

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

84960

ÜÇGEN KESİTLİ YAN SAVAKLARIN KIVRIMLI  
BİR KANAL BOYUNCA İNCELENMESİ

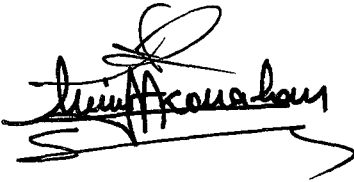
İnş. Yük. Müh. Ali COŞAR

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında  
Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

84960

Tez Savunma Tarihi : 20.Mayıs.1999  
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sabahattin ÜÇ (YTÜ)  
Jüri Üyeleri: : Prof. Dr. Emin KARAHAN (İTÜ)  
Prof. Dr. Sedat KAPDAŞLI (İTÜ)



TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMAN YAYIN MERKEZİ

İSTANBUL, 1999

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xii
ÖNSÖZ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. YAN SAVAK AKIMLARININ HİDROLİĞİ.....	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Konu ile İlgili Çalışmalar.....	2
2. KIVRIMLI KANALLAR.....	45
2.1 Giriş.....	45
2.2 Kıvrımlı Kanallarla İlgili Çalışmalar.....	46
3. KIVRIMLI KANALLARDA YAN SAVAK AKIMININ HİDROLİĞİ.....	72
3.1 Giriş.....	72
3.2 Konu ile İlgili Çalışma.....	72
3.3 İncelenecek Problem.....	82
4. MODEL ÇALIŞMALARI ve BOYUT ANALİZİ.....	85
4.1 Giriş.....	85
4.2 Deneysel Tesisi.....	85
4.3 Giriş Üçgen Savak Anahtar Eğrisinin Elde Edilmesi.....	92
4.4 Çıkış Üçgen Savak Anahtar Eğrisinin Elde Edilmesi.....	93
4.5 Deneysel Yapılışı.....	94
4.5.1 Su Yüzü Profillerinin Belirlenmesi ile İlgili Çalışmalar.....	94
4.5.2 Yan Savak Debi Katsayısının Elde Edilmesi ile İlgili Çalışmalar.....	94
4.6 Deneysel Çalışmada Olaya Etkili Parametrelerin Belirlenmesi.....	95
4.7 Boyut Analizi.....	96
5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	99
5.1 Kıvrım Boyunca Yanal Akım Alanlarının İncelenmesi.....	99
5.1.1 Su Yüzü Profillerinin İncelenmesi.....	99

5.1.2	Kıvrım Boyunca Yanal Akımdan Dolayı Oluşacak Akım Alanının Değerlendirilmesi.....	110
5.2	$C_d$ Yan Savak Debi Katsayısının Belirlenmesi.....	114
5.2.1	Doğrusal Yaklaşım Kanalına Yerleştirilen Üçgen Yan Savakta $C_d$ Yan Savak Debi Katsayısının Belirlenmesi.....	114
5.2.2	Doğrusal Kısımdaki $C_d$ Yan Savak Debi Katsayısının İncelenmesi.....	117
5.2.3	Doğrusal Kısımda Elde Edilen $C_d$ Yan Savak Debi Katsayılarının Kıvrım Girişinde ( $0^\circ$ ) Elde Edilen Değerlerle Karşılaştırılması.....	118
5.2.4	$C_d$ Yan Savak Debi Katsayısının Kıvrım Boyunca Değişiminin İncelenmesi.....	122
5.2.5	$C_d$ Yan Savak Debi Katsayısının Froude Sayısı ile Değişiminin Tepe Açısına ( $\theta$ ) Göre İncelenmesi.....	128
5.2.6	$C_d$ Yan Savak Debi Katsayısının Froude Sayısı ile Değişiminin ( $p/b$ )'ye Göre İncelenmesi.....	136
5.2.7	$C_d$ Yan Savak Debi Katsayısının ( $h_1/b$ )'ye Göre İncelenmesi.....	143
5.2.7.1	$C_d$ Yan Savak Debi Katsayısının ( $h_1/b$ ) Parametresi ile Değişiminin Eşik Yüksekliğine Göre İncelenmesi.....	143
5.2.7.2	$C_d$ Yan Savak Debi Katsayısının ( $h_1/b$ ) Parametresi ile Değişiminin Tepe açısına Göre İncelenmesi.....	151
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	159
6.1	Sonuçlar.....	159
6.2	Öneriler.....	162
	KAYNAKLAR.....	163
EK 1	Hareketli seviye ölçüm arabası.....	167
EK 2	Ana kanal seviye ayar kapağı.....	169
EK 3	Basic programında yazılmış bilgisayar programı.....	170
EK 4	Doğrusal Kanal Bölgesinde Su Yüzü Profilleri.....	173
EK 5	Kıvrımlı kanal kısmının $30^\circ$ 'lik bölgesinde su yüzü profilleri.....	182
	ÖZGEÇMİŞ.....	191

## SİMGE LİSTESİ

- $A$  = Ana kanal ıslak kesit alanı ( $m^2$ )  
 $b$  = Ana kanal genişliği (m)  
 $\beta$  = Momentum katsayısı  
 $b_2$  = Yan savak sonunda ana kanal genişliği (m)  
 $b_1$  = Yan savak başlangıcında ana kanal genişliği (m)  
 $b_d$  = Daralma oranı ( $b_f/b_0$ )  
 $b_f$  = 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  
 $C_0$  = Yersel teğetsel su yüzü eğimi katsayısı (C. L. Yen, B. C. Yen, 1971)  
 $C_d$  = 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)  
 $dQ_w/dx$  = savağın birim uzunluğundan savaklanan debi ( $m^3/sn$ )  
 $E$  = Herhangi bir kesitteki özgül enerji yüksekliği (m)  
 $\phi$  = 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 menbainda ana kanal eksenindeki su derinliği (m)  
 $h_2$  = yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)  
 $h_3$  = sıçramadan önceki ana kanal akım derinliği (m)  
 $h_4$  = sıçramadan sonraki ana kanal akım derinliği (m)  
 $h_b$  = dış kıyıdaki ana kanal su derinliği (m) (Frazer, 1954)  
 $h_f$  = Ortalama akım derinliği (m) (Frazer, 1954)  
 $h_{kr}$  = 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)  
 $H_0$  = Su yüzeyindeki boyuna değişim (m) (C. L. Yen, B. C. Yen, 1971)  
 $H_{re}$  = Enkesitteki iki nokta arasındaki su yüzü farkı (m) (C. L. Yen, B. C. Yen, 1971)  
 $H_s$  = Su yüzündeki yanal 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)  
 $J_0$  = 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 yanal değişim katsayısı  
 $K_0$  = Rölatif yan savak debi 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 ( $m^3/sn$ )  
 $\theta$  = üçgen yan savak tepe açısı ( $^\circ$ )  
 $Q'$  = yan savaktan sonraki ana kanal debisi ( $m^3/sn$ )  
 $q_s$  = Birim uzunluktan savaklanan debi ( $m^3/s-m$ )  
 $Q_w$  = yan savak debisi ( $m^3/sn$ )  
 $q_w$  = Yan savaktan savaklanma oranı (%)  
 $r$  = Eğrilik yarıçapı,  
 $\rho$  = Özgül kütle ( $kg/m^3$ )  
 $R$  = hidrolik yarıçap (m)  
 $r_0$  = Dış kıyı eğrilik yarıçapı (m)  
 $r_c$  = Kanal ekseni eğrilik yarıçapı (m)  
 $Re$  = Reynolds sayısı  
 $r_i$  = İç kıyı eğrilik yarıçapı (m)  
 $S_{xy}$  = Helikoidal akımın gücü (%)  
 $\tau$  = Taban kayma gerilmesi ( $N/m^2$ )  
 $u_*$  = Taban kayma hızı (m/s)  
 $V$  = ana kanaldaki ortalama akım hızı ( $m/sn$ )  
 $V_\theta$  = Kıvrımda teğetsel hız bileşeni  
 $V_{0m}$  = 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)  
 $\psi$  = Savaklanma (sapma) açısı  
 $\gamma$  = Akışkanın özgül ağırlığı  
 $\lambda$  = Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı  
 $\epsilon$  = Eddy viskozitesi  
 $\nu$  = Kinematik viskozite  
 $\eta$  = rölatif derinlik (z/h)  
 $\chi$  = Von Karman sabiti  
 $\xi$  = Vortex bileşeni  
 $\alpha_0$  = Ortalama merkezkaç kuvveti katsayısı  
 $\alpha_2$  = Yan savak mansabındaki hız katsayısı  
 $\alpha_1$  = Yan savak menbaındaki hız katsayısı  
 $\Delta E$  = Özgül enerji gradyanı  
 $\theta_f$  = Toplam kıvrım açısı  
 $\Delta h$  = Su yüzeyindeki enine kabarma miktarı (m)  
 $\tau_{r0}$  = Taban kayma gerilmesi radyal bileşeni ( $N/m^2$ )  
 $\epsilon_s$  = Difüzyon katsayısı  
 $\alpha$  = Kıvrım açısı ( $^\circ$ )

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Deneysel olarak gözlenen su yüzü profilleri (Engels (1920), Coleman ve Smith (1923), Tyler, Carollo ve Steyskal (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).....9
Şekil 1.4	(h/E) fonksiyonunun (p/E) parametresinin farklı değerleri için değişimi (De Marchi, 1934).....12
Şekil 1.5	Yan savak boyunca meydana gelen sıçrama hali (Frazer, 1954).....14
Şekil 1.6	Daire enkesitli kanallardaki yan savak genel görünüşü (Allen,1957).....19
Şekil 1.7.a	Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak debi katsayısının değişimi. (Subramanya-Awasthy, 1972).....21
Şekil 1.7.b	Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda sel rejimli akım durumunda yan savak debi katsayısının değişimi. (Subramanya-Awasthy, 1972).....22
Şekil 1.8	Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gelişimi (El-Khashap, 1975).....25
Şekil 1.9	Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda sel rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gelişimi (El-Khashap, 1975).....25
Şekil 1.10	Ana kanala dik bir branş bağlanması durumunda yan savağın genel görünüşü (R.Raju, Prasat ve Grupta, 1979).....28
Şekil 1.11	Kalın kenarlı savaklar için $(h_1-p)/L_s$ ile K katsayısının değişimi. (R.Raju, Prasad ve Grupta, 1979).....29
Şekil 1.12	Dikdörtgen prizmatik debi dağıtım kanalı genel görünüşü (Chao ve Trussel, 1980).....30
Şekil 1.13	Üniform debi dağılımı için üniform daralan debi dağılım kanalı genel görünüşü (Chao ve Trussel, 1980).....31
Şekil 1.14	Enkesit genişliği yan savak boyunca tedricen daralan kanala yerleştirilen yan savak görünüşü (Jain ve Fischer, 1982).....32
Şekil 1.15	B ve C katsayılarının L/D'ye göre değişimi (Uyumaz, 1982).....34
Şekil 1.16	M ve N katsayılarının L/D'ye göre değişimi (Uyumaz, 1982).....35
Şekil 1.17	Trapez enkesitli bir kanalda trapez enkesitli yan savak genel görünüşü (Ramamurthy, Tim ve Carballada, 1986).....35
Şekil 1.18	Yan savak görünüşü (Kumar-Pathak, 1987).....37
Şekil 1.19	Keskin kenarlı üçgen yan savaklar için yan savak debi katsayısının değişimi. (Kumar-Pathak, 1987).....39
Şekil 1.20	Yan savak genel görünüşü (R. Singh, D.Manivanmani ve T.Satyanarayana ,1994).....41
Şekil 1.21	Yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi. (R. Singh, D.Manivanmani ve Satyanarayana, 1994).....42
Şekil 1.22	Yan savak debi katsayısının $p/h_1$ oranına ile değişimi. (R. Singh, D.Manivanmani ve Satyanarayana, 1994).....42
Şekil 1.23	Savak enkesiti ve plan.....44

Şekil 2.1	Kanal enkesiti (Chow, 1957).....	47
Şekil 2.2	Kıvrımlı bir kanalda su yüzü profilleri ve maksimum hız yörüngesinin değişimi (Shukry, 1950).....	50
Şekil 2.3	Açık kanal kıvrımında enerji çizgisi ve su yüzü profilleri (Chow, 1957).....	52
Şekil 2.4	Max $V_0$ 'nın kıvrım açısına göre kesitten kesite değişimi. a) $r/b=3$ , b) $r/b=7.9$ .....	59
Şekil 2.5	Kıvrımlı kanaldaki bir akışkan parçacığına etki eden basınç kuvvetleri.....	60
Şekil 2.6	Deney kanalı (C. L. Yen ve B. C. Yen).....	63
Şekil 2.7	Deney seti (A.D.Georgiadou ve K.V.H.Smith).....	71
Şekil 3.1	Dış kıyısında yan savağa sahip $60^\circ$ lik bir kanal kıvrımı (Y.R.Fares ve J.G.Herbertson, 1993).....	73
Şekil 3.2	Dış kıyısındaki yan savak üzerinden yanal akıma sahip $60^\circ$ lik kanal kıvrımında derinlik boyunca hız dağılımları (Y.R.Fares ve J.G.Herbertson, 1993).....	74
Şekil 3.3	Doğrusal yaklaşım kanalında $L/b=0.625$ (1 eğrisi) ve $L/b=1.25$ (2 eğrisi) için elde edilen yan savak debi katsayılarının Subramanya-Awasthy eğrisi ile karşılaştırılması (Ağaçcıoğlu, 1995).....	77
Şekil 3.4	$L/b=0.625$ için yan savak debi katsayılarının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi (Ağaçcıoğlu, 1995).....	81
Şekil 3.5	$L/b=1.25$ için yan savak debi katsayılarının Froude Ssayısı ile kıvrım boyunca değişimi (Ağaçcıoğlu, 1995).....	81
Şekil 3.6	$L/b=1.875$ için yan savak debi katsayılarının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi (Ağaçcıoğlu, 1995).....	82
Şekil 4.1	Deney kanalı plan ve detayları.....	86
Şekil 4.2	Deney kanalını besleyen dinlendirme havuzu ve üçgen savak.....	88
Şekil 4.3	Savaktan sonraki dinlendirme havuzu.....	88
Şekil 4.4	Deney kanalı genel görünüşü.....	89
Şekil 4.5	Yaklaşım kanalı.....	89
Şekil 4.6	Radyal seviye ayar kapağı ve üçgen yan savak genel görünüşü.....	90
Şekil 4.7	Hareketli seviye ölçüm arabası.....	92
Şekil 4.8	Üçgen savak anahtar eğrisi .....	93
Şekil 4.9	Çıkış üçgen savak anahtar eğrisi. ....	94
Şekil 5.1	Kıvrımda yan savak bölgesinde aktif savaklanma durumunda ana kanaldaki akımın durumu.....	100
Şekil 5.2	Savaklanma halinde yanal akım ve ters akımın oluşumu.....	100
Şekil 5.3	Savaklanma halinde yanal akımın ve ters akımın savaklanma kesitindeki durumu.....	101
Şekil 5.4	Yanal akım, ayrılma bölgesi, ters akımın oluşumu ve durgunluk bölgesinin meydana gelmesi.....	102
Şekil 5.5	Ayrılma bölgesi ve ters akımın küçülmesi.....	103
Şekil 5.6	Yan savak mansap ucunda hidrolik sıçramanın oluşumu.....	103
Şekil 5.7	Yan savak mansap kısmında duran dalgaların meydana gelmesi.....	104
Şekil 5.8	Kıvrımda yan savak bölgesinde yüksek Froude sayılarında ( $Fr_1 \geq 0.3$ )aktif savaklanma durumunda ana kanaldaki akımın durumu (Ağaçcıoğlu, 1995).....	104
Şekil 5.9	Doğrusal kanalda ana kanal ekseninde ve savak kretindeki su yüzü profilinin değişimi.....	105

Şekil 5.10	Kıvrımlı kanal bölgesinde kanal ekseninde su yüzü profilinin durumu.....	105
Şekil 5.11	$\theta = 120^\circ$ tepe açılı $p=0.16$ m eşik yükseklikli savak için tüm kanal bölgelerinde su yüzü profillerinin değişimi.....	106
Şekil 5.12	$\theta = 60^\circ$ tepe açılı $p=0.12$ m eşik yükseklikli savak için su yüzü profilleri...	107
Şekil 5.13	Yanal akım nedeniyle kanal enkesitinde oluşan akımın hareketi (El-Khashap, 1975).....	111
Şekil 5.14	Yanal akımdan dolayı ana kanaldaki akım çizgilerinin hareketi ve durgunluk bölgesinin oluşumu (El-Khashap, 1975).....	112
Şekil 5.15	Yanal akımdan dolayı kanal enkesitinde oluşan sekonder akım (El-Khashap, 1975).....	112
Şekil 5.16	Doğrusal kanalda $60^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.....	115
Şekil 5.17	Doğrusal kanalda $90^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.....	115
Şekil 5.18	Doğrusal kanalda $120^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.....	116
Şekil 5.19	Doğrusal kanalda $60^\circ$ , $90^\circ$ ve $120^\circ$ tepe açılara sahip üçgen yan savaklarda $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile lineer değişimi.....	117
Şekil 5.20	Doğrusal kanalda $60^\circ$ , $90^\circ$ ve $120^\circ$ tepe açılara sahip üçgen yan savaklarda $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile 2. Dereceden eğrisel değişimi.....	118
Şekil 5.21	$p=0.12$ m eşik yükseklikli ve $90^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.....	119
Şekil 5.22	$p=0.16$ m eşik yükseklikli ve $60^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.....	119
Şekil 5.23	$p=0.16$ m eşik yükseklikli ve $90^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.....	120
Şekil 5.24	$p=0.12$ m eşik yükseklikli ve $120^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.....	120
Şekil 5.25	$p=0.16$ m eşik yükseklikli ve $120^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.....	121
Şekil 5.26	$p=0.20$ m eşik yükseklikli ve $120^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.....	121
Şekil 5.27	$p=0.12$ m eşik yükseklikli ve $60^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.....	122
Şekil 5.28	$p=0.16$ m eşik yükseklikli ve $60^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.....	122
Şekil 5.29	$p=0.20$ m eşik yükseklikli ve $60^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.....	123
Şekil 5.30	$p=0.12$ m eşik yükseklikli ve $90^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.....	123



Şekil 5.31	p=0.16m eşik yükseklikli ve 90° tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.....	124
Şekil 5.32	p=0.20m eşik yükseklikli ve 90° tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.....	124
Şekil 5.33	p=0.12m eşik yükseklikli ve 120° tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.....	125
Şekil 5.34	p=0.16m eşik yükseklikli ve 120° tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.....	125
Şekil 5.35	p=0.20m eşik yükseklikli ve 120° tepe açısına sahip üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.....	126
Şekil 5.36	p=0.12m eşik yükseklikli üçgen yan savakta kıvrım girişinde $C_d$ yan savak debi katsayısının tepe açılarına göre değişimi.....	130
Şekil 5.37	p=0.16m eşik yükseklikli üçgen yan savakta kıvrım girişinde $C_d$ yan savak debi katsayısının tepe açılarına göre değişimi.....	130
Şekil 5.38	p=0.20m eşik yükseklikli üçgen yan savakta kıvrım girişinde $C_d$ yan savak debi katsayısının tepe açılarına göre değişimi.....	131
Şekil 5.39	p=0.12m eşik yükseklikli üçgen yan savakta 30°'lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının tepe açılarına göre değişimi.....	131
Şekil 5.40	p=0.16m eşik yükseklikli üçgen yan savakta 30°'lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının tepe açılarına göre değişimi.....	132
Şekil 5.41	p=0.20m eşik yükseklikli üçgen yan savakta 30°'lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının tepe açılarına göre değişimi.....	132
Şekil 5.42	p=0.12m eşik yükseklikli üçgen yan savakta 60°'lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının tepe açılarına göre değişimi.....	133
Şekil 5.43	p=0.16m eşik yükseklikli üçgen yan savakta 60°'lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının tepe açılarına göre değişimi.....	133
Şekil 5.44	p=0.20m eşik yükseklikli üçgen yan savakta 60°'lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının tepe açılarına göre değişimi.....	134
Şekil 5.45	p=0.12m eşik yükseklikli üçgen yan savakta 90°'lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının tepe açılarına göre değişimi.....	134
Şekil 5.46	p=0.16m eşik yükseklikli üçgen yan savakta 90°'lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının tepe açılarına göre değişimi.....	135
Şekil 5.47	p=0.20m eşik yükseklikli üçgen yan savakta 90°'lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının tepe açılarına göre değişimi.....	135
Şekil 5.48	$\theta=60^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta kıvrım girişinde $C_d$ yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.....	137
Şekil 5.49	$\theta=90^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta kıvrım girişinde $C_d$ yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.....	138
Şekil 5.50	$\theta=120^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta kıvrım girişinde $C_d$ yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.....	138
Şekil 5.51	$\theta=60^\circ$ tepe açısına sahip üçgen yan savakta 30°'lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.....	139



Şekil 5.75	p=0.12 m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta 30°lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının $h_1/b$ parametresine göre değişimi.....	154
Şekil 5.76	p=0.16 m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta 30°lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının $h_1/b$ parametresine göre değişimi.....	154
Şekil 5.77	p=0.20 m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta 30°lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının $h_1/b$ parametresine göre değişimi.....	155
Şekil 5.78	p=0.12 m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta 60°lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının $h_1/b$ parametresine göre değişimi.....	155
Şekil 5.79	p=0.16 m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta 60°lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının $h_1/b$ parametresine göre değişimi.....	156
Şekil 5.80	p=0.20 m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta 60°lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının $h_1/b$ parametresine göre değişimi.....	156
Şekil 5.81	p=0.12 m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta 90°lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının $h_1/b$ parametresine göre değişimi.....	157
Şekil 5.82	p=0.16 m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta 90°lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının $h_1/b$ parametresine göre değişimi.....	157
Şekil 5.83	p=0.20 m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta 90°lik kıvrım bölgesinde $C_d$ yan savak debi katsayısının $h_1/b$ parametresine göre değişimi.....	158
EK 1	Hareketli seviye ölçüm arabası.....	167
EK 2	Ana kanal seviye ayar kapağı.....	169
EK 4	Doğrusal Kanal Bölgesinde Su Yüzü Profilleri.....	173
EK 5	Kıvrımlı kanal kısmının 30°lik bölgesinde su yüzü profilleri.....	182



## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Savak katsayıları (Collinge,1957).....	17
Çizelge 1.2 Savak boyutları ve akım karakteristikleri.....	37
Çizelge 2.1 Farklı akım şartlarında 'd' ve 's' noktalarının değişimi.....	50
Çizelge 3.1 Kıvrım boyunca farklı L/b değerleri için (3.2) eşitliğindeki A, B ve C katsayıları.....	80
Çizelge 4.1 Üçgen Yan Savak Akımına Etki Eden Parametreler.....	95
Çizelge 4.2 Yan Savak Katsayısına Etki Eden Parametreler İçin Boyut Analizi. ....	96
Çizelge 4.3 Yan Savak Katsayısına Etki Eden Boyutsuz Parametreler.....	97

## **ÖNSÖZ**

**Bu çalışmayı yöneten ve çalışmanın her aşamasında ilgi ve desteğini esirgemeyen hocam Prof. Dr. Sabahattin ÜÇ'e teşekkürlerimi sunarım.**

**Çalışmam süresince ilgi ve desteğini gördüğüm Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL'e ve değerli görüş ve tavsiyelerinden büyük ölçüde yararlandığım arkadaşım Yrd. Doç. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU'na 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 her türlü desteği veren eşim M. Nilay COŞAR'a ve aileme teşekkür ederim.**

**İstanbul, 1999**

**Ali COŞAR**

## ÖZET

Sulama, hidroelektrik ve arıtma sistemleri gibi hidrolik yapılara ait iletim tesisleri, ihtiyaç ve ekonomi dikkate alınarak optimum bir kapasiteye göre projelendirilir. Kanala giren fazla suyun taşarak çevreye zarar vermemesi için uygun yerlere yan savaklar yerleştirilir. Birleşik sistem kanalizasyon tesislerinde yağışlı zamanlarda gelecek fazla suların arıtma tesisine ulaşmadan uzaklaştırılması gerekir. Vadi yamaçlarından geçirilen kanallarda, havzadan yüzeysel akış yoluyla gelecek fazla sular da yan savaklarla taşkın kanallarına deşarj edilebilir. Bu tip hidrolik yapılar, genellikle, akıma paralel yerleştirildikleri için yan savak olarak isimlendirilirler. Yan savak kreti genellikle kanal eksenine paralel veya belli bir açı yapacak şekilde düzenlenmektedir. Aynı zamanda kanal tabanına paralel veya belli bir eğimde yapılabilmektedir. Yan savaklar dikdörtgen, üçgen veya trapez kesitte olabileceği gibi, kret tipine göre keskin kenarlı veya kalın kenarlı olarak seçilmektedir. Yanal akım nedeniyle savak ile ana kanal arasındaki akım yapısı tedrici değişen bir karakter göstermektedir. Savaklanan akım miktarının tam doğru şekilde tespit edilmesi teorik olarak oldukça zordur. Bu sebeple akım şartlarının iyi tespit edilmesi için deneysel çalışma tercih edilmektedir. Pek çok araştırmacı klasik yan savaklar için teorik ve deneysel çalışma yapmıştır. Ancak şimdiye kadar verilen eşitliklerin hiçbiri doğrusal kanallarda bile oldukça yeterli görülmemektedir.

Akarsularda su alma yapılarının kıvrımlara yapılması da söz konusu olabilmektedir. Kıvrımlı bir kanalda akım yapısından dolayı helikoidal akım meydana gelmektedir. Ayrıca kıvrımın mevcudiyeti enine ve boyuna su yüzü eğiminin meydana gelmesine neden olmaktadır. Yanal akım ve kıvrımlı kanal akımı birlikte söz konusu olduğunda da akım çok karmaşık bir yapıya sahip olmaktadır.

Bu çalışmada, doğrusal kanal bölgesi ve 180°'lik kıvrımın farklı yerlerine yerleştirilen keskin kenarlı üçgen kesitli yan savakların hidroliği deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmada farklı yan savak boyutları için kıvrım boyunca  $C_d$  yan savak debi katsayıları ve su yüzü profilleri elde edilmiştir. Kıvrım boyunca yan savak debi katsayılarının ana kanal menbaındaki Froude sayısına ( $Fr_1$ ), kıvrım açısına ( $\alpha$ ), yan savak tepe açısına ( $\theta$ ) ve rölatif nap yüksekliğine ( $h_1/b$ ) bağlı olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Debi katsayısı, Helikoidal akım, Yanal akım, Kıvrımlı kanal, Tepe açısı, Eşik yüksekliği

## ABSTRACT

The hydraulic structures such as irrigation, hydroelectric and treatment systems are designed according to demanding capacity and economical critters. Side-weir are placed on the channels in order to protect the around of the structures against the floods. Over flow rate of the combined waste water collection systems must be spilled during the wet period. Excess surface water coming from cathcment areas can be discharged by side-weir channels located on valley sides. This type of weirs are called side-weirs because they are generally located parallel to the main channel axis. The weir crest of a lateral weir is usually parallel to the axis of the channel, or slightly inclined towards it. At the sametime, the crest can be horizontal or also slightly sloping in the direction of flow. There are different types of side-weir which are rectangular, triangular and trapezoidal, and also they can be sharp crested and broad crested according to the crest type. The overfall head at the weir changes along the spillway crest. The channel flow along the weir is a spatially varied nonuniform flow conditioned by the division of the flow between the main channel and the weir, which further changes with varying crest shapes and with different positions of the side-weir, i.e. in a straight channel or in a bend. It is therefore difficult to compute the flow theoretically with any safety and for the design of large and important side channel weirs it is best to investigate the flow, discharge condition and design details on scale models. Many scientists have dealt with the theoretical and experimental solution of the classical side-weir. However none of the equations encounteres up to now is the best appropriate even in straight channel.

On the other hand, side-weirs can be placed on the bends as an intake structures. Because of the secondary flow, helicoidal flow occurs on curved channel and the presence of a bend causes tilting of the water surface. The combination of lateral flow and bend flow will cause the most complex flow pattern.

The present study focuses on the investigation of the hydraulic behaviour of a triangular sharp crested weir at straight channel and various locations along a 180° bend. In the study, triangular side-weir discharge coefficients and water surface profiles have been obtained at straight channel and along the bend for different triangular side-weir dimensions. The side-weir discharge coefficient along the bend was found to depend on the upstream Froude number ( $Fr_1$ ), bend angle ( $\alpha$ ), apex angle of triangular weir ( $\theta$ ) and relative nappe height ( $h_1/b$ ).

**Key words:** Discharge coefficient, Helicoidal flow, Lateral flow, Curved channel, Apex angle, Weir crest

## 1. YAN SAVAK AKIMLARININ HİDROLİĞİ

### 1.1 Giriş

Sulama, hidroelektrik ve diğer hidrolik yapıların su temini amaçlı tesislerinin iletim kanalları ihtiyaç ve ekonomi de 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 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 ekseni 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.

## 1.2 Konu ile İlgili Çalışmalar

Parmley (1905), yapmış olduğu çalışmalar sonucunda sel rejimli akım şartları için yan savak uzunluğunu veren ifadeyi,

$$L = 0.106bV\sqrt{g} \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{h_2 - p}\right)} - \sqrt{\left(\frac{1}{h_1 - p}\right)} \right] \quad (1.1)$$

şeklinde vermiştir. Burada;

L=yan savak uzunluğu (m)

b= ana kanal genişliği (m)

V = ana kanaldaki ortalama akım hızı (m/sn)

$h_1$  = yan savak menbaında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)

$h_2$  = yan savak mansabında ana kanal ekseninde su derinliği (m)

p = savak eşik yüksekliği (m)

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

Engels (1920), dikdörtgen enkesitli kanallarda yaptığı deneysel çalışmalarda yan savaklar üzerindeki su yüzü profillerini gözlemleyerek yan savaktan savaklanan debi için,

$$Q_w = C_d \sqrt{2gL}^{0.83} (h_2 - p)^{1.67} \quad (1.2)$$

bağıntısını vermiştir. Burada ;  $Q_w$  = yan savak debisi ( $m^3/sn$ ) dir.

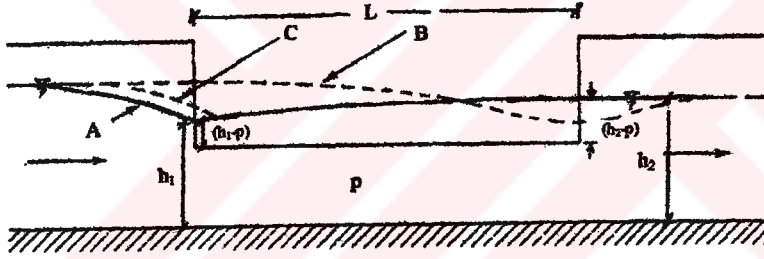
Engels (1920)'in vermiş olduğu (1.2) denklemi sabit genişlikli dikdörtgen kanallar için geçerlidir. Araştırmacı ayrıca yan savak uzunluğu boyunca kanal genişliği tedricen azalan dikdörtgen enkesitli kanallar için ise,

$$Q_w = C_d \sqrt{2gL}^{0.9} (h_2 - p)^{1.60} \quad (1.3)$$

ifadesini vermiştir.

Engels (1920) deneysel çalışmalarını nehir rejimli akım şartlarında yaptığından yukarıda verilen ifadeler nehir rejimli akım şartlarında geçerlidir. Araştırmacı, su yüzü profillerinin yan savak menba 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 menbadan 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 (Engels (1920), Coleman ve Smith (1923), Tyler, Carollo ve Steyskal (1929) )

Araştırmacılar yan savak debisini veren bağıntıyı da,

$$Q_w = 2.58bL^{0.72} (h_1 - p)^{1.645} \quad (1.4)$$

şeklinde vermişlerdir. Ayrıca yan savak uzunluğunu veren bağıntı da araştırmacılar tarafından aşağıdaki ifadeyle verilmiştir.



$$L = 1.16bV_1(h_1 - p)^{0.13} \left[ \sqrt{\left(\frac{1}{h_2 - p}\right)} - \sqrt{\left(\frac{1}{h_1 - p}\right)} \right] \quad (1.5)$$

Burada;  $V_1$  = yan savak menbaında ana kanal eksenindeki hızdır.

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

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.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{(J - J_0) - \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ_w}{dx}}{1 - Fr_1^2} \quad (1.6)$$

Burada;

$J$  = Enerji çizgisi eğimi

$J_0$  = Ana kanal taban eğimi

$g$  = Yer çekimi ivmesi ( $m^2/sn$ )

$A$  = Dikdörtgen enkesitli ana kanaldaki ortalama ıslak alan ( $m^2$ )

$dQ_w/dx$  = savağın  $dx$  uzunluğundan savaklanan debi ( $m^3/sn$ )

$Fr_1$  = Froude sayısını ifade etmektedir.

Nimmo (1928),  $dQ/dx$  ifadesinin  $(h - p)$  savak yüküne bağlı olarak aşağıdaki ifade ile bulunabileceğini belirtmiştir.

$$\frac{dQ_w}{dx} = q_x = -C_d (h - p)^{3/2} \quad (1.7)$$

Buradaki  $C_d$  = Yan savak debi katsayısıdır. Araştırmacı ayrıca (1.6) ifadesinin kanalın yatay ( $J=J_0$ ) ve sürtünme yük kayıplarının ihmal edilebileceği kabulü ile,

$$\frac{dh}{dx} = \frac{Q}{gA^2} \frac{1}{(Fr_1^2 - 1)} \frac{dQ_w}{dx} \quad (1.8)$$

şeklinde basitleştirilebileceğini söylemiştir.

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). Ayrıca Engels (1920)'in çalışmalarında elde ettiği formüllerin de uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda dalgıç perdenin yan savak debisini artırıcı bir etki yaptığını ve dalgıç perdenin ana kanalla  $90^\circ$ 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 menba ve mansap su derinlikleri arasındaki farkı veren ifadeyi aşağıdaki şekilde elde etmişlerdir.

$$h_2 - h_1 = \frac{Q^2 - Q'^2}{2gA^2} - \left[ \frac{Q + Q'}{2A} \right]^2 \frac{n^2}{R^{1.4}} L \quad (1.9)$$

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) dir.

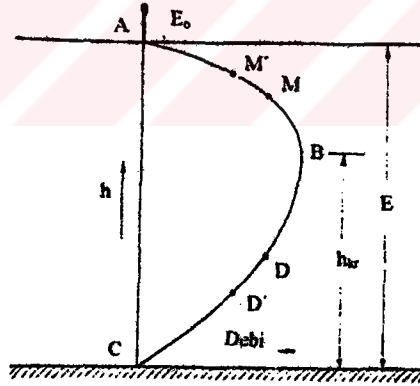
De Marchi (1934), yan savak boyunca özgül enerjinin sabit kaldığını kabul ederek bir teori geliştirmiş ve aşağıdaki kabulleri yapmıştır:

- 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 menba ve mansabından belirli bir uzaklıkla ana kanaldaki akım üniformdur.
- e) Savak uzunluğu boyunca savaklanan debi aşağıda verilen normal savak formülünden hesaplanabilir.

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

- 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,

$$E = h + \frac{Q^2}{2gA^2} = \text{sabit} \quad (1.11)$$

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

$$gA^3 \frac{dh}{dx} + QA \frac{dQ}{dx} - Q^2 \frac{dA}{dx} = 0 \quad (1.12)$$

elde edilir. Kanal enkesitinin dikdörtgen olması durumunda ıslak alanın yükseklikle değişimi,

$$\frac{dA}{dx} = b \frac{dh}{dx} \quad (1.13)$$

olacağından, yukarıdaki ifade,

$$\frac{dh}{dx} = \frac{AQ}{bQ^2 - gA^3} \frac{dQ}{dx} \quad (1.14)$$

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

(1.14) eşitliğinden, Q, A,  $dQ/dx$  ve b ifadelerinin bilinmesi durumunda herhangi bir kesitteki su yüzü profili bulunabilir. Bu denklemde, nehir rejimli akım durumunda  $(V < \sqrt{2gh})$   $dh/dx$ 'in pozitif değerde, sel rejimli akım durumunda  $(V > \sqrt{2gh})$  ise  $dh/dx$ 'in negatif olduğu

görülebilmektedir. 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 menbaında akım üniform sel rejiminde ve kanal büyük eğimli ise akım menba kontrollüdür ve savak boyunca derinlik tedricen azalır. Menba tarafına yan savağın etkisi yoktur (Şekil 1.3.a).

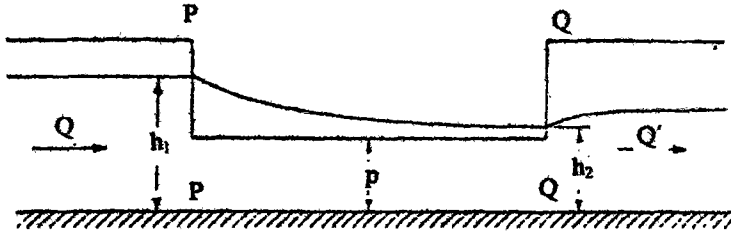
b) Yan savak menbaında nehir rejiminde bir akım oluşacak şekilde bir kanal eğimi mevcut ise savağın etkisi menba tarafında hissedilir. Yani akım mansap kontrollüdür. QQ kesitinin mansap tarafındaki derinlik, kanalda kalan  $Q'$  debisine karşı gelen normal akım derinliği olacaktır. Yan savak boyunca derinlik tedricen artacak ve PP kesitinin menba 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 menbadan 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).

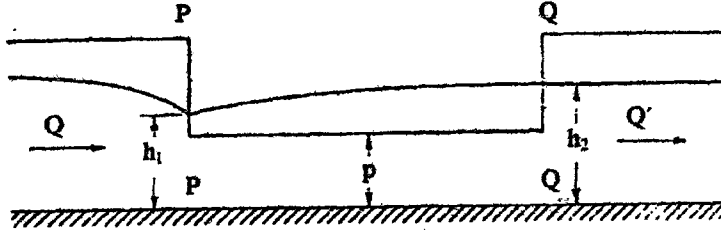
De Marchi (1934), dikdörtgen kesitli bir kanal için de (1.14) eşitliğinin kesin çözümünün elde edilebileceğini göstermiştir. Buna göre (1.14) eşitliği yeniden yazılırsa,

$$\frac{dh}{dx} = \frac{Qh}{Q^2 - gb^2h^3} \frac{dQ}{dx} \quad (1.15)$$

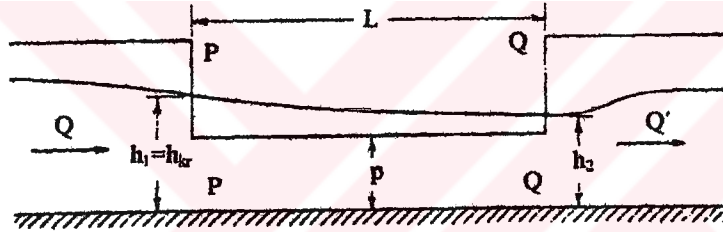
olur. (1.11) eşitliğinden elde edilen



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)

$$Q = bh\sqrt{2g(E-h)} \quad (1.16)$$

bağıntısı ve

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

kabulü yapılarak denklemler birlikte kullanılırsa, (1.15) eşitliği,

$$\frac{dh}{dx} = -\frac{2C_d \sqrt{(E-h)(h-p)^{3/2}}}{b(2E-3h)} \quad (1.18)$$

şeklinde yazılabilir. Tekrar düzenlenerek,

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

ifadesi elde edilir. Bu eşitliğin integrasyonu sonucunda ise,

$$x - x_0 = \frac{b}{C_d} \left\{ \frac{2E-3p}{E-p} \sqrt{\frac{E-h}{h-p}} - 3 \text{Arc sin} \sqrt{\frac{E-h}{E-p}} \right\} \quad (1.19)$$

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,

$$x_2 - x_1 = \frac{b}{C_d} \left[ \left\{ \frac{2E-3p}{E-p} \sqrt{\frac{E-h_2}{h_2-p}} - 3 \text{Arc sin} \sqrt{\frac{E-h_2}{E-p}} \right\} - \left\{ \frac{2E-3p}{E-p} \sqrt{\frac{E-h_1}{h_1-p}} - 3 \text{Arc sin} \sqrt{\frac{E-h_1}{E-p}} \right\} \right] \quad (1.20)$$

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

$$L = \frac{b}{C_d} \left\{ \phi\left(\frac{h_2}{E}\right) - \phi\left(\frac{h_1}{E}\right) \right\} \quad (1.21)$$

olarak bulunur.



$p/E$  parametresinin çeşitli değerleri için  $\phi(h/E)$  eğrileri Şekil 1.4'de verilmiştir. Eğer yan savak debisi, menba veya mansap uçlarının herhangi birindeki akım rejimi (aynı zamanda  $(h/E)$ ) biliniyorsa, (1.21) 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. Araştırmacı, sel rejimli akım şartları için yan savak uzunluğunu veren ifadeyi,

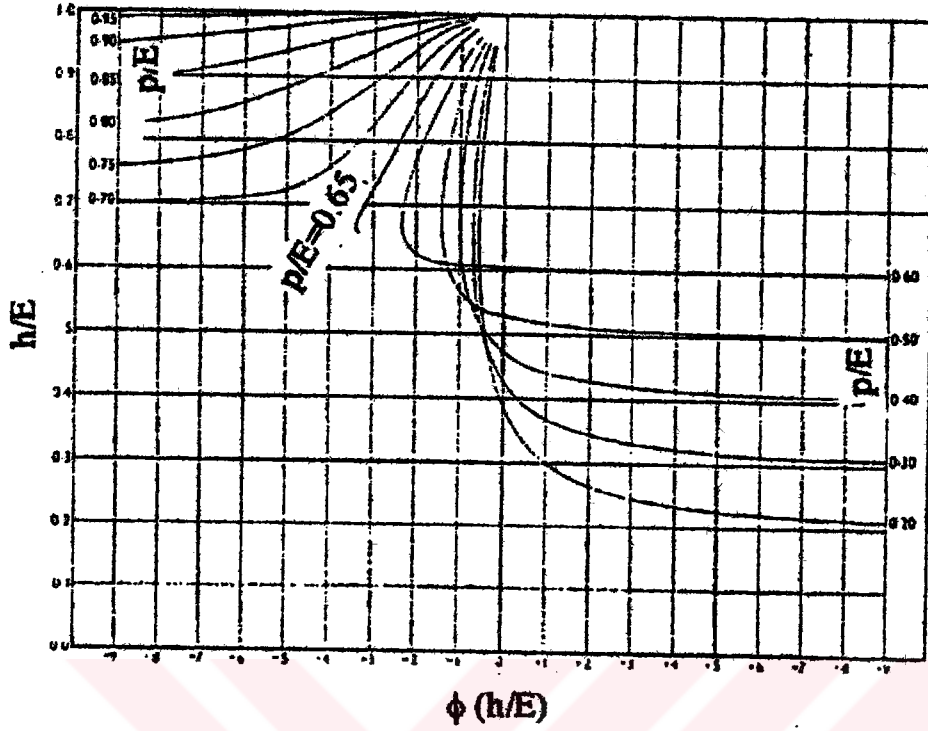
$$L = 7.55V_1 D \log \frac{(h_1 - p)}{(h_2 - p)} \quad (1.22)$$

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

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.



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

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

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

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

Frazer (1954), yaptığı deneysel çalışmalarda çeşitli denemelerden sonra ve yaptığı kabullerle Simpson metodunu kullanarak ortalama akım derinliğini veren ifadeyi aşağıdaki şekilde elde etmiştir.

$$h_f = \frac{h_b + 4h_m + h_w}{6} \quad (1.23)$$

Burada;

$h_b$  = dış kıyıdaki ana kanal su derinliği (m)

$h_m$  = ana kanal eksenindeki su derinliği (m)

$h_w$  = yan savak bölgesindeki su derinliği (m)

ni göstermektedir.

Frazer (1954), yan savak üzerindeki hidrolik sıçramayı inceleyen ilk araştırmacıdır. Araştırmacı, yan savak üzerinde meydana gelen hidrolik sıçramanın, sıçramadan önceki akım şartlarını değiştirmedigini 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 şeklinde olup momentum denkleminde elde edilen ortalama akım derinliği ifadesi aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 1.5).

$$h_{4,r} = \frac{h_{3,r}}{2} \left[ \sqrt{\frac{8q_w^2}{h_{3,r}^3} + 1} - 1 \right] \quad (1.24)$$

Burada;

$$h_{4,r} = h_4/h_{kr}$$

$$h_{3,r} = h_3/h_{kr}$$

$$q_w = Q_w/Q$$

$h_4$  = sıçramadan sonraki ana kanal su derinliği (m)

$h_3$  = sıçramadan önceki ana kanal su derinliği (m)

olarak verilmiştir.

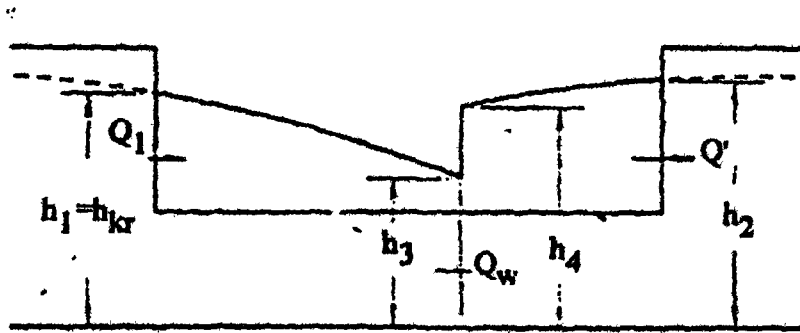
Sıçramadan sonraki durumda debi ile su derinliği arasındaki ilişkiyi veren bağıntı,

$$q_2 = h_{2,r} \sqrt{(\psi - 2h_{2,r})} \quad (1.25)$$

şekindedir. Burada;

$$h_{2,r} = \frac{h_2}{h_{kr}} \quad \text{ve} \quad \psi = 2h_{4,r} + \left( \frac{q_3}{h_{3,r}} \right)^2 \quad (1.26)$$

olarak verilmektedir.



Şekil 1.5. Yan savak boyunca meydana gelen sıçrama hali (Frazer, 1954)

Schmidt (1955-1956), dikdörtgen enkesitli kanallarda nehir rejimine sahip akım şartlarında deneysel çalışmalar yaparak normal savak denklemine benzeyen aşağıdaki ifadeyi vermiştir.

$$Q_w = C_d L \sqrt{2g} \left( \frac{(h_1 - p) + (h_2 - p)}{2} \right)^{3/2} \quad (1.27)$$

Burada;  $Q_w = Q - Q'$  ifadesinden hesaplanabilir. Ayrıca yan savak debi katsayısının,

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

ifadesinden hesaplandığında oldukça iyi sonuçlar verdiğini ileri sürmüştür. Burada,  $C_{nor}$  Akıma dik olarak kanala yerleştirilen aynı savak için savak debi katsayısıdır.

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

$$h_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad (1.28)$$

den  $h_1$  değeri hesaplanabilir. Denklemdaki  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  değerleri sırasıyla yan savak menba ve mansabındaki hız katsayıları olup her ikisi için 1.1 değeri alınabilmektedir.  $h_L$  ise yan savak boyunca oluşacak yük kaybını ifade eder ve hesaplanmasında  $V = [(V_1 + V_2)/2]$  ortalama hız değeri kullanılarak,

$$h_L = \frac{\left( \frac{V_1 + V_2}{2} \right)^2}{2g} \quad (1.29)$$

ifadesinden hesaplanabilir. Sonuç olarak (1.28) denklemi,

$$\xi \frac{h_2 - h_1}{\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - h_L} = \xi \left[ \frac{(h-p)_{ort}}{(h-p)_{ort} + p} \right] \quad (1.30)$$

şeklinde ifade edilebilir.

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

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

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

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

- Küçük debilerde su seviyesi savak başlangıcına kadar kanal tabanına paraleldir. Daha sonra yan savak uzunluğu boyunca tedricen azalır.
- Akımın debisi arttıkça su seviyesi savak başlangıcına kadar azalır. Bu durum Froude sayısının savak başlangıcında 0.98 değerine kadar elde edilmiştir.
- Akımın debisi biraz daha artırılırsa, savak başlangıcında Froude sayısının 1.01 değerinde 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 menbaından savak mansabına doğru azalmaya devam ederken, sıçrama noktası savak boyunca hareket eder.

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

$$Q_w = C_d \sqrt{2gL}(h-p)^{n'} \quad (1.31)$$

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.

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

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

Hem sel rejimli hem de nehir rejimli akımlarda enerji kayıplarından dolayı deneysel sonuçlardan elde edilen su yüzü profilleri teorik 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  $\alpha$ , basınç yükü  $\beta$  katsayılarıyla çarpılmalıdır. Pratikte kanal tabanına yakın noktalarda akım hızı, daha üst noktalardaki hıza göre daha küçük olduğundan hız yükü  $\alpha > 1$  olmak koşuluyla  $\alpha$  ile, basınç enerjisi de sel rejimli akım durumunda su derinliği savak mansabına doğru düştüğü için azalma göstereceğinden  $\beta < 1$  olmak koşuluyla  $\beta$  katsayısı ile çarpılmalıdır.

Ackers  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayılarını deneysel olarak belirlemiş ve  $1.15 < \alpha < 1.40$  için  $\beta = 0.80$  değerini vermiştir.  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayılarının belirlenmesinde kullanılan özgül enerji denkleminin aşağıdaki gibidir,

$$\beta \frac{h}{E} + \alpha \frac{V^2}{2gE} = 1 \quad (1.32)$$

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

Allen (1957)'in belirttiğine göre Früngling, yaptığı deneysel çalışmalarda dikdörtgen enkesitli kanallarda yan savak debisi için;

$$Q_w = 2.21L(h_1 - p)^{3/2} \quad (1.33)$$

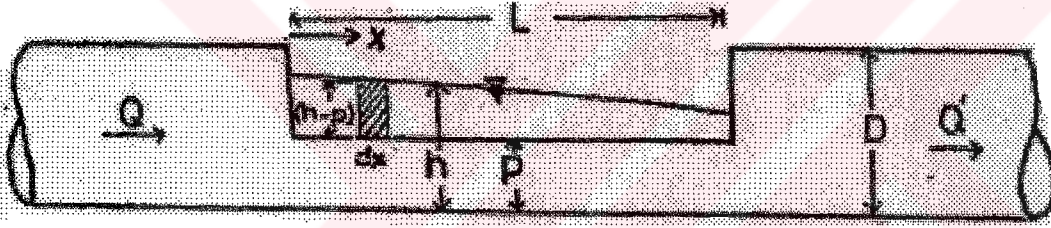
ifadesini vermiştir.

Allen (1957), dairesel enkesitli kanallarda yan savaklar üzerine yaptığı deneysel çalışmalarında iç çapı 0.15 m, uzunluğu 2.14 m olan boru kullanmıştır. Şekil 1.6'da da gösterildiği gibi çapı D olan dairesel kesitli bir kanalda kanal eksenindeki herhangi bir noktanın yan savağın menba ucuna olan uzaklığı x ve yan savak üzerindeki su yükü (h-p) ile verilirse, (h-p) savak yükü x uzaklığının bir fonksiyonu olarak değişim gösterir.

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

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

$$dQ_w = C_d(h - p)^n dx \quad (1.34)$$



Şekil 1.6. Daire enkesitli kanallardaki yan savak genel görünüşü (Allen, 1957)

olarak verilmiştir. Araştırmacı yapmış olduğu deneysel çalışmalar sonucunda  $n=2/3$  olarak elde edilmiştir. Buna göre savağın birim uzunluğundan geçen debi;

$$dQ_w = C_d(h - p)^{2/3} dx \quad (1.35)$$

olarak bulunur.

Ayrıca Allen (1957) tarafından su yüzü profilini veren ampirik ifade, savağın başlangıç kısmında deneysel olarak elde edilen su yüzü profili ile iyi bir uyum sağlamamasına karşın belirli bir mesafeden başlayarak savak mansabına kadar iyi bir uyum göstermiştir.

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 denklemdaki 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,

$$q_w = -\frac{dQ_w}{dx} = C_d \sqrt{2g(h-p)^{3/2}} \quad (1.36)$$

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

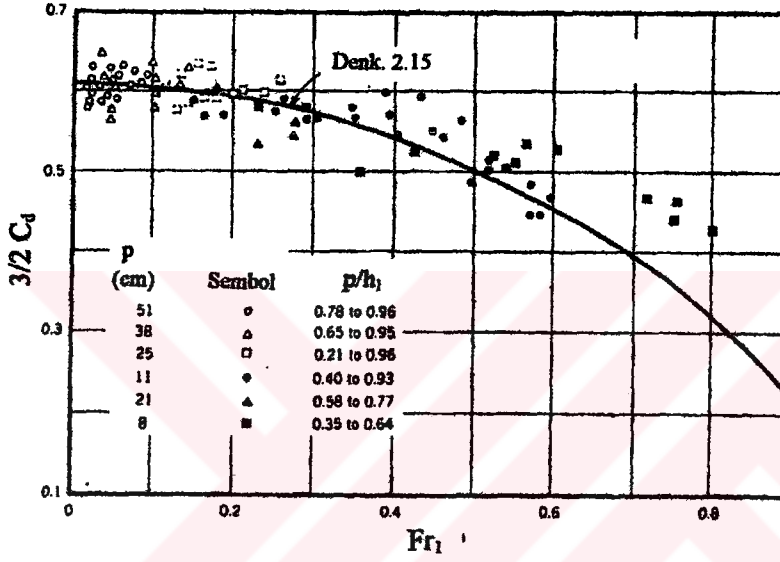
$$C_d = f \left\{ Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}, \frac{L}{b}, \frac{h}{L}, \frac{p}{h} \right\} \quad (1.37)$$

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 menbaandaki 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,

$$C_d = 0.407 \left[ 1 - \sqrt{\frac{3Fr_1^2}{Fr_1^2 + 2}} \right] \quad (1.38)$$

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 1.7).

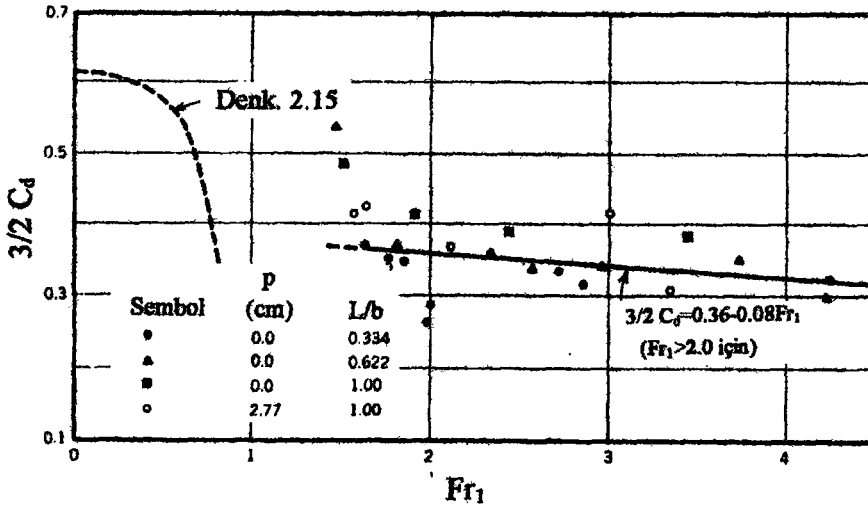


Şekil 1.7.a. Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak debi katsayısının değişimi. (Subramanya-Awasthy, 1972)

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,

$$C_d = 0.24 - 0.054Fr_1 \quad (1.39)$$

ifadesi ile vermişlerdir (Şekil 1.7.b).



Şekil 1.7.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 (1.38) bağıntısının gerekse sel rejimli akım şartları için verilen (1.39) 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.

Smith (1973), deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen yaklaşık çözüm yollarının belli bir sayıda değişkeni içermesinden dolayı uygulamaların yetersiz olduğunu söylemiştir. Sabit dikdörtgen enkesitli kanallarda kanal tabanının yatay ve sürtünme kayıplarının ihmal edildiği durumlarda De Marchi (1934) teoreminin çözümünün geçerli olduğunu fakat zor bir kullanıma sahip olduğunu ifade etmiştir. Smith (1973), yüksek hıza sahip bilgisayarlarla çeşitli enkesite sahip kanallar ve oldukça fazla değişim gösterebilen yan savak eşik yüksekliği ve kanal tabanı için çözümün yapılabileceğini belirtmiştir.

Smith (1973), aşağıda belirtilen kabullerin yapılabileceğini ifade etmiştir.

- Yan savak uzunluğu boyunca toplam enerji sabittir.
- Yan savak üzerindeki yük ( $h-p$ ), enine değişimler ihmal edilirse teğetsel hız yükü  $\alpha(V^2/2g)$  dir.

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

$$q = C_d \sqrt{2g}(h - p)^{3/2} \quad (1.40)$$

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

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

$$\frac{dh}{dx} = \frac{J_0 - J - \alpha \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx} + \frac{Q^2 h}{gA^2} \frac{db}{dx}}{1 - \alpha \frac{Q^2 B}{gA^3}} \quad (1.41)$$

olarak elde etmiştir.

Akan (1974), Smith (1973) tarafından yapılan deneysel çalışmalarda enerji yüksekliğinin sabit olarak alınmasının doğru olmadığını belirtmiş ve ayrıca akım savağa belli bir açı yaparak girdiğinden klasik yan savak ifadesinin kullanımının hatalı olduğunu ifade etmiştir.

Smith (1974), yapılan kabullerden dolayı yan savak su yüzü profilini veren bağıntının kullanılmasıyla yapılan çözümlerin hatalı sonuçlar verdiğini belirterek, yeni formüller geliştirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca bu formüllerin enerji kayıplarını da kapsayacak şekilde düzenlenebileceğini ve bununla ilgili bilgisayar programları yapılarak çözülmesi durumunda oldukça iyi sonuçlar verebileceğini ileri sürmüştür.

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,

$$C_d = f\{Fr_1, p/h_1, L/h_1, b/h_1\} \quad (1.42)$$

olarak ve ayrıca akımın yan savak sapma açısı  $\psi$ 'ye etki eden boyutsuz parametreleri de,

$$\psi = f\{Fr_1, p/h_1, L/h_1, b/h_1\} \quad (1.43)$$

olarak belirlemiştir. Yukarıdan da görüleceği gibi  $C_d$  ve  $\psi$  aynı boyutsuz parametrelerin fonksiyonudur ve birbirleriyle doğrudan ilişkilidir.

Araştırmacıya göre,  $C_d$  yan savak debi katsayısı ile ilgili çalışmalarda farklılıklar, yan savak boyunca değişen boyuna hız değerleri ve  $\psi$  sapma açısından meydana gelmektedir.

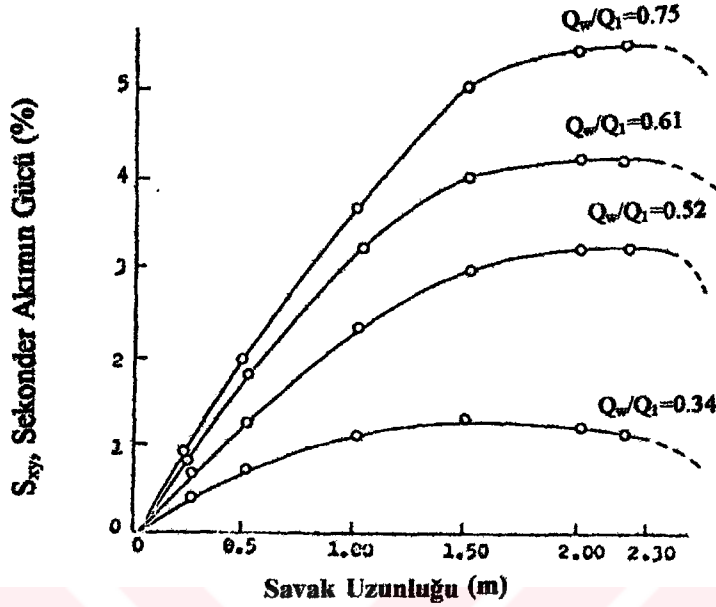
Araştırmacının en önemli tespitlerinden biri de daha önceki çalışmalarda belirtilmeyen yanak akımdan dolayı ana kanalda meydana gelen sekonder akımdır. Sekonder akımın belirlenmesinde Shukry (1950)'nin yaklaşımı kullanılarak elde edilen sekonder akımın gücünün yan savak boyunca değişimi Şekil 1.8 ve Şekil 1.9 de nehir ve sel rejimli akım şartları için ayrı ayrı verilmiştir. Şekillerde verilen sekonder akımın gücü, kanal enkesiti 20 cm<sup>2</sup>'lik alanlara bölünmüş ve her bir alanın kinetik enerjisi  $(V_x^2 / 2g + V_y^2 / 2g)$  beş delikli pitot tüpü ile, akımın toplam enerjisi  $(V^2 / 2g)$  ise klasik pitot tüpü ile hesaplanmış ve aşağıdaki eşitlikle verilmiştir.

$$S_{xy} = \left\{ \sum V_x^2 / 2g + \sum V_y^2 / 2g \right\} / \sum \{ V^2 / 2g \} \quad (1.44)$$

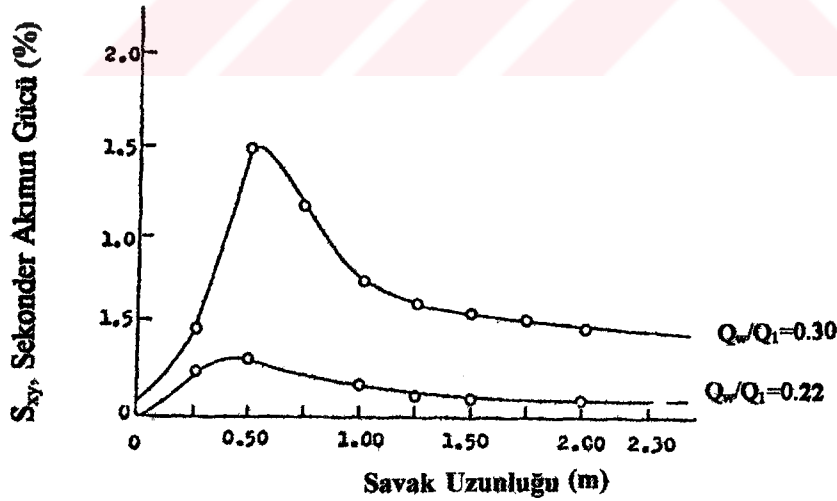
Şekil 1.8'dan da görüleceği gibi, nehir rejimli akım durumunda sekonder akımın gücü yan savak boyunca artarak gitmekte ve yan savaktan b kanal genişliği kadar mesafe sonra azalmaktadır. Yan savak yüksekliği ve yan savak uzunluğu sabit tutulursa  $Q_w/Q_1$  oranı (savaklanma oranı) arttıkça yani yan savak üzerindeki nap kalınlığı arttıkça sekonder akımın



gücü artar. Sel rejimli akımlarda ise sekonder akımın gücü hızlı bir şekilde artarak maksimuma ulaşmakta ve sonra hızla azalmaktadır.



Şekil 1.8. Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi (El-Khashap, 1975)



Şekil 1.9. Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda sel rejimli akım durumunda yan savak boyunca sekonder akımın gücünün değişimi (El-Khashap, 1975)

El-Khashap ve Smith (1976), Smith (1973)'in yaptığı kabullerden hareket ederek dikdörtgen enkesitli kanallarda yan savak üzerindeki su yüzü profilini veren genel bir bağıntı elde etmişlerdir.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{J_0 - J_f - \alpha \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - \alpha \frac{Q^2 B}{gA^3}} \quad (1.45)$$

Bu ifade de  $dQ/dx$  savak boyunca azalan bir terim olduğundan (-) işaretli olarak alınmıştır. Aynı zamanda bu terim daha önceden Smith tarafından verilen (1.40) denklemine benzer. Yalnız fazla terim olarak kanal genişliğinin savak boyunca değişimini gösteren,

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

ifadesi kanal genişliği sabit olduğundan sıfır olarak alınmıştır.

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

$$\frac{dh}{dx} = \frac{J_0 - J - \frac{1}{gA} (2\beta v - u) \frac{dQ}{dx}}{1 - \beta \frac{Q^2 B}{gA^3}} \quad (1.46)$$

$u=v$  ve  $\alpha=\beta=1$  kabul edildiğinde (1.45) ve (1.46) denklemlerinin aynı ifade olduğu görülür. Burada  $u$  yan savak üzerinde akım hızının ana kanal eksenine paralel bileşenidir. Burada  $u$  ve  $v$  arasındaki ilişki deneysel çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Ayrıca sürtünme kayıplarının değerleri tahmini olarak alınarak çizilen enerji çizgisi ile deneysel verilerden elde edilen enerji çizgisi karşılaştırıldığında iyi bir uyum gösterdiği gözlenmiştir.

Balmforth ve Sarginson (1977) yaptıkları deneysel çalışmalarda elde ettikleri  $\alpha$  ve  $\beta$  katsayılarını kullanarak (1.45) ve (1.46) denklemlerini çözmüşler ve bunun El-Khashap ve Smith(1976)'in yapmış olduğu çözümlerden daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Yen (1977), bir kanal üzerinde yan savak varsa hız vektörü, basınç ve su yüzü profilinin enine doğrultudaki değişimlerinin de bilinmesi gerektiğini söylemiştir. Araştırmacı, El-Khashap ve Smith (1976) tarafından momentum denkleminin enerji denkleminden daha iyi olduğu fikrine katılmadığını belirterek denklemlerin doğru kullanılmaları halinde her ikisinin de iyi sonuç verebileceğini ifade etmiştir.

El-Khashap ve Smith (1978), dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savak olayının incelenmesinde kanaldaki boyuna hız bileşeninin savak üzerindeki akımdan dolayı değişmemesi 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 sifıra yaklaşması halinde çözümün geçerli olacağını, fakat  $Q_w/Q=1$  değerinde ise çözümün geçersiz olacağını ifade etmişlerdir.

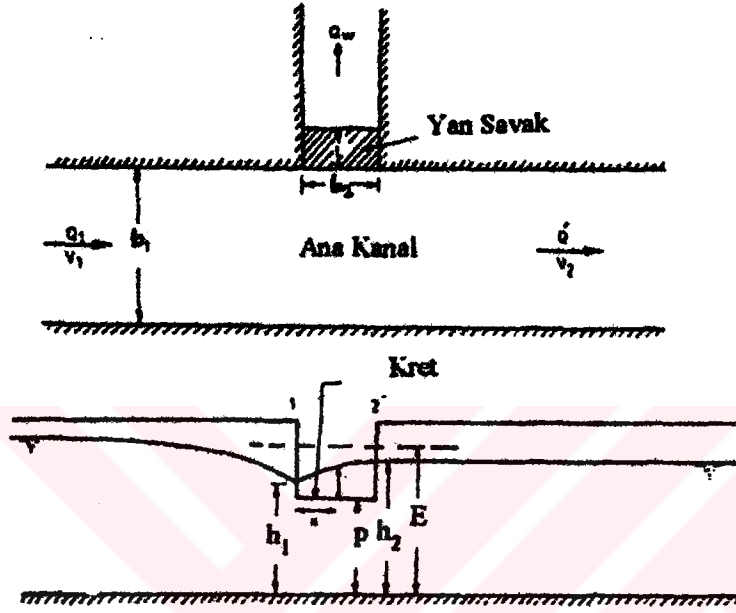
Araştırmacılar yapmış oldukları çözümün dikdörtgen enkesitli kanaldan başka kesitlerde uygulanması gerektiğinde deneysel çalışma yapılarak araştırılması gerektiğini söylemişlerdir.

Ranga Raju, Prasad ve Grupta (1979), dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savağın ana kanala dik bir branşa yerleştirilmesi durumunda keskin ve kalın kenarlı yan savaklarda nehir rejimli akım halinde deneysel çalışmalar yaparak yan savak boyunca özgül enerjinin sabit kaldığı kabulüyle yan savak debi katsayılarını belirlemişlerdir (Şekil 1.10).

Araştırmacılar  $Q$ ,  $Q'$ ,  $h_1$ ,  $h_2$  ve  $p$  değerlerini ölçerek, De Marchi (1934) tarafından verilen (1.19) ve (1.21) ifadelerini kullanarak keskin kenarlı yan savağın bir branşa yerleştirilmesi durumundaki yan savak debi katsayısı için,

$$C_d = 0.54 - 0.40Fr_1 \quad (1.47)$$

bağıntısını vermişlerdir. Araştırmacılara göre, bu ifadeden elde edilen  $C_d$  değeri Subramanya ve Awasthy (1972) tarafından verilmiş olan (1.38) bağıntısındaki değerden daha büyük çıkmaktadır. Bu farkın yan savağın bağlandığı brans duvarlarının etkisinden kaynaklandığı belirtilmiştir.



Şekil 1.10. Ana kanala dik bir brans bağlanması durumunda yan savağın genel görünüşü (R.Raju, Prasat ve Gupta, 1979).

Araştırmacılar, kalın kenarlı yan savağın bransa yerleştirilmesi halinde ise (1.47) bağıntısının K katsayısı ile çarpılarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

$$C_d = (0.54 - 0.40Fr_1)K \quad (1.48)$$

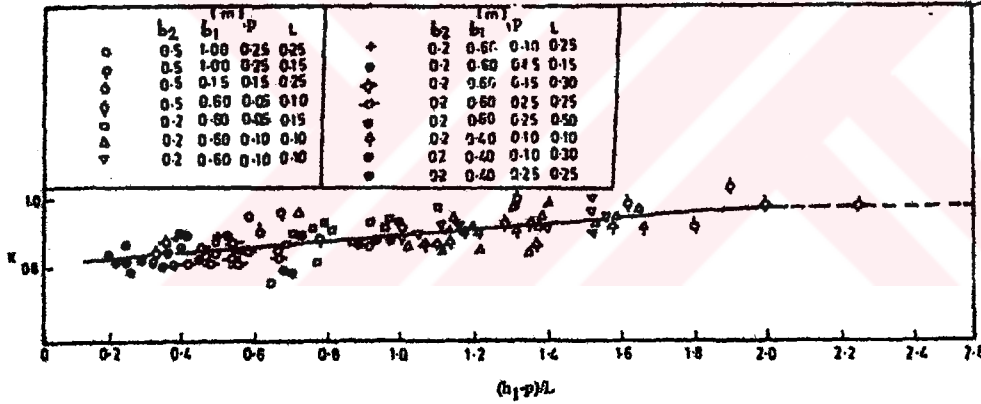
Araştırmacılar, K katsayısının değişimini de;

$$K = 0.80 + 0.10 \left( \frac{h_1 - p}{L_s} \right) \quad (1.49)$$

ifadesiyle vermişlerdir (Şekil 1.11). Bu denklem Kumar ve Pathak (1987) tarafından verilen (1.61) ifadesinin aynısıdır. Burada,  $L_s$ =kalın kenarlı savak kalınlığıdır.

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

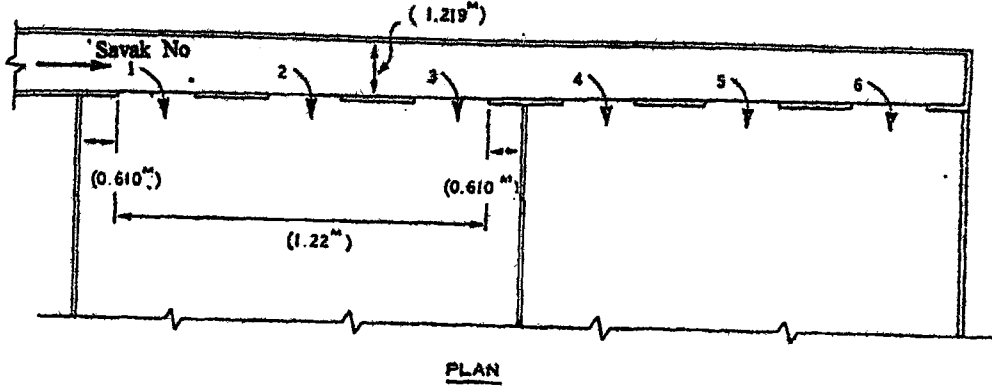
Rammurthy ve Carballada (1980), dikdörtgen enkesitli ve yatay tabanlı bir kanalda yaptıkları deneysel çalışmaları yan savak menba kısmındaki akım nehir rejimli ve  $L/b < 1$  olması şartlarında gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca yan savak üzerinden geçen akımı ana kanalla açığı yapan bir su jeti gibi düşünerek akım modeli geliştirmişler ve yan savak debisi için iki boyutlu bir akım modeli kurmuşlardır. Deneysel çalışmadan elde ettikleri verilerin kurdukları modele uygun olduğunu ifade etmişlerdir.



Şekil 1.11. Kalın kenarlı savaklar için  $(h_1-p)/L_s$  ile K katsayısının değişimi.

(R.Raju, Prasad ve Grupta, 1979)

Chao ve Trussel (1980), içme ve atık su arıtma tesislerine üniform debi sağlamak için nehir rejimli akım şartlarında dikdörtgen prizmatik bir kanala seri olarak yerleştirilen yan savaklar üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada her bir savağın akım karakteristiğini ayrı ayrı incelemişlerdir (Şekil 1.12).



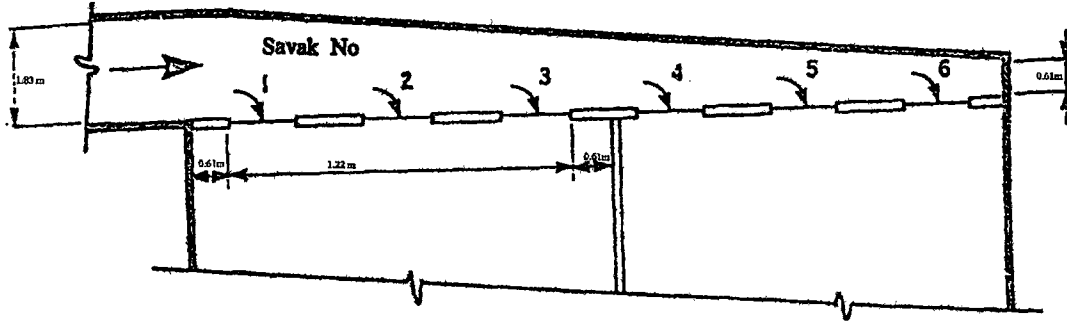
Şekil 1.12. Dikdörtgen prizmatik debi dağıtım kanalı genel görünüşü  
(Chao ve Trussel, 1980)

Araştırmacılar, her bir savaktaki debiyi tayin etmek için De Marchi (1934) tarafından verilen (1.10) denklemini kullanmışlar ve bu eşitlikteki  $C_d$  yan savak debi katsayısı içinde Subramanya ve Awasthy (1972) tarafından verilmiş olan (1.38) ifadesinden yararlanmışlardır.

Araştırmacılar tarafından (6) no'lu savaktan (1) no'lu savağa göre %30 daha fazla debi geçtiği, ayrıca (4), (5), (6) no'lu savakların bulunduğu ikinci tankın birinciye göre %17 daha fazla debi aldığı gözlemlenmiştir. Buradan da akım yönünde gidildikçe savaklanan debinin arttığı görülmüştür.

Chao ve Trussel (1980), istenilen üniform akımın sağlanması için dağıtım kanalı ve yan savaklarda yapılması gerekli değişiklik ve düzenlemelerin aşağıda belirtilen şekillerde yapılmasını tavsiye etmişlerdir.

- Dağıtım kanalının geometrik şeklini değiştirmeden savak yüksekliğinin ayarlanması.
- Üniform daralan dağıtım kanalında savak yüksekliklerinde küçük ayarlamalar yapılması.
- Tüm savak katsayıları sabit kalacak şekilde küçük Froude sayıları elde etmek için dağıtım kanalının genişliğini veya derinliğini yada her ikisini birden artırmak.
- Sabit Froude sayılarında sabit savak katsayısı elde edecek şekilde üniform daralan dağıtım kanalını oluşturmak (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. Üniform debi dağılımı için üniform daralan debi dağılım kanalı genel görünüşü (Chao ve Trussel, 1980).

Araştırmacılar tarafından b ve c şıklarında belirtilen alternatifler katı madde çökmesi gibi problemler yaratmasına karşın daha iyi bir çözüm getirdiği ifade edilmiştir.

Jain ve Fisher (1982), yan savak üzerinde üniform bir debi elde etmek için kanal genişliği savak boyunca azalan dikdörtgen enkesitli bir kanala eğik olarak yerleştirilmiş dikdörtgen enkesitli savaklarla çalışmalarını yapmışlardır. Problemin çözümünde kanalın yatay olduğunu ve sürtünme yük kayıplarının ihmal edildiğini kabul ederek enerji denkleminde hareketle üniform debi dağılımı için kanal genişlikleri arasındaki bağıntıyı aşağıdaki ifadeyle vermişlerdir.

$$b_1 = \frac{Q}{Q'} b_2 \quad (1.50)$$

Burada;  $b_1$  = yan savak başlangıcında ana kanal genişliği (m)

$b_2$  = yan savak sonundaki ana kanal genişliği (m)

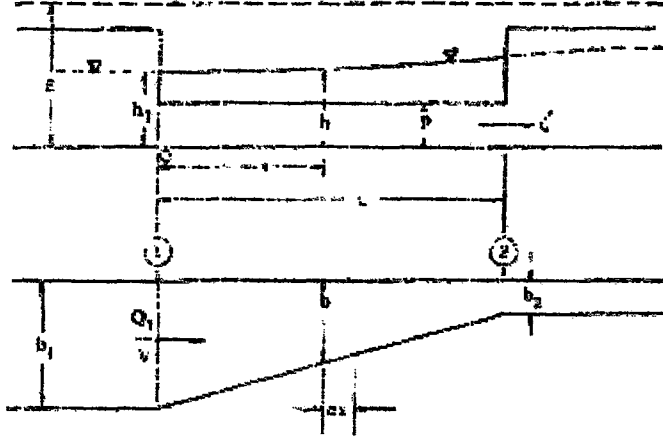
$Q$  = yan savaktan önceki ana kanal debisi ( $m^3/s$ )

$Q'$  = yan savaktan sonraki ana kanal debisi ( $m^3/s$ )

dir.

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





Şekil 1.14. Enkesit genişliği yan savak boyunca tedricen daralan kanala yerleştirilen yan savak görünüşü (Jain ve Fischer, 1982)

Uyumaz (1982), dairesel enkesitli kanallardaki yan savaklarda ana kanal eksenü 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 menbadan mansaba doğru giderek arttığını, sel rejimli akım şartlarında ise menbadan mansaba doğru gittikçe azaldığını gözlemlemiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda nehir rejimli akım şartlarında elde edilen yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişiminin exponansiyel bir karakter taşıdığı,  $L/D$ 'nin ( $D$  dairesel enkesitli kanal çapıdır) büyük değerlerinde Froude sayısına fazla bağlı olmadığı ama küçük  $L/D$  değerlerinde bağımlılığın arttığı gözlenmiştir. Araştırmacı nehir rejimli akım şartları için yan savak debi katsayısını,

$$C_d = B + C\sqrt{1 + Fr_1} \quad (1.51)$$

ifadesiyle vermiştir. Buradaki B ve C katsayıları

$$B = 0.21 + 0.094\sqrt{1.74\frac{L}{D} - 1} \quad (1.52)$$

ve

$$C = 0.22 - 0.08\sqrt{1.68\frac{L}{D} - 1} \quad (1.53)$$

şeklinde verilmiştir. Burada; D ana kanal çapıdır.

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

$$C_d = MFr_1 + N \quad (1.54)$$

ifadesini vermiştir. Araştırmacı, M ve N katsayılarını p/D'ye fazla bağımlı olmadığını, L/D'ye ise bağımlı olduğunu belirtmiş ve p/D'yi ihmal ederek M ve N katsayıları için,

$$M = 0.046 + 0.054\sqrt{1.67\frac{L}{D} - 1} \quad (1.55)$$

ve

$$N = 0.24 + 0.021\sqrt{1 + 35.3\frac{L}{D}} \quad (1.56)$$

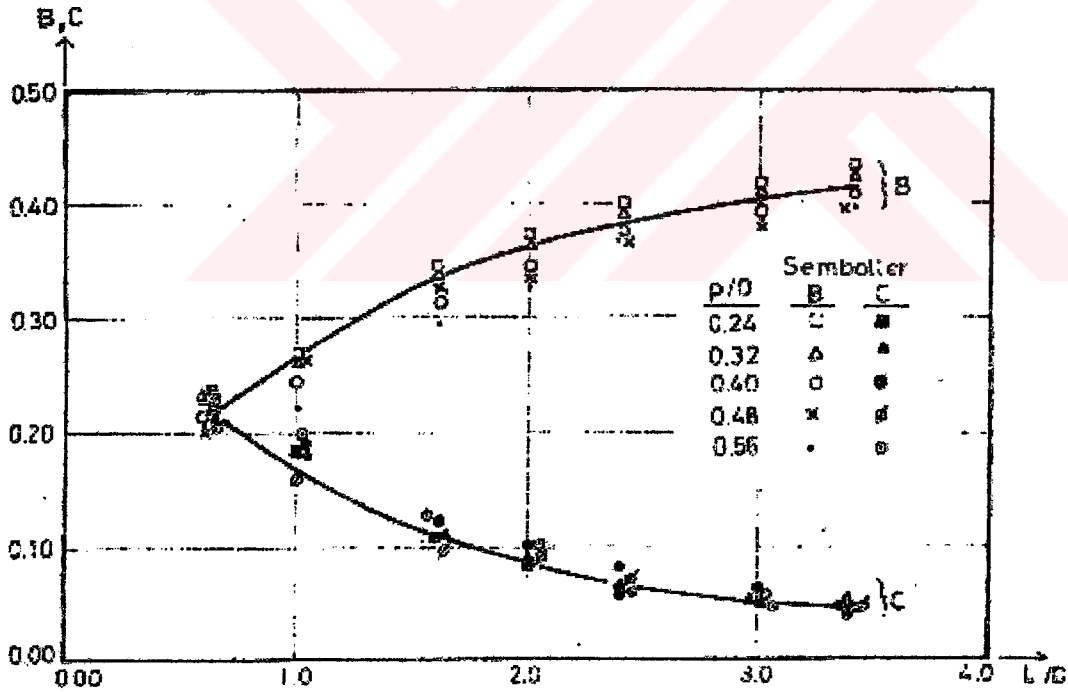
bağıntılarını vermiştir.

Araştırmacı ifadelerde p/D'nin etkisini ihmal etmekle maksimum %5'lik bir hata yapılabileceğini ifade etmiştir.

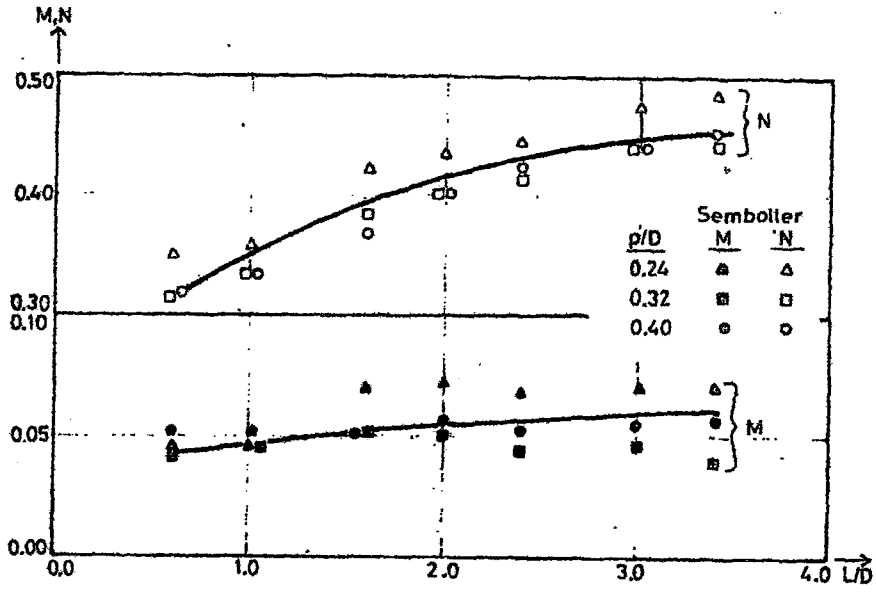
Araştırmacı tarafından  $p/D$  ve  $L/D$ 'ye göre B ve C katsayılarının değişimi Şekil (1.15) ile, M ve N katsayılarının değişimi de Şekil (1.16) ile verilmiştir.

Ramamurthy ve Satish (1986), dikdörtgen enkesitli kanal tabanına enine olarak açılmış bir açıklık boyunca oluşan akım şartlarını incelemek için deneysel çalışmalar yapmışlar ve tabandaki açıklıktan geçen debinin hesaplanmasında kanal debisi ve açıklık genişliğinin önemli parametreler olduğunu söylemişlerdir.

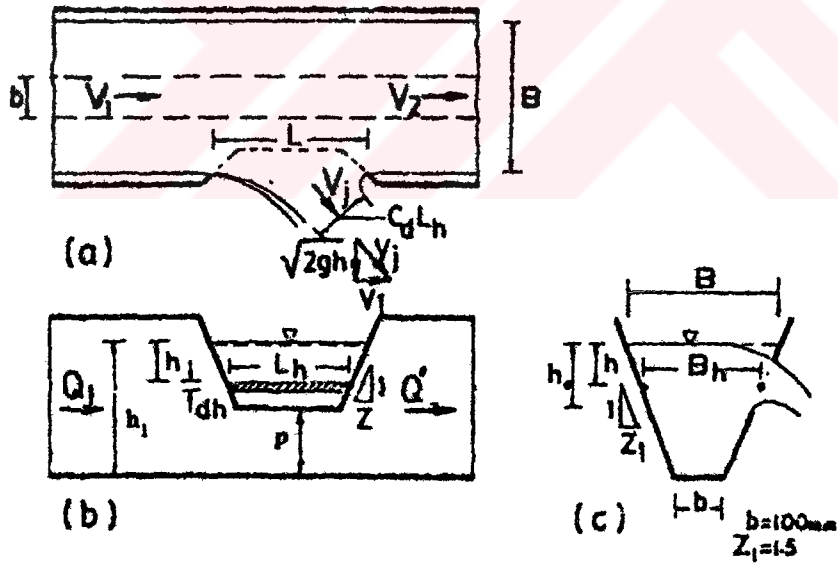
Ramamurthy, Tim ve Carballada (1986), Ramamurthy ve Carballada (1980)'nın dikdörtgen enkesitli kanalda dikdörtgen yan savak için kurdukları matematiksel modeli baz alarak, trapez enkesitli kanalda trapez kesitli yan savaklar için bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelde yan savaktaki akımın ana kanaldan belli bir açı ile sapan çok sayıda jet akısının toplamı olduğunu kabul etmişlerdir (Şekil 1.17).



Şekil 1.15. B ve C katsayılarının  $L/D$ 'ye göre değişimi (Uyumaz, 1982)



Şekil 1.16. M ve N katsayılarının  $L/D$ 'ye göre değişimi (Uyumaz, 1982)



Şekil 1.17. Trapez enkesitli bir kanalda trapez enkesitli yan savak genel görünüşü (Ramamurthy, Tim ve Carballada, 1986)

Araştırmacıların yan savak katsayısı için yaptıkları kabuller şunlardır;

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

Kumar ve Pathak (1987), dikdörtgen enkesitli kanallarda nehir rejimli akım şartlarında keskin ve kalın kenarlı üçgen yan savaklar üzerinde deneysel çalışmalar yaparak  $C_d$  yan savak debi katsayısını belirlemeye çalışmışlardır. Araştırmacılar ayrıca De Marchi (1934) tarafından verilen (1.21) denkleminin yan savak uzunluğunun hesaplanmasında kullanılabileceğini ve (1) ile (2) kesitlerinde ölçülen debi ve derinlik değerlerinden  $C_d$ 'nin hesaplanabileceğini ifade etmişlerdir (Şekil 1.18). Bu bağıntıyı üçgen yan savaklar için aşağıdaki şekilde elde etmişlerdir.

$$L = x_2 - x_1 = \frac{15b}{4C_d} \left\{ \phi \left( \frac{h_2}{E} \right) - \phi \left( \frac{h_1}{E} \right) \right\} \quad (1.57)$$

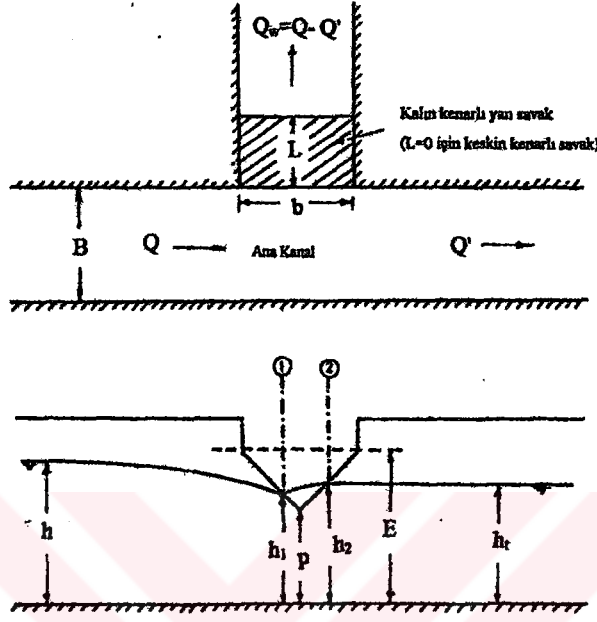
Araştırmacılar, yüzeysel gerilmenin ve viskozitenin etkisini ihmal etmek için nap yüksekliği (h-p)'yi 0.10 m'den büyük aldıklarını belirtmişler ve olaya etkili boyutsuz parametreleri keskin kenarlı üçgen yan savaklar için (1.58.a) ifadesi ile, kalın kenarlı yan savaklar için ise (1.58.b) ifadesi ile vermişlerdir.

$$C_d = f(Fr_1, \theta, p/h) \quad (1.58.a)$$

$$C_d = f(Fr_1, \theta, p/h, h/L_s) \quad (1.58.b)$$

Burada;  $\theta$  = üçgen yan savak tepe açısı,  $L_s$  = kalın kenarlı savak kalınlığıdır.

Ayrıca yan savaklara ve akım karakteristiklerine ait değerler Çizelge 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.18. Yan savak görünüşü (Kumar-Pathak, 1987)

Çizelge 1.2. Savak boyutları ve akım karakteristikleri.

Savak Tipi	$\theta$	p (m.)	$Q_1$ (lt/s)	$Q_s$ (lt/s)	Fr
Keskin	60°, 90°	0.0608-	19.5 -	4 - 43.1	0.09-
Kenarlı	120°	0.2422	118.1		0.694

Kumar ve Pathak (1987), Subramanya ve Awasthy (1972)'nin dikdörtgen yan savaklarda  $p/h$ 'ın etkisini ihmal ettiklerini belirterek, kendilerinin de bu çalışmada  $p/h$ 'ın etkisini ihmal ettiklerini ifade etmişlerdir. Böylece yan savak debi katsayısı  $C_d$ 'nin yalnızca  $Fr_1$  ve  $\theta$ 'ya bağlı olduğunu kabul ederek  $C_d$  için aşağıdaki ifadeleri vermişlerdir.

$$\begin{aligned}
C_d &= 0.668 - 0.381 Fr_1 & (\theta=60^\circ \text{ için}) \\
C_d &= 0.619 - 0.203 Fr_1 & (\theta=90^\circ \text{ için}) \\
C_d &= 0.642 - 0.042 Fr_1 & (\theta=120^\circ \text{ için})
\end{aligned} \tag{1.59}$$

Yukarıdaki ifadeden de görüleceği gibi Kumar ve Pathak (1987) deneysel çalışmalarını  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ 'lik tepe açıları için gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, değişik tepe açlarına sahip üçgen yan savakların kullanılması durumunda ise  $C_d$  yan savak debi katsayısının,

$$C_d = \left[ 0.811 - 0.321 \tan \frac{\theta}{2} + 0.129 \tan^2 \frac{\theta}{2} \right] - \left[ 0.695 - 0.638 \tan \frac{\theta}{2} + 0.150 \tan^2 \frac{\theta}{2} \right] Fr_1 \tag{1.60}$$

ifadesinden hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.

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

$$K = 0.80 + 0.10 \left( \frac{h_1 - p}{L_s} \right) \tag{1.61}$$

ifadesinden hesaplanması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu denklem yan savaklar için Ranga Raju ve ark. (1979) tarafından dikdörtgen yan savaklar için verilen (1.49) ifadesinin aynısıdır. Araştırmacılar ayrıca savaklanan debinin keskin kenarlı üçgen yan savaklar için,

$$Q_w = 0.5908 C_d \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} (h_1 - p)^{5/2} \tag{1.62}$$

Kalın kenarlı üçgen yan savaklar için ise,

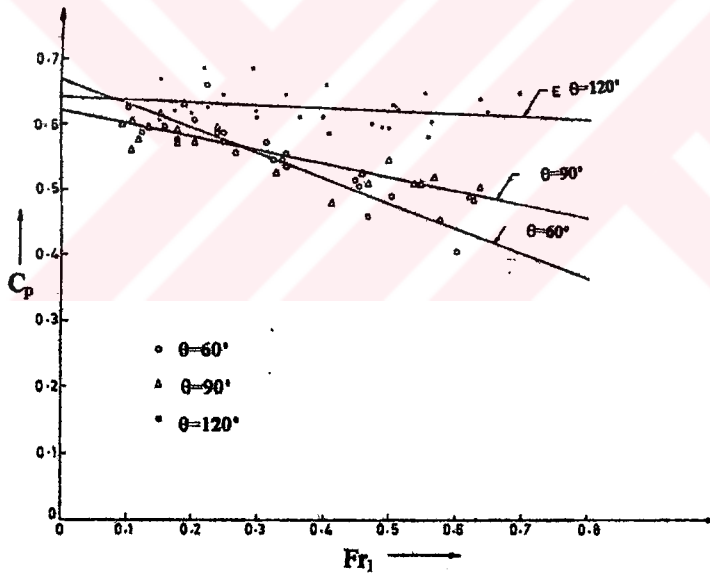
$$Q_w = 0.5566 K C_d \sqrt{2g} \tan \frac{\theta}{2} (h_1 - p)^{5/2} \tag{1.63}$$



ifadesinden hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.

Araştırmacılar, yapmış oldukları deneysel çalışmalar sonucunda elde ettikleri sonuçlar ile (1.62) ve (1.63) denklemlerini kullanarak elde ettikleri değerlerin iyi bir uyum içinde olduklarını ifade etmişlerdir (Şekil 1.19).

Uyumaz ve Smith (1991), özgül enerjinin sabit olduğunu kabul ederek sonlu farklar metoduyla dikdörtgen ve dairesel enkesitli kanallardaki yan savak akımını nümerik olarak araştırmışlar ve dikdörtgen ile dairesel enkesitli kanallardaki yan savak uzunluklarını deneysel ve teorik olarak belirlemeye çalışmışlardır. Dairesel enkesitli kanallarda su yüzü profilinin belirlenmesi veya yan savak boyutlandırılmasının sadece  $p/D=0.66$  için dikdörtgen yan savaklar gibi hesap yapılabileceğini ve bunun dışındaki değerlerde ise yaklaşımın hatalı sonuçlar vereceğini ifade etmişlerdir.



Şekil 1.19. Keskin kenarlı üçgen yan savaklar için yan savak debi katsayısının değişimi.(Kumar-Pathak, 1987).

H.F.Cheong (1991), trapez enkesitli kanalda yaptığı deneysel çalışmada enerji ve momentumun korunumu prensiplerini ayrı ayrı kullanarak yan savak debi katsayısını

araştırmıştır. Çalışmada, kanalın yan duvar eğimi ve savak uzunlukları değiştirilerek yan savak debi katsayısını veren ifade,

$$C_d = 0.30 - 0.147Fr_1^2 \quad (1.64)$$

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

P.K.Swamee, S.K.Pathak ve M.S.Ali (1993), keskin ve kalın kenarlı dikdörtgen ve üçgen yan savaklarda, yan savak boyunca debisi azalan (spatial) akım eşitliğinden faydalanarak yönlendirilmiş ve yönlendirilmemiş akım şartları için elemanter yan savak debi katsayısını vermişlerdir.

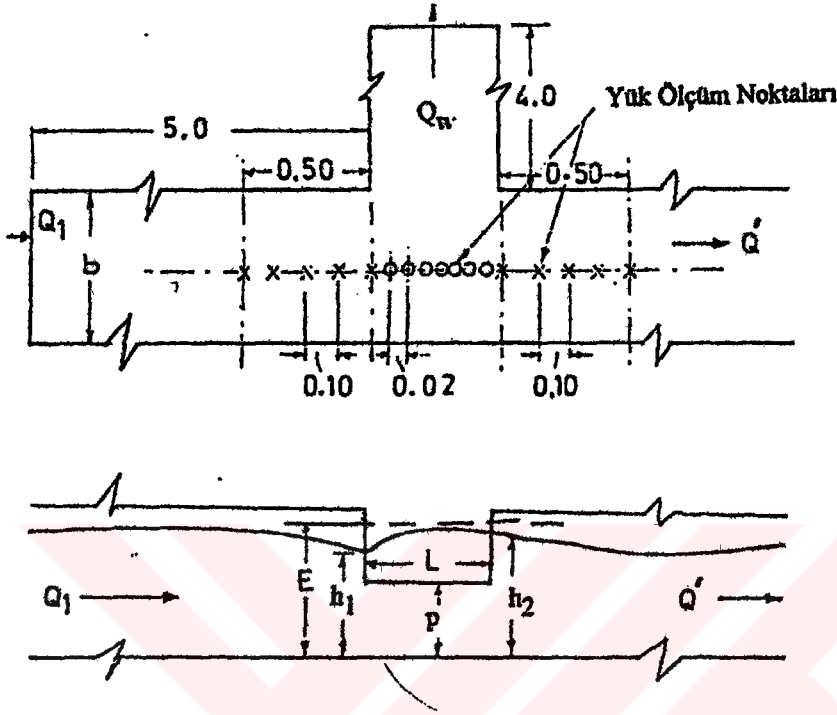
P.K.Swamee, S.K.Pathak, M.Mohan, S.K.Agraval ve M.S.Ali (1994), De Marchi eşitliğinden faydalanılarak ana kanal Froude sayısına bağlı olarak yan savak debi katsayısını veren bir çok araştırma bulunduğunu, fakat bunların hiç birisinde  $p/h$ 'a bağlı bir değişimin bulunmadığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, bunu da dikkate alarak yan savak üzerindeki sonsuz küçük bir düşey eleman için yan savak debi katsayısını,

$$C_d = 0.447 \left\{ \left[ \frac{44.7p}{49p + h} \right]^{6.67} + \left[ \frac{h-p}{h} \right]^{6.67} \right\}^{-0.15} \quad (1.65)$$

ifadesiyle vermişlerdir. Araştırmacılar daha önce yan debi savak katsayısı ile ilgili yapılan çalışmaları değerlendirmişler ve bu çalışmaların hiçbirinin yan savak debi katsayısının doğru olarak tespit edilmesinde kullanılmayacağını ifade etmişlerdir.

R.Singh, D.Manivanmani ve T.Satyanarayana (1994), özgül enerjinin sabit olduğunu kabul ederek nehir rejimli akım şartlarında yan savak debi katsayısını belirlemeye çalışmışlar ve etkili parametre olarak ana kanal debisini, yan savak uzunluğunu ve savak eşik yüksekliğini göz önüne almışlardır (Şekil 1.20). Araştırmacılar, yan savak debi katsayısının menba

Froude sayısına ve  $p/h_1$  oranına bağılı olarak değişimini incelemişler ve daha sonra bu iki değişkenin birbirine etkisini araştırmışlardır. Boyut analizi yardımıyla olaya etkili parametreleri,



Şekil 1.20. Yan savak genel görünüşü (R. Singh, D. Manivanmani ve T. Satyanarayana, 1994)

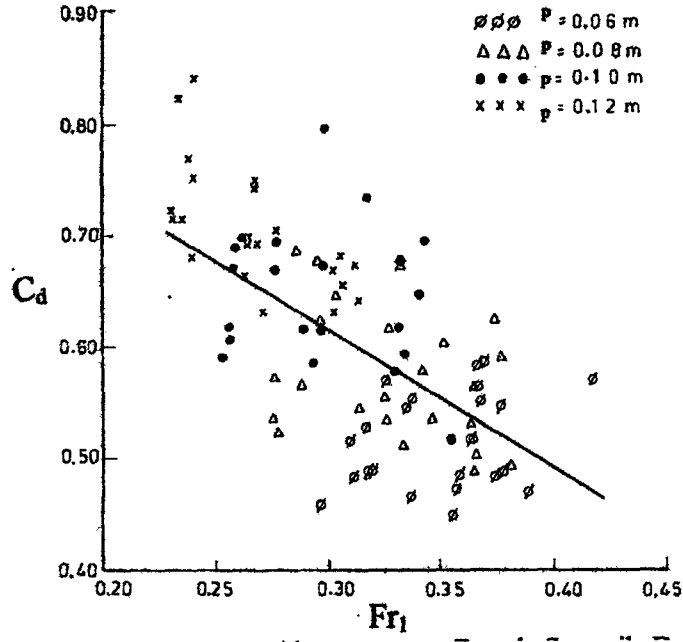
$$C_d = f\{Fr_1, p/h_1, L/h_1\} \quad (1.66)$$

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

$$C_d = f\{Fr_1, p/h_1\} \quad (1.67)$$

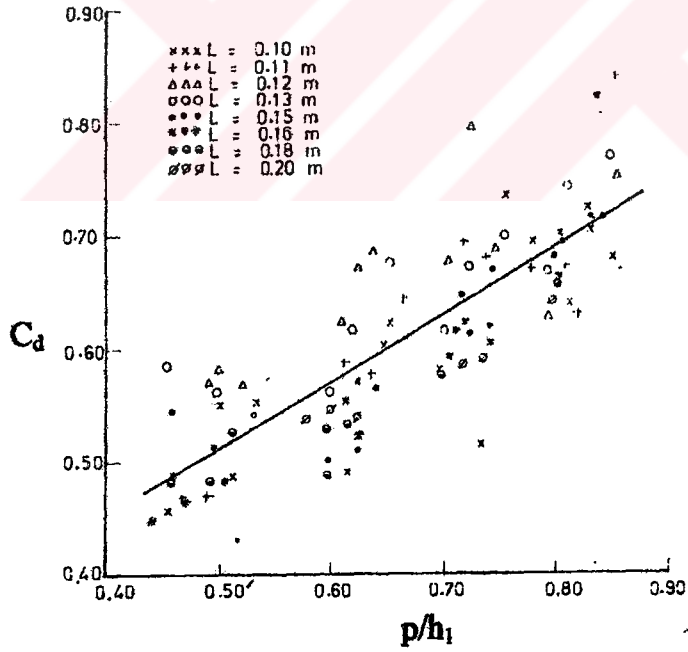
olarak vermişlerdir.

Araştırmacılar,  $C_d$  yan savak debi katsayısının yan savak menba Froude sayısı  $Fr_1$  ve  $p/h_1$  ile lineer bir değişim gösterdiğini gözlemlemişlerdir (Şekil 1.21 ve 1.22).



Şekil 1.21. Yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.

(R.Singh, D.Manivanmani ve Satyanarayana, 1994)



Şekil 1.22. Yan savak debi katsayısının  $p/h_1$  oranına ile değişimi.

(R.Singh, D.Manivanmani ve Satyanarayana, 1994)

Bu lineer değişimleri sırasıyla,

$$C_d = 0.66 - 0.84 Fr_1 \quad (1.68)$$

$$C_d = 0.16 + 0.36 p/h_1 \quad (1.69)$$

$$C_d = 0.22 - 0.12 Fr_1 + 0.327 p/h_1 \quad (1.70)$$

ifadeleri ile vermişlerdir.

H.Tozluk (1994), yan savak probleminin çözümünde en uygun yaklaşımlardan birinin De Marchi (1934) tarafından enerjinin korunumu kullanılarak yapıldığını ifade etmiştir. Subramanya ve Awasthy (1972) tarafından verilen (1.38) denklemdaki  $C_d$  yan savak debi katsayısının yan savaktan savaklanan akımın kanal ekseni ile yapmış olduğu  $\psi$  savaklanma açısının sabit olması hali için verildiğini, fakat gerçekte bu açının savak boyunca değişerek her bir sıvı elemanı için farklı bir değer aldığını ifade etmiştir. Araştırmacı  $\psi$  savaklanma açısının sabit olmasından dolayı denklem (2.38) den elde edilen değerlerle deneysel sonuçların farklı dağılımlar gösterdiği söylemiştir.

Araştırmacı, çalışmasında  $\psi$  sapma açısının değiştiğini kabul ederek ve  $C_d$  katsayısını, yan savak menbaındaki ana kanal Froude sayısından başka  $h/E$ ,  $p/E$ ,  $L/b$  ve  $\psi$  boyutsuz parametrelerinin de fonksiyonu olduğunu göz önüne alarak nümerik integrasyon yöntemiyle elde etmiştir. Araştırmacı elde ettiği sonuçları aşağıdaki şekilde vermiştir.

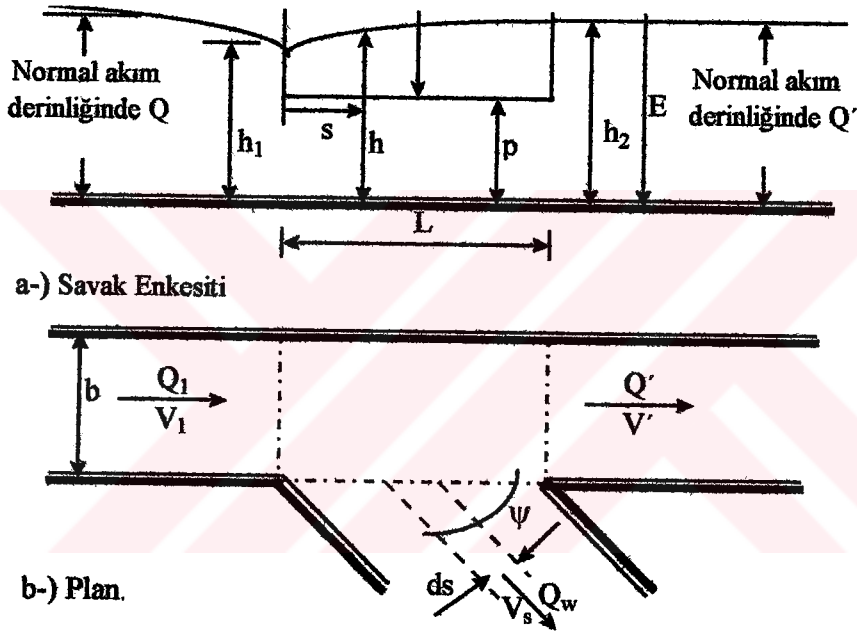
a)  $\psi$  savaklanma açısı, savak boyunca değişen Froude sayısının bir fonksiyonu olarak değişir. Bu fonksiyon savak uzunluğunu veren (1.21) ifadesinin içerisine katılırsa yan savak probleminin çözümü daha gerçekçi olabilir.

b) Yan savak probleminin çözümünde su yüzünün enine doğrultuda savak kretine doğru azalmasını ifade eden bir  $\psi$  parametresinin hesaba katılması gerekir. Deneysel verilerin değerlendirilmesi sonucunda  $\psi$ 'nin  $Fr_1$  sayısına ve  $L/b$  oranına bağlı olduğu görülmüştür.

c) Deneyleer,  $\psi$  sapma açısına savak yüksekliğinin önemli bir etkisinin olmadığını,  $L/b$ 'nin büyük değerlerinde ise  $\psi$  ile  $Fr_1$  sayısı arasında çizilen grafiklerde deneysel verilerde oldukça farklı dağılımlar olduğunu göstermektedir.  $L/b$ 'nin küçük değerlerinde ise  $\psi$  değeri  $Fr_1$  sayısının fonksiyonu olarak,

$$\psi = 1.0 - 0.2 (L/b) Fr_1^2 \quad (1.71)$$

eşitliğine bağı olarak değişmektedir.



Şekil 1.23. Savak enkesiti ve plan

## 2. KIVRIMLI KANALLAR

### 2.1 Giriş

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 menba kısmında derinliğin artmasına ve akım hızında azalmaya yol açar. Kabarma etkisi, dış kıyının 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 kütesinin 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 nedenden dolayı, kıvrımda su alma yapısı vb. gibi bir hidrolik yapıların yerinin belirlenmesinde kıvrımlı kanaldaki akım özelliklerinin önceden bilinmesi gereklidir.



## 2.2. Kıvrımlı Kanallarla İlgili Çalışmalar

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 küresi 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 2.1 deki xy planında gösterilen kanal enkesitine göre, helikoidal akımın gücü,

$$S_{xy} = \frac{V_{xy}^2}{V^2} 100 \quad (2.1)$$

olarak verilir. Burada,

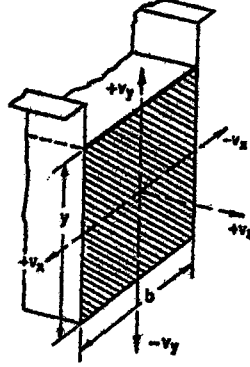
$V_{xy}$  = xy planındaki ortalama hız vektörü

$V$  = Enkesitteki ortalama hız.

dır. Böylece, kanal eksenine paralel bütün akım çizgileri için  $S_{xy}=0$  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 düşüktür).
- b )  $S_{xy}$ , akımın Re sayısı büyüdükçe  $S_{xy}$  küçük değerler almaktadır.



Şekil 2.1. Kanal enkesiti (Chow, 1957)

- c )  $S_{xy}$ ,  $h/b$  (derinlik / genişlik) oranı arttıkça azalır.
- d )  $S_{xy}$ ,  $\alpha$  kıvrım sapma açısı büyüdükçe artar.  $S_{xy}$ 'deki artış miktarı,  $\alpha/180=0.0-0.5$  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  $Re$ ,  $r_c/b$  ve  $\alpha$  parametrelerinin her biriyle önemli ölçüde değişir.
- g ) Kıvrım direnç katsayısı  $Re > 3 \cdot 10^4$  değerlerinde daha büyük değişimler gösterir.

Burada  $\alpha$  kıvrım açısını,  $r_c$  kanal eksen eğrilik yarıçapını göstermektedir.

Shukry (1950)'nin yaptığı deneysel çalışmalarda elde ettiği sonuçlara göre, kıvrımlı bir kanalda maksimum hız yörüngesi kıvrımın menbaındaki bir kesitte normalinden sapar (Şekil 2.2). '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 2.1 de verilmiştir. Bu iki noktanın yeri, ölçülen  $\alpha_d$  ve  $\alpha_s$  açılarının,  $\alpha$  toplam kıvrım açısına oranına bağlı olarak verilmiştir. Bu noktaların h/b parametresinin değişiminden oldukça az etkilendikleri belirlenmiştir. Bundan dolayı pratik kullanımlar için Çizelge 2.1. 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;

$$V_z = C_s/r \quad (2.2)$$

Burada;

$V_z$ = Eğrilik merkezinden r radyal uzaklıkta kıvrımdaki teğetsel hız,

$C_s$ = Serbest vorteks hareketindeki sirkülasyon sabiti,

olarak verilmektedir. Ortalama teğetsel hız,

$$V_z = \frac{\int_{r_1}^{r_0} \left( \frac{C_s}{r} \right) dr}{r_0 - r_1} = \frac{C_s}{r_0 - r_1} \ln \frac{r_0}{r_1} \quad (2.3)$$

şeklinde yazılabilir. Herhangi bir kesitteki özgül enerji,

$$E = h + \frac{V_z^2}{2g} \quad (2.4)$$

olduğuna göre ortalama akım derinliği,

$$h_m = \frac{\int_{r_1}^{r_0} h dr}{r_0 - r_1} = \frac{\int_{r_1}^{r_0} \left( E - \frac{C_s^2}{2gr^2} \right) dr}{r_0 - r_1}$$

veya

$$h_m = E - \frac{C_s^2}{2gr_0r_i} \quad (2.5)$$

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;

$$Q = V_z h_m (r_0 - r_i) = C_s \left( E - \frac{C_s^2}{2gr_0r_i} \right) \ln \frac{r_0}{r_i} \quad (2.6)$$

yazılabilir. Eğer  $Q$ ,  $r_0$ ,  $r_i$ , ve  $E$  biliniyorsa,  $C_s$  sabiti (2.6) eşitliğinden bulunabilir. Herhangi bir eğrilik yarıçapındaki hız ve su derinliği (2.2) ve (2.5) eşitliklerinden belirlenebilir.

Böylece su yüzeyinde meydana gelecek  $\Delta h$  kabarma miktarı;

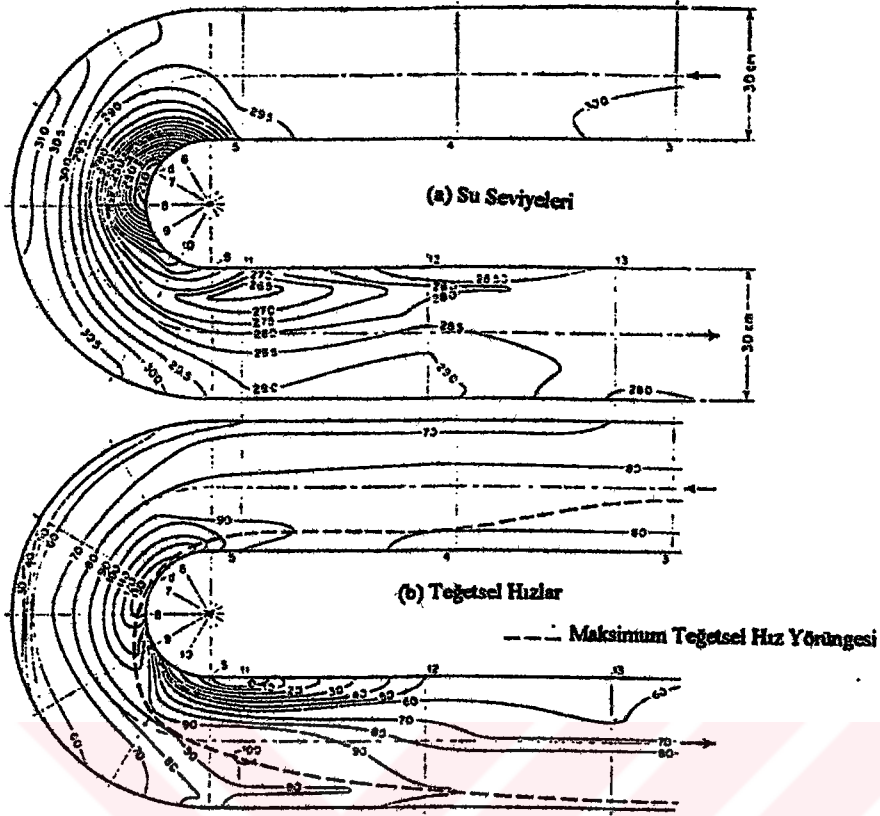
$$\Delta h = \frac{C_s^2}{2g(r_0^2 - r_i^2)} (r_0^2 - r_i^2) \quad (2.7)$$

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,

$$\Delta h = \frac{V_z^2}{gr_c} \quad (2.8)$$

eşitliği verilebilir.



Şekil 2.2. Kıvrımlı bir kanalda su yüzü profilleri ve maksimum hız yörüngesinin değişimi (Shukry, 1950).

Çizelge 2.1. Farklı akım şartlarında 'd' ve 's' noktalarının değişimi.

Parametre	Re = 10,500		Re = 21,000		Re = 31,500		Re = 52,500		Re = 73,500	
	$\theta_d/\theta$	$\theta_s/\theta$	$\theta_d/\theta$	$\theta_s/\theta$	$\theta_d/\theta$	$\theta_s/\theta$	$\theta_d/\theta$	$\theta_s/\theta$	$\theta_d/\theta$	$\theta_s/\theta$
$r_a/b$	(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	0.189	0.500	0.250	0.611	0.300	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) $r_a/b = 1.00$									
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	0.208	0.556	0.371	0.928	0.445	1.000
1.00	0.056	0.778	0.111	0.778	0.167	0.805	0.278	0.833	0.333	1.000

† Ayrılmış Yok

Chow (1957)'un belirttiğine göre Grashof (1937), herbir akım çizgisine Newton'un 2. Hareket kanununu uygulamış ve tüm kanal kesiti boyunca integre ederek, radyal su yüzü profilini veren logaritmik bir ifade elde etmiştir. Buna göre kabarma miktarı;

$$\Delta h = 2.30 \frac{V_z^2}{g} \log \frac{r_0}{r_i} \quad (2.9)$$

ile verilmiştir.

Woodward (1941) da, kıvrımın dış ve iç kıyılarında hızların sıfır ve eksende maksimum olduğunu kabulü ile, Newton'un 2.kanunundan hareket ederek kabarma için;

$$\Delta h = \frac{V_{\max}^2}{g} \left[ \frac{20 r_c}{3 b} - 16 \frac{r_c^3}{b^3} + \left( \frac{4r_c^3}{b^2} - 1 \right) \ln \left( \frac{2r_c + b}{2r_c - b} \right) \right] \quad (2.10)$$

ifadesini vermiştir. Yukarıda verilen (2.8), (2.9) ve (2.10) eşitliklerinden en iyi sonucu (2.10) eşitliği vermektedir. Fakat Chow (1957)'a göre en iyi sonuç (2.7) eşitliğinden elde edilmektedir.

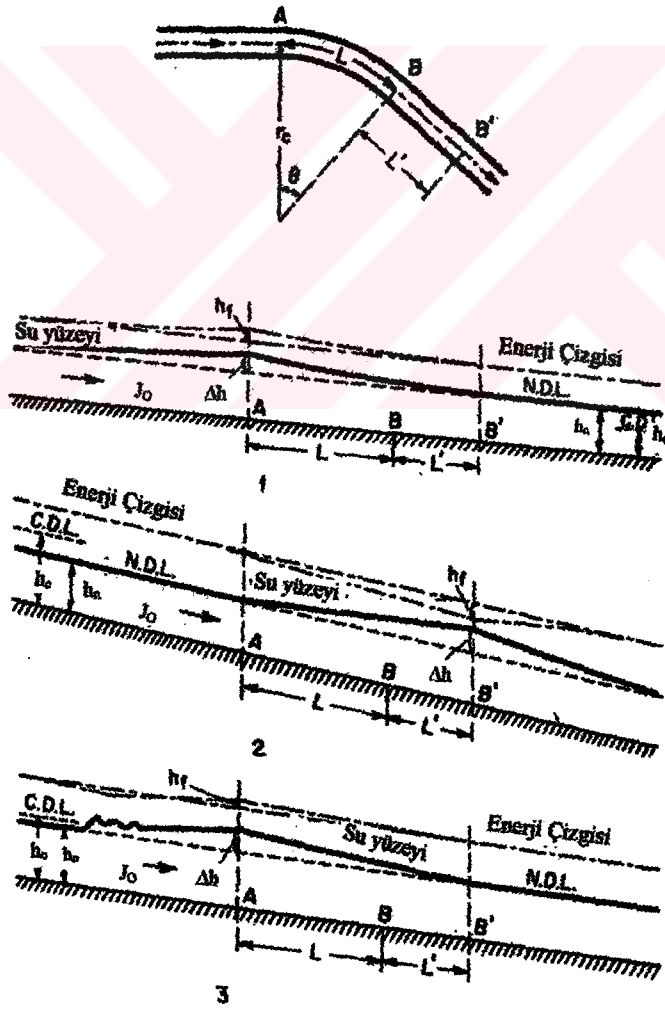
Müller (1943), bir kanal kıvrımında sel ve nehir rejimli akım şartlarında, teğetsel su yüzü profillerinin değişimini incelemiş ve nehir rejimli akım şartlarında, kanal kıvrımında oluşan teğetsel su yüzü profili Şekil 2.3 (1)'de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, kanaldaki akımın özgül enerjisinde meydana gelecek  $\Delta E$  kadarlık bir artış, su yüzeyinde  $\Delta h$  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 menbaya doğru üniform derinliğe asimptot olur.

Şekil 2.3 (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  $\Delta E$  kadarlık bir azalma meydana gelir. Bu noktada su yüzeyi,  $\Delta h$  kadar yükselir. Su derinliği kritik derinliği geçerse hidrolik sıçrama meydana gelir.

Şekil 2.3 (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;

- Akım kararlıdır,
- Kıvrım yeterince uzundur,
- Kanal genişliğinin su derinliğine oranı 10'dan büyüktür,
- Kıvrım eğrilik yarıçapı ve kanal genişliği hemen hemen aynı büyüklüktedir,
- Türbülans kayma gerilmesi, kinematik eddy viskozitesi  $\epsilon$  ile verilebilir.



Şekil 2.3. Açık kanal kıvrımında enerji çizgisi ve su yüzü profilleri (Chow, 1957).



Bu kabullerle, radyal doğrultudaki hareket denklemi silindirik koordinat sisteminde,

$$-\frac{V_{\theta}^2}{r} + gJ_r = \frac{\delta}{\delta z} \left( \varepsilon \frac{\delta V_r}{\delta z} \right) \quad (2.11)$$

ile verilmektedir. Araştırmacının belirttiğine göre (2.11) eşitliği ilk olarak V.M.Makkaveev (1940) tarafından kullanılmıştır. (2.11) eşitliğinde,

$V_r$  = Kıvrımdaki radyal hız bileşeni,

$V_{\theta}$  = Silindirik koordinatlarda teğetsel hız bileşeni,

$J_r$  = Radyal doğrultuda su yüzü eğimi,

$r$  = Kıvrım eğrilik yarıçapı,

$\varepsilon$  = Eddy viskozitesi,

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

$$V = V_{\max} + \frac{1}{\chi} u^* \ln(\eta) \quad (2.12)$$

eşitliğini ve radyal su yüzeyi eğimi için,

$$J_r = \frac{V_{\theta m}^2}{gr} \quad (2.13)$$

eşitliğini kullanarak (2.11) eşitliğinden radyal hız bileşeni için,

$$V_r = \frac{h}{\chi^2 r} V_{\theta} \left[ F_1(\eta) - \frac{\sqrt{g}}{C\chi} F_2(\eta) \right] \quad (2.14)$$

eşitliğini çıkarmıştır. Burada;  $\chi$  = 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 (2.14) eşitliğini,

$$V_r = 4V_0 \frac{h}{r} \left[ F_1(\eta) - \frac{2\sqrt{g}}{C} F_2(\eta) \right] \quad (2.15)$$

şeklinde düzenlemiştir.

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

$$J'' = \left( 12 \frac{\sqrt{g}}{C} + 30 \frac{g}{C^2} \right) \left( \frac{h}{r_c} \right)^2 Fr_1^2 \quad (2.16)$$

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,

$$\frac{\delta \xi}{\delta \theta} = -2\eta_s + \frac{r^2}{D} \frac{\delta^2 (\epsilon_s \xi)}{\delta z} \quad (2.17)$$

eşitliğini elde etmiştir. Burada;

$D$  = Silindirik ayak çapı,

$\xi$  = Vortex bileşeni,

$\epsilon_s$  = 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,

$$V_r = \frac{Dh}{\chi^2 r^2} (\ln \eta - 2 \ln \eta + \eta) \quad (2.18)$$

eşitliğini elde etmiştir.

M.M.Soliman ve E.R.Timney (1968), yaptıkları teorik ve deneysel çalışmalar sonucunda, momentumun momentinden hareket ederek, 180°'lik bir açık kanal kıvrımında oluşan enerji kayıplarını minimum kılmak için aşağıdaki ifadeyi vermişlerdir.

$$\frac{8k}{Fr_1} - \frac{3+k}{(1-k)^3} + \frac{3-k}{(1+k)^3} - 8.4k^{2.2} = 0 \quad (2.19)$$

Burada;  $k = Re(b/2)$ ,  $Re = Reynolds$  sayısı ( $=Vh/\nu$ ) ve  $\nu = Kinematik$  viskozitedir.

Araştırmacılara göre, kıvrımdan dolayı meydana gelen enerji kayıplarının minimum olması için, akım çizgilerinin kıvrımlı kanal duvarlarına paralel olması gerekir. Böyle bir akımın tam olarak elde edilmesi zordur. Fakat uygun bir kıvrım dizaynı ile kabul edilebilir bir yaklaşım sağlanabilir. Araştırmacılara göre, kıvrımda oluşan toplam yük kaybı üç ayrı yük kaybının toplamından meydana gelmektedir. Bunlar;

- 1) Cidar pürüzlülüğü ve akım hızına bağlı olan duvar sürtünmesinin sebep olduğu kayıp,
- 2) Kıvrımın iç kıyısında vorteks bozulması ve sınır tabakasından ayrılma nedeniyle oluşan vortisite ve eddy gerilmelerinin neden olduğu kayıp,
- 3) Kıvrım menbaında dış duvar yakınında akım yönündeki ters basınç gradyanının neden olduğu sınır tabakasından ayrılma ve eddy gerilmelerinin neden olduğu kayıplardır.

Ters basınca, merkezkaç kuvveti etkisiyle oluşan kabarma sebep olmaktadır.

M.M.Soliman ve E.R.Timney (1968), kanaldaki akımın hızını dolayısıyla Froude sayısını ayarlayarak ya da yönlendirme perdeleri ile düzenlemeler yaparak, kıvrımdaki kayıpların minimuma indirgenebileceğini belirtmişler ve aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir;

- 1) Momentumun momenti analizi ile kıvrımda minimum yük kayıplarını verecek kıvrım karakteristiklerini ve akım arasındaki ilişkinin bulunmasında iyi sonuçlar verir,
- 2) Dairesel yörüngeli yönlendirme perdeleri akım çizgilerinin sınırlara hemen hemen paralel olmasını sağlayarak kıvrımın geometrisini değiştirir,
- 3)  $k \leq 0.15$  ve  $Fr_1 \leq 0.6$  olduğunda kıvrımda oluşan kayıplar, doğrusal kanallardaki kayıplara yaklaşır,
- 4) Froude sayısının etkisinden dolayı minimum yük kaybı için sadece kıvrım geometrisini hesaba katmak yanlıştır,
- 5) Eğer  $k$  ve Froude sayısı büyük seçilirse, kıvrım mansabında hidrolik sıçrama meydana gelir.

Francis-Asfari (1971)'ye göre, kıvrımın giriş kesitinde  $V_0$  teğetsel hızı kesinlikle logaritmik hız dağılımına uymaktadır. Araştırmacılara göre, bu durumda;

$$\frac{V_{\theta} - V_{\theta m}}{u^*} = \frac{1}{\chi} (1 + \ln \eta) \quad (2.20)$$

eşitliği yazılabilir. Burada;

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

$u^*$  = Taban kayma hızı,

$\eta$  = Akım içindeki herhangi bir noktanın rölatif derinliği ( $z/h$ ),

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

$$U^* = V_{\theta m} \frac{\sqrt{g}}{C} \quad (2.21)$$

ifadesi elde edilir. (2.21) eşitliği (2.20) eşitliğinde yerine konulursa, kıvrımdaki akımın herhangi bir kesitindeki teğetsel hız bileşeninin değeri için;

$$V_{\theta} = V_{\theta m} \left[ 1 + \frac{\sqrt{g}}{\chi C} + \ln \eta \right] \quad (2.22)$$

eşitliği elde edilir. Burada; C, Chezy katsayısıdır.

Francis-Asfari (1971), helikoidal akımdan dolayı teğetsel hızda önemli değişimlerin olacağını belirterek hesaplanan değişim miktarının (2.21) 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  $\theta$  yönündeki bileşeni,

$$V_r \frac{\delta V_\theta}{\delta r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\delta V_\theta}{\delta \theta} + V_z \frac{\delta V_\theta}{\delta z} + \frac{V_r V_\theta}{r} = g J_\theta + \frac{1}{\rho} \frac{\delta \tau_\theta}{\delta z} \quad (2.23)$$

şeklinde yazılabilir.

Kıvrımdaki  $V_\theta$ '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, (2.23) eşitliğinin sağ tarafı sıfır olur. Ayrıca  $V_r$  ve  $V_z$  hızlarının hesaplanmış değerleri eşitlikte yerine konulursa (2.23) eşitliği sonlu farklar yöntemi ile çözülebilir. Çünkü, eşitlik;

$$V_r \frac{\Delta V_\theta}{\Delta r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\Delta V_\theta}{\Delta \theta} + V_z \frac{\Delta V_\theta}{\Delta z} + \frac{V_r V_\theta}{r} = 0 \quad (2.24)$$

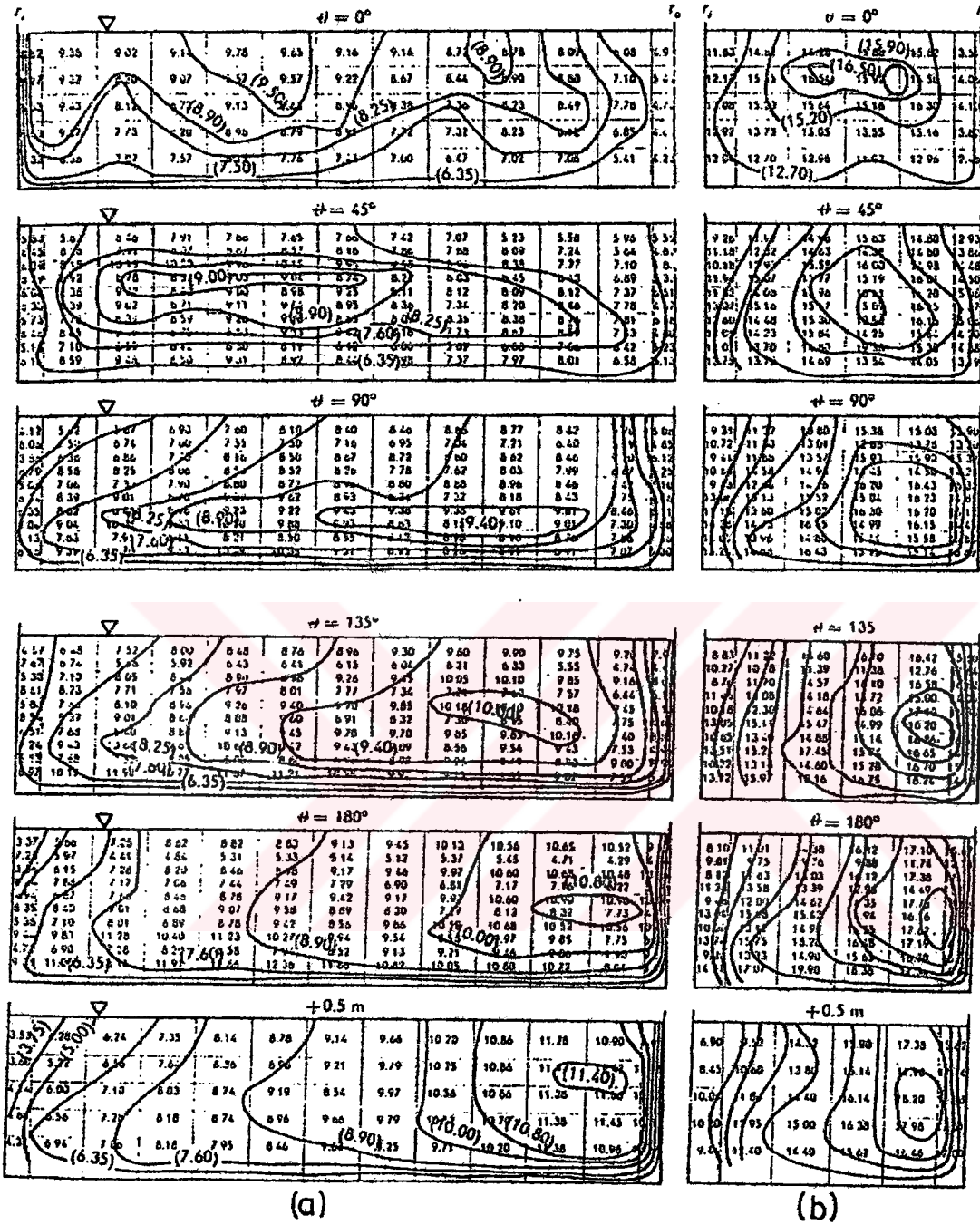
şeklinde yazılabilir. Buradan  $\Delta V_\theta$ 'yı çözersek,

$$\Delta V_\theta = \frac{r\Delta\theta}{V_\theta} \left[ V_r \frac{\Delta V_\theta}{\Delta r} + V_z \frac{\Delta V_\theta}{\Delta z} + \frac{V_r V_\theta}{r} \right] \quad (2.25)$$

ifadesi bulunur. (2.25) eşitliğinden elde edilen  $\Delta V_\theta$  hesaplanabilir. Bu durumda yeni teğetsel hızın değeri;

$$V'_\theta = V_\theta + \Delta V_\theta \quad (2.26)$$

formülünden hesaplanabilir. Bu yeni hız, değiştirilmiş teğetsel hız olarak adlandırılır. Francis-Asfari (1971) nin bu yöntemle bulduğu  $V_\theta$  hızlarının kıvrımlı bir kanaldaki dağılımı Şekil 2.4'de görülmektedir. Şekil incelendiğinde,  $\max V'_\theta$  kıvrımın giriş kesitinde iç kenara yakın kısımda meydana gelmekte ve daha sonra kıvrımın dış kenarına doğru yer değiştirerek çıkış kesitinde en büyük değere ulaşmaktadır.



Şekil 2.4. Max  $V_\theta$ 'nin kıvrım açısına göre kesitten kesite değişimi.

a)  $r/b=3$  , b)  $r/b=7.9$



Araştırmacılar,  $r$  yarıçaplı ve  $j$  taban eğimli kıvrımlı bir kanalda bir akışkan elemanına etkiyen kuvvetlerin dengesini yazarak (Şekil 2.5), kıvrımlı bir kanalda oluşacak basınç dağılımının yaklaşık olarak hidrostatik basınç dağılımına uyduğunu da göstermişlerdir. Söz konusu akışkan elemanına etki eden kuvvetler;

$y$  doğrultusunda;

$$-\frac{\delta P}{\delta r} + \frac{\rho V_r}{r} = 0 \quad (2.27)$$

$-z$  doğrultusunda;

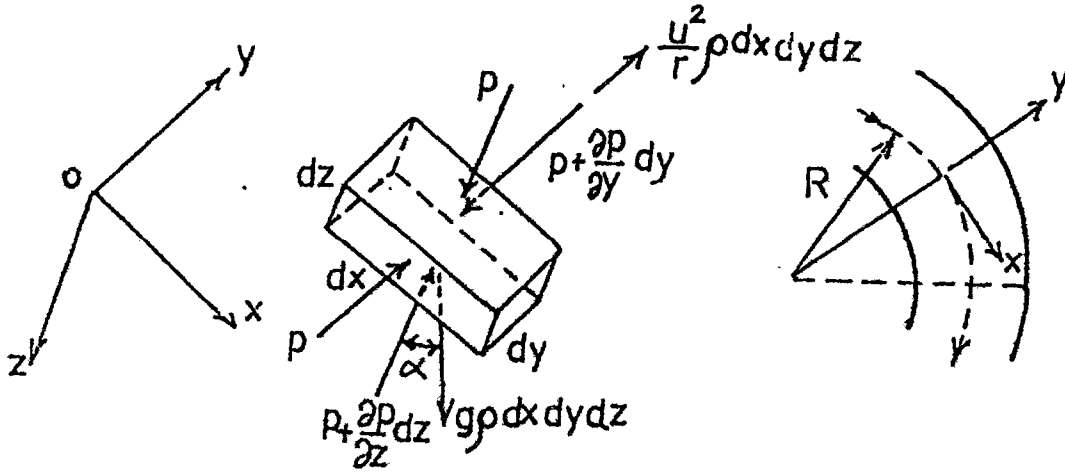
$$-\frac{\delta P}{\delta z} + \rho g \cos \alpha = 0 \quad (2.28)$$

şeklinde yazılabilir. (2.27) ve (2.28) eşitlikleri integre edilip sınır şartları göz önüne alınırsa;

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{V_r^2}{r} \frac{y}{g} \quad (2.29)$$

ve

$$\frac{P}{\gamma} = z \cos \alpha \quad (2.30)$$



Şekil 2.5 Kıvrımlı kanaldaki bir akışkan parçacığına etki eden basınç kuvvetleri

ifadeleri elde edilir. (2.29) ve (2.30) eşitliklerinden görüleceği gibi, kıvrımın iç kısmından dış kısmına doğru gidildikçe su derinliğinin arttığı, fakat buna karşılık kanaldaki basınç dağılımının yaklaşık olarak hidrostatik basınç dağılımına uyduğu görülebilir.

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;

$$J_r = \frac{1}{gh} \left[ -u_*^2 \sin \phi + \int_{z_0}^{z_1} \left( \frac{V_\theta^2}{r} - V_\theta \frac{\delta V_r}{r \delta \theta} \right) dz \right] \quad (2.31)$$

ve

$$J_\theta = \frac{1}{gh} \left[ -u_*^2 \sin \phi + \int_{z_0}^{z_1} \left( V_\theta \frac{\delta V_\theta}{r \delta \theta} + V_r \frac{\delta V_\theta}{\delta r} + \frac{V_r V_\theta}{r} + V_z \frac{\delta V_\theta}{\delta z} \right) dz \right] \quad (2.32)$$

şeklindedir. Burada;

$J_r, J_\theta$  = Sırasıyla enine ve teğetsel su yüzü eğimleri,

$V_r, V_\theta, V_z$  = Sırasıyla, r,  $\theta$  ve z doğrultularındaki geçici ortalama hız bileşenleri,

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

$\sin \phi = V_r / V_\theta$  oranı,

olarak verilmektedir. (2.31) eşitliği yeniden yazılırsa;

$$J_r = \frac{V_m^2}{2gr} \left\{ -2 \frac{r}{h} \left( \frac{u_*}{V_m} \right)^2 \sin \phi + \int_{z_0/h}^{z_1/h} 2 \left[ \left( \frac{V_\theta}{V_m} \right)^2 - \frac{V_\theta}{V_m} \frac{\delta \left( \frac{V_r}{V_m} \right)}{\delta \theta} \right] d \left( \frac{z}{h} \right) \right\} \quad (2.33)$$

bulunur. Burada  $V_m$ , kanalın doğrusal kısmındaki ortalama hızı ifade etmektedir. (2.33) 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  $\theta$  doğrultusundaki değişimden dolayı konvektif momentum akısındaki değişimi ifade etmektedir.

C.L.Yen ve B.C.Yen (1971), (2.33) eşitliğindeki parantez içindeki terimleri sırasıyla  $Cr_1$ ,  $Cr_2$  ve  $Cr_3$  olarak ifade etmişler ve yersel enine su yüzü eğimi katsayısını,

$$C_r = Cr_1 + Cr_2 + Cr_3 \quad (2.34)$$

olarak tariflemişler ve enine su yüzü eğimini veren (2.33) eşitliğini,

$$J_r = C_r \frac{V_m^2}{2gr} \quad (2.35)$$

şeklinde basitleştirmişlerdir. Araştırmacılar aynı yaklaşımla (2.32) eşitliğini,

$$C_\theta = C_{\theta 1} + C_{\theta 2} + C_{\theta 3} + C_{\theta 4} \quad (2.36)$$

olarak teğetsel su yüzü eğimini veren ifadeyi

$$J_\theta = C_\theta \frac{V_m^2}{2gr_c} \quad (2.37)$$

olarak basitleştirmişlerdir. Burada;

$C_\theta$  = Yersel teğetsel su yüzü eğimi katsayısı,

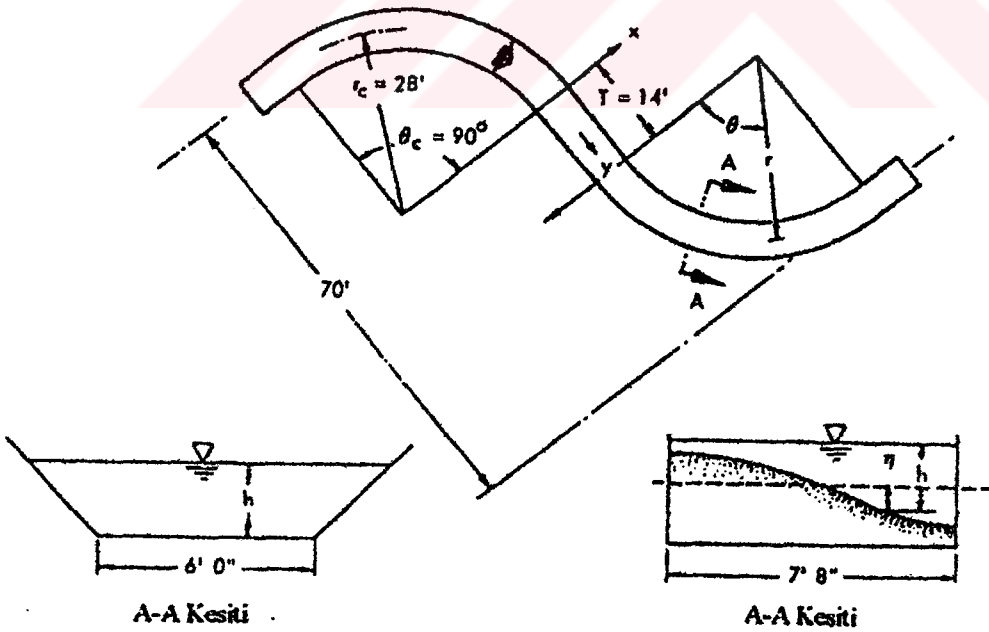
$r_c$  = Kıvrımda eksenden olan eğrilik yarıçapıdır.

Araştırmacılar, mevcut analizlerini 1962-1966 yılları arasında Mississippi ve Missouri gibi nehirlerini temsil eden 90°'lik kıvrımlara sahip iki farklı modelde (Şekil 2.6) 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  $C_{r1}$ ,  $C_{r2}$  ve  $C_{r3}$  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 (2.35) eşitliğini  $r$  doğrultusunda integre ederek;

$$H_{rc} = \int_{r_c}^r J_r dr = \frac{V_m^2}{2g} \int_{r_c}^r \frac{C_r}{r} dr \quad (2.38)$$



Şekil 2.6 Deney kanalı (C. L. Yen ve B. C. Yen)

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 (2.35) ve (2.38) eşitliklerinden elde edilebilir.

Araştırmacılar (2.35) eşitliğini iç kıyıdan dış kıyıya kadar integre ederek su yüzündeki yanal değişimi veren ifadeyi;

$$H_s = \frac{V_m^2}{2g} \int_{r_1}^{r_0} \frac{C_r}{r} dr \quad (2.39)$$

şeklinde elde etmişlerdir. Burada,

$H_s$  = Su yüzündeki yanal değişim,

$r_1$  = İç kıyı eğrilik yarıçapı,

$r_0$  = Dış kıyı eğrilik yarıçapıdır.

$C_s$  kabarma katsayısı da,

$$C_s = \frac{H_s}{\frac{V_m^2}{2g} b_s} = \frac{r_c}{b_s} \int_{r_1/r_c}^{r_0/r_c} \frac{C_r}{r} d\left(\frac{r}{r_c}\right) \quad (2.40)$$

ifadesi ile verilmiştir. Burada,  $b_s = r_0 - r_1$  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,

$$C_s = \left( \frac{V_{ac}}{V_m} \right)^2 \left( \frac{r_0}{r_c} + \frac{r_1}{r_c} \right) \quad (2.41)$$

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,

$$H_\theta = \int_0^L (J_\theta - J_o) dL = \int_0^L \left( C_\theta \frac{V_m^2}{2gr_c} - J_o \right) dL \quad (2.42)$$

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;

$$K = \frac{5}{4} \tanh\left(\frac{r_c \theta}{b}\right) \ln\left(\frac{r_0}{r_1}\right) \quad (2.43)$$

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

$$Q = A \sqrt{\frac{gH_s}{K}} \quad (2.44)$$

eşitliği ile verilmiştir. Burada,

A = kabarmanın ölçüldüğü kesitteki radyal enkesit alanı,

H<sub>s</sub> = Kıvrımda iç ve dış kıyı arasındaki maksimum su yüzü yükseklikleri farkı,

K = Su yüzü yanal değişim katsayısıdır.

Araştırmacı (2.43) ve (2.44) 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. Deneysel eksen eğrilik yarıçapı r<sub>c</sub>=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 α=15°'de dış kıyıda başlamakta ve α=105°-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 α=135°'de dış kıyı bölgesinde maksimuma ulaşmaktadır. Aynı zamanda,



$\alpha=135^\circ$ '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  $\alpha=120^\circ$ 'den sonra iç kıyıda bozulmaya başlamakta ve su yüzündeki yanal değişimle aynı anda başlamaktadır. Froude sayısındaki artış ve b/h oranındaki azalmayla helikoidal hareketin bozulma oranı azalmaktadır.

Su yüzündeki maksimum yanal değişim  $\alpha=90^\circ$  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  $\alpha=75^\circ$  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.

H.H.Chang (1983)'e göre, kıvrımlı bir kanalda, birim kanal uzunluğundaki enerji kaybı oranı  $\Delta E$  iki bileşene sahiptir. Bunlar, teğetsel direnç  $\Delta E'$  ve sekonder akımın neden olduğu radyal direnç  $\Delta E''$  bileşenleridir. Buradan,

$$\Delta E = \Delta E' + \Delta E''$$

yazılabilir.

$$\Delta E = \gamma Q J$$

$$\Delta E' = \gamma Q J'$$

$$\Delta E'' = \gamma Q J''$$

olarak yazılırsa,

$$J = J' + J''$$

elde edilir. Burada;

$\gamma$  = Akışkanın özgül ağırlığı,

$J$  = Toplam enerji gradyanı,

$J'$  = Teğetsel enerji gradyanı,

$J''$  = Radyal enerji gradyanı,

dır. Araştırmacının  $\Delta E$  ve  $\Delta E''$  için verdiği ifadeler aşağıdaki gibidir.

$$\Delta E = \gamma Q (\lambda/8) Fr_1 \quad (2.45)$$

$$\Delta E'' = \gamma Q \left( \frac{2.86\sqrt{\lambda} + 2.07\lambda}{0.565 + \sqrt{\lambda}} \right) \left( \frac{h}{r_c} \right) Fr_1^2 \quad (2.46)$$

Buradan;

$$\frac{\Delta E''}{\Delta E} = \frac{J''}{J} = \left( \frac{22.84 + 16.6\sqrt{\lambda}}{0.565\sqrt{\lambda} + \lambda} \right) \left( \frac{h}{r_c} \right)^2 \quad (2.47)$$

ifadesi yazılabilir. Eşitliklerde  $\lambda$ , Darcy-Weisbach sürtünme katsayısını göstermektedir. Araştırmacı (2.45), (2.46) ve (2.47) eşitliklerinin elde edilmesinde aşağıdaki basitleştirmeleri yapmıştır.

- 1) Duvar etkisini ihmal etmek için kanal geniş ve dikdörtgen enkesitlidir,
- 2)  $V_r$  ve  $V_\theta$  hızlarındaki radyal değişimler ve kabarma dikkate alınmamıştır,
- 3) Radyal hız bileşeninin düşey dağılımı lineerleştirilmiştir.

Araştırmacının belirttiğine göre, sekonder akımdan dolayı meydana gelen enerji kaybı  $h/r$  oranı, Froude sayısı ve kanal pürüzlülüğü ile doğru orantılıdır. Radyal enerji kaybının toplam enerji kaybına oranı,  $h/r$  oranı ile doğrudan ilişkilidir, fakat kanal pürüzlülüğü ile ters orantılıdır. Sekonder akım kanal geometrisinden etkilenir. Dolayısıyla, diğer şartları aynı olan dar bir kanaldaki radyal enerji kaybı daha geniş bir kanala göre daha küçüktür. Bunun nedeni, cidar yakınında radyal hızların bozulmasıdır. Büyük  $h/r$  oranlarında ya da küçük kanal pürüzlülüklerinde radyal kayıplar toplam kayıplardan daha büyük olabilir.

De Vriend ve Struikma (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  $90^\circ$ 'lik bir kıvrımlı yaklaşım kanalındaki akımı teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir (Şekil 2.7).

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  $J_\theta$  ve radyal su yüzü eğimi  $J_r$  ifadelerini aşağıdaki şekilde elde etmişlerdir.

$$J_\theta = \frac{\delta h}{r\delta\theta} = \frac{Q^2 h \left[ \frac{\lambda}{2} + \frac{b_0}{b} \frac{1-b_d}{r_c \theta_f} \right]}{\left[ h^3 - \frac{Q^2}{g b^2} \right]} \quad (2.48)$$

$$J_r = \frac{\delta h}{\delta r} = \alpha_0 \frac{V_\theta^2}{g r} + \frac{\tau_{r0}}{\rho g h} \quad (2.49)$$

Burada;

$b_0$  = Yaklaşım kanalı menba genişliği,

$b_d$  = Daralma oranı ( $b_f/b_0$ )

$\theta_f$  = Toplam kıvrım açısı,

$\alpha_0$  = Ortalama merkezkaç kuvveti katsayısı,

$V_\theta$  = Ortalama teğetsel hız,

$\tau_{r0}$  = Taban kayma gerilmesi radyal bileşeni,

$b_f$  = Yaklaşım kanalı mansap genişliğidir.

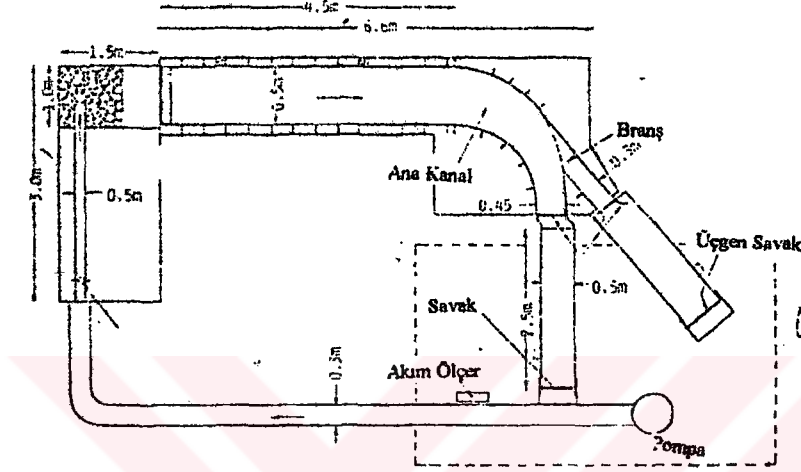
Araştırmacılar,  $\lambda$  sürtünme katsayısı ve  $\alpha_0$  ortalama merkezkaç kuvveti katsayısı için de;

$$\lambda = 2g \left[ 1 + 8.2 \left( \frac{h}{r_c} \right)^2 \right] / (C^2 h) \quad (2.50)$$

ve

$$\alpha_0 = \left( \frac{1}{V_0^2} \right) \left( \frac{1}{h} \right) \int_0^h V_0^2 dz \quad (2.51)$$

ifadelerini vermişlerdir.



Şekil 2.7. Deney seti (A.D.Georgiadou ve K.V.H.Smith)

### 3. KIVRIMLI KANALLARDA YAN SAVAK AKIMININ HİDROLİĞİ

#### 3.1 Giriş

Akarsular tabiiatta genellikle kıvrımlar yaparak akarlar. Bu nedenle 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.

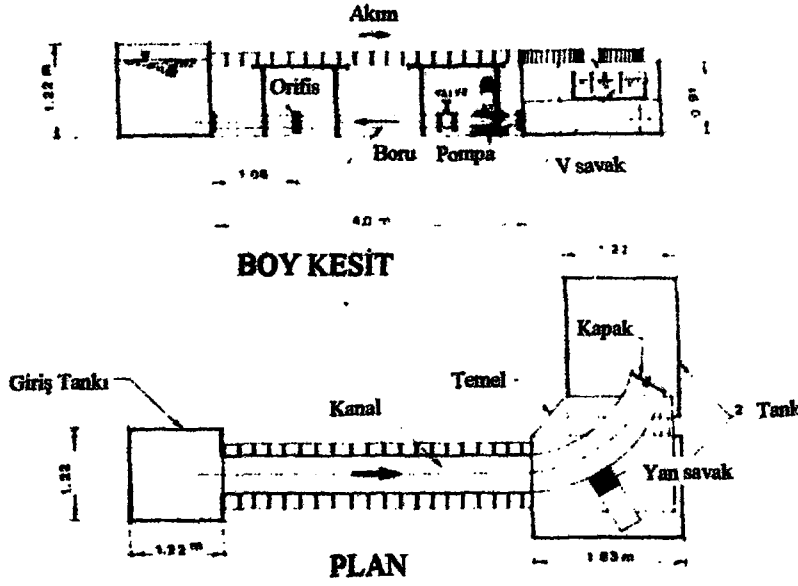
Kıvrımlı kanallarda kıvrımdan dolayı meydana gelen sekonder akım, yanal akım sebebiyle ana kanalda meydana gelen sekonder akımın şiddetlenmesine sebep olmakta, yan savak debi katsayısının doğrusal kanallardakine göre farklı değerler almasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra su yüzü profillerinde ve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

#### 3.2 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 3.1). Araştırmacıların yalnız kıvrım ve yan savaktan aktif savaklanma durumlarında 60°'lik kıvrım kısmında elde ettikleri derinlik boyunca teğetsel hızların değişimi Şekil 3.2 de verilmiştir. Araştırmacıların derinlik boyunca teğetsel hızlarla ilgili elde ettikleri tespitleri aşağıdaki gibidir.

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

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

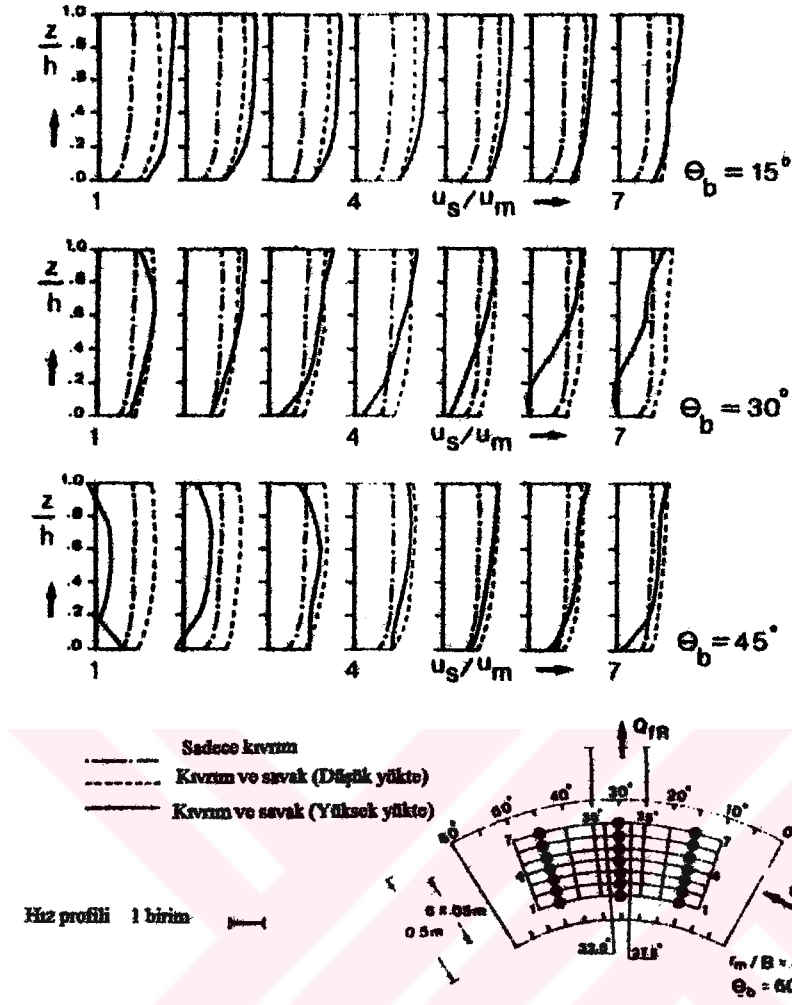


Şekil 3.1. Dış kıyısında yan savağa sahip 60°'lik bir kanal kıvrımı  
(Y.R.Fares ve J.G.Herbertson, 1993)

Büyük savaklanma oranlarında ( $Q_w > 0.40$ ,  $h_w > 0.36$ ) ise, maksimum hız yörüngesi yan savak menbaında iç kıyıdan dış kıyıya doğru yönelmekte ve yan savağın hemen menbaında 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 kıyıda hızlar azalarak akım dış kıyıya yönelmektedir. Yan savak akımı menba taraftaki teğetsel hız dağılımına çok az etki etmektedir. Kıvrım dış kıyısında taban yakınlarında 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.

Kıvrımlı kanallarda yan savak akımı ile ilgili en detaylı çalışma Ağaçoğlu (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.





Şekil 3.2. Dış kıyısındaki yan savak üzerinden yanal akıma sahip 60°'lik kanal kıvrımında derinlik boyunca hız dağılımları (Y.R.Fares ve J.G.Herbertson, 1993)

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

Ağaçcıoğlu (1995) ana kanal enkesiti boyunca su yüzü profillerinin fazla değişiklik göstermediğini, su yüzünün yataya yakın olduğunu ifade etmiştir. Kıvrım girişine yerleştirdiği savak bölgesinde ( $\alpha=0^\circ$ ) ise, yan savak kreti boyunca su yüzü profilinin savak menbaından 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. 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 ( $Fr_1=0.6-0.7$ ).

Kıvrımlı kanalda ise kıvrımın  $60^\circ$ '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. 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  $60^\circ$  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  $\alpha=30^\circ$  de iç kıyıda,  $\alpha=30^\circ$  den sonra ise  $\alpha=60^\circ$  de dış kıyıya

yerleştiğini ve  $\alpha=120^\circ$  ye kadar dış kıyıda kaldığını,  $\alpha=120^\circ$  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 menbaındaki akım hızlarının değişmediğini akımın savak başlangıcından önce hızlanmaya başladığını, maksimum hız yörüngesinin  $\alpha=30^\circ$  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.  $\alpha=60^\circ$  de ise maksimum teğetsel hızları savak kesitinde dış kıyıda tespit etmiştir. Bunlara bağlı olarak araştırmacı maksimum hız yörüngesinin  $30^\circ$  den sonra  $45^\circ$  de dış kıyıya yerleştiğini ve maksimum hız yörüngesinin doğrultusunun, bu bölgede, yanal akım doğrultusuna yakın olduğunu ifade etmiştir.

Araştırmacı, diğer yan savak bölgelerinde ( $\alpha=90^\circ$ ,  $\alpha=120^\circ$  ve  $\alpha=150^\circ$ ) 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.

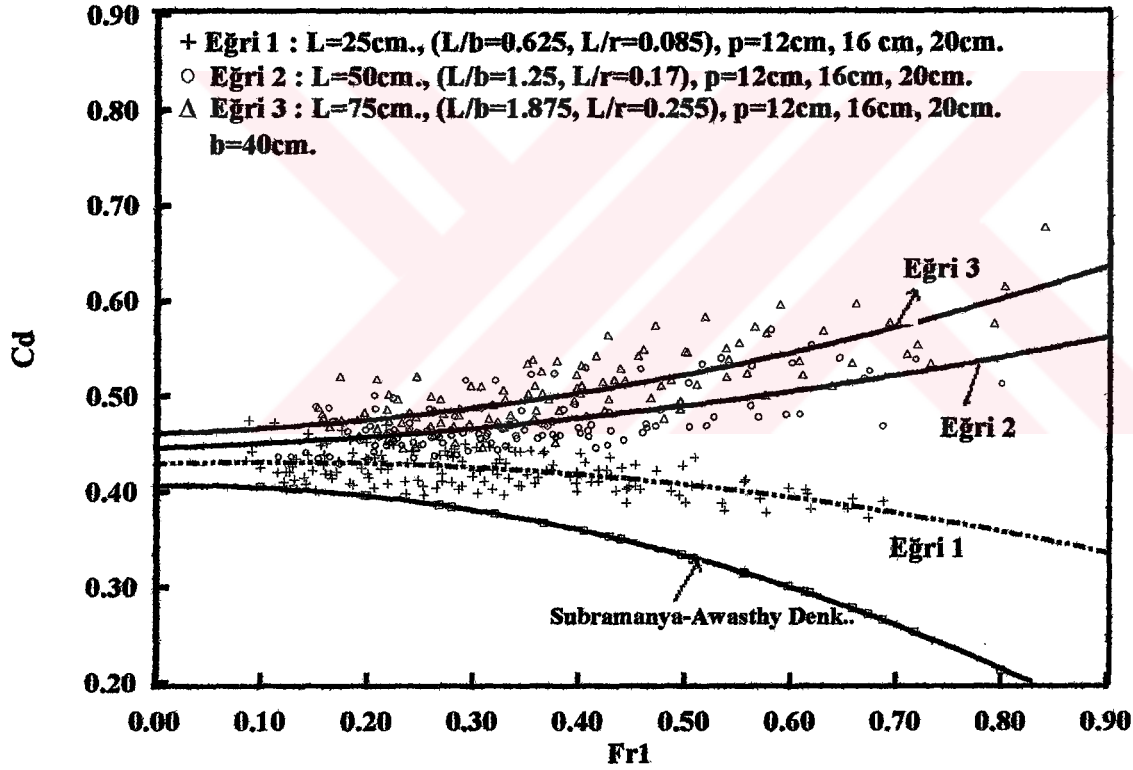
Ağaçcıoğlu (1995), kıvrım boyunca yanal akım alanını da incelemiştir. Kıvrımdan dolayı meydana gelen sekonder akımın etkisiyle doğrusal kanaldaki şartların daha küçük  $L/b$  değerlerinde oluştuğunu ifade etmiştir. Doğrusal kısımda ve kıvrım başlangıcında büyük yan savak uzunluklarında ( $L/b=1.875$ ) 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  $60^\circ$  de  $L/b=0.625$  için bile sekonder akımın etkisini görmüş ve bu etkinin  $90^\circ$  de devam ettiğini,  $120^\circ$  ve  $150^\circ$  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,

$$C_d = f\{Fr_1, p/h_1, L/b, L/r, \alpha\} \quad (3.1)$$

olarak belirlemiştir.

Araştırmacı, doğrusal yaklaşım kanalında farklı  $L/b$  değerlerine ( $L/b=0.625$ ,  $L/b=1.25$  ve  $L/b=1.875$ ) sahip yan savaklarda  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimini incelemiş ve Subramanya ve Awasthy (1972) tarafından verilmiş olan (1.38) denkleminin geçerliliğini araştırmıştır (Şekil 3.1). Araştırmacı,  $L/b=0.625$  için elde edilen eğrinin



Şekil 3.3 Doğrusal yaklaşım kanalında  $L/b=0.625$  (1 eğrisi) ve  $L/b=1.25$  (2 eğrisi) ve  $L/b=1.875$  (3 eğrisi) için elde edilen yan savak debi katsayılarının Subramanya-Awasthy eğrisi ile karşılaştırılması (Ağaçcıoğlu, 1995).

Subramanya ve Awasthy (1972) tarafından verilen eğri ile aynı eğilimde olduğunu fakat A.Uyumaz tarafından düzeltilen eğriye daha fazla uyduğunu belirlemiştir. İki eğri arasındaki farkın ise kıvrımdan önce başlayan sekonder akımın etkisinden kaynaklandığını ifade etmiştir. Büyük Froude sayılarında ise artan farkın, Froude sayısı arttıkça artan sekonder akımın şiddetinden meydana geldiğini belirtmiştir.

Araştırmacı, ayrıca  $L/b=1.25$  ve  $L/b=1.875$  için elde edilen eğrilerin farklılığını ise Subramanya ve Awasthy (1972) nin deneylerini  $L/b<1$  için yapmış olmasından dolayı  $L/b>1$  için (1.38) eşitliğinin yeterli olmamasına bağlamıştır. Bununla beraber yan savak uzunluğu arttıkça yan savaktan kaynaklanan sekonder akımın şiddetinin arttığını belirtmiş ve buna bağlı olarak  $C_d$  yan savak debi katsayılarının daha büyük değerler aldığını belirlemiştir.

$C_d$  yan savak debi katsayısının  $p/h_1$  ve  $Fr_1$  ile değişimini de incelemiş ve etkileri aşağıdaki şekilde özetlemiştir.

- a) Farklı  $p/h_1$  değerlerinde değişik yan savak boyutlarında elde edilen eğrilerin eğilimi aynıdır.
- b)  $p/h_1$ 'e bağlı olarak  $Fr_1$  ile  $C_d$  nin değişiminin az olduğu, büyük  $p/h_1$  değerlerinde ise  $C_d$  nin büyük değerler aldığı belirlenmiştir.
- c) Büyük Froude sayılarında  $C_d$  katsayısındaki artan farklılık, Froude sayısının artmasıyla artan sekonder akımın şiddetinden kaynaklanmaktadır.
- d)  $L/b<1$  de  $p/h_1$  in ihmal edilmesi belli bir yaklaşımla kabul edilebilir. Fakat büyük  $L/b$  oranlarında ise sekonder akımın şiddetini artırmasından dolayı kabul edilemez.

Araştırmacı, farklı  $L/b$  değerleri için Froude sayısı ile  $C_d$  yan savak debi katsayısının değişimini incelemiştir.  $L/b=0.625$  için  $C_d$  nin 0.40-0.45 civarında değerler aldığını ve küçük Froude sayıları için eğrinin Subramanya ve Awasthy (1972) tarafından  $L/b\leq 1$  için verilen Şekil 1.7 deki eğriye çok yaklaştığını, fakat büyük Froude sayılarında aradaki farkın açıldığını belirtmiştir. Bunun Froude sayısının artmasıyla şiddetlenen sekonder akımdan kaynaklandığını ifade etmiştir.

$L/b=1.25$  ve  $L/b=1.875$  için  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimini gösteren eğrilerin  $L/b=0.625$  için verilen eğriye benzer eğilimler göstermesine karşın Froude sayısı 0.4 değerinden daha büyük değerlerde büyük farklılıkların olduğunu ifade etmiştir. Araştırmacı bu farkın büyük savak uzunluklarında artan Froude sayısı ile sekonder akımın şiddetlenmesi ve yanak akımın artması sonucu meydana geldiğini söylemiştir.

Ayrıca,  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $\alpha$  kıvrım açısı ile değişimini de inceleyerek  $L/b=0.625$ ,  $L/b=1.25$  ve  $L/b=1.875$  için Froude sayısı ile değişimini belirlemiştir.  $L/b=0.625$  için  $C_d$  yan savak debi katsayısının değişiminin küçük Froude sayılarında çok küçük olduğunu ve kıvrım etkisinin az olduğunu belirlemiştir (Şekil 3.4).  $L/b=1.25$  için küçük Froude sayılarında fazla değişimin olmadığını,  $Fr_1>0.3$  den sonra sapmaların meydana geldiğini ve en büyük değeri  $\alpha=60^\circ$  de aldığını belirterek, bunun maksimum hız yörüngesinden ve sekonder akımın şiddetinden kaynaklandığını ifade etmiştir (Şekil 3.5).  $L/b=1.875$  için ise  $C_d$  yan savak debi katsayısının büyük Froude sayılarında büyük değerler aldığını söyleyerek  $Fr_1>0.4-0.5$  den sonra büyük sapmaların meydana geldiğini söylemiştir (Şekil 3.6). Ayrıca en büyük  $C_d$  yan savak debi katsayısı değerlerinin  $\alpha=60^\circ$  de elde edildiğini belirterek değerlerin kıvrım çıkışına doğru azalarak kıvrım girişindeki değerine yaklaştığını ifade etmiştir.

Ağaçcioğlu (1995),  $L/b>1$  için  $Fr_1>0.3-0.4$  Froude sayılarında  $C_d$  yan savak debi katsayısının daha büyük değerler aldığını belirterek Subramanya ve Awasthy (1972) tarafından verilen (1.38) eşitliğinin  $L/b\leq 1$  için uygun olduğunu fakat  $L/b>1$  için kesinlikle kullanılamayacağını belirtmiştir. Ayrıca  $L/b>1$  için  $C_d$  yan savak debi katsayısının kıvrım boyunca değişiminde en büyük değer  $\alpha=60^\circ$  de meydana geldiğini belirlemiştir. Bunların yanı sıra sekonder akımın etkisiyle doğrusal kanallarda bilinenin aksine kıvrımlı kanallarda  $Fr_1=0.7-0.8$  Froude sayılarında yan savak üzerinde sel rejimli akım şartlarının oluştuğunu gözlemlemiştir.

Ağaçcioğlu (1995), elde ettiği  $C_d$  yan savak debi katsayılarının doğrusal kanalda Subramanya-Awasthy (1972) tarafından verilen (1.37) eşitliğine oranını rölatif yan savak



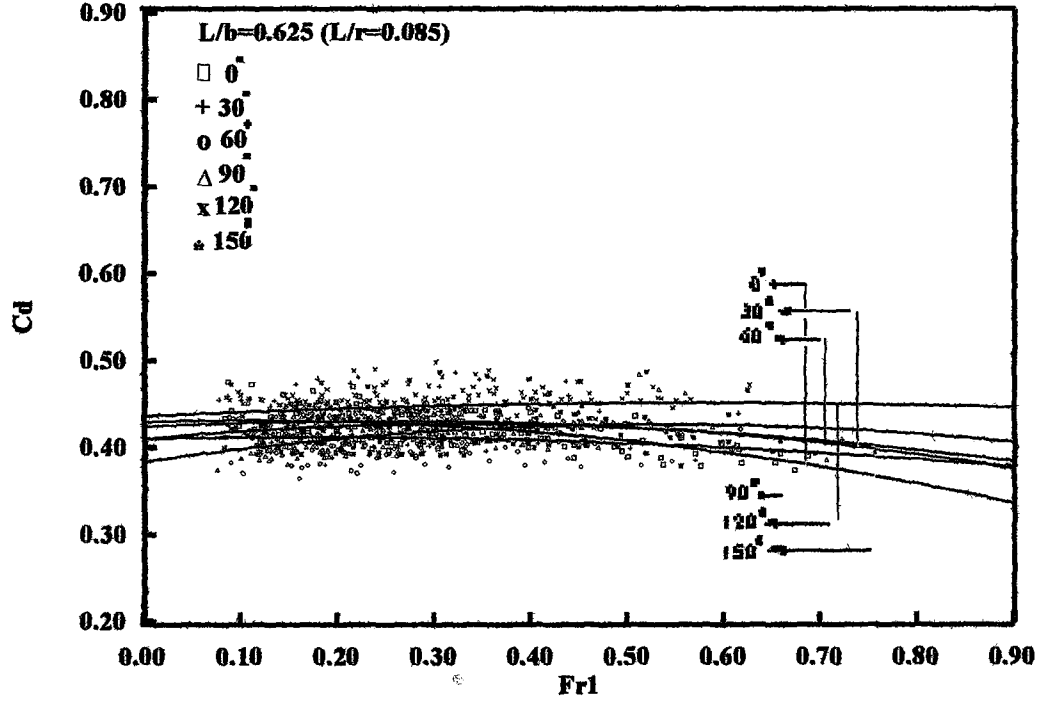
debi katsayısı ( $K_d$ ) olarak tanımlanmış ve Froude sayısı ile değişimini incelemiştir. Elde edilen eğrilerin 2. Dereceden parabolik karakter taşıdığını ifade ederek değişimin genel formülünü,

$$C_d = A + BFr_1 + CFr_1^2 \quad (3.2)$$

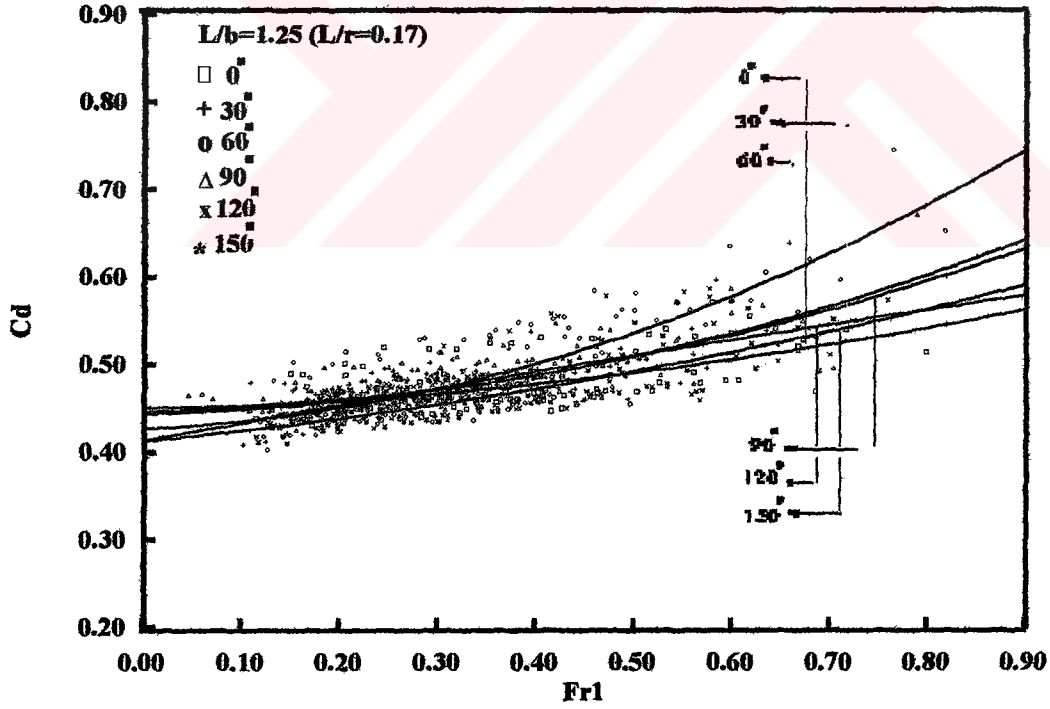
şeklinde ifade etmiştir. A, B ve C katsayılarını her  $\alpha$  kıvrım açısı ve L/b değerleri için Çizelge 3.1'deki şekilde vermiştir. Verilen katsayıların R regrasyon değerlerinin 0.70 ile 0.90 arasında değiştiğini ifade etmiştir.

Çizelge 3.1 Kıvrım boyunca farklı L/b değerleri için (3.2) eşitliğindeki A, B ve C katsayıları

$\theta$	L/b	0.625	1.25	1.875
30°	A	0.42445	0.45052	0.46567
	B	0.05075	-0.00267	-0.14199
	C	-0.10608	0.23951	0.62134
60°	A	0.41039	0.42676	0.47665
	B	0.02014	0.05033	-0.25553
	C	-0.06250	0.33551	0.79906
90°	A	0.38139	0.44359	0.47615
	B	0.19104	0.03163	-0.04426
	C	-0.23092	0.19699	0.38784
120°	A	0.43601	0.41398	0.49476
	B	0.05090	0.18440	-0.16588
	C	-0.04627	0.11827	0.62076
150°	A	0.40936	0.40800	0.43338
	B	0.10844	0.15014	0.13844
	C	-0.16191	0.01664	0.13938

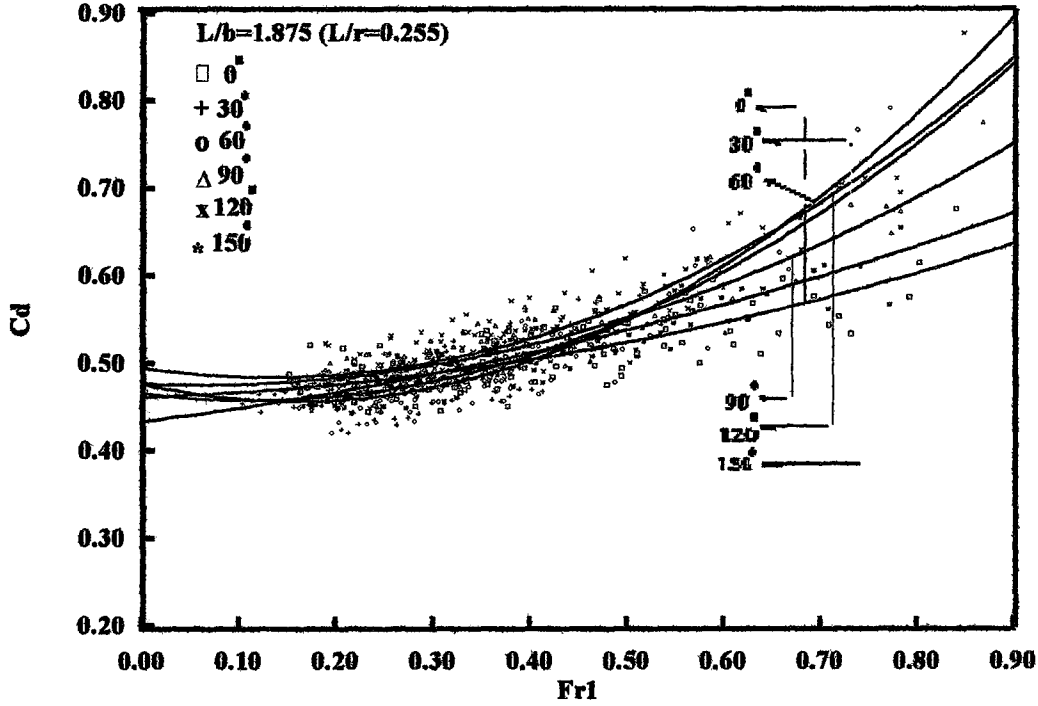


Şekil 3.4.  $L/b=0.625$  için yan savak debi katsayılarının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi (Ağaçcıoğlu, 1995)



Şekil 3.5 .  $L/b=1.25$  için yan savak debi katsayılarının Froude Sayısı ile kıvrım boyunca değişimi (Ağaçcıoğlu, 1995)





Şekil 3.6 .  $L/b=1.875$  için yan savak debi katsayılarının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi (Ağaçcıoğlu, 1995)

### 3.3 İncelenecek Problem

Yan savak akımları Bölüm 1.2'de verilen

$$C_d = f\left\{Fr_1, \frac{L}{b}, \frac{h}{L}, \frac{p}{h}, \psi\right\} \quad (3.3)$$

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

Şimdiye kadar yapılmış olan çalışmalarda yan savak debi denklemi için;

$$Q = C_d L \sqrt{2g} (h - p)^{3/2} \quad (3.4)$$

ifadesi kullanılmıştır. Bu çalışmada da,  $C_d$  yan savak debi katsayısının tayin edilmesinde bu denklem baz olarak alınacaktır. Burada üçgen yan savak için  $L = 2(h - p) \tan \frac{\theta}{2}$  dir.

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 olmasına karşın trapez ve üçgen kesitli yan savaklar üzerine de çalışmalar vardır. Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda üçgen kesitli yan savaklarla ilgili tek detaylı çalışma Kumar ve Pathak (1987) tarafından yapılmıştır.

Çeşitli kanal ve yan savak tipleri için yapılan bu çalışmaların hemen hemen tamamı doğrusal kanallarla ilgilidir. Sadece Y.R.Fares ve J.G.Herbertson (1994) tarafından 60°'lik bir kıvrımlı kanalın dış kıyısına yerleştirilen kalın kenarlı yan savak üzerine yapılan çalışma ile Ağaçoğlu (1995)'nin 180°'lik kıvrımlı bir kanalda keskin kenarlı dikdörtgen kesitli yan savaklarla ilgili yapılan çalışmalar kıvrımlı kanallarda yan savak akımını inceleyen çalışmalardır.

Daha önce yapılan çalışmalarda göze çarpan diğer bir nokta da, genellikle  $L/b \leq 1$  için çalışılmış olmasıdır. El-Khashab (1975)  $L/b=5.05$  için deneysel çalışma yapmış ve büyük  $L/b$  oranlarında sekonder akımın çok etkili olduğunu ifade etmiştir. Bunun yanı sıra Ağaçoğlu (1995) da yaptığı deneysel çalışmalar sonucunda El-Khashab (1975)'in yapmış olduğu çalışmaya dayanarak  $L/b > 1$  değerler için  $L/b < 1$  için verilmiş olan ifadelerin kullanılmasının uygun olmayacağını belirtmiştir.

Bu çalışma, nehir rejimli akıma sahip dikdörtgen enkesitli kıvrımlı bir kanalın dış kıyısı boyunca yerleştirilen, üçgen kesitli ve keskin kenarlı yan savaklar üzerindeki su yüzü profilleri ile  $C_d$  yan savak debi katsayısının çeşitli parametreler için değişimini kapsamaktadır. Çalışmada, dikdörtgen enkesitli kıvrımlı bir kanalın akım yapısı ile sekonder akımın, yan savak akımına etkisi belirlenecek ve bunların  $C_d$  yan savak debi katsayısına etkisi araştırılacaktır.

## **4. MODEL ÇALIŞMALARI ve BOYUT ANALİZİ**

### **4.1 Giriş**

Matematiksel modelle problemlerin teorik çözümü, hidrolik mühendisliğinde sıkça kullanılan bir yoldur. Bu yolla, olaya etkili parametrelerin tespit edilebilmesi mümkün olmaktadır. Ancak, matematik modelle 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.

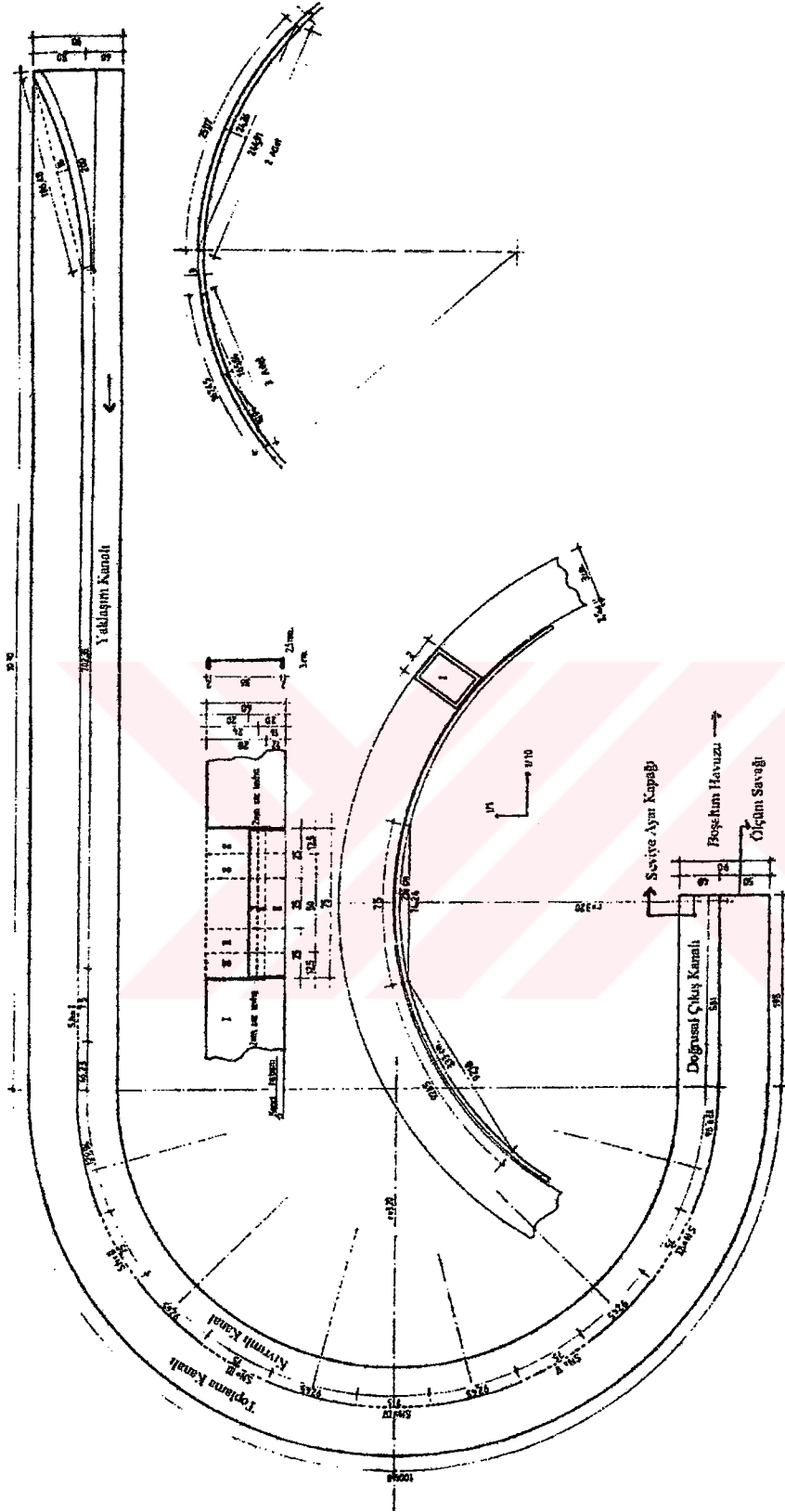
Bu çalışmada, incelenecek problemle ilgili boyut analizi yapılarak olaya etkili boyutsuz parametreler belirlenmiş ve 180° lik kıvrıma sahip bir açık kanalda yan savak akımının özellikleri deneysel olarak incelenmiştir.

Bu bölümde, deney sisteminin kurulması ve özellikleri, yapılan ölçme teknikleri ve deneysel çalışmanın özelliklerinden bahsedilecektir. Deneysel çalışma sırasında gözönüne alınacak olaya etkili parametreler boyut analizi yardımıyla belirlenecektir.

### **4.2 Deney Tesisi**

Bu araştırmada konu olarak seçilen dikdörtgen enkesitli 180° lik kıvrımlı bir kanalda kıvrım boyunca yerleştirilen üçgen enkesitli yan savak akımları için Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalı Hidrolik ve Kıyı-Liman Laboratuvar'ında bir deney sistemi kurulmuştur. Çalışmada, laboratuvarda mevcut olan 0.90 m genişliğinde ve 0.60 m yüksekliğinde tabanı alüminyum olan dikdörtgen enkesitli kanal kullanılmıştır (Şekil 4.1).

Mevcut bu 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 (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Deney kanalı plan ve detayları.

Deney kanalı başlangıçtan itibaren aşağıda belirtilen bölümlerden oluşmaktadır.

#### 1) Ana Depo:

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

#### 2) Deney Kanalını Besleyen Dinlendirme Havuzu ve Üçgen Savak:

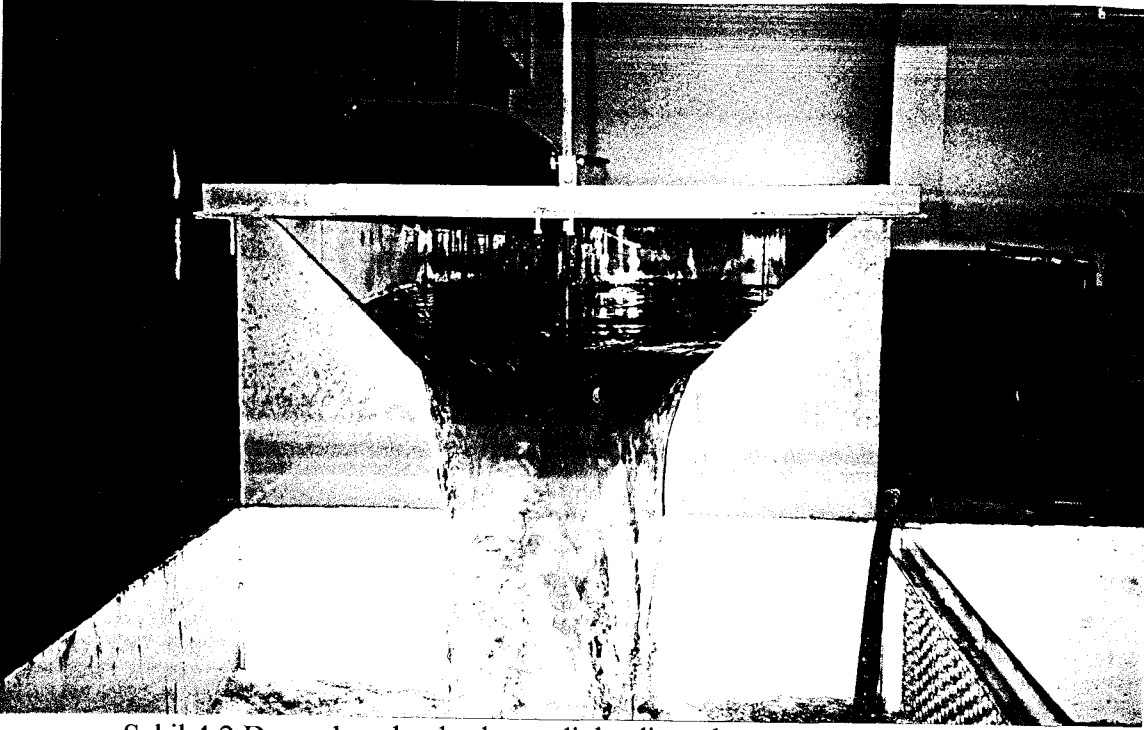
Kanalı besleyen dinlendirme havuzu  $2.5 \times 1.0$  m boyutlarında ve 0.7 m yüksekliğinde olup ana depodan gelen suyu deney kanalına iletmektedir. Suyu sakinleştirmek için havuzun içine delikli tuğla ve ızgara yerleştirilmiştir. Havuzun sonunda ise üst genişliği 0.7 m olan bir üçgen ölçüm savağı mevcuttur. 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 limnometre yerleştirilmiştir (Şekil 4.2).

#### 3) Savaktan Sonraki Dinlendirme Havuzu:

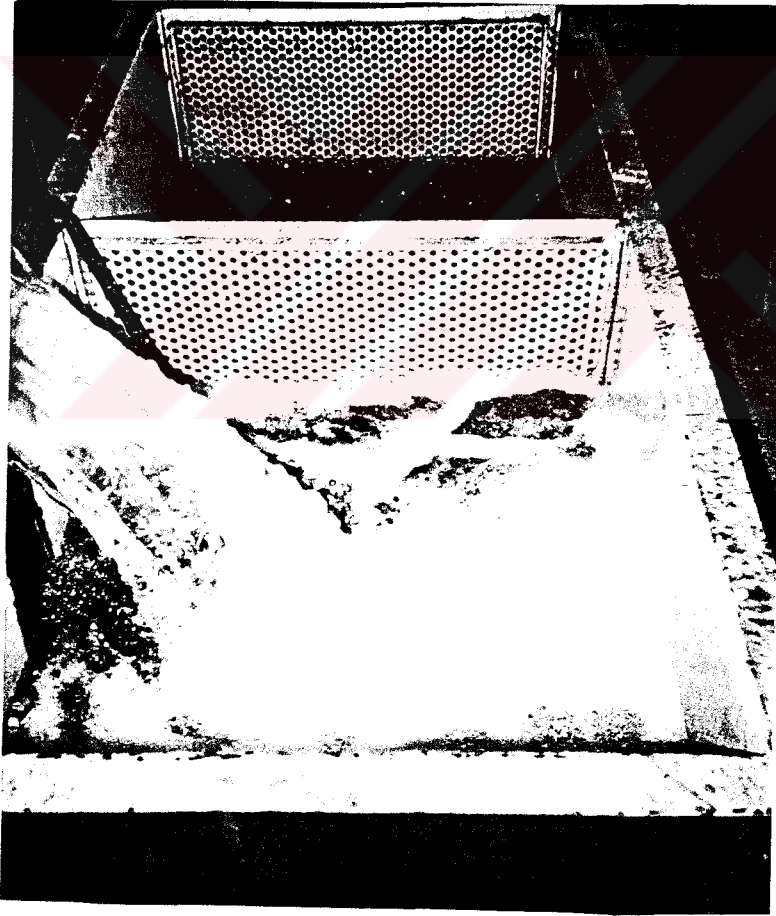
Üçgen savaktan geçerek kanala akan su  $2.00 \times 0.90$  m boyutlarında ikinci bir dinlendirme havuzunda dinlendirilmektedir. Bu havuzun ortasında ve mansabında bulunan birer delikli perde yardımıyla su sakinleştirilmektedir (Şekil 4.3).

#### 4) Deney Kanalı:

Deney kanalı birbirine bağlı yedi bölümden meydana gelmiştir (Şekil 4.4). Bunlar sırasıyla;

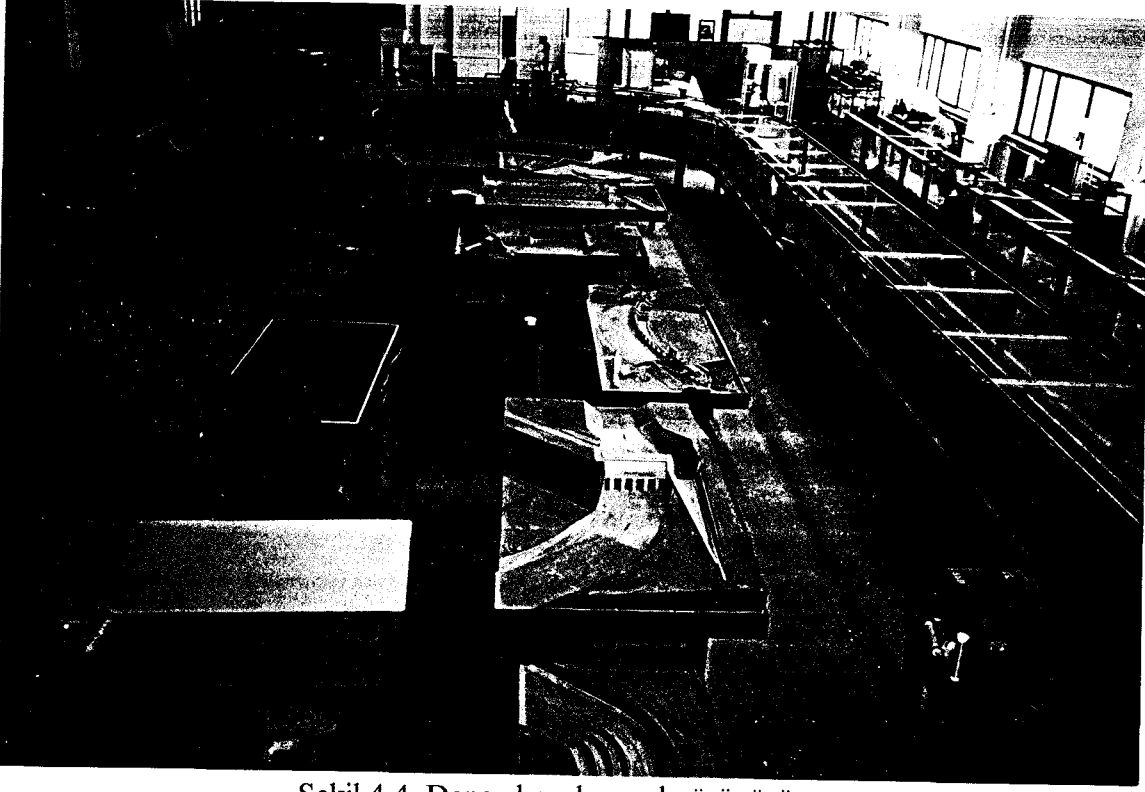


Şekil 4.2 Deney kanalını besleyen dinlendirme havuzu ve üçgen savak

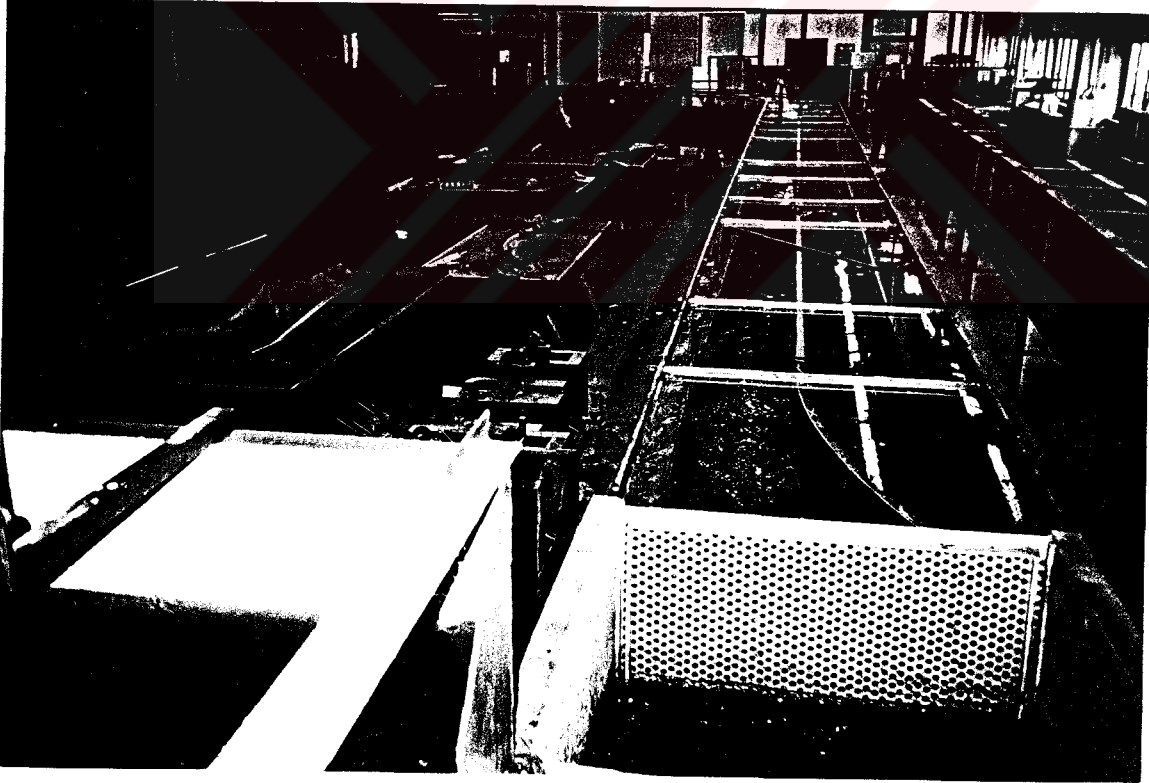


Şekil 4.3 Savaktan sonraki dinlendirme havuzu





Şekil 4.4. Deney kanalı genel görünüşü.



Şekil 4.5 Yaklaşım kanalı



#### A) Yaklaşım Kanalı:

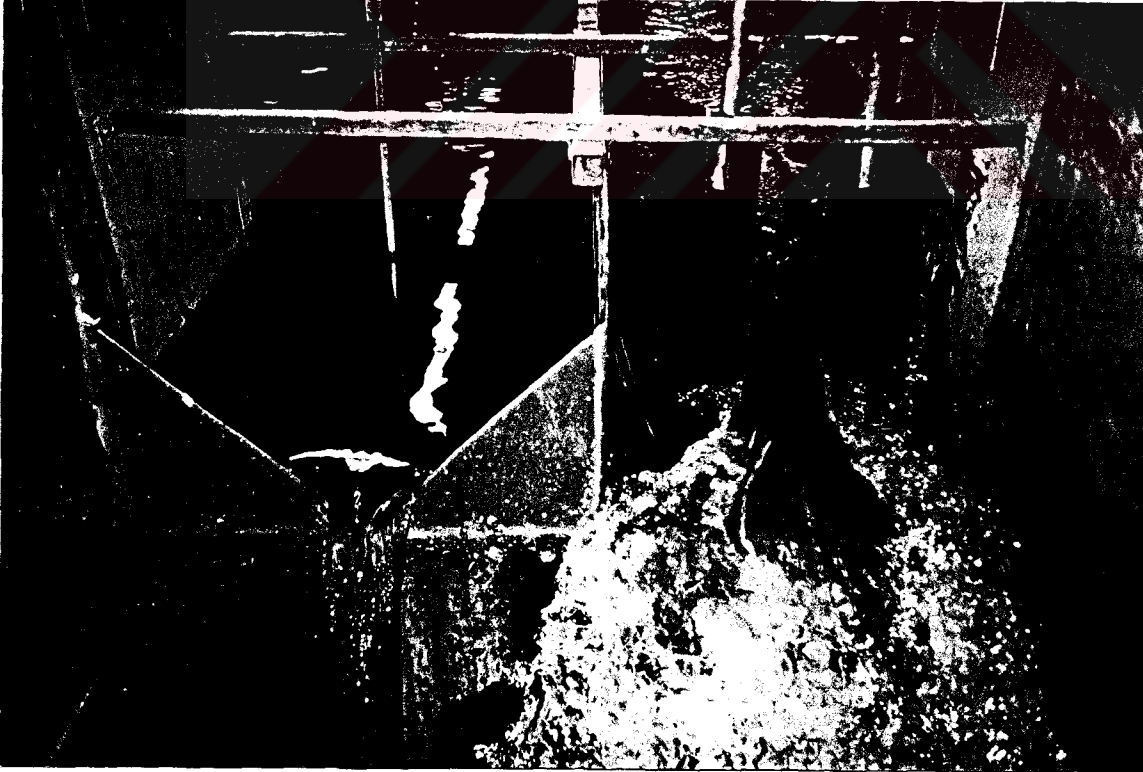
Yaklaşım kanalı 3.70×0.90 m'lik doğrusal giriş kanalı, 2.00 m'lik geçiş kanalı ve 10.30 m uzunluğunda 0.40×0.40 enkesite sahip doğrusal ana kanaldan oluşmaktadır. Yaklaşım kanalına giren su daralma kesitinden 1 nolu savak menbana kadar 7.02 m'lik uzunluğa sahiptir (Şekil 4.5).

#### 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 (Şekil 4.6, Ek-4).



Şekil 4.6. Radyal seviye ayar kapağı ve üçgen yan savak genel görünüşü.

#### 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. Yan duvar üzerinde kıvrım girişinden 83.73 cm menbada ve yan savak eksenleri 30°, 60° ve 90°'lik yayları gören yan savak yerleri belirlenmiştir. Her yan savak bölgesinde 60°, 90° ve 120°'lik tepe açlarına sahip ve 0.12, 0.16 ve 0.20 m eşik yükseklikli 9 ayrı yan savak boyutunda çalışmalar yapılmıştır.

#### 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 ( $\pm 0.1$  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 iletilmektedir.

#### G) Hareketli Seviye Ölçüm Arabası:

Ana kanal ve yan savak üzerinde yapılan seviye ölçümleri raylar üzerinde hareket eden arabaya yerleştirilmiş bir limnometre ( $\pm 0.1$  mm hassasiyetli) ile yapılmıştır. Araba, iç ve dış eğrilik yarıçapını kanala uyduracak şekilde özel olarak dizayn edilmiştir (Şekil 4.7., Ek-3).



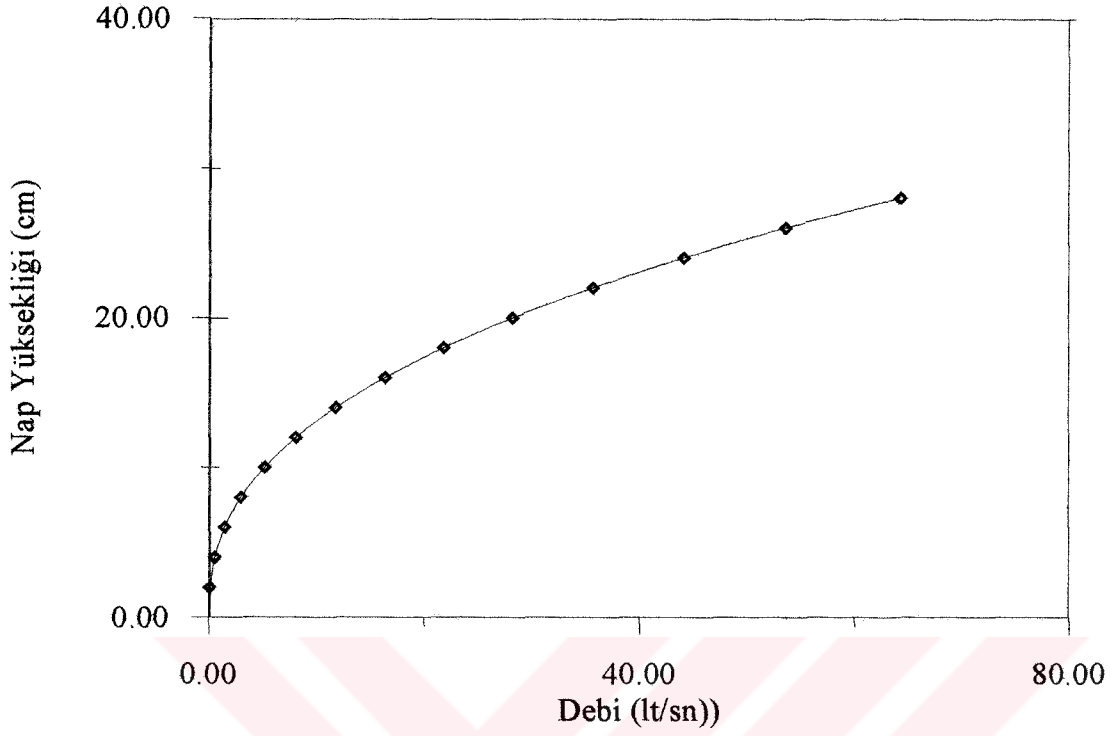
Şekil 4.7. Hareketli seviye ölçüm arabası.

### 4.3 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 4.8 de verilmiştir. Ana kanal debisinin hesabı için,

$$Q = \left[ \frac{h}{5.108} \right]^{2.4469} \text{ (lt/sn)} \quad (4.1)$$

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



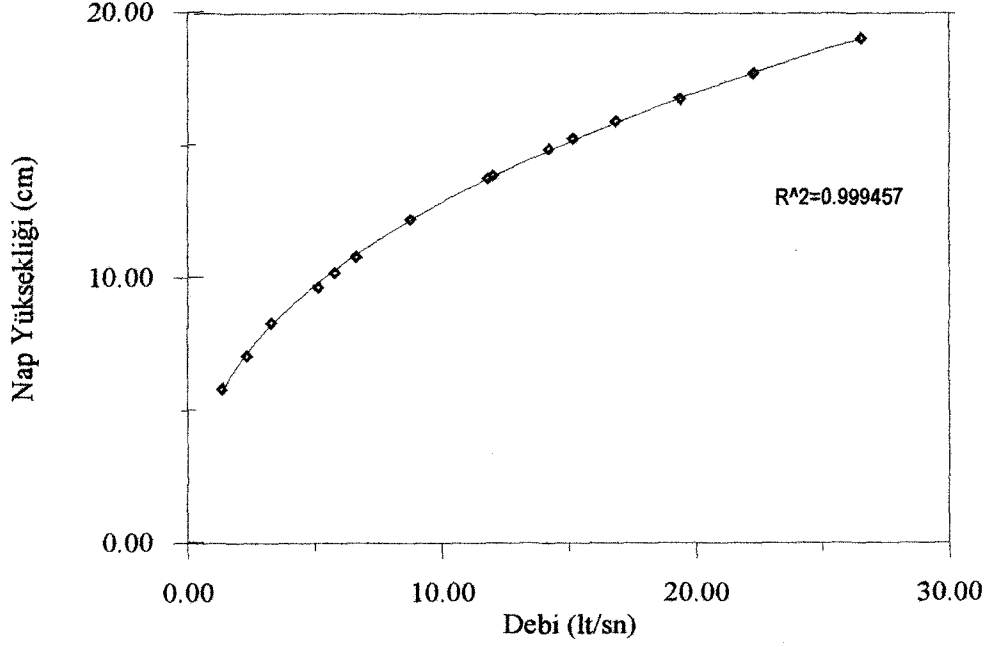
Şekil 4.8. Üçgen savak anahtar eğrisi

#### 4.4 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 4.9 da verilmiştir. Yan savaktan savaklanan debi hesabı için,

$$Q_w = 0.0134 \times h^{2.5896} \quad (\text{lt/sn}) \quad (4.2)$$

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



Şekil 4.9. Çıkış üçgen savak anahtar eğrisi.

#### 4.5 Deneilerin Yapılışı

Model kanalda yapılan deneysel çalışmalar iki ana grupta toplanabilir.

##### 4.5.1 Su yüzü profillerinin belirlenmesi ile ilgili çalışmalar

Su yüzü profillerinin belirlenmesi için her savak bölgesinde ve her savak boyutunda olmak üzere, yan savaktan 1.5 cm içeride savak üzerinde ve ana kanal ekseninde 135 adet ölçüm yapılmıştır.

##### 4.5.2 Yan savak debi katsayısının elde edilmesi ile ilgili çalışmalar

Her savak bölgesinde 60°, 90°, 120° lik tepe açlarına sahip ve eşik yükseklikleri 0.12m, 0.16m ve 0.20m olan 9 ayrı keskin kenarlı üçgen savak için toplam 1949 adet deney yapılmıştır. Doğrusal kanal savak bölgesi, 10.30m'lik doğrusal kanalın orta kısmına yerleştirilmiştir. Doğrusal kanal kısmında çalışılmasının nedeni, daha önce doğrusal kanalda yapılmış üçgen yan savaklarla ilgili çalışmalarla karşılaştırma yapabilmek içindir. Böylece

deney sisteminin ve ölçümlerin kontrolünün yapılması mümkün olmuştur. Aynı şekilde  $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$  ve  $90^\circ$  lik kıvrım açıları sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 nolu savak bölgeleri olarak belirlenmiştir. Her deneyde ana kanaldaki debi vana yardımıyla ayarlanmış, kanalın mansap ucundaki radyal kapaklarla da ana kanaldaki akım şartları değiştirilmiştir. Ana kanal taban eğimi  $\%0$  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 tepe açıları ve eşik yükseklikleri değiştikçe ana kanal debisi 0.53-71.82 lt/sn arasında değiştirilmiştir. Yan savak nap kalınlığı olarak, yan savak menbaında ana kanal eksenindeki nap kalınlığı dikkate alınmış,  $C_d$  yan savak debi katsayısı buna göre belirlenmiştir.

#### 4.6 Deneysel Çalışmada Olaya Etkili Parametrelerin Belirlenmesi

Dikdörtgen enkesitli kıvrımlı bir kanalda üçgen yan savak üzerindeki akıma etkili pek çok değişken mevcuttur. Bunlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Üçgen Yan Savak Akımına Etki Eden Parametreler

ADI	İŞARET	BİRİM	BOYUT
1) Kanala Ait Değişkenler			
a) Kanal Pürüzlülüğü	n	---	---
b) Kanal Taban Eğimi	$J_0$	---	---
c) Ana Kanal Genişliği	b	m	L
d) Kıvrım Eğrilik Yarıçapı	r	m	L
e) Kıvrım Merkez Açısı	$\alpha$	---	---
2) Akışkana Ait Değişkenler			
a) Akışkanın Özgül Kütlesi	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	ML <sup>-3</sup>
b) Akışkanın Dinamik Vizkozitesi	$\mu$	kg/m.sn	ML <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup>
c) Yüzey Gerilmesi	$\sigma$	N/m <sup>2</sup>	KL <sup>-2</sup>
d) Yerçekimi İvmesi	g	m/sn <sup>2</sup>	LT <sup>-2</sup>
3) Akıma Ait Değişkenler			
a) Akım Derinliği	h	m	L
b) Yan Savak Boyunca Değişen Ortalama Akım Hızı	V	m/sn	LT <sup>-1</sup>
c) Ana Kanaldaki Akımın Yan Savağa Sapma açısı	$\psi$	---	---

## 4) Yan Savağa Ait Değişkenler

a) Yan Savak Tepe Açısı	$\theta$	---	---
b) Yan Savak Eşik Yüksekliği	$p$	$m$	$L$
c) Yan Savak Su Yüzü Genişliği	$L$	$m$	$L$

## 4.7 Boyut Analizi

Yan savak debi katsayısı  $C_d$ , aşağıdaki parametrelerin fonksiyonudur.

$$C_d = f(V_1, h_1, b, g, J_o, p, r, n, \theta, \rho, \sigma, \mu, \psi, \alpha, L) \quad (4.3)$$

Elemanter bir akım parçacığı için  $J_o$ ,  $n$ ,  $\sigma$  ve  $\mu$  etkileri çok küçük olduğundan,  $C_d$ 'ye olan etkileri ihmal edilebilir (El-Khashap, 1975). Bunlar dikkate alınarak,

$$C_d = f(V_1, h_1, b, g, L, p, r, \theta, \rho, \psi, \alpha) \quad (4.4)$$

yazılabilir. Burada;  $h_1$  yan savak menbaında 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 uygulayalım ve  $\rho$ ,  $g$  ve  $h_1$  değişkenlerini tekrarlanan değişkenler olarak alalım.

Çizelge 4.2. Yan Savak Katsayısına Etki Eden Parametreler İçin Boyut Analizi.

	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$	$k_8$	$k_9$	$k_{10}$	$k_{11}$	$k_{12}$
	$b$	$V_1$	$L$	$p$	$\psi$	$r$	$\alpha$	$C_d$	$\theta$	$\rho$	$g$	$h_1$
L	1	1	1	1	0	1	0	0	0	-3	1	1
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
T	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0

Yukarıdaki tablodan;

$$k_{10} = 0$$

$$-k_2 - 2k_{11} = 0$$

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

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

$$k_{11} = -\frac{1}{2} k_2 \quad \text{ve} \quad k_{12} = -k_1 - \frac{1}{2} k_2 - k_3 - k_4 - k_6$$

eşitlikleri elde edilir. Buna bağlı olarak boyutsuz parametreler Çizelge 4.3 yardımıyla elde edilebilir.

Çizelge 4.3 Yan Savak Katsayısına Etki Eden Boyutsuz Parametreler

	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$	$k_8$	$k_9$	$k_{10}$	$k_{11}$	$k_{12}$
	$b$	$V_1$	$L$	$p$	$\psi$	$r$	$\alpha$	$C_d$	$\theta$	$\rho$	$g$	$h_1$
$\Pi_1$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
$\Pi_2$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1/2	-1/2
$\Pi_3$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
$\Pi_4$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1
$\Pi_5$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
$\Pi_6$	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1
$\Pi_7$	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
$\Pi_8$	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
$\Pi_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Yukarıdaki tablodan olaya etkili parametreler aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\Pi_1 = b/h_1$$

$$\Pi_2 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}} = Fr_1$$

$$\Pi_3 = L/h_1$$

$$\Pi_4 = p/h_1$$

$$\Pi_5 = \psi$$

$$\Pi_6 = r/h_1$$

$$\Pi_7 = \alpha$$

$$\Pi_8 = C_d$$

$$\Pi_9 = \theta$$



Bu boyutsuzlar arasında bir takım işlemler yapılırsa,

$$\frac{\Pi_4}{\Pi_1} = \frac{\frac{p}{h_1}}{\frac{b}{h_1}} = \frac{p}{b}$$

boyutsuzları elde edilir. Ayrıca  $L/h_1$  boyutsuz parametresinde  $L=2h_1 \cdot \tan\theta/2$  olduğundan

$$\Pi_3 = \frac{2h_1 \tan \frac{\theta}{2}}{h_1} = 2 \tan \frac{\theta}{2}$$

elde edilir.  $\Pi_3$  boyutsuz parametresi  $\theta$  açısına bağlıdır.  $\theta$  açısı da boyutsuz parametre olarak göz önüne alındığından,  $L/h_1$  boyutsuz parametresi incelemeye alınmamıştır. Bununla beraber  $\Pi_1 = b/h_1$  ve  $\Pi_6 = r/h_1$  boyutsuz parametrelerinde, deneysel çalışmada  $r$  kıvrım yarıçapı ve  $b$  ana kanal genişliği sabit olduğundan, bu iki boyutsuz parametreden sadece biri ( $\Pi_1 = b/h_1$ ) incelemeye alınmıştır.

Son bir düzenlemeyle;

$$C_d = f(Fr_1, b/h_1, p/b, \theta, \psi, \alpha) \quad (4.5)$$

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

Deneysel çalışmalarda yan savak menbaında 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  $\psi$  sapma açısının (H. Tozluk, 1994) olaya etkisi bu çalışmada dikkate alınmamıştır.  $C_d$  yan savak debi katsayısına etki eden ve yukarıda boyutsuz parametre olarak belirlenmiş olan  $Fr_1$ ,  $p/b$ ,  $b/h_1$ ,  $\theta$  ve  $\alpha$ 'nın etkisi Bölüm 5'de gözönüne alınarak değerlendirilecektir.

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

### 5.1 Kıvrım Boyunca Yanal Akım Alanının İncelenmesi

Bu bölümde, yanal akım ve kıvrımdaki akım yapısının birbiriyle olan etkileşimi incelenmiş ve buna bağlı olarak yan savak boyunca su yüzü profilleri değerlendirilerek, literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Bir önceki bölümde anlatıldığı gibi, aktif savaklanma halinde her yan savak bölgesinde hem savak kreti boyunca hem de ana kanal ekseninde olmak üzere su yüzü profilleri belirlenmiştir. Ölçümler için raylar üzerinde hareket eden arabaya sabitlenmiş  $\pm 0,1$ mm hassasiyetli limnometre kullanılmıştır.

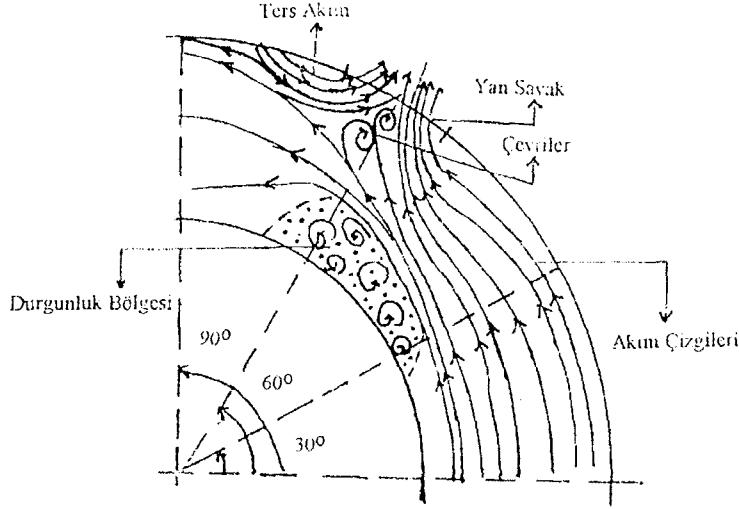
#### 5.1.1 Su yüzü profillerinin incelenmesi

Doğrusal kanalda,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $90^\circ$ lik kıvrım açılarında her savak boyutunda aktif savaklanma halinde, savak kreti boyunca savaktan 1.5 cm içeride ve ana kanal ekseninde olmak üzere ayrı ayrı su yüzü profilleri elde edilmiştir.

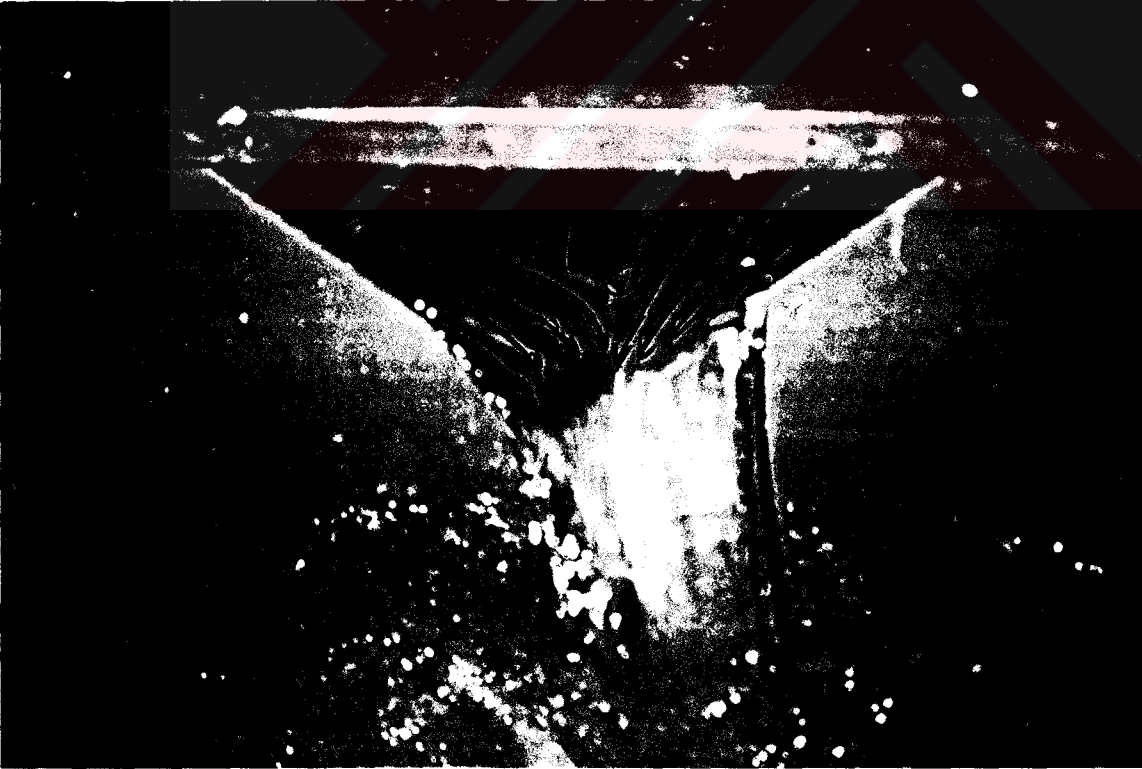
Doğrusal yaklaşım kanalında yan savak üzerinde su yüzü profilleri incelendiğinde, savaklanma halinde yan savak eşiği üzerindeki su derinliği, savak menbaından itibaren alçalmaya başlamakta ve akım yönünde belli bir mesafe sonra minimuma ulaşmaktadır. Minimum noktanın yeri, Froude sayısı ve yan savak üzerindeki nap kalınlığına bağlı olarak savak kreti boyunca yer değişmektedir. Nap kalınlığı arttıkça veya Froude sayısı azaldıkça minimum noktanın yeri, yan savak menbana doğru yaklaşmaktadır. Minimum noktanın yerinin değişimi, yan savak girişinin akıma olan etkisinden kaynaklandığı, El-Khashab (1975) tarafından da ifade edilmiştir. Ayrıca Tyler, Carolla ve Steyskal (1929) ve Ağaçcıoğlu (1995) da yan savak eşiği üzerinde benzer su yüzü profilleri gözlemlemişlerdir.

Bu minimum noktadan sonra, su yüzü yan savak ortasına kadar hızla yükselmekte ve yan savak sonuna doğru artış oranı azalarak devam etmektedir. Yan savak boyunca mansaba doğru gidildikçe yanal akımdan dolayı, ana kanaldaki akım yavaşlamakta ve bunun sonucu olarak ana kanaldaki sekonder akım şiddetlenmektedir. Bundan dolayı, yan savağın ilk yarısı

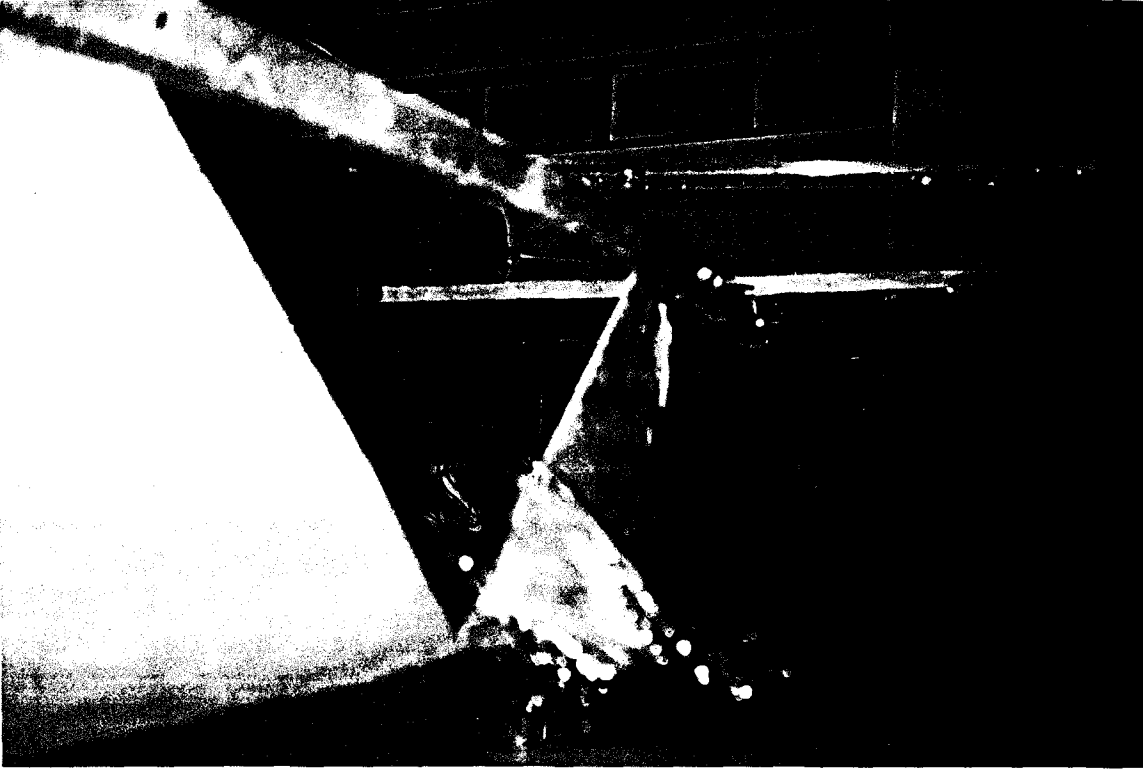
sonunda ayrılma bölgesi oluşmakta ve yan savağın ikinci yarısında ters akım meydana gelmektedir (Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3). Bunun sonucunda, ana kanalın iç kıyısında bir durgunluk bölgesi oluşmaktadır.



Şekil 5.1 Kıvrımda yan savak bölgesinde düşük Froude sayılarında ( $Fr_1 < 0.3$ ) aktif savaklanma durumunda ana kanaldaki akımın durumu (Ağaçcıoğlu, 1995)



Şekil 5.2 Savaklanma halinde yanal akım ve ters akımın oluşumu.



Şekil 5.3 Savaklanma halinde yanal akımın ve ters akımın savaklanma kesitindeki durumu.

Yapılan çalışmada ayrılma bölgesi ve durgunluk bölgesinin oluşumu ve ters akımın meydana gelmesi (Şekil 5.4), 120°'lik tepe açısına sahip üçgen yan savakta 60° ve 90° tepe açısına sahip yan savaklardakine göre daha belirgin olarak gözlenmiştir. El-Khashab (1975) tarafından  $L/b=5.05$  için doğrusal kanalda gözlenen bu durum, Y.F.Fares-J.G.Herbertson (1993) tarafından  $L/b=0.6$  için 60°'lik bir kıvrımın dış kıyısına yerleştirilen kalın kenarlı yan savak üzerinde de gözlenmiştir. Ayrıca Ağaçoğlu (1995) da kıvrım girişinde  $L/b=1.875$  için aynı olayı gözlemesine karşın  $L/b=0.6$  ve  $L/b=1.25$  için fazla belirgin olmadığını ifade etmiştir.

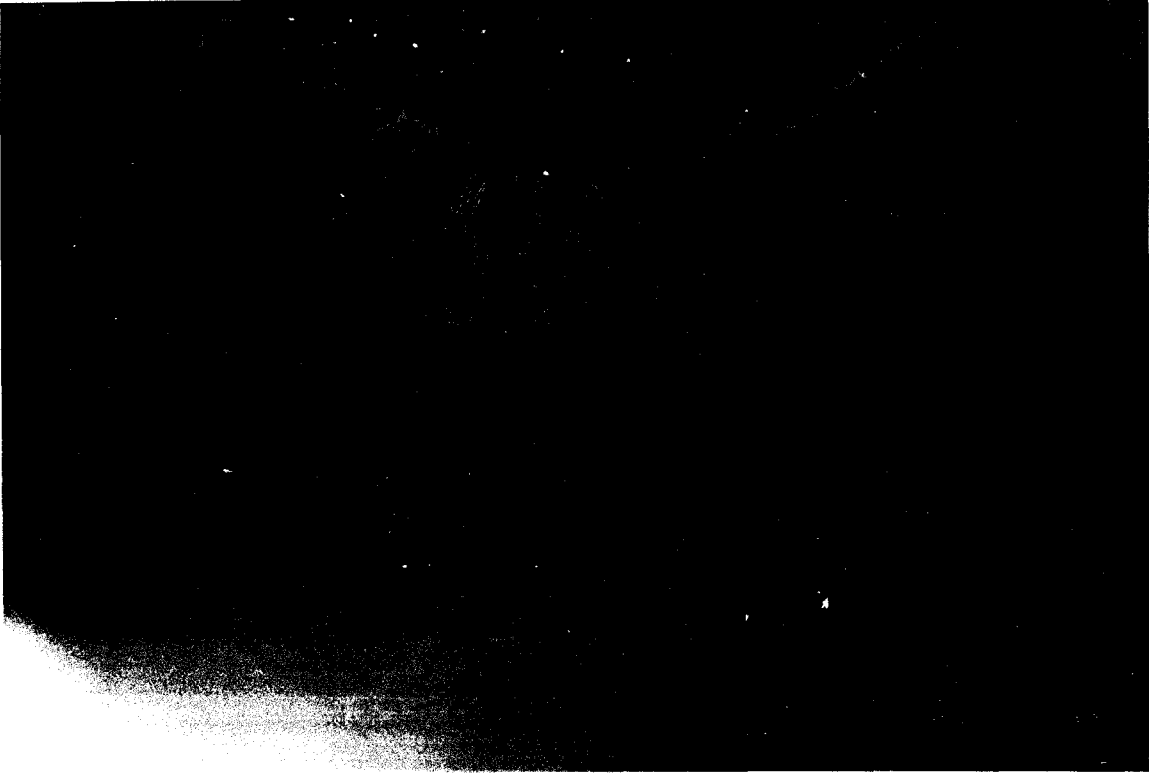
Ana kanaldaki akımın Froude sayısı arttıkça ters akım küçülmekte, yan savak mansabına doğru ilerleyerek kaybolmaktadır (Şekil 5.5) ve bu noktadan itibaren yan savak mansap ucunda hidrolik sıçrama meydana gelmektedir (Şekil 5.6). Ana kanaldaki akımın Froude sayısı daha da arttırılırsa, hidrolik sıçrama yan savak mansap ucundan daha da mansaba kayarak ana kanalda duran dalgalar meydana gelmektedir (Şekil 5.7, Şekil 5.8). Frazer (1957), doğrusal kanallar üzerindeki yan savaklarda hidrolik sıçramanın  $Fr_1=1.0-2.0$  civarında oluştuğunu ifade etmiştir.



Şekil 5.4 Yanal akım, ayrılma bölgesi, ters akımın oluşumu ve durgunluk bölgesinin meydana gelmesi.

Doğrusal kanal akseni boyunca su yüzü profillerinde ana kanal akseni boyunca menba ve mansap su derinlikleri arasında çok az bir fark görülmekte ve su yüzü hemen hemen yatay gitmektedir (Şekil 5.9). Yan savak üzerinde oluşan yanal akımın etkisinin su yüzü profilinde meydana getirdiği değişimin ana kanal aksenine kadar etkili olmadığı gözlenmiştir. Bu değişim Ağaçoğlu (1995) tarafından yapılan çalışmada da belirtilmiştir.

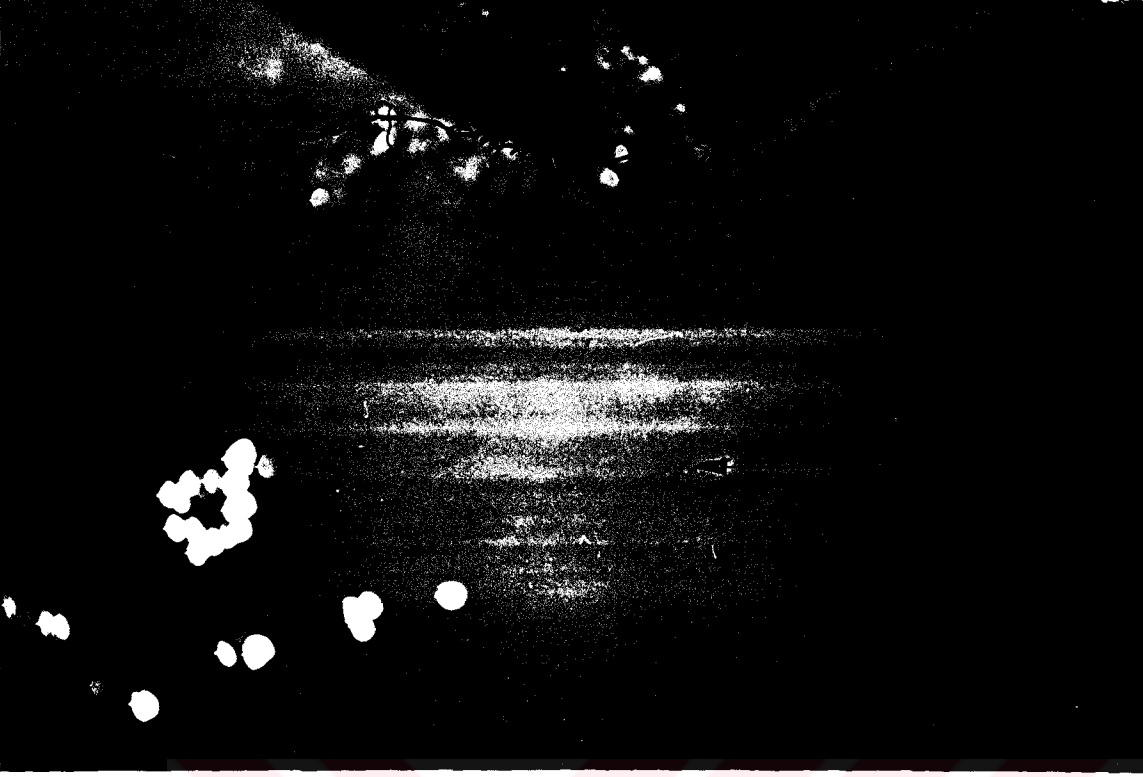
Kıvrımlı kanal boyunca doğrusal kanaldakine benzer şekilde kanal akseninde oluşan su yüzü profillerinin de hemen hemen yatay gittiği görülmüştür (Şekil 5.10). Yani yan savak etkisinin kanal aksenindeki su yüzü profilinde bir değişim meydana getirmediği gözlenmiştir.



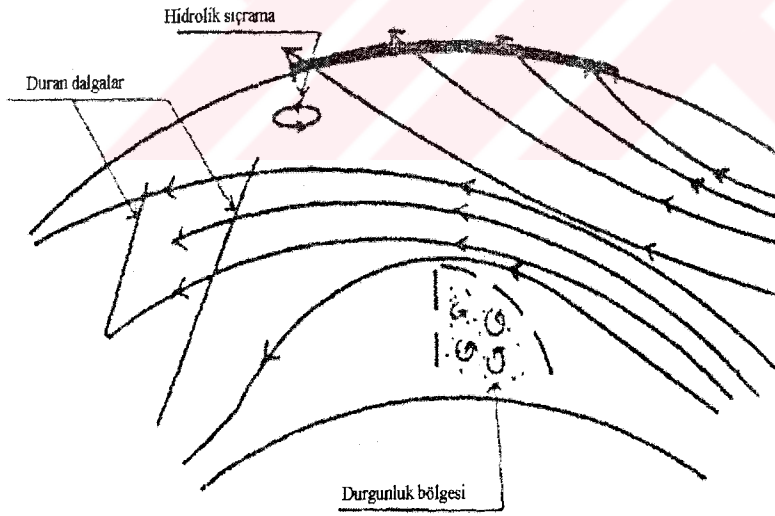
Şekil 5.5 Ayrılma bölgesi ve ters akımın küçülmesi.



Şekil 5.6 Yan savak mansap ucunda hidrolik sıçramanın oluşumu.

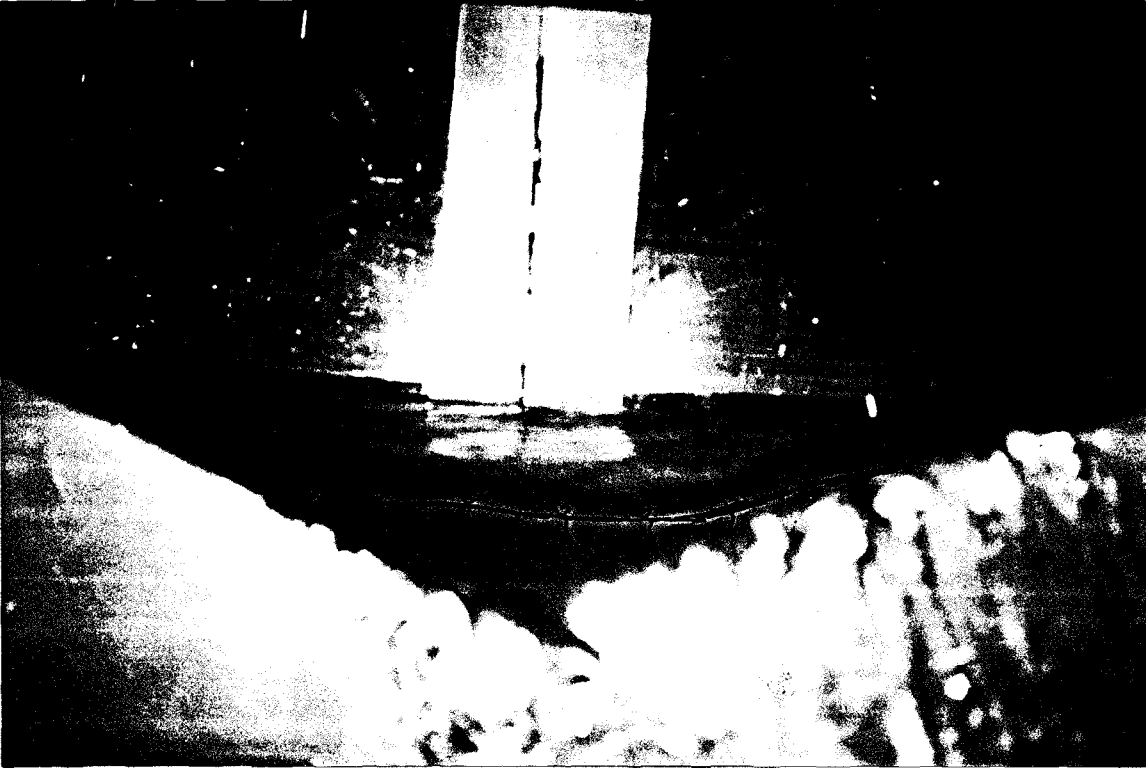


Şekil 5.7 Yan savak mansap kısmında duran dalgaların meydana gelmesi.



Şekil 5.8 Kıvrımda yan savak bölgesinde yüksek Froude sayılarında ( $Fr_1 \geq 0.3$ ) aktif savaklanma durumunda ana kanaldaki akımın durumu (Ağaçcıoğlu, 1995)





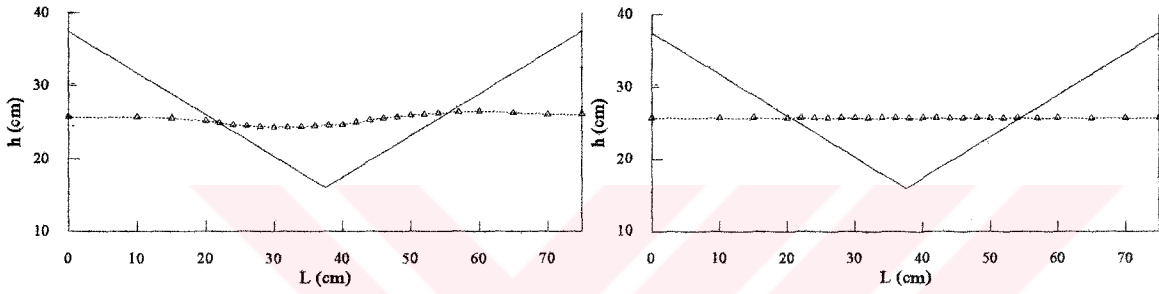
Şekil 5.9 Doğrusal kanalda ana kanal ekseninde ve savak kretindeki su yüzü profilinin değişimi.



Şekil 5.10 Kıvrımlı kanal bölgesinde kanal ekseninde su yüzü profilinin durumu.

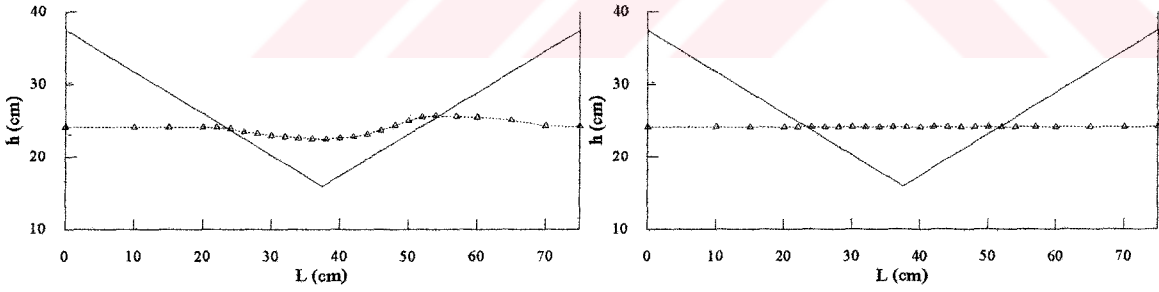


Kıvrımlı kanal kısmındaki yan savak bölgelerinde, yan savak menbaındaki belli bir mesafede su derinliği düşmeye başlamakta ve yan savak başlangıcından belli bir mesafe sonra minimuma ulaşmaktadır. Kıvrımdaki savak bölgelerinde minimum nokta daha belirgindir (Şekil 5.11, Şekil 5.12, Ek 4). Bunun kıvrım etkisinden kaynaklandığı belirtilmektedir. Kıvrım bölgesine yaklaştıkça akım, akım çizgisinin eğriliğini tedrici olarak artırmaya çalışan menba taraftaki basınç yükünün etkisiyle karşılaşmakta ve kıvrıma girişte, akım çizgisinin eğriliği kıvrımın iç kıyısında akımın hızlanmasına yol açan basınç gradyanlarına sahip olmaktadır (De Vriend ve Struiksm, 1983). Bu nedenle, kıvrımlı bir kanaldaki yan savakların ana kanal akımına olan etkisi daha belirgin olmaktadır.



$$Fr_1 = 0.422$$

Doğrusal Kanal Bölgesinde



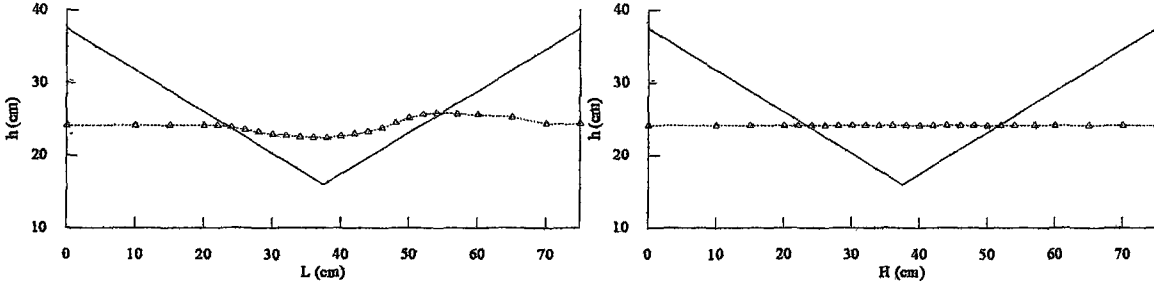
$$Fr_1 = 0.458$$

0°'lik Kıvrım Giriş Bölgesinde

Savak kreti boyunca su yüzü profili

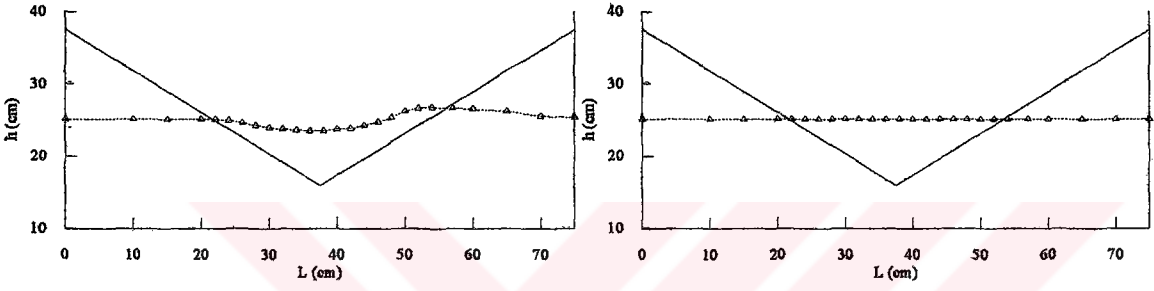
Kanal ekseni boyunca su yüzü profili

Şekil 5.11  $\theta = 120^\circ$  tepe açılı  $p=0.16$  m eşik yükseklikli savak için tüm kanal bölgelerinde su yüzü profillerinin değişimi



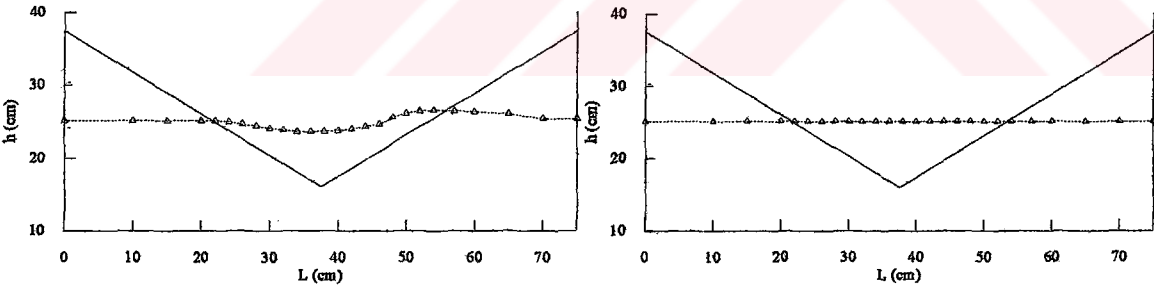
$$Fr_1 = 0.475$$

30°'lik Kıvrımlı Kanal Bölgesinde



$$Fr_1 = 0.426$$

60°'lik Kıvrımlı Kanal Bölgesinde



$$Fr_1 = 0.445$$

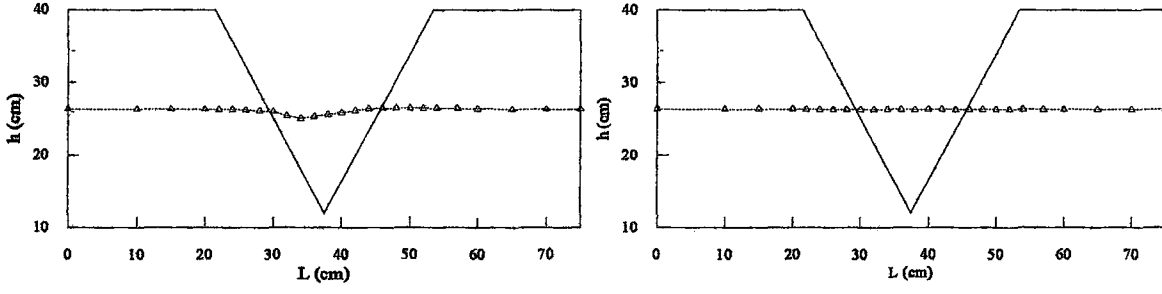
90°'lik Kıvrımlı Kanal Bölgesinde

Savak kreti boyunca su yüzü profili

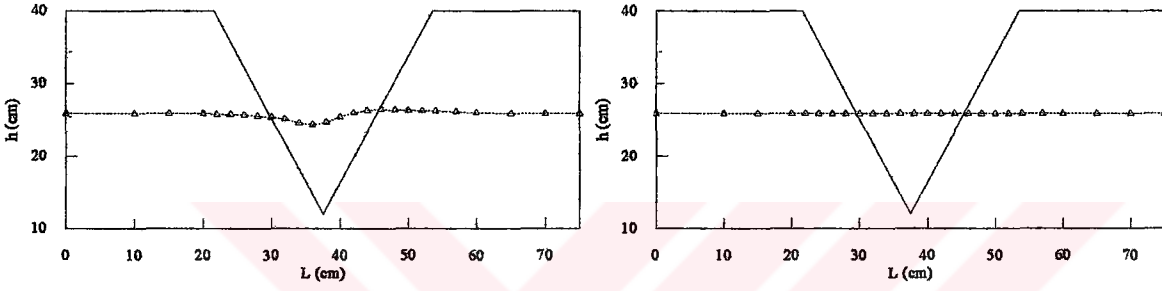
Kanal eksenine boyunca su yüzü profili

Şekil 5.11 (Devam)

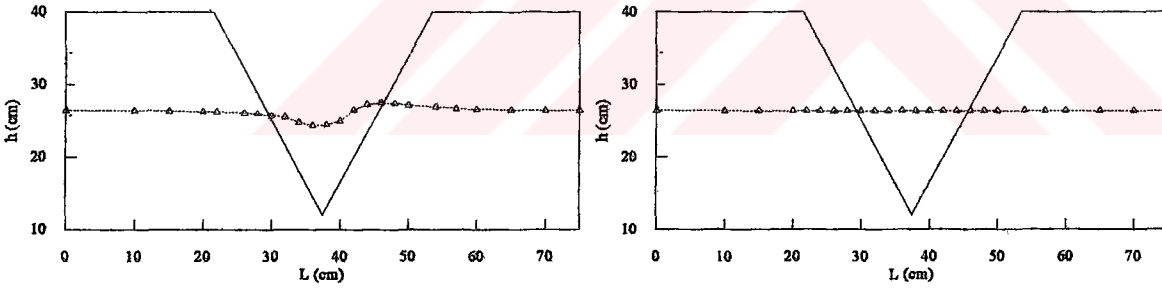
## Doğrusal kanal bölgesinde



$$Fr_1 = 0.110$$



$$Fr_1 = 0.231$$



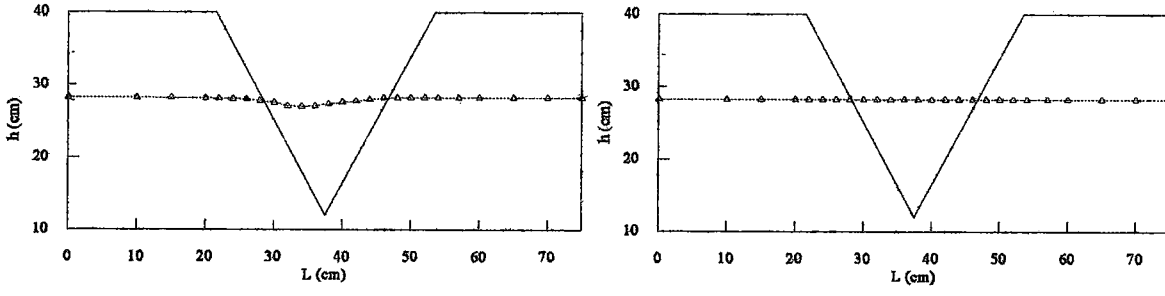
$$Fr_1 = 0.304$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

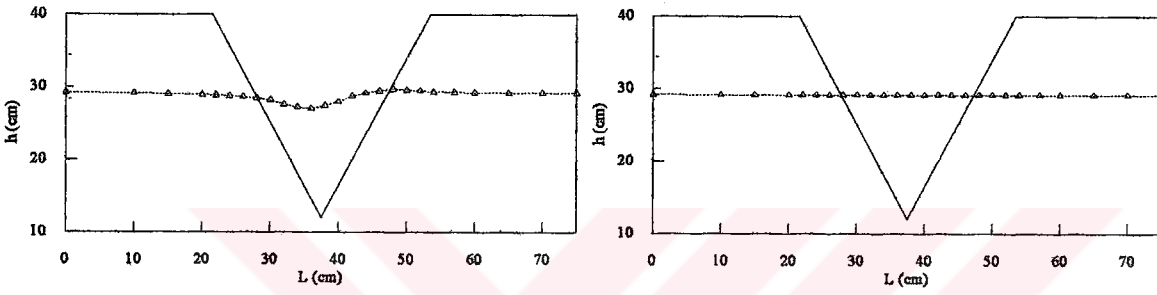
Kanal akseni boyunca su yüzü profili

Şekil 5.12  $\theta = 60^\circ$  tepe açılı  $p=0.12$  m eşik yükseklikli savak için su yüzü profilleri

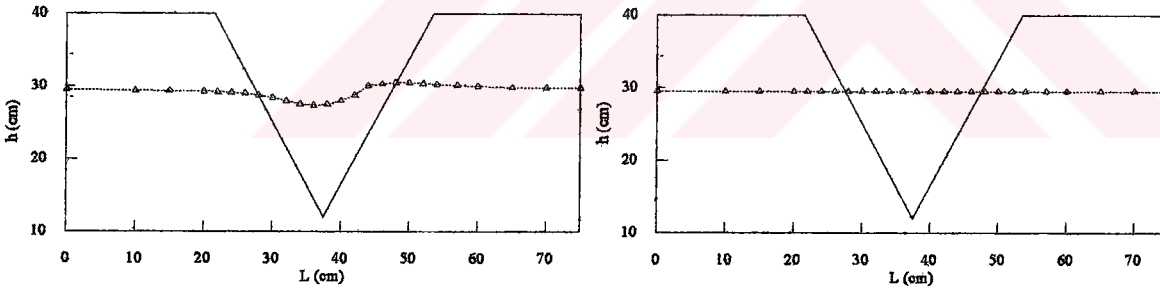
## Kıvrımlı kanal bölgesinde



$$Fr_1 = 0.113$$



$$Fr_1 = 0.246$$



$$Fr_1 = 0.319$$

Savak enkesitinde su yüzü profili

Kanal ekseninde su yüzü profili

Şekil 5.12 (Devam)

### 5.1.2 Kıvrım boyunca yanal akımdan dolayı oluşacak akım alanının değerlendirilmesi

Bölüm 5.1.1 de belirtildiği gibi, su yüzü profillerine etki eden en önemli özellik sekonder akımın yapısıdır. Bu ilk olarak El-Khashab (1975) tarafından  $L/b=5.05$  için, dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda gözlenmiştir. El-Khashab(1975)'dan önce bu olayın bilinmemesinin nedeni, genellikle  $L/b \leq 1$  değerlerinde çalışılmış olmasıdır. Büyük  $L/b$  oranlarında yan savak boyunca savaklanmadan dolayı ana kanaldaki akım azalmakta, dolayısıyla teğetsel hız küçülmekte ve yanal akım tarafından meydana gelen sekonder akım daha etkili hale gelmektedir. Ağaçcıoğlu (1995) ise, kıvrımın yapısından dolayı mevcut olan sekonder akımın, yanal akım tarafından ortaya çıkan ilave sekonder akımın etkisiyle birleştiğinde daha da şiddetlendiğini ifade etmektedir. Dolayısıyla, kıvrımlı kanallarda daha küçük  $L/b$  oranlarında bile yan savak boyunca savaklanmadan dolayı sekonder akımın daha etkili hale geldiğini ifade etmiştir.

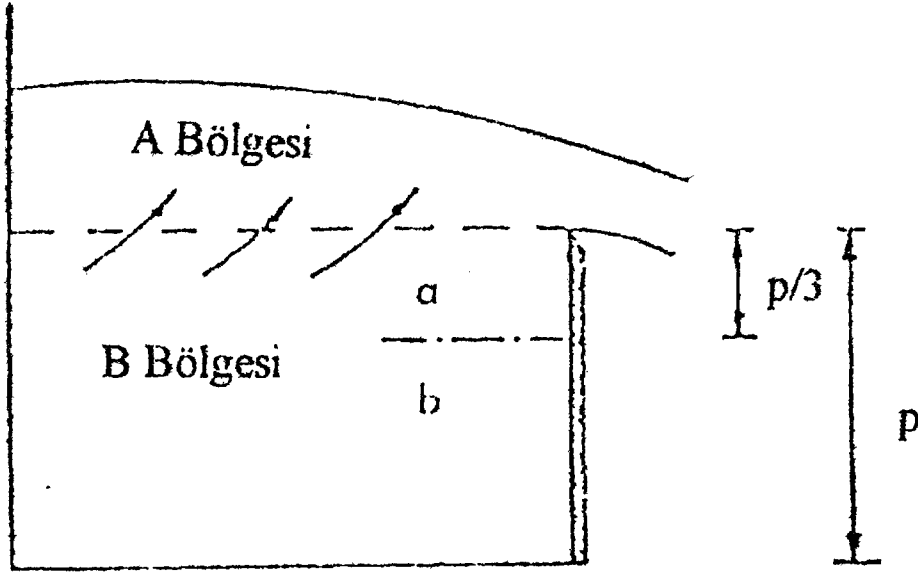
Bu nedenle yanal akım tarafından yaratılan sekonder akımın savak boyunca değişimi açıklanmalıdır. Yan savaktan yaklaşık 0.3 m menbada kanalın dış kıyısındaki hız, hızla artarken kanalın iç kıyısında hızla azalır. Bunun sonucunda boyuna su yüzü eğiminde hızlı bir artış meydana gelir. Ayrıca yan savak başlangıcından yan savak ortasına kadar  $\psi$  sapma açısı hafif değişim gösterir ve akım çizgilerinin yörüngesi de yan savak başlangıcında normalinden sapar (El-Khashab, 1975).

Yan savak boyunca suyun hareketi şöyle açıklanabilir; Yan savak eşiği üzerinde A bölgesindeki su kütlesi doğrudan yan savağa hareket ederek savaklanır (Şekil 5.13).

Yan savak eşiği altındaki B bölgesindeki akımın davranışı iki gruba ayrılabilir.

a) Savak eşiği yakınındaki su kütlesi (Savak eşik yüksekliğinin yaklaşık 1/3'lük kısmı) A bölgesindeki su kütlesine katılmak ister ve savağa yönelir. Bu, sekonder akım hızının düşey bileşeninden kaynaklanmaktadır.

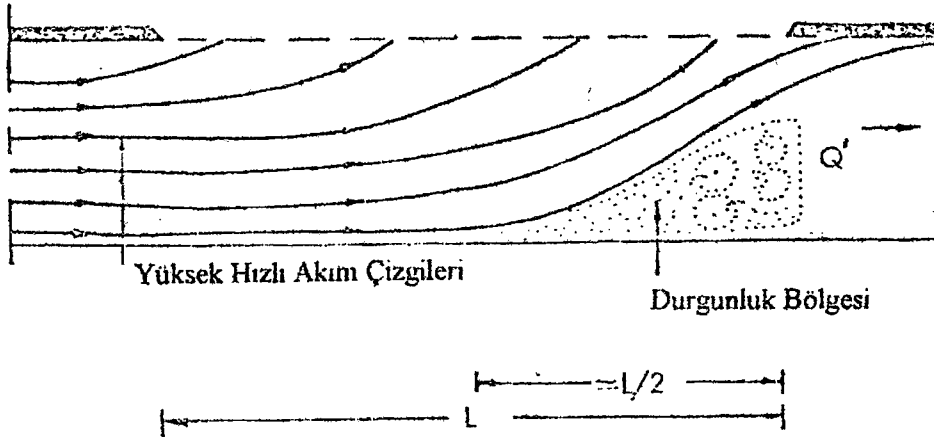
b) Savak eşiği altındaki (2/3)'lük kısımdaki su kütlesi doğrudan kanal tabanına yönelir.



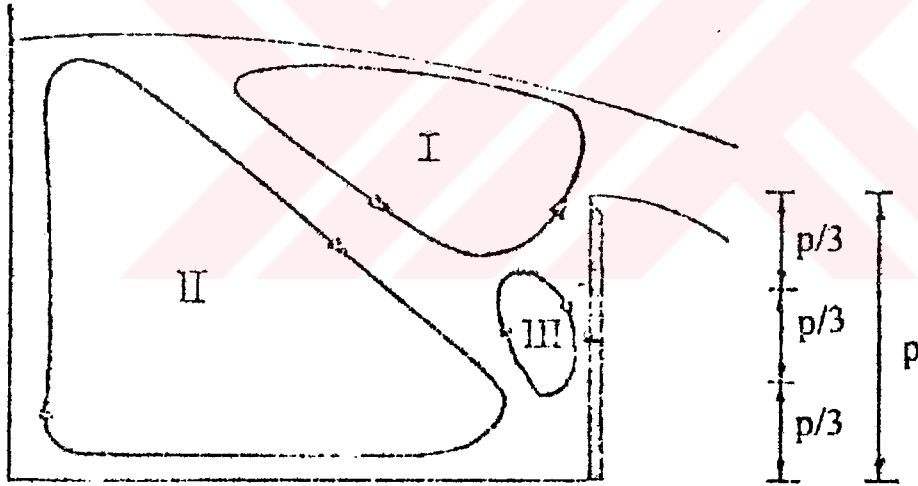
Şekil 5.13 Yanal akım nedeniyle kanal enkesitinde oluşan akımın hareketi.

(El-Khashap, 1975)

Yan savağın yaklaşık olarak ikinci yarısında sekonder akımın etkisi daha belirgin hale gelir. Bundan dolayı sekonder akımda bozulmalar meydana gelir (Şekil 5.14). İç kıyıda düşük hız alanı gelişir. Bu bölgede iç kıyıya yakın çok şiddetli sekonder akımın mevcut olduğu tespit edilmiştir. Kanal tabanı yakınlarında düşük enerjili akışkan savak tarafından iç kıyıya doğru süpürülür ve iç kıyıda yükselerek, akımın üst bölgelerinde iç kıyıda düşük enerjili bir durgunluk bölgesi oluşturur (II bölgesi). Yüksek hızlı akım çizgileri durgunluk bölgesinin daha da üzerinden geçerek savaklanır (Şekil 5.15). Bunun sonucunda, yüksek hızlı akım yeni bir bölge oluşturarak yan savağa doğru itilir (I bölgesi). Yan savak boyunca bu alanın değişimi hızlıdır fakat bu değişim savak sonuna doğru kararlı hale gelir. Bu yeni bölgenin (I bölgesi) büyüklüğü yan savak mansabına doğru gidildikçe küçülerek, savağa yakın bölgeler hariç tüm enkesitte küçük hızlar elde edilir. Ana kanal boyunca enkesitteki durgunluk bölgesi devam ederken, I bölgesindeki su kütlesi yan savağa yönelir. I ve II bölgeleri arasında, büyük hız azalması sebebiyle süreksizlik meydana gelir (III bölgesi). Bu bölgede de sınıra yakın çok şiddetli sekonder akım görülür.



Şekil 5.14 Yanal akımdan dolayı ana kanaldaki akım çizgilerinin hareketi ve durgunluk bölgesinin oluşumu (El-Khashap, 1975)



Şekil 5.15 Yanal akımdan dolayı kanal enkesitinde oluşan sekonder akım (El-Khashap, 1975)

Yukarıda El-Khashab (1975) tarafından belirtilen şartlar, doğrusal kanalda  $b=0.455$  m,  $L=2.30$  m ( $L/b=5.05$ ) için verilmiştir. Doğrusal kanalda daha küçük  $L/b$  değerlerinde sekonder akımın etkisi yan savak mansabına yakın bölgelerde sekonder akımın belirgin



olmasına bağlı olarak görülebilir. Sekonder akım da herhangi bir enkesitteki ortalama yanal akım hızının ana kanaldaki ortalama teğetsel hıza oranına bağlı olarak ortaya çıkartmaktadır. Kıvrımda ise, yalnız kıvrımdan dolayı ortaya çıkan ilave sekonder akımın etkisiyle doğrusal kanala göre daha küçük  $L/b$  değerlerinde aynı Şartlar oluşmaktadır (Ağaçcıoğlu, 1995).

Bu çalışmada kıvrımlı kanal bölgesinde, kıvrım tarafından yaratılan ilave sekonder akımın etkisiyle meydana gelen akım yapısındaki değişimler doğrusal kanaldakine göre daha küçük savaklanma uzunluklarında meydana gelmiştir. Söz konusu durum,  $120^\circ$ lik tepe açılarına sahip üçgen yan savaklarda daha belirgin olmak üzere tüm tepe açılarında gözlenmiştir.

Sekonder akımın su yüzü profiline etkisi savaklanma uzunluğu arttıkça artmakta ve bu etki kıvrımlı kanal bölgesinde doğrusal kanal kısmına göre daha belirgin olmaktadır. Tepe açısının artmasıyla savaklanma uzunluğu artmakta ve savaklanma uzunluğu arttıkça da yan savak mansap kısmında meydana gelen ters akım bölgesi büyümekte ve daha belirgin hale gelmektedir. Kıvrım tarafından yaratılan sekonder akımın kanaldaki sekonder akımı artırıcı bir etki yapmasından dolayı kıvrımlı kanal kısmında ters akım bölgesi daha büyük bir alanı kaplamakta ve doğrusal kanal bölgesindeki göre daha belirgin olarak gözlenmektedir. Yan savak girişinin etkisi sadece yan savak kesitinde hissedilmekte, yan savak kretinden i kıyıya doğru gidildikçe bu etki kaybolmaktadır.

Doğrusal kanala göre kıvrımlı kanaldaki akım çizgilerinin eğriliklerinin daha da artması sebebiyle kıvrımda yan savak girişinin etkisi daha belirgin olmaktadır. Yan savak başlangıcındaki Froude sayısı, dolayısıyla akımın yan savağa giriş hızı, yan savak girişinin yanal akıma olan etkisini deęiŐtirmektedir. Sekonder akımın Őiddetine göre de yan savak menba ve mansap su yüzü arasındaki fark değişmektedir. Aynı savak boyutu için kıvrımlı kanal bölgesindeki mevcut sekonder akımın doğrusal kanaldakine göre daha Şiddetli olması nedeniyle kıvrımda su yüzü profili değişiklikler göstermektedir.

## 5.2 $C_d$ Yan Savak Debi Katsayısının Belirlenmesi.

Bu bölümde  $C_d$  yan savak debi katsayısının değişimi, Bölüm 4.7’de verilen boyut analizinde belirlenen  $Fr_1$ ,  $h_1/b$ ,  $p/b$ ,  $\alpha$  ve  $\theta$  parametreleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çalışmada savak boyunca değişen yan savaktan savaklanan akımın sapma açısı ( $\psi$ ) dikkate alınmamıştır.  $C_d$  yan savak debi katsayısının belirlenmesinde Kumar ve Pathak (1987) tarafından verilen (1.62) eşitliğinden yararlanılmıştır. Bunun için, Basic programlama dilinde yazılmış program kullanılmıştır (Ek-3). Hesaplamalarda,  $h_1$  su derinliği olarak yan savak menbaında ana kanal ekseninde ölçülen su derinliği dikkate alınmış ve bu derinliğe göre Froude sayısı ( $Fr_1$ ) belirlenmiştir. Başlangıçta, üçgen yan savaklarla ilgili Kumar ve Pathak (1987) tarafından yapılmış olan çalışmada ile doğrusal kanal bölgesinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

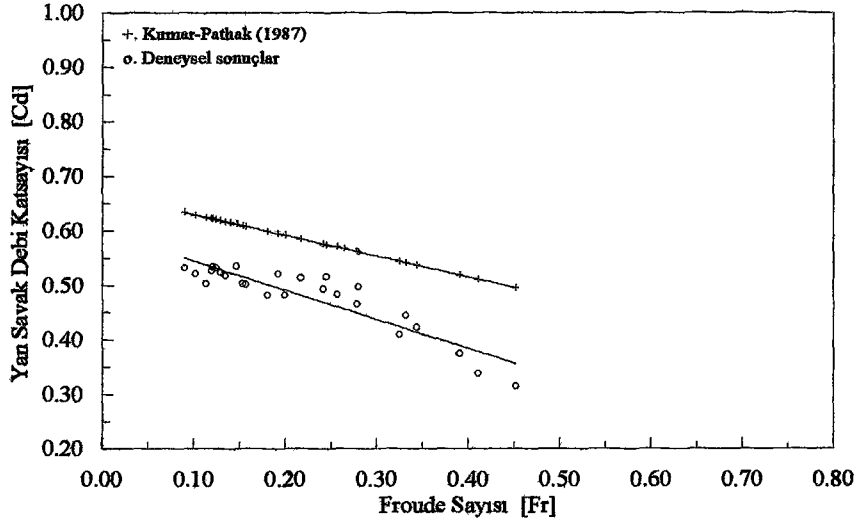
İkinci olarak kıvrım girişine ( $0^\circ$ ) yerleştirilen yan savaklarda  $C_d$  yan savak debi katsayısının değişimi incelenmiş ve doğrusal kısımda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Daha sonra  $C_d$  yan savak debi katsayısına  $\alpha$ ,  $\theta$ ,  $p/b$ ,  $Fr_1$  ve  $h_1/b$  boyutsuz parametrelerinin etkisi araştırılmıştır.

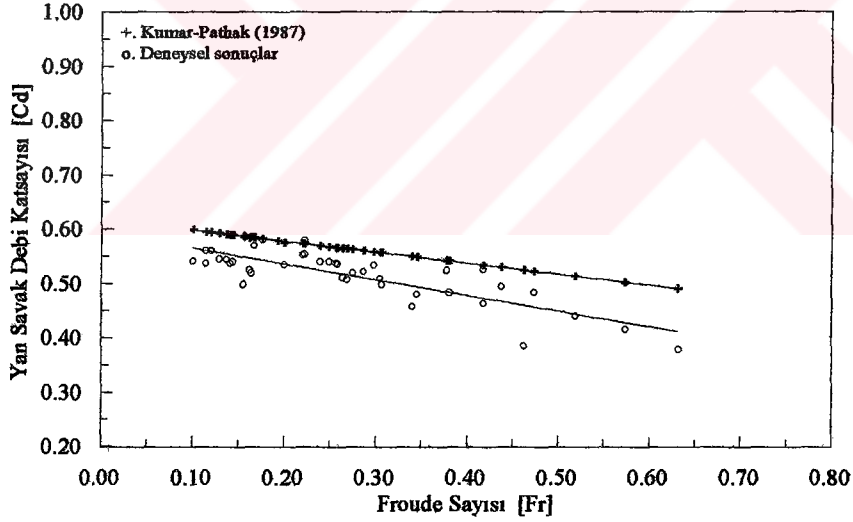
### 5.2.1 Doğrusal yaklaşım kanalına yerleştirilen üçgen yan savakta $C_d$ yan savak debi katsayısının belirlenmesi.

Doğrusal yaklaşım kanalında  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $Fr_1$  ile değişimi, yan savak tepe açısının ( $\theta$ )  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  ve  $120^\circ$ ’lik değerleri için elde edilmiş, Kumar-Pathak (1987) eğrisi ise (1.59) eşitliğinden hesaplanmıştır (Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18). Her üç şekilde de yan savak kret yüksekliklerinin etkisi ihmal edilerek 0.12m, 0.16m ve 0.20m eşik yükseklikleri için bulunan debi katsayıları birlikte değerlendirilmiştir.

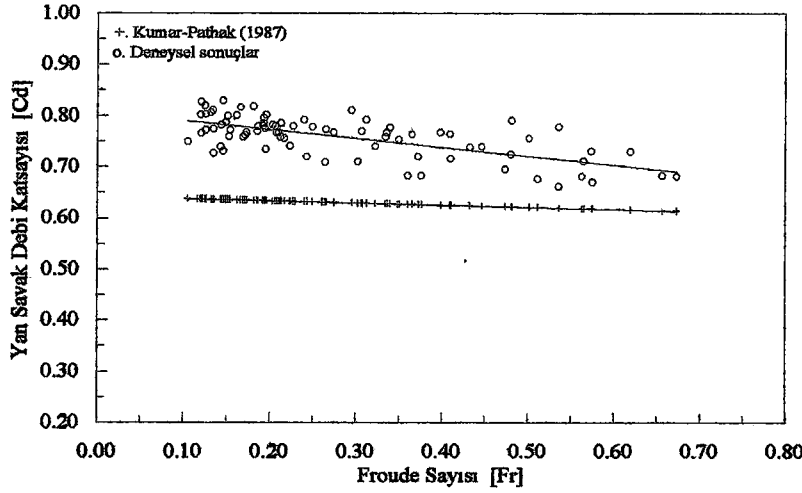
Şekiller incelendiğinde;  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  ve  $120^\circ$ ’lik tepe açılarna sahip üçgen yan savaklarda Kumar ve Pathak (1987) tarafından yapılmış olan çalışmada da belirtildiği gibi, tepe açısı arttıkça  $C_d$  yan savak debi katsayıları büyümektedir.



Şekil 5.16 Doğrusal kanalda  $60^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.



Şekil 5.17 Doğrusal kanalda  $90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.



Şekil 5.18 Doğrusal kanalda 120° tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.

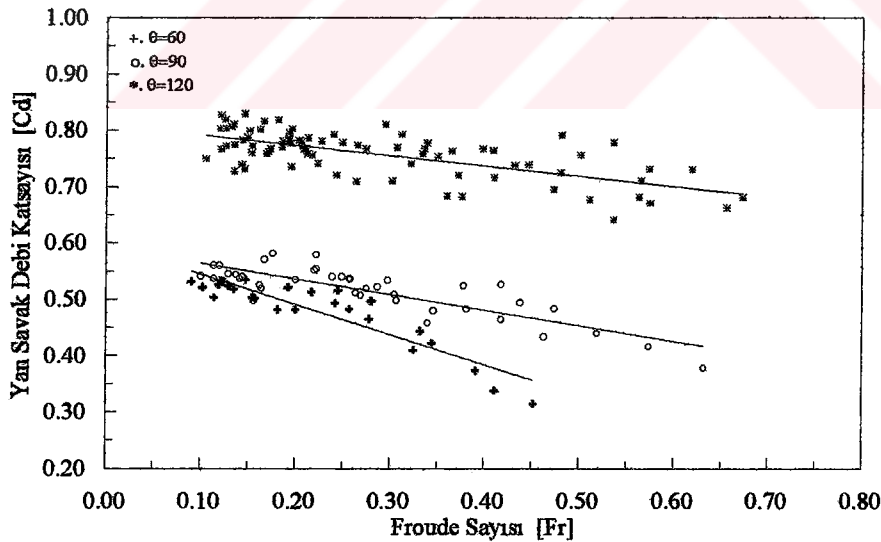
60° ve 90°'lik tepe açlarına sahip üçgen yan savaklarda elde edilen  $C_d$  yan savak debi katsayıları (Şekil 5.16 ve Şekil 5.17) Kumar-Pathak (1987) tarafından elde edilen değerlerden daha küçüktür. Kumar ve Pathak (1987) çalışmalarında, akım derinliği olarak yan savak kreti üzerinde menba ve mansap ucu su derinliklerini dikkate almışlar ve buna göre (1.57) eşitliğinden  $C_d$  yan savak debi katsayılarını elde etmişlerdir. Ancak, yan savak giriş etkisi sebebiyle kret üzerindeki su derinliği azalmakta ve  $C_d$  yan savak debi katsayısını artırıcı etki yapmaktadır (Ağaçcıoğlu, 1998). Yan savak giriş etkisinin kret üzerindeki su yüzünde meydana getirdiği kararsızlık sebebiyle, bu çalışmada su derinliği olarak ana kanal ekseninde yan savak menba ucundaki su derinliği göz önüne alınmış ve debi katsayıları (1.62) denkleminde bulunmuştur.

120°'lik tepe açısına sahip üçgen yan savakta ise  $C_d$  yan savak debi katsayıları (Şekil 5.18) daha büyük değerlere sahip olmaktadır. Ayrıca, Şekil 1.19'a bakıldığında Kumar ve Pathak (1987) tarafından verilen datalarda büyük saçılımlar olduğu görülmektedir. Bu farklılık, araştırmacıların olaya etkili parametreler olan  $L/b$  ve  $p/h_1$  boyutsuz parametrelerini ihmal etmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Zira,  $L$  savaklanma uzunluğu arttıkça sekonder akım şiddetlenmekte ve  $C_d$  yan savak debi katsayısının daha büyük değerler almasına sebep olmaktadır (Ağaçcıoğlu, 1998).  $L$  savaklanma uzunluğuna,  $p$  eşik yüksekliğine ve  $h_1$  nap yüksekliğine göre debi katsayısındaki değişimler Bölüm 5.2.5, 5.2.6 ve 5.2.7'de verilmiştir.

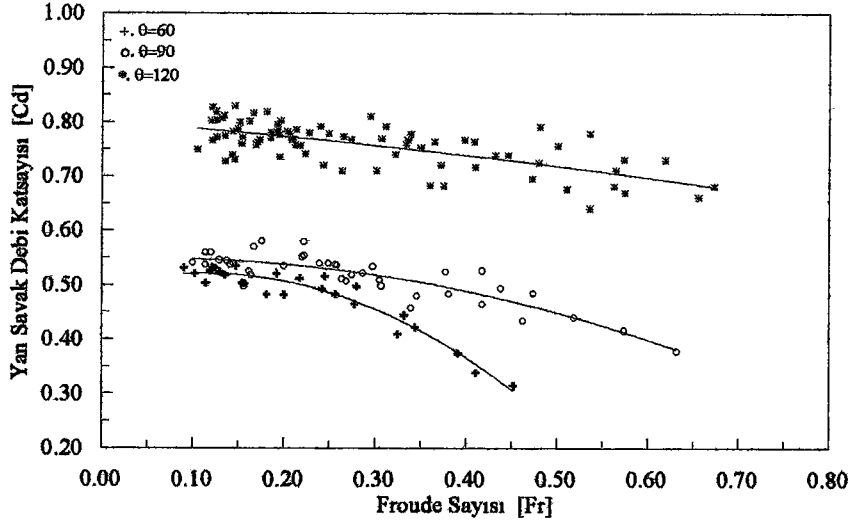
Şekil 5.19'dan görüleceği gibi  $C_d$  yan savak debi katsayısı üçgen yan savak tepe açısı ile değişmekte, tepe açısı arttıkça  $C_d$  yan savak debi katsayısı da artmakta ve  $120^\circ$ 'lik tepe açısında ise en büyük debi katsayıları elde edilmektedir. Bu değişim yan savak tepe açısı ve nap yüksekliği ile değişen  $L$  savaklanma uzunluğunun ( $L = 2h_1 \tan \frac{\theta}{2}$ ) büyümesinden kaynaklanmaktadır. Şekillerde görülen deney sonuçlarındaki saçılımlar, nap yüksekliklerindeki farklılıktan meydana gelmektedir. Çünkü nap yüksekliği arttıkça  $L$  savaklanma uzunluğu da artmaktadır. Ayrıca, savaklanma uzunluğu arttıkça  $C_d$  yan savak debi katsayısı da artmaktadır. Buna Froude sayısındaki artış ve savaklanma sonucu şiddetlenen sekonder akım sebep olmaktadır. Ağaçcıoğlu (1995)'da yapmış olduğu çalışmada benzer sonuçlar elde etmiştir.

### 5.2.2 Doğrusal kısımda $C_d$ yan savak debi katsayısının incelenmesi.

Kumar-Pathak (1987) tarafından verilen eğriler lineer değişim göstermektedir. Bir önceki bölümde yapılan karşılaştırma da lineer değişime göre yapılmıştır (Şekil 5.19). Fakat 2. dereceden eğrilerin elde edilen sonuçlara daha uygun olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.20).  $60^\circ$ ,



Şekil 5.19 Doğrusal kanalda  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  ve  $120^\circ$  tepe açlarına sahip üçgen yan savaklarda  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile lineer değişimi.

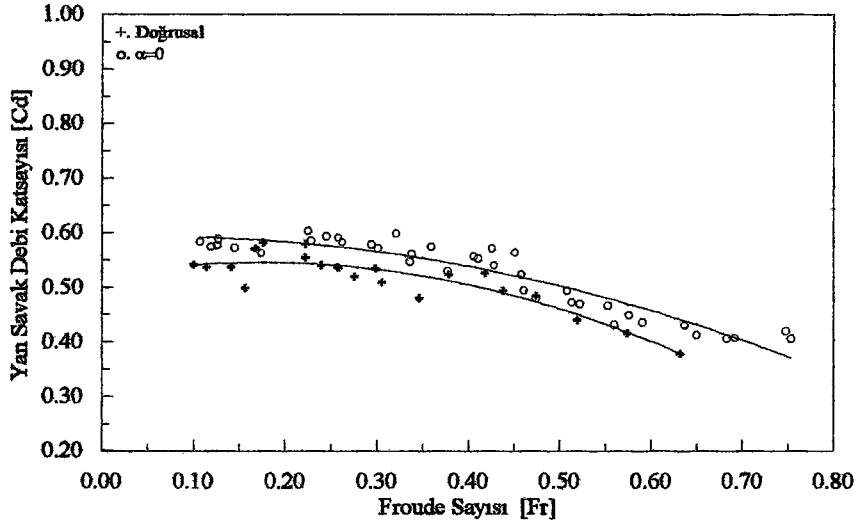


Şekil 5.20 Doğrusal kanalda 60°, 90° ve 120° tepe açlarına sahip üçgen yan savaklarda  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile 2. Dereceden eğrisel değişimi.

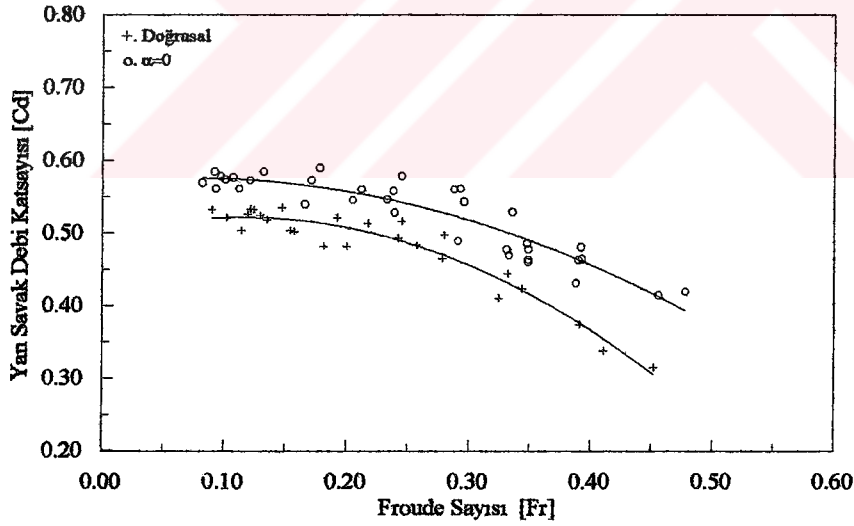
90° ve 120°'lik tepe açlarına sahip üçgen yan savaklarda regresyon katsayıları sırasıyla, lineer değişimde 0.67, 0.83, 0.91 iken 2. dereceden eğriler ile ifade edilmesi durumunda 0.69, 0.86, 0.97 olarak değişmektedir. Bundan dolayı, çalışmanın bundan sonraki değerlendirmelerinde 2. dereceden eğriler kullanılmıştır.

### 5.2.3 Doğrusal kısımda elde edilen $C_d$ yan savak debi katsayılarının kıvrım girişinde (0°) elde edilen değerlerle karşılaştırılması.

Kıvrım girişindeki yan savak bölgesine ( $\alpha=0^\circ$ ) yerleştirilen 60°, 90° ve 120° tepe açılı ve  $p=0.12m$ ,  $p=0.16m$  ve  $p=0.20m$  eşik yüksekliklerine sahip üçgen yan savaklarla yapılan deneyler sonucunda elde edilen  $C_d$  yan savak debi katsayılarının Froude sayısı ( $Fr_1$ ) ile değişimi, doğrusal kısımda elde edilen sonuçlarla birlikte Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da verilmiştir. Kıvrım girişindeki  $C_d$  yan savak debi katsayılarının doğrusal kısımdaki debi katsayılarına göre daha büyük değerler aldığı görülmektedir. İki eğri arasında küçük Froude sayılarında meydana gelen farklılık, kıvrım tarafından yaratılan sekonder akımın etkisinin kıvrım girişinden önce başlamasından kaynaklanmaktadır (Francis-Asfari, 1950). Froude sayısındaki artışa bağlı olarak kıvrım tarafından yaratılan sekonder akım şiddetlenmekte ve bunun sonucu olarak da büyük Froude sayılarında eğriler arasındaki fark artmaktadır.

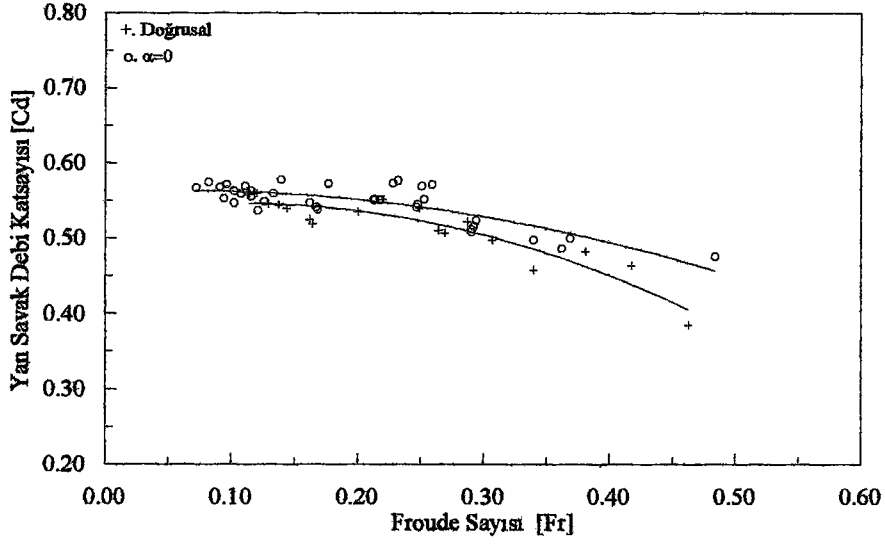


Şekil 5.21  $p=0.12\text{m}$  eşik yükseklikli ve  $90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.

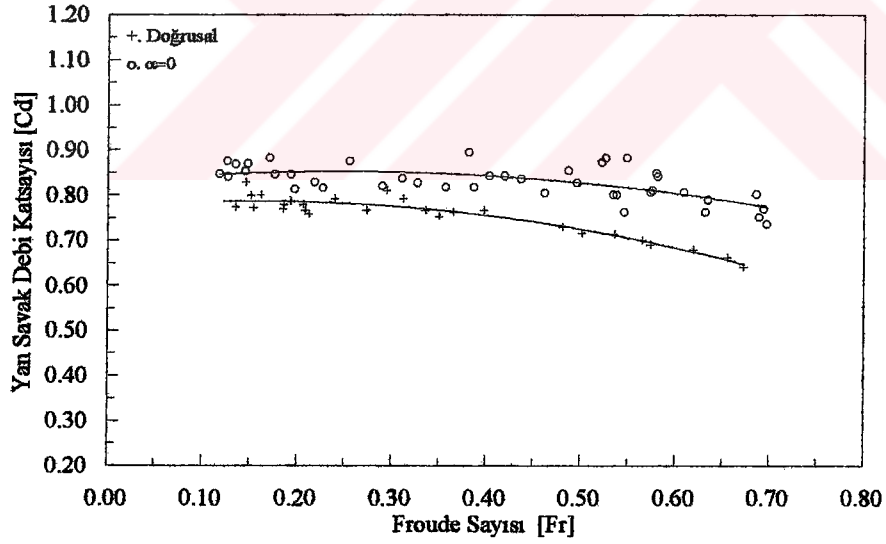


Şekil 5.22  $p=0.16\text{m}$  eşik yükseklikli ve  $60^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.

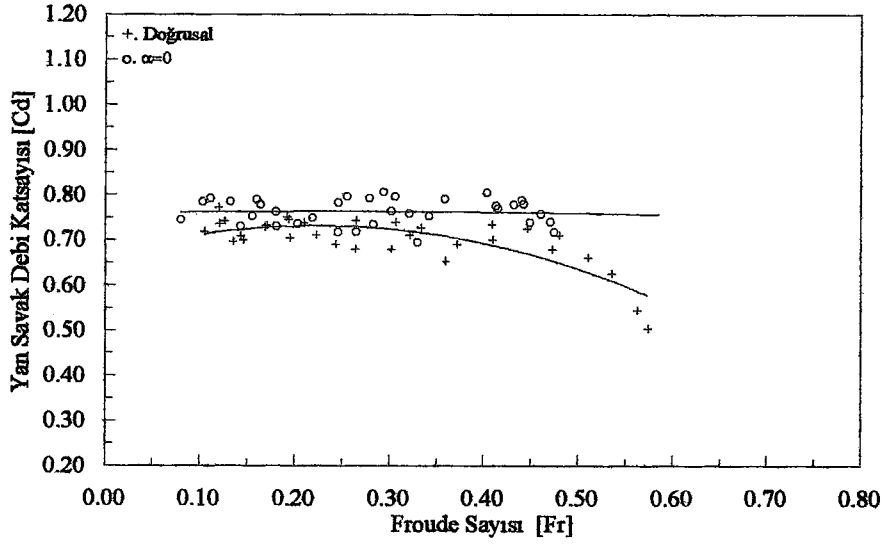




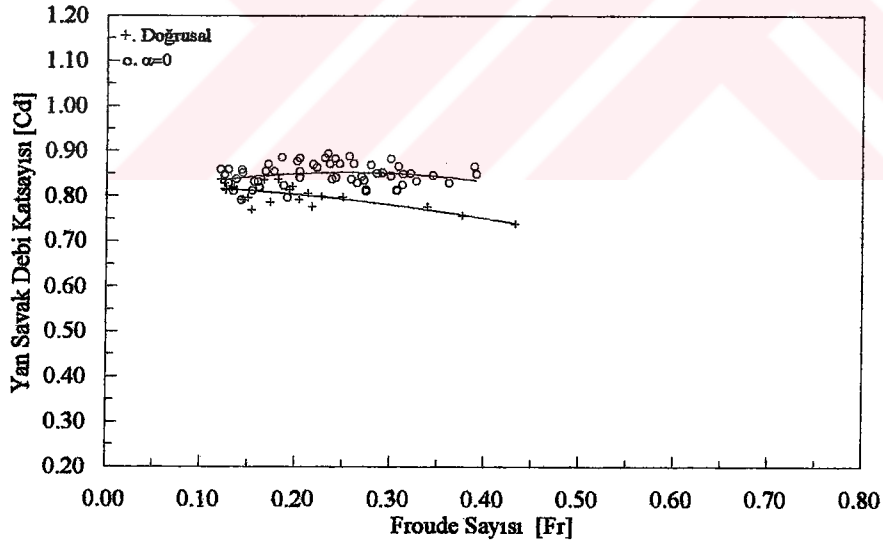
Şekil 5.23  $p=0.16\text{m}$  eşik yükseklikli ve  $90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.



Şekil 5.24  $p=0.12\text{m}$  eşik yükseklikli ve  $120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.



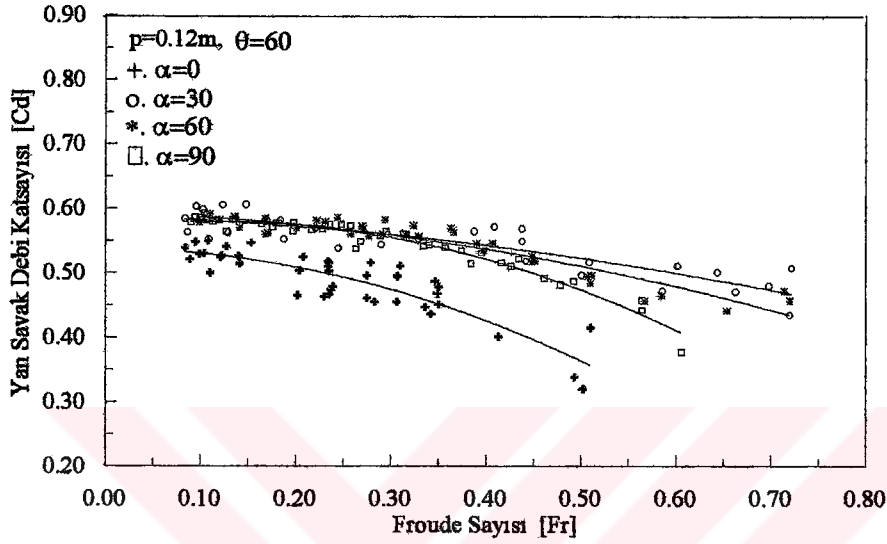
Şekil 5.25  $p=0.16\text{m}$  eşik yükseklikli ve  $120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.



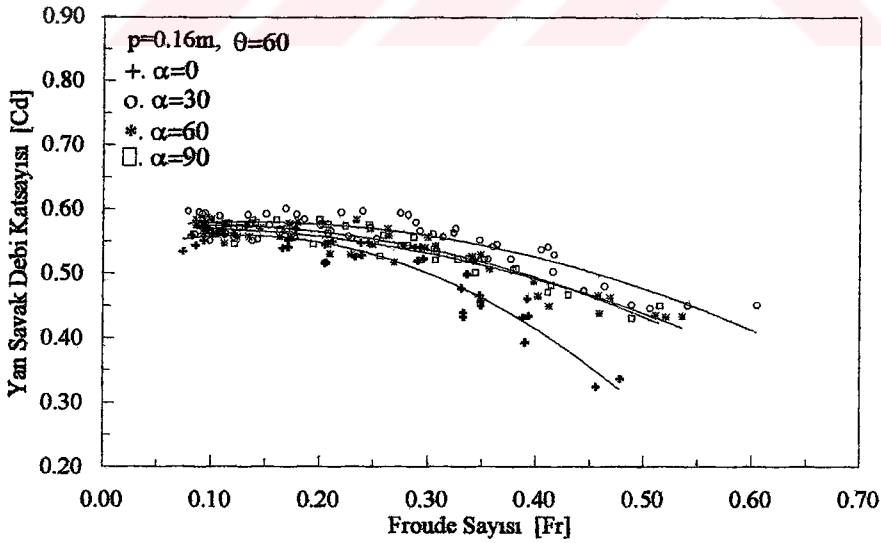
Şekil 5.26  $p=0.20\text{m}$  eşik yükseklikli ve  $120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi.

#### 5.2.4 $C_d$ yan savak debi katsayısının kıvrım boyunca değişiminin incelenmesi.

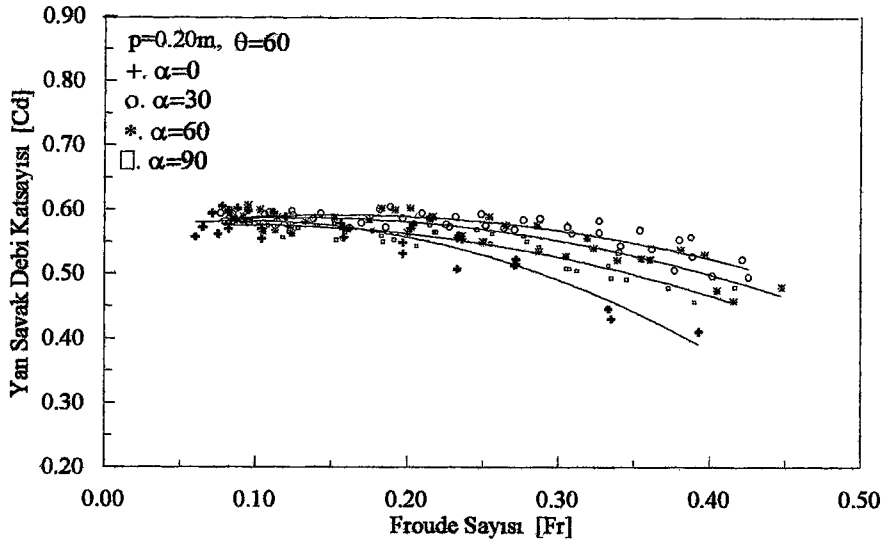
Farklı savak tepe açılarında,  $\alpha$  kıvrım açısına göre  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir (Şekil 5.27 den Şekil 5.35'e kadar).



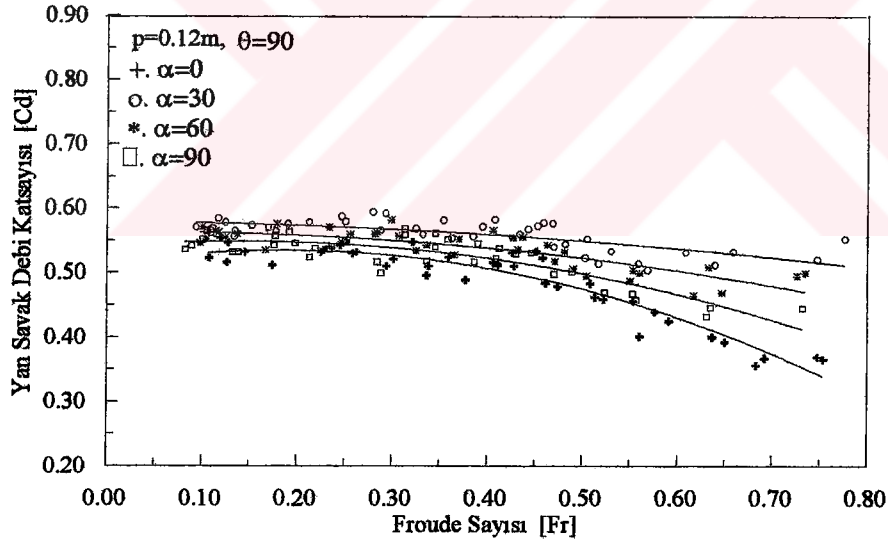
Şekil 5.27  $p=0.12\text{m}$  eşik yükseklikli ve  $60^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.



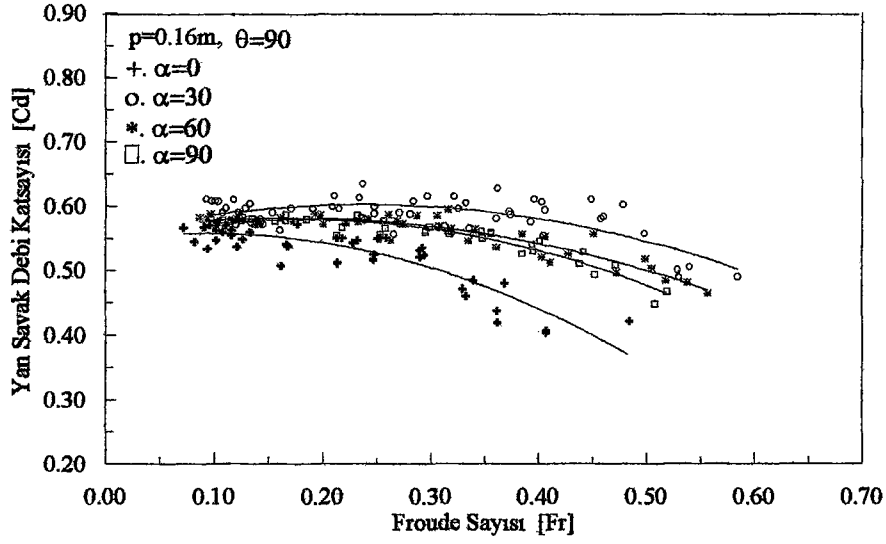
Şekil 5.28  $p=0.16\text{m}$  eşik yükseklikli ve  $60^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.



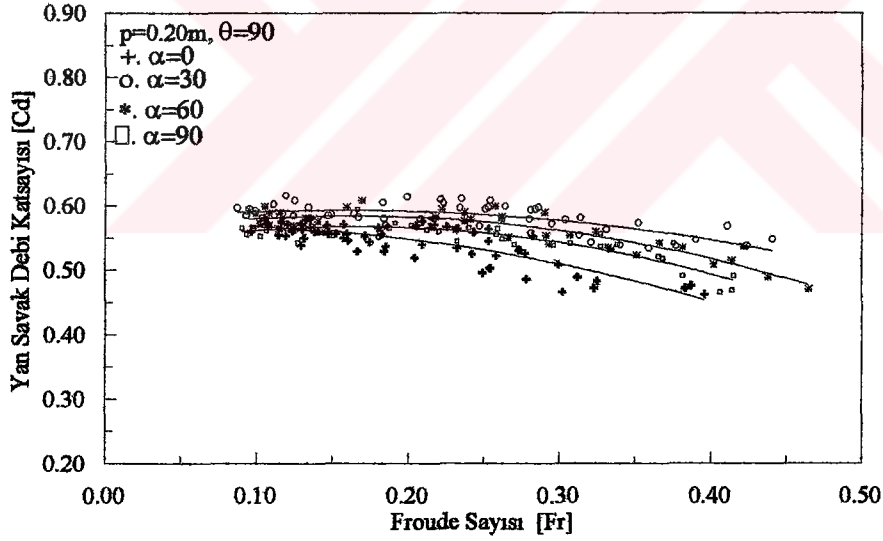
Şekil 5.29  $p=0.20m$  eşik yükseklikli ve  $60^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.



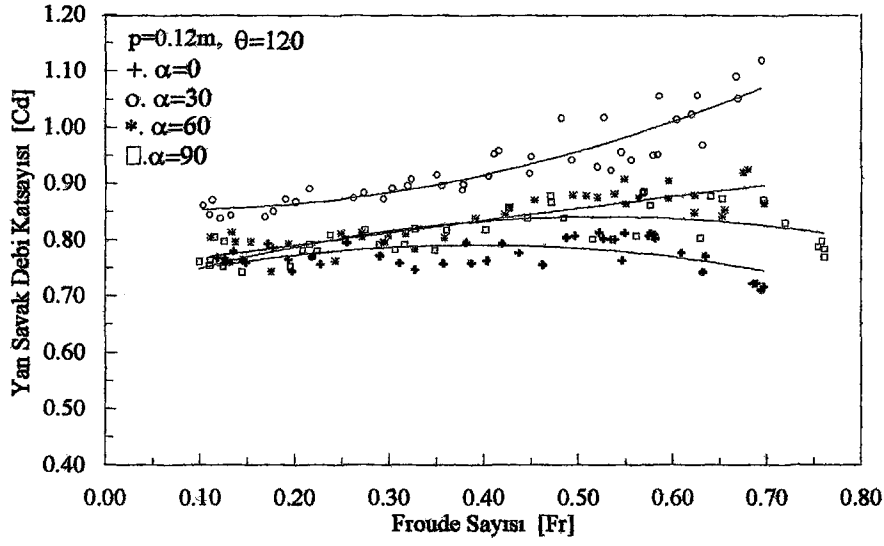
Şekil 5.30  $p=0.12m$  eşik yükseklikli ve  $90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.



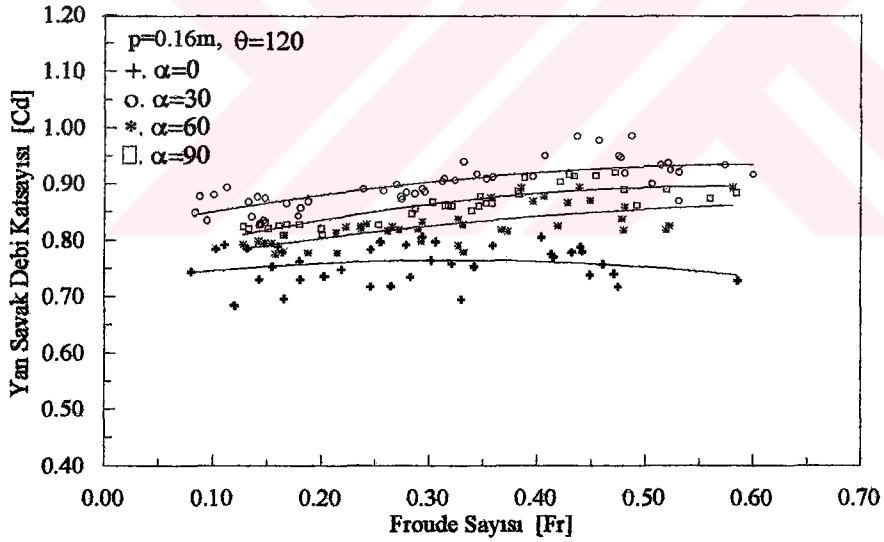
Şekil 5.31  $p=0.16\text{m}$  eşik yükseklikli ve  $90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.



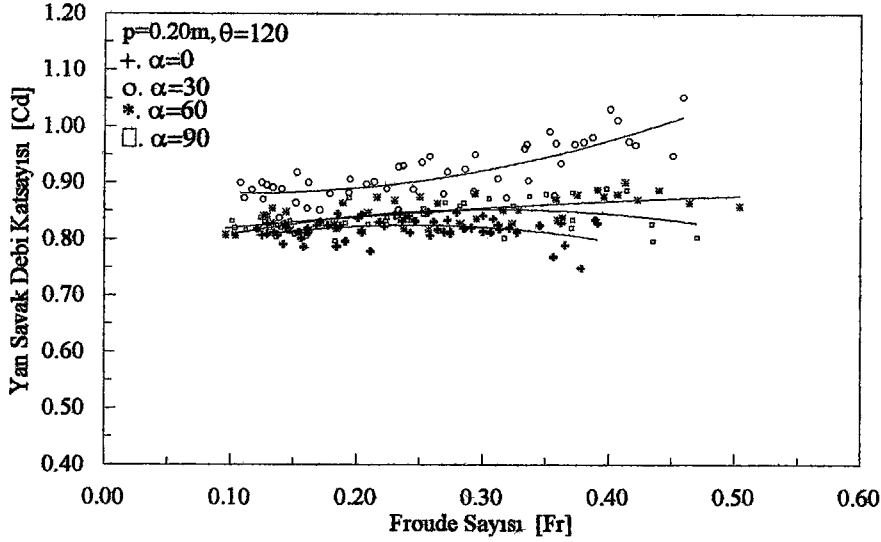
Şekil 5.32  $p=0.20\text{m}$  eşik yükseklikli ve  $90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.



Şekil 5.33  $p=0.12m$  eşik yükseklikli ve  $120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.



Şekil 5.34  $p=0.16m$  eşik yükseklikli ve  $120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.



Şekil 5.35  $p=0.20\text{m}$  eşik yükseklikli ve  $120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile kıvrım boyunca değişimi.

Tepe açısı  $60^\circ$  ve eşik yüksekliği  $0.12\text{m}$ 'lik yan savak için kıvrım girişinde ( $\alpha=0^\circ$ ),  $C_d$  yan savak debi katsayılarının kıvrım boyunca elde edilen değerlerden daha küçük olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.27). Kıvrımda ise  $Fr_1 \leq 0.35$  Froude sayılarında  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi yok denecek kadar azdır. Ancak artan Froude sayıları ( $Fr_1 \geq 0.35$ ) ile birlikte eğriler arasındaki fark da artmaktadır. Ağaçoğlu (1995) da  $Fr_1 < 0.3$  de  $C_d$  yan savak debi katsayısı ile Froude sayısının değişiminin kıvrım boyunca fazla farklılıklar göstermediğini fakat  $Fr_1 > 0.3$  den sonra önemli sapmaların meydana geldiğini ifade etmiştir. Bunun nedenini ise, Froude sayısının artmasıyla kıvrım tarafından yaratılan sekonder akımın şiddetlenmesi olarak açıklamıştır.

Tepe açısı  $60^\circ$  ve eşik yüksekliği  $0.16\text{m}$  ve  $0.20\text{m}$ 'lik savaklarda kıvrım boyunca  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi Şekil 5.28 ve 5.29'da verilmiştir. Şekil 5.28 incelendiğinde  $0.16\text{m}$  eşik yükseklikli yan savakta değişimin  $0.12\text{m}$  eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savaktakine benzer şekilde olduğu fakat sapmaların  $Fr_1 \geq 0.2$ 'den itibaren meydana geldiği görülmektedir. Bu sapmalar  $0.20\text{m}$  eşik yükseklikli üçgen yan savaklarda ise  $Fr_1 \geq 0.15$  den sonra oluşmaktadır (Şekil 5.29).



60° tepe açısına sahip yan savaklarda  $C_d$  yan savak debi katsayısının düşük Froude sayılarında 0.58 civarında olduğu ve artan Froude sayılarıyla azaldığı görülmektedir. Bunun yanı sıra 60° tepe açısına sahip yan savaklarda maksimum  $C_d$  yan savak debi katsayıları kıvrımın 30°'lik kısmında elde edilmiştir. Kıvrımın 60°'lik bölgesinde biraz azalma gösterdiği ve 90° de ise 60°'lik kıvrım bölgesine göre daha küçük değerler aldığı görülmüştür. Bunun nedeni, kıvrımlı bir kanaldaki sekonder akımın kıvrımın 30°-45°'lik kısmında maksimum büyüklüğe ulaşması ve bundan sonra şiddetinin azalarak kıvrım çıkışına kadar devam etmesidir.

Tepe açısı 90° ve 0.12m, 0.16m ve 0.20m'lik eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savaklarda (Şekil 5.30, 5.31 ve 5.32), 60° tepe açılı üçgen yan savaklara benzer şekilde değişimin olduğu ve  $C_d$  yan savak debi katsayısının da düşük Froude sayılarında 0.58 civarında olduğu ve artan Froude sayılarıyla azaldığı görülmektedir. 90° tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda kıvrım boyunca meydana gelen değişimin 60° tepe açılı üçgen yan savaklardakine benzer şekilde meydana geldiği görülmüştür.

120° tepe açılı ve 0.12m, 0.16m ve 0.20m eşik yükseklikli üçgen yan savaklar için  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi Şekil 5.33, 5.34 ve 5.35'de verilmiştir. 120°'lik tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda, 60° ve 90°'lik tepe açılı yan savaklarından farklı olarak düşük Froude sayılarında  $C_d$  yan savak debi katsayısı 0.75-0.90 arasında değerler almakta ve  $C_d$  yan savak debi katsayısının değeri, artan Froude sayısına bağlı olarak artmaktadır. Kıvrım açısına ( $\alpha$ ) göre değişimine bakıldığında 60° ve 90°'li yan savaklara benzer şekilde bir değişimin olduğu görülmektedir.

60°'lik tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $Fr_1 \leq 0.35$  Froude sayılarında  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi aynı olmaktadır. 90°'lik tepe açısına sahip üçgen yan savakta ise kıvrım boyunca  $C_d$  yan savak debi katsayısının değişiminde küçük farklılıklar gözlenmiştir. 120°'lik tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $Fr_1 \leq 0.30$ 'a kadar kıvrım açılı yan savaklara göre küçük değişimler gözlenmekte, fakat kıvrımın 30°'lik bölgesinde elde edilen değerler diğer kıvrım açılı yan savaklardakine göre daha büyük olmaktadır. Yan savak tepe açısı arttıkça görülen bu farklılık L savaklanma uzunluğunun artmasından kaynaklanmaktadır.

60°'lik tepe açısında eşik yüksekliği ile meydana gelen bu değişim 90°'lik ve 120°'lik tepe açılara sahip üçgen yan savaklarda da farklı Froude sayılarında başlamakla beraber gözlenmiştir.

Tüm şekiller birlikte değerlendirildiğinde,  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi artan Froude sayılarıyla azalma göstermesine karşın 120° tepe açılara sahip yan savaklarda artış göstermektedir. Ayrıca kıvrım boyunca  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi incelendiğinde kıvrım girişinde ( $\alpha=0^\circ$ ) en düşük değeri almakta, kıvrımın 30°'lik kısmında en yüksek değere sahip olmaktadır. Debi katsayıları kıvrımın 60°'lik kısmında azalmakta, 90°'de ise 60°'den daha küçük değerlere sahip olmaktadır.

Kıvrım boyunca  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi incelendiğinde en büyük değerler kıvrımın 30°'lik kısmında elde edilmiştir. Ağaçcıoğlu (1995) da yapmış olduğu çalışmada,  $L/b < 1$  için  $C_d$  yan savak debi katsayısının en büyük değerlerini kıvrımın 30°'lik bölgesinde,  $L/b > 1$  için ise kıvrımın 60°'lik bölgesinde elde ettiğini ifade etmiştir.

Özetle,  $C_d$  yan savak debi katsayısına etkili önemli parametreler kıvrım boyunca sekonder akımın şiddetinin değişimi ile maksimum hız yörüngesinin hareketi ve tepe açısına bağlı olarak artan yan savak uzunluğudur.

### **5.2.5 $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişiminin tepe açısı ( $\theta$ )na göre incelenmesi.**

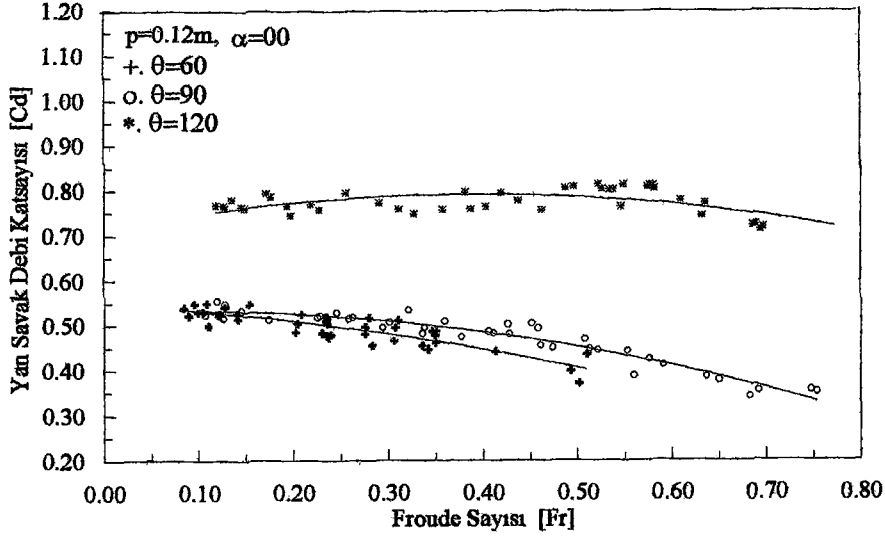
Her bir üçgen yan savak için kıvrım boyunca her bir kıvrım açısında değerlendirmeler yapılarak ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda (Şekil 5.36 dan Şekil 5.47 ye kadar) verilmiştir.

Kıvrımın tüm açılarında 0.12m, 0.16m ve 0.20m eşik yüksekliklerine sahip 60° ve 90° tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı artıkça azaldığı görülmektedir. Bu eğilimin hem 60° hem de 90° tepe açısına sahip üçgen yan savaklar için aynı olduğu görülmüştür (Şekil 5.36 dan Şekil 5.43 e kadar).

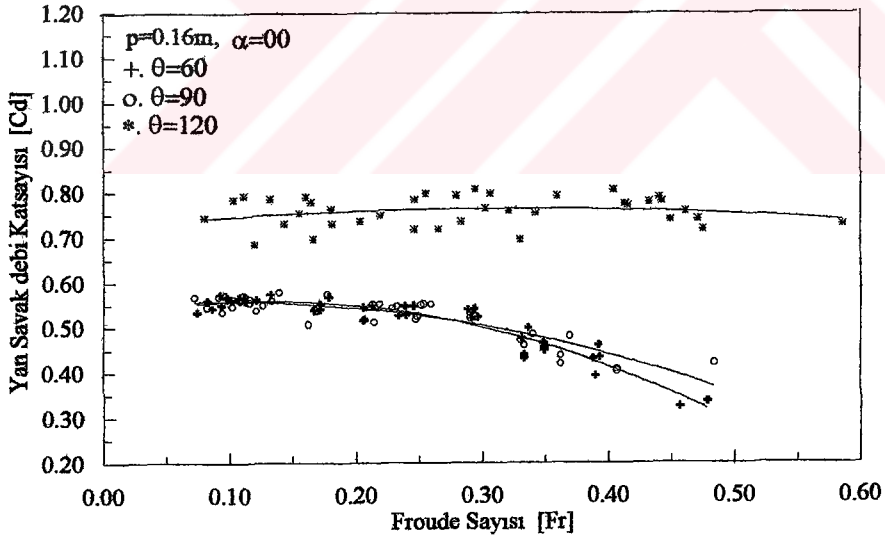
120° tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda ise  $C_d$  yan savak debi katsayısı kıvrım giriş bölgesinde ( $\alpha=0^\circ$ ) artan Froude sayısı ile küçüldüğü, ancak diğer kıvrım açıları ile artan Froude sayılarıyla büyüdüğü gözlemlenmiştir (Şekil 5.44 den Şekil 5.47 ye kadar). Kıvrım tarafından yaratılan sekonder akım, Froude sayısındaki artış ile şiddetlenmekte ve  $C_d$  yan savak debi katsayısının gittikçe artmasına sebep olmaktadır. Kıvrımın giriş kısmında görülen artan Froude sayısı ile  $C_d$  yan savak debi katsayısının azalmasına nedeni ise, kıvrımdan dolayı meydana gelen sekonder akımın kıvrım girişinde tam olarak oluşmamasından kaynaklanmaktadır. Buna rağmen bu bölgede kıvrım tarafından yaratılan sekonder akımın etkisi hissedilmektedir. Bu sebeple, kıvrım girişinde Froude sayısı ile artmasıyla  $C_d$  yan savak debi katsayısında azalma görülmekte, fakat kanalın doğrusal kısmındaki değerlere göre daha büyük değerler elde edilmektedir.

Ayrıca 120° tepe açısına sahip üçgen yan savaklar için elde edilen  $C_d$  yan savak debi katsayısı değerleri 60° ve 90° tepe açılara sahip üçgen yan savaklar için elde edilenlere göre yaklaşık %30 daha büyük değerler almaktadır. Bu artış L savaklanma uzunluğunun tepe açısına bağlı olarak artması sonucu meydana gelmektedir. Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi L savaklanma uzunluğu arttıkça sekonder akım daha iyi yapılanmakta ve savaklanan debi miktarında artışa sebep olmaktadır. 60° ve 90° tepe açılara sahip üçgen yan savaklarda savaklanma uzunluğu daha küçük olduğundan sekonder akımın yapılanması için gerekli mesafe oluşmadığından, yan savaktan savaklanan debi miktarı 120° tepe açılı üçgen yan savaklara göre daha küçük kalmaktadır.

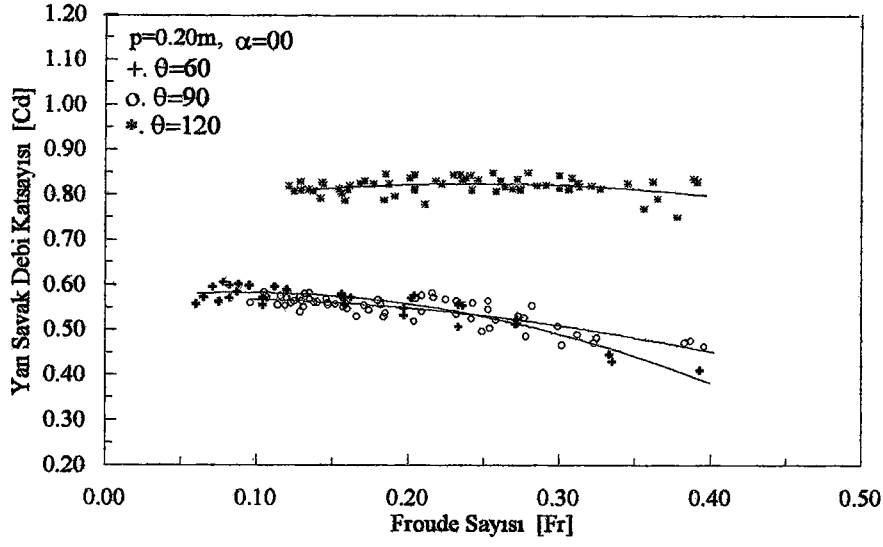
Sonuç olarak,  $C_d$  yan savak debi katsayıları arasında meydana gelen bu %30'luk fark tepe açısının artmasına bağlı olarak artan savaklanma uzunluğuna bağlıdır. 60° ve 90° tepe açılara sahip üçgen yan savaklar için de  $C_d$  yan savak debi katsayısındaki değişim az da olsa görülmektedir. Bu fark Froude sayısının küçük değerlerinde az olmasına karşın Froude sayısının artmasıyla daha da belirgin olmaktadır.



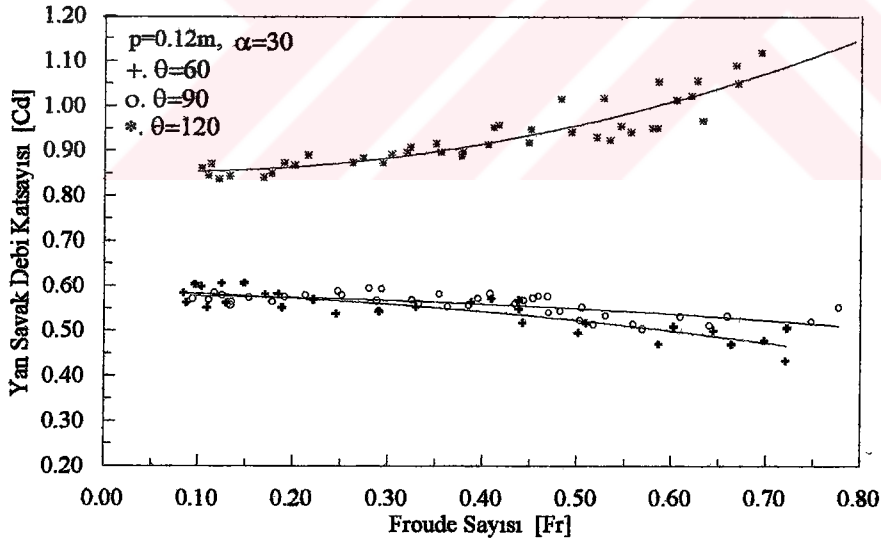
Şekil 5.36  $p=0.12m$  eşik yükseklikli üçgen yan savakta kıvrım girişinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının tepe açılarna göre değişimi.



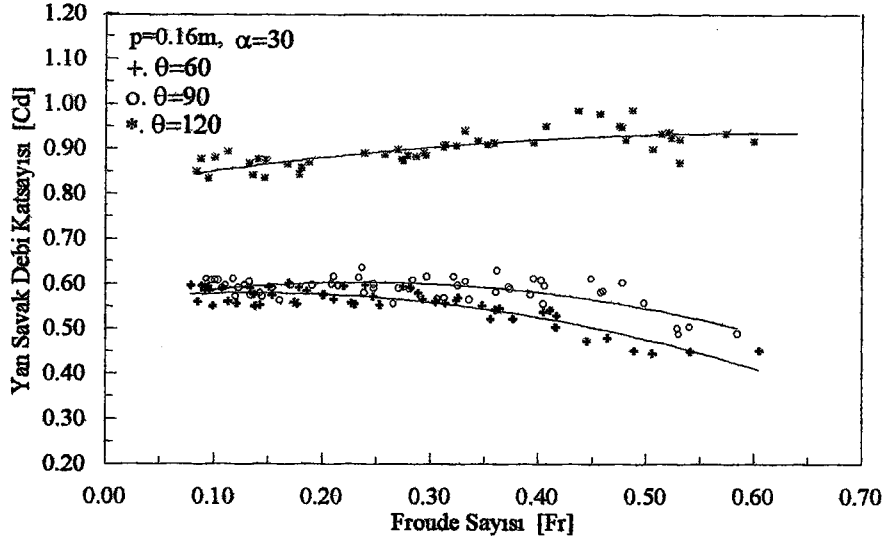
Şekil 5.37  $p=0.16m$  eşik yükseklikli üçgen yan savakta kıvrım girişinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının tepe açılarna göre değişimi.



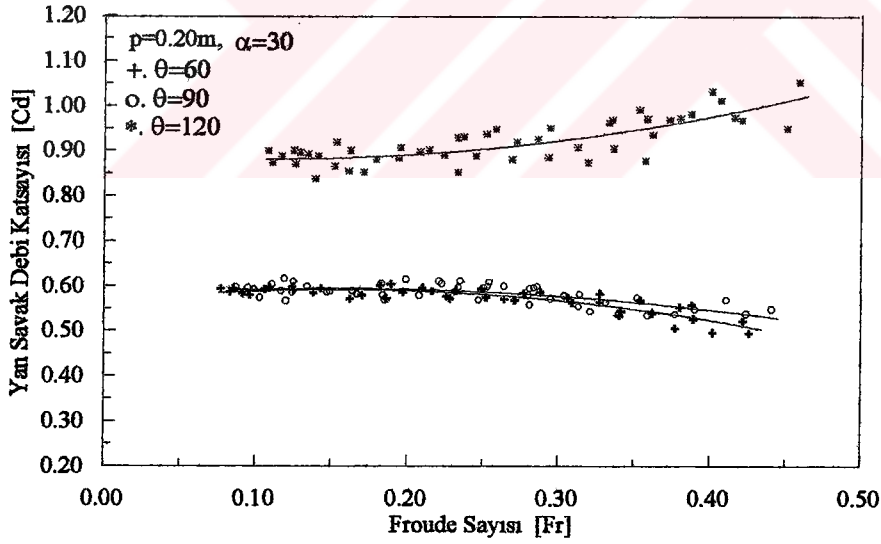
Şekil 5.38  $p=0.20m$  eşik yükseklikli üçgen yan savakta kıvrım girişinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının tepe açlarına göre değişimi.



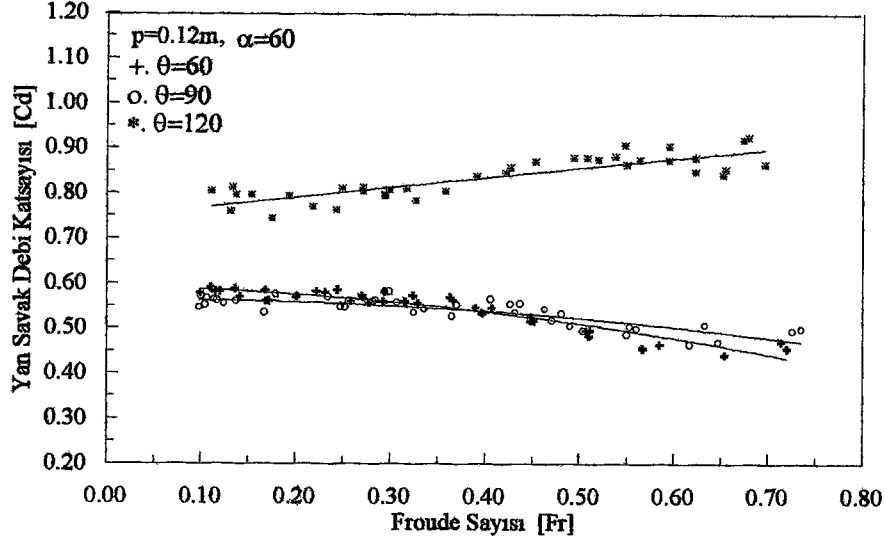
Şekil 5.39  $p=0.12m$  eşik yükseklikli üçgen yan savakta  $30^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının tepe açlarına göre değişimi.



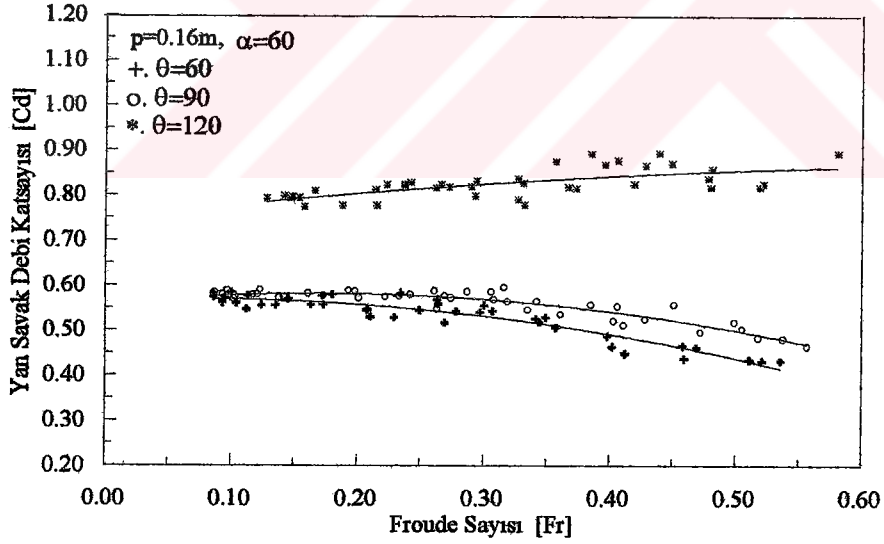
Şekil 5.40  $p=0.16m$  eşik yükseklikli üçgen yan savakta  $30^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının tepe açlarına göre değişimi.



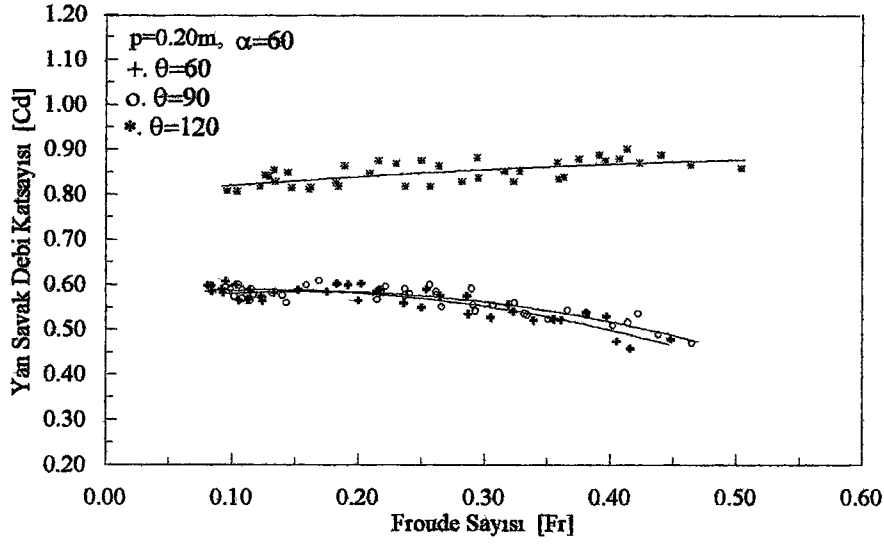
Şekil 5.41  $p=0.20m$  eşik yükseklikli üçgen yan savakta  $30^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının tepe açlarına göre değişimi.



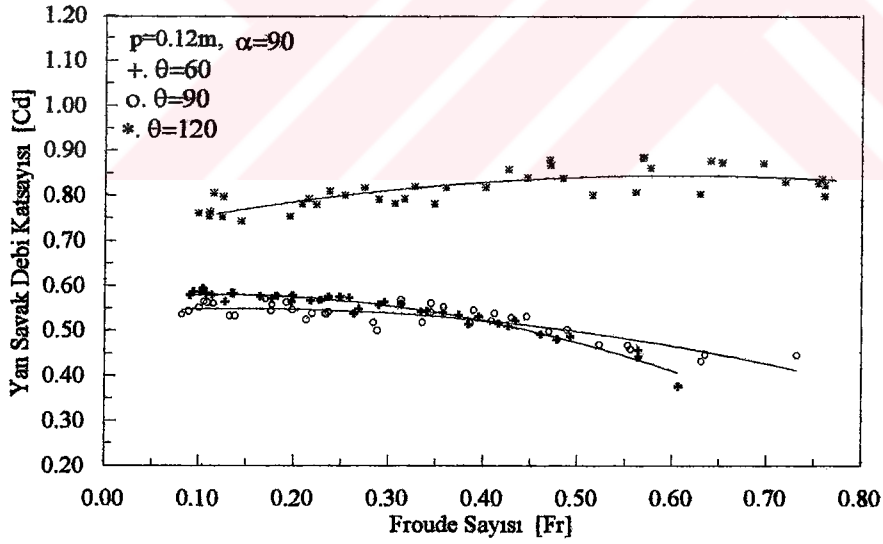
Şekil 5.42  $p=0.12m$  eşik yükseklikli üçgen yan savakta  $60^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının tepe açlarına göre değişimi.



Şekil 5.43  $p=0.16m$  eşik yükseklikli üçgen yan savakta  $60^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının tepe açlarına göre değişimi.

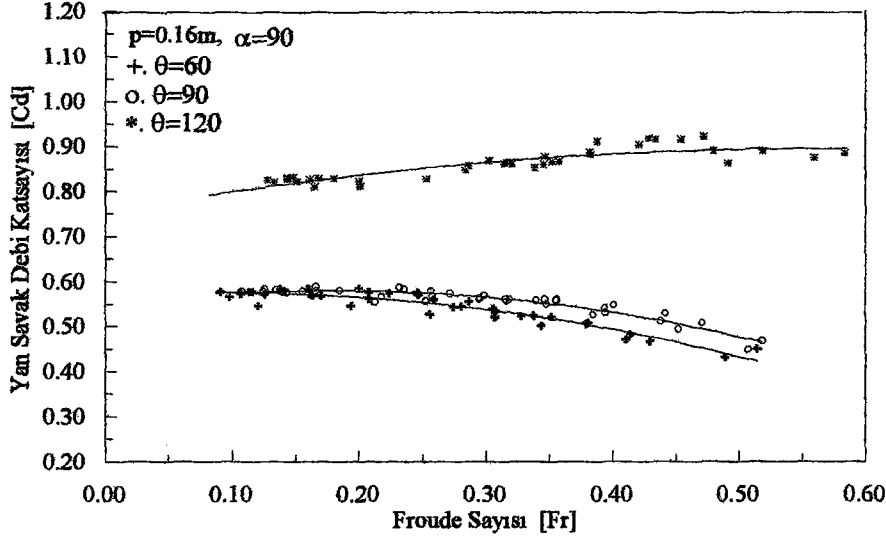


Şekil 5.44  $p=0.20m$  eşik yükseklikli üçgen yan savakta  $60^\circ$ lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının tepe açlarına göre değişimi.

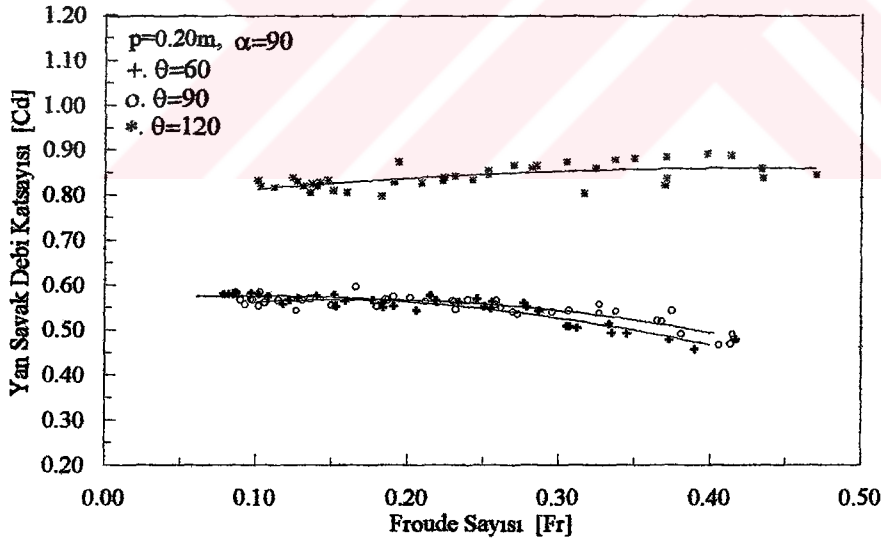


Şekil 5.45  $p=0.12m$  eşik yükseklikli üçgen yan savakta  $90^\circ$ lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının tepe açlarına göre değişimi.





Şekil 5.46  $p=0.16m$  eşik yükseklikli üçgen yan savakta  $90^\circ$ lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının tepe açlarına göre değişimi.



Şekil 5.47  $p=0.20m$  eşik yükseklikli üçgen yan savakta  $90^\circ$ lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının tepe açlarına göre değişimi.

### 5.2.6 $C_d$ yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişiminin ( $p/b$ )'ye göre incelenmesi.

Kıvrımın tüm açılarında  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  ve  $120^\circ$  tepe açlarına sahip üçgen yan savaklarda eşik yüksekliklerine ( $p/b$ ) göre  $C_d$  yan savak debi katsayısının değişimi ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda (Şekil 5.48 den Şekil 5.59 a kadar) verilmiştir.

Kıvrım girişinde ( $\alpha=0^\circ$ ) eşik yüksekliklerine ( $p/b$ ) bağlı olarak gözlenen değişim fazla değildir (Şekil 5.48, Şekil 5.49 ve Şekil 5.50). Kıvrım bölgesinde ise Froude sayısının belli bir değerine kadar değişim gözlenmemesine karşın, bu değerden sonra  $p/b$ 'ye göre değişim görülmektedir (Şekil 5.51 den Şekil 5.59 a kadar).

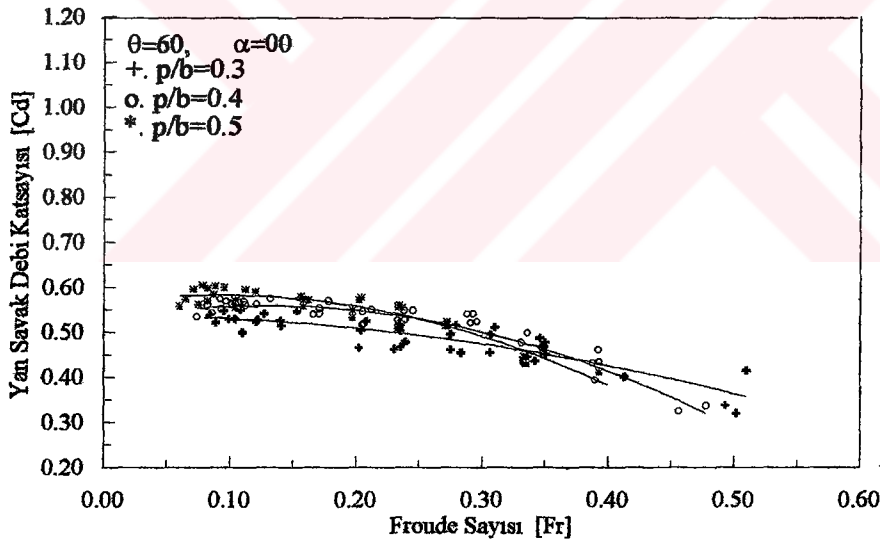
Kıvrım bölgesinde,  $60^\circ$ 'lik tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda  $Fr=0.3-0.35$  aralığına kadar  $p/b$ 'nin değişmesiyle  $C_d$  yan savak debi katsayısı değişmemektedir. Froude sayısının bu değerinden sonra  $p/b$ 'nin değişmesiyle  $C_d$  yan savak debi katsayısı değişim göstermektedir. Şekil 5.51, 5.54 ve 5.57'den de görüleceği gibi Froude sayısının artmasıyla  $C_d$  yan savak debi katsayısı azalma göstermiş ve en büyük değerler  $p/b=0.3$  ( $p=0.12$  m) için elde edilmiştir.  $p/b=0.4$  ( $p=0.16$  m) için elde edilen değerler  $p/b=0.3$  ( $p=0.12$  m) için elde edilen değerlere göre azalma göstermiş, en küçük değerler ise  $p/b=0.5$  ( $p=0.20$  m) için elde edilmiştir.

$90^\circ$ 'lik tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda da Froude sayısının yaklaşık  $0.45$  değerine kadar değişim meydana gelmemiş ve  $Fr=0.45$  değerinden sonra  $60^\circ$ 'lik tepe açılı üçgen yan savaklardakine benzer şekilde  $p/b$  değerlerine bağlı olarak değişiminin meydana geldiği görülmüştür (Şekil 5.52, 5.55 ve 5.58).

$60^\circ$  ve  $90^\circ$ 'lik tepe açlarına sahip üçgen yan savaklarda  $p/b=0.3$  ( $p=0.12$  m) için en büyük değerler elde edilmekte ve  $p/b$  (eşik yüksekliği) arttıkça  $C_d$  yan savak debi katsayısı azalmaktadır. Bu azalma El-Khashap (1975) tarafından verilen Şekil 5.15 ile açıklanabilir. Şekil 5.15'de görülen III bölgesi eşik yüksekliği  $0.12$  m ( $p/b=0.3$ ) olduğunda yanal akıma katılmakta ve savaklanan debi miktarında artışa neden olmaktadır. Eşik yüksekliği arttıkça,

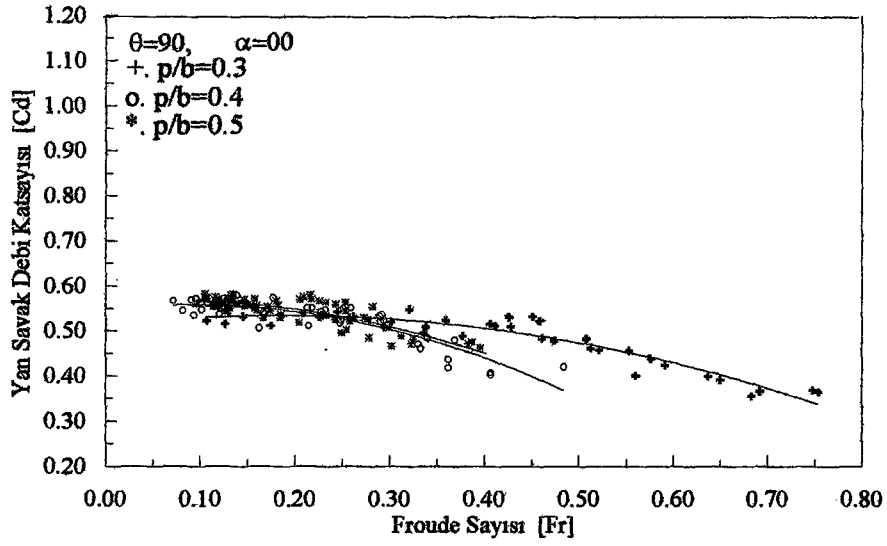
0.16 m eşik yüksekliğinde ( $p/b=0.4$ ) bu bölgenin bir kısmı yanal akıma katılmakta ve 0.20 m eşik yükseklikli ( $p/b=0.5$ ) yan savaklarda ise bu katılım daha da az olmakta veya hiç olmamaktadır.

120°'lik tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda ise 60° ve 90°'lik tepe açılı üçgen yan savaklardakinden farklı bir değişim elde edilmiştir. 120°'lik üçgen yan savaklarda ise kıvrımın 30°'lik bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısı artan Froude sayısı ile artış göstermektedir (Şekil 5.53). Bu artış kıvrımın 60°'lik bölgesinde azalmakta (Şekil 5.56) ve 90°'lik kısımda daha da azalarak (Şekil 5.59) yaklaşık  $Fr=0.45$  değerinden sonra  $C_d$  yan savak debi katsayısı Froude sayısının artmasıyla azalma göstermektedir. 120°'lik tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda elde edilen değerlerin 60° ve 90°'lik üçgen yan savaklara göre farklı olması, tepe açısına bağlı olarak artan L savaklanma uzunluğunun artmasıyla ana kanaldaki sekonder akımın şiddetlenmesinden kaynaklanmaktadır.

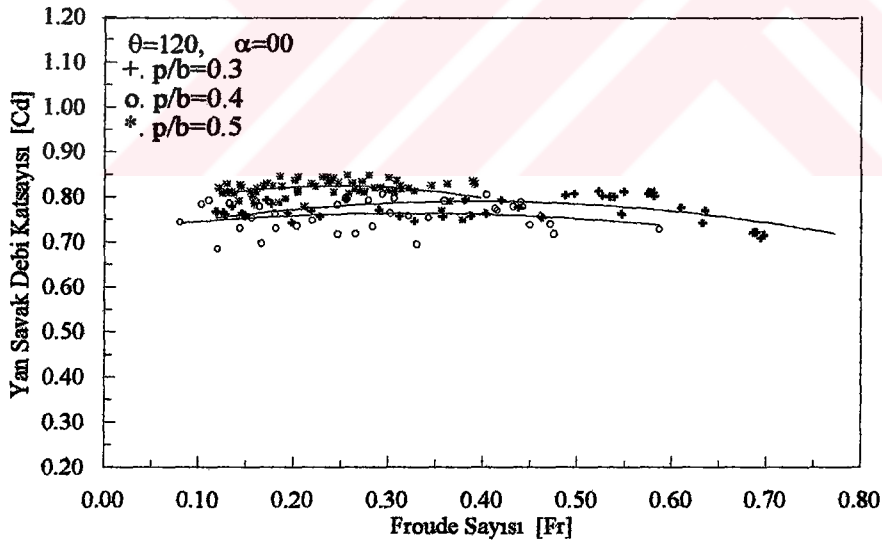


Şekil 5.48  $\theta=60^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta kıvrım girişinde

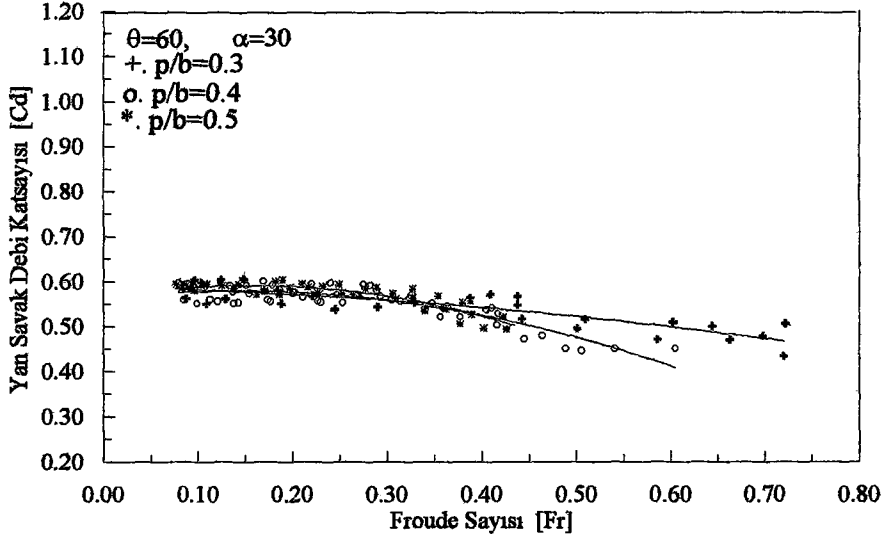
$C_d$  yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.



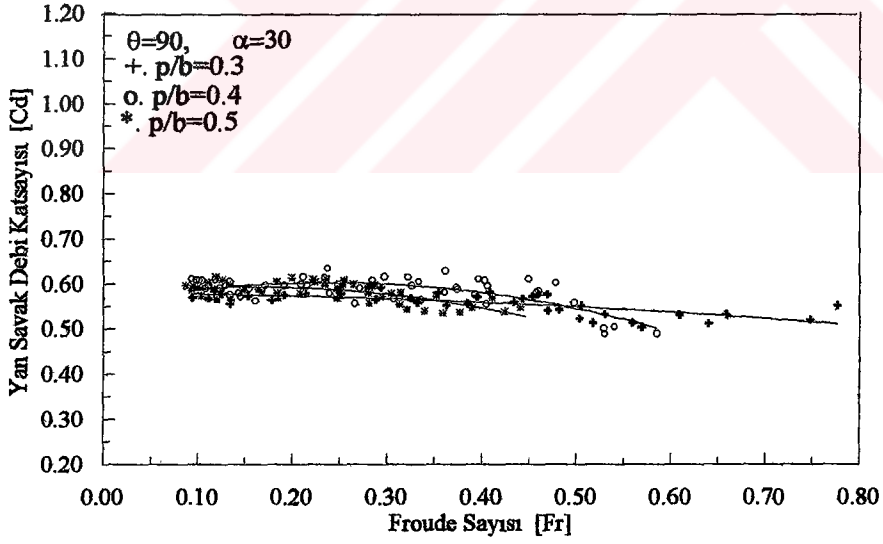
Şekil 5.49  $\theta=90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta kıvrım girişinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.



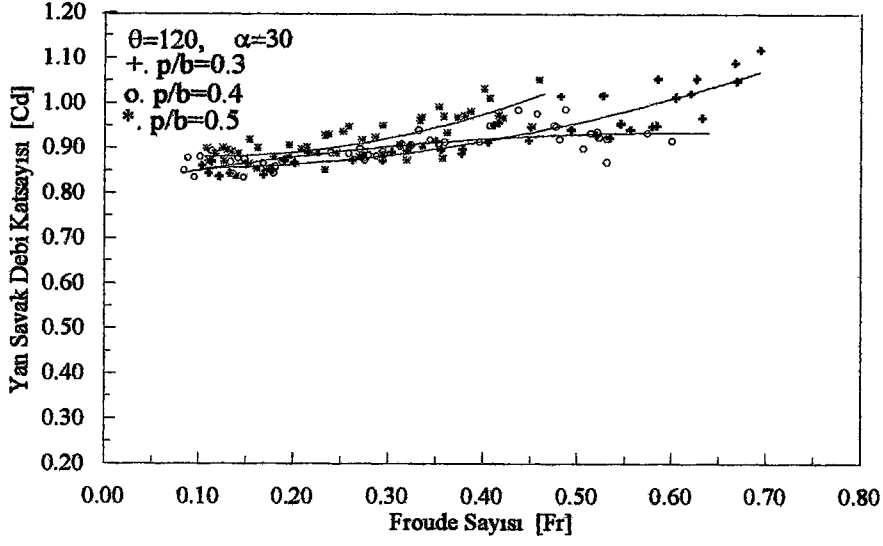
Şekil 5.50  $\theta=120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta kıvrım girişinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.



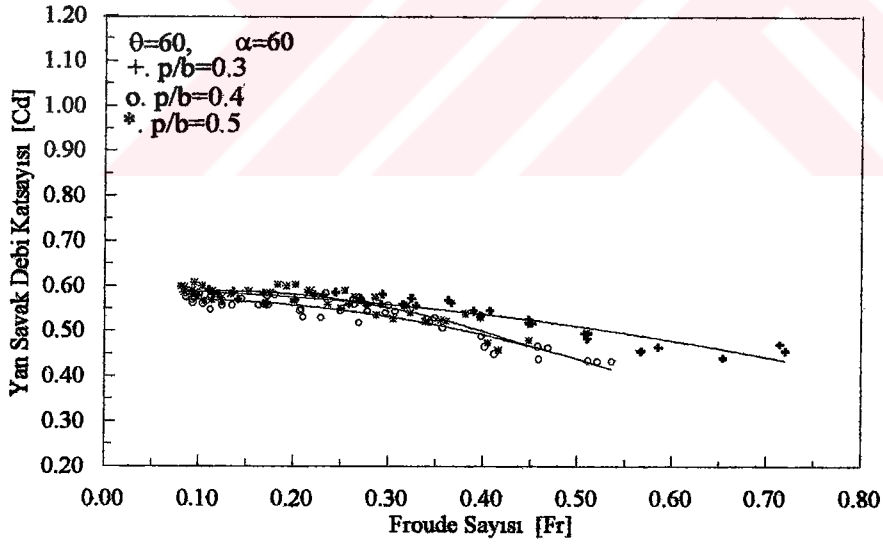
Şekil 5.51  $\theta=60^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $30^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.



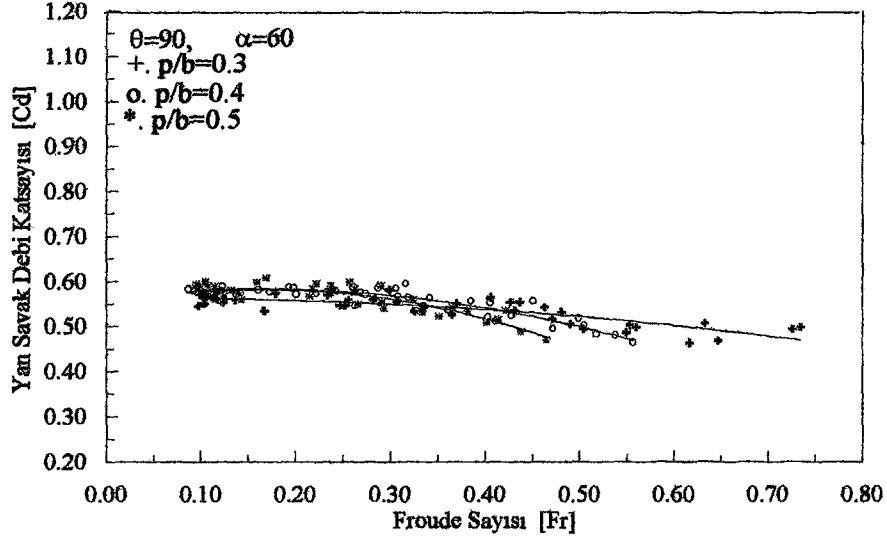
Şekil 5.52  $\theta=90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $30^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.



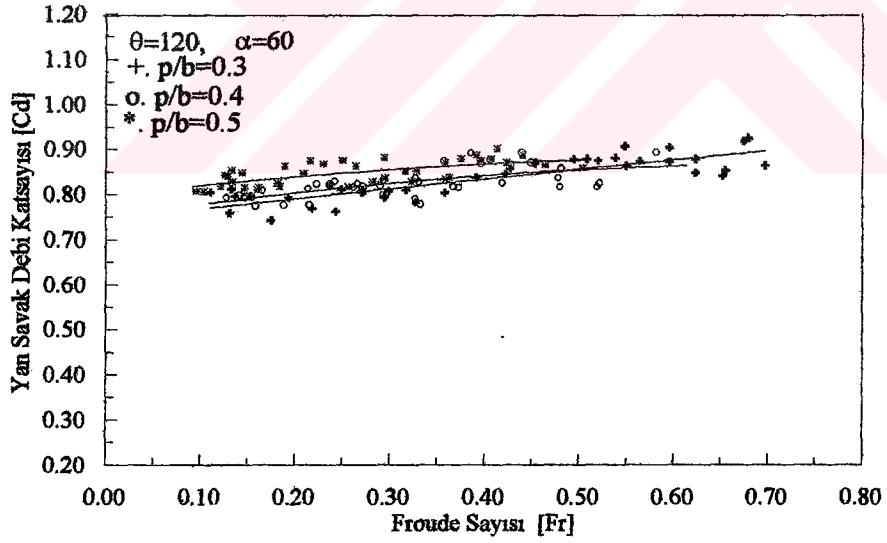
Şekil 5.53  $\theta=120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $30^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.



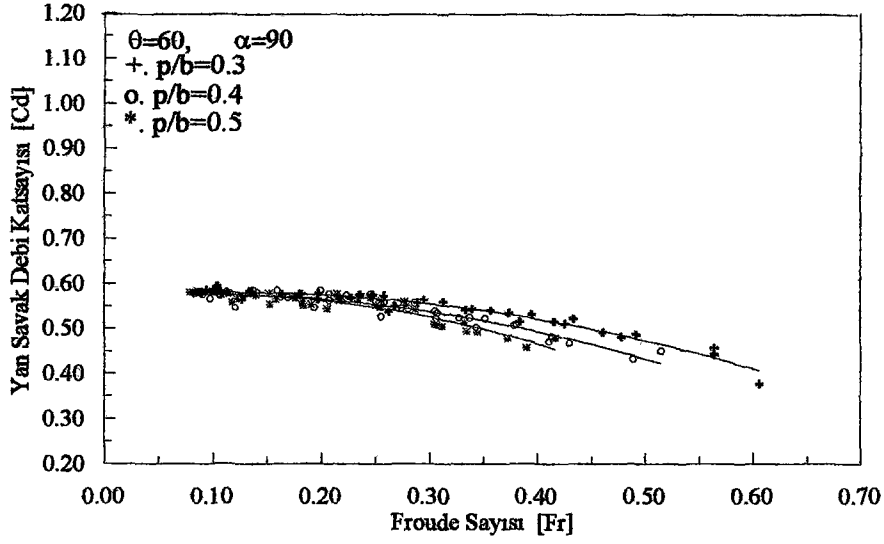
Şekil 5.54  $\theta=60^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $60^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.



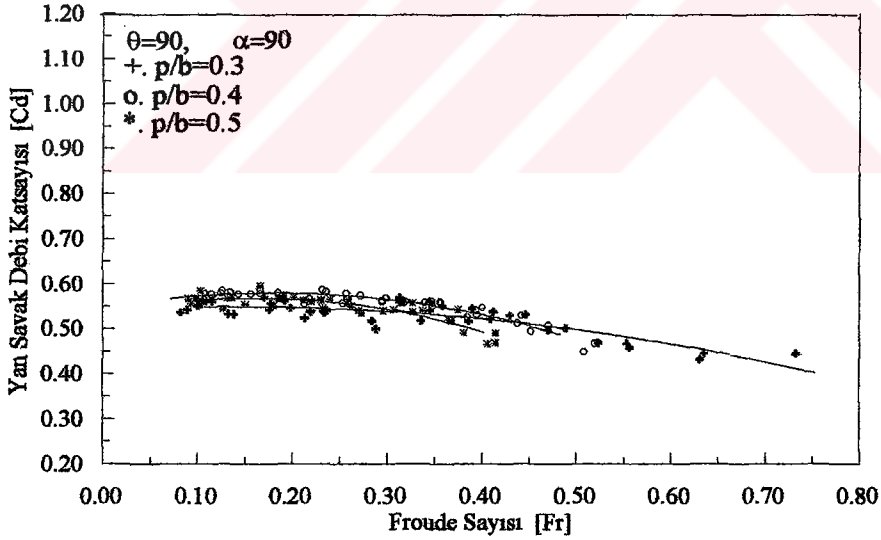
Şekil 5.55  $\theta=90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $60^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.



Şekil 5.56  $\theta=120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $60^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.

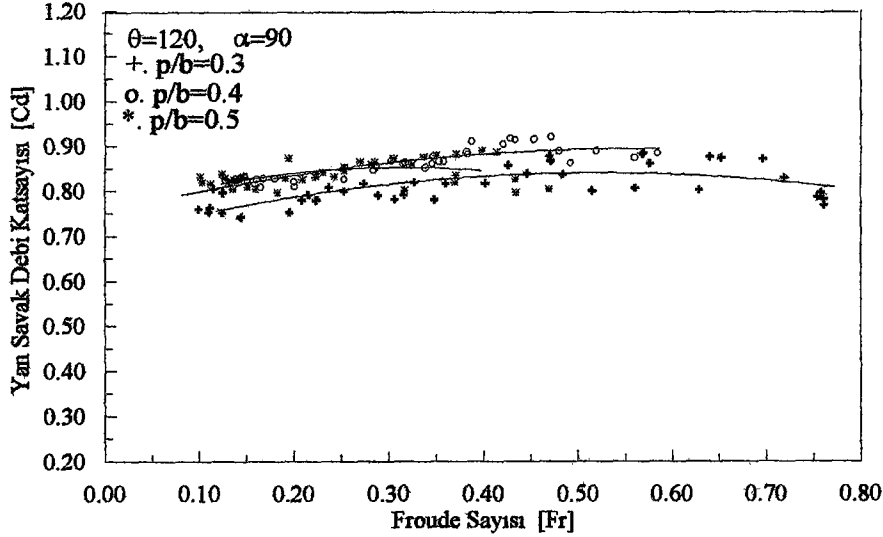


Şekil 5.57  $\theta=60^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $90^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.



Şekil 5.58  $\theta=90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $90^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.





Şekil 5.59  $\theta=120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $90^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının eşik yüksekliklerine göre değişimi.

### 5.2.7 $C_d$ yan savak debi katsayısının $(h_1/b)$ 'ye göre incelenmesi.

#### 5.2.7.1 $C_d$ yan savak debi katsayısının $(h_1/b)$ parametresi ile değişiminin eşik yüksekliğine göre incelenmesi.

Kıvrımın tüm açılarında  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  ve  $120^\circ$ 'lik tepe açılara sahip üçgen yan savaklarda  $h_1/b$ 'ye göre değişim farklı eşik yüksekliklerine göre incelenmiş ve yapılan değerlendirmeler (Şekil 5.60 dan Şekil 5.71 e kadar) aşağıda verilmiştir.

Kıvrım girişinde  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  ve  $120^\circ$ 'lik tepe açılara sahip üçgen yan savaklarda  $h_1/b$ 'nin artan değerlerinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının arttığı görülmüştür (Şekil 5.60, Şekil 5.61 ve Şekil 5.62). Şekillerden de görüleceği gibi aynı  $h_1/b$  değerinde eşik yüksekliğinin değişmesiyle  $C_d$  yan savak debi katsayısı farklı değerler almaktadır. Fakat  $60^\circ$ 'lik tepe açılı üçgen yan savakta  $h_1/b=0.45$  (Şekil 5.60),  $90^\circ$ 'lik yan savakta  $h_1/b=0.38$  (Şekil 5.61) ve  $120^\circ$ 'lik yan savakta ise  $h_1/b=0.25$  (Şekil 5.62) civarında eğriler kesişmekte ve bu noktadan sonra eşik yüksekliklerinden bağımsız olduğu görülmektedir.

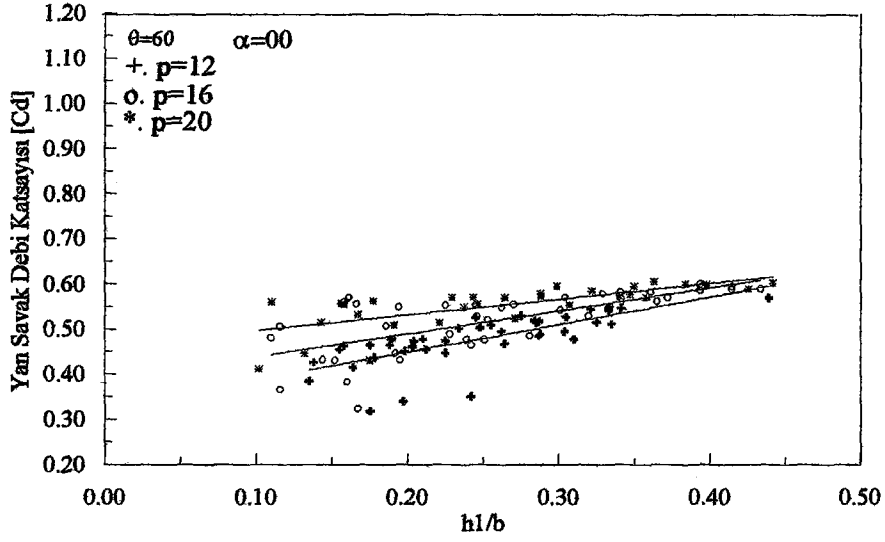
Kıvrım girişinde  $h_1/b$ 'nin küçük değerlerinde eşik yüksekliğine göre farklılıklar meydana gelmekte ve en büyük  $C_d$  yan savak debi katsayısı değerleri 0.20m. eşik yükseklikli yan savaklarda elde edilmektedir. Eşik yüksekliği azaldıkça  $h_1/b$  değerlerine bağlı olarak  $C_d$  yan savak debi katsayısı azalma göstermektedir. Aynı nap yüksekliğinde eşik yüksekliğinin artmasıyla ana kanaldaki akım derinliği daha büyük olmakta ve meydana gelen sekonder akımın şiddeti artmaktadır. Bu etki belli bir nap yüksekliğinden sonra değişim meydana getirmemektedir.

Kıvrım bölgesinde ise,  $60^\circ$ 'lik ve  $90^\circ$ 'lik tepe açılara sahip üçgen yan savaklarda tüm eşik yüksekliklerinde  $h_1/b$  değerinin artmasıyla  $C_d$  yan savak debi katsayısı artmaktadır (Şekil 5.62 den Şekil 5.71 e kadar). Savaklara ait eğriler incelendiğinde eğriler arasında küçük farklılıklar olmasına karşın aynı değerlere sahip olmaktadır.

$120^\circ$ 'lik tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda ise eğriler arasındaki değişim diğer tepe açılı yan savaklara göre biraz daha fazla olmaktadır (Şekil 5.65, 5.68 ve 5.71). Ancak diğer tepe açılı yan savaklarda olduğu gibi değerler aynı kalmaktadır. Şekillerden de görüleceği gibi, deney sonuçlarında meydana gelen saçılımlar oldukça fazladır. Bunun nedeni aynı nap yüksekliklerinde elde edilen  $C_d$  yan savak debi katsayıları farklı Froude sayılarında elde edilmesindedir. Froude sayısının değişimiyle  $C_d$  yan savak debi katsayısının değişim gösterdiği daha önceki bölümlerde de bahsedilmiştir.

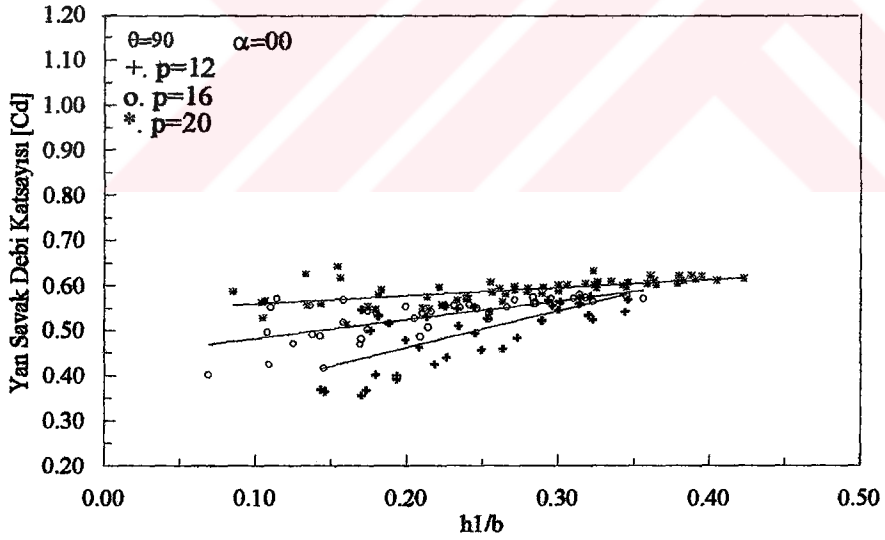
Bunun yanı sıra farklı eşik yüksekliklerinde  $C_d$  yan savak debi katsayısında fazla bir değişim gözlenmemiştir.  $h_1/b$  parametresine bağlı olarak  $C_d$  yan savak debi katsayısına kıvrım bölgesinde eşik yüksekliğinin etkisi görülmemektedir.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesinden görüleceği gibi  $h_1/b$  parametresine bağlı olarak  $C_d$  yan savak debi katsayısı artmaktadır. Bu artış L savaklanma uzunluğunun artmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü, L savaklanma uzunluğu  $h_1$  nap yüksekliğine ve  $\theta$  üçgen yan savak tepe açısına bağlı olarak değiştiğinden  $[L = 2h_1 \tan(\theta/2)]$ ,  $h_1$  arttıkça L savaklanma uzunluğu artmakta ve daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi artan savaklanma uzunluğuna bağlı olarak  $C_d$  yan savak debi katsayısı da artmaktadır.



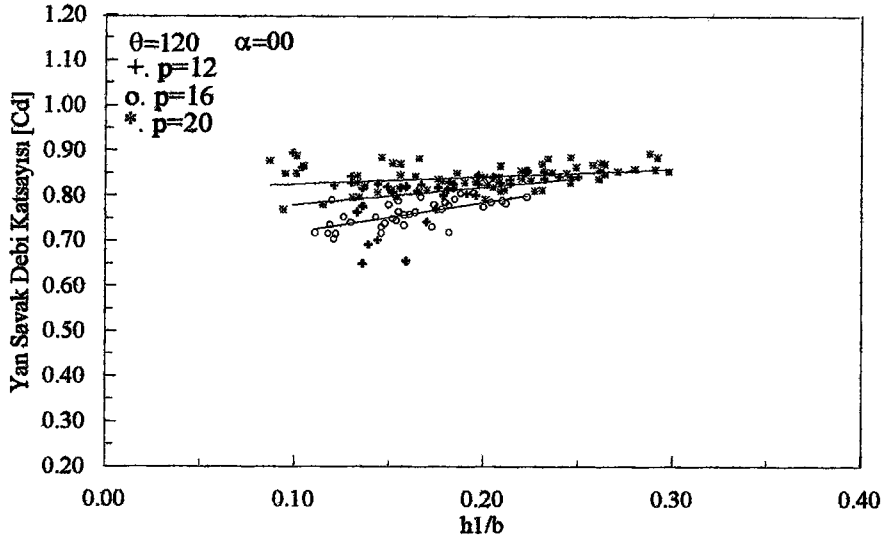
Şekil 5.60  $\theta=60^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta kıvrım girişinde

$C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



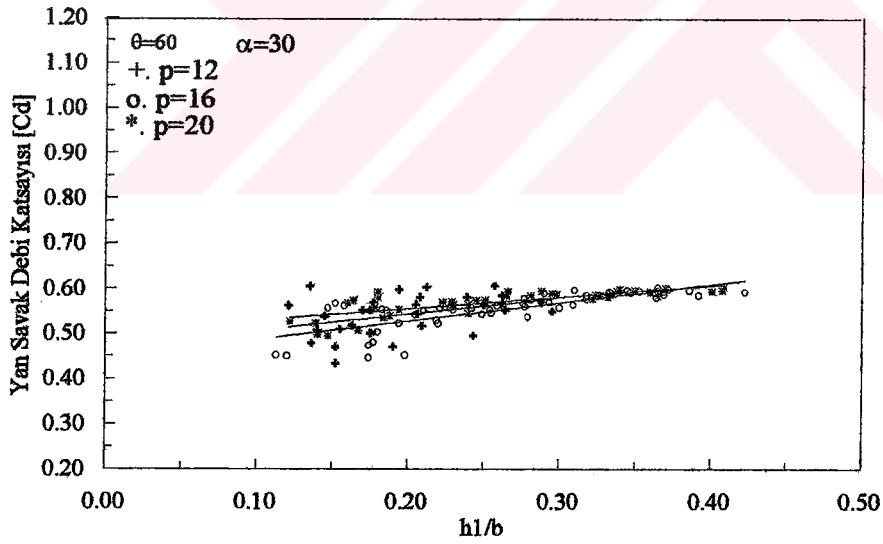
Şekil 5.61  $\theta=90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta kıvrım girişinde

$C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



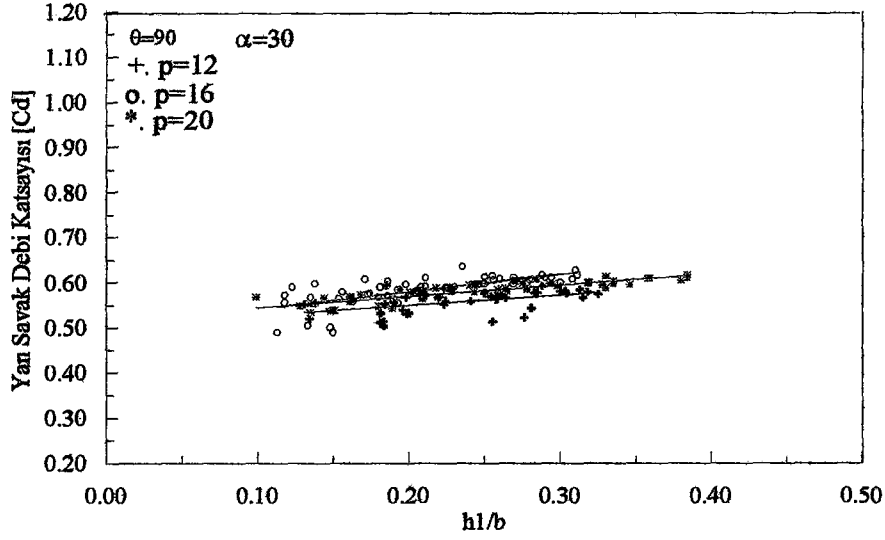
Şekil 5.62  $\theta=120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta kıvrım girişinde

$C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.

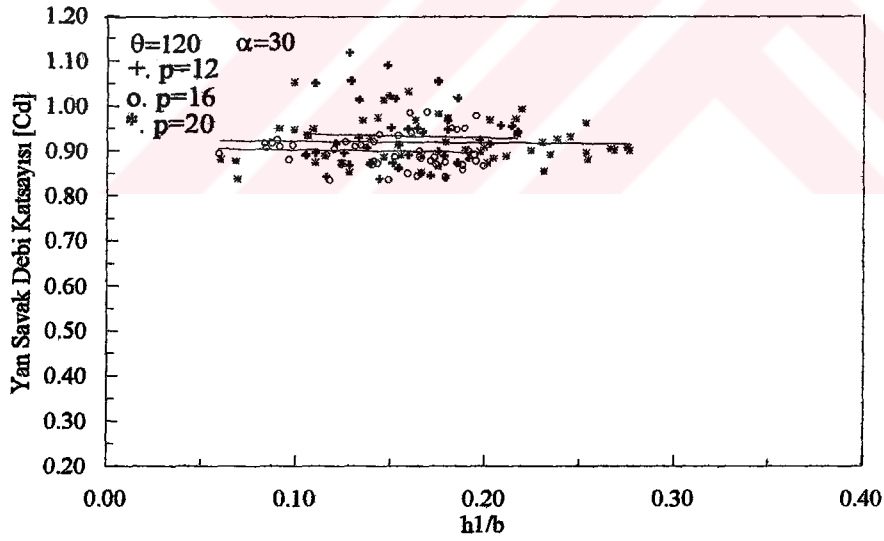


Şekil 5.63  $\theta=60^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $30^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde

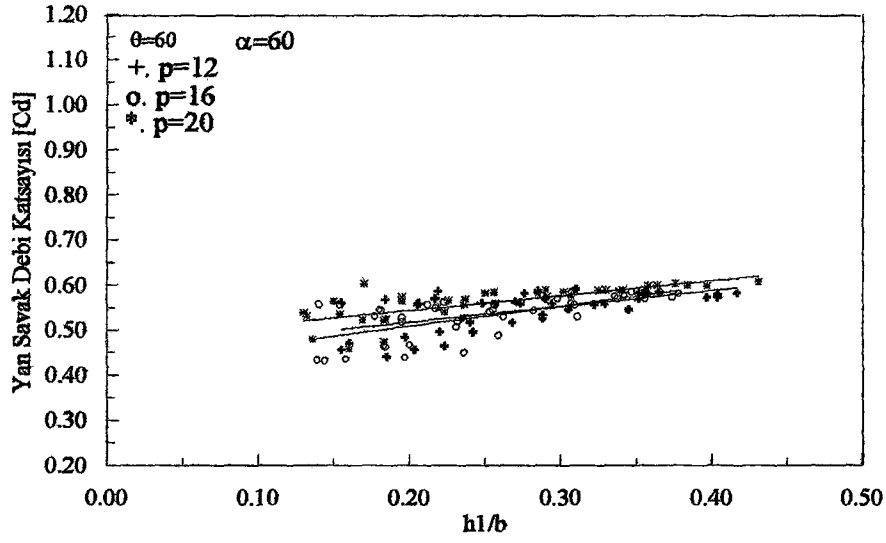
$C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



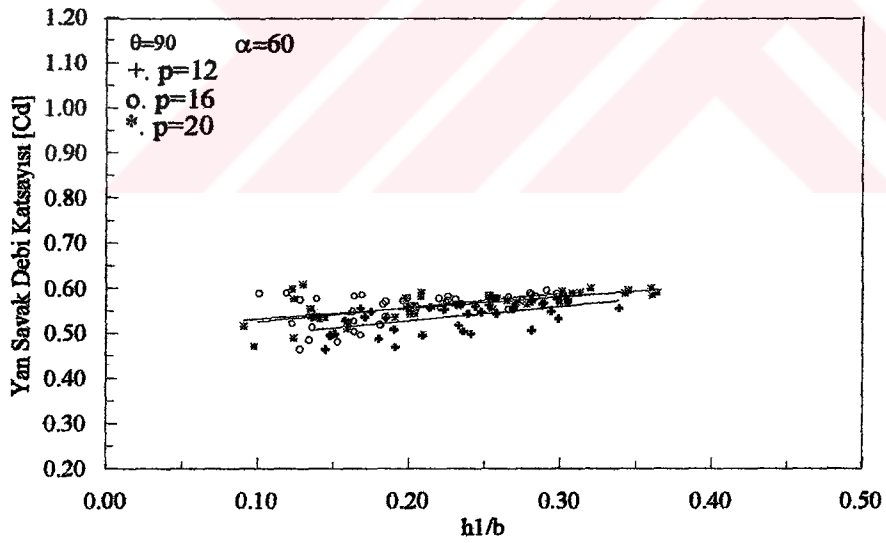
Şekil 5.64  $\theta=90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $30^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



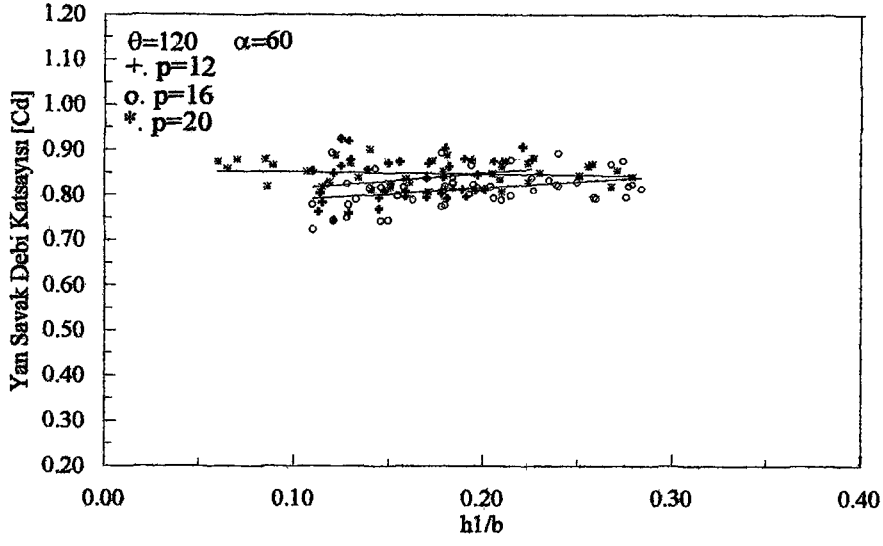
Şekil 5.65  $\theta=120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $30^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



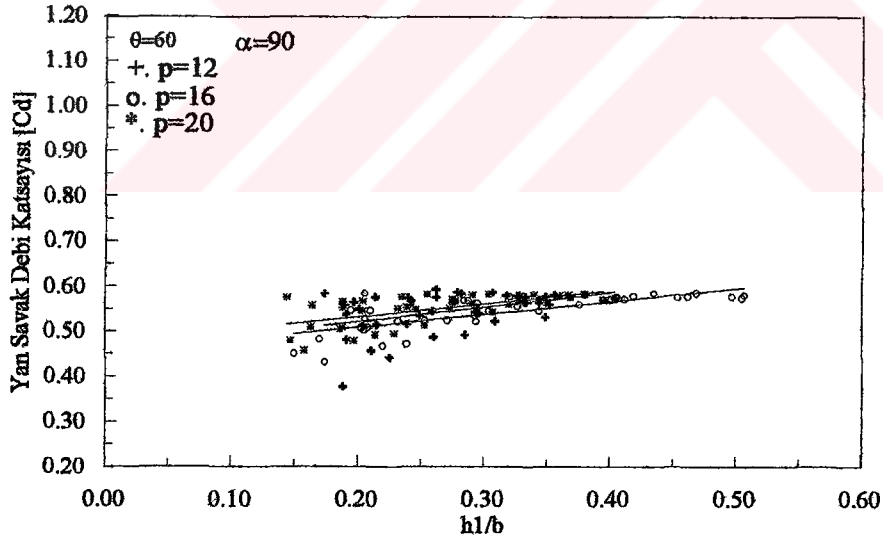
Şekil 5.66  $\theta=60^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $60^\circ$ lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



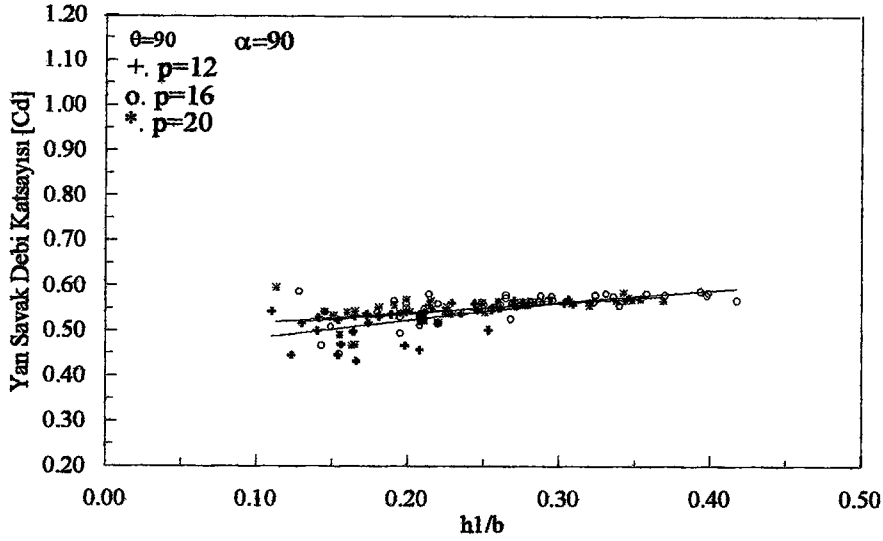
Şekil 5.67  $\theta=90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $60^\circ$ lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



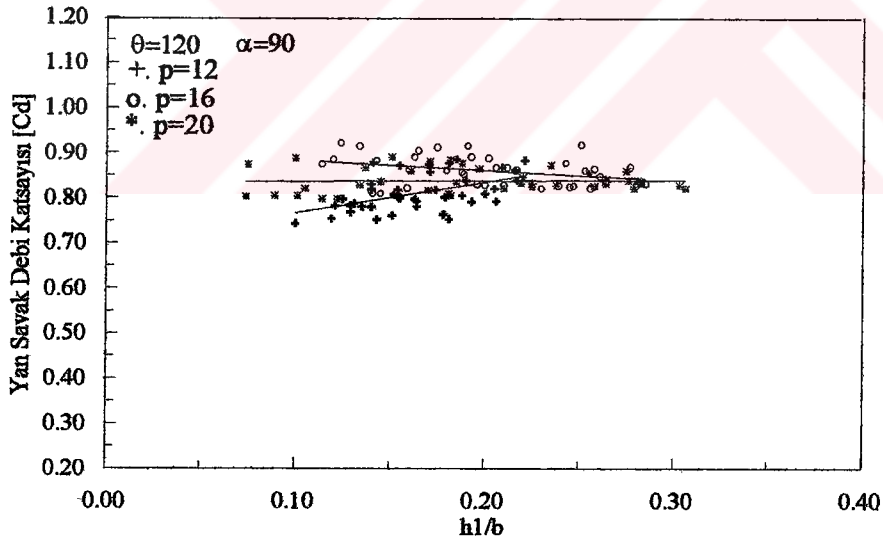
Şekil 5.68  $\theta=120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $60^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



Şekil 5.69  $\theta=60^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $90^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



Şekil 5.70  $\theta=90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $90^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



Şekil 5.71  $\theta=120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savakta  $90^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



### 5.2.7.2 $C_d$ yan savak debi katsayısının ( $h_1/b$ ) parametresi ile değişiminin tepe açısına göre incelenmesi.

Kıvrımın tüm açılarında 0.12 m, 0.16 m ve 0.20 m eşik yüksekliklerine sahip üçgen yan savaklarda  $h_1/b$ 'ye göre değişim farklı tepe açlarına göre incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda (Şekil 5.72 den Şekil 5.83 e kadar) verilmiştir.

60° ve 90° tepe açısına sahip  $p=0.20$  m eşik yükseklikli üçgen yan savaklarda  $C_d$  yan savak debi katsayısı  $h_1/b$  parametresinin artan değerleriyle artış göstermektedir. 60° ve 90° lik yan savaklardaki bu artışın eğilimlerinin aynı olduğu ve  $C_d$  yan savak debi katsayılarının birbirine çok yakın değerler aldığı görülmüştür (Şekil 5.74, Şekil 5.77, Şekil 5.80 ve Şekil 5.83).

60° ve 90° tepe açısına sahip  $p=0.16$  m eşik yükseklikli yan savaklarda (Şekil 5.73, Şekil 5.76, Şekil 5.79 ve Şekil 5.82) değişimin  $p=0.20$  m eşik yükseklikli yan savaklardakine benzer şekilde,  $C_d$  yan savak debi katsayılarının  $h_1/b$  parametresinin artan değerleriyle artış gösterdiği fakat  $C_d$  yan savak debi katsayısının aldığı değerlerde tepe açlarına göre farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu farklılık Şekil 5.15'de verilmiş olan III. bölgenin yan savak tepe açısına bağlı olarak yan savak akımına katılıp katılmamasından kaynaklanmaktadır.

60° ve 90° tepe açısına sahip  $p=0.12$  m eşik yüksekliğine sahip yan savaklarda ise,  $p=0.20$  m eşik yükseklikli yan savaklarda meydana gelen değişimin aynısı görülmüştür (Şekil 5.72, Şekil 5.75, Şekil 5.78 ve Şekil 5.81).

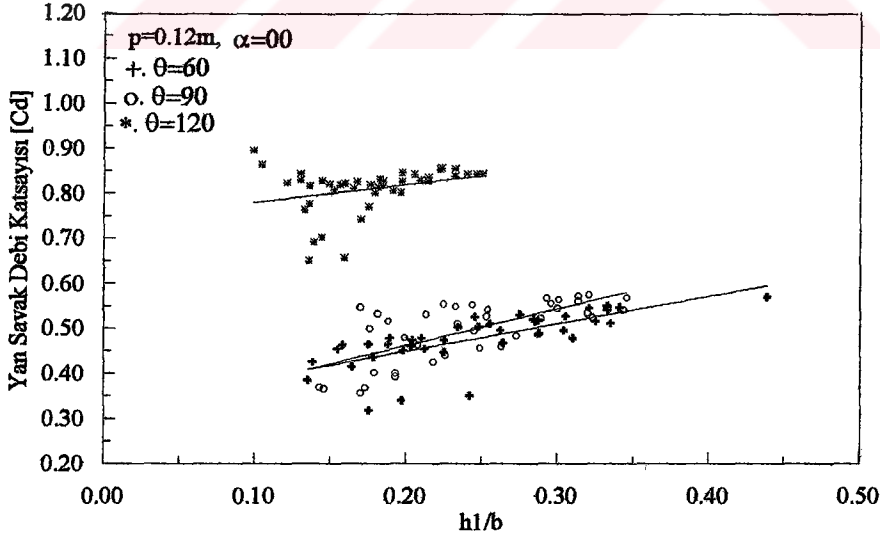
120° tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda  $p=0.12$  m eşik yüksekliğinde kıvrım boyunca  $C_d$  yan savak debi katsayısının artan  $h_1/b$  değerleriyle artış gösterdiği 0.16 ve 0.20 m eşik yüksekliklerinde ise aynı değerde kaldığı veya azalma gösterdiği görülmüştür.

120°'lik üçgen yan savakta bu azalmanın Bölüm 5.1.2'de belirtildiği gibi, El-Khashap (1975) tarafından verilen Şekil 5.15'deki III bölgesinin eşik yüksekliğine bağlı olarak yanal akıma katılıp katılmamasından kaynaklanmaktadır. Eşik yüksekliğine bağlı olarak III bölgesindeki

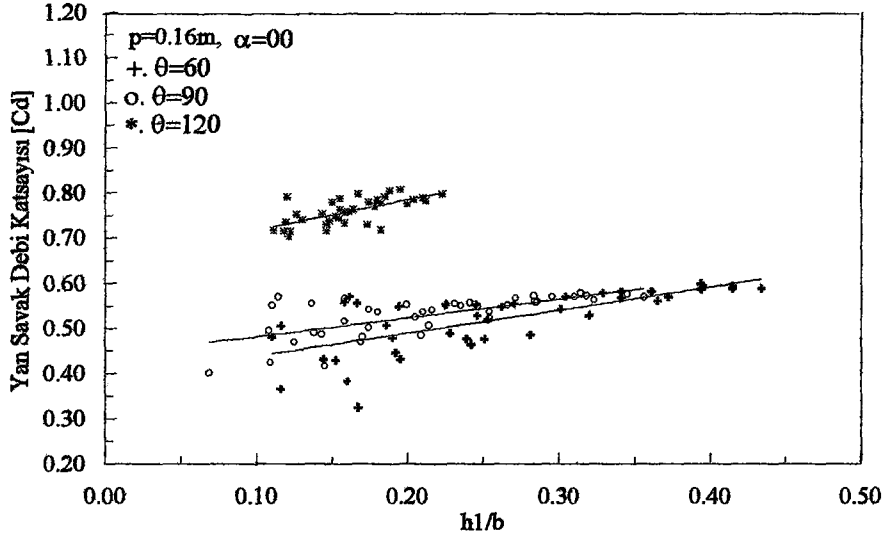
akımın bir kısmı veya tamamı yanal akıma katılmakta veya hiç katılmamaktadır. Ancak eşik yüksekliğine bağlı olarak meydana gelen bu değişim  $60^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda görülmemiştir.

$h_1$  nap yüksekliğinin ve  $\theta$  tepe açısının artmasıyla  $C_d$  yan savak debi katsayısı artmakta ve  $120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda  $C_d$  yan savak debi katsayısı diğer yan savaklara göre daha büyük değerler almaktadır. Aynı nap yüksekliğinde,  $\theta$  tepe açısı diğer yan savaklara göre  $120^\circ$ 'lik savakta daha büyük olduğundan  $L$  savaklanma uzunluğu ( $L = 2h_1 \tan \frac{\theta}{2}$ ) daha büyük değerler almaktadır.  $L$  savaklanma uzunluğu arttıkça da ana kanaldaki sekonder akımın etkisi daha fazla hissedilmektedir. Ayrıca, nap yüksekliğinin artmasıyla  $L$  savaklanma uzunluğunda meydana gelecek artış  $120^\circ$ 'lik yan savakta  $60^\circ$  ve  $90^\circ$ 'lik savaklara oranla daha fazla olmaktadır.

$L$  savaklanma uzunluğu,  $L = 2h_1 \tan \frac{\theta}{2}$  eşitliğine bağlı olarak değiştiğinden, farklı tepe açılarında sahip üçgen yan savaklarda şekillerdeki eğrilerin eğilimlerinden aynı  $L$  savaklanma uzunluklarında  $C_d$  yan savak debi katsayılarının aynı değerleri alabileceği söylenebilir.

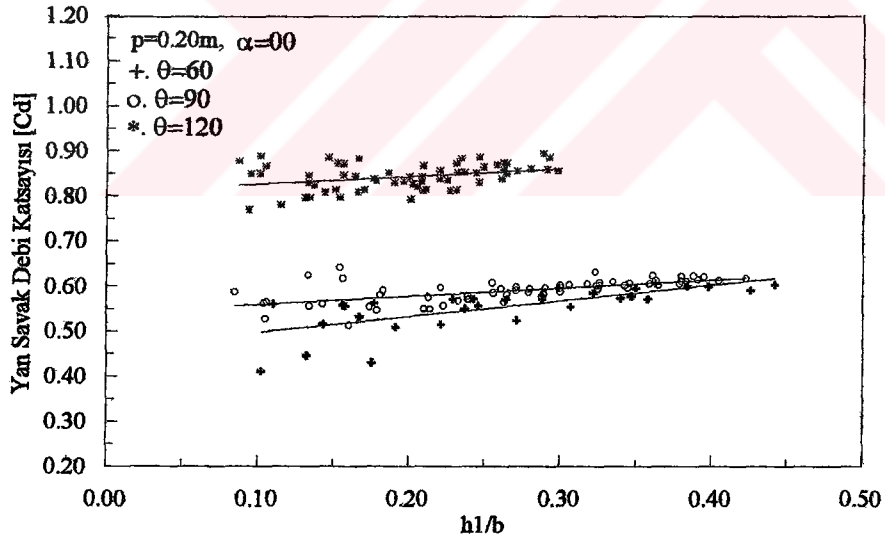


Şekil 5.72  $p=0.12$  m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta kıvrım girişinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



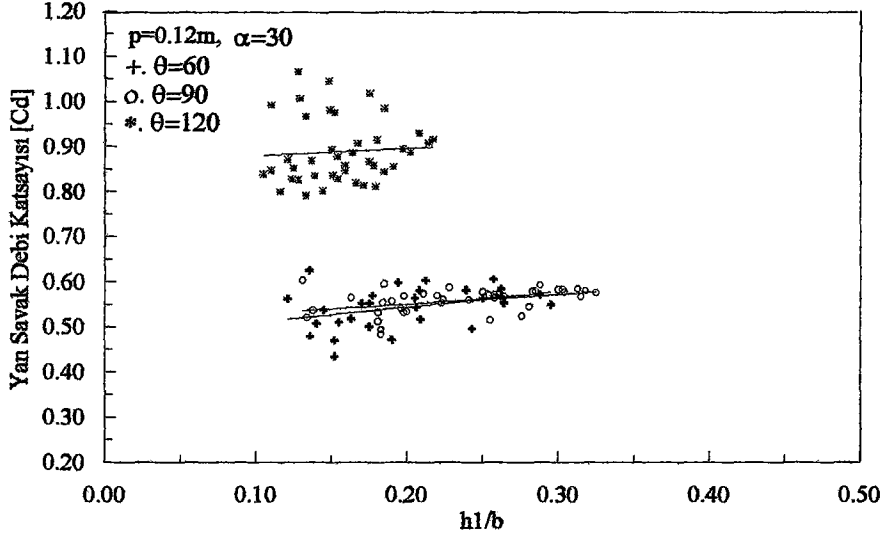
Şekil 5.73  $p=0.16$  m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta kıvrım girişinde

$C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.

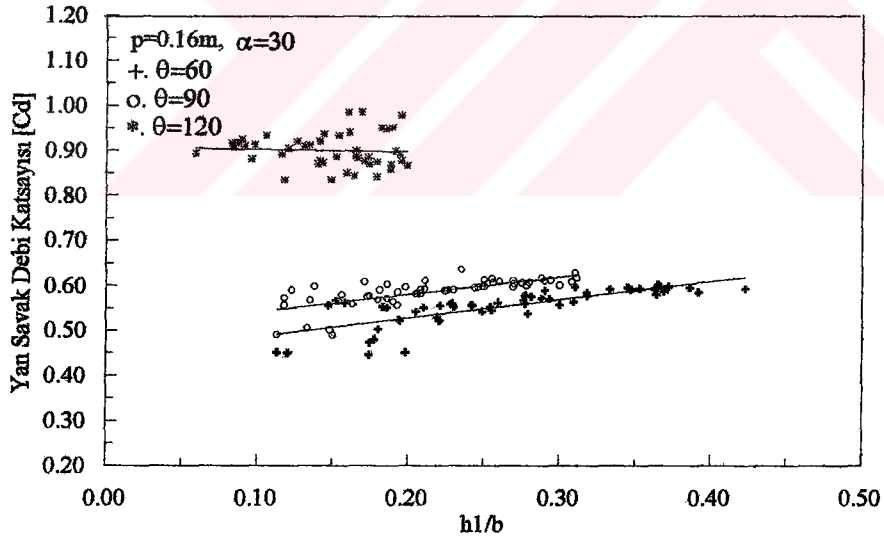


Şekil 5.74  $p=0.20$  m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta kıvrım girişinde

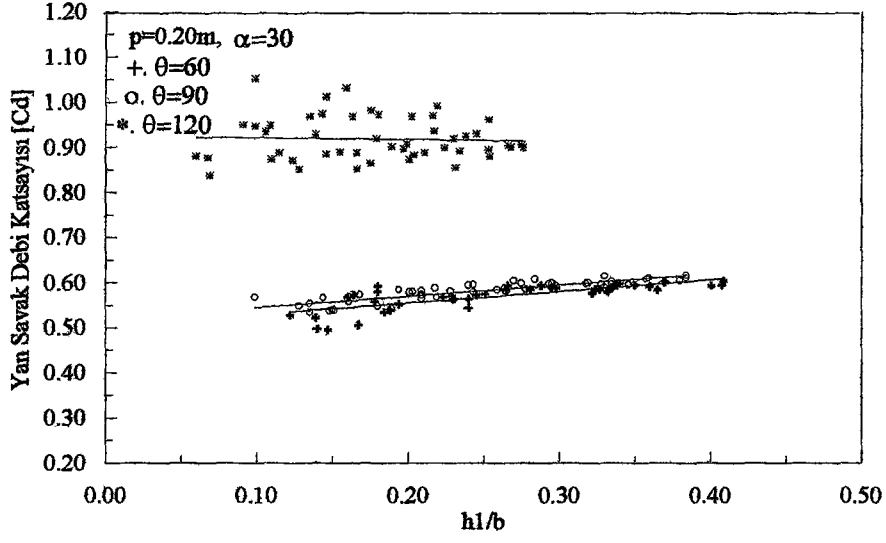
$C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



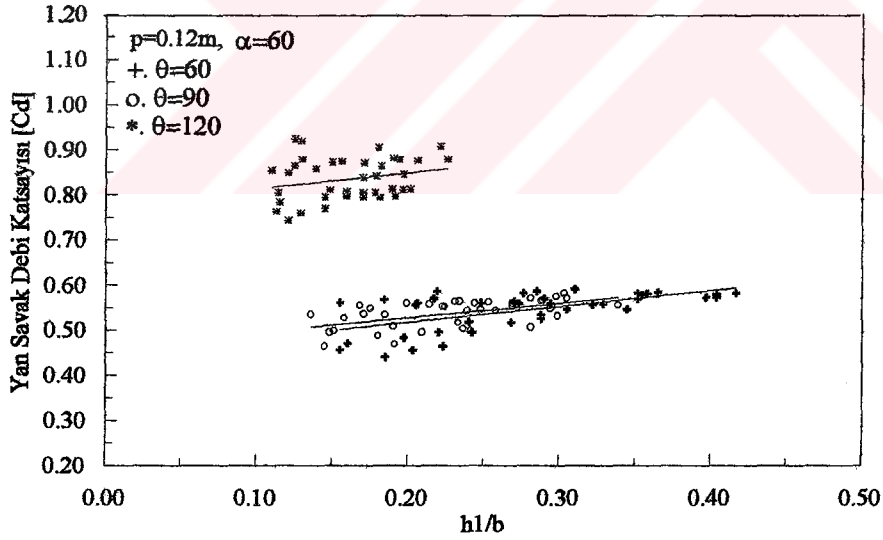
Şekil 5.75  $p=0.12$  m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta  $30^\circ$ lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



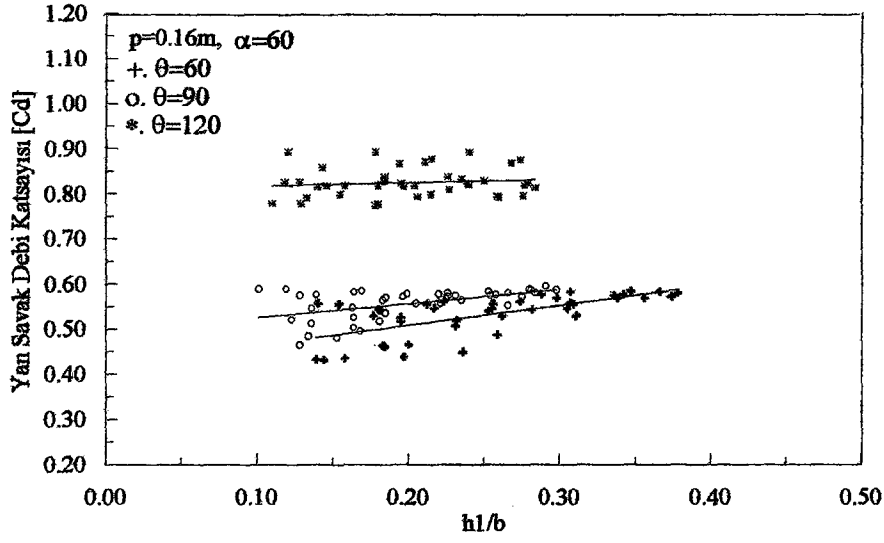
Şekil 5.76  $p=0.16$  m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta  $30^\circ$ lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



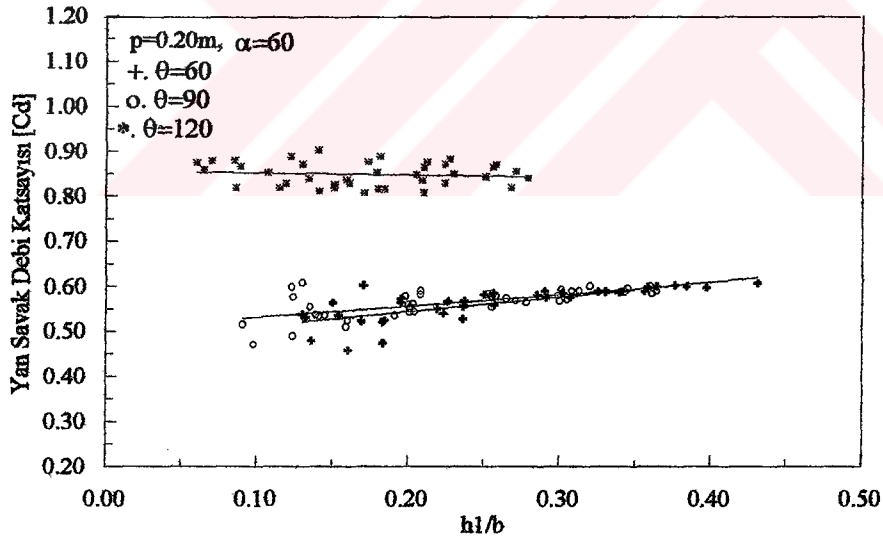
Şekil 5.77  $p=0.20$  m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta  $30^\circ$ lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



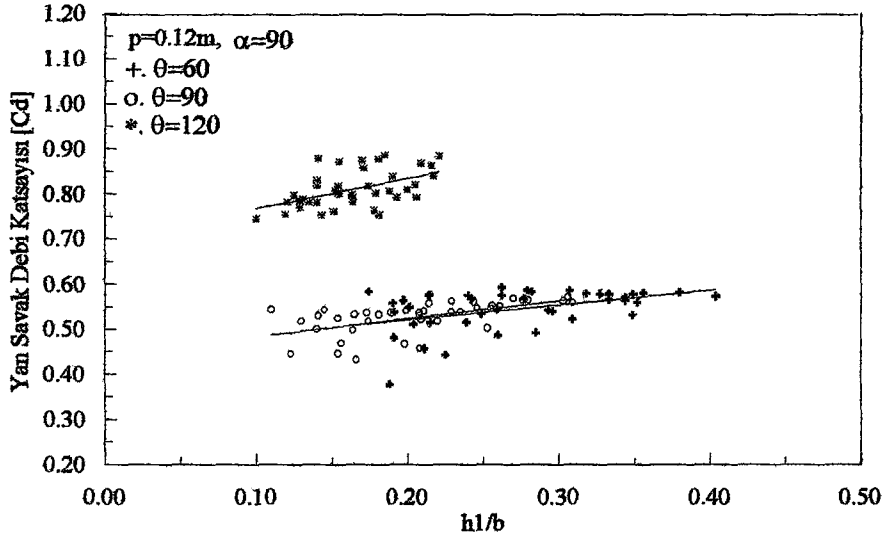
Şekil 5.78  $p=0.12$  m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta  $60^\circ$ lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



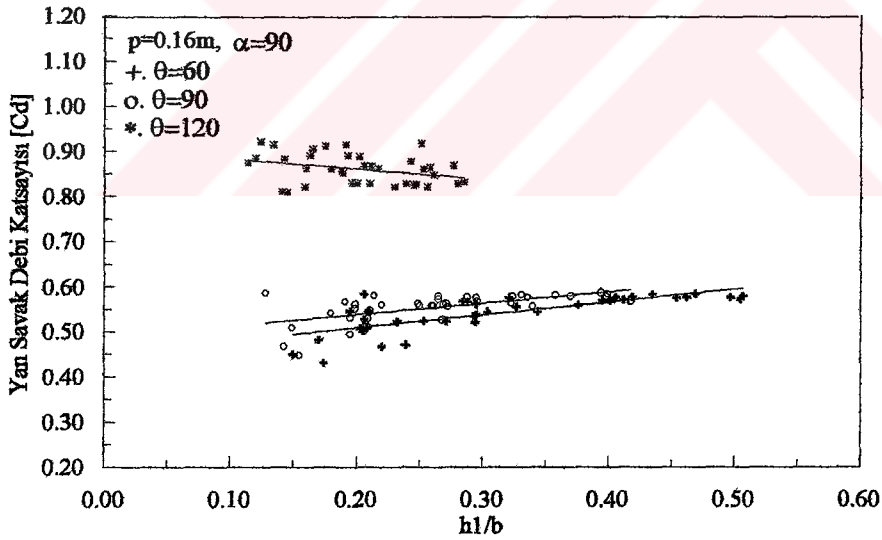
Şekil 5.79  $p=0.16$  m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta  $60^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



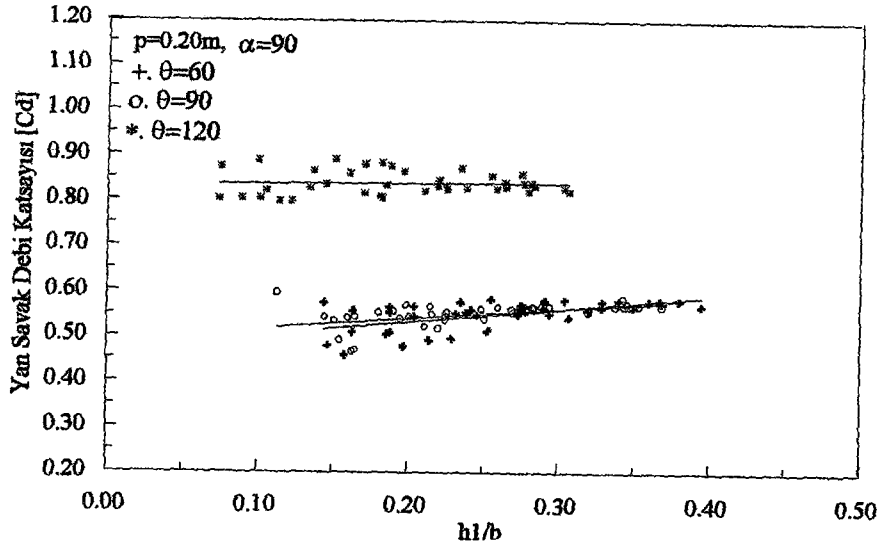
Şekil 5.80  $p=0.20$  m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta  $60^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



Şekil 5.81  $p=0.12$  m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta  $90^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



Şekil 5.82  $p=0.16$  m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta  $90^\circ$ 'lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



Şekil 5.83  $p=0.20$  m eşik yüksekliğine sahip üçgen yan savakta  $90^\circ$ lik kıvrım bölgesinde  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  parametresine göre değişimi.



## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 6.1 Sonuçlar

180°'lik bir kıvrımlı kanalda 90°'lik kıvrım boyunca  $p=0.12$  m,  $p=0.16$  m ve  $p=0.20$  m eşik yükseklikli,  $\theta=60^\circ$ ,  $\theta=90^\circ$  ve  $\theta=120^\circ$ 'lik tepe açılarna sahip üçgen yan savaklarda, farklı akım şartlarında yan savak akımının incelendiği bu çalışmada, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Dikdörtgen enkesitli kıvrımlı bir kanalda  $C_d$  yan savak debi katsayısına etki eden parametreler boyut analiziyle belirlenmiş ve üçgen yan savak debi katsayısının

$$C_d = f(Fr_1, h_1/b, p/b, \theta, \psi, \alpha)$$

boyutsuzlarına bağımlı olduğu bulunmuştur.

2. Nehir rejimli akım şartlarında yapılan deneyler sonucunda, yan savak kretindeki su yüzü profillerinde Froude sayısının küçük değerlerinde minimum noktanın yan savak menbana yakın meydana geldiği, Froude sayısının artışıyla minimum noktanın daha belirgin hale gelerek yan savak mansabına doğru ilerlediği belirlenmiştir.

3.  $\theta=60^\circ$  ve  $\theta=90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda yan savak kretindeki su yüzü profillerinde alçalma daha belirgin olmakta, 120°'lik yan savaklarda ise alçalmanın diğer tepe açılı yan savaklara göre daha az olduğu ve küçük Froude sayılarında yataya yakın gittiği tespit edilmiştir.

4. Ana kanal ekseninde su yüzü profilinin yataya yakın gittiği, yan savağa giriş etkisinden kaynaklanan savak kreti üzerindeki su yüzü profilinde meydana gelen alçalmanın ana kanal ekseninde hissedilmediği ve ana kanal eksenindeki su yüzü profiline giriş etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

5. Küçük Froude sayılarında ( $Fr_1 < 0.3$ ), yan savak mansap kısmında ters akımın meydana geldiği ve iç kıyıda bir durgunluk bölgesinin oluştuğu görülmüştür. Froude sayısı arttıkça ( $Fr_1 \approx 0.5$ ), ters akım yan savak mansabına doğru ilerleyerek kaybolmakta ve bu andan itibaren yan savak mansap ucunda hidrolik sıçrama meydana gelmektedir.  $Fr_1 > 0.65$  değerlerinde ise yan savak mansabında ana kanalda duran dalgalar meydana gelmektedir.

6. Nehir rejimli akım şartlarında dikdörtgen enkesitli kıvrımlı bir kanaldaki  $C_d$  yan savak debi katsayısı incelenmiştir. İlk önce doğrusal kanal bölgesine yerleştirilen farklı eşik yüksekliklerine ve tepe açlarına sahip üçgen yan savaklarda  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi incelenerek, doğrusal kanaldaki üçgen yan savaklar için Kumar-Pathak (1987) tarafından verilen (1.59) eşitliği ile karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda, Kumar-Pathak (1987) tarafından verilen (1.59) eşitliği ile elde edilen debi katsayılarının bu çalışma sonucunda elde edilen değerlerle aynı eğilimde olduğu fakat farklı değerler aldığı görülmüştür. Bu farklılık, gerek deney şartlarının farklı olmasından gerekse araştırmacıların olaya etkili parametreler olan  $L/b$  ve  $p/h_1$  boyutsuzlarını ihmal etmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

7.  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi kıvrım girişinde ( $0^\circ$ ) de incelenmiş ve doğrusal kısımda elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda kıvrımdan dolayı meydana gelen sekonder akımın kıvrım girişinde de etkili olduğu ve  $C_d$  yan savak debi katsayısını artırıcı bir etki yaptığı belirlenmiştir.

8. Her bir yan savak için  $C_d$  yan savak debi katsayısının kıvrım boyunca Froude sayısı ile değişimi incelendiğinde en büyük debi katsayıları kıvrımın  $30^\circ$ lik bölgesinde elde edilmiştir.  $60^\circ$  ve  $90^\circ$ lik kıvrım bölgelerinde ise  $C_d$  yan savak debi katsayılarının azalarak gittiği ve en düşük değerlerin kıvrım girişinde ( $\alpha=0^\circ$ ) meydana geldiği belirlenmiştir. Ayrıca küçük Froude sayılarında eğriler birbirlerine yakın değerler almakta, buna karşılık Froude sayısı arttıkça değişim daha da artmaktadır.

9. Kıvrım boyunca  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $60^\circ$  ve  $90^\circ$ lik yan savaklarda Froude sayısının artmasıyla azaldığı, buna karşın  $120^\circ$ lik yan savaklarda ise arttığı belirlenmiştir. Bu

da L savaklanma uzunluğunun artması sonucu sekonder akımın şiddetlenmesinden kaynaklanmaktadır.

10. Doğrusal kısımda ve kıvrım boyunca  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişimi incelendiğinde, yan savak tepe açısının artmasıyla  $C_d$  yan savak debi katsayısının arttığı görülmüştür.  $60^\circ$  ve  $90^\circ$ 'lik yan savaklar arasında bu artış fazla olmamasına karşın,  $120^\circ$ 'lik yan savaklarda diğer yan savaklara göre %30'luk bir artış meydana geldiği belirlenmiştir.

11. Kıvrım boyunca  $p/b$  boyutsuz parametresinin Froude sayısına bağlı olarak incelenmesi sonucunda,  $C_d$  yan savak debi katsayısına etkisinin fazla olmadığı, fakat Froude sayısının belli bir değerinden sonra küçük farklılıkların olduğu görülmüştür.

12.  $C_d$  yan savak debi katsayısının artan  $h_1/b$  değerleriyle arttığı ve eşik yüksekliklerine bağlı olarak kıvrım boyunca önemli bir değişim göstermediği belirlenmiştir.

13.  $C_d$  yan savak debi katsayısının  $h_1/b$  boyutsuz parametresine bağlı olarak değişimi tepe açılara göre incelendiğinde, tüm eşik yüksekliklerinde  $60^\circ$  ve  $90^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda  $h_1/b$  parametresinin artan değerleriyle  $C_d$  yan savak debi katsayısının arttığı gözlenmiştir. Ancak  $120^\circ$  tepe açısına sahip üçgen yan savaklarda ise artan  $h_1/b$  değerleri ile  $C_d$  yan savak debi katsayısının 0.12m eşik yüksekliğinde artış gösterdiği, 0.16 ve 0.20m'lik eşik yüksekliklerinde ise azalma gösterdiği belirlenmiştir.

14. Sekonder akımın etkisiyle, doğrusal kanallarda bilinenlerin aksine kıvrımlı kanallarda kanal ekseninde belirlenen daha küçük Froude sayılarında ( $Fr_1 \approx 0.7$ ) sel rejimli akım şartlarının olduğu gözlenmiştir.

15. Kıvrımlı bir kanal boyunca nehir rejimli akım şartlarında,  $C_d$  yan savak debi katsayısının Froude sayısı ile değişiminin 2. Dereceden parabolik bir karakter taşıdığı belirlenmiştir.

## 6.2 Öneriler

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, yan savaklar hakkında bundan sonra yapılacak çalışmalara ışık tutması açısından aşağıdaki önerilerin yapılmasında yarar görülmüştür.

1.  $C_a$  yan savak debi katsayısının değişimi, farklı eğrilik yarıçaplarına sahip kanallar ve farklı ana kanal genişlikleri için de incelenmelidir.
2. Kıvrımlı kanallardaki yan savak akımları, sel rejimli akım durumlarında da ( $Fr_1 > 1$ ) araştırılmalıdır.

**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.

Ağaçcıoğlu, H., (1998), "Kıvrımlı Kanallarda Enine Su Yüzü Eğiminin Yan Savak Debi Katsayısına Etkisi", İ.M.O. Teknik Dergi, Yazı 126, 1741-1761.

Akan, A. O., (1974), "Computer Programming for Flow Over Side Weirs", Journal of the Hydraulics Division, Discussion, Proc. ASCE, 100(HY3):489-490.

Allen, J. W., (1957), "The Discharge of Water Over Side Weirs in Circular Pipes", Proc. Of the ICE, London, 6:270-287.

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.

Balmforth, D. J. ve Sarginson, E. J., (1977), "Experimental Investigation of Flow Over Side Weirs", Journal of the Hydraulic Division, Discussion, Proc., ASCE, 103(HY3):941-943.

Blaisdell, F. W., (1977), "Experimental Investigation of Flow Over Side Weirs", Journal of the Hydraulic Division, Discussion, Proc., ASCE, 103(HY9):1107-1108.

Camp, T. R., (1940), "Lateral Spillway Channels, Transactions", ASCE, 105:606.

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.

Chao, J. L. ve Trussell, R. R., (1980), "Hydraulic Design of Flow Distribution Channels", Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, 106(EE2):321-333.

Cheong, H. F., (1991), "Discharge Coefficient of Lateral Diversion from Trapezoidal Channel", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Proc., ASCE, 117(4):461-475.

Chu, H. L. ve Mostafa, M. G., (1976), "Unsteady Flow over Side Weirs in Open Channels", H3:25-38, California State University, U.S.A., International Symposium on Unsteady Flow in Open Channels.

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 Laterali, 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., (1976), "Experimental Investigation of Flow over Side Weirs", Journal of the Hydraulics Division, Proc., A.S.C.E., 102(HY9):1255-1268.

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'écoulement 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, 3<sup>rd</sup>. 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.

Jain, S. C. ve Fischer, E. E., (1982), "Uniform Flow over Skew Side Weir", Journal of the Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 108(2):163-166.

Müller, R., (1943), Theoretische Grundlagen der Fluss und Wildbachverbaungen (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.

Kumar, C. P. ve Pathak, S. K., (1987), "Triangular Side Weirs", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 113(1):98-105.

Nimmo, W. H. R., (1928), "Side Spillways for Regulating Diversion Canals", Trans., ASCE, 92:1561-1584.

Ramamurthy, A. S. ve Carballada, L., (1980), "Lateral Weirs Flow Model", Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proc., ASCE, 1:9-25.

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.

Ramamurthy, A. S. ve Satich, M. G., (1986), "Discharge Characteristics of Flow Past a Floor Slot", Journal of the Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 112(1):20-27.

Rangu Ruju, K. G., Prasad, B. ve Gupta, S. K., (1979), "Side weirs in rectangular channels", Journal of the Hydraulics Division, Proc., ASCE, 105(HY5):547-554.

Rijin, L. C., (1990), "Principles of Fluid Flow and Surface Waves in Rivers", Estuaries, Seas and Oceans, University of Utrech Department of Physical Geograpy, 7:137-142.

Rozovskii, I. L., (1957), Flow of Water in Bends of Open Channels, Published by the Academy of Sciences of the Ukranianian SSR., Kiev.

Schmidt, M., (1955-56), Die Berechnung von Streicwehren, Die Wasserwirtschaft, Berlin.

Shukry, A., (1950), "Flow Around Bends in Open Flume", Journal of Hydraulics Eng., ASCE, 115:751-759.

Singh, R., Manivannan, D. ve Satyanarayana, T., (1994), "Discharge Coefficient of Rectangular Side Weirs", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Proc., ASCE, 120(4):814-819.

Smith, K. V. H., (1973), "Computer Programming for Flow over Side Weirs", Journal of the Hydraulic Division, Proc., ASCE, 99(HY3):495-508.

Smith, K. V. H., (1974), "Computer Programming for Flow over Side Weirs", Journal of the Hydraulic Division, Closure, Proc., ASCE, 100(HY1):1722-1723.

Soliman, M. M. ve Tinney, E. R., (1968), "Flow Around 180° Bends in Open Rectangular Channels", Journal of the Hydraulic Division, ASCE, 94(HY4):893-908.

Subramanya, K. ve Awasthy, S. C., (1972), "Spatially Varied Flow over Side Weirs", Journal of Hydraulic Division, Proc., ASCE, 98(HY1):1-10.

Swamee, P. K., Pathak, S. K., ve Masoud, S. A., (1994), "Side Weir Analysis Using Elementary Discharge Coefficient", ASCE, 120(4):742-755.

Swamee, P. K., Pathak, S. K., Mohan, M., Agraval, S. K. ve Masoud, S. A., (1994), "Subcritical Flow Over Rectangular Side Weir", ASCE, 120(1):212-217.

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.

Vriend, D. ve Struiksma, (1983), Flow and Bend Deformation in River Bends, Delft Hydraulic Laboratory, 317, The Netherlands.

Woodward, S. M. ve Posey, C. J., (1941), Hydraulics of Study Flow in Open Channels, John Wiley and Sons, Inc., New York.

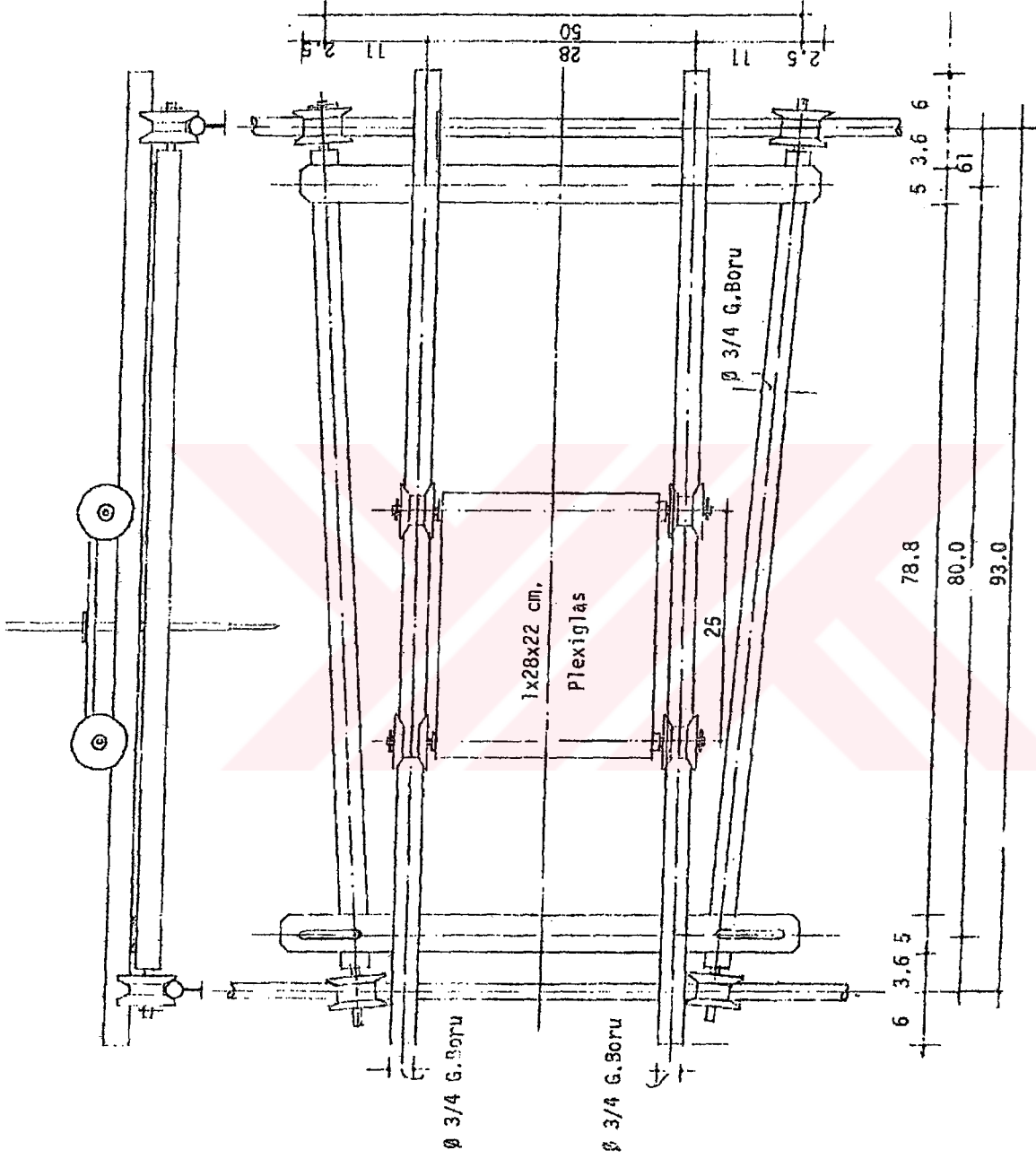
Yeh, K. C. ve Kennedy, J. F., (1993), "Moment Model of Nonuniform Channel Bend Flow. I: Fixed Bends", Journal of Hydraulic Engineering, 119(7):776-795.

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.

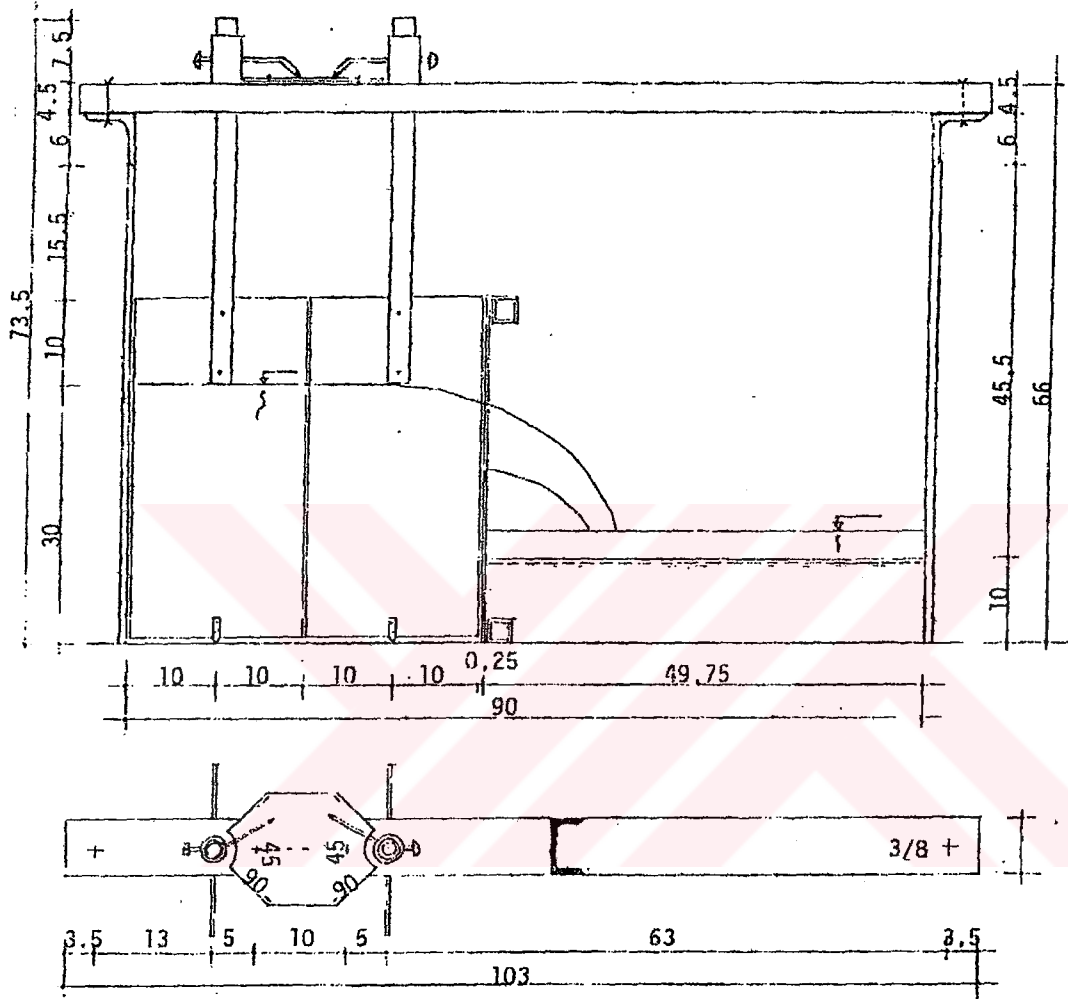


## EK 1 Hareketli seviye ölçüm arabası





## EK 2 Ana kanal seviye ayar kapağı



## EK 3 Basic programında yazılmış bilgisayar programı

```

3 PRINT "KIVRIM AÇISI NEDİR"
4 INPUT O
5 LPRINT TAB(5); "KIVRIM AÇISI="; TAB(12); "(O)"
20 PRINT "YAN SAVAK TEPE AÇISI NEDİR"
30 INPUT TETA
40 LPRINT TAB(5); "YAN SAVAK TEPE AÇISI="; TETA; TAB(12); "(O)"
50 PRINT "YAN SAVAK EŞİK YÜKSEKLİĞİ NEDİR"
60 INPUT P
70 LPRINT TAB(5); "YAN SAVAK EŞİK YÜKSEKLİĞİ="; P; TAB(12); "(CM)"
80 PRINT "YAPILAN DENEY SAYISI NEDİR"
90 INPUT S
100 LPRINT TAB(3); "YAPILAN DENEY SAYISI="; S; TAB(12); "(ADET)"
101 PRINT "ANA KANAL TABAN KOTU NEDİR"
102 INPUT C
103 LPRINT TAB(3); "ANA KANAL TABAN KOTU="; C; TAB(12); "(CM)"
104 PRINT "YAN SAVAK KANAL TABAN KOTU NEDİR"
105 INPUT D
106 LPRINT TAB(3); "YAN SAVAK KANAL TABAN KOTU="; D; TAB(12); "(CM)"
110 A = 19.8
120 B = 7.2
130 DIM A(S, 22)
140 FOR I = 1 TO S
210 PRINT "ANA KANAL SU SEVİYESİ NEDİR"
220 INPUT A(I, 3)
230 PRINT TAB(30); "ANA KANAL SU SEVİYESİ="; A(I, 3); TAB(50); "(CM)"
233 NEXT I
235 FOR I = 1 TO S
240 PRINT "YAN SAVAK EKSENİNDE SU SEVİYESİ NEDİR"
250 INPUT A(I, 4)
260 PRINT TAB(20); "ANA KANAL EKSENİNDEKİ SU SEVİYESİ="; A(I, 4);
    TAB(30); "(CM)"
263 NEXT I
265 FOR I = 1 TO S
270 PRINT "ANA SAVAK NAP YÜKSEKLİĞİ NEDİR"
280 INPUT A(I, 5)
290 PRINT TAB(30); "ANA SAVAK NAP YÜKSEKLİĞİ="; A(I, 5); TAB(50); "(CM)"
293 NEXT I
295 FOR I = 1 TO S
300 PRINT "DİK ÜÇGEN SAVAK NAP YÜKSEKLİĞİ NEDİR"
310 INPUT A(I, 6)
320 PRINT TAB(20); "ÇIKIŞ ÜÇGEN SAVAK NAP YÜKSEKLİĞİ="; A(I, 6);
    TAB(30); "(CM)"
323 NEXT I
325 FOR I = 1 TO S

```

## EK 3 Devamı

```

330 A(I, 7) = A(I, 3) - C
335 PRINT TAB(30); "ANA KANALDAKİ SU DERİNLİĞİ="; A(I, 7); TAB(50); "(CM)"
340 A(I, 8) = A(I, 4) - D
345 PRINT TAB(30); "ANA KANAL EKSENİNDEKİ SU DERİNLİĞİ="; A(I, 8);
    TAB(50); "(CM)"
350 A(I, 9) = A(I, 7) * 40
355 PRINT TAB(30); "ANA KANAL ENKESİT ALANI="; A(I, 9); TAB(50); "(CM2)"
358 A(I, 5) = A(I, 5) - A
360 A(I, 10) = A(I, 5) / 5.108
365 A(I, 10) = A(I, 10) ^ 2.4469
370 PRINT TAB(10); "ANA KANAL DEBİSİ="; A(I, 10); TAB(50); "(LT/SN)"
378 A(I, 6) = (A(I, 6) - B)
380 A(I, 11) = .017 * (A(I, 6) ^ 2.4982)
390 PRINT TAB(10); "YAN SAVAK DEBİSİ="; A(I, 11); TAB(50); , "(LT/SN)"
400 A(I, 12) = (A(I, 10) / A(I, 9)) * 10
410 PRINT TAB(10); "ANA KANAL MENBA AKIM HIZI="; A(I, 12); TAB(50);
    "(M/SN)"
420 A(I, 13) = SQR(9.81 * (A(I, 7) / 100))
430 A(I, 14) = A(I, 12) / A(I, 13)
440 PRINT TAB(10); "ANA KANAL YAN SAVAK MENBAINDA FROUDE SAYISI=";
    A(I, 14)
450 A(I, 15) = A(I, 10) - A(I, 11)
460 PRINT TAB(10); "YAN SAVAK MANSABINDA ANA KANAL DEBİSİ="; A(I,
    15); TAB(50); "(LT/SN)"
465 A(I, 8) = (A(I, 8) - P) / 100
470 A(I, 16) = A(I, 8) ^ 2.5
475 A(I, 17) = TAN(TETA / 2)
480 A(I, 18) = .5908 * A(I, 16) * A(I, 17) * SQR(2 * 9.81)
485 A(I, 19) = A(I, 11) / (A(I, 18) * 1000)
490 IF TETA = 1.047198 GOTO 510
495 IF TETA = 1.570796 GOTO 520
500 A(I, 20) = .642 - .042 * A(I, 14)
505 GOTO 525
510 A(I, 20) = .668 - .381 * A(I, 14)
515 GOTO 525
520 A(I, 20) = .619 - .203 * A(I, 14)
525 PRINT TAB(10); "YAN SAVAK KATSAYISI"; A(I, 19)
530 PRINT TAB(30); "KUM-PAT'A GÖRE YAN SAVAK KATSAYISI"; A(I, 20)
535 A(I, 21) = P / A(I, 7)
540 PRINT TAB(30); "P/h"; A(I, 21)
545 A(I, 22) = 2 * A(I, 8) * TAN(TETA / 2)
550 A(I, 22) = A(I, 22) / .4
555 PRINT TAB(30); "L/B="; A(I, 22)
560 NEXT I

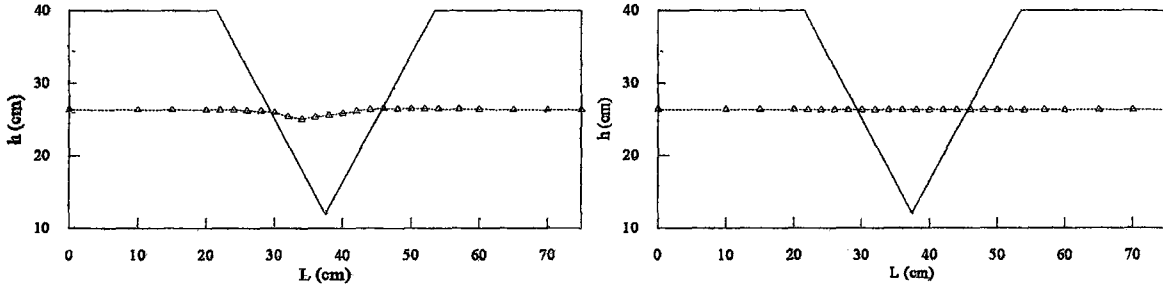
```

## EK 3 Devamı

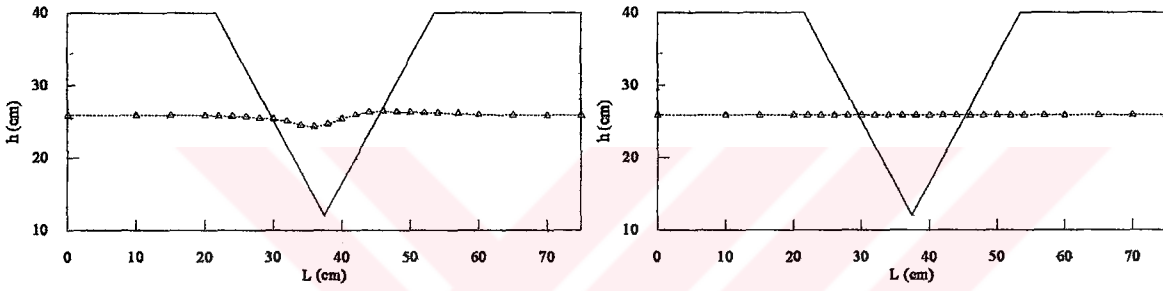
```
565 PRINT "hm he ha hi F1"  
570 FOR I = 1 TO S  
575 PRINT USING "###.##"; A(I, 3); A(I, 4); A(I, 5); A(I, 6); A(I, 14)  
585 NEXT I  
590 LPRINT "hm he ha hi Q1 Q' V1 F1 M1 M2 P/h L/B"  
600 LPRINT "(cm) (cm) (cm) (cm) (lt/sn)(lt/sn) (m/sn) (-) (-) (-) (-) (-)"  
610 LPRINT "-----"  
620 FOR I = 1 TO S  
630 LPRINT USING "###.##"; A(I, 3); A(I, 4); A(I, 5); A(I, 6); A(I, 10); A(I, 11);  
640 LPRINT USING "###.##"; A(I, 12); A(I, 14); A(I, 19); A(I, 20); A(I, 21); A(I, 22)  
650 NEXT I  
660 END
```



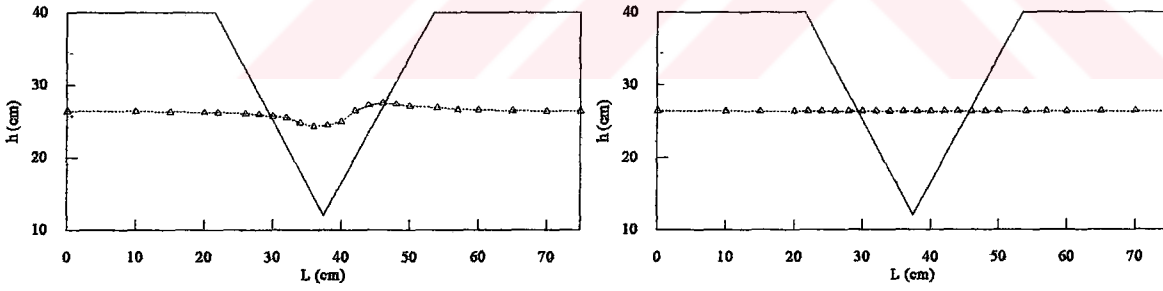
## EK 4 Doğrusal Kanal Bölgesinde Su Yüzü Profilleri



$$Fr_1 = 0.110$$



$$Fr_1 = 0.231$$



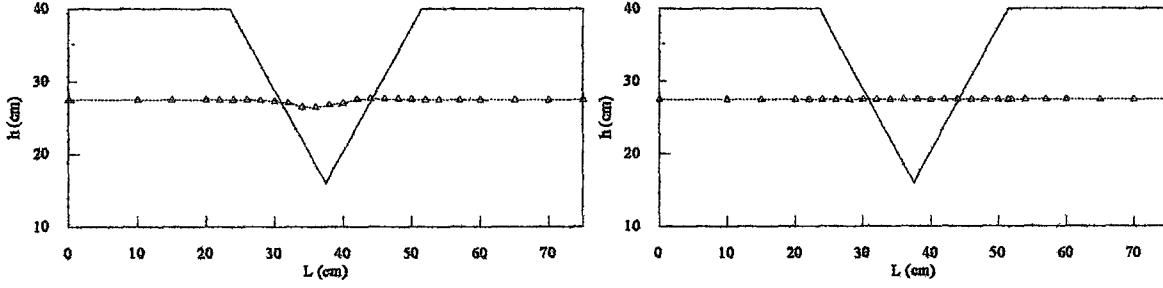
$$Fr_1 = 0.304$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

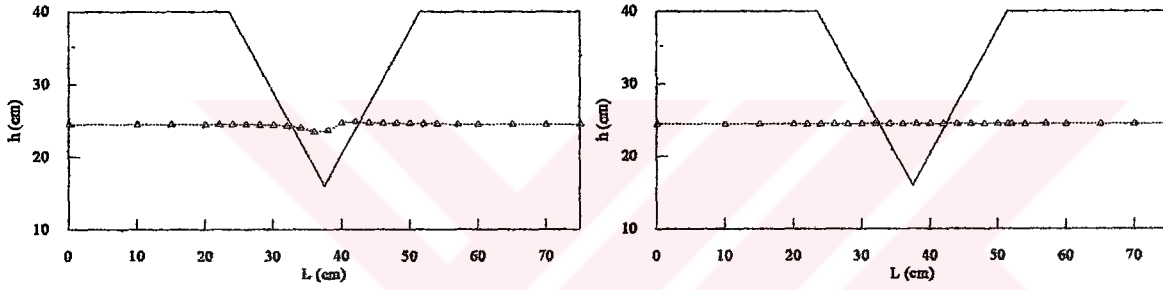
Kanal eksenini boyunca su yüzü profili

$\theta = 60^\circ$  tepe açılı  $p=0.12$  m eşik yükseklikli savak

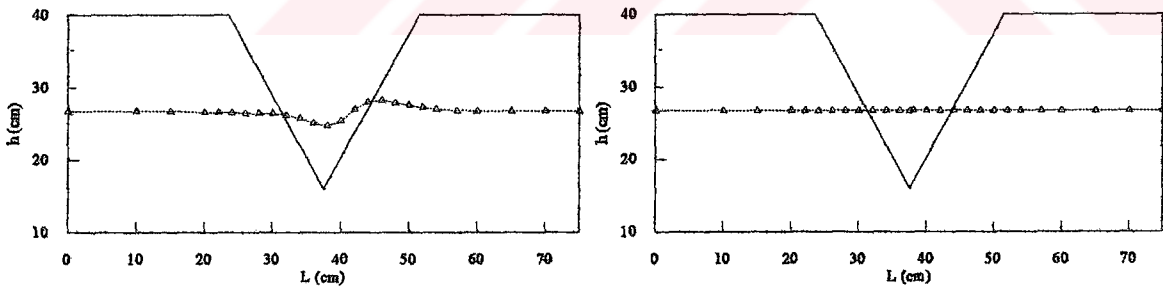
## EK 4 Devamı



$$Fr_1 = 0.111$$



$$Fr_1 = 0.206$$



$$Fr_1 = 0.393$$

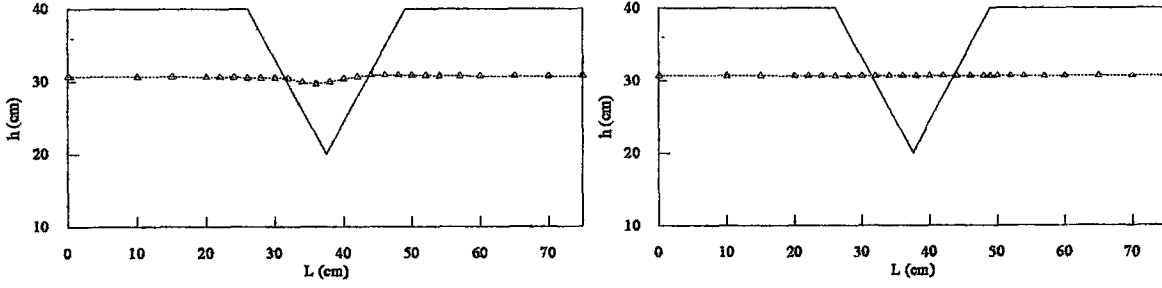
Savak kreti boyunca su yüzü profili

Kanal eksenı boyunca su yüzü profili

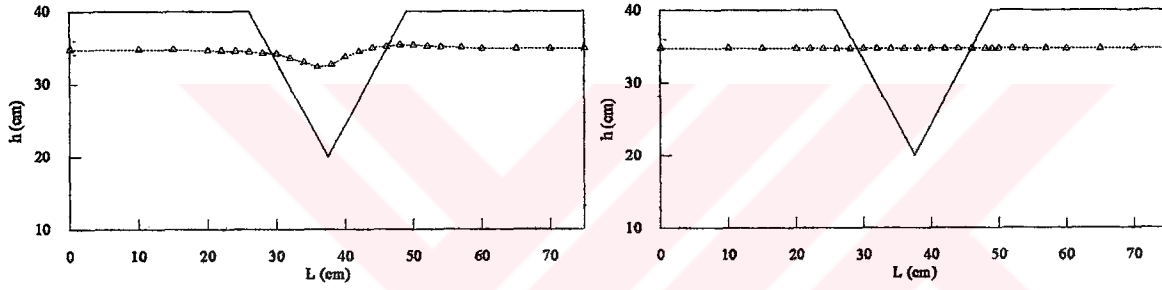
$\theta = 60^\circ$  tepe açılı  $p=0.16$  m eşik yükseklikli savak



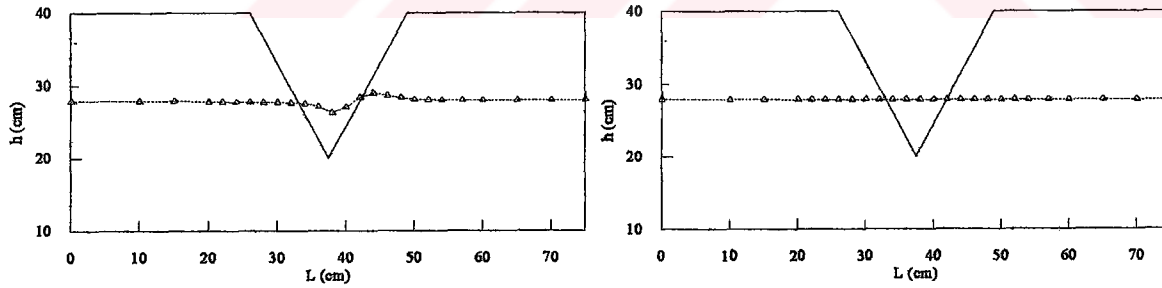
## EK 4 Devamı



$$Fr_1 = 0.106$$



$$Fr_1 = 0.207$$



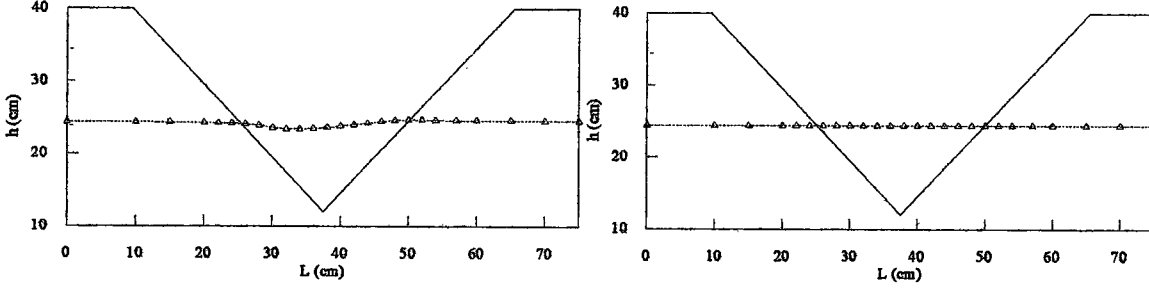
$$Fr_1 = 0.341$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

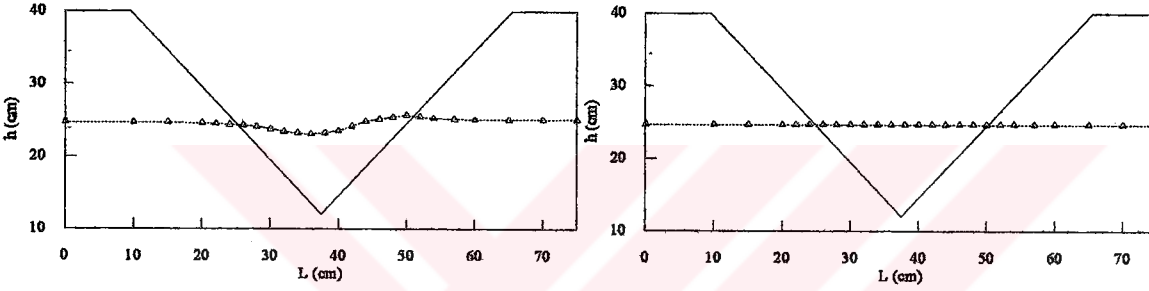
Kanal ekseni boyunca su yüzü profili

$\theta = 60^\circ$  tepe açılı  $p=0.20$  m eşik yükseklikli savak

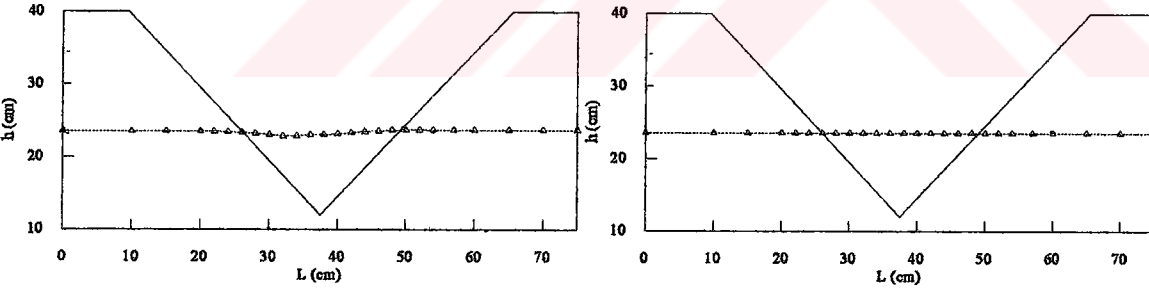
## EK 4 Devamı



$$Fr_1 = 0.109$$



$$Fr_1 = 0.185$$



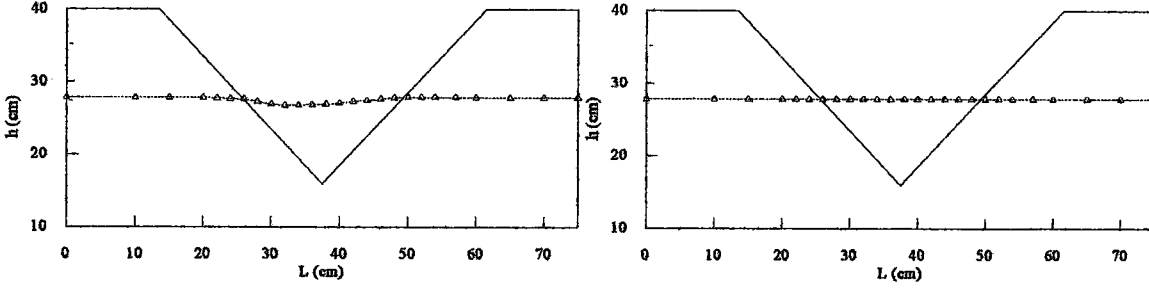
$$Fr_1 = 0.287$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

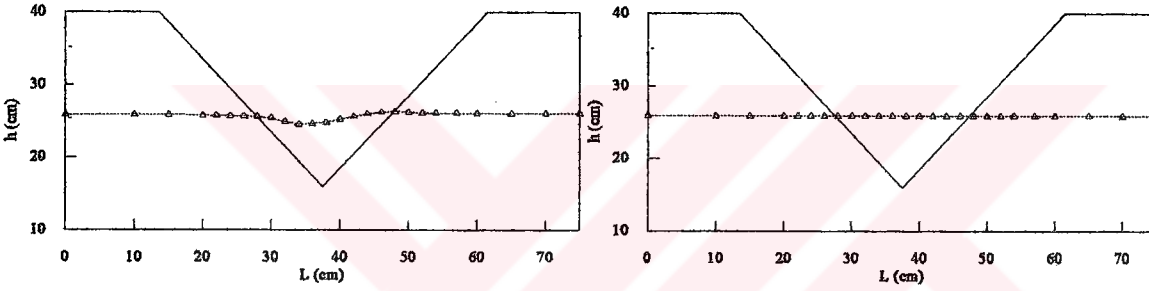
Kanal eksenini boyunca su yüzü profili

$\theta = 90^\circ$  tepe açılı  $p=0.12$  m eşik yükseklikli savak

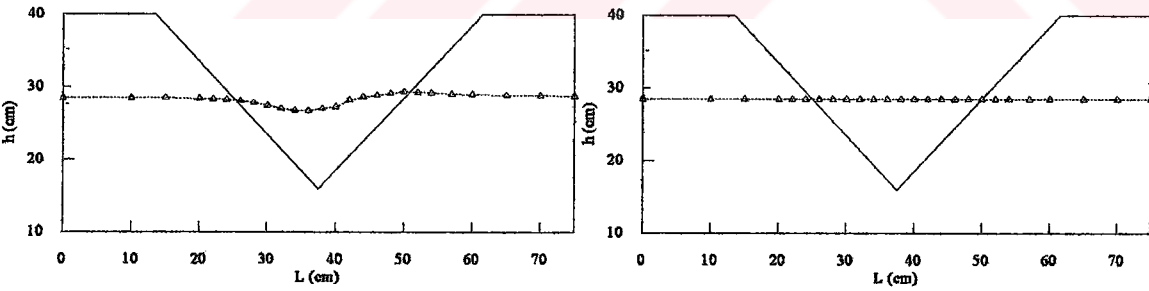
## EK 4 Devamı



$$Fr_1 = 0.097$$



$$Fr_1 = 0.215$$



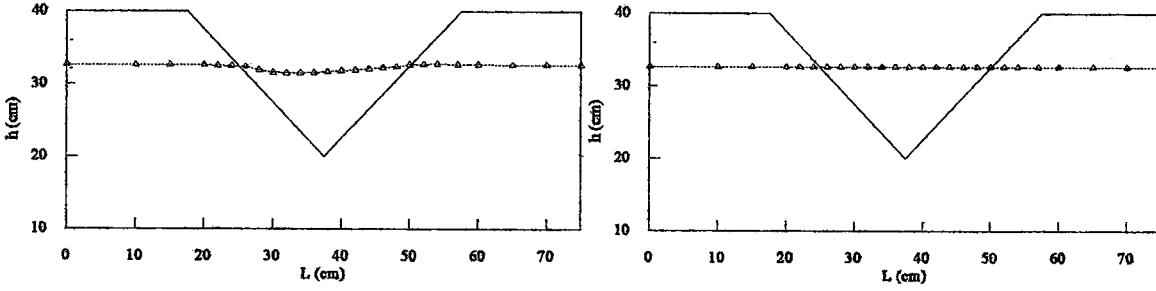
$$Fr_1 = 0.286$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

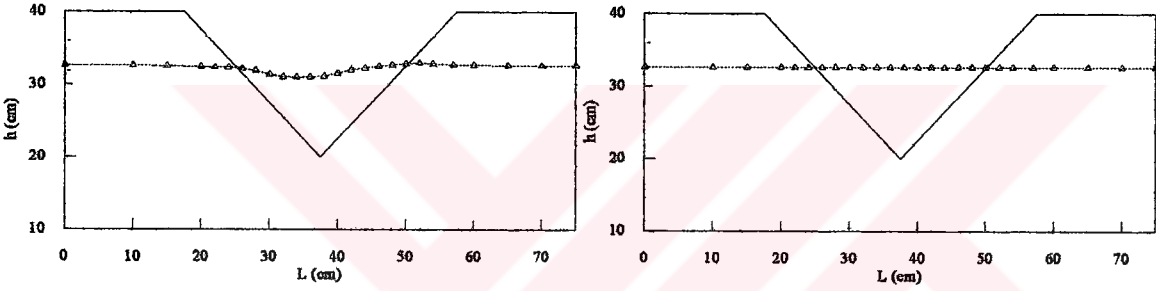
Kanal ekseni boyunca su yüzü profili

$\theta = 90^\circ$  tepe açılı  $p=0.16$  m eşik yükseklikli savak

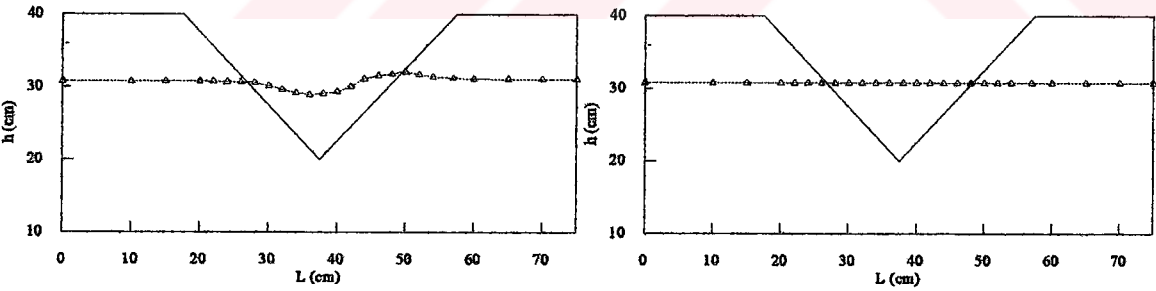
## EK 4 Devamı



$$Fr_1 = 0.104$$



$$Fr_1 = 0.296$$



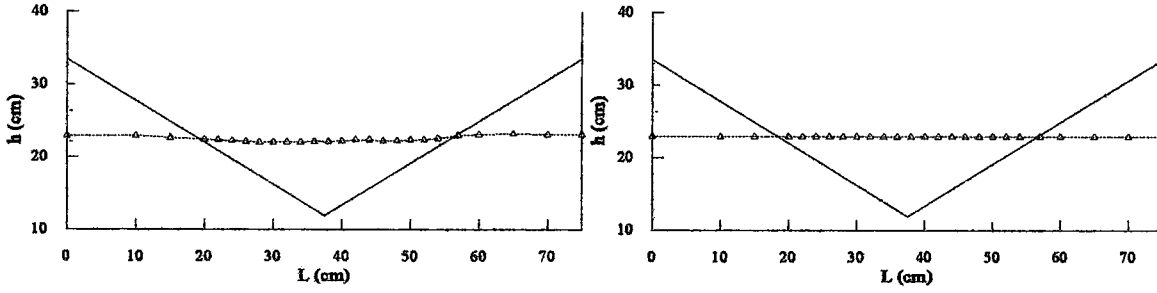
$$Fr_1 = 0.362$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

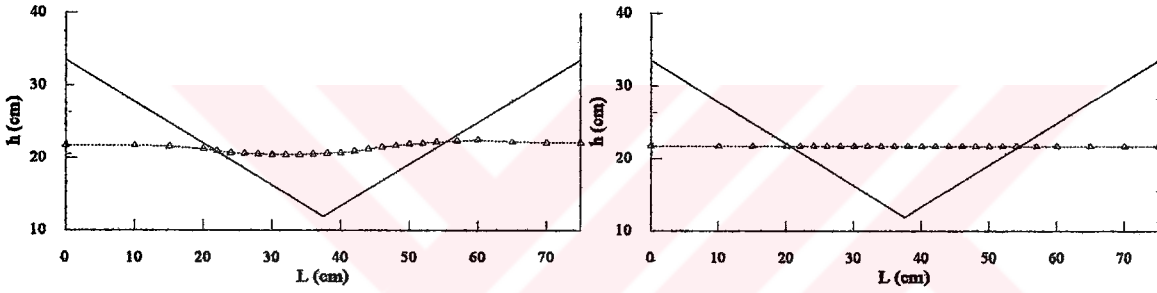
Kanal eksenini boyunca su yüzü profili

$\theta = 90^\circ$  tepe açılı  $p=0.20$  m eşik yükseklikli savak

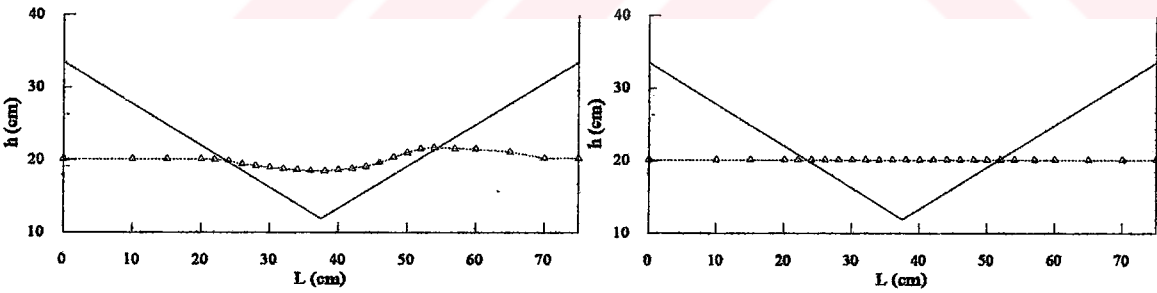
## EK 4 Devamı



$$Fr_1 = 0.114$$



$$Fr_1 = 0.197$$



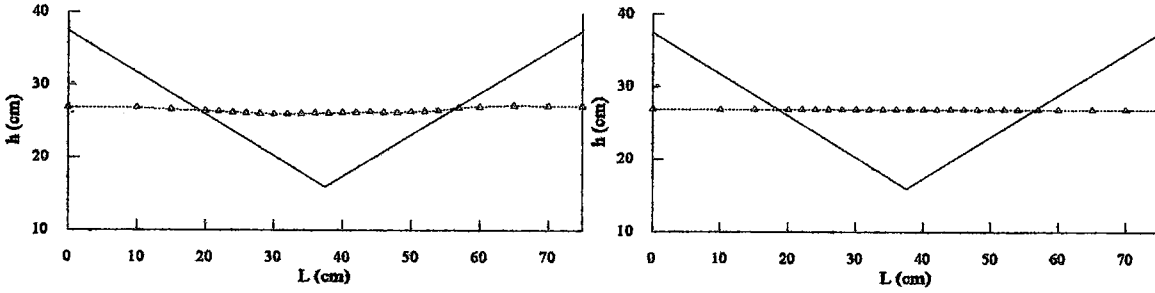
$$Fr_1 = 0.322$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

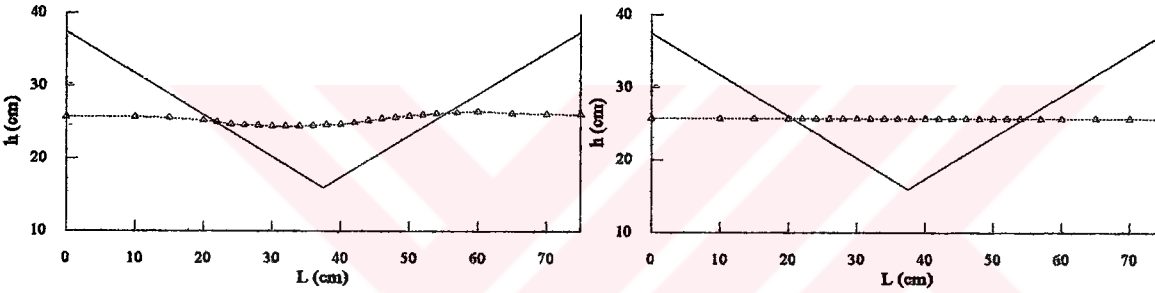
Kanal eksenini boyunca su yüzü profili

$\theta = 120^\circ$  tepe açılı  $p=0.12$  m eşik yükseklikli savak

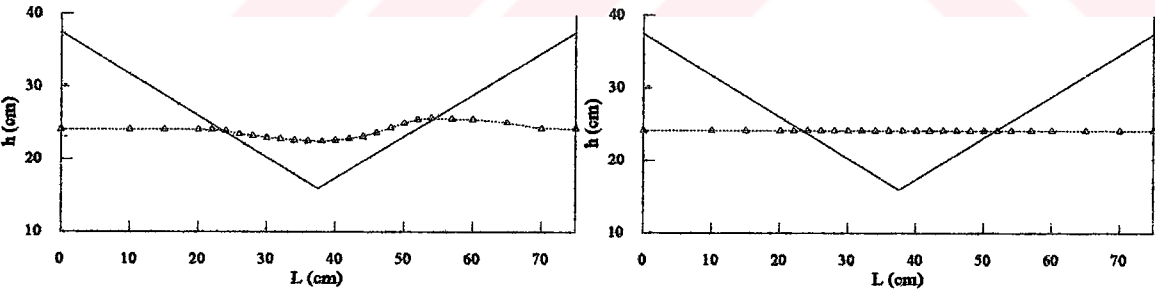
## EK 4 Devamı



$$Fr_1 = 0.109$$



$$Fr_1 = 0.292$$



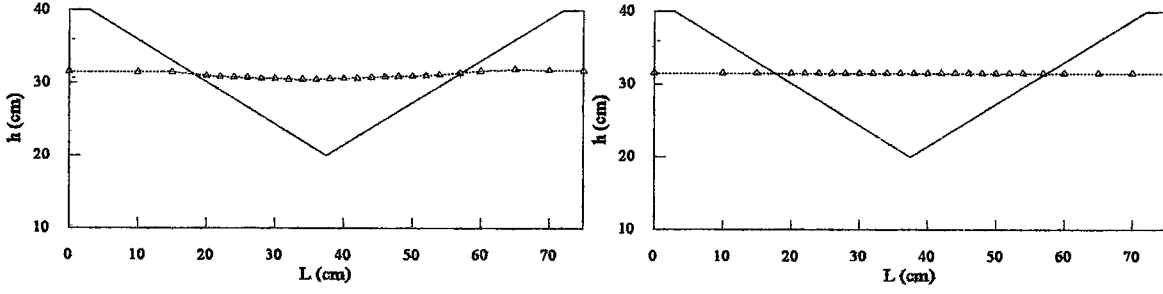
$$Fr_1 = 0.458$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

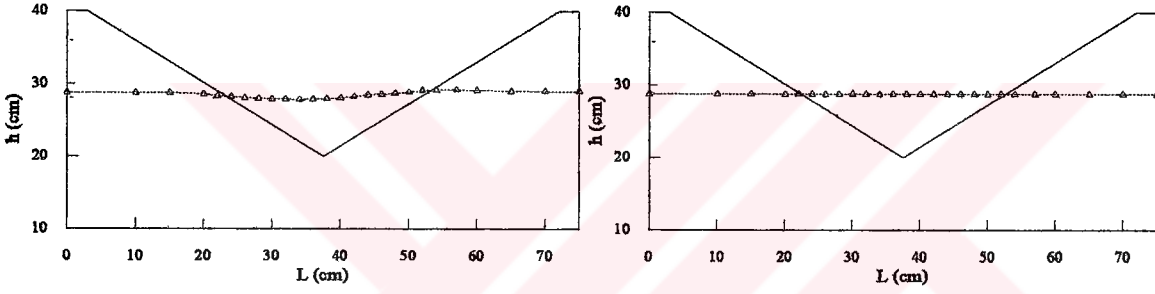
Kanal eksenini boyunca su yüzü profili

$\theta = 120^\circ$  tepe açılı  $p=0.16$  m eşik yükseklikli savak

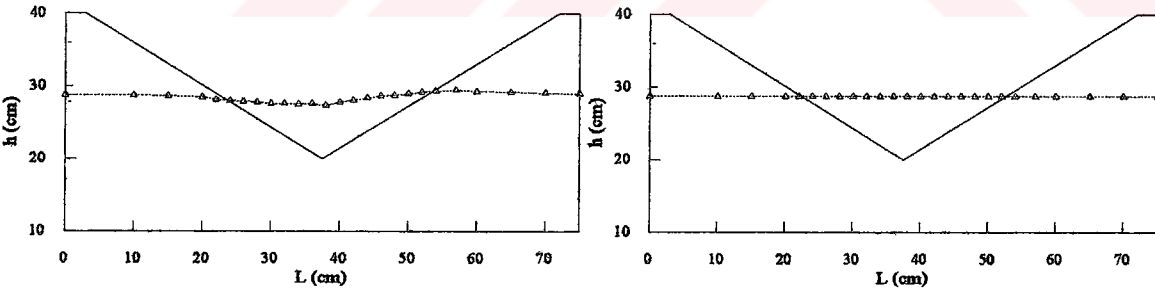
## EK 4 Devamı



$$Fr_1 = 0.120$$



$$Fr_1 = 0.197$$



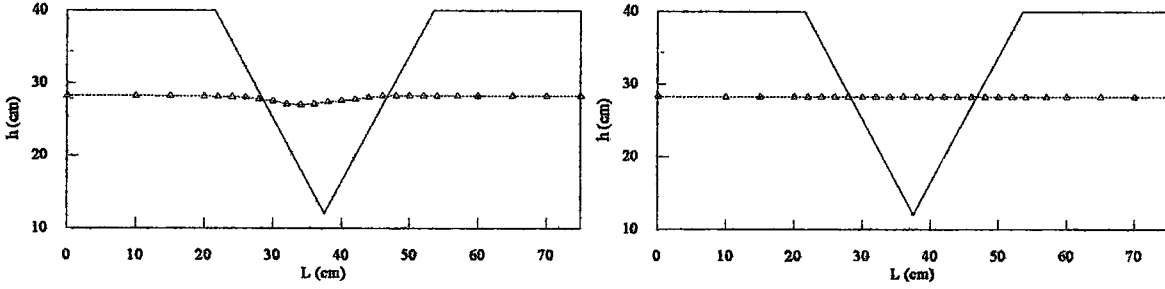
$$Fr_1 = 0.307$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

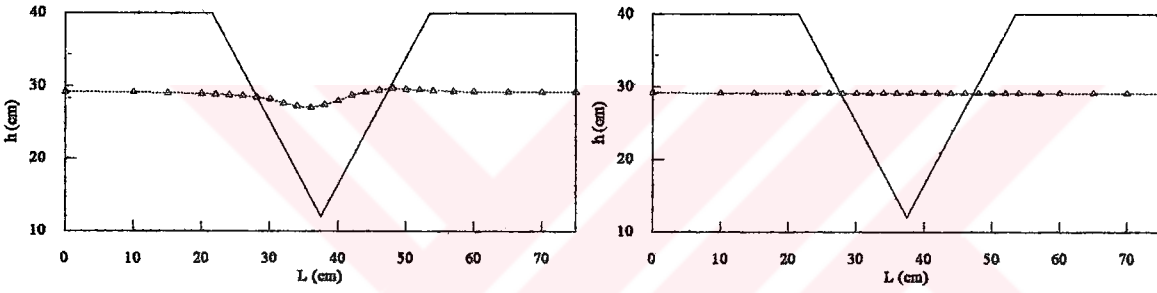
Kanal eksenini boyunca su yüzü profili

$\theta = 120^\circ$  tepe açılı  $p=0.20$  m eşik yükseklikli savak

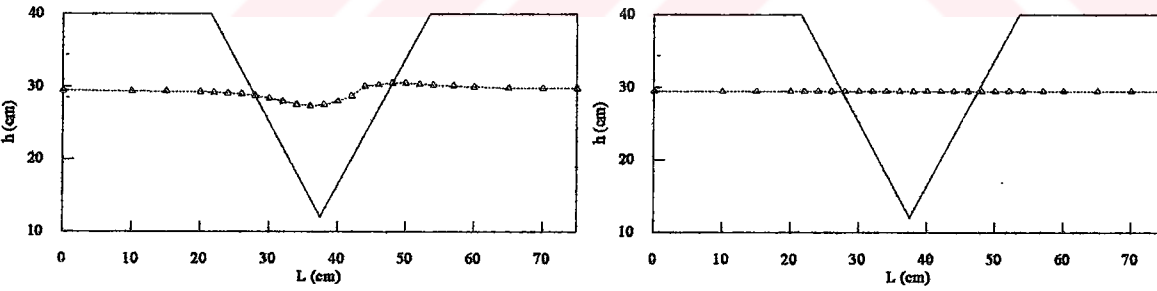
**EK 5 Kıvrımlı kanal kısmının 30°'lik bölgesinde su yüzü profilleri**



$$Fr_1 = 0.113$$



$$Fr_1 = 0.246$$



$$Fr_1 = 0.319$$

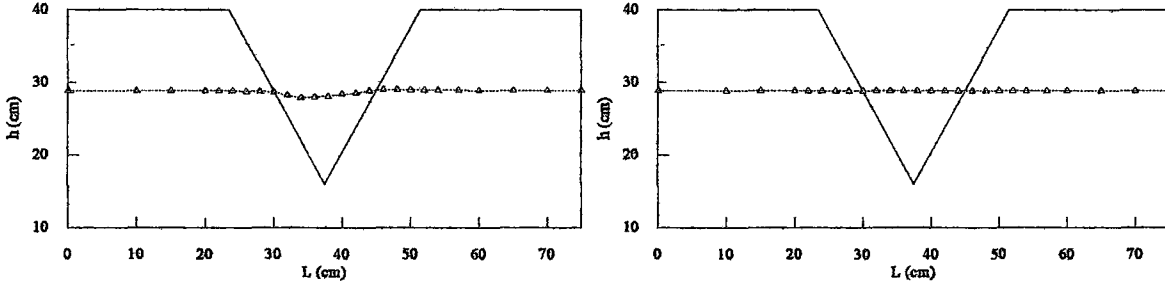
**Savak kreti boyunca su yüzü profili**

**Kanal eksenini boyunca su yüzü profili**

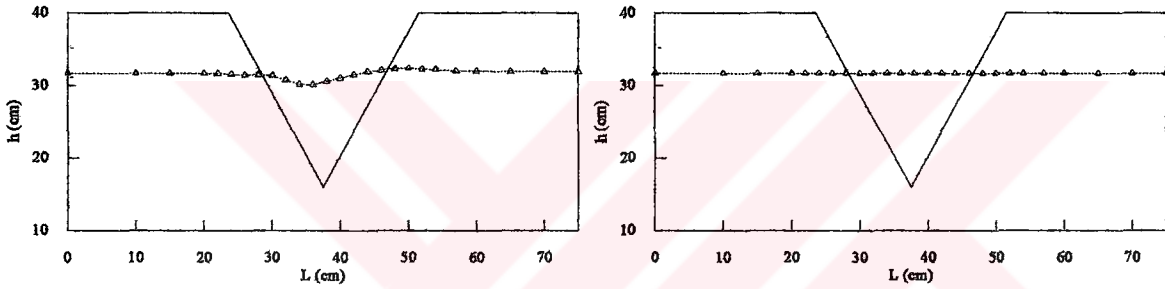
**$\theta = 60^\circ$  tepe açılı  $p=0.12$  m eşik yükseklikli savak**



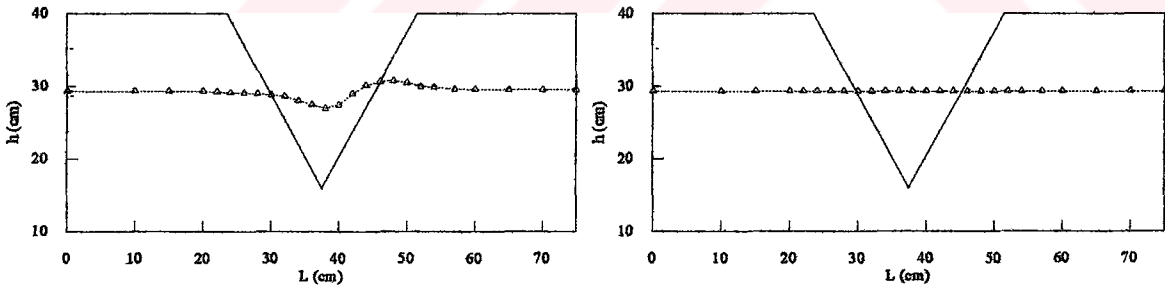
## EK 5 Devamı



$$Fr_1 = 0.086$$



$$Fr_1 = 0.180$$



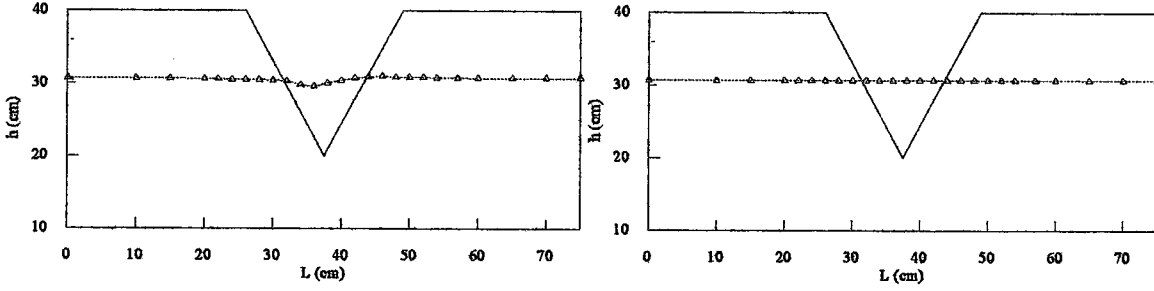
$$Fr_1 = 0.349$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

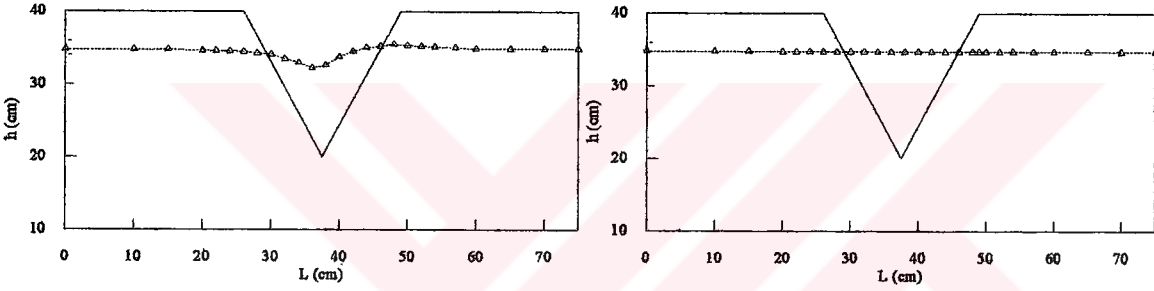
Kanal ekseni boyunca su yüzü profili

$\theta = 60^\circ$  tepe açılı  $p=0.16$  m eşik yükseklikli savak

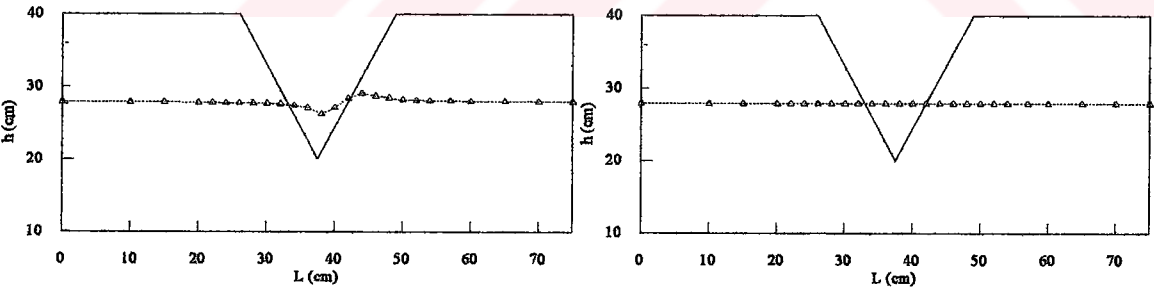
## EK 5 Devamı



$$Fr_1 = 0.096$$



$$Fr_1 = 0.217$$



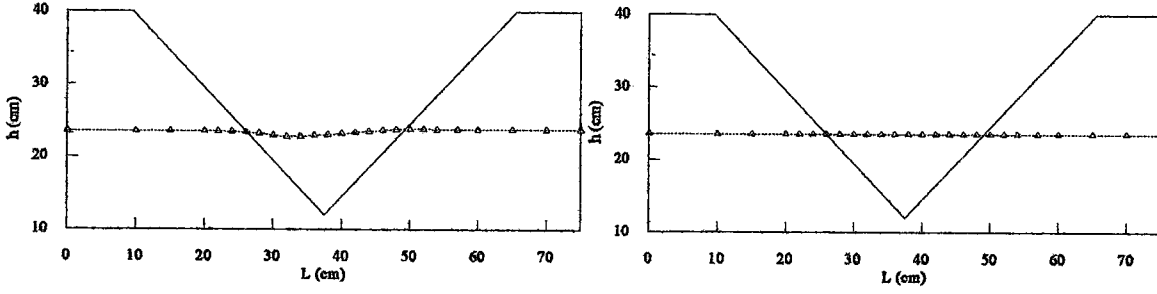
$$Fr_1 = 0.326$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

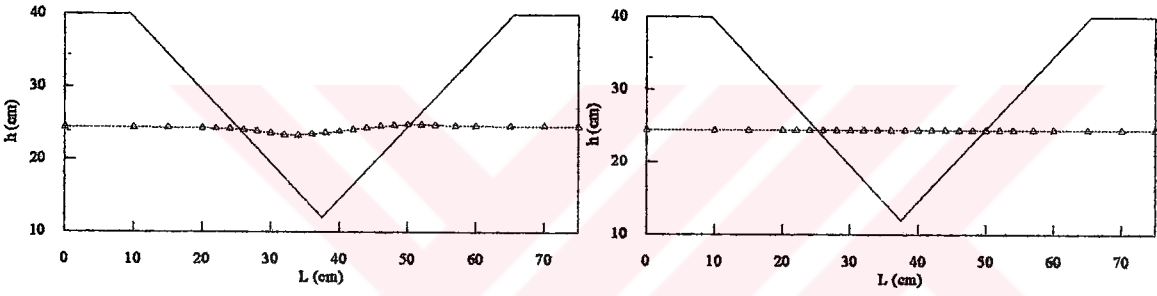
Kanal eksenini boyunca su yüzü profili

$\theta = 60^\circ$  tepe açılı  $p=0.20$  m eşik yükseklikli savak

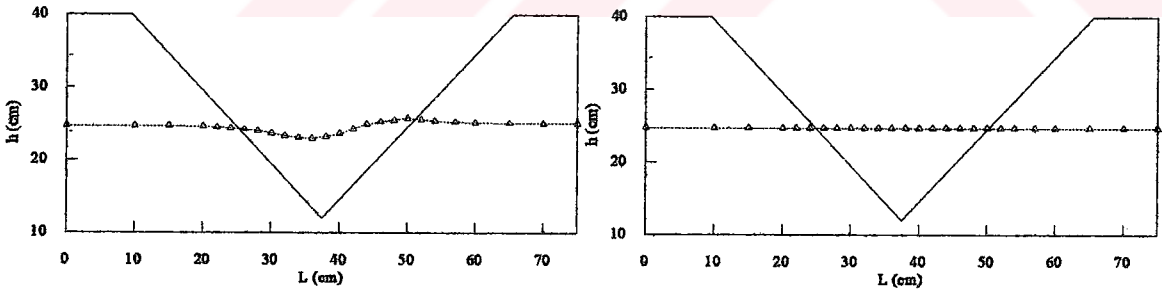
## EK 5 Devamı



$$Fr_1 = 0.100$$



$$Fr_1 = 0.179$$



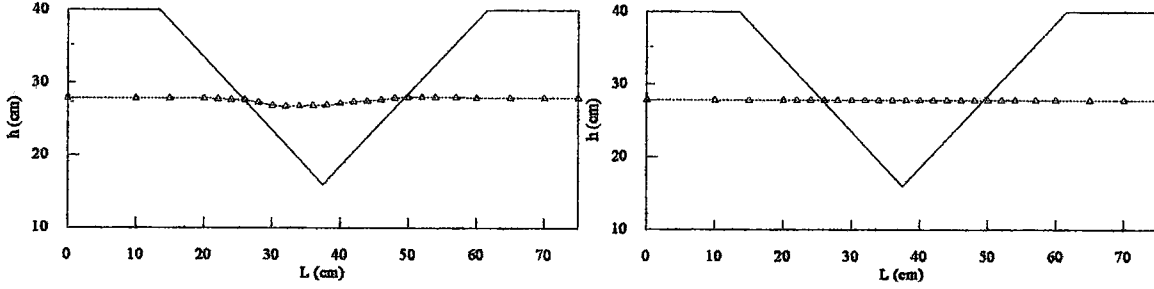
$$Fr_1 = 0.299$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

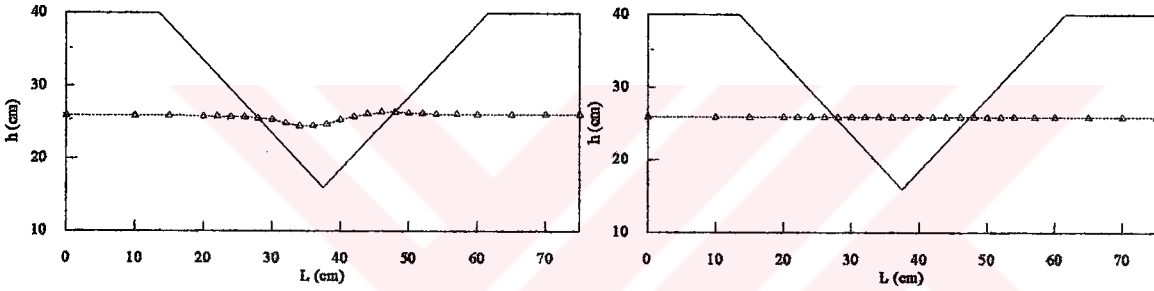
Kanal ekseni boyunca su yüzü profili

$\theta = 90^\circ$  tepe açılı  $p=0.12$  m eşik yükseklikli savak

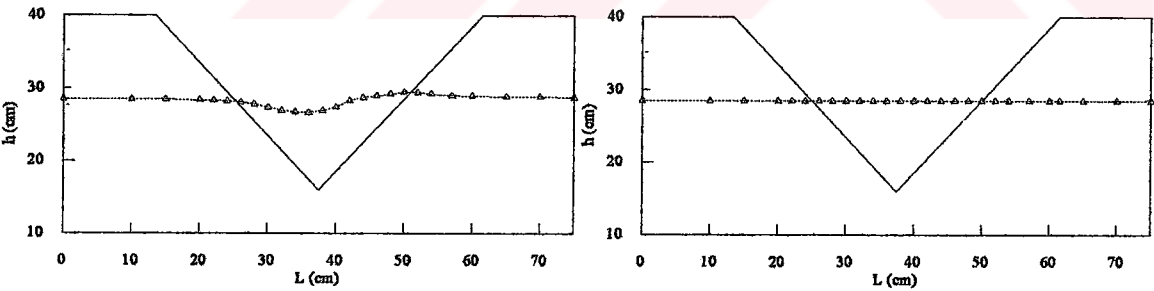
## EK 5 Devamı



$$Fr_1 = 0.097$$



$$Fr_1 = 0.222$$



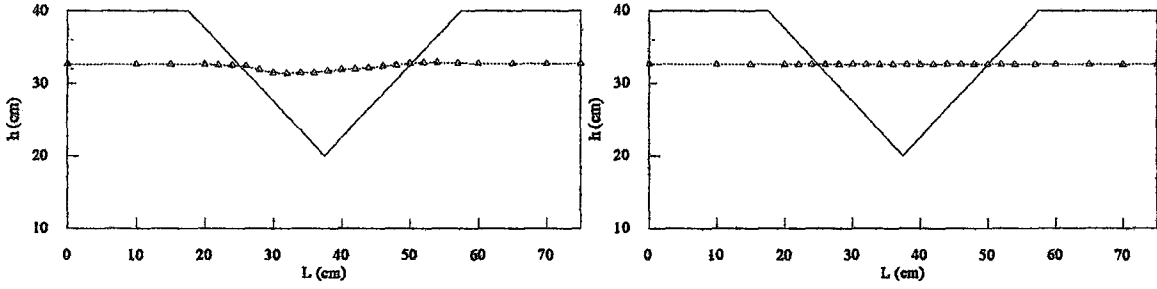
$$Fr_1 = 0.261$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

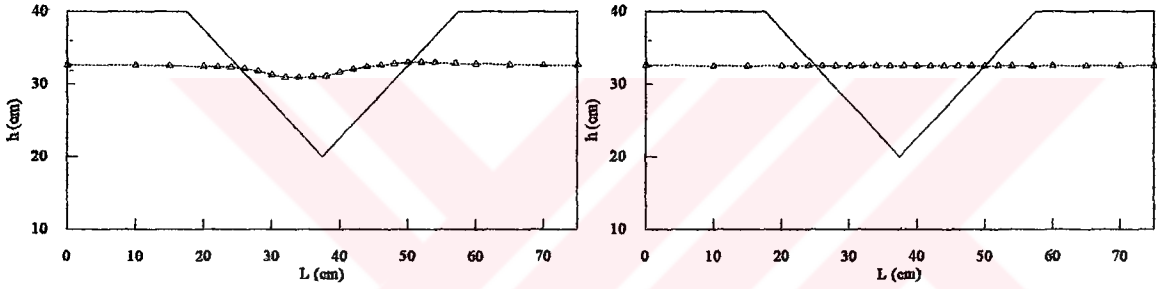
Kanal eksenini boyunca su yüzü profili

$\theta = 90^\circ$  tepe açılı  $p=0.16$  m eşik yükseklikli savak

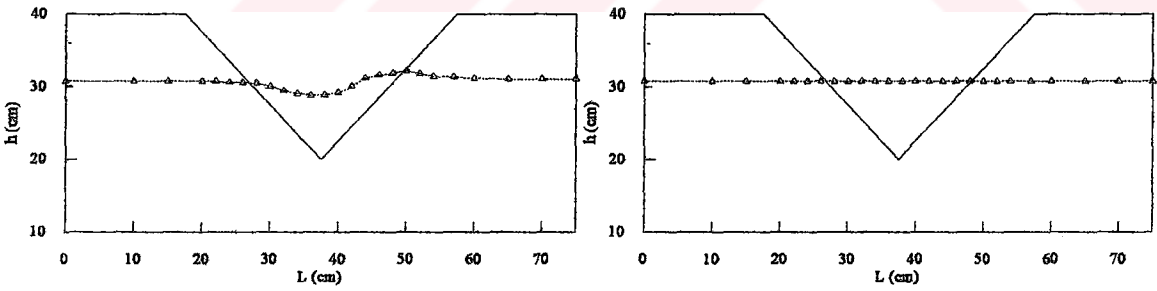
## EK 5 Devamı



$$Fr_1 = 0.092$$



$$Fr_1 = 0.284$$



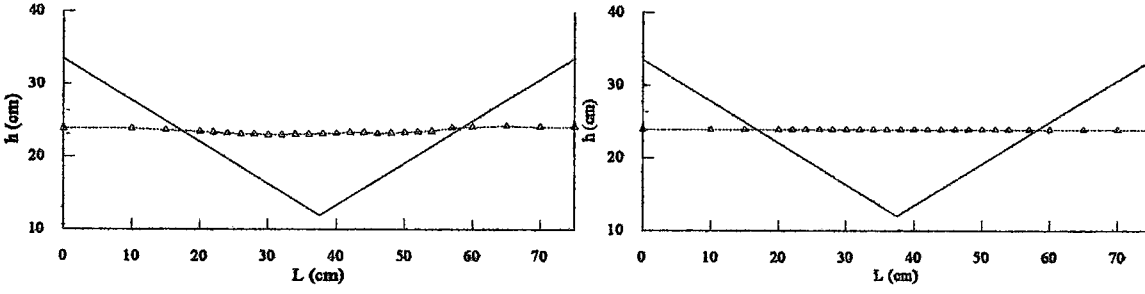
$$Fr_1 = 0.373$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

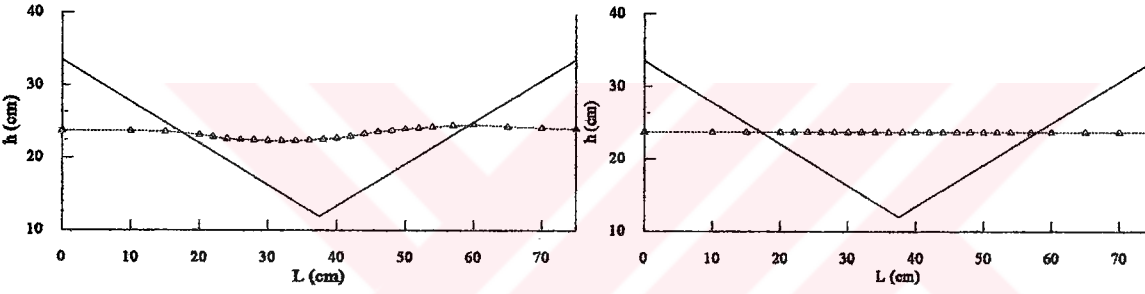
Kanal akseni boyunca su yüzü profili

$\theta = 90^\circ$  tepe açılı  $p=0.20$  m eşik yükseklikli savak

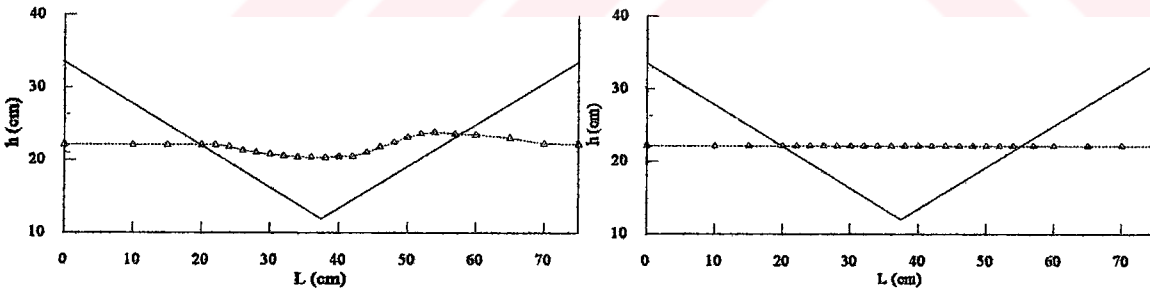
## EK 5 Devamı



$$Fr_1 = 0.129$$



$$Fr_1 = 0.209$$



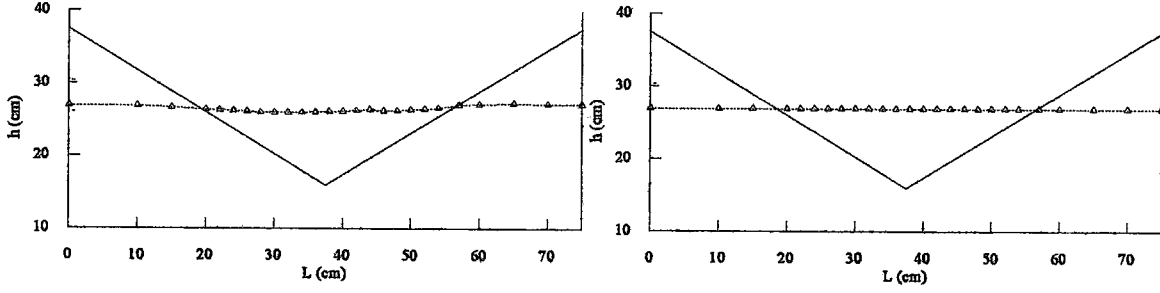
$$Fr_1 = 0.341$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

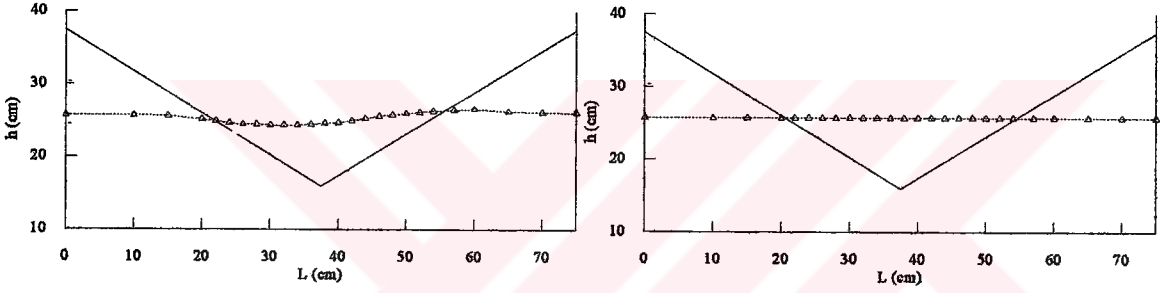
Kanal eksenini boyunca su yüzü profili

$\theta = 120^\circ$  tepe açılı  $p=0.12$  m eşik yükseklikli savak

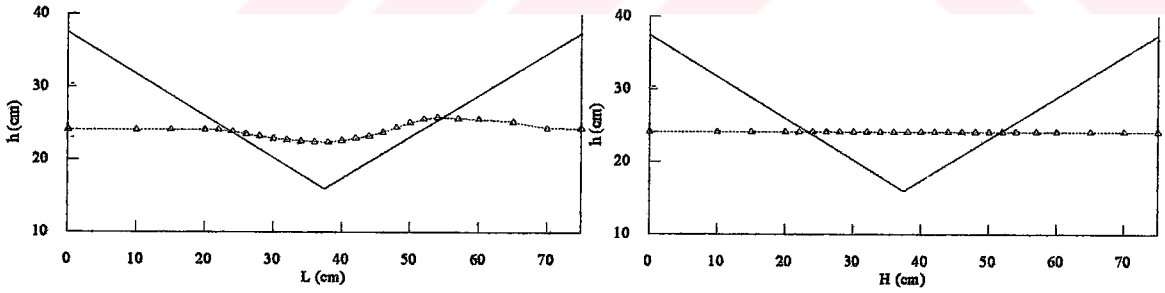
## EK 5 Devamı



$$Fr_1 = 0.123$$



$$Fr_1 = 0.316$$



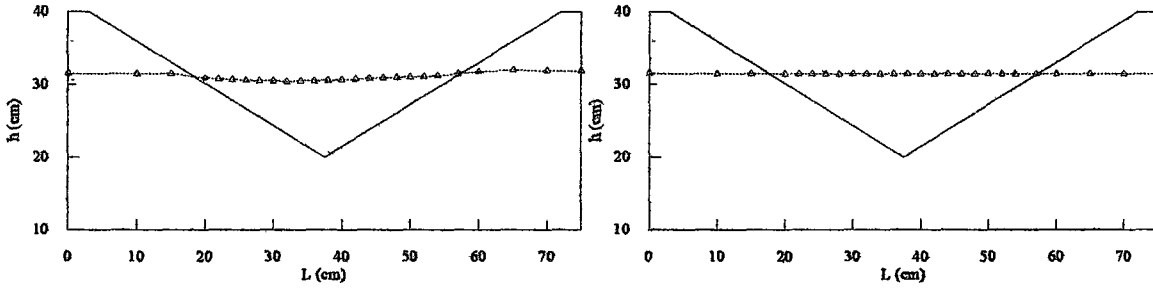
$$Fr_1 = 0.475$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

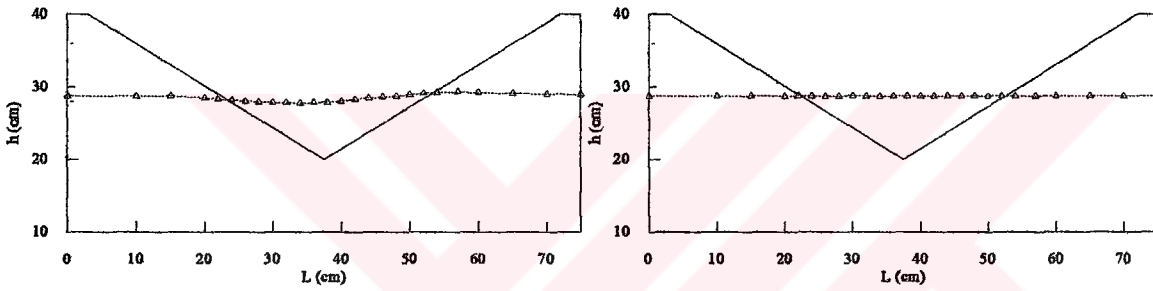
Kanal ekseni boyunca su yüzü profili

$\theta = 120^\circ$  tepe açılı  $p=0.16$  m eşik yükseklikli savak

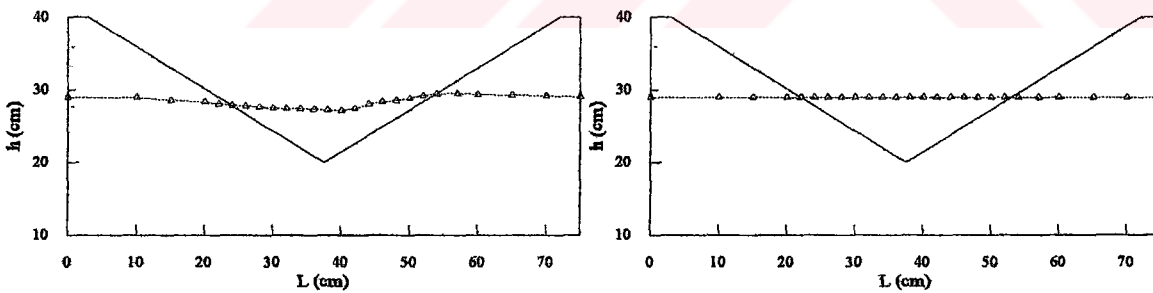
## EK 5 Devamı



$$Fr_1 = 0.124$$



$$Fr_1 = 0.203$$



$$Fr_1 = 0.298$$

Savak kreti boyunca su yüzü profili

Kanal ekseni boyunca su yüzü profili

$\theta = 120^\circ$  tepe açılı  $p=0.20$  m eşik yükseklikli savak



**ÖZGEÇMİŞ**

**Doğum tarihi** 07.01.1964

**Doğum yeri** İstanbul

**Lise** 1978-1981 Özel Çavuşoğlu Lisesi

**Lisans** 1981-1985 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

**Yüksek Lisans** 1985-1988 Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Ens.  
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Su-Çevre Programı

**Doktora** 1992-1999 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Ens.  
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Su Programı

**Çalıştığı kurum** 1986-Devam ediyor YTÜ Mühendislik Fak. İnşaat Mühendisliği  
Bölümü Hidrolik Anabilim Dalı Araştırma  
Görevlisi