (El-Khashap,1975)

Araştırmacılar yapmış oldukları çözümün dikdörtgen enkesitli kanaldan başka kesitlerde uygulanması gerektiğinde deneysel çalışma yapılarak araştırılması gerektiğini söylemişlerdir.

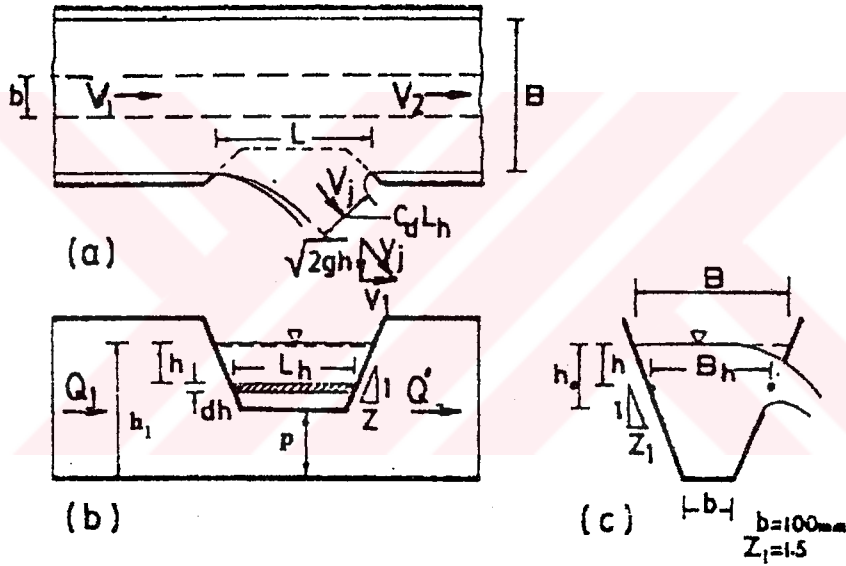
Araştırmacılara göre, teorik sonuçlar deneysel verilerle iyi bir uyum göstermektedir.

Uyumaz (1982), dairesel enkesitli kanallardaki yan savaklarda ana kanal eksenini üzerindeki su yüzü profilinin diferansiyel denklemini çıkartarak 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 olmadığını

belirtmiştir.

Araştırmacı, nehir ve sel rejimli akım şartlarında yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda nehir rejimli akım şartlarında yan savak enkesitinde ana kanal eksenindeki su yüzü profilinin membadan mansaba doğru giderek arttığını, sel rejimli akım şartlarında ise membadan mansaba doğru gittikçe azaldığını gözlemlemiştir.

Ramamurthy, Tim ve Carballada (1986), trapez en kesitli kanalda trapez kesitli yan savaklar için bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelde yan savaktaki akımın ana kanaldan belli bir açı ile sapan çok sayıda jet akısının toplamı olduğunu kabul etmişlerdir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Trapez enkesitli bir kanalda trapez enkesitli yan savak genel görünüşü (Ramamurthy, Tim ve Carballada, 1986)

Araştırmacıların yan savak katsayısı için yaptıkları kabuller şunlardır;

- 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

etmiştir. Araştırmacı elde ettiği sonuçları aşağıdaki şekilde vermiştir.

a) ψ savaklanma açısı, savak boyunca değişen Froude sayısının bir fonksiyonu olarak değişir. Bu fonksiyon savak uzunluğunu veren (1.14) ifadesinin içerisine katılırsa yan savak probleminin çözümü daha gerçekçi olabilir.

b) 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.

c) 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_1 sayısının fonksiyonu olarak,

$$\psi = 1.0 - 0.2 (L/b) Fr_1^2 \quad (1.24)$$

eşitliğine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 1.9).

1.3 Kıvrımlı Kanalların Hidroliği

Kıvrımlardaki akımın en önemli karakteristiklerinden biri helikoidal akımlardır. Helikoidal akımlar 1868'de Joseph Boussinessq ve bundan bir kaç yıl sonra 1876'da da James Thomson tarafından incelenmiştir. Bu konu ile ilgili çalışmalar günümüze kadar artarak gelmektedir.

Chow'un belirttiğine göre, Shukry (1950), helikoidal akımı, kıvrımda oluşan kabarma miktarını ve kıvrımdaki maksimum hız yörüngesini deneysel olarak araştırmıştır.

Araştırmacı bu çalışmasında, helikoidal akımın karmaşık ve üç boyutlu yapıya sahip olmasından dolayı pitot tüpü olarak adlandırılan ve farklı noktalarda hız bileşenlerini doğrudan ölçen özel bir cihaz kullanmıştır.

Shukry (1950), değişik akım şartlarına sahip farklı kıvrımlarda, helikoidal akımın etkisini ve büyüklüğünü ifade etmek için, helikoidal hareketin gücü olarak bilinen bir ifade kullanmıştır. Bu ifade, verilen bir enkesitte sekonder hareketin ortalama kinetik enerjisinin, akımın toplam kinetik enerjisine oranı olarak tariflenmektedir. Akımın kinetik enerjisi hızın karesine bağlıdır. Şekil 1.10 daki xy planında gösterilen kanal enkesitine göre, helikoidal akımın gücü,

$$S_{xy} = \frac{V_{xy}^2}{V^2} 100 \quad (1.25)$$

olarak verilir. Burada,

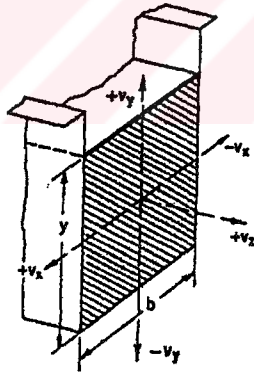
V_{xy} = xy planındaki ortalama hız vektörü

V = Enkesitteki ortalama hız.

dır. Böylece, akım çizgilerinin kanal eksenine paralel olması halinde $S_{xy}=0$ olacaktır.

Shukry (1950) dikdörtgen enkesitli bir kanal kıvrımında, nehir rejimli akım şartlarında yapmış olduğu deneyler sonucunda elde ettiği sonuçları aşağıdaki şekilde vermiştir.

- a) S_{xy} , r_c/b (kıvrımın eksen eğrilik yarıçapı / kanal genişliği) oranının artışı ile dereceli olarak azalır ve $r_c/b=3$ de minimuma ulaşılır (yani eğrilik etkisi en düşük seviyededir).
- b) S_{xy} , akımın Re sayısı büyüdükçe S_{xy} küçük değerler almaktadır.



Şekil 1.10. Kanal en kesiti (Chow, 1957)

- c) S_{xy} , h/b (derinlik / genişlik) oranı arttıkça azalır.
- d) S_{xy} , θ kıvrım sapma açısı büyüdükçe artar. S_{xy} 'deki artış miktarı, $\theta/180=0.0-0.5$ arasında, $\alpha/180=0.5-1.0$ arasındaki değerlerden hemen hemen iki kat daha büyüktür.
- e) Kıvrımdaki sekonder akımın kinetik enerjisi, teğetsel akımın kinetik enerjisine kıyasla daha küçüktür ve dolayısıyla kıvrım direncinden meydana gelen enerji kaybında küçük bir

kısmı oluşturur.

f) Kıvrım direncinden meydana gelen enerji kaybı katsayısı Re , r_0/b ve α parametrelerinin her biriyle önemli ölçüde değişir.

g) Kıvrım direnç katsayısı $Re > 3 \cdot 10^4$ değerlerinde daha büyük değişimler gösterir.

Burada θ kıvrım açısını, r_0 kanal eksen eğrilik yarıçapını göstermektedir.

Shukry (1950)'nin yaptığı deneysel çalışmalarda elde ettiği sonuçlara göre, kıvrımlı bir kanalda maksimum hız yörüngesi kıvrımın menbasındaki bir kesitte normalinden sapar (Şekil 1.11). 'd' noktasında maksimum hız yörüngesi hemen hemen kanalın iç duvarına dokunmakta ve su derinliği minimum olmaktadır. 'd' noktasının ilerisinde maksimum hız yörüngesi kademeli olarak 's' ayrılma noktasına kadar dış kıyıya doğru hareket eder. Değişik akım şartlarında farklı kıvrımlar için, 'd' ve 's' noktalarının yerleri Çizelge 1.2 de verilmiştir. Bu iki noktanın yeri, ölçülen θ_d ve θ_s açılarının, θ toplam kıvrım açısına oranına bağlı olarak verilmiştir. Bu noktaların h/b parametresinin değişiminden oldukça az etkilendikleri belirlenmiştir. Bundan dolayı pratik kullanımlar için Çizelge 1.2. de $h/b=1.0$ alınmıştır.

Chow (1957)'a göre 'd' noktasının bulunduğu kesitte, su yüzü profili ve teğetsel hız dağılımı teorik serbest vorteks hız dağılımı ile tahmin edilebilir. Bu yaklaşım, nehir rejimli akım şartları için geçerlidir. Serbest vorteks yaklaşımı ile aşağıdaki ifade yazılabilir;

$$V_z = C_s / r \quad (1.26)$$

Burada;

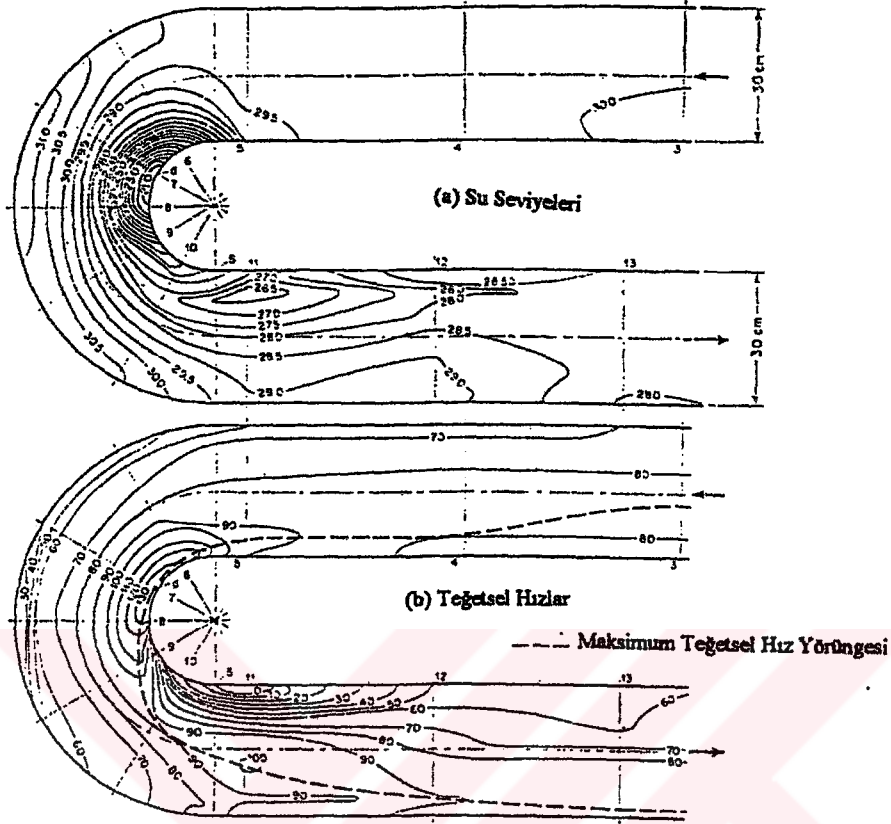
V_z = Eğrilik merkezinden r radyal uzaklıkta kıvrımdaki teğetsel hız,

C_s = Serbest vorteks hareketindeki sirkülasyon sabiti,

olarak verilmektedir. Ortalama teğetsel hız,

$$V_z = \frac{\int_{r_i}^{r_0} \left(\frac{C_s}{r} \right) dr}{r_0 - r_i} = \frac{C_s}{r_0 - r_i} \ln \frac{r_0}{r_i} \quad (1.27)$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 1.11. Kıvrımlı bir kanalda su yüzü profilleri ve maksimum hız yörüngesinin değişimi (Shukry, 1950).

Çizelge 1.2. Farklı akım şartlarında 'd' ve 's' noktalarının değişimi.

Parametre	Re = 10,500		Re = 21,000		Re = 31,500		Re = 52,500		Re = 73,500	
	θ_d/θ	θ_s/θ	θ_d/θ	θ_s/θ	θ_d/θ	θ_s/θ	θ_d/θ	θ_s/θ	θ_d/θ	θ_s/θ
r_e/b	(A) $\theta/180^\circ = 0.50$									
0.500	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1.00	0.111	0.250	0.183	0.500	0.250	0.611	0.306	0.889	0.667	1.000
2.00	0.033	†	0.067	†	0.100	†	0.133	†	0.333	†
3.00	0.000	†	0.000	†	0.044	†	0.056	†	0.167	†
$\theta/180^\circ$	(B) $r_e/b = 1.00$									
0.25	0.111	0.222	0.333	0.667	0.333	0.667	0.400	0.710	0.556	0.889
0.50	0.111	0.250	0.189	0.500	0.250	0.611	0.300	0.889	0.667	1.000
0.75	0.148	0.333	0.185	0.445	0.206	0.556	0.371	0.926	0.445	1.000
1.00	0.050	0.778	0.111	0.778	0.167	0.805	0.278	0.833	0.333	1.000

† Ayrılma Yok

Herhangi bir kesitteki özgül enerji,

$$E = h + \frac{V_z^2}{2g} \quad (1.28)$$

olduğuna göre ortalama akım derinliği,

$$h_m = \frac{\int_{r_i}^{r_0} h dr}{r_0 - r_i} = \frac{\int_{r_i}^{r_0} \left(E - \frac{C_s^2}{2gr^2} \right) dr}{r_0 - r_i}$$

veya

$$h_m = E - \frac{C_s^2}{2gr_0 r_i} \quad (1.29)$$

olarak bulunur. Eşitliklerde;

r_0 = Dış kıyı eğrilik yarıçapı (m),

r_i = İç kıyı eğrilik yarıçapı (m),

h = Eğrilik merkezinden r mesafedeki akım derinliği (m),

dir. Debi için de;

$$Q = V_z h_m (r_0 - r_i) = C_s \left(E - \frac{C_s^2}{2gr_0 r_i} \right) \ln \frac{r_0}{r_i} \quad (1.30)$$

yazılabilir. Eğer Q , r_0 , r_i , ve E biliniyorsa, C_s sabiti (1.30) eşitliğinden bulunabilir. Herhangi bir eğrilik yarıçapındaki hız ve su derinliği (1.26) ve (1.29) eşitliklerinden belirlenebilir. Böylece su yüzeyinde meydana gelecek Δh kabarma miktarı;

$$\Delta h = \frac{C_s^2}{2g(r_0^2 - r_i^2)} (r_0^2 - r_i^2) \quad (1.31)$$

eşitliğinden elde edilir.

Chow (1957)'a göre, kıvrımdaki tüm teğetsel hızların V_z ortalama hızına eşit olduğu ve tüm akım çizgilerinin r_c eğrilik yarıçapına sahip olduğu kabul edilerek ve enine su yüzeyi düz bir çizgi olarak gösterilirse, kıvrımlı kanallarda meydana gelecek kabarma miktarı daha az hassas olarak da bulunabilir. Kabarma için basit olarak,

$$\Delta h = \frac{V_z^2}{g r_c} \quad (1.32)$$

eşitliği verilebilir.

Müller (1943), bir kanal kıvrımında sel ve nehir rejimli akım şartlarında, teğetsel su yüzü profillerinin değişimini incelemiş ve nehir rejimli akım şartlarında, kanal kıvrımında oluşan teğetsel su yüzü profili Şekil 1.12 (1)'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, kanaldaki akımın özgül enerjisinde meydana gelecek ΔE kadarlık bir artış, su yüzeyinde Δh kadarlık bir artışa karşılık gelir. Su yüzündeki bu artış, nehir rejimli bir kanalda kıvrımın mevcudiyetinin, savak veya barajlardakine benzer kabarma etkisine sahip olduğunu gösterir. Kabarma profili M1 tipindedir ve A noktasından membaya doğru üniform derinliğe asimptot olur.

Şekil 1.12 (2)'de sel rejimli akım şartlarına sahip bir kıvrımdaki enerji çizgisi ve su yüzü profili görülmektedir. Enerji çizgisi kıvrımda ve doğrusal kısımda azalır ve B' noktasında ΔE kadarlık bir azalma meydana gelir. Bu noktada su yüzeyi, Δh kadar yükselir. Su derinliği kritik derinliği geçerse hidrolik sıçrama meydana gelir.

Şekil 1.12 (3)'de ise normal akım derinliğinin, kritik derinlikten çok az küçük olması durumunu göstermektedir.

Rozovskii (1957), çeşitli kabuller yaparak, hareket denklemlerini basitleştirmiş, radyal hız ile ilgili ifadeler vermiştir. Rozovskii (1957)'nin yaptığı kabuller aşağıdaki gibidir;

- a) Akım kararlıdır,
- b) Kıvrım yeterince uzundur,
- c) Kanal genişliğinin su derinliğine oranı 10'dan büyüktür,
- d) Kıvrım eğrilik yarıçapı ve kanal genişliği hemen hemen aynı büyüklüktedir,
- e) Türbülans kayma gerilmesi, kinematik eddy viskozitesi ε ile verilebilir.

Bu kabullerle, radyal doğrultudaki hareket denklemi silindirik koordinat sisteminde,

$$-\frac{V_\theta^2}{r} + g J_r = \frac{\delta}{\delta z} \left(\varepsilon \frac{\delta V_r}{\delta z} \right) \quad (1.33)$$

ile verilmektedir. Araştırmacının belirttiğine göre (1.33) eşitliği ilk olarak V.M.Makkaveev (1940) tarafından kullanılmıştır. (1.33) eşitliğinde,

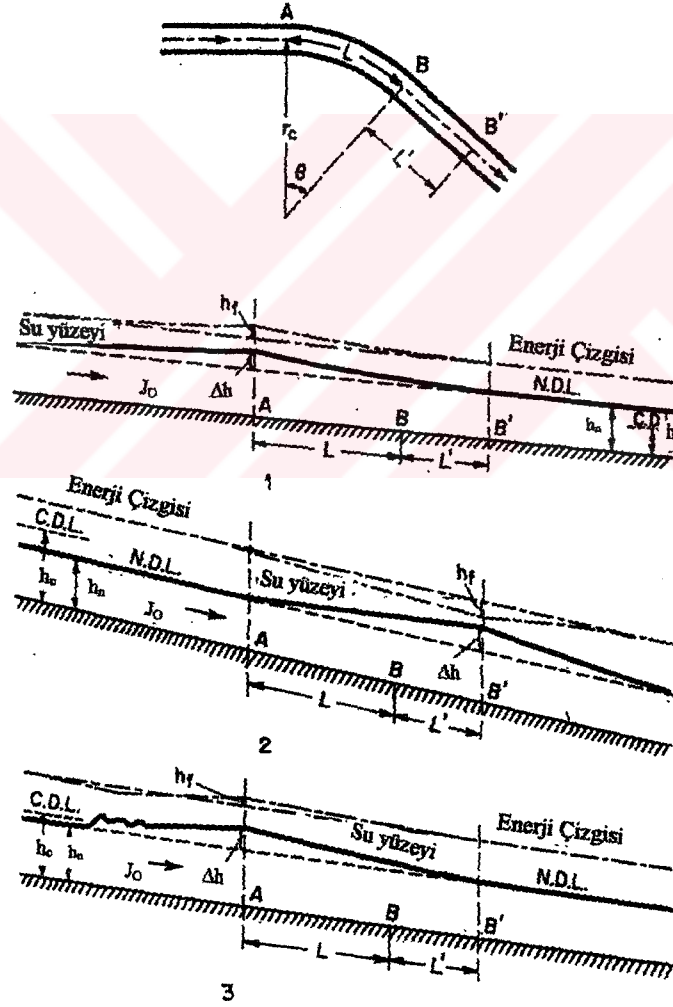
V_r = Kıvrımdaki radyal hız bileşeni,

V_θ = Silindirik koordinatlarda teğetsel hız bileşeni,

J_r = Radyal doğrultuda su yüzü eğimi,

r = Kıvrım eğrilik yarıçapı,

ϵ = Eddy viskozitesi,



Şekil 1.12. Açık kanal kıvrımında enerji çizgisi ve su yüzü profilleri (Chow, 1957).

olarak verilmektedir. Araştırmacı $\eta=z/h$ rölatif derinliğini, Prandtl'ın yarı logaritmik düşey hız dağılımını veren,

$$V = V_{\max} + \frac{1}{\chi} u^* \ln(\eta) \quad (1.34)$$

eşitliğini ve radyal su yüzeyi eğimi için,

$$J_r = \frac{V_{\theta m}^2}{gr} \quad (1.35)$$

eşitliğini kullanarak (1.33) eşitliğinden radyal hız bileşeni için,

$$V_r = \frac{h}{\chi^2 r} V_{\theta} \left[F_1(\eta) - \frac{\sqrt{g}}{C\chi} F_2(\eta) \right] \quad (1.36)$$

eşitliğini çıkarmıştır. Burada; χ = Von Karman sabitidir.

$$F_1(\eta) = \int_0^1 \frac{2 \ln \eta}{\eta - 1} d\eta,$$

$$F_2(\eta) = \int_0^1 \frac{\ln \eta^2}{\eta - 1} d\eta$$

olarak verilmektedir. Araştırmacı $\chi=0.5$ alarak (1.36) eşitliğini,

$$V_r = 4 V_{\theta} \frac{h}{r} \left[F_1(\eta) - \frac{2\sqrt{g}}{C} F_2(\eta) \right] \quad (1.37)$$

şeklinde düzenlemiştir.

Araştırmacı, bir açık kanalda sekonder akımın neden olduğu enerji kaybı içinde aşağıdaki ifadeyi vermiştir;

$$J'' = \left(12 \frac{\sqrt{g}}{C} + 30 \frac{g}{C^2} \right) \left(\frac{h}{r_c} \right)^2 Fr_1^2 \quad (1.38)$$

Burada; J'' = Sekonder akım tarafından yaratılan enerji gradyanı ve C = Chezy katsayısı olarak verilmektedir.

Eşitlikteki ilk terim, sekonder akımdan dolayı meydana gelen içsel türbülans sürtünmesinin sebep olduğu enerji kaybını, ikinci terim ise radyal sınır kayma gerilmesinin sebep olduğu enerji kaybını ifade etmektedir. Eşitlikten görüldüğü gibi, kanal eğriliğinin sebep olduğu enerji kaybı, h/r_c oranı ve Froude sayısı ile orantılıdır ve kanal pürüzlülüğünün artmasıyla daha büyük değerler almaktadır.

Muramoto (1967), kıvrımdaki çevrinti hareketini inceleyerek kanal tabanının oluşturduğu vortisitenin viskoz difüzyonundan hareketle,

$$\frac{\delta \xi}{\delta \theta} = -2\eta_s + \frac{r^2}{D} \frac{\delta^2 (\epsilon_s \xi)}{\delta z} \quad (1.39)$$

eşitliğini elde etmiştir. Burada;

D = Silindirik ayak çapı,

ξ = Vortex bileşeni,

ϵ_s = Difüzyon katsayısı,

olarak verilmiştir.

Araştırmacı bu eşitliği, helikoidal akımın doğuş bölgesi için ele almış ve $\delta \xi / \delta \theta = 0$, $\delta V_\theta / \delta \eta = 0$ ($\eta=1$ için) sınır şartlarını kullanarak,

$$V_r = \frac{Dh}{\chi^2 r^2} (\ln \eta - 2 \ln \eta + \eta) \quad (1.40)$$

eşitliğini elde etmiştir.

Francis-Asfari (1971)'ye göre, kıvrımın giriş kesitinde V_θ teğetsel hızı kesinlikle logaritmik hız dağılımına uymaktadır. Araştırmacılara göre, bu durumda;

$$\frac{V_\theta - V_{\theta m}}{u_*} = \frac{1}{\chi} (1 + \ln \eta) \quad (1.41)$$

eşitliği yazılabilir. Burada;

$V_{\theta m}$ = Akım derinliklerine göre ortalama teğetsel hız,

u_* = Taban kayma hızı,

η = Akım içindeki herhangi bir noktanın rölatif derinliği (z/h),

dir. $u^* = \sqrt{\tau / \rho}$ olduğu göz önüne alınarak,

$$U^* = V_{\theta m} \frac{\sqrt{g}}{C} \quad (1.42)$$

ifadesi elde edilir. (1.42) eşitliği (1.41) eşitliğinde yerine konulursa, kıvrımdaki akımın herhangi bir kesitindeki teğetsel hız bileşeninin değeri için;

$$V_{\theta} = V_{\theta m} \left[1 + \frac{\sqrt{g}}{\chi C} + \ln \eta \right] \quad (1.43)$$

eşitliği elde edilir. Burada; C, Chezy katsayısıdır.

Francis-Asfari (1971), helikoidal akımdan dolayı teğetsel hızda önemli değişimlerin olacağını belirterek hesaplanan değişim miktarının (1.42) eşitliğinden elde edilen değere ilave edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, değişim miktarının hesabı için de bir yöntem vermişlerdir.

Araştırmacılara göre, V_r ve V_z hızlarının helikoidal bileşenleri, kıvrımları izleyen akışkan zerreciklerinin deplasmanına dayanır. Eğri boyunca hızların değişimine sebep olan bu gerçek, farklı alanlar arasında oluşacak hareket miktarındaki değişimi ifade etmektedir. Cidar etkisi olmayan, büyük genişlikli bir kanalda akım durumu için hareket denkleminin θ yönündeki bileşeni,

$$V_r \frac{\delta V_{\theta}}{\delta r} + \frac{V_{\theta}}{r} \frac{\delta V_{\theta}}{\delta \theta} + V_z \frac{\delta V_{\theta}}{\delta z} + \frac{V_r V_{\theta}}{r} = g J_{\theta} + \frac{1}{\rho} \frac{\delta \tau_{\theta}}{\delta z} \quad (1.44)$$

şeklinde yazılabilir.

Kıvrımdaki V_{θ} 'da oluşacak değişimler $r\Delta\theta$ yayının sınırında aniden meydana geldiği yaklaşımı ile her $r\Delta\theta$ yay parçası boyunca ağırlık ve teğetsel kuvvetler arasında bir dengenin olduğu düşünülürse, (1.44) eşitliğinin sağ tarafı sıfır olur. Ayrıca V_r ve V_z hızlarının hesaplanmış değerleri eşitlikte yerine konulursa (1.44) eşitliği sonlu farklar yöntemi ile çözülebilir. Çünkü, eşitlik;

$$V_r \frac{\Delta V_{\theta}}{\Delta r} + \frac{V_{\theta}}{r} \frac{\Delta V_{\theta}}{\Delta \theta} + V_z \frac{\Delta V_{\theta}}{\Delta z} + \frac{V_r V_{\theta}}{r} = 0 \quad (1.45)$$

şeklinde yazılabilir. Buradan ΔV_θ 'yı çözersek,

$$\Delta V_\theta = \frac{r\Delta\theta}{V_\theta} \left[V_r \frac{\Delta V_\theta}{\Delta r} + V_z \frac{\Delta V_\theta}{\Delta z} + \frac{V_r V_\theta}{r} \right] \quad (1.46)$$

ifadesi bulunur. (1.46) eşitliğinden elde edilen ΔV_θ hesaplanabilir. Bu durumda yeni teğetsel hızın değeri;

$$V'_\theta = V_\theta + \Delta V_\theta \quad (1.47)$$

formülünden hesaplanabilir. Bu yeni hız, değiştirilmiş teğetsel hız olarak adlandırılır. Francis-Asfari (1971) nin bu yöntemle bulduğu V_θ hızlarının kıvrımlı bir kanaldaki dağılımı Şekil 1.13'de görülmektedir. Şekil incelendiğinde, max V_θ kıvrımın giriş kesitinde iç kenara yakın kısımda meydana gelmekte ve daha sonra kıvrımın dış kenarına doğru yer değiştirerek çıkış kesitinde en büyük değere ulaşmaktadır.

Araştırmacılar, r yarıçaplı ve j taban eğimli kıvrımlı bir kanalda bir akışkan elemanına etkiyen kuvvetlerin dengesini yazarak (Şekil 1.14), kıvrımlı bir kanalda oluşacak basınç dağılımının yaklaşık olarak hidrostatik basınç dağılımına uyduğunu da göstermişlerdir. Söz konusu akışkan elemanına etki eden kuvvetler;

y doğrultusunda;

$$-\frac{\delta P}{\delta r} + \frac{\rho V_r}{r} = 0 \quad (1.48)$$

-z doğrultusunda;

$$-\frac{\delta P}{\delta z} + \rho g \cos \alpha = 0 \quad (1.49)$$

şeklinde yazılabilir. (1.48) ve (1.49) eşitlikleri integre edilip sınır şartları göz önüne alınırsa;

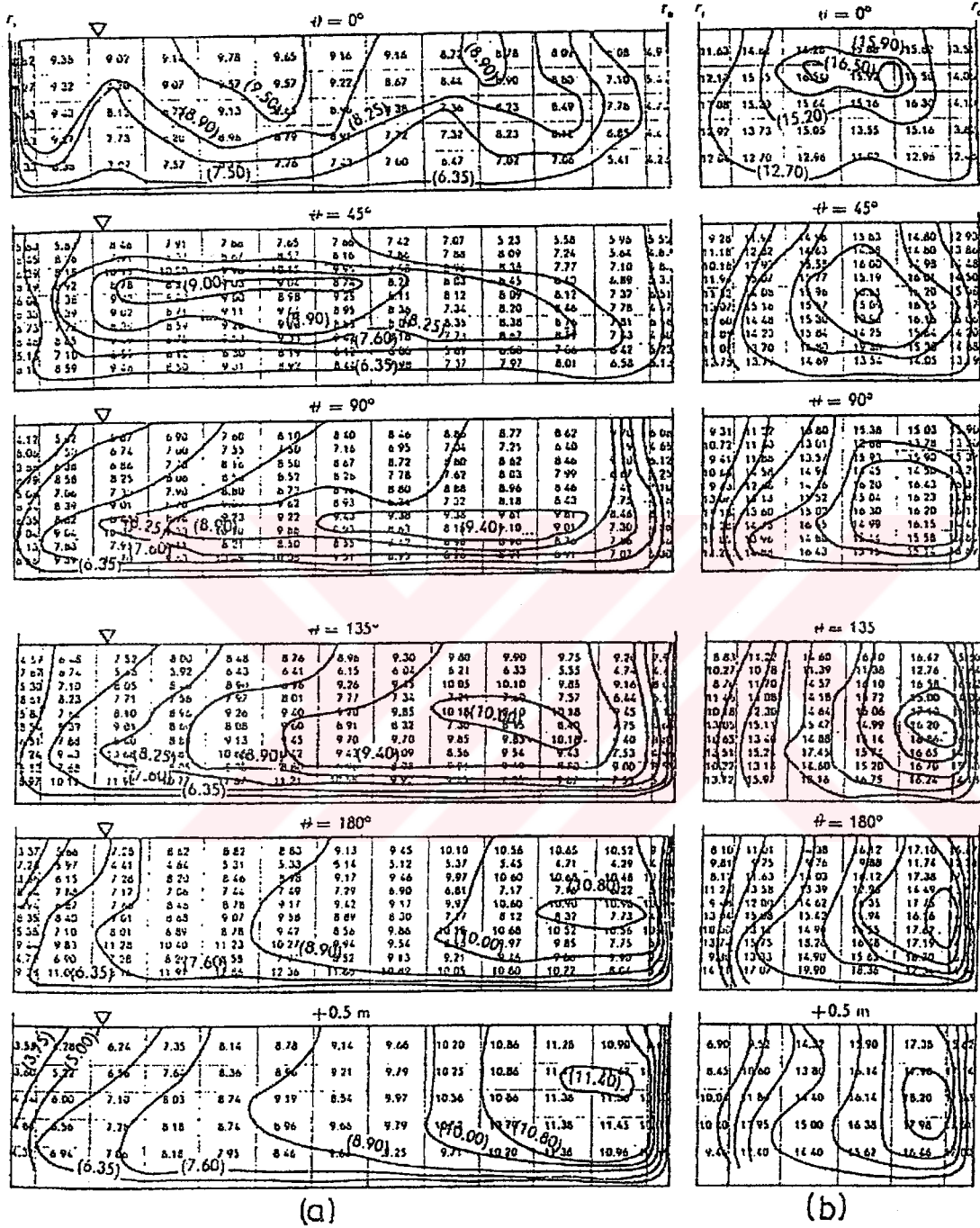
$$\frac{P}{\gamma} = \frac{V_r^2}{r} \frac{y}{g} \quad (1.50)$$

ve

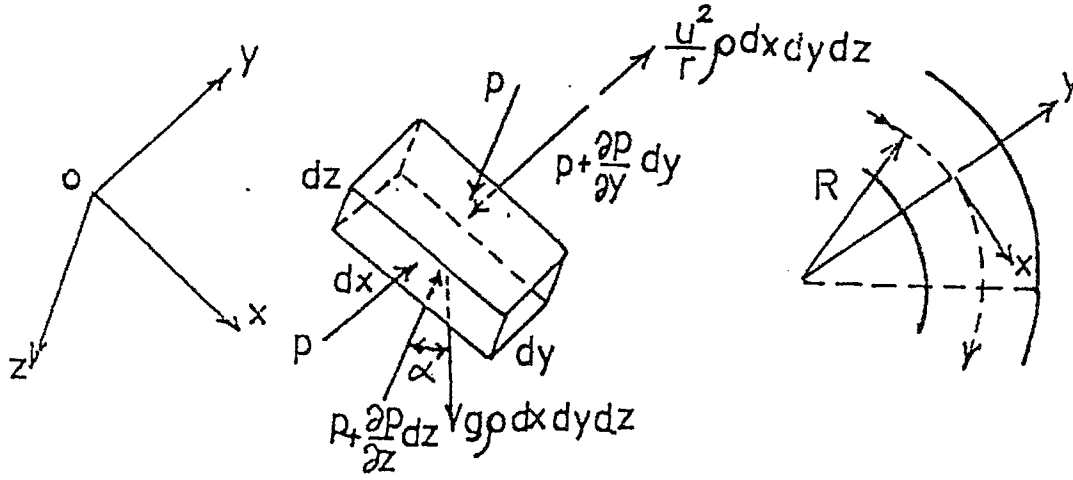
$$\frac{P}{\gamma} = z \cos \alpha \quad (1.51)$$

ifadeleri elde edilir. (1.50) ve (1.51) eşitliklerinden görüleceği gibi, kıvrımın iç kıyısından dış

kıyısına doğru gidildikçe su derinliğinin arttığı, fakat buna karşılık kanaldaki basınç dağılımının yaklaşık olarak hidrostatik basınç dağılımına uyduğu görülebilir.



Şekil 1.13. Max V_0 'nın kıvrım açısına göre kesitten kesite değişimi. a) $r/b=3$, b) $r/b=7.9$



Şekil 1.14 Kıvrımlı kanaldaki bir akışkan parçasığına etki eden basınç kuvvetleri

C.L.Yen ve B.C.Yen (1971), hareket denklemlerini kullanarak su yüzü profilinin ve kabarmanın, helikoidal akımdan ve kanal taban topografyasından ne şekilde etkilendiğini araştırmışlardır.

Araştırmacıların, türbülanslı akımın Reynolds denklemlerinden yararlanarak elde ettikleri radyal ve teğetsel su yüzü eğimini veren ifadelerin silindirik koordinat sistemindeki ifadeleri sırasıyla;

$$J_r = \frac{1}{gh} \left[-u_*^2 \sin \phi + \int_{z_0}^{z_1} \left(\frac{V_\theta^2}{r} - V_\theta \frac{\delta V_r}{r \delta \theta} \right) dz \right] \quad (1.52)$$

ve

$$J_\theta = \frac{1}{gh} \left[-u_*^2 \sin \phi + \int_{z_0}^{z_1} \left(V_\theta \frac{\delta V_\theta}{r \delta \theta} + V_r \frac{\delta V_\theta}{\delta r} + \frac{V_r V_\theta}{r} + V_z \frac{\delta V_\theta}{\delta z} \right) dz \right] \quad (1.53)$$

şeklindedir. Burada;

J_r, J_θ = Sırasıyla enine ve teğetsel su yüzü eğimleri,

V_r, V_θ, V_z = Sırasıyla, r, θ ve z doğrultularındaki geçici ortalama hız bileşenleri,

h = Yersel akım derinliği ($z_1 - z_0$),

$\sin\phi = V_r/V_\theta$ oranı,

olarak verilmektedir. (1.52) eşitliği yeniden yazılırsa;

$$J_r = \frac{V_m^2}{2gr} \left\{ -2 \frac{r}{h} \left(\frac{u_*}{V_m} \right)^2 \sin\phi + \int_{z_0/h}^{z_2/h} 2 \left[\left(\frac{V_\theta}{V_m} \right)^2 - \frac{V_\theta}{V_m} \frac{\delta \left(\frac{V_r}{V_m} \right)}{\delta\theta} \right] d \left(\frac{z}{h} \right) \right\} \quad (1.54)$$

bulunur. Burada V_m , kanalın doğrusal kısmındaki ortalama hızı ifade etmektedir. (1.54) eşitliğinin sağ tarafındaki parantez içindeki ilk terim, taban kayma gerilmesinin radyal bileşeninin enine su yüzü eğimine etkisini göstermektedir. İkinci terim, teğetsel hızın doğrultusundaki değişimden dolayı radyal ivmenin dikkate alındığını ve son terim de θ doğrultusundaki değişimden dolayı konvektif momentum akısındaki değişimi ifade etmektedir.

C.L.Yen ve B.C.Yen (1971), (1.54) eşitliğindeki parantez içindeki terimleri sırasıyla Cr_1 , Cr_2 ve Cr_3 olarak ifade etmişler ve yersel enine su yüzü eğimi katsayısını,

$$Cr = Cr_1 + Cr_2 + Cr_3 \quad (1.55)$$

olarak tariflemişler ve enine su yüzü eğimini veren (1.54) eşitliğini,

$$J_r = Cr \frac{V_m^2}{2gr} \quad (1.56)$$

şeklinde basitleştirmişlerdir. Araştırmacılar aynı yaklaşımla (1.53) eşitliğini,

$$C_\theta = C_{\theta 1} + C_{\theta 2} + C_{\theta 3} + C_{\theta 4} \quad (1.57)$$

olarak teğetsel su yüzü eğimini veren ifadeyi

$$J_\theta = C_\theta \frac{V_m^2}{2gr_c} \quad (1.58)$$

olarak basitleştirmişlerdir. Burada;

C_θ = Yersel teğetsel su yüzü eğimi katsayısı,

r_c = Kıvrımda eksenden olan eğrilik yarıçapıdır.

Araştırmacılar, mevcut analizlerini 1962- 1966 yılları arasında Mississippi ve Missouri gibi nehirlerini temsil eden 90^0 'lık kıvrımlara sahip iki farklı modelde (Şekil 1.15) değerlendirmişlerdir. İlk kıvrımda, şev eğimleri 1/1 olan üniform trapez enkesitli bir kanal, diğerinde ise denge yatak modeli olarak isimlendirdikleri, taban topografyası stabil hale gelinceye kadar kum taban üzerinde su resirkülasyonu ile doğal olarak deforme edilmiş dikdörtgen enkesitli kıvrımlı bir kanal kullanmışlardır.

Araştırmacılar, taban kayma gerilmesi ve hız bileşenlerini çeşitli enkesitlerde ölçerek Cr_1 , Cr_2 ve Cr_3 değerlerini nümerik integrasyonla hesaplamış ve ölçümlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

C.L.Yen ve B.C.Yen (1971), herhangi bir enkesitteki enine su yüzü profili için, enine su yüzü eğimini veren (1.56) eşitliğini r doğrultusunda integre ederek;

$$H_{rc} = \int_{r_c}^r J_r dr = \frac{V_m^2}{2g} \int_{r_c}^r \frac{C_r}{r} dr \quad (1.59)$$

eşitliğini elde etmişlerdir. Burada;

r_c = Kanal eksen yarıçapı

r = dikkate alınan noktanın yarıçapı

H_{rc} = Enkesitteki r ve r_c eğriliklerine sahip iki nokta arasındaki su yüzeyi yükseklik farkı olarak verilmektedir.

Eğer kıvrımdaki radyal ve teğetsel hız bileşenlerinin dağılımı biliniyorsa, radyal su yüzü eğimi ve radyal su yüzü profili (1.56) ve (1.59) eşitliklerinden elde edilebilir.

Araştırmacılar (1.56) eşitliğini iç kıyıdan dış kıyıya kadar integre ederek su yüzündeki yanal değişimi veren ifadeyi;

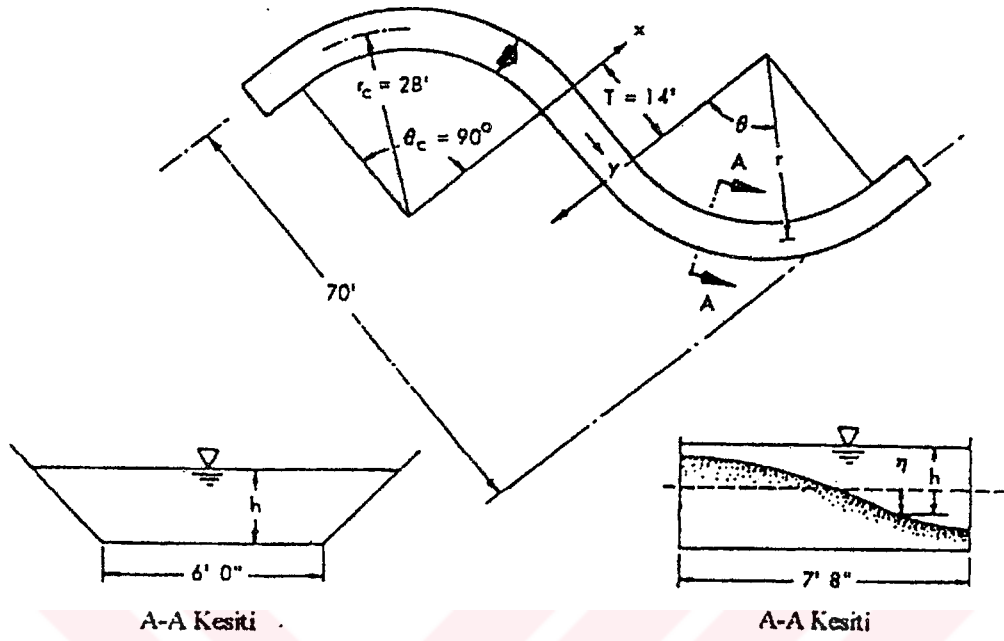
$$H_s = \frac{V_m^2}{2g} \int_{r_i}^{r_0} \frac{C_r}{r} dr \quad (1.60)$$

şeklinde elde etmişlerdir. Burada,

H_s = Su yüzündeki yanal değişim,

r_i = İç kıyı eğrilik yarıçapı,

r_0 = Dış kıyı eğrilik yarıçapıdır.



Şekil 1.15 Deney kanalı (C. L. Yen ve B. C. Yen)

C_s kabarma katsayısı da,

$$C_s = \frac{H_s}{\frac{V_m^2}{2g}} \frac{r_c}{b_s} = \frac{r_c}{b_s} \int_{r_i/r_c}^{r_o/r_c} \frac{C_r}{r} d\left(\frac{r}{r_c}\right) \quad (1.61)$$

ifadesi ile verilmiştir. Burada, $b_s = r_o - r_i$ su yüzü genişliği olarak verilmektedir. C_s katsayısının üniform enkesitli kıvrımlar için 2.2 alınmasının uygun bir yaklaşım olduğu ve üniform olmayan enkesite sahip kanal kıvrımlarında ise,

$$C_s = \left(\frac{V_{ac}}{V_m}\right)^2 \left(\frac{r_o}{r_c} + \frac{r_i}{r_c}\right) \quad (1.62)$$

ifadesinden hesaplanmasının daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Burada, V_{ac} Bir düşey üzerindeki ortalama hızın ortalama teğetsel bileşenidir. Su yüzünde meydana gelecek boyuna değişimlerin de,

$$H_0 = \int_0^L (J_0 - J_o) dL = \int_0^L \left(C_0 \frac{V_m^2}{2gr_c} - J_o \right) dL \quad (1.63)$$

eşitliği ile belirlenebileceği ifade edilmiştir.

R. P. Apmann (1972)'a göre, kayma gerilmesi dağılımı, kanal sınır deformasyonu ve su yüzündeki yanal değişim, bir kıvrım boyunca teğetsel hız bileşeninin değişimine bağlıdır. Daha önce yayınlanan çözümlerde, hareket denklemlerinin radyal ve düşey hız bileşenlerinin yanal ve düşey değişimleri, yalnızca kararlı üniform akım şartlarında geniş bir kıvrım dikkate alınarak verilmiştir.

Araştırmacı daha önceki çalışmalarda belirtilen su yüzündeki yanal değişim katsayılarının, b/r_c eğrilik oranlarının küçük değerlerinde birbirleriyle iyi uyum içinde olduğunu fakat b/r_c nin büyük değerlerinde eşitlikler arasında belirgin farklılıkların bulunduğunu ifade etmiştir.

Araştırmacı, dr genişliğine, $r d\theta$ uzunluğuna ve dz yüksekliğine sahip sonsuz küçük bir akışkan elemanına etki eden merkezkaç kuvveti, radyal kayma gerilme bileşeni ve basınç kuvvetlerinin (hidrostatik dağılımlı) birbirlerini dengelediklerini kabul ederek, su yüzeyindeki yanal değişim katsayısı için;

$$K = \frac{5}{4} \tanh\left(\frac{r_c \theta}{b}\right) \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) \quad (1.64)$$

ifadesini vermiştir. Su yüzündeki yanal değişimden hareketle kıvrımdan geçen akım miktarı,

$$Q = A \sqrt{\frac{g H_s}{K}} \quad (1.65)$$

eşitliği ile verilmiştir. Burada,

A = kabarmanın ölçüldüğü kesitteki radyal enkesit alanı,

H_s = Kıvrımda iç ve dış kıyı arasındaki maksimum su yüzü yükseklikleri farkı,

K = Su yüzü yanal değişim katsayısıdır.

Araştırmacı (1.64) ve (1.65) ifadelerinin sabit akım şartlarında geçerli olduğunu ifade ederek bu durumda yapılacak hatanın %8-12 arasında kalacağını belirtmiştir.

U.K.Choudhary ve S.Narasimhan (1977), 180° 'lik bir açık kanal kıvrımında dar ve geniş kanallarda nehir rejimli akım şartlarında, şev ve taban kayma gerilmesi (erozyon kapasitesi) ve helikoidal hareketin gelişimini (taşıma kapasitesi) deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyler eksen eğrilik yarıçapı $r_c=80$ cm, genişliği $b=96$ cm, derinliği $h=25$ cm olan bir dikdörtgen kanal kıvrımında gerçekleştirilmiştir. Kıvrımdan önce 10.33m, kıvrımdan sonra

11.45 m'lik doğrusal kanal kısmı mevcuttur. Değişik akım şartlarında dar kanal $b/h=5$ ve geniş kanal $b/h=10$ için Froude sayılarının 0.2, 0.4 ve 0.6 değerlerinde çalışmışlardır.

Araştırmacılar ölçümleri, kıvrımda 15° 'lik radyal aralıklarla, doğrusal kısımda 50 cm'lik aralıklarla gerçekleştirmişlerdir. Radyal ve teğetsel hızlar pitot tüpü yardımıyla her enkesitte 5 düşey boyunca, taban ve şev kayma gerilmeleri ve boyuna hız bileşeni V 'nin kanal eksenine yaptığı β sapması ölçülmüştür. Su yüzü profilindeki değişimler de yine preston tüpü yardımıyla belirlenmiştir.

Araştırmacılara göre, helikoidal hareket $\theta=15^\circ$ 'de dış kıyıda başlamakta ve $\theta=105^\circ$ - 120° civarında maksimuma ulaşmaktadır. Froude sayısındaki artış veya b/h oranındaki azalma, helikoidal hareketin daha erken oluşmasına ve daha hızlı gelişmesine yol açmaktadır. Helikoidal hareket $\theta=135^\circ$ 'de dış kıyı bölgesinde maksimuma ulaşmaktadır. Aynı zamanda, $\theta=135^\circ$ 'de dış kıyı yakınlarında büyük kayma gerilmesi meydana gelmekte ve helikoidal hareketin yönü ve şiddeti taban malzemesini hareket ettirmeye çalışmaktadır. Bundan dolayı taban koruma çalışmalarının, kıvrımın bu bölgesinde yapılması daha uygun olmaktadır. Merkezi rejim bölgesinde helikoidal hareketin Froude sayısından bağımsız olduğu görülmektedir. Helikoidal hareket $\theta=120^\circ$ 'den sonra iç kıyıda bozulmaya başlamakta ve su yüzündeki yanal değişimle aynı anda başlamakta ve su yüzündeki artış ve b/h oranındaki azalmayla helikoidal hareketin bozulma oranı azalmaktadır.

Su yüzündeki maksimum yanal değişim $\theta=90^\circ$ civarında oluşmakta ve iç kıyıda minimum su derinliğinin oluşmasıyla maksimum kabarma meydana gelmektedir. Froude sayısındaki artış ve b/h oranındaki azalma su yüzü profili ve kabarmanın yerini etkilemez. Araştırmacılar, dar kanallarda $\theta=75^\circ$ ve $r/r_c=1.279$ civarında düşük şiddette ikinci bir helikoidal hareketinde yüzey yakınlarında meydana geldiğini belirlemişlerdir.

H.H.Chang (1983), nehir rejimli akım şartlarında tam gelişmiş türbülanslı akıma sahip hafif eğrilikli bir açık kanal kıvrımındaki enerji kayıplarını analiz etmiştir. Araştırmacılar, kıvrımlı bir kanalda enerji kayıplarındaki artışın aşağıdaki nedenlerden meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

- 1) Sekonder akımdan dolayı içsel akışkan sürtünmesi,
- 2) Radyal kayma gerilmesinin sonucunda sınır direnci,
- 3) Keskin kıvrımlarda sınır tabakasındaki ayrılma sonucunda oluşan eddy kaybı,

4) Büyük Froude sayılarında oluşan ani sıçramadan dolayı eddy kaybı.

De Vriend ve Struiksma (1983), bir açık kanal kıvrımındaki akımın yapısını aşağıdaki şekilde özetlemişlerdir.

Kıvrım bölgesine yaklaştıkça akım, akım çizgisinin eğriliğini tedrici olarak arttırmaya çalışan menba tarafındaki basınç yükünün etkisiyle karşılaşır. Kıvrıma girişte, akım çizgisinin eğriliği, kıvrımın iç kıyısında akımın hızlanmasına yol açan (potansiyel akım etkisine yol açan) radyal ve teğetsel basınç gradyanlarına sahiptir. Kıvrım girişinden sonra akım, üniform olmayan derinlik dağılımına tedrici olarak kendini uydurmaya çalışır. Derinlik boyunca ortalama V 'nin radyal dağılımının dışa doğru sapmasına neden olur. Bu dışa doğru sapma, sekonder akımın düşey bileşeninin konvektif ivme etkisini arttırmaya çalışır.

Kıvrım çıkışına doğru ise, akım çizgisinin eğriliği tedrici olarak azalır. Radyal doğrultudaki basınç gradyanındaki değişim, kıvrımın iç kıyısında akımı yavaşlatan, dış kıyısında ise hızlandıran teğetsel basınç gradyanlarına neden olur. Bu, kıvrım çıkışına yakın kısımda V 'nin radyal dağılımında dışa doğru daha fazla sapmaya sebep olur. Kıvrım çıkışında da akımdaki bu değişiklikler kendisini taban topografyasına uydurmaya çalışır.

A.D.Georgiadou ve K.V.H.Smith (1986), genişliği kıvrım boyunca tedricen azalan 90° 'lik bir kıvrımlı yaklaşım kanalındaki akımı teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir (Şekil 1.16).

Araştırmacılar deneysel çalışmalarında, yüzey ve taban akımlarını gözlemlemişler ve üç boyutlu hız ölçümlerini yapmışlardır. Kıvrımlı yaklaşım kanalı akımları için uygulanabilir basitleştirilmiş nümerik model geliştirmişlerdir. Branş kanalı probleminde, branşın mevcudiyetinin ana kanala etkisini belirleyebilmek için deneysel çalışma yapmışlardır.

A.D.Georgiadou ve K.V.H.Smith (1986), silindirik koordinat sisteminde momentum ve süreklilik denklemlerinden hareketle, çeşitli kabul ve basitleştirmeler yaparak, ortalama teğetsel su yüzü eğimi J_θ ve radyal su yüzü eğimi J_r ifadelerini aşağıdaki şekilde elde etmişlerdir.

$$J_\theta = \frac{\delta h}{r \delta \theta} = \frac{\frac{Q^2 h}{g b^2} \left[\frac{\lambda}{2} + \frac{b_0}{b} \frac{1 - b_d}{r_c \theta_f} \right]}{\left[h^3 - \frac{Q^2}{g b^2} \right]} \quad (1.66)$$

$$J_r = \frac{\delta h}{\delta r} = \alpha_0 \frac{V_\theta^2}{g r} + \frac{\tau_{r0}}{\rho g h} \quad (1.67)$$

Burada;

b_0 = Yaklaşım kanalı menba genişliği,

b_d = Daralma oranı (b_f/b_0)

θ_f = Toplam kıvrım açısı,

α_0 = Ortalama merkezkaç kuvveti katsayısı,

V_θ = Ortalama teğetsel hız,

$\tau_{r\theta}$ = Taban kayma gerilmesi radyal bileşeni,

b_f = Yaklaşım kanalı mansap genişliğidir.

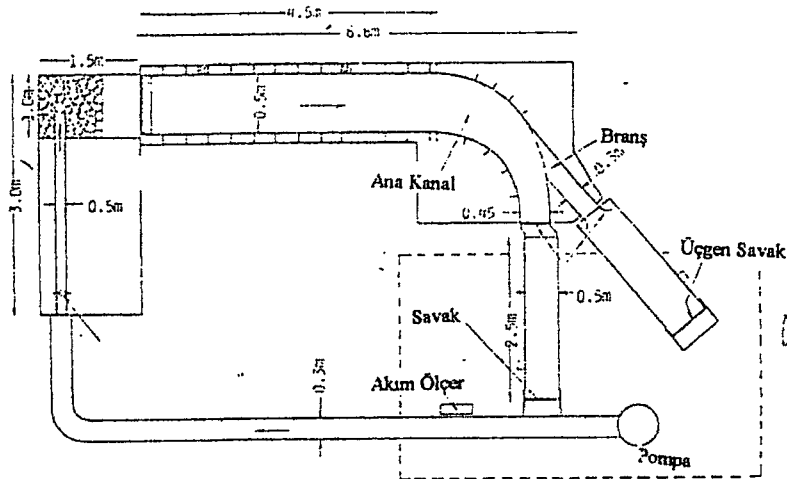
Araştırmacılar, λ sürtünme katsayısı ve α_0 ortalama merkezkaç kuvveti katsayısı için de;

$$\lambda = 2g \left[1 + 8.2 \left(\frac{h}{r_c} \right)^2 \right] / (C^2 h) \quad (1.68)$$

ve

$$\alpha_0 = \left(\frac{1}{V_\theta^2} \right) \left(\frac{1}{h} \right) \int_0^h V_\theta^2 dz \quad (1.69)$$

ifadelerini vermişlerdir.



Şekil 1.16 Deney seti (A.D.Georgiadou ve K.V.H.Smith)

1.4 Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği

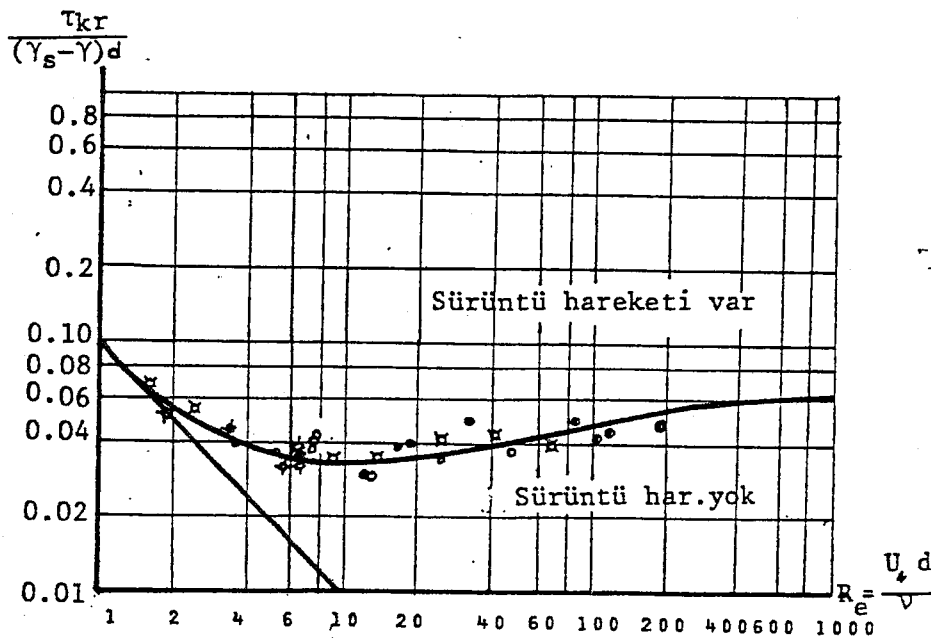
1.4.1 Tanelerin Harekete Başlaması

Katı madde hareketinin, taban kayma gerilmesinin belli bir değerinden itibaren başladığı bilinmektedir. Taban kayma gerilmesinin, tabandaki tanelerin hareketine neden olan bu değere kritik taban kayma gerilmesi adı verilir.

Kritik kayma gerilmesi kavramı, ilk defa Shields (1936) tarafından kullanılmıştır. Shields, kayma gerilmesine yalnızca, hidrodinamik kuvvetlerin rol oynadığını varsayarak şu sonuçları ortaya koymuştur :

- 1) Taban kayma gerilmesi, yalnızca, mevcut bir sıvıdaki, mevcut bir malzeme tipi için, sürüklenme başlangıcı tane Reynolds sayısına bağlıdır ($Re_* = \frac{u_* D}{\nu}$).
- 2) Malzemenin sürüklenme başlangıcındaki kritik kayma gerilmesi tane çapıyla, üniform granülometrik malzeme için, $(\gamma_s - \gamma)$ su altındaki birim hacim ağırlığı ile orantılıdır $\left(\frac{\tau_{kr}}{(\gamma_s - \gamma)D} \right)$.

Shields bu kabullerle, kritik kayma gerilmesini hesaplamaya yarayan Şekil 1.17'deki eğriyi elde etmiştir.



Şekil 1.17 Shields Diyagramı

Eğrinin altındaki bölgede taban hareketsiz, buna karşılık üstündeki bölgede ise hareketlidir. Eğri üzerinde üç ayrı bölge vardır. Bunlar sırasıyla, laminar bölge, geçiş bölgesi ve türbülanslı bölgedir.

Shields eğrisini daha basit ve uygulanabilir bir biçime sokmak amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Bu konuda, sürüklenme hızlarının tarifinden hareketle ;

$$D_* = \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\rho v^2} \right)^{1/3} D \quad (1.70)$$

parametresinin, $\left(\frac{\tau_{kr}}{(\gamma_s - \gamma)D} \right)$ ve $\frac{u_* D}{\nu}$ 'nin her değeri için var olduğu tespit edilmiştir.

Bonnefille (1964), bu neticeyi kullanarak, kritik kayma gerilmesinin hesabında kullanılmak üzere ;

$$D < \delta \text{ için, } D_* = 2.5 \left(\frac{u_* D}{\nu} \right)^{4/5} \quad (1.71)$$

$$D > \delta \text{ için, } D_* = 3.8 \left(\frac{u_* D}{\nu} \right)^{5/8} \quad (1.72)$$

bağıntılarını elde etmiştir. Bonnefille, (1.73) bağıntısını “sedimantolojik çap” olarak tanımlamıştır. Önemli bir hata olmaksızın

$$D_* = 2.7 \left(\frac{u_* D}{\nu} \right)^{2/3} \quad (1.73)$$

bağıntısının kullanılabileceği de belirtilmiştir.

Kritik taban kayma gerilmesinin bulunmasında, Shields eğrisi en çok uygulanan bir kriter olmakla birlikte, en büyük eksikliği, türbülans çalkantılarından dolayı akım alanında, dolayısı ile taban malzemesi üzerinde meydana gelebilecek etkileri kapsamamış olmasıdır. Shields eğrisinde dikkat edilmesi gereken bir nokta da türbülanslı akımlarda hızların ve dolayısıyla kayma gerilmelerinin ortalamanın çok daha üstünde olabilmesidir. Kıvrımlı kanallarda bu değerleri % 10-40 azaltmak gerekir.

1.4.2 Kritik Hız

Tabandaki taneler taban kayma gerilmesiyle harekete geçmektedir. Pratikte genelde kritik hız kavramı kullanılmaktadır. Goncharov kritik hız için şu formülü vermektedir:

$$V_{kr} = \sqrt{\left(\frac{2g\gamma_s^* D}{\alpha}\right)} \log \frac{8,8h}{D} \quad (1.74)$$

Eşitlikte de görüldüğü gibi kritik hız yalnızca tanenin özelliklerine (D, γ_s^*) değil aynı zamanda rölatif prüzülüşe (h/D) de bağlıdır. Derinlik arttıkça tane yakınlarındaki hız azalmaktadır. Bu sebeple, derin kanallarda kritik hız daha büyüktür. Goncharov'a göre tabandan hiçbir tanenin sökülmemesi (türbülans hızının en büyük değerinde bile hareket olmaması) hali için $\alpha = 3,50$, tanelerin sürekli olarak sökülmesi (hızın ortalama değerinde tabanın harekete geçmesi) hali için $\alpha = 1,75$ alınmalıdır. Tabandaki tanelerin üniform olmaması halinde h/D ifadesinde tane çapı için D_{95} değeri kullanılmaktadır.

Kum tabanlı kanallarda tabanda hareketin olmaması için kritik hız:

$$V_{kr} = 5,7h^{1/6} D^{1/3} \quad (1.75)$$

Bu denklemden h ve D m, V m/sn cinsindendir. Suda koloidal maddeler bulunması halinde daha yüksek hızlara izin verilebilir. Eski kanallar da koloidal maddeler barındırdığı için daha yüksek hızlara dayanabilir. (1.74) ve (1.75) denklemlerinden de anlaşılabileceği gibi, akım derinliği arttıkça daha büyük hızlara izin verilebilir. Kıvrımlı kanallarda ise kritik hız değeri % 5-22 azaltılmalıdır. Kanal genişliği hız dağılımı dolayısıyla kritik hızı etkiler. Bu etki özellikle iri tanelerde daha önemli olmaktadır. Kanal genişliği arttıkça kritik hız azalmaktadır.

1.4.3 Hareketli Tabanın Aldığı Şekiller

1.4.3.1 Taban Şekillerinin Özellikleri

Tabanı akımın hareket ettirebildiği tanelerden yapılmış bir açık kanalda taban yakınında yapılan gözlemlerle tanelerin hareketi ve bu hareketin taban şeklinde meydana getirdiği değişiklikler belirlenebilir. Belli bir derinlikteki akımın hızı artırıldığında bir U_{kr} değerinden itibaren bazı tanelerin önce hafif titreşme ve sıçramalar yapmak suretiyle harekete başladıkları görülür. Tabandan sökülen bir tane taban yakınlarında sürüklenme, yuvarlanma ya da küçük sıçramalarla belli bir yol aldıktan sonra yeniden sükunete geçer. Bu sırada taban

yüzünün ortalama şekli bir düzlemdir.

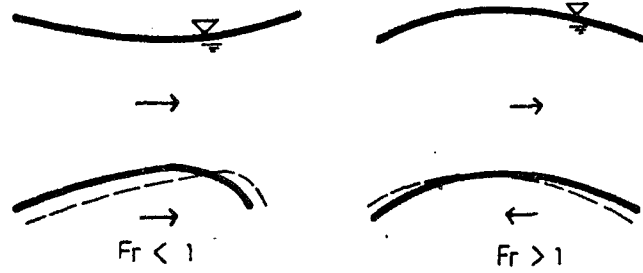
Katı tanelerin hareket ettirilmesi akımın belli bir enerji harcamasını gerektireceği gibi tanelerin harekete geçmesiyle taban yakınlarındaki akımın hızı ve özellikle türbülans karakteristikleri ve kayma gerilmesi dağılımı değişecektir. Bu değişim, hareket eden tanelerin yüzdesi arttıkça daha büyük önem kazanır.

Akımın hızının biraz daha arttırılmasıyla tabanın artık düzlem olarak kalmadığı, küçük dalgacıkların meydana geldiği görülür. Özellikle su derinliğinin büyük olması halinde $(h/D)1000$ tanelerin harekete geçtiği u_{kr} hızı ile dalgaların görülmeye başladığı V_0 hızı birbirine çok yakın olup aradaki bölgenin gözlenmesi çok zor olur. Gözlemler, bu dalgaların teşekkülünün tabanın bazı bölgelerinde tanelerin sürekli olarak yığılması buna karşılık buralardan sökülen tanelerin çok az sayıda olması ile başladığını göstermektedir. Böylece akım eksenine dik doğrultuda, aralıkları birbirine aşağı yukarı eşit küçük yığıntılar meydana gelir. Bu yığıntıların mansaplarındaki çevriler hareket halindeki taneleri tutarlar. Böylece yığıntının yüksekliği gittikçe artar, kısa bir zaman içinde memba yüzleri yatık, mansap yüzleri dik (katı malzemenin su altındaki şev açısına yakın bir eğimde) dalgalar meydana gelir. Taneler bu dalgaların memba yüzünde düzlem bir taban üzerinde olduğu gibi hareket ederler. Fakat tane dalganın tepesine varınca dalganın arkasındaki çevri tarafından tutulup bu bölgede kalır. Böylelikle dalga, tanelerin ortalama hızına göre çok küçük bir hızla mansaba doğru ilerler.

Hızın V_1 den büyük değerleri için dalga yüksekliğindeki artışın çok yavaşladığı ve hatta tamamıyla durduğu görülür. Bunun nedeni, hızın artmasıyla tanelerin bir dalgadan diğerine atlamak imkanı bulmalarıdır. Bu bölgede dalgaların uzunlukları artmaya devam ettiği halde yükseklikleri ya çok az arttığı, ya da sabit kaldığı veya biraz azaldığı için dalgaların H/L diklikleri (dalga yüksekliğinin dalga uzunluğuna oranı) hızların artmasıyla azalır. Bu sırada askı hareketinin artması yüzünden akımın taşıdığı katı madde debisinde büyük bir artış görülür. Hızın daha büyük değerlerinde dalgalar hemen hemen tamamıyla ortadan kalkarlar, taban aşağı yukarı başlangıçtaki kadar düzgün bir düzlem şeklini alır. Hızın V_2 gibi bir değerden büyük olması halinde dalgaların etkisinin ihmal edilebileceği kabul edilebilir. Ancak, dalgalardan düz tabana geçiş keskin bir sınırla olmamakta, tabanın bazı bölgelerinde dalgaların bulunduğu, bazı bölgelerinde tabanın düz olduğu bir geçiş bölgesi görülmektedir.

Ayrıca hızın artmasıyla dalgaların biçimleri de değişir. Önce nisbeten kısa ve üç boyutlu (yanal uzunluğu küçük) olan dalgacıklar (ripple) sonra boyutları daha büyük olup kanalın bir

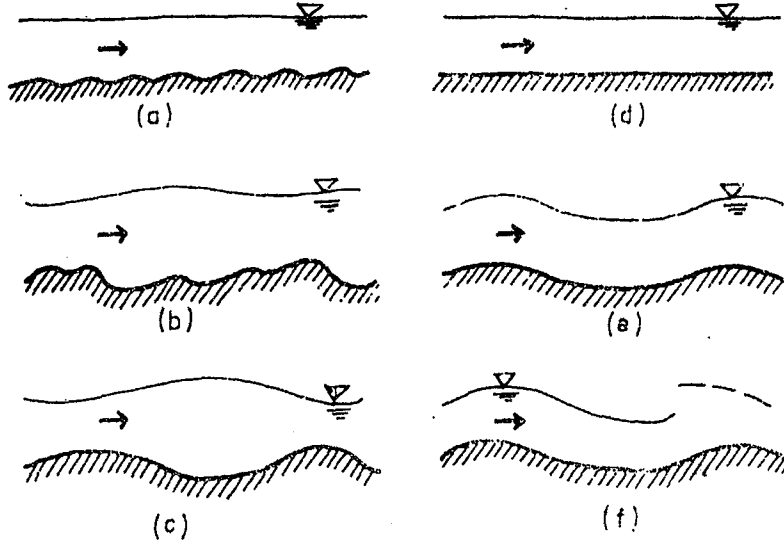
kenarından diğerine kadar uzayan eşikler (dune) şeklini alırlar. Bu eşiklerin sırtlarında ayrıca küçük dalgacıklar teşekkül edebilir. Dalgacıkların uzunlukları 30 cm ve yükseklikleri 3 cm den küçük olduğu halde eşiklerin boyutları daha büyüktür. Tabanın dalgacıklarla kaplı olması halinde su yüzeyinde bir değişme meydana gelmediği halde eşiklerin tepeleri üzerinde su yüzünün hafifçe alçaldığı, eşiklerin alçak noktaları üzerinde ise yükseldiği görülür.



Şekil 1.18 Solda nehir rejimindeki akımlarda taban dalgalarının hareketi, sağda sel rejimindeki akımlarda taban dalgalarının hareketi

Yukarıda anlatılan eşiklere benzer taban şekilleri sadece kum tabanlarda değil iri çakıllarla kaplı tabanlarda da görülür. Bunlarda eşiklerin boyutları daha büyük olur.

Dalgaların kaybolarak tabanın düz bir şekil almasından sonra akımın hızı daha da artırılacak olursa tabanda hareketsiz dalgaların (antidune) meydana geldiği görülür. Bu dalgalar su yüzeyinde de dalgalar meydana gelmesine yol açarlar. Su yüzeyindeki dalgaların memba yüzleri gittikçe dikleşir, sonunda kırılırlar. Bundan sonra aynı olay yeniden tekrarlanır. Bu olaylar genellikle sel rejimindeki akımlarda görülür. Tabandaki dalgalar nehir rejimindeki akımlarda ($Fr < 1$) akım yönünde, sel rejimindeki akımlarda ($Fr > 1$) ters yönde hareket ederler. Bilindiği gibi nehir rejimindeki bir akımda tabandaki bir eşiğin üzerinde su alçalır, sel rejiminde ise su kabarır. Yani nehir rejiminde eşiğin tepesine doğru akımın hızı artmakta, sel rejiminde azalmaktadır. Akımın hızı arttıkça tabandaki katı madde hareketi de artacaktır. Katı madde hareketinin akım doğrultusunda artması süreklilik denkleminde göre tabandaki dalga yüksekliğinin azalmasına yol açar. Nehir rejiminde dalganın memba yüzü boyunca bu hal görülür, böylece dalga akım yönünde ilerler. Sel rejiminde ise dalganın memba yüzü boyunca katı madde hareketinin akım doğrultusunda azalması dalga yüksekliğinin artmasına yol açar, dalga akım yönüne ters yönde ilerler (Şekil 1.18). Hareketli tabanın alabileceği çeşitli şekiller Şekil 1.19 da toplu olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.19 Hareketli tabanın akımın hızı arttıkça alacağı çeşitli şekiller : (a) Dalğacıklar (ripple) (b) Sırtlarında dalğacıklar bulunan eşikler (dune), (c) Eşikler, (d) Düzlem taban, (e) Hareketsiz dalgalar, (f) Ters eşikler (antidune) ve kırılan dalgalar

1.4.3.2 Dalgaların Meydana Geliş Nedenleri

Taban dalgalarının oluşumunda türbülansın önemli bir yeri olduğu bilinmektedir. Gerçekten deneysel olarak gösterilmiştir ki laminar bir akımda hareketli tabanda teşkil edilen bir kum eşiği mansap tarafında başka dalgalar meydana getirmeden zamanla yok olmakta, halbuki akım türbülanslı hale geçince eşiğin arkasında dalgalar oluşmaktadır.

Gelişigüzel bir hareket olan türbülansın periyodik bir olay olan taban dalgalarını meydana getirmesi şu şekilde açıklanabilir. Taban yakınlardaki laminar alt tabaka zaman zaman türbülans çevrileri tarafından yırtılmakta, çevriler tabandaki taneleri geçici bir zaman için hareket ettirerek küçük yığıntılar meydana getirmektedir. Bu yığınının mansap tarafında taneler çevrilerin etkisi ile tabandan sökülümekte, yığınının etkisi mansaba doğru ancak yığının yüksekliğinin birkaç katı kadar bir mesafede devam ettiğinden tanelerin tabana oturmasıyla yeni bir yığının meydana gelmektedir. Böylece taban, uzunlukları aşağı yukarı eşit dalğacıklarla kaplanmış olmaktadır.

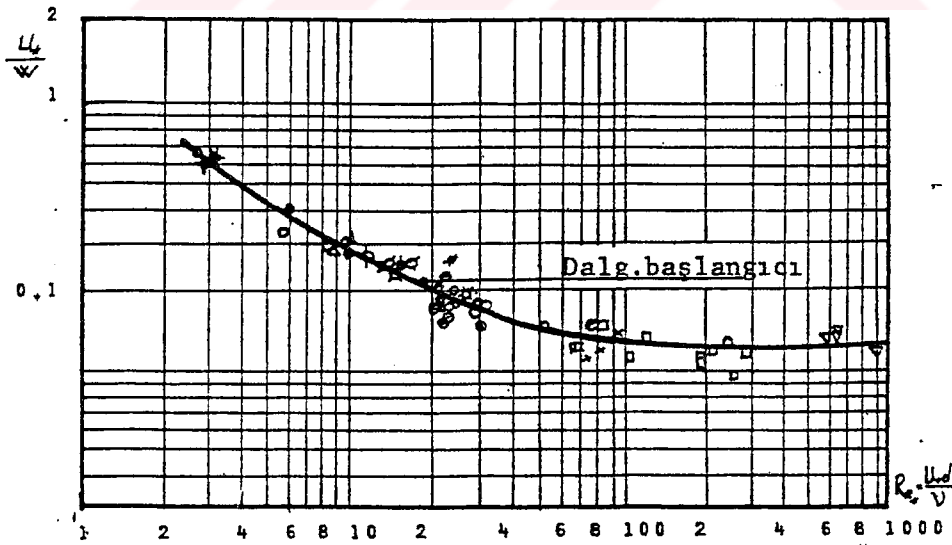
İlk yığın oluştuğundan ettikten sonra yığınının mansabındaki süreksizlik yüzeyinde türbülans çok şiddetli olduğu için bu yüzeyin tabana yaklaştığı bölgede çok sayıda tane koparılır, bu taneler hareket doğrultusunda türbülans azaldıkça yeniden tabana otururlar. Bu şekilde teşekkül eden bir sonraki dalganın memba yüzü boyunca bir taraftan türbülansın şiddeti azalırken diğer taraftan tabanın eğimi dolayısıyla hızın büyümesi ile ortalama kayma

gerilmesi artacağından bir denge durumuna varılır. Ölçümler dalganın tepesinde kayma gerilmesinin düz bir tabandaki değere eşit olduğunu göstermiştir.

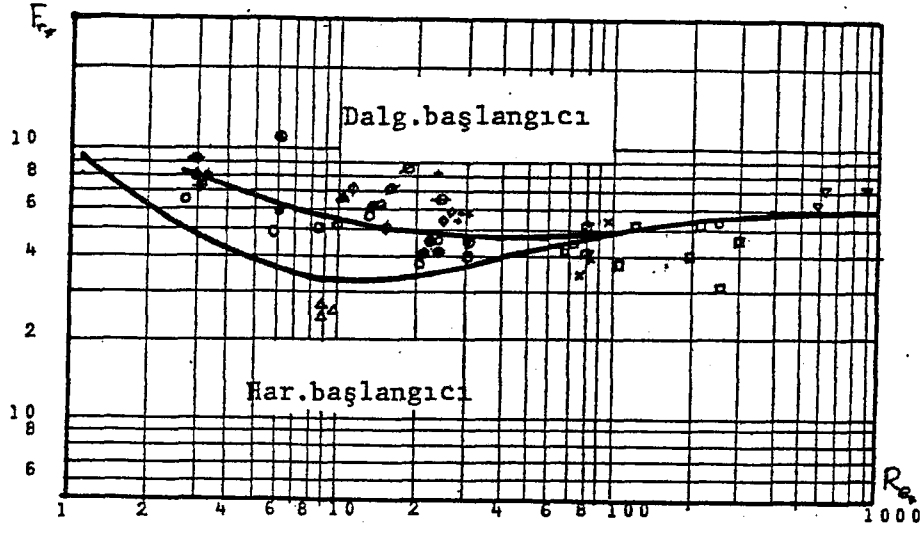
Sonuç olarak, dalgaların oluşumunda taban yakınlardaki türbülans çevrilerinin önemli rol oynadığı, ancak viskoz etkilerin de önemli olduğu söylenebilir. Laminer alt tabaka akımın gerçekte daima laminer olmadığı, türbülans çevrilerinin aralıklı etkisi ile zamanla değişen bir nitelik gösterdiği bilinmektedir. Çevrilerin laminer alt tabakayı aralıklı olarak delerek tabandaki tanelere varmaları ve sonra bu tanelerle birlikte akımın içine doğru fırlamaları taban dalgalarını başlatan mekanizma hakkında bir fikir vermektedir. Ancak, taban dalgalarının teşekkülünün hem türbülans hem de viskozite ile yakından ilgisi olması bu olayın incelenmesini güçleştirmektedir.

Liu (1957), taban şekillerinin, akışkanla taban arasındaki ayırım yüzeyinin stabilitesinin bozulması neticesinde oluştuğunu kabul ederek, Shields'in hareket başlangıcına ait verdiği eğriye benzer bir eğri vermiştir (Şekil 1.20).

Shields parametreleri cinsinden eğri çizilirse, Şekil 1.21 elde edilir. Görüldüğü gibi, laminer bölgede, hareketin başlangıcı taban şekillerinin başlangıcından daha önce meydana gelmekte, buna karşılık, türbülanslı bölgede hareketin başlangıcı ile taban şekilleri aynı anda oluşmaktadır.



Şekil 1.20 Liu'nun taban şekillerinin başlangıcına ait diyagramı



Şekil 1.21 Shields ve Liu'nun diyagramlarının karşılaştırılması

2. KIVIRIMLI KANALLARDA YAN SAVAK AKIMI

2.1 Giriş

Akarsular tabiatta genellikle kıvrımlar yaparak akarlar. Bu sebeple, akarsularda su alma yapılarının kıvrımlar üzerine yerleştirilmesi söz konusu olabilmektedir. Yine aynı şekilde arıtma tesislerinde uzun havalandırma havuzları veya çökeltim havuzları gibi yapılarda kıvrımlı akım ve yan savak akımı birlikte bulunmaktadır. Bundan dolayı, kıvrımlı akıma sahip yapılarda kıvrım ve yan savak akımlarının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kıvrımlı kanallarda kıvrımdan dolayı meydana gelen sekonder akım, yanal akım sebebiyle ana kanalda meydana gelen sekonder akımın şiddetlenmesine sebep olmakta, yan savak debi katsayısının doğrusal kanallara göre daha büyük değerler almasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra su yüzü profillerinde ve ana kanaldaki akım yapısında meydana gelen değişimin incelenmesi de oldukça önem kazanmaktadır.

2.2 Konu İle İlgili Çalışmalar

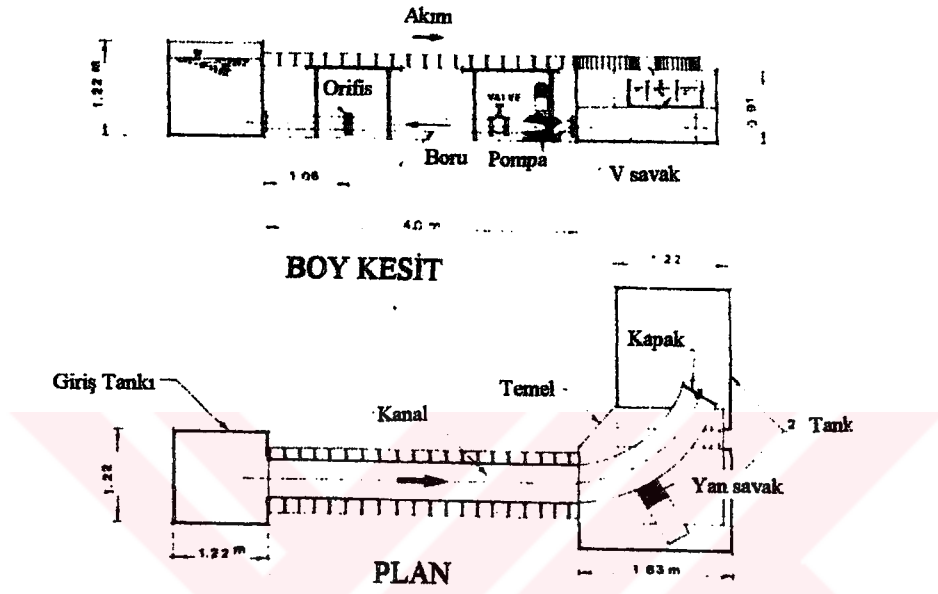
Y.R.Fares ve J.G.Herbertson (1993), 0.50 m genişliğinde dikdörtgen enkesite sahip 60°'lik bir kıvrımlı kanalın dış kıyısına yerleştirdikleri kalın kenarlı yan savağın, kıvrımdaki akım yapısına olan etkisini deneysel olarak araştırmışlardır (Şekil 2.1). Araştırmacıların yalnız kıvrım ve yan savaktan aktif savaklanma durumlarında 60°'lik kıvrım kısmında elde ettikleri derinlik boyunca teğetsel hızların değişimi Şekil 2.2 de verilmiştir. Araştırmacıların derinlik boyunca teğetsel hızlarla ilgili elde ettikleri tespitleri aşağıdaki gibidir.

Düşük savaklanma oranlarında ($Q_r < 0.26$, $h_w < 0.36$) maksimum hız yörüngesi kıvrımın iç kıyısından dış kıyısına doğru yönelmemekte ve yan savak akımı memba kısmındaki teğetsel hız dağılımına etki etmemektedir.

Burada, Q_r = Savaklanma oranı (Savaklanan debi / toplam debi), h_w = Rölatif yük (Savak üzerindeki su derinliği / toplam derinlik) olarak verilmektedir.

Büyük savaklanma oranlarında ($Q_r > 0.40$, $h_w > 0.36$) ise, maksimum hız yörüngesi yan savak membasında iç kıyıdan dış kıyıya doğru yönelmekte ve yan savağın hemen membasında akım hızlanarak artan kinetik enerji ile enine eğimi azaltmaktadır. Yan savak boyunca teğetsel hızlar, yanal akımdan etkilenecek ayrılma ve durgunluk bölgeleri meydana getirmektedir. Durgunluk bölgesi, h_w ve yan savak mansap derinliğine bağlı olmaktadır. Durgunluk bölgesi savağın yarısını kapsamakta, iç kıyıdaki hızlar azalarak akım dış kıyıya yönelmektedir. Yan

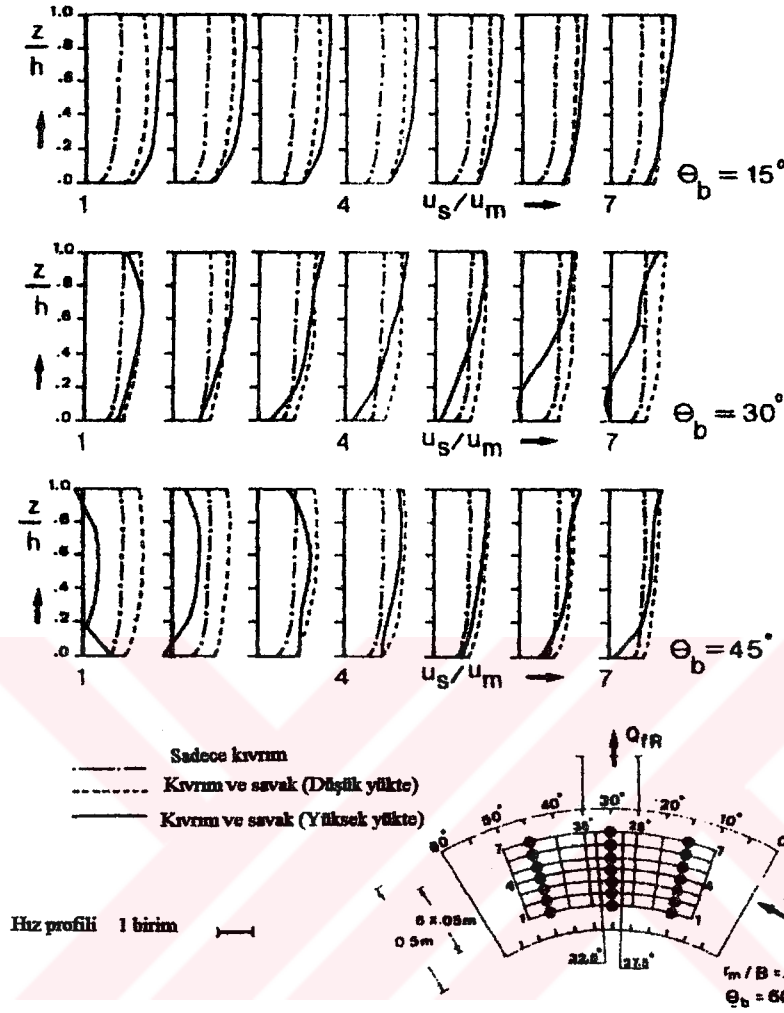
savak akımı memba taraftaki teğetsel hız dağılımına çok az etki etmektedir. Kıvrım dış kıyısında taban yakınlarda ters akım meydana gelmekte ve iç kıyıda gelişen durgunluk bölgesi düşey akım hızında derinlikle değişikliklere neden olmaktadır. Bu da, akımın dış kıyıya doğru yönelmesine neden olarak, yüzeyde rölatif olarak daha büyük hızlar meydana getirmektedir.



Şekil 2.1. Dış kıyısında yan savağa sahip 60°'lik bir kanal kıvrımı
(Y.R.Fares ve J.G.Herbertson, 1993)

Kıvrımlı kanallarda yan savak akımı ile ilgili detaylı çalışmalardan biri de Ağaçcıoğlu (1995) tarafından yapılmıştır. Araştırmacı, 180°'lik kıvrımlı bir kanalda yan savak akımını incelemiştir. Ayrıca bu çalışmada, farklı akım şartları için kanal ekseni ve kreti boyunca su yüzü profillerinin, boyuna (teğetsel) hız dağılımlarının ve yan savak debi katsayılarının değişimi incelenmiştir.

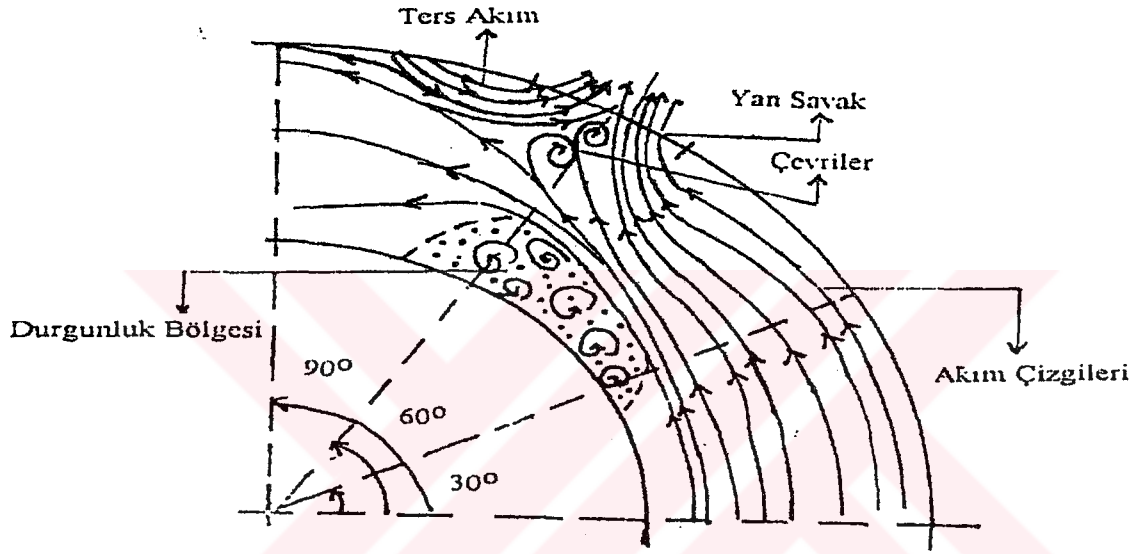
Araştırmacı, çalışmasında 0.12m, 0.16m ve 0.20m eşik yüksekliklerine sahip 0.25m, 0.50m ve 0.75m uzunluklu dikdörtgen en kesitli savaklar kullanmıştır. Deneyler 7.95-68.8 lt/s'lik debi aralıklarında ve $Fr=0.1-0.7$ aralığında nehir rejimli akım şartlarında yapılmıştır.



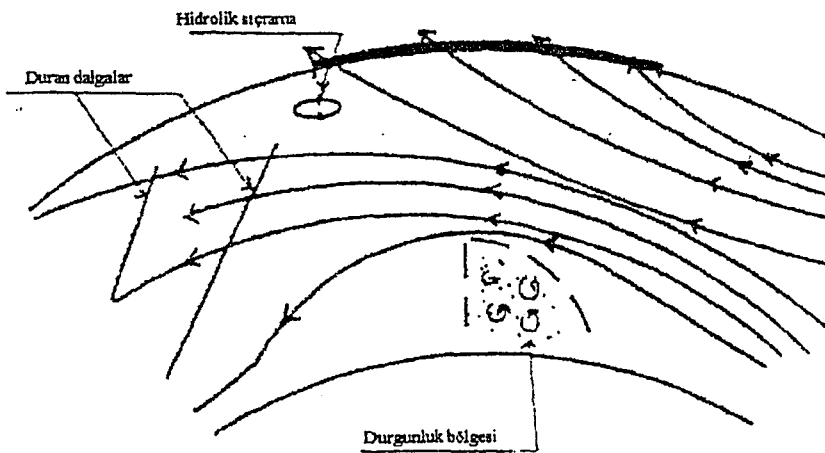
Şekil 2.2. Dış kıyısındaki yan savak üzerinden yanal akıma sahip 60°'lik kanal kıvrımında derinlik boyunca hız dağılımları(Y.R.Fares ve J.G.Herbertson, 1993)

Ağaçcıoğlu (1995) ana kanal boyunca su yüzü profillerinin fazla değişiklik göstermediğini, su yüzünün yataya yakın olduğunu ifade etmiştir. Kıvrım girişine yerleştirdiği savak bölgesinde ($\theta=0^\circ$) ise, yan savak kreti boyunca su yüzü profilinin savak membasından biraz önce azalmaya başladığını ve savak başlangıcından sonra minimuma ulaştığını gözlemlemiştir. Nap kalınlığının ve Froude sayısının değişmesiyle minimum noktanın yerinin ileri geri yer değiştirdiğini ifade etmiştir. Ayrıca nap kalınlığı arttıkça ve Froude sayısı azaldıkça minimum noktanın daha belirgin hale geldiğini gözlemlemiştir. Araştırmacıya göre, minimum noktadan sonra su yüzü profili yan savak ortasına kadar hızla yükselmekte ve savak sonuna doğru azalarak devam etmektedir. Bu profil küçük savak uzunluklarında daha belirgin olmakta, büyük savak uzunluklarında ise savağın yarısından sonra yataya yakın gitmektedir.

Araştırmacı, savak kesitinde ana kanalın iç kısmında bir durgunluk bölgesi gözlemlemiş ve bunun nedeninin yan savağın ilk yarısının sonunda ayrılma bölgesi, ikinci yarısında ise ters akımın meydana gelmesiyle oluştuğunu ifade etmiştir (Şekil 2.3). Ayrıca ana kanaldaki akımın Froude sayısı arttıkça ters akımın küçüldüğünü, yan savak mansabına ilerleyerek kaybolduğunu ve bu noktadan itibaren yan savak ucunda hidrolik sıçramanın meydana geldiğini gözlemlemiştir ($Fr_1=0.6-0.7$).



Şekil 2.3 $Fr_1 < 0.3$ için yan savak boyunca akım çizgilerinin değişimi (H.Ağaçcıoğlu, 1995)



Şekil 2.4 $Fr_1 > 0.3$ için yan savak boyunca akım çizgilerinin değişimi (H.Ağaçcıoğlu, 1995)

Kıvrımlı kanalda ise kıvrımın 60° 'lik bölgesinde savak ekseninde su yüzü profilindeki minimum noktanın daha belirgin olduğunu ve bunun da kıvrım etkisinden kaynaklandığını söylemiştir. Doğrusal kısımda gözlemlediği olayların kıvrımlı kısımda da aynen meydana geldiğini fakat kıvrımlı kısımda etkilerin daha belirgin olduğunu ifade etmiştir. Ana kanaldaki akımın Froude sayısı 0.4 civarında ters akımın küçüldüğünü ve yan savak mansabına doğru giderek kaybolduğunu, Froude sayısı 0.7 civarında ise doğrusal yaklaşım kanalındaki gibi hidrolik sıçramanın meydana geldiğini belirtmiştir (Şekil 2.4). Froude sayısının daha büyük değerlerinde ise ($Fr_1=0.8$) hidrolik sıçramanın daha da mansaba kayarak duran dalgaların oluştuğunu gözlemlemiştir. Bunun nedenini de, maksimum hız yörüngesinin 60° de dış kıyıya yerleşmesinden dolayı yan savak bölgesindeki Froude sayısının ana kanaldaki ortalama Froude sayısından daha büyük olmasıyla açıklanmıştır. Araştırmacı diğer savak bölgelerinde de benzer su yüzü profilleri gözlemlemiştir.

Ağaçcıoğlu (1995), su yüzü profilinin dışında teğetsel hız dağılımlarının değişimini de inceleyerek maksimum hız yörüngesinin doğrusal yaklaşım kanalında ana kanal ekseninde, kıvrım girişinden itibaren $\theta=30^\circ$ de iç kıyıda, $\theta=30^\circ$ den sonra ise $\theta=60^\circ$ de dış kıyıya yerleştiğini ve $\theta=120^\circ$ ye kadar dış kıyıda kaldığını, $\theta=120^\circ$ den sonra ise tekrar kanal eksenine döndüğünü ifade etmiştir. Ayrıca ana kanalda aynı enkesitte iç kıyı, dış kıyı ve kanal ekseninde olmak üzere üç ayrı düşey kesit boyunca, savaklanma olması ve yan savaklar kapalı iken teğetsel hızları ölçmüştür.

Araştırmacı, aktif savaklanma durumunda savak membasındaki akım hızlarının değişmediğini akımın savak başlangıcından önce hızlanmaya başladığını, maksimum hız yörüngesinin $\theta=30^\circ$ de kanal eksenine yönelerek ve yan savak mansap ucunda yanal akımdan dolayı dış kıyıda teğetsel hızların düşerek üst bölgede daha hızlı bir akımın meydana gelmesine neden olduğunu ifade etmiştir. İç kıyıda ise üst bölgelerde akımın tamamen durduğunu ve bu etkinin kanal eksenine kadar yayıldığını gözlemlemiştir. $\theta=60^\circ$ de ise maksimum teğetsel hızları savak kesitinde dış kıyıda tespit etmiştir. Bunlara bağlı olarak araştırmacı maksimum hız yörüngesinin 30° den sonra 45° de dış kıyıya yerleştiğini ve maksimum hız yörüngesinin doğrultusunun, bu bölgede, yanal akım doğrultusuna yakın olduğunu ifade etmiştir.

Araştırmacı, diğer yan savak bölgelerinde ($\theta=90^\circ$, $\theta=120^\circ$ ve $\theta=150^\circ$) ise savaklar kapalı iken ölçtüğü teğetsel hızlara yakın değerler elde etmiştir. Ayrıca yan savak üzerindeki su yüzü profilleri ve teğetsel hız dağılımlarına sekonder akımın etkisinin oldukça fazla olduğunu ifade etmiştir.

Ağaçcıoğlu (1995), kıvrım boyunca yanal akım alanını da incelemiştir. Kıvrımdan dolayı meydana gelen sekonder akımın etkisiyle doğrusal kanaldaki şartların daha küçük L/b değerlerinde oluştuğunu ifade etmiştir. Doğrusal kısımda ve kıvrım başlangıcında büyük yan savak uzunluklarında ($L/b=1.875$) çok küçük Froude sayılarında sekonder akımın etkisini belirgin olarak gözlemlemiş, daha küçük yan savak uzunluklarında ($L/b=0.625$ ve $L/b=1.25$) ise bu etkiyi görememiştir. Ancak 60° de $L/b=0.625$ için bile sekonder akımın etkisini görmüş ve bu etkinin 90° de devam ettiğini, 120° ve 150° de ise azaldığını ifade etmiştir. Ayrıca araştırmacı kıvrımlı bir kanalda sekonder akımın su yüzü profiline etkisinin savak uzunluğuna ve kıvrım açısına göre değiştiğini belirtmiştir.

Ağaçcıoğlu (1995), C_d yan savak debi katsayısını belirlemek için yaptığı boyut analizi sunucunda olaya etkili parametreleri,

$$C_d = f\{Fr_1, p/h_1, L/b, L/r, \alpha\} \quad (2.1)$$

olarak belirlemiştir.

2.3 İncelenecek Problem

Yan savak akımları Bölüm 1.1.2’de verilen

$$C_d = f\left\{Fr_1, \frac{L}{b}, \frac{h}{L}, \frac{p}{h}, \psi\right\} \quad (2.2)$$

gibi çok sayıda boyutsuz parametrelerin etkisi altındadır. Yanal akımdan dolayı ana kanaldaki akımın üniformluğu bozulmakta ve sekonder akım meydana gelmektedir. Bu sebeple esasında yan savak akımı üç boyutlu bir akımdır. Üç boyutlu akım alanının çözümü karmaşık ve zor olduğundan araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda, akımı bir boyutlu veya iki boyutlu olarak ele almışlar, bazı kabuller yaparak olayı inceleyerek deneysel yolla problemi çözmeye çalışmışlardır.

Bu çalışmada da, literatürdeki çalışmalara paralel olarak yan savak üzerindeki çevriler ve türbülans sebebiyle meydana gelen enerji kayıpları ihmal edilerek enerjinin yan savak boyunca sabit kaldığı kabul edilmiştir. Ayrıca yan savak bölgesinde hidrostatik basınç dağılımı kabulü yapılmıştır.

Daha önce yapılan çalışmalar genellikle yan savak debi katsayısının ve su yüzü profillerinin belirlenmesi üzerinedir. Bu çalışmaların çoğunda deneysel çalışmalara dayanan ampirik

ifadeler geliştirilmiş ve olaya etkili sınırlı sayıda parametre göz önüne alınmıştır. Yapılmış olan çalışmalar genellikle dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savaklar üzerine olup, trapez ve dairesel enkesitli kanallara yerleştirilmiş yan savaklarla ilgili de az sayıda da olsa çalışmalar mevcuttur. Yan savak tipi olarak genellikle dikdörtgen seçilmesine karşın trapez ve üçgen kesitli yan savaklar üzerine de çalışmalar bulunmaktadır.

Çeşitli kanal ve yan savak tipleri için yapılan bu çalışmaların hemen hemen tamamı doğrusal kanallarla ilgilidir. Kıvrımlı kanallarda yan savak akımı ile ilgili Y.R.Fares ve J.G.Herbertson (1994) tarafından 60°'lik bir kıvrımda kanalın dış kıyısına yerleştirilen kalın kenarlı yan savak üzerine yapılan çalışma ile Yüksel ve Ağaçcıoğlu (1998)'nin 180°'lik kıvrımlı bir kanalda keskin kenarlı dikdörtgen kesitli yan savaklarla ilgili yapılan çalışmalar bu konudaki başlıca çalışmalardır. Ancak hareketli tabanlı kanallarda yan savak akımı ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışma, nehir rejimli akıma sahip hareketli tabanlı dikdörtgen en kesitli kıvrımlı bir kanala yerleştirilen, dikdörtgen kesitli ve keskin kenarlı yan savaklarda hız profillerinin ve taban profillerinin, olaya etkili boyutsuz parametreler için değişimini kapsamaktadır. Çalışmada, hareketli tabanlı dikdörtgen en kesitli kıvrımlı bir kanalda farklı akım şartları ve yan savak boyutları için yanal akımın taban profiline etkileri araştırılacaktır.

3. DENEY KANALI VE BOYUT ANALİZİ

3.1 Giriş

Matematiksel modellerle problemlerin teorik çözümü, hidrolik mühendisliğinde sıkça kullanılan bir yoldur. Matematik modellerle bazı problemlerin tam olarak ifade edilmesi mümkün olmadığından, çözüme ulaşmak için yapılan kabullerin ve hesaba katılmayan diğer faktörlerin etkisi, laboratuvar model çalışmaları ile tespit edilmektedir. Böylece, teorik sonuçların model çalışmalarıyla karşılaştırılması ve teorinin gerçeğe ne kadar uygun olduğunun belirlenmesi mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, incelenecek problemle ilgili boyut analizi yapılarak olaya etkili boyutsuz parametreler belirlenmiş, doğrusal kanal ve $\theta=30^\circ$ ’lik kıvrım açısında hareketli tabanlı bir kanalda yan savak akımının özellikleri deneysel olarak incelenmiştir.

Bu bölümde, deney sistemi ve özellikleri, ölçüm teknikleri ve deneysel çalışmanın özelliklerinden bahsedilecektir. Ayrıca, deneysel çalışmada gözönüne alınan olaya etkili boyutsuz parametreler boyut analizi yardımıyla belirlenecektir.

3.2 Deney Tesisi

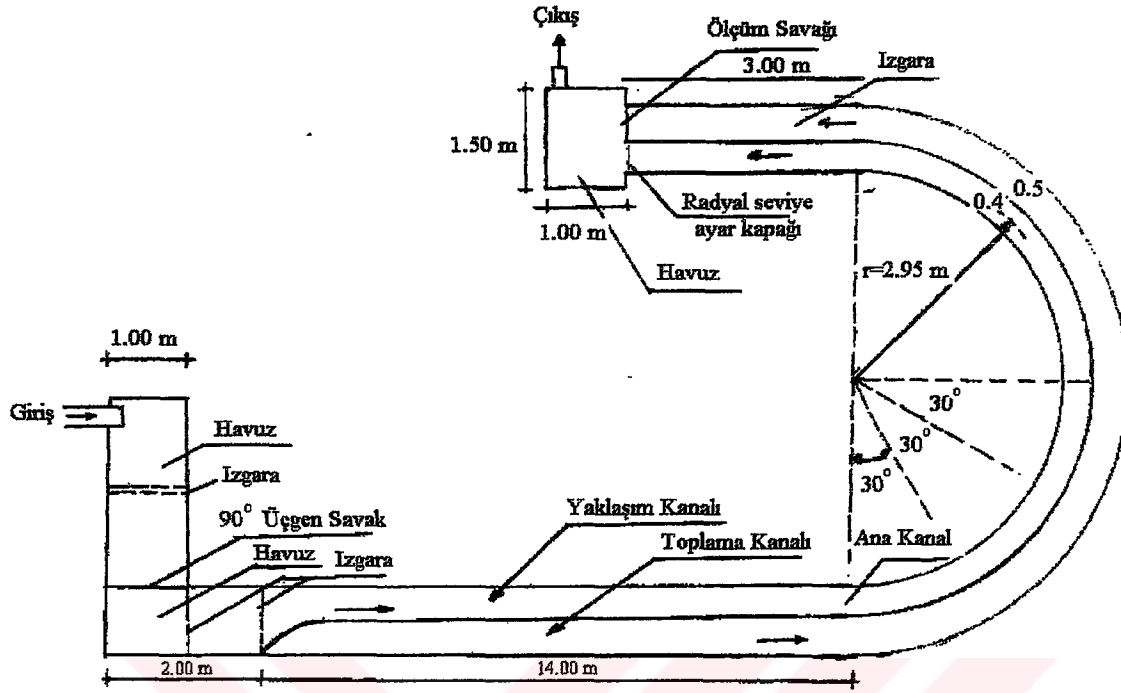
Bu araştırmada, deneysel çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalı Kıyı ve Liman Laboratuvar’ında mevcut dikdörtgen enkesitli 180° ’lik kıvrımlı kanalda gerçekleştirilmiştir. Mevcut kanal 0.90 m genişliğinde ve 0.55 m yüksekliğinde alüminyum tabanlıdır (Şekil 3.1).

Mevcut kanal, ana kanal genişliği net 0.40 m olacak şekilde 3.0×2.0 cm’lik kutu profillere monte edilmiş 3 mm’lik sac levhalarla ikiye bölünmüştür.

Deney kanalı başlangıçtan itibaren aşağıda belirtilen bölümlerden oluşmaktadır.

1) Ana Depo:

Laboratuvarda bulunan alt depodan pompa vasıtasıyla basılan su ana depoya gelmekte ve ana depodaki fazla su ise dolu savaktan savaklanarak bir by-pass borusundan tekrar alt depoya dönmektedir. Bu sirkülasyon sırasında ana depodaki su yüksekliği sabit kalmakta ve buradan, üzerinde bir vana bulunan boru vasıtasıyla istenilen miktarda su deney kanalını besleyen dinlendirme havuzuna alınmaktadır.



Şekil 3.1. Deney kanalı planı.

2) Deney Kanalını Besleyen Dinlendirme Havuzu ve Üçgen Savak:

Kanalı besleyen dinlendirme havuzu 2.5×1.0 m boyutlarında ve 0.7 m yüksekliğinde olup ana depodan gelen suyu deney kanalına iletmektedir. Suyu sakinleştirmek için havuzun içine delikli tuğla ve ızgara yerleştirilmiştir. Havuzun sonunda ise üst genişliği 0.7 m olan bir üçgen ölçüm savağı mevcuttur. Savağın tepe noktasının havuz tabanından yüksekliği 0.24 m olup, savak ana kanala verilen debinin ölçülmesinde kullanılmıştır. Üçgen savak üzerindeki napın ölçümü için savak kesitinden 0.35 m içeride sabit bir limnimetre yerleştirilmiştir.

3) Savaktan Sonraki Dinlendirme Havuzu:

Üçgen savaktan savaklanarak kanala akan su 2.00×0.90 m boyutlarında ikinci bir dinlendirme havuzunda dinlendirilmektedir. Bu havuzun ortasında ve mansabında bulunan birer delikli perde yardımıyla su sakinleştirilmektedir.

4) Deney Kanalı:

Deney kanalı birbirine bağlı yedi bölümden meydana gelmiştir. Bunlar sırasıyla;

A) Yaklaşım Kanalı:

Yaklaşım kanalı 3.70×0.90 m'lik doğrusal giriş kanalı, 2.00 m'lik geçiş kanalı ve 10.30 m uzunluğunda 0.40×0.55 m en kesite sahip doğrusal ana kanaldan oluşmaktadır. Yaklaşım

kanalına giren su daralma kesitinden doğrusal kanal bölgesindeki savak membasına kadar 7.02 m'lik uzunluğa sahiptir.

B) Kıvrımlı Kanal:

Kıvrımlı kanal $r=2.95$ m eksen yarıçaplı ve 9.27 m radyal eksen uzunluğuna sahip 180° lik bir kanaldır.

C) Doğrusal Çıkış Kanalı:

3.00 m uzunluklu ikinci doğrusal çıkış kanalının sonunda 0.40×0.20 m boyutlarında 2 parçalı radyal seviye ayar kapağı bulunmaktadır.

D) Yan Savak Ayırma Duvarı:

Ana kanal dış duvarı taban ve üstten 3.0×2.0 cm'lik kutu profillerle tutturulan 3.0 mm'lik sabit ve değişebilir saç levhalardan yapılmıştır. Alttaki kutu profiller alüminyum tabana sabitlenmiştir.

E) Toplama Kanalı:

Yan savaktan savaklanan su 0.50 m genişlikli toplama kanalı ile uzaklaştırılmıştır. Toplama kanalı ana kanala paralel olarak düzenlenmiş bir kanaldır. Toplama kanalı sonuna yerleştirilen 0.5 m genişlikli 0.05m eşik yüksekliğine sahip 90° tepe açılı üçgen savakla, savaklanma debisi belirlenmiştir. Bunun için savaktan 0.35m mesafeye yerleştirilen limnimetreden (± 0.1 mm hassasiyetli) yararlanılmıştır. Ayrıca kıvrımdan sonra doğrusal çıkış kanalı başına iki sıra delikli tuğla yerleştirilerek akımın savağa çalkantısız ulaşması sağlanmaya çalışılmıştır.

F) Boşaltım Havuzu:

Ana kanal ve toplama kanalından gelen akım boşaltım havuzuna dökülerek büyük depoya bir boru vasıtasıyla iletilmiştir.

G) Hareketli Seviye Ölçüm Arabası:

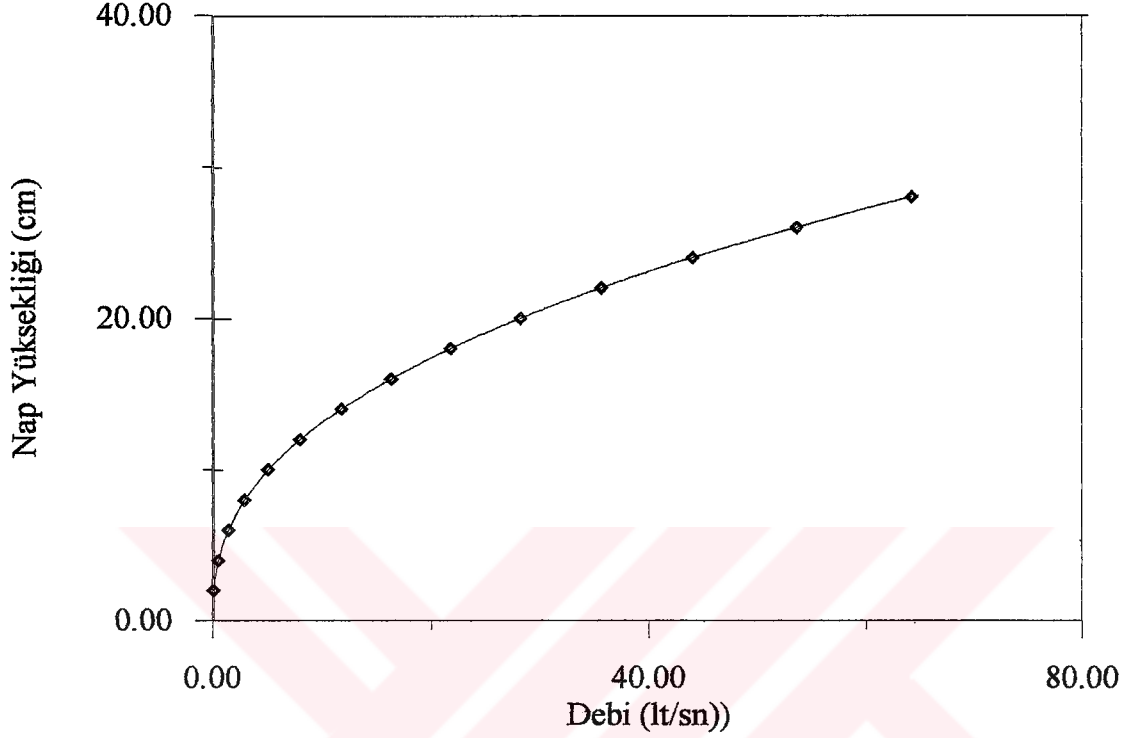
Ana kanal ve yan savak üzerinde yapılan seviye ölçümleri raylar üzerinde hareket eden arabaya yerleştirilmiş bir limnimetre (± 0.1 mm hassasiyetli) ile yapılmıştır. Araba, iç ve dış eğrilik yarıçapını kıvrımlı kanala uyduracak şekilde özel olarak dizayn edilmiştir.

3.3 Giriş Üçgen Savak Anahtar Eğrisinin Elde Edilmesi

Ana kanala gelen suyun debisinin hesabı için, değişik hacimlere sahip kaplar ve kronometre yardımıyla giriş üçgen savağın anahtar eğrisi belirlenmiştir. Üçgen savak için elde edilen anahtar eğrisi Şekil 3.2 de verilmiştir. Ana kanal debisinin hesabı için,

$$Q = \left[\frac{h}{5.108} \right]^{2.4469} \quad (\text{lt/sn}) \quad (3.1)$$

formülü kullanılmıştır. Burada, h cm olarak üçgen savak üzerindeki nap kalınlığıdır.



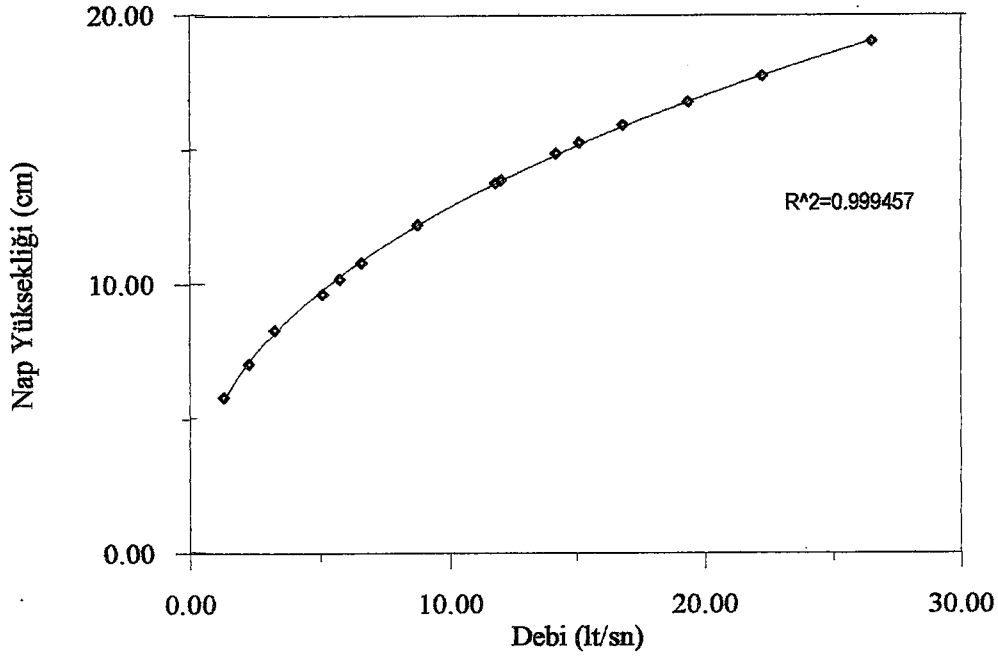
Şekil 3.2. Üçgen savak anahtar eğrisi

3.4 Çıkış Üçgen Savak Anahtar Eğrisinin Elde Edilmesi

Üçgen çıkış savak anahtar eğrisi, ana kanaldaki akımın tamamı toplama kanalına verilerek elde edilmiştir. Çeşitli ana kanal debilerinde üçgen çıkış savağı üzerindeki nap kalınlıkları ölçülerek elde edilen anahtar eğrisi Şekil 3.3 de verilmiştir. Yan savaktan savaklanan debi için,

$$Q_w = 0.0134 \times h^{2.5896} \quad (\text{lt/sn}) \quad (3.2)$$

ifadesi elde edilmiştir. Burada, h cm olarak üçgen savak üzerindeki nap kalınlığıdır.



Şekil 3.3. Çıkış üçgen savak anahtar eğrisi.

3.5 Deneylerin Yapılışı

Model kanalda yapılan deneysel çalışmalar iki ana grupta toplanmıştır.

3.5.1 Hız Profillerinin Belirlenmesi İle İlgili Çalışmalar

Dikdörtgen kesitli savaklarda 50 cm uzunluğunda ve 17 cm yüksekliğindeki savaklar için hem doğrusal kanalda hem de $\theta=30^\circ$ 'lik kıvrım açısında hız profilleri alınmıştır.

3.5.2 Taban Profilinin Elde Edilmesi İle İlgili Çalışmalar

Taban profilinin elde edilmesi için doğrusal kanal ve $\theta=30^\circ$ 'lik kıvrım açısında, 25, 50 cm uzunluğunda ve 7, 12, 17 cm yüksekliğindeki yan savaklarda deney yapılmış, içkiyi, eksen ve yan savak kreti boyunca taban profilleri çıkarılmıştır. Doğrusal kanal savak bölgesi, 10.30m'lik doğrusal kanalın orta kısmında yer almaktadır. Daha sonra kıvrıma geçilmiş ve $\theta=30^\circ$ 'lik kıvrım açısında çalışılmıştır. Her deneyde ana kanaldaki debi vana yardımıyla ayarlanmış, kanalın mansap ucundaki radyal kapaklarla da ana kanaldaki akım şartları değiştirilmiştir. Ana kanal taban eğimi ‰ 1 eğimli olup; ana kanal genişliği, kıvrımlı kanalın eğrilik yarıçapı ve kanal eğimi sabittir. Deneyler nehir rejimli akım şartlarında ve yan savaktan serbest savaklanma durumunda gerçekleştirilmiştir. Yan savak nap kalınlığı olarak, yan savak menbaında ana kanal eksenindeki nap kalınlığı dikkate alınmış, hız ve Froude sayısı gibi akım parametreleri buna göre belirlenmiştir. Ana kanal tabanına 15 cm

kalınlığında ve $d_m=1.28$ mm olan kuvars kumu serilerek, her deneyden önce kanal tabanı düzenlenmiştir.

3.6 Deneysel Çalışmada Etkili Parametrelerin Belirlenmesi

Dikdörtgen en kesitli kıvrımlı bir kanalda dikdörtgen yan savak üzerindeki akıma birçok değişken etki etmektedir. Bunlar Çizelge 3.1’de sıralanmıştır.

Çizelge 3.1. Yan Savak Akımına Etki Eden Parametreler

DEĞİŞKENLER	İŞARET	BİRİM	BOYUT
1) Kanala Ait Değişkenler			
a) Kanal Pürüzlülüğü	n	---	---
b) Kanal Taban Eğimi	J_o	---	---
c) Ana Kanal Genişliği	b	m	L
d) Kıvrım Eğrilik Yarıçapı	r	m	L
e) Kıvrım Merkez Açısı	θ	---	---
2) Akışkana Ait Değişkenler			
a) Akışkanın Özgül Kütlesi	ρ	kg/m ³	ML ⁻³
b) Akışkanın Dinamik Vizkozitesi	μ	kg/m.sn	ML ⁻¹ T ⁻¹
c) Yüzey Gerilmesi	σ	N/m ²	KL ⁻²
d) Yerçekimi İvmesi	g	m/sn ²	LT ⁻²
3) Akıma Ait Değişkenler			
a) Akım Derinliği	h	m	L
b) Yan Savak Boyunca Değişen Ortalama Akım Hızı	V	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 Tane Medyan Çapı	D_m	m	L

3.7 Boyut Analizi

Yan savak debi katsayısı C_d , aşağıdaki parametrelerin fonksiyonudur.

$$f(C_d, V_1, h_1, b, g, J_o, p, r, n, \theta, \rho, \rho_s, \sigma, \mu, \psi, D_m, L) = 0 \quad (3.3)$$

Elemanter bir akım parçacığı için J_0 , n , σ ve μ etkileri çok küçük olduğundan, olaya etkileri ihmal edilebilir (El-Khashap, 1975). Sonuç olarak, hareketli tabanlı kıvrımlı bir kanaldaki yanal akıma etki eden parametreler,

$$f(C_d, V_1, h_1, b, g, L, p, r, \theta, \rho, \rho_s, \psi, D_m) = 0 \quad (3.4)$$

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

Deneysel çalışmada olaya etkili değişkenleri azaltmak ve deneysel çalışmaların sonuçlarını daha kolay ortaya koymak için boyut analizi uygulanarak, ρ , g ve h_1 değişkenleri tekrarlanan değişkenler olarak dikkate alınabilir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Yan Savak Katsayısına Etki Eden Parametreler İçin 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}
	b	V_1	L	p	ψ	r	θ	C_d	D_m	ρ_s	h_1	ρ	g
L	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-3	1	-3	1
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
T	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2

Çizelge 3.2'den ;

$$k_{10} + k_{12} = 0$$

$$-k_2 - 2k_{13} = 0$$

$$k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_6 + k_9 - 3k_{10} + k_{11} - 3k_{12} + k_{13} = 0$$

bağıntıları yazılabilir. Bu üç denklemden k_{11} , k_{12} ve k_{13} çekilirse,

$$k_{11} = -k_1 - \frac{1}{2}k_2 - k_3 - k_4 - k_6 - k_9$$

$$k_{12} = -k_{10}$$

$$k_{13} = -\frac{1}{2}k_2$$

eşitlikleri elde edilir. Buna bağlı olarak boyutsuz parametreler Çizelge 3.3 yardımıyla elde edilebilir.

Çizelge 3.3 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}
	b	V_1	L	p	ψ	r	θ	C_d	D_m	ρ_s	h_1	ρ	g
Π_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π_2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1/2	0	-1/2
Π_3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
Π_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Π_6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0
Π_7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Π_8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Π_9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0
Π_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0

Yukarıdaki tablodan olaya etkili boyutsuz parametreler aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= b/h_1 & \Pi_2 &= \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}} = Fr_1 & \Pi_3 &= L/h_1 & \Pi_4 &= p/h_1 \\ \Pi_5 &= \psi & \Pi_6 &= r/h_1 & \Pi_7 &= \theta & \Pi_8 &= C_d & \Pi_9 &= D_m/h_1 \\ \Pi_{10} &= \rho_s/\rho \end{aligned}$$

Bu boyutsuzlar arasında bir takım işlemler yapılırsa,

$$\frac{\Pi_3}{\Pi_1} = \frac{L/h_1}{b/h_1} = \frac{L}{b}$$

$$\frac{\Pi_9}{\Pi_6} = \frac{D_m/h_1}{r/h_1} = \frac{D_m}{r}$$

boyutsuzları elde edilir. O halde olaya etkili boyutsuz parametreler ;

$$f(L/b, Fr_1, p/h_1, \psi, \theta, C_d, \rho_s/\rho, D_m/r) = 0 \quad (3.5)$$

yazılabilir. Burada; Fr_1 , yan savak membasında ana kanal ekseninde ölçülen su derinliğine göre bulunan Froude sayısıdır.

Deneyisel çalışmalarda yan savak membasında ana kanal eksenindeki h_1 su derinliğine göre bulunan Froude sayısı dikkate alınmıştır. Gerçekte ise yan savak boyunca savaklanma nedeniyle Froude sayısı değişmektedir. Bu sebeple, yan savak boyunca değişen Froude sayısının etkili olduğu ψ sapma açısının (H. Tozluk, 1994) olaya etkisi bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Ayrıca, taban malzemesi çapı, kıvrım eğrilik yarıçapı da sabit tutulduğundan, θ ve D_m/r boyutsuzları da çalışmada göz önüne alınmamıştır. Yukarıda boyutsuz parametre olarak belirlenmiş olan Fr_1 , L/b , p/h_1 , θ 'nın etkisi Bölüm 4'de gözönüne alınarak değerlendirilecektir.



4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Deneyisel Çalışma

Araştırmaya konu olan deney kanalı Y.T.Ü. Hidrolik Laboratuvarında inşaa edilmiştir. Ana kanal 14 m'lik doğrusal yaklaşım kanalı, 180° lik 2.95 m eksen eğrilik yarıçapına sahip kıvrımlı kanal ve kıvrımdan sonra 3 m'lik doğrusal mansap kanalından oluşmaktadır. Ana kanal 0.40 m genişliğinde ve 0.55 m yüksekliğindedir. Dikdörtgen kesitli ve keskin kenarlı yan savaklar, doğrusal kısımda ana kanalın girişten ve kıvrımdan etkilenmeyen 14 m'lik doğrusal kısmın ortasına, kıvrımda ise yan savak ortaları $\theta=30^\circ$ lik kıvrım açısını görecek şekilde yerleştirilmiştir. Ana kanal tabanına 15 cm kalınlığında ortalama çapı $d_m=d_{60}=1.28$ mm olan kuvars kumu serilmiştir. Tabandaki bu malzemeyi yaklaşık $h=25$ cm'lik akım derinliğinde hareket ettirebilecek kritik hız $U_{kr}=0.50$ m/s olarak hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan yan savakların boyutları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Ana kanal taban eğimi 0.001 ve sabittir. Ana kanal genişliği sabit tutulmuştur. Ana kanaldaki akım derinliği kanalın mansap ucuna yerleştirilen radyal seviye ayar kapağı ile değiştirilmiştir. Deneyler nehir rejimli akım şartlarında ve serbest savaklanma hali için gerçekleştirilmiştir. Yan savak nap kalınlığı olarak, yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliğine göre elde edilen nap dikkate alınmıştır. Seviye ölçümleri için raylar üzerinde hareket eden arabaya monte edilmiş mm hasasiyetli limnimetre kullanılmıştır.

Çizelge 4.1 Çalışmada kullanılan yan savak boyutları

Savak No	Savak Uzunluğu L (cm)	Kret Yüksekliği p (cm)
1	25	7
2	25	12
3	25	17
4	50	12
5	50	17

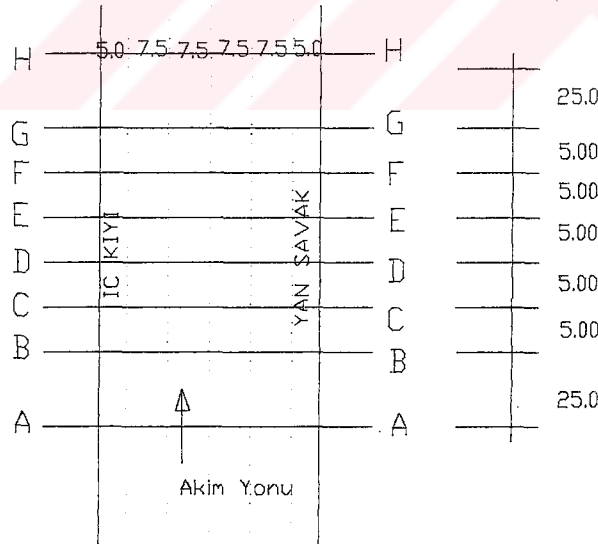
Doğrusal kanalda ve $\theta=30^0$ 'lik kıvrım açısında, $p=17$ cm kret yüksekliğindeki $L=25$ cm ve $L=50$ cm uzunluğundaki yan savaklarda çeşitli akım şartları altında yan savak boyunca ana kanaldaki çeşitli en kesitlerde enine ve boyuna hız profilleri çıkarılmıştır.

Taban profillerinin elde edilmesi için, doğrusal kanalda ve $\theta=30^0$ 'lik kıvrım açısında farklı akım şartları altında deneyler yapılmıştır. $L=25$ cm ve $L=50$ cm uzunluğunda yan savaklarda, değişik kret yüksekliklerinde oluşan taban profilleri çıkartılmıştır.

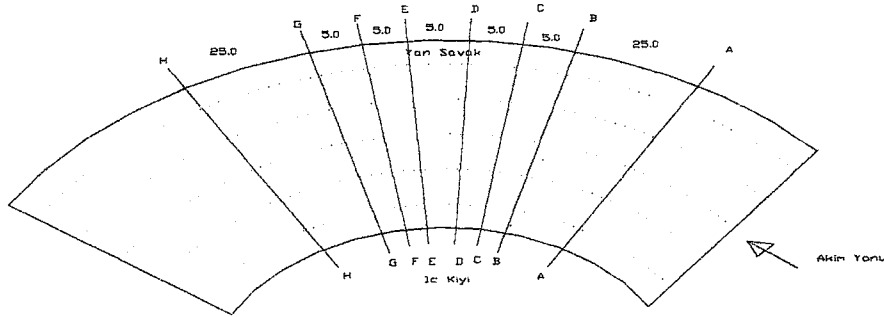
4.2 Doğrusal Kanalda ve Kıvrımda Oluşan Hız Profilleri ve Değerlendirilmesi

4.2.1 $L=25$ cm Uzunluğundaki Yan Savakta Doğrusal Kanal ve Kıvrımda Oluşan Hız Profilleri

Bu bölümde, doğrusal kanala ve $\theta=30^0$ 'lik kıvrım açısına yerleştirilen yan savak bölgesindeki yanal akımın ana kanaldaki hız dağılımına etkisi incelenmiştir. Doğrusal kanalda, $L=25$ cm ve $p=17$ cm kret yükseklikli yan savakta, yan savak boyunca 8 en kesitte ve her en kesitte 5 düşey derinlik boyunca boyuna ve enine noktasal hızlar belirlenmiştir (Şekil 4.1.a). Yan savak B-B en kesitinde başlamakta, G-G en kesitinde sonlanmaktadır.



Şekil 4.1.a Noktasal hızların belirlendiği istasyonlar ($L=25$ cm, ölçeksiz)



Şekil 4.1.b Noktasal hızların belirlendiği istasyonlar ($L=25$ cm,ölçeksiz)

$L=25$ cm ve $p=17$ cm kret yükseklikli yan savak yerleştirilen doğrusal kanalda yapılan deneye ait akım şartları Çizelge 4.2’de ve bu akım şartları altında oluşan enine ve boyuna hız profilleri de Şekil 4.2’de verilmiştir. V_x enine hızı, V_y boyuna hızı ve V_m yan savak başlangıcında B-B en kesitinde ortalama hızı ifade etmektedir. h_1 yan savak başlangıcında (B-B en kesiti) ana kanal eksenindeki (3-3 boyuna kesiti) akım derinliğidir. z ise ölçüm yapılan noktanın kanal tabanına olan derinliğidir. Hız profillerinde, gerek noktasal hızlar ve gerekse noktasal hızı belirlenen noktalar boyutsuz olarak verilmiştir.

Akım yan savak giriş etkisi ile yan savaktan önce, A-A en kesiti ve yan savak başlangıcı olan B-B en kesitinde iç kıyıya yönelmiştir. C-C en kesitinde yan savak yakınlarındaki 1-1 boyuna kesitin üst bölgelerinde akım yan savağa yönelmiştir. C-C en kesitinden sonra da, 1-1 boyuna kesiti boyunca yanal akım yan savak mansabına doğru artmaktadır. İç kıyı ile kanal eksen arasında, akım iç kıyıya doğrudur. Gerek yan savak uzunluğu L ’nin kısa olması ve gerekse boyuna hızın yüksek olması sebebiyle, yan savak boyunca yanal akım tarafından yaratılan sekonder akım çok fazla şiddetlenememekte, ters akım ve durgunluk bölgesi oluşmamaktadır.

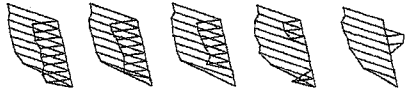
Çizelge 4.2 L=25 cm ve p=17 cm'lik yan savak için hız profiline ait akım şartları

Ana Kanal	Savaklanma	Savaklanma	Savak	Savak	Savak	Savak
Debisi	Debisi	Oranı	Membasında	Mansabında	Girişinde	Memba
Q(lt/s)	Q _w (lt/s)	Q _r	Ortalama Hız	Ortalama Hız	Froude	Ucunda Nap
			V ₁ (m/s)	V ₂ (m/s)	Sayısı	Kalınlığı
					Fr	h(cm)
60,14	10,73	0,18	0,680	0,559	0,462	5,10

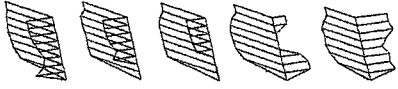
Kıvrımlı kanalda ($\theta=30^\circ$), p=17 cm kret yüksekliğinde ve L=25 cm uzunluğundaki yan savak için, yapılan deneyde de doğrusal kanaldaki akım şartları gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.2). Yan savak boyunca 8 en kesitte ve her en kesitte 5 düşey derinlik boyunca enine ve boyuna hızlar ölçülmüştür (Şekil 4.1.b).

Yan savak giriş en kesiti B-B, çıkış en kesiti G-G'dir. Elde edilen enine ve boyuna hız profilleri Şekil 4.3'de verilmiştir. Bu deneyde akım ilk iki en kesitte iç kıyıya yönelerek ilerlemektedir. C-C en kesitinde giriş etkisi ile akım; yan savak ile kanal eksenı arasında alt kısımlarda iç kıyıya doğru, üst kısımlarda yan savağa doğru yönelmiş bir şekilde akmaktadır. C-C en kesitinden itibaren akım, 1-1 ve 2-2 boyuna en kesitlerinde üst kısımlarda yan savağa yönelerek akmakta, ancak enine hız boyuna hızdan etkin hale gelmemekte, ters akım alanı oluşmamaktadır. Kanal eksenı ile iç kıyı arasında bir durgunluk bölgesi gözlenmemiştir.

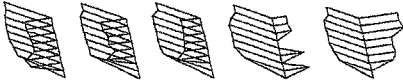
Kıvrım tarafından yaratılan ilave sekonder akımın etkisi ile, yanal akım doğrusal kanala göre daha fazla güçlenmiştir. Doğrusal kanalda, iç kıyı ile eksen arasında iç kıyıya doğru olan yanal akım, kıvrımda daha kuvvetli sekonder akım etkisiyle azalmıştır. Doğrusal kesimde, yalnızca savak kreti yakınlarında yanal akım savağa yönelmiş iken, kıvrımda kanal eksenı yakınlarına kadar savağa yönelerek akmaktadır. Doğrusal kanal kesimindeki yan savakta oluşamayan ters akım, sekonder akım kıvrımlı kanalda daha etkili olmasına rağmen yeterli olamamakta, ters akım alanı ve durgunluk bölgesi oluşturamamaktadır.



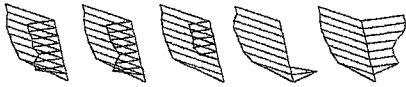
H-H En Kesiti



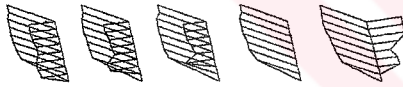
G-G En Kesiti



F-F En Kesiti



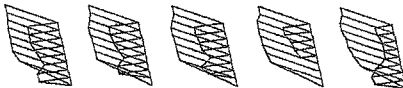
E-E En Kesiti



D-D En Kesiti



C-C En Kesiti

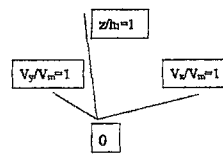


B-B En Kesiti



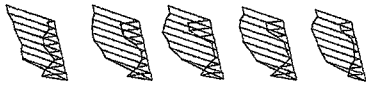
A-A En Kesiti

5-5 4-4 3-3 2-2 1-1

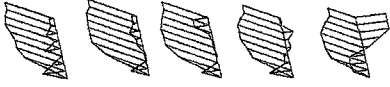


ÖLÇEK

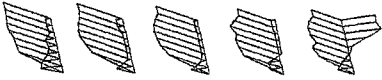
Şekil 4.2 Doğrusal kanalda yan savak boyunca ana kanaldaki enine ve boyuna hız profilleri
($L=25$ cm $p=17$ cm)



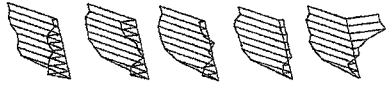
H-H En Kesiti



G-G En Kesiti



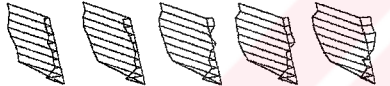
F-F En Kesiti



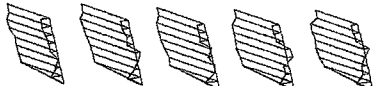
E-E En Kesiti



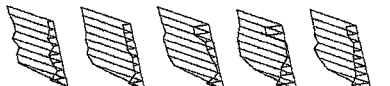
D-D En Kesiti



C-C En Kesiti

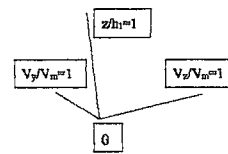


B-B En Kesiti



A-A En Kesiti

5-5 4-4 3-3 2-2 1-1



ÖLÇEK

Şekil 4.3 30° Kıvrımlı kanalda yan savak boyunca ana kanaldaki enine ve boyuna hız profilleri (L=25 cm p=17 cm)

4.2.2 L=50 cm Uzunluğundaki Yan Savakta Doğrusal Kanalda Oluşan Hız Profilleri

Doğrusal kanalda, L=50 cm uzunluğunda ve p=17 cm kret yüksekliğindeki yan savakta yan savak boyunca 9 en kesitte ve her en kesitte 5 düşey derinlik boyunca boyuna ve enine noktasal hızlar belirlenmiştir (Şekil 4.4.a). B-B en kesitinde başlayan yan savak H-H en kesitinde son bulmaktadır.

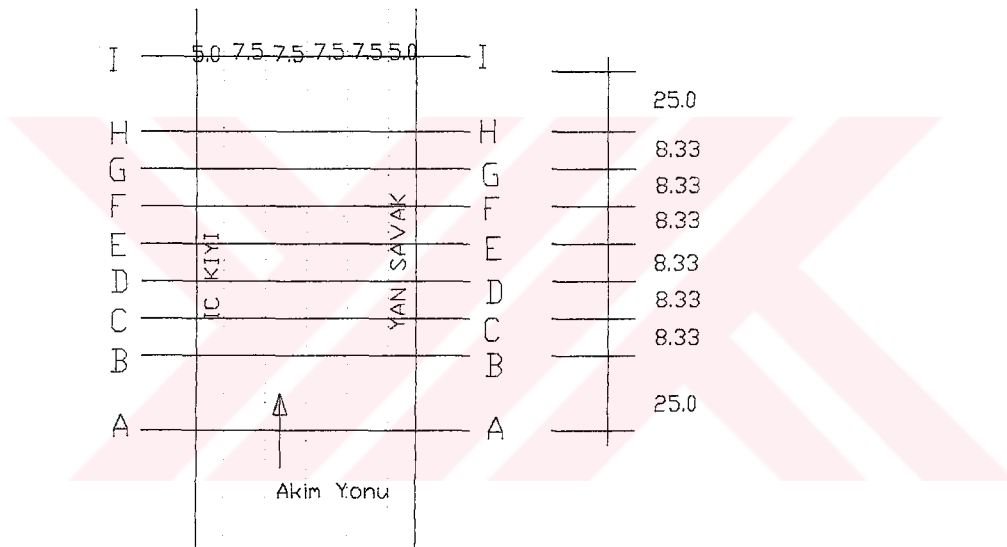
L=50 cm ve p=17 cm kret yüksekliğine sahip yan savak için Çizelge 4.3’de verilen akım şartlarında elde edilen hız dağılımı Şekil 4.5’de verilmiştir. Şekil 4.5 incelendiğinde akımın yan savaktan önce iç kıyıya yöneldiği görülmektedir (A-A en kesiti). Yan savak başlangıcında ise (B-B en kesiti) akımın üst bölgelerinde iç kıyıya alt bölgelerinde ise yan savağa doğru akım yönelmektedir. Dolayısıyla, B-B en kesitinde yan savağa giriş etkisi çok açık olarak görülebilmektedir. C-C en kesitine gelindiğinde giriş etkisinin ortadan kaybolduğu, yanal akımın kuvvetlenmeye başladığı anlaşılmaktadır. Yanal akım özellikle ana kanal eksenini ile yan savak arasında yan savağa doğru çok etkili görünmektedir. Yanal akım savak kreti yakınlarında çok daha şiddetli hissedilmektedir. Bu arada, yan savağın ikinci yarısında iç kıyı ile ana kanal eksenini arasında bir durgunluk bölgesi oluşmaktadır. Diğer taraftan, yan savak boyunca mansaba doğru gidildikçe savaklanmadan dolayı boyuna hız azalmakta ve yan savağın ikinci yarısında E-E en kesitinden başlayarak enine hız boyuna hızdan daha etkili hale (daha büyük) gelmektedir. Enine hızın boyuna hızdan daha etkin hale gelmesi, bir ters akıma sebep olmakta, bunun sonucunda da F-F en kesitinden itibaren iç kıyıda durgunluk bölgesi oluşmaktadır (Şekil 2.3).

Çizelge 4.3 L=50 cm ve p=17 cm’lik yan savak için hız profiline ait akım şartları

Ana Kanal	Savaklanma	Savaklanma	Savak	Savak	Savak	Savak
Debisi	Debisi	Oranı	Membasında	Mansabında	Girişinde	Memba
Q(lt/s)	Qw(lt/s)	Qr	Ortalama Hız	Ortalama Hız	Froude Sayısı	Ucunda Nap
			V ₁ (m/s)	V ₂ (m/s)	Fr	Kalınlığı h(cm)
48	21,31	0,44	0,463	0,224	0,234	12,95

Çizelge 4.4 L=50 cm ve p=17 cm'lik yan savak için hız profiline ait akım şartları

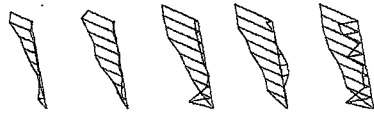
Ana Kanal Debisi Q(lt/s)	Savaklanma Debisi Qw(lt/s)	Savaklanma Oranı Qr	Savak Membasında Ortalama Hız V ₁ (m/s)	Savak Mansabında Ortalama Hız V ₂ (m/s)	Savak Girişinde Froude Sayısı Fr	Savak Membra Ucunda Nap Kalınlığı h(cm)
63,99	26,49	0,41	0,597	0,350	0,369	9,78



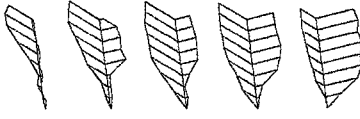
Şekil 4.4.a Noktasal hızların belirlendiği istasyonlar (L=50 cm,ölçeksiz)

Doğrusal kanalda, L=50 cm ve p=17 cm kret yükseklikli yan savakta diğer bir deneyde hızlar artırılmış, Çizelge 4.4'deki akım şartlarında Şekil 4.6'daki enine ve boyuna hız profilleri elde edilmiştir. A-A ve B-B en kesitlerinde hızın artması ile enine ve boyuna hızlar artmıştır. Akım yan savaktan önce iç kıyıya yönelmiş, C-C en kesitinden itibaren yan savaktan kaynaklanan giriş etkisi ile yan savağa doğru yönelmeye başlamıştır. Yan savağın ikinci yarısından itibaren mansap tarafında yan savak kreti boyunca oluşan yanal akım Şekil 4.5'deki yanal akımdan daha kuvvetlidir. Bu deneyde, F-F en kesitinde enine hız boyuna hızdan daha etkin hale gelmeye başlamıştır. Enine hızın artması ve boyuna hızdan daha etkili olması ters akıma sebep olmakta ve durgunluk bölgesi oluşturmaktadır. Durgunluk bölgesi ise iç kıyıda G-G en

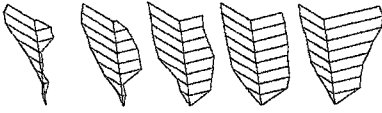
Çizelge 4.4'deki akım şartlarında, $\theta=30^0$ 'lik kıvrım açısına yerleştirilen $L=50$ cm ve $p=17$ cm'lik yan savakta elde edilen enine ve boyuna hız profilleri Şekil 4.7'de verilmektedir. Kıvrımda yan savak boyunca alınan en kesitler Şekil 4.4.b'de verilmiştir. Kıvrımın etkisi ile, doğrusal kanaldakine nazaran akım yan savak öncesi iç kıyıya yönelik olan enine hızlar azalmıştır. Bunda kıvrımın etkisi olmuştur. B-B en kesitinde doğrusal kanalda iç kıyıya yönelik olan akım, kıvrımda çok küçük enine hızlara sahiptir. Yan savağa giriş etkisi hissedilmiş, akım C-C en kesitinde yan savak kıyısında ve iç kıyı haricindeki diğer en kesitlerde alt bölgelerde yan savağa yönelmiştir. Daha sonraki en kesitlerde doğrusal kanalda 1-1 ve 2-2 boyuna en kesitlerinde yan savağa yönelen akım, kıvrımda iç kıyı yakınları olan 5-5 boyuna en kesiti hariç yan savağa yönelik ilerlemektedir. Kıvrımda G-G en kesitinden sonra iç kıyıda oluşan durgunluk bölgesi doğrusal kanaldakinden daha belirgindir. Kıvrımda, ters akım F-F en kesitinde başlamakta ve daha şiddetli olmaktadır.



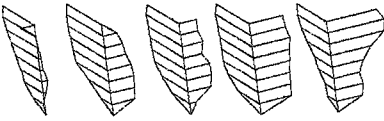
I-I En kesiti



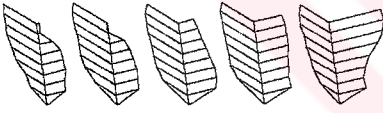
H-H En kesiti



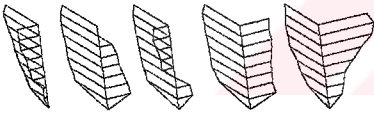
G-G En kesiti



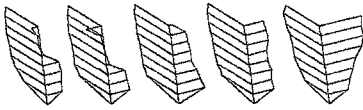
F-F En kesiti



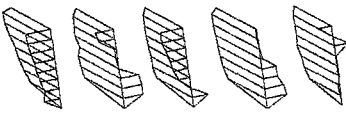
E-E En kesiti



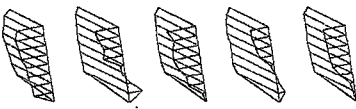
D-D En kesiti



C-C En kesiti

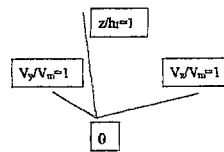


B-B En kesiti



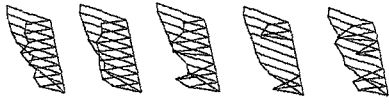
A-A En kesiti

1-1 2-2 3-3 4-4 5-5

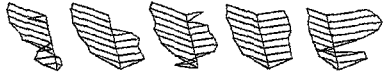


ÖLÇEK

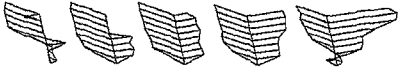
Şekil 4.5 Doğrusal kanalda $L=50\text{cm}$ ve $p=17\text{cm}$ için enine ve boyuna hız profilleri



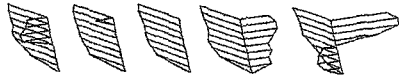
I-I En Kesiti



H-H En Kesiti



G-G En Kesiti



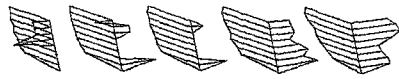
F-F En Kesiti



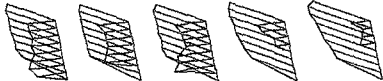
E-E En Kesiti



D-D En Kesiti



C-C En Kesiti

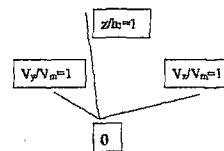


B-B En Kesiti



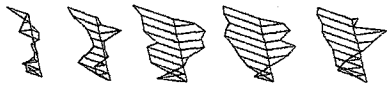
A-A En Kesiti

5-5 4-4 3-3 2-2 1-1

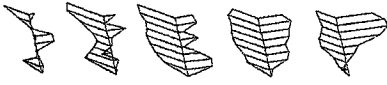


ÖLÇEK

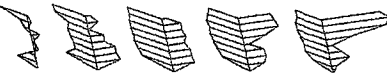
Şekil 4.6 Doğrusal kanalda $L=50\text{cm}$ ve $p=17\text{cm}$ için enine ve boyuna hız profilleri



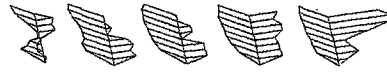
I-I En Kesiti



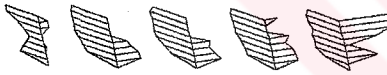
H-H En Kesiti



G-G En Kesiti



F-F En Kesiti



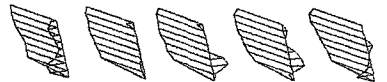
E-E En Kesiti



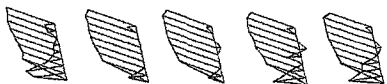
D-D En Kesiti



C-C En Kesiti

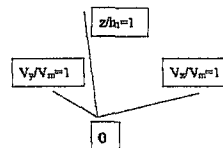


B-B En Kesiti



A-A En Kesiti

5-5 4-4 3-3 2-2 1-1



ÖLÇEK

Şekil 4.7 30° Kıvrımlı kanalda L=50cm ve p=17cm için enine ve boyuna hız profilleri

4.2.4 Doğrusal Kanal ve Kıvrımda Alınan Hız Profillerinin Karşılaştırılması

Kıvrımda, merkezkaç kuvveti neticesinde akıma dik doğrultuda oluşan sekonder akım, yan savak dolayısıyla oluşan yan al akımı güçlendirmektedir. Sekonder akımın etkisi, hem 25 cm hem de 50 cm uzunluğundaki yan savaklarda görülebilmektedir. Ayrıca, yan al akımın güçlenmesi kıvrımda 50 cm uzunluğundaki yan savakta izlenebilen ters akımı daha etkin kılmıştır.

Ters akımın yeri, yan savak başlangıcındaki akım hızına (ya da giriş Froude sayısı), yan savak uzunluğuna ve savak kreti üzerindeki nap kalınlığına bağlıdır. Büyük uzunluklu yan savaklarda (Büyük L/b oranlarında) veya aynı uzunluğa sahip ancak daha büyük nap kalınlığına sahip (büyük p/h_1 oranlarında) akım şartlarında yan savak boyunca daha fazla savaklanma meydana geldiğinden, ana kanaldaki boyuna hız, hızla küçülerek enine hız daha etkili hale gelmekte ve ters akım oluşturmaktadır. Dolayısıyla, ters akımın yeri, yan savak uzunluğuna (L/b), nap kalınlığına (p/h_1) ve yan savak memba hızına (başlangıç Froude sayısı) bağlı olarak yan savak ortası ile yan savak mansap ucu arasında farklı en kesitlerde görülmektedir. Ana kanaldaki akımın Froude sayısı arttıkça durgunluk bölgesi ile ters akım alanının yeri mansaba doğru hareket etmektedir (El-Khashab, 1975, Ağaçoğlu, 1995, Ağaçoğlu ve Yüksel, 1998).

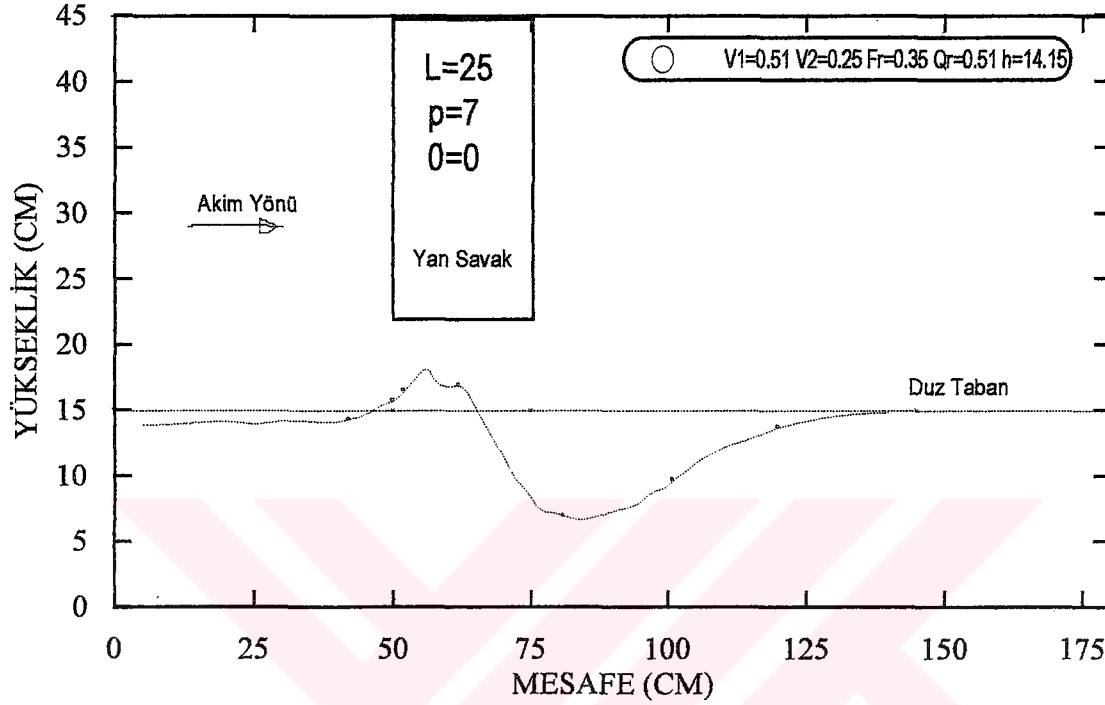
Doğrusal kanalda hız arttırıldığında 50 cm uzunluğundaki yan savak boyunca görülen ters akım alanı ve durgunluk bölgesinin mansaba doğru kaydığı görülmektedir. Küçük L/b oranlarında yan savak kesiminde ters akım alanı ve durgunluk bölgesi oluşmamaktadır. Kıvrımda sekonder akımın etkisi ile daha küçük L/b oranlarında dahi ters akım ve durgunluk bölgesi oluşabilmektedir. Deneylerde doğrusal kanalda ve kıvrımda 25 cm uzunluğundaki yan savakta ters akım alanı ve durgunluk bölgesi gözlenememiştir.

4.3 Hareketli Tabanlı Doğrusal Kanallara Yerleştirilen Kret Yükseklikleri Farklı Yan Savaklarda Yanal Akımın Taban Profiline Etkisi

Bu bölümde, doğrusal kanalda $L=25$ cm uzunluğundaki yan savak için $p=7, 12, 17$ cm kret yüksekliklerinde yan savak kenarı boyunca oluşan taban profilleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10'da sırasıyla, $p=7, 12$ ve 17 cm kret yüksekliklerindeki yan savaklar kullanılmıştır. Profillere ait akım şartları şekil üzerinde verilmiştir. Her üç şekilde de yan savağa giriş hızları birbirine yakın alınmış, ancak yan savak kret yükseklikleri üzerindeki nap kalınlıkları değiştirilerek, farklı mansap şartları oluşturulmuştur. Yan savak mansabındaki

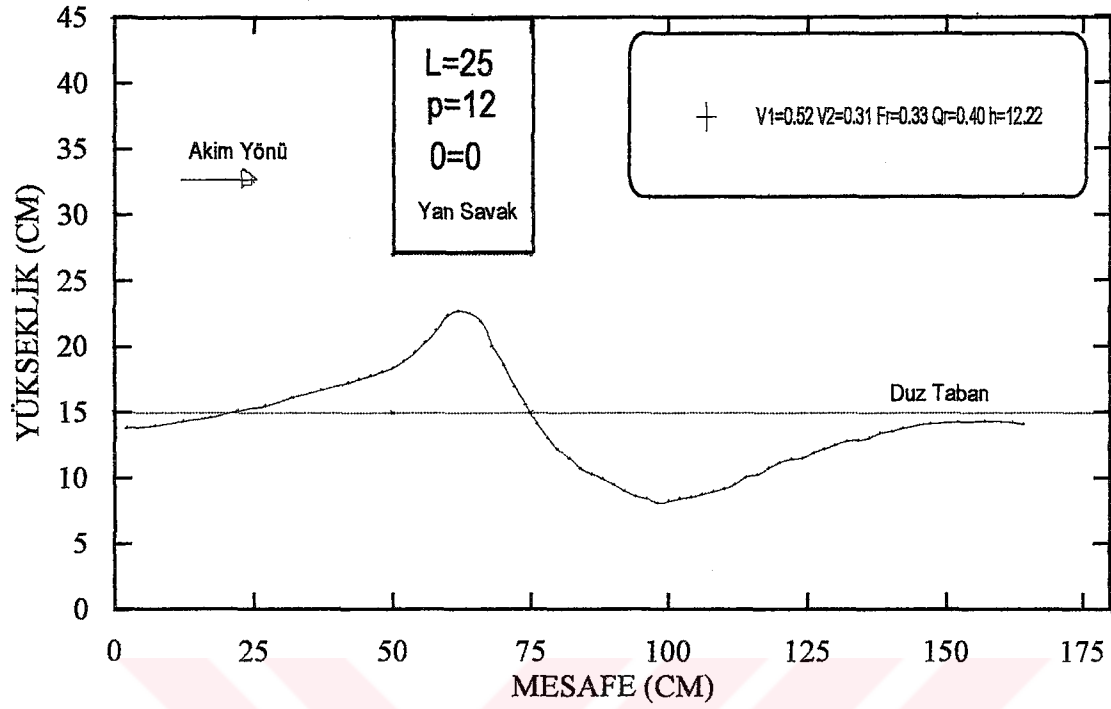
hızlar ise kret yüksekliği arttıkça artmaktadır. Şekillerde V_1 , yan savak membasındaki ortalama hızı, h , yan savak membasındaki nap kalınlığı V_2 , yan savak mansabındaki ortalama hızı, Fr , yan savak başlangıcındaki Froude sayısını ve Q_r , yan savaktan savaklanan debinin yan savak membasındaki ana kanal debisine oranını (savaklanma oranı) ifade etmektedir.



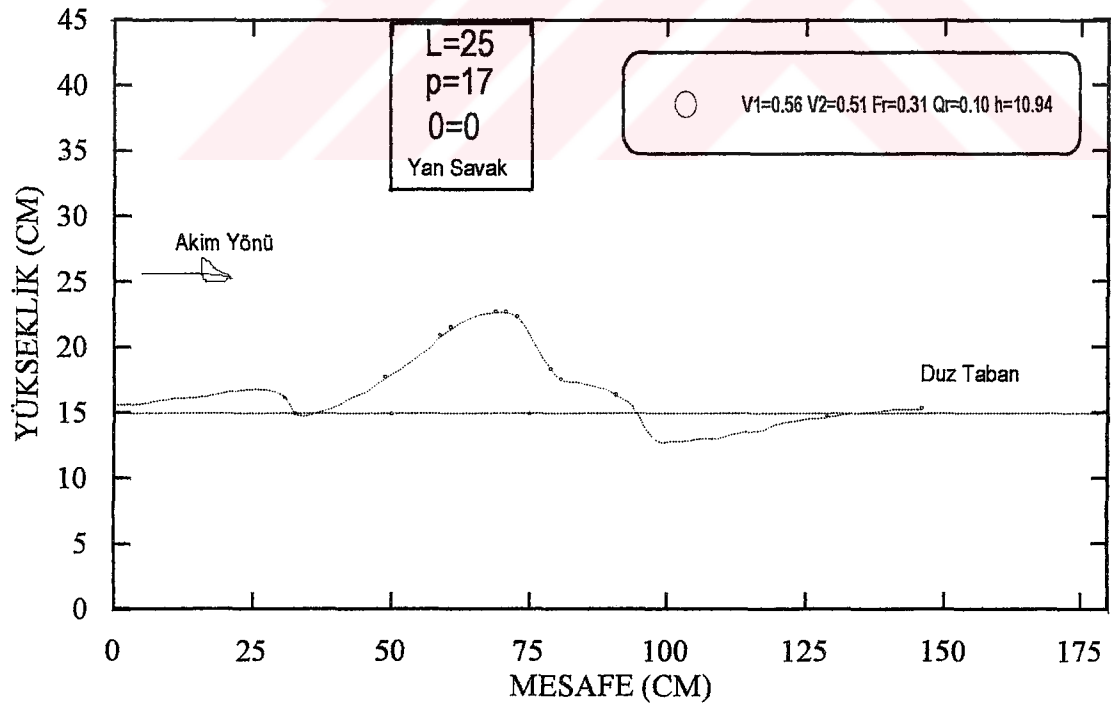
Şekil 4.8 $L=25$ cm ve $p=7$ cm için yan savak kreti boyunca kanal taban profilindeki değişim

Şekil 4.8’de, yan savak öncesi taban profili düzlem tabana yakındır. Yan savak membasındaki akımın ortalama hızı kritik hızdan yüksek olduğu için membada hareket başlamış, mansap hızı düşük olduğundan dolayı, yan savak önünde oluşan dalga tepesi mansapta ilerleyememiştir. Tepenin mansap tarafında ters akım alanı oluşmuş ve bunun sonucu olarak derin bir oyulma çukuru meydana gelmiştir.

Şekil 4.9’da oluşan taban profilinde akımın ortalama hızı Şekil 4.8’deki akım hızlarına yakındır. Dolayısıyla, Şekil 4.8’deki gibi membadan gelen malzeme yan savak önünde bir dalga tepesi oluşturmuş, tepenin mansabında ters akım alanı yüzünden oyulma olmuştur. Şekil 4.8’de kret yüksekliği düşük olduğu için dalga tepesi yükselemeden gelen malzeme yan savaktan savaklanmıştır.



Şekil 4.9 L=25 cm ve p=12 cm için yan savak kreti boyunca kanal taban profilindeki değişim



Şekil 4.10 L=25 cm ve p=17 cm için yan savak kreti boyunca kanal taban profilindeki değişim

Şekil 4.10'da oluşan taban profilinde, kret yüksekliği diğer iki yan savaktan daha fazladır. Yan savağa giriş hızları yakın olmasına rağmen bu savakta savaklanma az olduğu için mansap hızı diğerlerinden yüksek olmuştur. Yan savak mansabındaki akımın ortalama hızı kritik hızdan yüksek olduğundan dolayı membadan gelen malzeme mansaba doğru ilerlemiştir.

4.4 Hareketli Tabanlı Doğrusal Kanallara Yerleştirilen Farklı Uzunluklu Yan Savaklarda, Yanal Akımın Taban Profiline Etkisi

Bu bölümde, farklı akım şartlarında kum tabandan itibaren $p=12$ cm kret yüksekliğine sahip $L=25$ ve $L=50$ cm uzunluğundaki yan savaklar için kanal taban topoğrafyasında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Taban topoğrafyası ile ilgili akım şartları sırasıyla, $L=25$ cm uzunluklu ve $p=12$ cm kret yükseklikli yan savak için Çizelge 4.5 ve $L=50$ cm uzunluğundaki yan savak için Çizelge 4.6'da özetlenmiştir. $p=12$ cm kret yükseklikli, $L=25$ cm ve $L=50$ cm uzunluklu yan savaklar için elde edilen taban profilleri de (kum tabandan itibaren) sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 $L=25$ cm ve $p=12$ cm'lik yan savak için akım şartları

Deney No	Ana Kanal Debisi $Q(lt/s)$	Savaklanma Debisi $Q_w(lt/s)$	Savaklanma Oranı Q_r	Savak Membasında Ortalama Hız $V_1(m/s)$	Savak Mansabında Ortalama Hız $V_2(m/s)$	Savak Girişinde Froude Sayısı Fr	Savak Membra Ucunda Nap Kalınlığı $h(cm)$
1	52,56	21,01	0,40	0,52	0,31	0,33	12,22
2	53,77	11,6	0,22	0,62	0,49	0,43	8,43
3	58	6,75	0,12	0,75	0,66	0,54	6,27

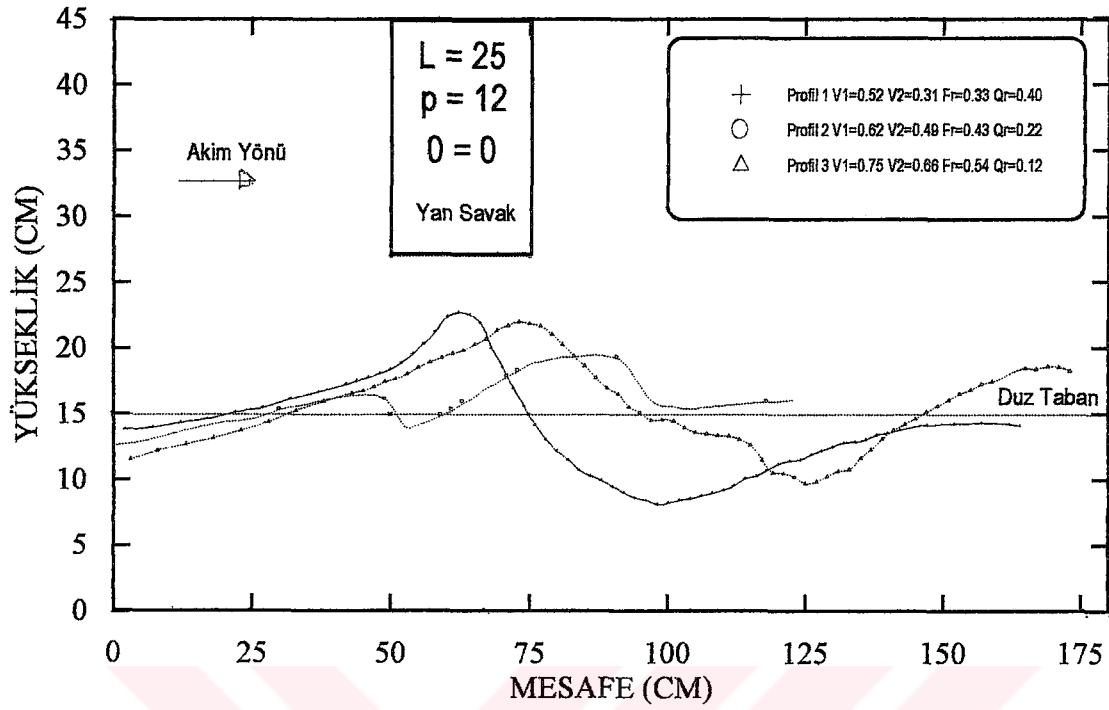
Çizelge 4.5 incelendiğinde Şekil 4.11'de verilen 1 nolu profilde, yan savak membasındaki akım hızının U_{kr} hızına yakın olduğu görülmektedir. Sürüntü ve sıçrama hareketiyle membadan gelen az miktardaki taneler hem yan savak girişi hem de yan savak mansabındaki ters akım alanının etkisi ile yan savak ortasında bir eşik ve bu noktanın mansabında derin bir oyulma çukuru oluşturmaktadır. Yan savak mansabında ana kanaldaki ortalama akım hızı U_{kr} hızından düşük olduğundan ters akım alanının mansabında taban profilinde herhangi bir değişiklik gözlenmemektedir. Gelen malzeme eşik önünde yığılmakta, eşik yüksekliği kararlı

hale geldikten sonra yan savaktan savaklanmaktadır. Profil 2’de yan savak membasında akımın ortalama hızı tabandaki taneyi hareket ettirebilecek kritik hızdan büyük, mansabında ise kritik hız civarındadır. Gelen taban dalgası mansaba doğru ilerlemektedir. Taban dalgası mansaba ilerlediği için mansapta oluşması gereken oyulma çukuru gelen dalga ile kapanmıştır. 3 nolu profilde ise yan savak memba ve mansabındaki hızlar kritik hızdan yüksektir. Membadan gelen taban dalgası, dalga yüksekliğinin küçülmesine ve uzunluğunun artmasına rağmen mansaba doğru ilerlemektedir.

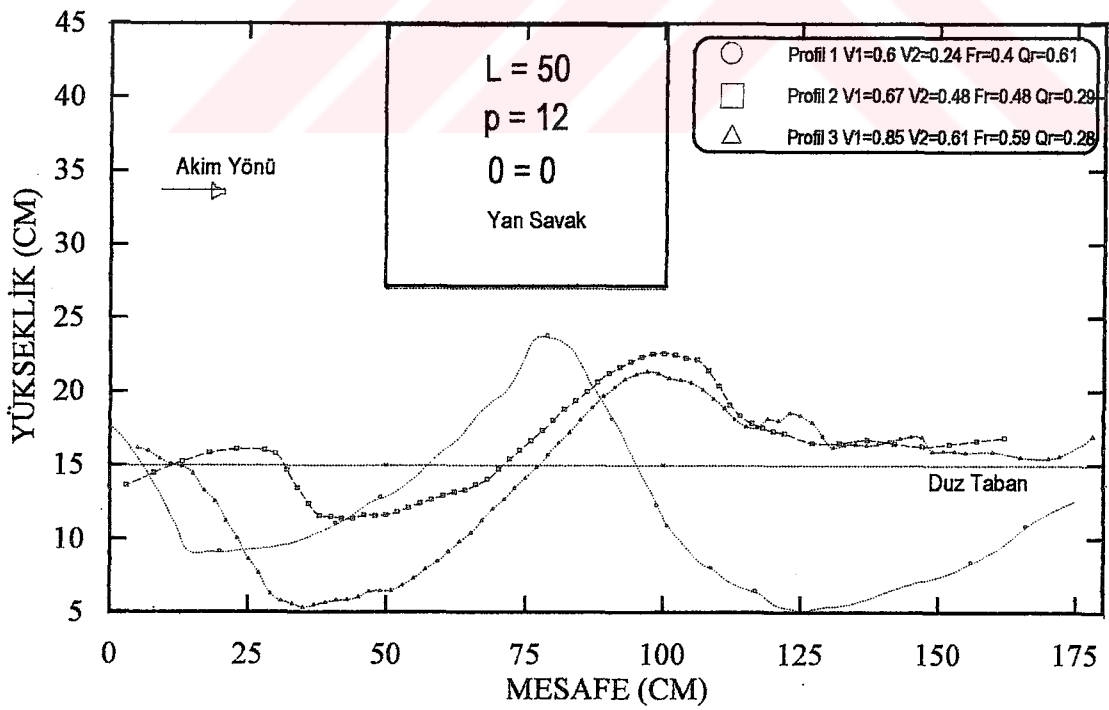
Çizelge 4.6 L=50 cm ve p=12 cm’lik yan savak için akım şartları

Deney No	Ana Kanal Debisi Q(lt/s)	Savaklanma Debisi Qw(lt/s)	Savaklanma Oranı Qr	Savak Membasında Ortalama Hız V ₁ (m/s)	Savak Mansabında Ortalama Hız V ₂ (m/s)	Savak Girişinde Froude Sayısı Fr	Savak Memba Ucunda Nap Kalınlığı h(cm)
1	56,74	34,46	0,61	0,6	0,24	0,4	10,41
2	53,61	15,4	0,29	0,67	0,48	0,48	6,82
3	72,73	20,64	0,28	0,85	0,61	0,59	8,17

Şekil 4.12’de L=50 cm ve p=12 cm’lik yan savakta gözlenen üç profilde de yan savak membasında akımın ortalama hızı U_{kr} hızından yüksektir. Profil 1’de yan savağın mansabında akım hızı kritik hızdan düşüktür. Membada hareket başlamış, mansapta hareket söz konusu değildir. Gelen taban malzemesi yan savağın ortasına doğru bir eşik oluşturmuş ve mansapta ters akım alanının etkisi ile çok derin bir oyulma çukuru gözlenmiştir. 2 nolu profilde yan savak mansabındaki akım hızı kritik hız civarında, 3 nolu profilde ise kritik hızdan yüksektir. Her iki profilde de gelen dalga mansaba devam etmektedir. 2 ve 3 nolu profillerin tepe noktaları 1 nolu profile göre mansaba ilerlemiştir. Çünkü ana kanaldaki akımın Froude sayısı arttıkça; Şekil 2.4’te görüldüğü gibi ; ters akım alanının yeri mansaba doğru hareket etmektedir (Ağaçcıoğlu, 1998). Mansapta, taban malzemesini hareket ettirebilecek hızdan daha küçük hızların meydana gelmesi halinde yan savak önünde bir eşik oluşmaktadır. Bu halde, eşikğin yeri ters akım alanının başlangıcı olmaktadır. .



Şekil 4.11 $L=25$ cm ve $p=12$ cm için yan savak kreti boyunca kanal taban profilindeki değişim



Şekil 4.12 $L= 50$ cm ve $p=12$ cm için yan savak kreti boyunca kanal taban profilindeki değişim

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 incelendiğinde, $L=50$ cm uzunluğundaki yan savak mansabındaki oyulma çukurunun çok daha derin olduğu görülmektedir. Bu, yan savak uzunluğunun artmasıyla sekonder akımın daha da şiddetlenmesinden kaynaklanmaktadır. El-Khashab (1975), doğrusal bir kanalda nehir rejimli akım halinde yanal akım sebebiyle oluşan sekonder akımın şiddetinin yan savak boyunca arttığını ve yan savaktan ana kanal genişliği kadar bir mesafe sonra bir miktar azaldığını belirtmiştir (Şekil 1.6). Dolayısıyla, büyük uzunluklu yan savaklarda sekonder akım daha şiddetlidir.

4.5 Hareketli Tabanlı Kıvrımlı Kanalda Yanal Akımın Taban Profiline Etkisi

Bu bölümde, $\theta=30^0$ 'lik kıvrım açısına yerleştirilen yan savaklarda oluşturulan farklı akım şartlarında kum tabandan itibaren $p=12$ cm kret yüksekliğine sahip $L=25$ ve $L=50$ cm uzunluğundaki yan savaklar için kanal taban topoğrafyasında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Taban topoğrafyası ile ilgili akım şartları $L=25$ cm uzunluklu ve $p=12$ cm kret yükseklikli yan savak için Çizelge 4.7 ve $L=50$ cm uzunluğundaki yan savak için Çizelge 4.8'de özetlenmiştir. $p=12$ cm kret yükseklikli, $L=25$ cm ve $L=50$ cm uzunluklu yan savaklar için elde edilen taban profilleri de (kum tabandan itibaren) sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 30^0 'lik kıvrım açısında $L=25$ cm ve $p=12$ cm'lik yan savak için akım şartları

Deney No	Ana Kanal Debisi $Q(lt/s)$	Savaklanma Debisi $Q_w(lt/s)$	Savaklanma Oranı Q_r	Savak Membasında Ortalama Hız $V_1(m/s)$	Savak Mansabında Ortalama Hız $V_2(m/s)$	Savak Girişinde Froude Sayısı Fr	Savak Membra Ucunda Nap Kalınlığı $h(cm)$
1	54,27	20,22	0,37	0,55	0,35	0,35	11,44
2	62,55	20,43	0,33	0,62	0,42	0,39	12,01
3	57,69	8,32	0,14	0,76	0,65	0,56	5,74

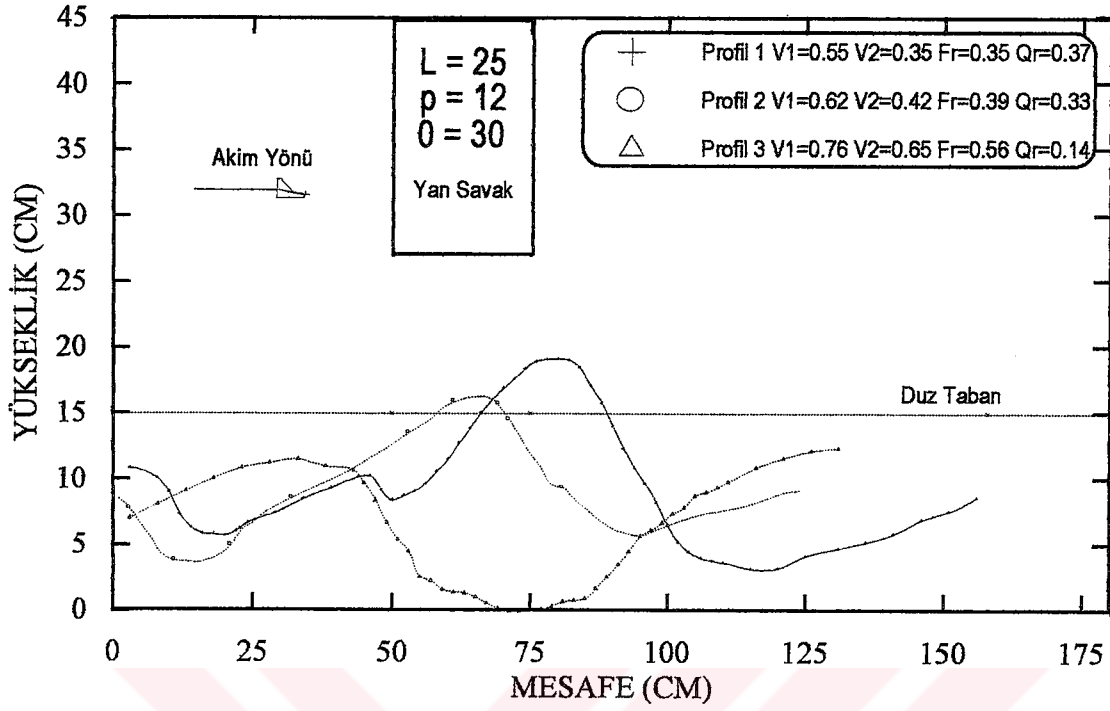
Çizelge 4.7'de verildiği şekilde, 1 ve 2 nolu profilleri yan savak membrasındaki hızları taban malzemesini harekete geçirecek olan kritik hızdan yüksek, mansap hızları ise düşüktür. Her iki profilde de mansapta hareket olmaması gerekmektedir. Ancak literatürde kıvrımlı kanallarda tabandaki taneleri hareket ettirecek kritik hızın (dolayısıyla kritik kayma gerilmesinin) % 5-22 azaltılması gerektiği belirtilmektedir (Bayazıt,1971). Dolayısıyla,

kıvrım tarafından yaratılan ilave sekonder akımın etkisi ile doğrusal kanaldaki taban malzemesini hareket ettirebilecek u_{kr} hızından daha düşük mansap hızlarında yan savak mansabında taban hareketlenmektedir. 1 nolu deneyde yan savak mansabında bir tepecik ve ters akımın etkisiyle tepenin mansap kısmında derin bir oyulma çukuru oluşurken, 2 nolu deneyde gelen dalga ilerlemeye başlamıştır. 3 nolu profilde yan savak memba ve mansap tarafındaki hızlar kritik hızdan yüksektir. Gelen dalga mansaba ilerlemektedir. Sekonder akımın etkisiyle savaklanan akım çok derin bir oyulma çukuru oluşturmaktadır.

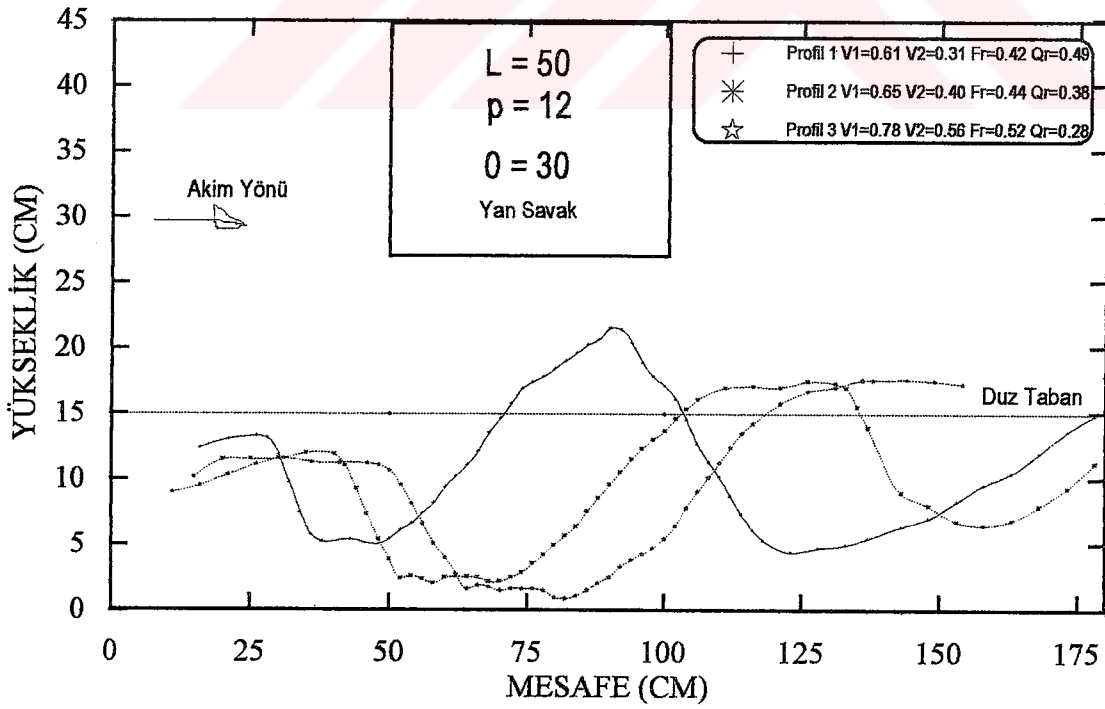
Çizelge 4.8 30°'lik kıvrım açısında L=50 cm ve p=12 cm'lik yan savak için akım şartları

Deney No	Ana Kanal Debisi Q(lt/s)	Savaklanma Debisi Qw(lt/s)	Savaklanma Oranı Qr	Savak Membasında Ortalama Hız V ₁ (m/s)	Savak Mansabında Ortalama Hız V ₂ (m/s)	Savak Girişinde Froude Sayısı Fr	Savak Memba Ucunda Nap Kalınlığı h(cm)
1	51,18	25,26	0,49	0,61	0,31	0,42	8,07
2	56,54	21,59	0,38	0,65	0,4	0,44	8,86
3	70,21	19,86	0,28	0,78	0,56	0,52	9,58

Şekil 4.14'de görüldüğü gibi, L=50 cm ve p=12 cm'lik yan savak için, akımın memba hızları kritik hızdan yüksektir. 1 nolu profilde yan savak mansabındaki hız kritik hızdan küçüktür. Gelen taban dalgası yan savağın son üçte birlik kesiminde bir tepecik oluşturmuştur. Ters akım alanının etkisi yüzünden tepeliğin mansap tarafında derin bir oyulma oluşmaktadır (Şekil 4.15.a). 2 nolu deneyde yan savak mansabında ana kanaldaki hız kritik hızdan düşük olmasına rağmen kıvrım etkisi ile mansapta taban hareketlidir. Gelen dalga yüksekliği azalarak ve uzunluğu artarak ilerlemektedir. Memba tarafında hız daha yüksek olduğu için derin oyulma çukuru oluşmaktadır. 3 nolu profilde memba ve mansap hızları kritik hızdan yüksektir. Gelen dalga mansapta ilerlemekte 25 cm uzunluğundaki savaktaki 3 nolu profilde olduğu gibi yan savak kısmında çok derin bir oyulma çukuru oluşmaktadır (Şekil 4.15.b). Aynı giriş şartlarında, 50 cm uzunluğundaki yan savakların mansabında, 25 cm uzunluğundaki yan savağa göre daha küçük hızlar gerçekleştiğinden (daha fazla savaklanma sebebiyle), 50 cm uzunluğundaki yan savakta oluşan dalga yüksekliği, 25 cm'lik savağa oranla daha büyüktür. Dolayısıyla, büyük hızlarda dalga yüksekliği küçük, dalga boyu büyük olmaktadır.



Şekil 4.13 Kıvrımda $L=25$ cm ve $p=12$ cm için yan savak kreti boyunca kanal taban profilindeki değişim



Şekil 4.14 Kıvrımda $L=50$ cm ve $p=12$ cm için yan savak kreti boyunca kanal taban profilindeki değişim



Şekil 4.15.a Düşük mansap hızlarında oluşan taban profili



Şekil 4.15.b Büyük mansap hızlarında oluşan taban profili

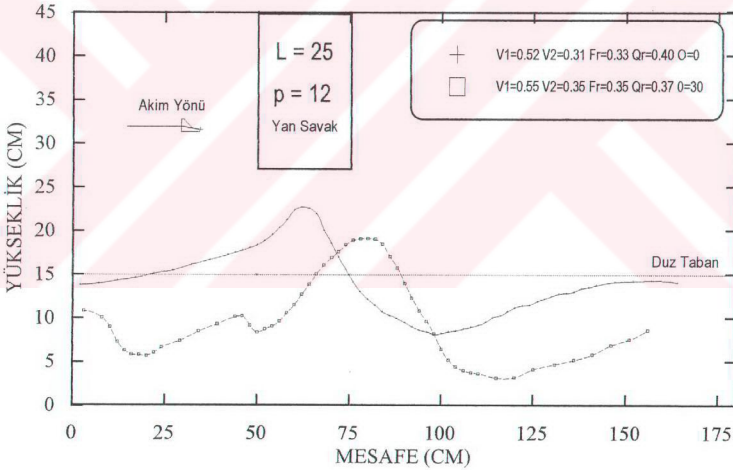
4.6 Doğrusal Kanal İle Kıvrımlı Kanalda Elde Edilen Taban Profillerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde, $p=12$ cm kret yükseklikli $L=25$ ve $L=50$ cm uzunluğundaki yan savaklarda,

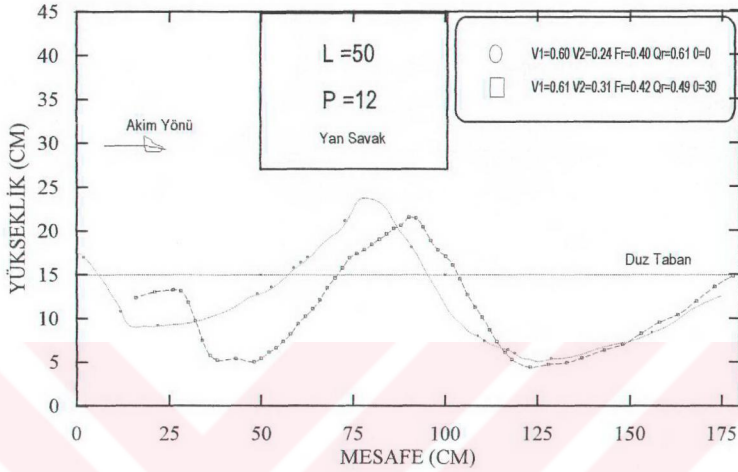
doğrusal kanal ve kıvrımlı kanalda yan savak kreti boyunca oluşan taban profilleri karşılaştırılmıştır. Bu yan savaklarda oluşan profiller sırasıyla, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de verilmiştir. Profillerin akım şartları şekiller üzerinde verilmiştir.

Doğrusal kanalda ve kıvrımdaki profiller karşılaştırıldığında; yaklaşık aynı akım şartlarında kıvrımda oluşan eşiklerin doğrusal kanaldakilere nazaran daha ileride (mansap tarafında) meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.16 ve Şekil 4.17).

Yan savak mansabında ilerleyemeyen dalgaların oluşturduğu eşiklerin yükseklikleri, kıvrımlı kanallarda doğrusal kanallara oranla daha küçüktür. Bunun sebebi, taban malzemesini hareket ettirebilecek kritik hızın kıvrımlı kanallarda sekonder akımın etkisiyle, doğrusal kanallara nazaran daha şiddetli olmasıdır. Kıvrımlı kanalda oluşan eşikler bu etki sonucu fazla büyüyemeden malzeme taşınmaktadır.



Şekil 4.16 L=25 cm ve p=12 cm için yan savak kreti boyunca doğrusal kanal ve kıvrımdaki kanal taban profilindeki değişim



Şekil 4.17 L=50 cm ve p=12 cm için yan savak kreti boyunca doğrusal kanal ve kıvrımdaki kanal taban profilindeki değişim

4.7 Hız Profilleri İle Taban Profillerinin Birlikte Değerlendirilmesi

Bu bölümde, L=50 cm uzunluğunda ve p=17 cm yüksekliğindeki yan savaklarda, en kesitler boyunca elde edilen enine ve boyuna hız profilleri ile taban profilleri doğrusal kanal ve kıvrımda birlikte değerlendirilmiştir. Hız profilleri, doğrusal kanal ve kıvrımda elde edilen taban profillerinden akım şartları birbirine en yakın olanları gözönüne alınmıştır.

4.7.1 Doğrusal Kanaldaki Hız ve Taban Profillerinin Değerlendirilmesi

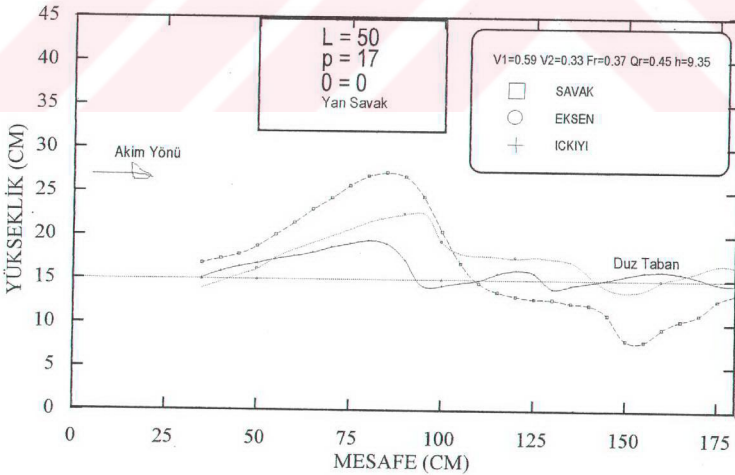
Karşılaştırma yapılacak taban profilleri ile ilgili akım şartları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Bölüm 4.2'de verilen Şekil 4.6'daki doğrusal kanaldaki enine ve boyuna hız profilleri dikkate alınmıştır. Doğrusal kanalda, L=50 cm ve p=17 cm kret yükseklikli yan savakta, yan savak, eksen ve iç kıyı boyunca elde edilen taban profillerindeki değişimler Şekil 4.18'de verilmiştir.

Şekil 4.18'de, doğrusal kanaldaki yan savakta oluşan taban profillerine bakıldığında, yan savağın ikinci yarısında bir dalga tepesinin olduğu görülmektedir. Dalga tepesinin yan savak

membasında, taban profili yatık iken mansap tarafında diktir. En çok yığılma yan savak tarafında, en azı ise iç kıyıda oluşmaktadır. Dalga tepesi, eksende, iç kıyı ve yan savak boyunca elde edilene göre daha ileride oluşmaktadır. Yan savak mansabında, iç kıyı ve eksende oluşan taban profillerinde, düzlem taban civarında, küçük dalgalanmalar meydana gelmektedir. Yan savak boyunca oluşan taban profilinde ise yan savak mansabında, ters akımın da etkisi ile bir oyulma çukuru oluşmaktadır.

Çizelge 4.9 Doğrusal kanaldaki $L=50$ cm ve $p=17$ cm'lik yan savak için akım şartları

	Ana Kanal Debisi Q (lt/s)	Savaklanma Debisi Q_w (lt/s)	Savaklanma Oranı Q_r	Savak Membasında Ortalama Hız V_1 (m/s)	Savak Mansabında Ortalama Hız V_2 (m/s)	Savak Girişinde Froude Sayısı Fr	Savak Membra Ucunda Nap Kalınlığı h (cm)
Hız Profili Şekil 4.6	63,99	26,49	0,41	0,597	0,350	0,369	9,78
Taban Profili Şekil 4.18	62,05	27,74	0,45	0,59	0,33	0,37	9,35



Şekil 4.18 Doğrusal kanalda $L=50$ cm $p=17$ cm için taban profillerindeki değişim

Şekil 4.6'daki F-F en kesitinde üst bölgelerdeki akımda, enine hızın boyuna hızdan daha etkili hale geldiği görülmektedir. Bunun neticesinde, ters akım alanı oluşmaya başlamıştır. Taban profillerinde, bu bölge yaklaşık olarak yan savağın ikinci yarısına karşılık gelmektedir. Bu kesimde, yan savak civarında, taban malzemesi belli bir eşik yüksekliğine kadar yığılma yapmıştır. Görüldüğü gibi, yan savak önündeki yığılma noktası ters akım alanının olduğu en kesittir. Taban dalgası ters akım alanına kadar ilerleyebilmiş, gelen malzeme yığılmış, bir miktarı da akımla beraber savaklanmıştır.

4.7.2 Kıvrımlı Kanaldaki Hız ve Taban Profillerinin Değerlendirilmesi

Kıvrımlı kanalda karşılaştırma yapılacak hız profilleri (Şekil 4.7) ve taban profilleri ile ilgili akım şartları Çizelge 4.10'da verilmiştir. Bölüm 4.2'de bulunan Şekil 4.7'deki kıvrımlı kanaldaki enine ve boyuna hız profilleri dikkate alınmıştır. Kıvrımlı kanalda, $L=50$ cm ve $p=17$ cm kret yükseklikli yan savakta, yan savak boyunca, eksende ve iç kıyıda elde edilen taban profillerindeki değişimler Şekil 4.19'da verilmiştir.

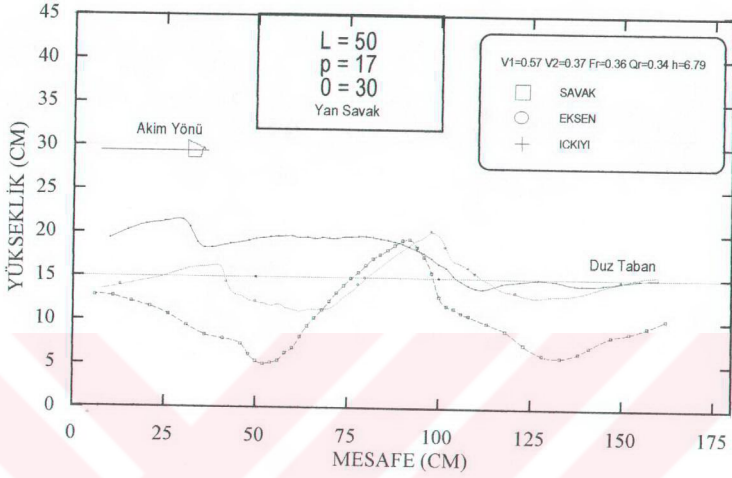
Çizelge 4.10 30° 'lik kıvrım açısında $L=50$ cm ve $p=17$ cm'lik yan savak için akım şartları

	Ana Kanal Debisi Q (lt/s)	Savaklanma Debisi Q_w (lt/s)	Savaklanma Oranı Q_r	Savak Membasında Ortalama Hız V_1 (m/s)	Savak Mansabında Ortalama Hız V_2 (m/s)	Savak Girişinde Froude Sayısı Fr	Savak Membra Ucunda Nap Kalınlığı h (cm)
Hız Profili	63,99	26,49	0,41	0,597	0,350	0,369	9,78
Şekil 4.7							
Taban Profili	56,07	19,10	0,34	0,57	0,37	0,36	6,79
Şekil 4.19							

Şekil 4.19'da yan savak mansabına doğru bir dalga tepesi oluşmuştur. Oluşan tepenin mansap tarafı diktir. Yan savak boyunca ve eksende dalga tepesinin membasında oyulma çukuru oluşmasına karşın iç kıyıda herhangi bir oyulma gözlenmemiştir. Eksende dalga tepesi daha ileridedir. İç kıyı ve eksendeki taban profilleri yan savak mansabında düzlem tabana uymuş, yan savak boyunca oyulma çukuru oluşmuştur. Dolayısıyla, kıvrımlı kanalda ters akım alanı kanal eksenine kadar etkili olmaktadır (Şekil 4.20).

Şekil 4.7 incelendiğinde, yan savak mansabına doğru (F-F ve G-G en kesitleri arasında), yanal

akım boyuna akımdan daha etkili hale gelmekte, ters akım alanı oluşmaktadır. Bu en kesitlerde oluşan ters akım alanı Şekil 4.19'daki yığılmanın olduğu en kesite karşılık gelmektedir.



Şekil 4.19 $L=50$ cm ve $p=17$ cm için en kesitler boyunca kanal taban profilindeki değişim



Şekil 4.20 $L=50$ cm $p=12$ cm için oluşan taban profili

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Nehir rejimli akım şartlarında (Froude sayısı 0.30 ile 0.60 arasındadır.), 7,12 ve 17 cm kret yükseklikli, 25 ve 50 cm uzunluklu yan savakların kullanıldığı, hareketli tabanlı bir kanalda, yanal akımın taban profiline etkisi doğrusal kanal ve kıvrımda deneysel olarak incelenmiş, aşağıdaki sonuçlara varılmıştır :

- 1) Memba tarafındaki akımın hızının kritik hıza ulaşmasından itibaren taban malzemesi harekete başlayarak yan savağa doğru ilerlemektedir.
- 2) Yan savak mansabındaki hızlar, taban malzemesini hareket ettirebilecek u_{kr} hızından daha küçük olduğu takdirde yan savak membasından taşınan malzeme daha fazla ilerleyememekte ve yan savak önünde yığılmaktadır. Bu yığılma noktası ters akım alanının oluştuğu en kesittir. Akımın hızı dolayısıyla Froude sayısı arttıkça ters akım alanı da mansaba doğru hareket ederek, yığılma kesitini yan savak mansabına doğru taşımaktadır.
- 3) Memba ve mansaptaki akım hızları u_{kr} hızından büyük olduğunda gelen taban dalgası, yüksekliği azalarak mansapta ilerlemeye devam etmektedir. Kıvrımda daha küçük u_{kr} hızında mansapta hareket başlamaktadır.
- 4) Yaklaşık olarak aynı akım şartlarında, doğrusal kanalda savak önünde oluşan eşik yüksekliği kıvrımlı kanalda oluşan eşik yüksekliğine nazaran daha yüksek olmaktadır. Bunun sebebi, kıvrımlı kanalda oluşan taban profilinde sekonder akımın daha şiddetli olması sebebiyle yığılan malzeme yan savaktan savaklanmaktadır.
- 5) Aynı akım şartlarında oluşan taban profillerinde, yan savak önündeki yığılma kıvrımda, doğrusal kanala göre biraz daha mansap tarafında oluşmaktadır.
- 6) Hız profillerinden gözlenen ters akımın yeri, taban profillerinde oluşan dalga tepesine karşılık gelmektedir.
- 7) Kıvrımdaki sekonder akımın etkisi ile taban malzemesi iç kıyıya taşınmaktadır. Bunun sonucu olarak da, yaklaşık aynı akım şartlarında doğrusal kanaldaki taban profillerinde yan savak tarafında bir yığılma ve iç kıyıda bir miktar oyulma görülmekte iken kıvrımda tamamen tersi olmaktadır. Kıvrımlı kanalda, yan savak tarafındaki oyulmalar çok daha

derin olmaktadır.

5.2 Öneriler

Bu çalışmada elde edilen sonuçların ışığı altında, konu ile ilgili bundan sonra yapılacak çalışmalara yön vermesi bakımından aşağıdaki önerilerin sunulması gerekli görülmüştür :

- 1) Konu farklı eğrilik yarıçapına sahip kıvrımlarda incelenmelidir.
- 2) Farklı yan savak tipleri içinde, hareketli tabanlı kıvrımlı kanallardaki yan savak akımları çalışılmalıdır.
- 3) Farklı kıvrım açılarındaki değişimler incelenmelidir.
- 4) Yan savaklar, hareketli tabanlı bir kıvrımlı kanalın iç kıyısına da yerleştirilerek taban şekilleri araştırılmalıdır.
- 5) Farklı büyüklükteki taban malzemesi için de konu incelenmelidir.
- 6) Yığılma bölgesinde farklı Froude sayıları için, enine ve boyuna hız dağılımları belirlenerek, ters akım alanının yerinin hız oranlarına bağlı olarak değişiminin incelenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Ackers, P., (1957), "A Theoretical Consideration of Side Weirs as Storm Water Overflows", Proc. of the ICE, London, 6:250-269.
- Ağaçcıoğlu, H., (1995), Yan Savaklardaki Akımın Kıvrımlı Bir Kanal Boyunca İncelenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ağaçcıoğlu, H. ve Yüksel Y., (1998), "Side-Weir Flow in Curved Channels", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Proc., ASCE, 124(3):163-175.
- Apmann, R. P., (1972), "Flow Processes in Open Channel Bends", Journal of the Hydraulic Division, ASCE, 98(HY5):795-809.
- Apmann, R. P., (1972), "Estimating Discharge from Superelevation in Bends", Journal of the Hydraulic Division, ASCE, 99(HY1):65-79.
- Babbitt, H. E., (1953), Sewerage and Sewage Treatment, Wiley, New York.
- Bayazıt, M., (1971), Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- Chang, H. H., (1983), "Energy Expenditure in Curved Open Channels", Journal of the Hydraulic Division, ASCE, 109:7.
- Chang, H. H., (1983), "Variation of Flow Resistance through Curved Channels", Journal of the Hydraulic Division, ASCE, 110(12):1772-1782.
- Choudhary, U. K. ve Narasimhan, S., (1977), "Flow in 180° Open Channel Rigid Boundary Bends", Journal of Hydraulic Division, ASCE, Tec. Notes, 103(6):651-657.
- Chow, V. T., (1959), Open Channel Hydraulic, Mc Graw Hill, 16:439-460.
- Coleman, G. S. ve Smith, D., (1923), "The Discharging Capacity of Side Weirs", Selected Engineering Paper 6, Ins. Civ. Eng.
- Collinge, V. K., (1957), "The Discharge Capacity of Side Weirs", Proc. of the ICE, London, 6:288-304.
- De Marchi, G., (1934), "Saggio di Teoria de Funzionamento Degli Stramazzi Lateralı, L'Energia Elettrica, Milano, 11:849-860.
- El-Khashab, A. M. M., (1975), Hydraulics of Flow Over Side-Weirs, Ph.D. Thesis, Presented to the University of Southampton, England.
- El-Khashab, A. M. M. ve Smith, K. V. H., (1978), "Experimental Investigation of Flow over Side Weirs", Journal of the Hydraulics Division, Closure, Proc., A.S.C.E., 104(HY1): 126-128.
- Engels, H., (1920), "Mitteilungen aus der Dresdener Flussbaulaboratorium Weiten", 362-365; 387-390.
- Fares, Y. R. ve Herbertson, J. G., (1993), "Comportement de l'ecoulement dans un canal courbe avec un deversior lateral alimentant un canal evacuateur de crue", Journal of Hydraulic Research, 31(3):383-401.
- Forchhemier, P., (1930), Hydraulic, Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, Berlin, 3rd. ed.

- Francis, J. R. D. ve Asfari, A. F., (1971), "Les Repartition des Vitesses des Courant dans les Canaux a Surface Libre Incurves et de Grande Largeur", Journal of IAHR; 9:73.
- Frazer, W., (1954), The Behaviour of Side Weirs in Prismatic Rectangular Channels, Ph.D. Thesis, Presented Glasgow University.
- Gentilini, B., (1938), Ricerche Specimentali Sogli Sforatori Longitudinali, L'Energia Elettrica, 9.
- Georgiadou, A. D. ve Smith, A. K., (1986), "Flow in Curved Converging Channel", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 112(6):476-496.
- Müller, R., (1943), Theoretische Grundlagen der Fluss und Wildbachverbaugen (Theoretical Principles for Regulation of Rivers and Torrents), Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wassebau und Erdbau, 4.
- Muramoto, Y., (1967), "Secondary Flows in Curved Open Channels", Proc., IAHR, 3:315.
- Nimmo, W. H. R., (1928), "Side Spillways for Regulating Diversion Canals", Trans., ASCE, 92:1561-1584.
- Ramamurthy, A. S., Carballada, L. ve Tim, U. S., (1986), "Lateral Weirs in Trapezoidal Channels", Journal of the Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 112(2):130-137.
- Rozovskii, I. L., (1957), Flow of Water in Bends of Open Channels, Published by the Academy of Sciences of the Ukranianian SSR., Kiev.
- Shukry, A., (1950), "Flow Around Bends in Open Flume", Journal of Hydraulics Eng., ASCE, 115:751-759.
- Subramanya, K. ve Awasthy, S. C., (1972), "Spatially Varied Flow over Side Weirs", Journal of Hydraulic Division, Proc., ASCE, 98(HY1):1-10.
- Tozluk, H., (1994), Yan Savak Akımının Hesabı İçin Nümerik Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, İTÜ.
- Tyler, R. C., Carolla, J. A. ve Steyskal, N. A., (1929), "Discharge over Side Weirs with and without Baffles", Journal Boston Soc. Civ. Eng., 16:118.
- Uyumaz, A., (1982), Yan Savaklardaki Akımın Teorik ve Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ.
- Uyumaz, A. ve Smith, R. H., (1991), "Design Procedure for Flow over Side Weirs", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Proc., ASCE, 117(1):79-90.
- Üç, S., (1988), Vorteks Yayılma Frekansının Oylulma Derinliğine Etkisi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Vriend, D. ve Struiksmas, (1983), Flow and Bend Deformation in River Bends, Delft Hydraulic Laboratory, 317, The Netherlands.
- Yen, B. C., (1977), "Experimental Investigation of Flow over Side Weirs", Journal of Hydraulic Division, Discussion; Proc., ASCE, 103(HY5):580-581.
- Yen, L. C. ve Yen, B.C., (1971), "Water Surface Configuration in Channel Bends", Journal of Hydraulic Division, ASCE, 97(HY2):303-321

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 08.08.1975

Doğum yeri İstanbul

Lise 1986-1993

Hüseyin Avni Sözen Anadolu Lisesi

Lisans 1993-1997

Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1998-2001

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programı

Çalıştığı kurum

1998-Devam ediyor.

İSKİ Atıksu İnşaat Daire Başkanlığı Kontrol Mühendisi