

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LABİRENT YAN SAVAKLARDA SAVAK
KATSAYISININ TAYİN EDİLMESİ

İnş. Müh. Ercan Özkan

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
TEŞEKKÜR	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. BÖLÜM YAN SAVAK AKIMLARININ HİDROLİĞİ	1
1.1 Giriş	1
1.1.1 Keskin Kenarlı Savaklar	1
1.1.1.1 Standart Keskin Kenarlı Savaklar.....	1
1.1.1.2 Uzun Kretli Savaklar	2
1.1.2 Savak Kret Şekilleri	4
1.1.3 Yan Savakların Uygulama Alanları.....	4
1.1.3.1 Giriş	4
1.1.3.2 Akarsu Kontrol Yapısı Olarak Yan Savaklar	5
1.1.3.3 Kıta İçi Su Yollarında Yan Savaklar	6
1.1.3.4 Sulama Kanallarında Yan Savakların Kullanımı	8
1.1.3.5 Kanalizasyon Ve Yağmur Suyu Tesislerinde Yan Savaklar	9
1.1.3.6 Barajlarda Kullanılan Yan Dolu Savaklar	10
1.1.4 Froude Sayısının Yan Savak Su Yüzü Profillerine Etkisi	10
1.1.5 Yan Savaklar İle İlgili Çalışmalar	12
2. BÖLÜM MODEL ÇALIŞMALARI VE BOYUT ANALİZİ	56
2.1 Model İnşası	56
2.2 Üçgen Savak Ahahtar Eğrisi	59
2.3 Dikdörtgen Savak Anahtar Eğrisinin Belirlenmesi	59
2.4 Deneylerin Yapılışı.....	60
2.5 Boyut Analizi Yardımıyla Deneysel Çalışmadaki Etkili Parametrelerin Belirlenmesi	64
2.5.1 Boyutlar Ve Birimler	64
2.5.2 Boyutsal Homojenlik	65
2.5.3 Buckingham Π Teoremi	66
2.5.4 Tekerrür Eden Değişkenlerin Seçimi.....	67
2.5.5 Labirent Yan Savak Debi Katsayısı İçin Boyutsuz Büyüklüklerin Belirlenmesi .	68
2.6 Su Yüzü Profilleri.....	72

3.	DENEYSEL ÇALIŞMALRIN SPSS PROGRAMINDA İŞLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	74
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
4.1	Sonuçlar	94
4.2	Öneriler	94
	KAYNAKLAR.....	97
	İNTERNET KAYNAKLARI.....	99
	EKLER.....	100
	Ek-1 SU YÜZÜ PROFİLLERİ	100
	ÖZGEÇMİŞ.....	122

SİMGE LİSTESİ

A	Ana kanal ıslak kesit alanı (m^2)
B	Katsayı (Uyumaz, 1982)
b	Ana kanal genişliği (m)
b_1	Yan savak sonunda ana kanal genişliği (m)
b_2	Yan savak başlangıcında ana kanal genişliği (m)
C	Katsayı (Uyumaz. 1982)
C_a	Yan savak debi katsayısı,(Allen, 1957)
C_d	Yan savak debi katsayısı
C_e	Elemanter debi katsayısı (P.K.Swamee at al, 1994)
C_n	Nimmo katsayısı
C_p	Üçgen yan savak debi katsayısı,(Kumar,Pathak,1987)
C_{nor}	Akıma normal olarak yerleştirilen savağın debi katsayısı
E	Yan savak menbaında özgül enerji yüksekliği (m)
Fr	Froude sayısı, deney çalışmasında yan savak menba tarafında, ana kanal ekseninde ölçülmüştür
F_1	Bir fonksiyonu temsil eden fonksiyon
F_2	Bir fonksiyonu temsil eden fonksiyon
g	Yercekimi ivmesi (m/s^2)
h	Herhangi bir kesitteki akım derinliği, deneysel çalışmada ana kanal ekseninde yan savak menbasında ölçülen su derinliği h olarak alınmıştır (m)
h_b	Dış duvardaki akım 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
h_m	Ana kanal ekseninde akım derinliği (m) (Frazer, 1954)
h_m	Ortalama akımderinliği (m) (Chow, 1957)
h_w	Yan savak tarafındaki akım derinliği (m) (Frazer, 1954)
h_1	Ana kanal ekseninde yan savak menba su derinliği (m)
h_2	Ana kanal ekseninde yan savak mansap su derinliği (m)

h_3	Hidrolik sıçramadan önce ana kanaldaki su derinliği (m)
h_4	Hidrolik sıçramadan sonraki ana kanaldaki su derinliği (m)
j	Enerji çizgisi eğimi
j _{kr}	Kritik taban eğimi
j _o	Ana kanal taban eğimi
K	Su yüzü yanal değişim katsayısı,(R.P.Apmann,1973)
K	Katsayı, (Raju, Prasad veGrupta,1979)
K_θ	Kıvrımda rölatif yan savak debi katsayısı
L	Yan savak genişliği (m)
l	Savaklanma uzunluğu(m)
M	Katsayı (Uyumaz, 1982)
N	Katsayı (Uyumaz, 1982)
n	Manning sürtünme katsayısı
P	Hidrostatik basınç (N / m^2)
p	Yan savak eşik yüksekliği (m)
R	Hidrolik yarıçap
Q	Toplam debi(m^3 / s)
Q_w	Yan savak debisi (m^3 / s)
Q'	Yan savaktan sonra ana kanal debisi (m^3 / s)
qs	Birim uzunluktan savaklanan debi ($m^3 / s - m$)
qw	Yan savaktan savaklanma oranı(%), (Frazer, 1954)
Re	Reynolds sayısı
s	Üçgen savak eşik yüksekliği
x	Yan savağın herhangi bir noktasının, yan savağın başlangıcına olan uzaklığı (m)
V	Ana kanaldaki ortalama hız (m/s)
V_{kr}	Kritik hız (m/s)
V_1	Yan savak menbaında ana kanal ortalama akım hızı (m/s)
V_2	Yan savak mansabında ana kanal ortalama akım hızı (m/s)
ψ	Ana kanaldan yan savağa giren suyun sapma açısı
β	Momentum katsayısı
λ	Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı
ξ	Bir fonksiyonu temsil eden sembol (Schmidt, 1956)

ρ	Özgöl kütle (kg / m^3)
θ	Merkez açısı ($^{\circ}$)
θ_f	Toplam kıvrım açısı ($^{\circ}$)
ϕ	İntegral alanını gösteren sembol (De Marchi, 1934)
ΔE	Özgöl enerji gradyanı
τ	Taban kayma gerilmesi (N / m^2)
τ_{ro}	Taban kayma gerilmesi radyal bileşeni (N / m^2) (A.D.Georgiadou, K.V.Smith, 1986)
Δh	Su yüzeyindeki enine kabarma (m)
ν	Kinematik viskozite (m^2 / sn)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Standart savak tipleri [1]	2
Şekil 1.2 Uzun kretli savaklar [1]	3
Şekil 1.3 Ördek ağzı savak [1]	3
Şekil 1.4 Savak kret şekilleri (T Falvey, 2003)	4
Şekil 1.5 Sandwell yan savağı (C. Bromwich, 2003)	5
Şekil 1.6 Kıta içi su yolu havuzlarının kontrolü	7
Şekil 1.7 Welford havuzu baypas (Grand Union Kanalı)(C. Bromwich, 2003)	8
Şekil 1.8 Sulama kanalı (Kazakistan Maktaral Bölgesi)	8
Şekil 1.10 Walshaw Dean rezaruarı	10
Şekil 1.11 Su yüzü profilleri	11
Şekil 1.12 Koch parabolü	16
Şekil 1.13 Su yüzü profillerinin muhtemel tipleri (De Marchi, 1934)	19
Şekil 1.14 $\phi(h/E)$ Fonksiyonunun, p/E parametresinin çeşitli değerleri için değişimi (De Marchi, 1934)	20
Şekil 1.15 Yan savak boyunca meydana gelen sıçrama hali, (Frazer, 1954)	22
Şekil 1.16 Daire enkesitli kanallardaki yan savak genel görünüşü (Allen 1957)	27
Şekil 1.17.a Nehir rejimli akım halinde C_d yan savak debi katsayısının Fr_1 'e göre değişimi (Subramanya – Awasthy, 1972)	30
Şekil 1.17.b Sel rejimli akım halinde C_d yan savak debi katsayısının Fr_1 'e göre değişimi (Subramanya – Awasthy, 1972)	30
Şekil 1.18 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım halinde yan savak boyunca sekonder akımın değişimi (El-Khashab, 1975).	33
Şekil 1.19 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım halinde yan savak boyunca sekonder akımın değişimi (El-Khashab, 1975).	33
Şekil 1.20 Ana kanala dik bir brans bağlanması durumunda yan savağın genel görünüşü (R.Raju, Prasad ve Gupta 1979).	35
Şekil 1.21 kalın kenarlı savaklar için $(h_1 - p)/L$ ile K katsayısının değişimi (R.Raju, Prasad ve Gupta, 1979).	36
Şekil 1.22 Dikdörtgen prizmatik debi dağıtım kanalı genel görünüşü (Chao ve Trussel, 1980).37	
Şekil 1.23 Üniform debi dağıtımı için üniform daralan debi dağıtım kanalı genel görünüşü (Chao ve Trussel, 1980)	38
Şekil 1.24 Trapez enkesitli bir kanalda trapez enkesitli yan savak genel görünüşü (Ramamurthy, Tim ve Carballada, 1986)	39

Şekil 1.25 Enkesit genişliği yan savak boyunca tedricen daralan kanala yerleştirilen yan savak görünüşü (Jain ve Fischer, 1981).	40
Şekil 1.26 B ve C katsayılarının L/D 'ye göre değişimi (Uyumaz, 1982).	43
Şekil 1.27 M ve N katsayılarının L/D 'ye göre değişimi (Uyumaz 1982).	43
Şekil 1.28 Dikdörtgen enkesitli bir kanal üzerine yerleştirilen üçgen yan savak genel görünüşü (Kumar ve Pathak, 1987).	44
Şekil 1.29 Keskin kenarlı üçgen yan savaklarda C_p yan savak debi katsayısını Fr_1 froude sayısı ile değişimi (Kumar ve Pathak, 1987)	45
Şekil 1.30 Yan savak genel görünüşü (R.Singh, D.Manivannan ve T.Satyanarayana,1994) ..	47
Şekil 1.31 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimi akım halinde C_d Yan Savak Debi Katsayısının Fr_1 'e Göre Değişimi (Sing, Manivannan ve Satyanarayana, 1994).	49
Şekil 1.32 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım halinde C_d yan savak debi katsayısının p/h_1 'e göre değişimi Sing, Manivannan ve Satyanarayana, 1994)50	
Şekil 2.1 Kanal planı.....	58
Şekil 2.2 Üçgen savak anahtar eğrisi (Ağaçcıoğlu, 1995)	59
Şekil 2.3 Dikdörtgen savak anahtar eğrisi.....	60
Şekil 2.4.a Labirent yan savak üç boyutlu genel görüntüsü.....	62
Şekil 2.4.b Labirent yan savak parçalarının üç boyutlu görünümü	62
Şekil 2.4.c $L=25\text{cm}$ $\alpha = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ 'lik labirent yan savaklar	63
Şekil 2.4.d $L=40\text{ cm}$ $\alpha = 90^\circ, 120^\circ$ 'lik labirent yan savaklar.....	63
Şekil 2.4.e $L=50\text{ cm}$ $\alpha = 90^\circ, 120^\circ$ 'lik labirent yan savaklar.....	63
Şekil 2.5 $Fr=0.4$, $h-p=4\text{ cm}$, $L=25\text{ cm}$ $p=12\text{ cm}$ için su yüzü profili.....	72
Şekil 3.1. $L=25\text{ cm}$, $\alpha= 60, 90, 120^\circ$ için ölçülen değerlerin formülle bulunan değerlerle karşılaştırılması	78
Şekil 3.2. $L=40\text{ cm}$, $\alpha= 60, 90, 120^\circ$ için ölçülen değerlerin formülle bulunan değerlerle karşılaştırılması	79
Şekil 3.3. $L=50\text{ cm}$, $\alpha=120^\circ$ için ölçülen değerlerin formülle bulunan değerlerle karşılaştırılması	80
Şekil 3.4 $\alpha=120^\circ$ için Fr sayısı ile (1.43) formülü ile bulunan C_d değerleri, regresyon sonucu bulunan formülle elde edilen C_d değerleri ve Subramanya ve Awasthy (1972)'de verdikleri formülle bulunan C_d değerlerinin L/b değerlerine göre karşılaştırılması	81

Şekil 3.5. $\alpha=120^\circ$ için Fr sayısı ile (1.43) formülü ile bulunan C_d değerleri, regresyon sonucu bulunan formülle elde edilen C_d değerleri ve Subramanya ve Awasthy (1972)'de verdikleri formülle bulunan C_d değerlerinin L/b değerlerine göre karşılaştırılması	82
Şekil 3.6. $L= 25$ cm için Fr sayısı ile (1.43) formülü ile bulunan C_d değerleri, regresyon sonucu bulunan formülle elde edilen C_d değerleri ve Subramanya ve Awasthy (1972)'de verdikleri formülle bulunan C_d değerlerinin L/L değerlerine göre karşılaştırılması	83
Şekil 3.7. $L= 40$ cm için Fr sayısı ile (1.43) formülü ile bulunan C_d değerleri, regresyon sonucu bulunan formülle elde edilen C_d değerleri ve Subramanya ve Awasthy (1972)'de verdikleri formülle bulunan C_d değerlerinin L/L değerlerine göre karşılaştırılması	84
Şekil 3.8 $L= 50$ cm için Fr sayısı ile (1.43) formülü ile bulunan C_d değerleri, regresyon sonucu bulunan formülle elde edilen C_d değerleri ve Subramanya ve Awasthy (1972)'de verdikleri formülle bulunan C_d değerlerinin L/L değerlerine göre karşılaştırılması	85
Şekil 3.9 Deney sonuçlarından bulunan sonuçların formülle hesaplanan değerlerle karşılaştırılması	88
Şekil 3.10 Farklı açılarda ve farklı savak genişliklerinde Fr sayısının C_d 'ye etkisi	90
Şekil 3.11 Farklı açılarda ve farklı savak genişliklerinde L/l değerinin C_d 'ye etkisi	91
Şekil 3.12 Farklı açılarda L/b değerinin C_d 'ye etkisi	92
Şekil 3.13 Farklı açılarda ve farklı savak genişliklerinde p/h değerinin C_d 'ye etkisi	93
Şekil 4.1 Dairesel yan savak	95
Şekil 4.2 Farklı kret yüksekliğinde iki yüzeye sahip labirent yan savaklar	95
Şekil 4.3 Menba tarafı doğrusal mansap tarafı eğrisel yan savak	96

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1. Savak katsayıları (Collinge,1957).....	25
Çizelge 2.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Savaklar Ve Akım Özellikleri	61
Çizelge 2.2 Fiziksel niceliklerin boyutları	66
Çizelge 2.3 Labirent yan savak debi katsayısına etki eden parametreler.....	69
Çizelge 2.4 Labirent yan savak katsayısına etki eden parametreler için boyut analizi	70
Çizelge 2.5 Labirent yan savakların katsayısına etki eden boyutsuz parametreler	71
Çizelge 2.5 Girilen/çıkarılan değerler(b)	75
Çizelge 2.6 Özet Model.....	75
Çizelge 2.7 Varyans analizi(b)	76
Çizelge 2.8 Katsayılar(a).....	76
Çizelge 2.9 Doğrusal kanalda yan savak debi katsayısı eşitlikleri (Ağaçcıoğlu ve Yüksel, 1998).....	77
Çizelge 2.10 Deneylerde kullanılan parçalar ve çalışma aralıkları	86
Çizelge 2.11 Korelasyon	89

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı yöneten ve çalışmaların bu seviyeye gelmesinde büyük katkıları olan Sayın Hocam Doç.Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU'na ve bu alanda yetişmemizde büyük katkısı olan Sayın Hocam Prof. Dr.Yalçın YÜKSEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında çıkardığım gürültülere sabreden tüm hidrolik anabilim dalı elemanlarına teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda, yan savaklar genellikle akıma paralel şekilde yerleştirilmişlerdir. Uygulamalarda trapez, dikdörtgen, üçgen yan savaklar kullanılmış ve bu savaklar hakkında bir çok deneysel çalışma yapılmıştır. Savaklanma uzunluğunu arttırmak için uzun kretli labirent savaklar, Ördek ağzı savaklar gibi yapılar genellikle akıma dik yerleştirilecek şekilde kullanılmışlardır.

Yan savaklar barajlarda, kıta içi su yollarında, akarsularda, yağmur suyu ve birleşik sistem kanalizasyonlarda vb. uygulamalarda genellikle su seviyesinin kontrolü için kullanılırlar. Bu tip yapılarda labirent yan savak kullanımı daha önce denenmemiştir.

Bu çalışma ile yan savak olarak kullanılacak labirent savağın yan duvarlarının farklı kesişme açılarında ve farklı kret yüksekliklerinde laboratuvar modelleri kurulmuştur. Boyut analizi yapılarak labirent yan savak debi katsayısına etki eden boyutsuz parametreler tespit edilmiştir. Bu boyutsuz parametreler dikkate alınarak SPPS programında regresyon analizi yapılmış ve C_d debi katsayısını veren formül çıkartılmıştır. Deney sonuçları ile formülden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve %80'in üzerinde deney sonuçlarını yansıttığı tespit edilmiştir.

Bu konu hakkında çok fazla deney yapılmadığı için hala bazı noktaların araştırılması gereği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yan savak, debi katsayısı, labirent savak, eşik yüksekliği

ABSTRACT

Side weirs were usually placed to the parallel to the flow direction. Different types such as rectangular, triangular and trapezoidal side weirs were used in applications and many experimental study were evaluated about theme. To increase the discharge length were used long crest of labyrinth side weirs, duckbill weirs which were usually placed to the perpendicular to the stream.

Side weirs are usually used for control of water level in combined system that consist of dum, navigable canals, rivers, sewerage and wastewater. Labyrinth side weir was not tested with such building.

Laboratory model was constructed with different crest high and angles for Labyrinth weir that was used for side weir with this experiment. Non-dimensional variables were determined of the discharge coefficients of Labyrinth side weir with using dimension analysis. To evaluate the regression analysis with SPSS program, these non-dimensional variables were used. The formula was evaluated which gives the C_d coefficients that consist of non-dimensional. When the compare of experimental results and the result that comes from formula was same over 80%.

A few experiment has been evaluated about this topic, so some points in need to investigated.

Key Words: Side weir, discharge coefficient, labyrinth weir, weir crest

1. BÖLÜM YAN SAVAK AKIMLARININ HİDROLİĞİ

1.1 Giriş

Yan savaklar debi ölçümü, fazla suyun uzaklaştırılması ve su seviyesinin sabit tutulması gibi amaçlar için kullanılan hidrolik yapılardır. Akıma paralel olarak yerleştirildikleri için yan savak ismini alırlar.

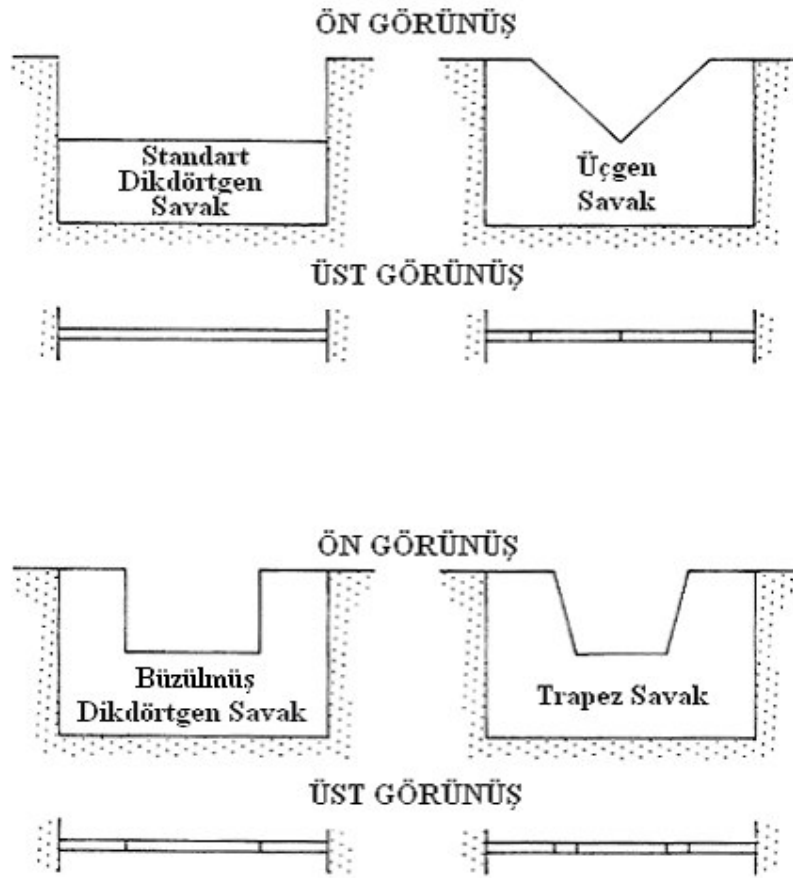
Yan savakların en önemli fonksiyonu; inşa edilecek hidrolik yapıda, ihtiyaç ve ekonomi dikkate alınarak belirlenen, optimum kapasite aşıldığında, fazla suyu tahliye etmektir. Bu fonksiyon ana kanaldaki su seviyesi büyük artışlar göstermeden, su seviyesinin sınırlandırılması sağlar.

1.1.1 Keskin Kenarlı Savaklar

1.1.1.1 Standart Keskin Kenarlı Savaklar

1. Standart dikdörtgen savaklar
2. Üçgen savaklar
3. Büzülmüş dikdörtgen savaklar
4. Trapez savaklar

Keskin kenarlı savaklar, açık kanal akımlarında basit olarak debi ölçmede kullanılırlar. Birçok keskin kenarlı savak tipi vardır. Fakat genellikle Şekil 1.1 de verilen tipleri kullanılırlar. Genellikle metal levhalardan imal edilirler ve savaklanma sırasında suyun havalanmasını sağlarlar. Birçok debi denklemi bu savaklar üzerindeki laboratuvar çalışmaları sonucunda belirlenmiştir.



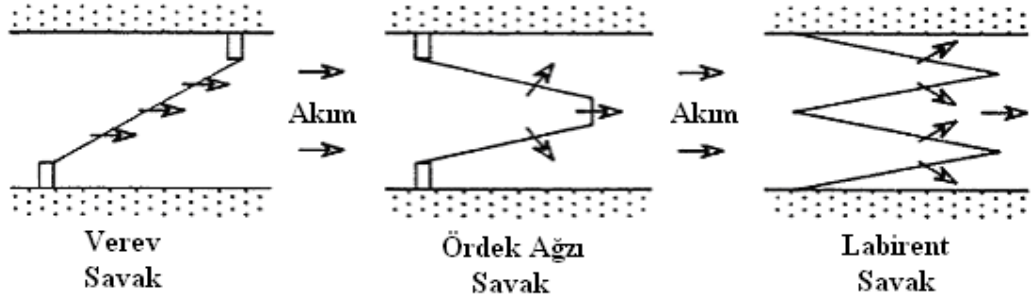
Şekil 1.1 Standart savak tipleri [1]

1.1.1.2 Uzun Kretli Savaklar

Uzun kretli savaklar, savak kret uzunluğunu arttırarak ve kanala dik yerleştirilerek, daha fazla suyun savaklanmasını sağlarlar. Bu sebepten, akım derinliğinin artmasının istenmediği yerlerde kullanılırlar. Bunlardan bazıları;

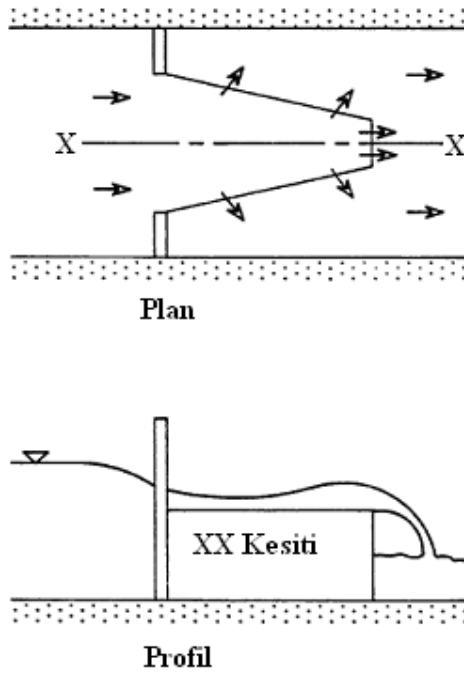
1. Verev savaklar
2. Ördek ağzı savaklar
3. Labirent savaklar

Şekil 1.2’de bazı uzun kretli savak tipinin plan ve ön görünüşleri verilmiştir.



Şekil 1.2 Uzun kretli savaklar [1]

Labirent savaklar basit olarak birkaç ördek ağzı veya verev savağın paralel yerleştirmesiyle oluşmuş savaklardır. Bu savaklar, genellikle barajlar veya büyük su depolarının taşkın yapıları olan dolu savak olarak kullanılırlar.

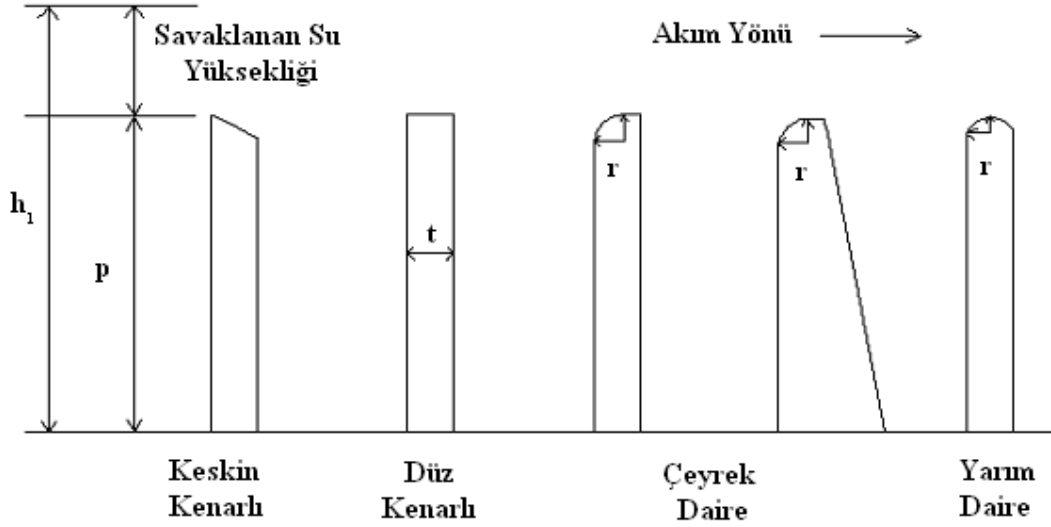


Şekil 1.3 Ördek ağzı savak [1]

Bu savaklardan standart keskin kenarlı savaklar, akıma paralel yerleştirilerek yan savak olarak kullanılırlar. Fakat genel olarak uzun kretli savaklar yan savak olarak kullanılmazlar. Bu çalışma ile yan savak olarak kullanılacak bir labirent savak için savak katsayısı belirlenecektir.

1.1.2 Savak Kret Şekilleri

Genel olarak savak kretleri şekillerine göre düz kenarlı, keskin kenarlı, çeyrek daire ve yarım daire olmak üzere dört farklı tiptedir.



Şekil 1.4 Savak kret şekilleri (T Falvey, 2003)

Şekil 1.4 deki çizime göre kret eğrilik yarıçapı r ve kret et kalınlığı t değerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir.

$$r = p/12 \quad (1.1)$$

$$t = p/h \quad (1.2)$$

Burada p savak kret yüksekliğidir.

1.1.3 Yan Savakların Uygulama Alanları

1.1.3.1 Giriş

Bu bölümde yan savakların uygulama alanları hakkında örnekler verilmiştir. Aşağıdaki 5 çeşit özel savak uygulaması, nadir olarak kullanıldığından, isimleri verilerek geçilmiştir.

1. Kompleks yan savaklar
2. Kapanır açılır savaklar

3. Eğimli yan savaklar
4. Sel rejimli akım kanallarındaki yan savaklar
5. Batık akım durumunda kontrol edilebilen yan savaklar

Bazı durumlarda yan savaklar geleneksel savakların hidrolik performansını gösterebilirler. Böyle durumlarda hem yan savak hem de geleneksel savak teorileri kullanılarak hidrolik performansları değerlendirilmelidir.

1.1.3.2 Akarsu Kontrol Yapısı Olarak Yan Savaklar

Akarsulardaki hidrolik yapıları korumak ve taşkınlara mani olmak için yükselen suları taşkın geciktirme havuzları veya baypas kanallarına yönlendiren yapılardır.

Bu yapıların amacı akım kontrolü için belirlenen stratejileri sağlamaktır. Suyun savaklanacağı kısım hassas bir alan veya baypas kanalı ise savak bu kısımlar tarafından taşınabilecek maksimum debiye göre boyutlandırılır. Taşkın debisinin büyük olduğu akarsularda yükselen suları savaklamak için bir sıra küçük yan savağın sonuna daha büyük bir savak yerleştirilir. Böylece fazla akımın bu savaklar arasında paylaşılması sağlanır.



Şekil 1.5 Sandwell yan savağı (C. Bromwich, 2003)

Toprak gövdeli sedde yapılarak akarsulardan korunan bazı tarım arazileri, mevsimlik tarım için kullanılabilir. Bu tip araziler yağmurlarla gelen taşkınlar artınca taşkın geciktirme havuzu olarak kullanılır. Toprak gövdeye yerleştirilen özel beton yan savaklarla su önce dinlendirme

havuzlarına, oradan da kanallarla bu arazilere verilir. (Şekil 1.5)

Hidrolik dizayn için bazı önemli noktalar aşağıda sıralanmıştır.

1. Akarsulardaki su seviyesi yan savaklar tarafından sınırlandırılabilir.
2. Akarsuda yan savaktan sonra geçecek akım yan savaklarla sınırlandırılabilir.
3. Baypas kanalının kapasitesi yan savağın savaklayacağı debi kadar olmalıdır.

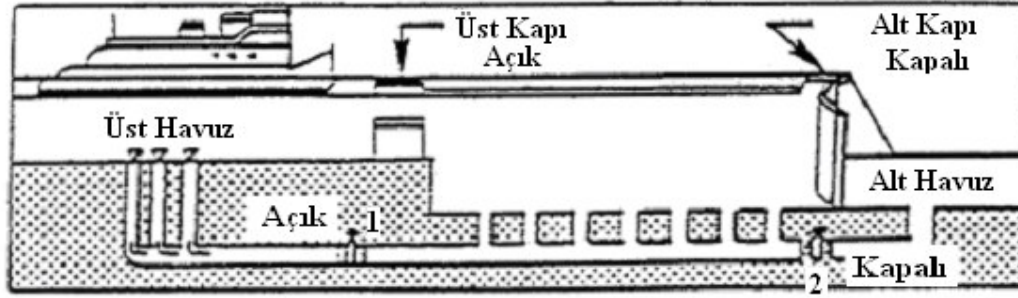
1.1.3.3 Kıta İçi Su Yollarında Yan Savaklar

Kıta içi su yolları; taşımacılığın zor olduğu, normalde tek barajın olduğu ya da uzun su yollarında, birkaç barajla birleştirilen, akarsu kısımlarını geçmek için kullanılır

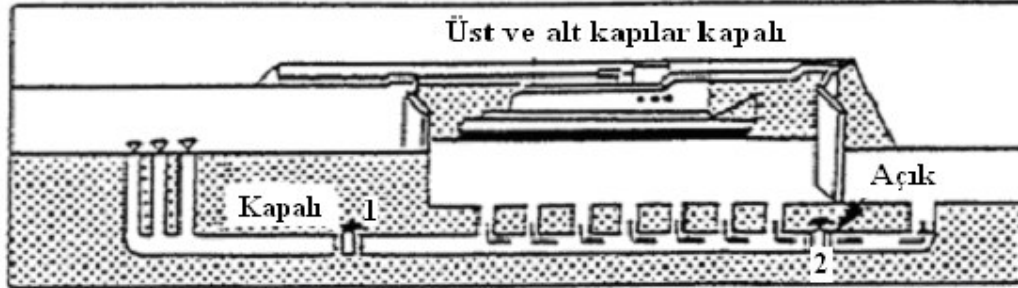
Su yolları üç sınıfa ayrılabilirler:

1. Doğal su yolları.
2. Akarsu düzenlemesi yapılarak, minimum ve maksimum debiler için kontrol yapıları bulunan su yolları.
3. Kanallar, pompalar veya rezervuarlar ile akarsulardan alınan suyu içeren tamamen suni olarak inşa edilen su yolları.

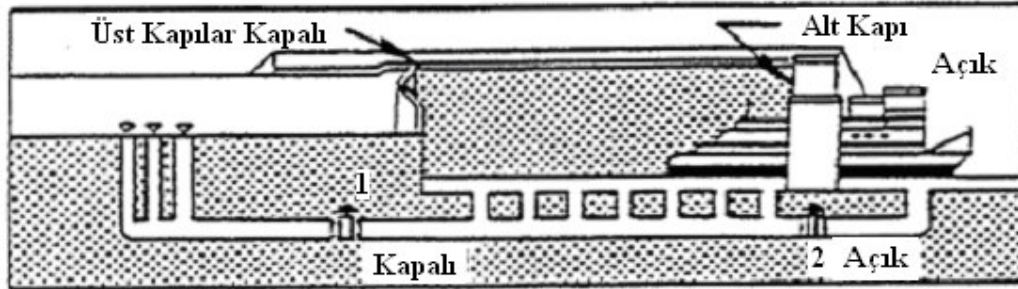
Kıta içi su yollarının çalışma prensibi Şekil 1.6 da özetlenmiştir. Farklı su kotlarını birleştirmek için yapılan bu yapılar, su kotunun en yüksek olduğu üst havuz, seviyesi ayarlanabilen kilit havuz ve su kotunun en düşük olduğu alt havuz olmak üzere üç ana havuzdan oluşmaktadır. Şekil 1.6 da görülen 1 numaralı ve 2 numaralı vanalar ile üst kapı ve alt kapı kapalı iken üst havuzda su seviyesi yükselir. İstenilen su seviyesi elde edilince, seviyeyi sabitlemek için yan savak kullanılır ve üst havuzdaki fazla su baypas kanalına savaklanır.. Daha sonra 1 numaralı vana açılır. Bu sayede ortada bulunan kilit havuz dolmaya başlar. Üst havuz ve kilit havuz aynı seviyeye gelince üst kapı açılır. Gemi üst kapıdan geçerek kilit havuza gelir. Üst kapı ve 1 numaralı vana kapatılır, 2 numaralı vana açılır. Kilit havuz ve alt havuz aynı seviyeye gelince alt kapı açılır ve gemi alt havuza geçmiş olur. Tüm vanalar ve kapılar kapatılarak işlem başa döndürülmüş olur.



Doldurma vanası açık, boşaltma vanası kapalı.
Kilit havuz üst havuz seviyesine kadar dolar.



Doldurma vanası kapalı, boşaltma vanası açık.
Kilit havuz alt havuz seviyesine kadar boşalır



Doldurma vanası kapalı, boşaltma vanası açık.

Şekil1.6 Kıta içi su yolu havuzlarının kontrolü

Üst havuz bölgesine inşa edilen yan savak üst havuzda su belli bir seviyeyi geçtiği zaman devreye girer ve su seviyesini baypas kanalına vererek uzaklaştırır. Su seviyesini sabitlemek maksadıyla yapılmış bir yan savak şekil 1.7’de görülmektedir.

Bu durumlardaki yan savaklar geleneksel savak gibi düşünülebilir. Çünkü akım doğrultusundaki hız bileşeni çok azalmıştır.



Şekil 1.7 Welford havuzu baypas (Grand Union Kanalı)(C. Bromwich, 2003)

Hidrolik dizayn için bazı önemli noktalar aşağıda sıralanmıştır.

1. Kıta içi su taşımacılığı yapılan havuzlarda menba tarafında su seviyesinin sabitlenmesinde yan savaklar kullanılabilir.
2. Yan savak önünde çalkantıya mani olmak için uzun ve kalın kretli yan savaklar kullanılırlar.

1.1.3.4 Sulama Kanallarında Yan Savakların Kullanımı

Sulama kanalları, genelde sulama yapılacak araziye açılan daha küçük kanallar içerecek şekilde inşa edilirler. Bu küçük kanalların sonunda kontrol yapıları vardır. Kontrol yapılarındaki kapaklar yardımıyla su istenildiği şekilde sulama yapılacak araziye verilebilir.



Şekil 1.8 Sulama kanalı (Kazakistan Maktaral Bölgesi)

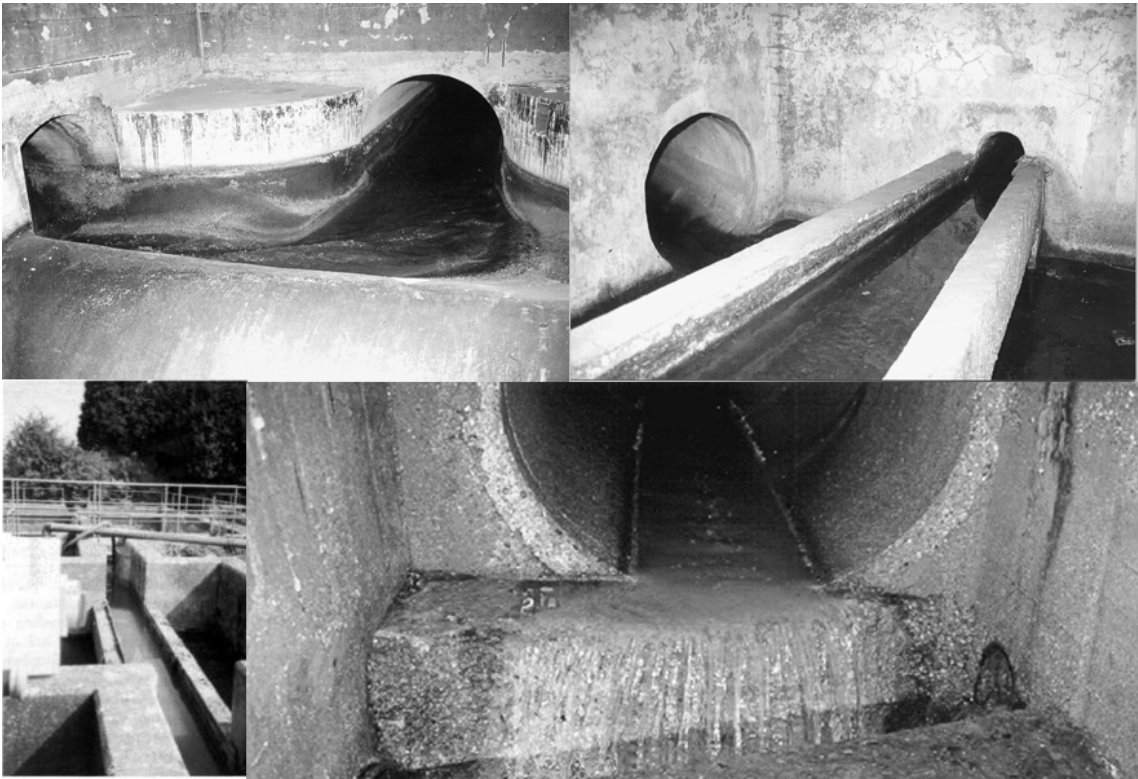
Bu tip bir yapı aynı zamanda iyi bir su alma yapısıdır.

Sulama kanallarının dizaynı için dikkat edilmesi gereken asıl faktör, su seviyesinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutulması ve kanalın depo kısmının üst kotunun su aşmayacak şekilde belirlenmesidir.

1.1.3.5 Kanalizasyon Ve Yağmur Suyu Tesislerinde Yan Savaklar

İngiltere'deki birleşik sistem kanalizasyon tesislerinde yaygın olarak yan savaklar kullanılır. Düşük debideki akımlarda yani kurak havalarda veya hafif şiddetli yağmurlarda kanalizasyon ağında sadece pis su dolaşmaktadır.

Yağışlı dönemlerde, pik akımı, kanalizasyon suyuna yağmur suyunun karışmasıyla oluşur. Akım pik değere ulaştığında suyun bir kısmı kontrol yapılarıyla başka bir ortama boşaltılır. Aksi takdirde kanalizasyon ağının taşmasına sebep olacaktır.



Şekil 1.9 Birleşik sistem kanalizasyon tesislerinde yan savak uygulamaları.

Bu yapılarla savaklanan su, alıcı ortama verilir. Alıcı ortama savaklanan pis su temizlenmesi daha kolay nitelikte olan çoğu yağmur suyunun oluşturduğu pis sudur.

Ana kanaldaki suyun arıtma tesislerine verilmesiyle de arıtma tesisinin aşırı yüklenerek zarar görmemesi önlenmiş olur.

1.1.3.6 Barajlarda Kullanılan Yan Dolu Savaklar

Rezervuarlardaki su seviyesi baraja zarar verecek seviyeye çıktığı zaman, suyu tahliye etmek amaçlı kullanılırlar. Rezervuardaki akım koşulları yüzünden rezervuarın yanına inşa edilmesine rağmen bu yan savaklar normal savak gibi davranırlar. Hidrolik dizaynları yapılırken bu durum göz önüne alınmalıdır.



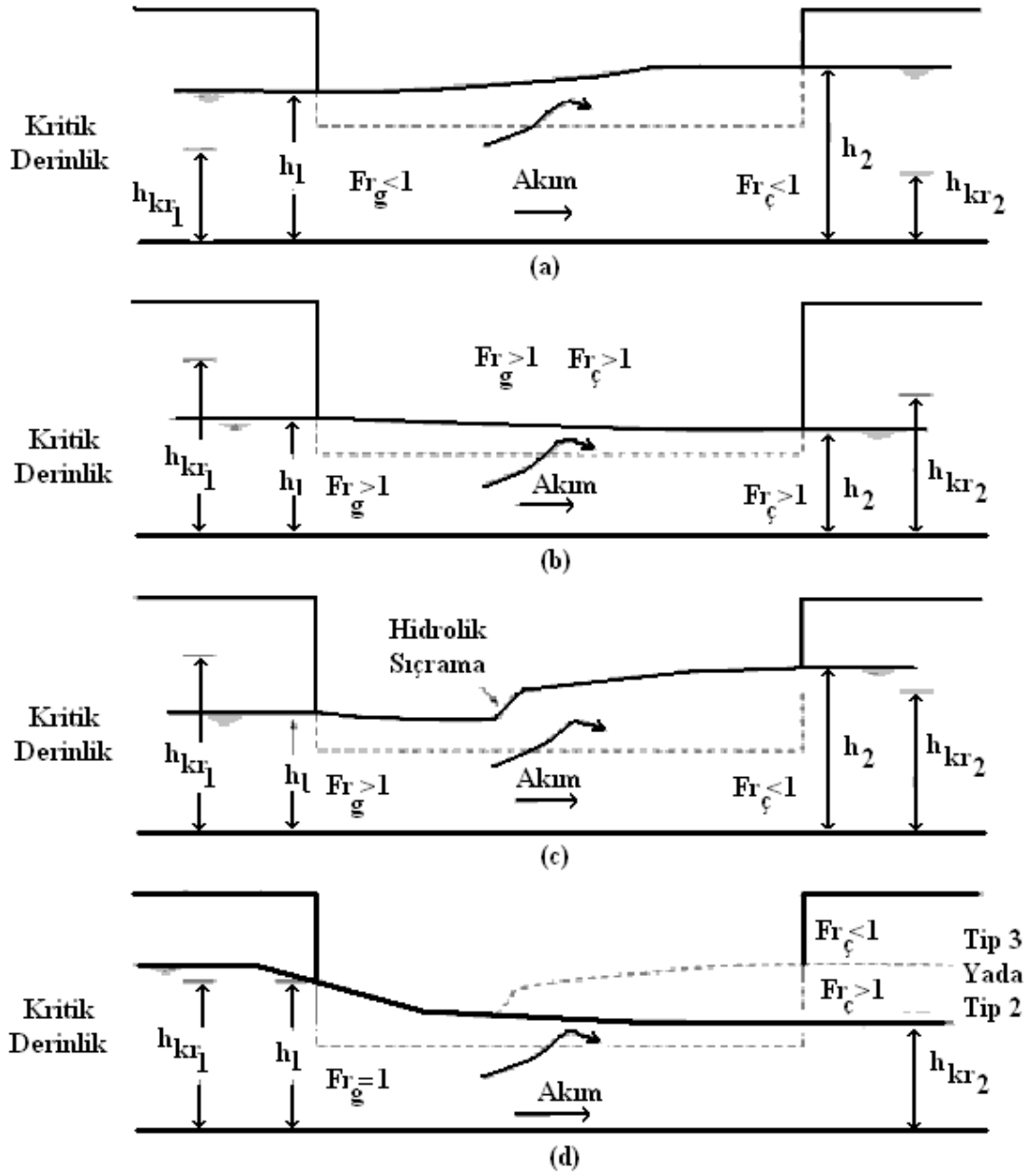
Şekil 1.10 Walshaw Dean rezarvuarı

1.1.4 Froude Sayısının Yan Savak Su Yüzü Profillerine Etkisi

Yan savaklarda ana kanaldaki akımın rejimine bağlı olarak 5 farklı su yüzü profili oluşur.

1. Savak başlangıcında su derinliği kritik derinlikten yüksektir. ($Fr < 1$) Akım yan savak boyunca nehir rejimindedir ve su derinliği gittikçe artar (Şekil 1.11 a).
2. Savak başlangıcında su derinliği kritik derinlikten düşüktür. ($Fr > 1$) Akım savak boyunca sel rejimindedir. Su derinliği savak üzerinde azalarak devam eder (Şekil 1.11 b).
3. Savak başlangıcında su seviyesi kritik derinlikten daha düşüktür. ($Fr > 1$) Savak üzerinde debi azalmasından dolayı bir hidrolik sıçrama meydana gelmektedir. Akımın enerjisi azalır ve akım nehir rejimine geçer ($Fr < 1$) (Şekil 1.11 c).
4. Savak başlangıcında su seviyesi kritik derinlik seviyelerindedir. ($Fr \approx 1$) Savak boyunca enerji azalır fakat akım sel rejiminde devam eder (Şekil 1.11 d tip 2 durumu).

5. Savak başlangıcında su seviyesi kritik derinlik seviyelerindedir. ($Fr < 1$) Savak boyunca enerji azalır ve hidrolik sıçrama yaparak nehir rejimine geçer (Şekil 1.11 d tip 3 durumu).



Şekil 1.11 Su yüzü profilleri

1.1.5 Yan Savaklar İle İlgili Çalışmalar

Parmley (1905), yaptığı çalışmalar sonunda akımın sel rejiminde olması halinde savak uzunluğu için aşağıdaki ifadeyi vermiştir.

$$L = 0.106\sqrt{g}bV\left[\sqrt{\left(\frac{1}{h_2 - p}\right)} - \sqrt{\left(\frac{1}{h_1 - p}\right)}\right] \quad (1.3)$$

Burada,

L =Yan savak uzunluğu (m),

b =Kanal genişliği (m),

V =Ana kanaldaki ortalama hız (m/s.),

h_1 =Ana kanal ekseninde yan savak menbasında su derinliği (m),

h_2 =Ana kanal ekseninde yan savak mansabında su derinliği (m),

p =Savak eşik yüksekliği (m),

olarak verilmiştir. Bu denklemin verdiği sonuçlar deneysel çalışmalarla karşılaştırıldığında $(h_2 - p)$ teriminin küçülmesi halinde L yan savak uzunluğu sonsuza gittiği için $(h_2 - p)$ savak yükünün minimum 19 mm alınmasını önermişlerdir. (H.Ağaçcı, 1995)

Engels (1920), büyük ölçekli bir modelde yaptığı deneylerin sonucunda, dikdörtgen kanallardaki yan savaklar üzerindeki su yüzü profillerini gözlemleyerek yan savak debisi için aşağıdaki bağıntıyı vermiştir.

$$Q_w = C_d \sqrt{2g} L^{0.83} (h_2 - p)^{1.67} \quad (1.4)$$

Burada,

Q_w =Yan savak debisi ($m^3 / s.$)

L =Yan savak uzunluğu,

h_2 =Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği,

p =Savak kret yüksekliği (m),

olarak verilmiştir.

Engels (1920) tarafından verilen (1.5) eşitliği sabit genişlikli dikdörtgen kanal için geçerlidir. Engels aynı zamanda, savak uzunluğu boyunca tedricen daralan dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savak debisi için,

$$Q_w = C_d \sqrt{2g} L^{0.9} (h_2 - p)^{1.60} \quad (1.5)$$

ifadesini vermiştir. Deneyler nehir rejimli akım şartlarında yapıldığı için, formüller bu akım şartları için geçerlidir. Deneylerde gözlenen su yüzü profili Şekil 1.11.b'deki su yüzü profiline denk gelmektedir. Engels (1920), su yüzü profilinin, yan savak menba kısmından önce giderek azaldığını ve savaktan sonra tekrar küçük bir yükselme yaptığını gözlemlemiştir.

Coleman ve Smith (1923), sel rejimi halinde yaptıkları çalışmalar sonucunda, sabit enkesitli dikdörtgen bir kanaldaki yan savaklarda, su yüzü profilinin menbadan mansaba doğru yan savak boyunca azaldığını ve mansap tarafında tekrar yükseldiğini gözlemlemiştir.

Coleman ve Smith, yan savak debisi için,

$$Q_w = 258bL^{0.72} (h_1 - p)^{1.645} \quad (1.6)$$

ifadesini belirlemişlerdir. Burada,

h_1 = Yan savak menbasında ana kanal eksenindeki su derinliğidir (m).

Coleman ve Smith (1923), yan savak uzunluğu hesabı için de;

$$L = 1.16bV_1(h_1 - p)^{0.13} \left[\frac{1}{(h_2 - p)} - \frac{1}{(h_1 - p)} \right] \quad (1.7)$$

formülünü vermişlerdir. Burada V_1 , yan savak menbasındaki ana kanaldaki ortalama hızı ifade etmektedir.

$(h - p)$ teriminin küçülmesi durumunda bölüm sonsuza gideceği için, aynı yazarlar tarafından p eşik yüksekliğinin minimum 19 mm alınması önerilmiştir.

Nimmo (1928) konuyla ilgili teorik bir yaklaşım geliştirmiş, Collinge (1957) de bu ifadeyi momentumun korunumu prensibini kullanarak sabit genişlikli bir dikdörtgen kanal için su yüzeyi eğimini veren aşağıdaki eşitliği elde etmiştir.

$$\frac{d_h}{d_x} = \frac{(J - J_0) - \frac{Q}{g} \frac{1}{b^2 h^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - Fr_1^2} \quad (1.8)$$

Burada,

b =Kanal genişliği (m),

h =Akım derinliği (m),

g =Yerçekimi ivmesi (m/s^2),

J =Enerji çizgisi eğimi,

J_0 =Kanal taban eğimi,

Fr_1 =Froude sayısı ,

$\frac{dQ}{dx}$ =Birim uzaklıktan savaklanan debi (m^3/s),

olarak ifade edilmiştir. Nimmo (1928), savak üzerindeki $(h-p)$ savak yükünü kullanarak (dQ/dx) ifadesinin (1.9) eşitliği ile bulunabileceğini ifade etmiştir.

$$q_x = \frac{dQ}{dx} = -C_n (h-p)^{3/2} \quad (1.9)$$

Burada C_n , Nimmo tarafından verilen yan savak debi katsayısıdır. Sürtünme kayıpları ihmal edilip, kanalın yatay olduğu varsayılarak ($J = J_0$), (1.8) eşitliği (1.10) eşitliğine dönüştürülebilir.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{Q}{gA^2} \frac{1}{Fr_1^2 - 1} \frac{dQ}{dx} \quad (1.10)$$

Burada A , ana kanal ıslak kesit alanıdır. Nimmo (1928), savak menbasındaki duran dalgalara sebep olan yüksek hızlardaki eğrisel girişe rağmen, teorisinin pratikte %3'lük hata ile kullanılabileceğini belirtmiştir.

Tyler, Steyskal ve Carollo (1929), dalgıç perdeli ve dalgıç perdesiz yan savaklar üzerinde yaptıkları deneyler sonucunda, daha önce yapılan çalışmaların detaylarını tartışmışlar, az farkla Engels (1920) tarafında elde edilen profile benzer bir profil belirlemişler ve minimum derinliğin yan savak başlangıcından biraz ileride olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda yalnız Engels (1920)'ın formüllerinin doğru olduğunu belirtmişlerdir.

Tyler, Steyskal ve Carollo (1929), dalgıç perdenin yan savak debisini arttırıcı etki yaptığını ve

ana kanal eksenini ile 90° açısı yapması durumunda maksimum artışın (%20-%30) oluştuğunu belirtmişlerdir.

Forchheimer (1930), özgül enerjiyi sabit kabul ederek yan savak menba ve mansap su derinlikleri arasındaki fark için,

$$h_2 - h_1 = \frac{Q^2 - Q'^2}{2gA^2} - \left(\frac{Q + Q'}{2A}\right)^2 \frac{n^2}{R^{1.49}} L \quad (1.11)$$

eşitliğini vermiştir. Burada

Q = Toplam debi ($m^3 / s.$),

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

A = Dikdörtgen kesitte ortalama ıslak alan (m^2),

n = Manning sürtünme katsayısı,

R = Hidrolik yarıçaptır.

De Marchi (1934), yan savak boyunca özgül enerjinin sabit kaldığını varsayarak ve aşağıdaki kabulleri yaparak, teorik bir çalışma yapmıştır.

1. Ana kanalda kararlı akım şartları mevcuttur.
2. Yan savak kreti ana kanal tabanına paraleldir.
3. Yan savak üniform enkesitli uzun bir kanal üzerine yerleştirilmiştir.
4. Yan savağın menba ve mansabındaki belirli mesafelerde kanaldaki akım üniformdur.
5. Verilen herhangi bir yan savak uzunluğundan geçen debi, gibi normal savak formülleriyle hesaplanır.

$$\frac{dQ_w}{dx} = C_d \sqrt{2g} (h - p)^{\frac{3}{2}} \quad (1.12)$$

6. Enerji çizgisi kanal tabanına paraleldir.

Buradan kısa yan savak ya da akım derinliğinin değişmediği anlamı çıkar.

Bir kanalın sabit bir enerji seviyesinde geçirilebileceği debi ile su derinliği arasındaki ilişki Koch parabolü ile belirlenebilir (Şekil 1.12).

Yan savak başlangıcında akım sel rejiminde ise $h < h_{kr}$ olduğundan, debi-derinlik ilişkisi D noktası ile verilir. Yan savak boyunca ana kanal debisi azalacağından akım D' noktası ile belirlenecektir. Yan savak başlangıcında akım nehir rejiminde ise $h > h_{kr}$ olacağından akım bir E noktası ile belirlenecektir. Nehir rejiminde ana kanal debisi yan savak boyunca azalacağından akım E' gibi bir nokta ile belirlenebilir. Buna göre, Şekil 1.12 de görüldüğü gibi, yan savak boyunca ana kanal ekseninde su derinliği nehir rejiminde artarak, sel rejiminde azalarak gider.

$$E = h + \frac{Q^2}{2gA^2} = \text{sabit} \quad (1.13)$$
$$gA^3 \frac{dh}{dx} + QA \frac{dQ}{dx} - Q^2 \frac{dA}{dx} = 0 \quad (1.14)$$
$$\frac{dA}{dx} = b \frac{dh}{dx} \quad (1.15)$$
$$\frac{dh}{dx} = \frac{AQ}{bQ^2 - gA^3} \frac{dQ}{dx} \quad (1.16)$$

şeklinde su yüzü profilini verecek şekle getirilir. Bu denklem Nimmo (1928) tarafından geliştirilen (1.10) denklemleriyle aynıdır.

(1.16) eşitliğinden, Q , A , dQ/dx ve b büyüklüklerinin bilinmesi halinde herhangi bir kesitteki su yüzü profili bulunur. Bu denklem, nehir rejiminde $[V < (\sqrt{gh})]$, dh/dx 'in pozitif değerde olduğunu, sel rejiminde $[V > (\sqrt{gh})]$, dh/dx 'in negatif değerde olduğunu gösterir.

De Marchi (1934), çalışmalarında üç farklı profil tespit etmiştir.

1. Yan savak menbasında akım üniform, sel rejiminde ve kanal büyük eğimli ise akım menba kontrollüdür. Savak boyunca derinlik tedricen azalır. Savağın menba tarafına etkisi yoktur.
2. Yan savak menbasında, nehir rejimi oluşturacak kanal eğimi mevcut ise savağın etkisi menbada görüleceği için 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 kesitinde akım derinliği, başlangıçtaki Q debisine karşı gelen normal akım derinliğine asimptot olacaktır.
3. Yan savak eşik yüksekliğinin Q debisine karşı gelen kritik derinlikten küçük olması durumunda, akım sel rejimindedir ve su seviyesi membadan mansaba doğru azalarak gider. QQ kesitindeki akım derinliği kritik derinlikten küçük olur. Buda yan savak mansab kısmında sıçramaya sebep olur (Şekil 1.13).

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

$$\frac{dh}{dx} = \frac{Qh}{Q^2 - gb^2h^3} \frac{dQ}{dx} \quad (1.17)$$

olur. (1.11) eşitliğinden elde edilen,

$$Q = bh\sqrt{[2g(E - h)]} \quad (1.18)$$

bağıntısı ve

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

kabulü yapılarak birlikte kullanılırsa, (1.17) eşitliği

$$\frac{dh}{dx} = -\frac{2Cd}{b} \frac{\sqrt{(E-h)(h-p)^{3/2}}}{2E-3h} \quad (1.19)$$

şeklinde yazılabilir. Bu eşitliğin integrasyonu ile;

$$x - x_0 = \frac{b}{Cd} \left\{ \frac{2E-3p}{E-p} \sqrt{\left[\frac{E-h}{h-p} \right]} - 3 \text{ArcSin} \sqrt{\left[\frac{E-h}{E-p} \right]} \right\} \quad (1.20)$$

elde edilir. Burada,

x_0 , integral sabitidir.

Genel parantezin içindeki terim $\phi(h/E)$ ile gösterilirse sırasıyla derinliğin h_1 ve h_2 olduğu kesitler arasındaki x_1 ve x_2 mesafeleri arasındaki fark,

$$x_2 - x_1 = \frac{b}{Cd} \left\{ \left[\frac{2E-3p}{E-p} \right] \sqrt{\left[\frac{E-h_2}{h_2-p} \right]} - 3 \text{ArcSin} \sqrt{\left[\frac{E-h_2}{E-p} \right]} - \left[\frac{2E-3p}{E-p} \right] \sqrt{\left[\frac{E-h_1}{h_1-p} \right]} - 3 \text{ArcSin} \sqrt{\left[\frac{E-h_1}{E-p} \right]} \right\}$$

veya $L = x_2 - x_1$ kabulüyle,

$$L = \frac{b}{Cd} \left\{ \phi \left[\frac{h_2}{E} \right] - \phi \left[\frac{h_1}{E} \right] \right\}$$

olarak bulunur.

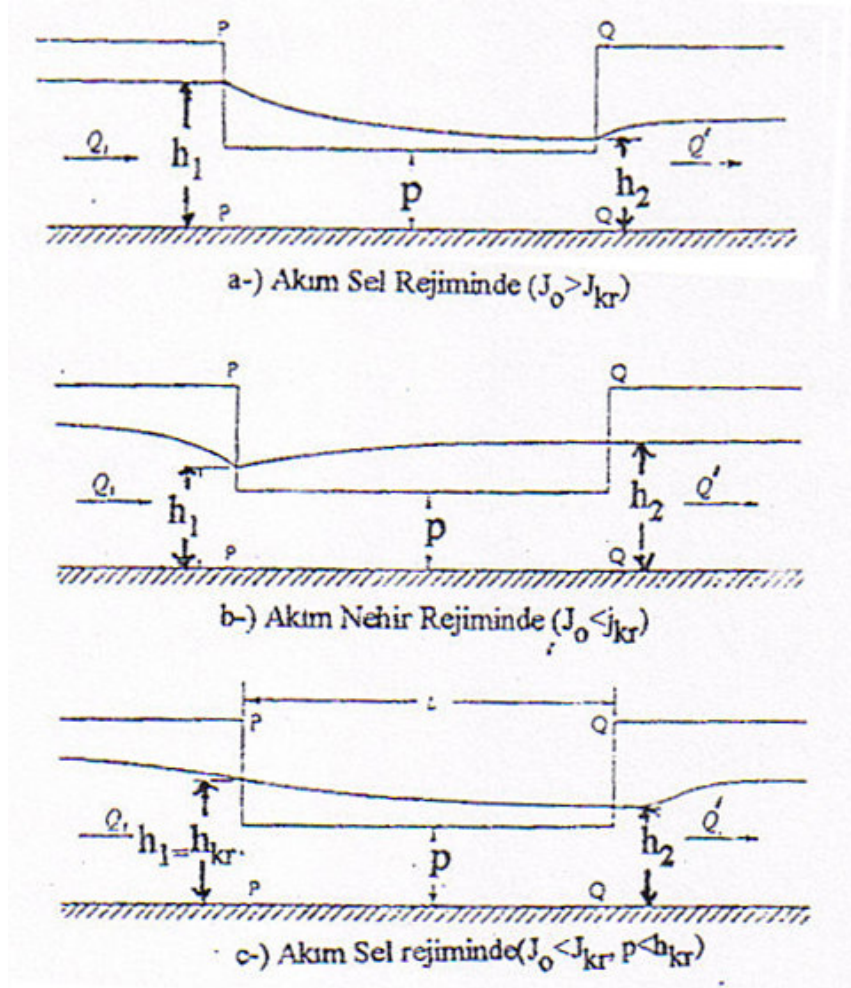
p/E parametresinin çeşitli değerleri için $\phi(h/E)$ eğrileri (Şekil 1.14) de verilmiştir. Eğer yan savak debisi, memba veya mansap uçlarının herhangi birindeki akımın rejimi (böylece (h/E) biliniyorsa (1.21) eşitliği yan savağın diğer ucundaki (h/E) değerini bulmak için kullanılabilir.

Collinge (1957)'nin belirttiğine göre, Gentilini (1938) De Marchi (1934)'nin çalışmalarını izleyerek yaptığı deneyler sonucu, De Marchi'nin çalışmasının nehir rejiminde uygun olabileceğini belirtmiş, sel rejimi için ise teori ve deneysel çalışmalar arasındaki farklılıkları göstermiştir.

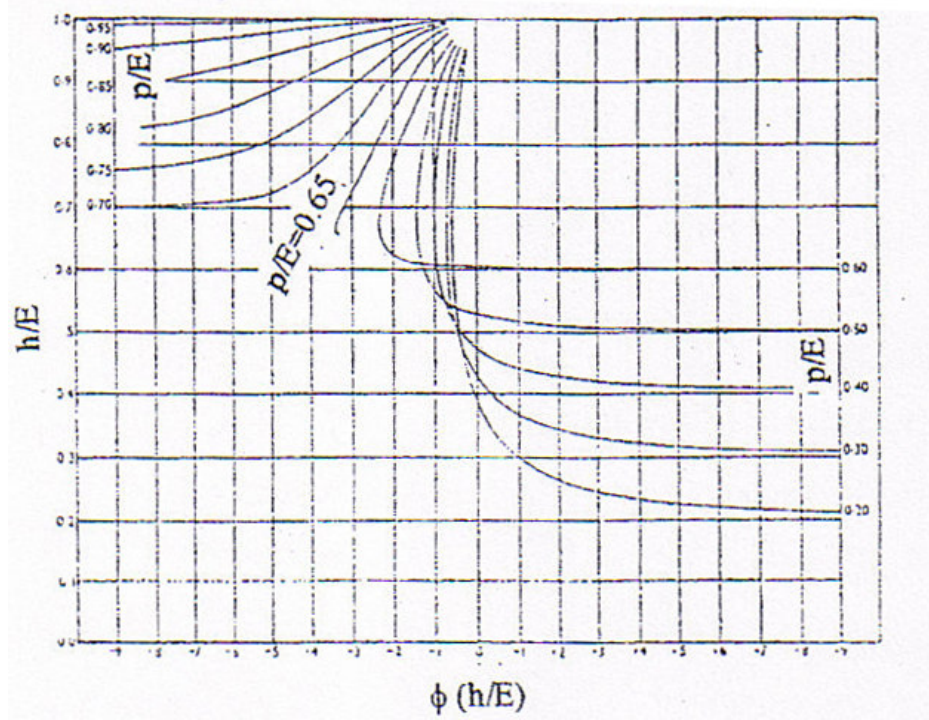
Babbitt (1953) 0.46 m ve 0.61 m çapındaki iki farklı dairesel boruda 0.41 m ve 1.07 m uzunluklu yan savaklar ile deneysel çalışma yapmış ve bütün deneylerinde Coleman ve Smith (1923)'in bulmuş olduğu su yüzü profiline benzer profiller göstermiştir. Babbitt'in sel rejimi durumunda yan savak uzunluğu için verdiği formül,

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

şeklindedir. Bu ampirik bağlantının geçerliliği h_2 'nin yan savak eşik yüksekliğine yaklaşması durumunda yan savak uzunluğu sonsuza gittiğinden, deney şartları ile sınırlı olduğu görülmektedir.



Şekil 1.13 Su yüzü profillerinin muhtemel tipleri (De Marchi, 1934)



Şekil 1.14 $\phi(h/E)$ Fonksiyonunun, p/E parametresinin çeşitli değerleri için değişimi (De Marchi, 1934)

Frazer (1954), dikdörtgen kesitli kanaldaki yan savaklarda yaptığı seri deneylerle konuyu teorik ve deneysel olaylarla incelemiş, çalışmalarında hem ana kanaldaki akım miktarı ve ana kanal genişliğini, hem de yan savak boyutlarını ve savaklanan akım miktarını değiştirmiştir.

Yazar, konuyu teorik olarak incelemesi esnasında büyük eğimli kanallarda muhtemel üç hareketin olabileceğini göstermiştir. Muhtemel hareket şekillerini,

- Yan savak boyunca derinliği azalan ana kanaldaki sel rejimli akım,
- Yan savak boyunca derinliği artan ana kanaldaki nehir rejimli akım,
- Yan savak başlangıcında sel rejimli akım, yan savakta hidrolik sıçrama ve sıçramadan sonra nehir rejimindeki akım,

olarak belirtilmiştir. Bunların De Marchi (1934)'nin ifade ettiği üç çeşit akım hali olduğu anlaşılmaktadır. Yazar analizlerinde aşağıdaki kabulleri yaptığını ifade etmiştir:

- Herhangi bir noktadaki basınç yükü, bu noktadaki derinliğe eşittir.
- Ana kanalın herhangi bir kesitinde hız üniformdur.

- c. Birbirine yakın uzunluklarda bulunan iki kesit arasındaki sürtünme kayıpları ihmal edilebilir. Buradan, akım şartlarının Reynolds sayısında bağımsız olduğu kabulünün yapıldığı anlamı çıkarılmalıdır.
- d. Yan savak üzerinden geçen $-\delta Q_w$ debisinin ana kanal doğrultusuna paralel hız bileşeni, ana kanaldaki akımın akış doğrultusundaki V_1 hızına eşittir.
- e. Savaklanan $-\delta Q_w$ debisi sadece atmosfer basıncına maruzdur.
- f. Kanal tabanına yakın derinliklerde akım çizgisi yatay kabul edilebilecek kadar küçük eğriliğe sahiptir.

Yazar yaptığı bu kabullerle, enerji yaklaşımına eş değer olduğunu belirttiği momentum yaklaşımını kullanarak problemi çözmeye çalışmıştır. Yazar problemi teorik olarak çözmeyi başaramamış, ancak yaptığı deneysel çalışmalara dayanan yarı ampirik bağlantılar elde etmiştir.

Frazer (1954) deneylerinde, çeşitli denemelerden ve belirli kabullerden sonra, enine doğrultudaki su yüzü değişimini dikkate alarak, ortalama bir su derinliğini tariflemiştir.

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

Burada,

h_b = Dış kıyıdaki akım derinliği,

h_m = Ana kanal eksenindeki akım derinliği,

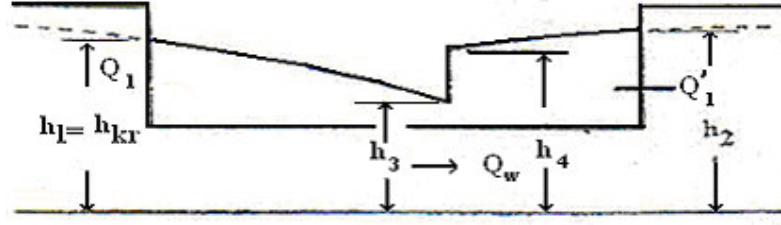
h_w = Yan savak tarafındaki akım derinliği,

olarak verilmiştir.

Frazer (1954)'in yan savak üzerindeki hidrolik sıçramayı inceleyen ilk araştırmacıdır. Yazara göre, yan savak üzerindeki sıçramanın mevcudiyeti sıçramadan önceki akım şartlarını etkilemez. Sıçramanın etkisi sıçrama kesitinden sonra görülmektedir. Sıçramadan sonra sel rejimi halindeki özgül enerjiden daha küçük özgül enerjiye sahip nehir rejiminde akım şartları söz konusu olur. Bu yeni özgül enerji seviyesinin değerini elde etmek için sel rejiminden nehir rejimine ani geçişteki su yüzeyindeki artışın alınabileceği varsayılmıştır. Nehir rejimine geçiş uzunluğunun sıçrama yüksekliğinden beş kez daha büyük olduğu bilinmektedir. Fakat

yan savakta bunun daha kısa bir uzunlukta yer aldığı kabul edilmiştir. Froude sayısının 1-2 arasındaki sınırlarında sıçrama, dalgalı yüzeysel sıçrama formundadır. Ancak akımın ortalama derinliği (1.24) ifadesi ile verilmiştir (Şekil 1.15). Momentum denkleminde çıkarılan genel sıçrama formülü,

$$h_{4,r} = \frac{h_{3,r}}{2} \left\{ \sqrt{\left[\frac{8qw^2}{h_{3,r}^3} + 1 \right]} - 1 \right\}$$



Şekil 1.15 Yan savak boyunca meydana gelen sıçrama hali, (Frazer, 1954)

Olarak verilmiştir. Burada,

h_3 = Sıçramadan önceki ana kanaldaki akım derinliği,

h_4 = Sıçramadan sonraki ana kanaldaki akım derinliği,

Q_w = Yan savak debisi,

$q_w = Q_w / Q$,

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

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

olarak verilmektedir. Sıçramadan sonraki debi-derinlik ilişkisi,

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

şeklinde verilmektedir. Burada,

$h_{2,r} = h_2 / h_{kr}$

ve

$$\psi = 2h_{4,r} + \frac{q_3^2}{h_{3,r}^2} \quad (1.26)$$

olarak alınmalıdır.

Schmidt (1955-1956), nehir rejimine sahip dikdörtgen kanallarda yaptığı deneysel çalışmalara dayanarak normal savak denklemine benzer şu ifadeyi vermiştir.

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

$$Q_w = Q - Q'$$

olarak alınmalıdır.

Schmidt (1955-1956)'e göre, nehir rejimli akımdaki yan savak için, savak katsayısının ve h_1 değerinin belirlenmesi gerekir. Eğer C_d , $(h_1 - p)$ ve L bilinmeyen değerler ise Q' ve $(h_2 - p)$ bilindiğinden, L yan savak uzunluğunun belirlenmesi gerektiğinde C_d ve $(h_1 - p)$ 'nin önceden bulunması gerekir. Yan savak debi katsayısının

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

olarak alınması pek çok halde iyi sonuç verdiği ileri sürülmektedir. Burada,

$$C_d = \text{Savak debi katsayısı,}$$

$$C_{nor} = \text{Akıma normal olarak yerleştirilen savak katsayısı,}$$

olarak verilmiştir. Deneyler nehir rejimli akım şartlarında yapıldığından $(h_2 - p)$ mansap şartlarında bilinir ve hesaplar menbaya doğru yapılır. $(h_1 - p)$ değeri de açık kanal için yazılan enerji denkleminde faydalanılarak bulunur. Bunun için, yan savak menba ve mansap kesitleri göz önüne alınarak,

$$h_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_L \quad (1.29)$$

bağlantısı yazılabilir. Burada α_1 ve α_2 sırasıyla, yan savak menba ve mansabındaki

kesitlerde hız katsayılarıdır. Ve her ikisi de 1.1 olarak alınabilir. h_L , savak boyunca meydana gelen sürtünme yük kaybını gösterir ve bunun hesabında $V = \frac{[V_1 + V_2]}{2}$ ortalama hız değeri dikkate alınarak,

$$h_L = \frac{\left[\frac{[V_1 + V_2]}{2} \right]^2}{2g} \quad (1.30)$$

ifadesi kullanılır. Böylece (1.29) bağlantısı,

$$\xi = \frac{h_2 - h_1}{\alpha \frac{V_1^2}{2g} - \alpha^2 \frac{V_2^2}{2g} - h_L} = \xi \left[\frac{(h - p)_{ort}}{(h - p)_{ort} + p} \right] \quad (1.31)$$

şeklinde de ifade edilebilir.

Hesaplarda mansap şartlarından $(h_2 - p)$ değeri bilindiğinde, $(h_1 - p)$ yan savak menba su yüksekliği seçilir. ξ değeri grafik ve hesap yoluyla bulunur ve (1.31) eşitliğini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Eşitlikte istenilen hassasiyet sağlanamazsa işlem tekrarlanır. Yazar bu yöntemi, $V_1/V_{kr} < 0.75$ olması durumunda geçerli olduğunu belirtmiş ve farklı durumlar için deneysel çalışma gerektiği ifade etmiştir.

Collinge (1957), De Marchi (1934) ve Gentiline (1938)'nin çalışmalarından hareket ederek yaptığı deneysel çalışmalardan aşağıdaki seçenekleri amaçlamıştır.

- Değişik akım şartları altında yan savak boyunca elde edilen su yüzü profilini gözlemek,
- De Marchi (1934) teorisini yan savaklara uygunluğunu kontrol etmekle uygulama sınırlarını belirlemek,
- Ana kanaldaki hız değişmelerinden dolayı savak katsayısındaki değişimi bulmak,
- Yan savak bölgesindeki taban katı madde hareketlerini tespit etmek,

Collinge (1957)'nin, su yüzü profilleri hakkındaki gözlemleri şöyle sıralanabilir.

- a. Küçük hızlarda su seviyesi savak başlangıcına kadar kanal tabanına paraleldir, daha sonra savak boyunca tedricen yükselir.
- b. Akımın hızı arttıkça, su seviyesi savak başlangıcına kadar düşer. Bu hal savak başlangıcındaki Froude sayısının 0.98 olmasına kadar geçerlidir.
- c. Akımın hızı biraz daha arttırılırsa Froude sayısı 1.01 değerine ulaştığında, su seviyesi savak başlangıcından savak ortasına kadar düşer ve bu noktadan itibaren tekrar yükselir.
- d. Akım hızı daha da arttırılırsa, su seviyesi savak menbasından savak mansabına doğru sürekli azalırken, sıçrama noktası savak boyunca hareket eder.

Yazar, De Marchi (1934) teoreminde savaklanan debi için kullanılan,

$$Q_w = C_d L \sqrt{(2g)(h-p)}^{n'} \quad (1.32)$$

eşitliğindeki C_d ve n' katsayılarını kontrol etmek için yan savak üzerinde savaklanan akımın serbest veya batık olması hallerinde de deneyler yapılmıştır. Uzunluğu 30.48 cm ve yüksekliği 5.08 cm olan yan savak üzerinde iki farklı ana kanal genişliği için yazarın C_d ve n' katsayıları için bulguları Çizelge 1.1 de verilmiştir. Yine yazar, C_d savak katsayısının ana kanaldaki akım hızına bağlı olarak da değişebileceğini öne sürmüştür.

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)'e göre, $F_{r1}=0.95$ civarında deneysel sonuçlar De Marchi (1934)'nin teoremine çok iyi uyum sağlamaktadır. $F_{r1}=1.0$ civarında teori ve deneysel çalışma arasında büyük farklılıklar söz konusu olmaktadır. $F_{r1}=1.15$ den sonra teori ve deneysel çalışma yine oldukça iyi uyum göstermektedir. Yazara göre, teori ve deneysel sonuçlar arasındaki farklılık

iki nedene dayanmaktadır:

- 1- Enerji kayıpları,
- 2- Savak katsayısı

Enerji kayıplarından dolayı hem nehir rejimli akımda hem de sel rejimli akımda, deneysel sonuçlardan çıkarılan su yüzü profilleri teorik profilden daha büyüktür. Bunun sonucunda da deney sonuçlarından bulunan savaklanma debisi miktarı teorik debiden daha büyüktür. Her çalışma için, teorik debinin hesabında C_d savak katsayısının yaklaşık değeri kullanılmıştır. Bu sebeple kanaldaki akım hızı artarken C_d savak katsayısı azalır. Bundan dolayı yan savaktan savaklanan debi, teorik debi değerinden daha küçüktür. Gentilini (1938) gibi Collinge (1957) de, De Marchi (1934) teorisinin sadece nehir rejimi halinde iyi sonuç verdiğini ileri sürmüştür.

Ackers (1957) sel rejimi halinde dikdörtgen enkesitli bir kanalda yan savak kretinin kanal tabanını paralel olması durumunda su yüzü profili denklemini özgül enerjinin sabit olması halinde incelenmiştir. Ackers'a göre, özgül enerji denklemindeki hız yükü α , basınç yükü de β' katsayısıyla çarpılmalıdır. Pratikte kanal tabanına yakın noktalarda akım hızı, daha üst seviyelerdeki hızlara göre daha küçüktür. Basınç enerjisi de, akım sel rejiminde bulunduğundan savak menbasına doğru azalmaktadır. Bu sebeple, hız yükü $\alpha > 1$ olmak üzere α ile, basınç yükü $\beta' < 1$ olmak üzere β' ile çarpılmalıdır.

Yazar α ve β' katsayılarını deneysel olarak belirlemiş ve $1.15 < \alpha < 1.40$ için $\beta' = 0.80$ değerini vermiştir. α ve β' katsayılarının belirlenmesinde özgül enerji denklemi aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$1 = \beta' \frac{h}{E} + \alpha \frac{V^2}{2gE} \quad (1.33)$$

Ackers (1957)'a göre, yan savağın mansap ucunda, 20mm den küçük savak yüklerinde diferansiyel denklemden bulunan savak uzunluğu normalden büyük çıkar. Bu nedenle mansap savak yükü minimum 20 mm de tutulmalı ve buna göre savak uzunluğu belirlenmelidir.

Allen (1957), dairesel enkesitli kanallardaki yan savaklar üzerine yaptığı deneysel çalışmalarda iç çapı 0.15 m, uzunluğu 2.14 m olan bir boru kullanılmıştır. (Şekil 1.16)'da görüldüğü gibi, çapı D olan daire kesitli kanalda, kanal eksenini üzerindeki herhangi bir noktanın yan savak menba ucuna uzaklığı 'x' ve savak yükü (h-p) ile verilse, (h-p) savak

yükü 'x' uzaklığının bir fonksiyonu olarak değişir.

$$[h-p]=f[x]$$

Sonsuz küçük dx uzunluğunda (h-p) savak yükü sabit kabul edilirse ve savak üzerindeki yük dikkate alınır, dx savak uzunluğundan savaklanan debi,

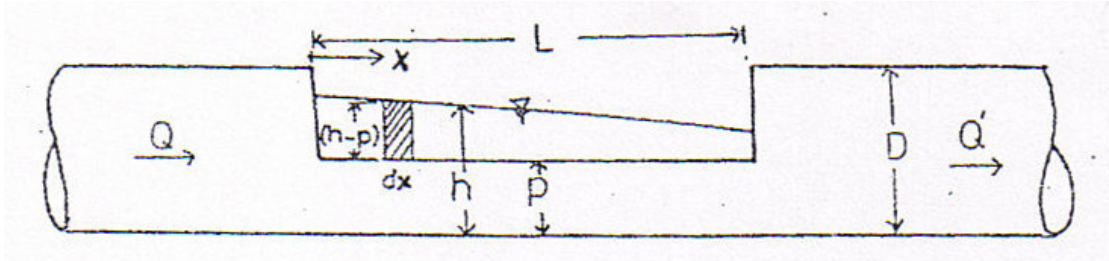
$$dQ_w = C_a [h - p]^{n'} dx \quad (1.35)$$

olarak bulunur. Yazar, yaptığı bir seri deneysel çalışma sonucunda $n'=2/3$ değerini elde etmiştir. Buna göre dx uzunluğundaki bir savak parçasının debisi için,

$$dQ_w = C_a [h - p]^{2/3} dx \quad (1.36)$$

ifadesi elde edilir. Burada C_a yan savak debisi katsayısıdır. (Allen 1957)

Allen (1957) tarafından, su yüzü profili için verilen yarı ampirik ifade, savağın başlangıç kısmında deneysel olarak gözlenen su yüzü profilinden sapmış ancak başlangıçtan belirli bir mesafeden sonra savak mansabına kadar iyi uyum göstermiştir.



Şekil 1.16 Daire enkesitli kanallardaki yan savak genel görünüşü (Allen 1957)

Taylor (1968), Nimmo (1928) in teorik yaklaşımını labirent savaklara uyguladı. Yüksek dereceden ivme terimi içeren bu denklem, üniform olmayan akım şartları için düşündürücüydü. Taylor, düz kretli savaklar için sürtünmeyi ihmal ederek,

$$\frac{dh}{dx} = \frac{\frac{2Q}{gA^2}}{\frac{Q^2 W_c}{A^3 g} - 1} \left(\frac{dQ}{dx} - \frac{Q}{B} \tan(\theta) \right) \quad (1.37)$$

ve buradaki;

$$\frac{dQ}{dx} = C_1 \sqrt{g} h^{\frac{3}{2}} \quad (1.38)$$

denklemlerini türetmiştir.

X, akıma karşı doğrultuda alınarak, sonlu farklarla bu denklemler çözülmüştür. Savak katsayısındaki değişimleri takip etmek için birçok özel deney yapıldı. Fakat elde edilen sonuçlar labirent yan savakların hidrolik dizaynı için yeterli değildi (T Falvey, 2003)

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

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

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

$$q = -\frac{dQ}{dx} = C_d \sqrt{[2g]} [h - p]^{3/2} \quad (1.39)$$

olarak belirtilmişlerdir. Buna göre C_d katsayısının değişimini incelemişler, boyut analizinden C_d 'nin bağımlı olduğu boyutsuz parametreleri,

$$C_d = \text{fonk} \left\{ Fr_1 = V_1 / \sqrt{[gh_1]}, L/b, h/L, p/h \right\} \quad (1.40)$$

şeklinde elde etmişlerdir. Yazarlara göre, kanaldaki değişik akım şartlarında C_d değeri için tatminkar bilgi mevcut değildir. Yazarların belirttiğine göre, Ackers (1957), eğer h savaktan uzakta ölçülürse $C_d = 0.417$ değerini, eğer h savağa yakın ölçülürse $C_d = 0.483$ değerini tavsiye etmiştir. Yazarlara göre, Collinge (1957) de, C_d 'nin ana kanal menbaındaki ortalama hızlara göre değiştiğini ifade etmiştir.

Yazarlar, C_d 'ye etki eden esas parametrenin, yan savağın başlangıcındaki Froude sayısı olduğunu belirterek, diğer parametrelerin etkisinin küçük olduğunu kabul etmişler ve nehir rejimli bir akımda yan savak debi katsayısı için,

$$C_d = 0.407 \left\{ 1 - \sqrt{\frac{3Fr_1^2}{Fr_1^2 + 2}} \right\} \quad (1.41)$$

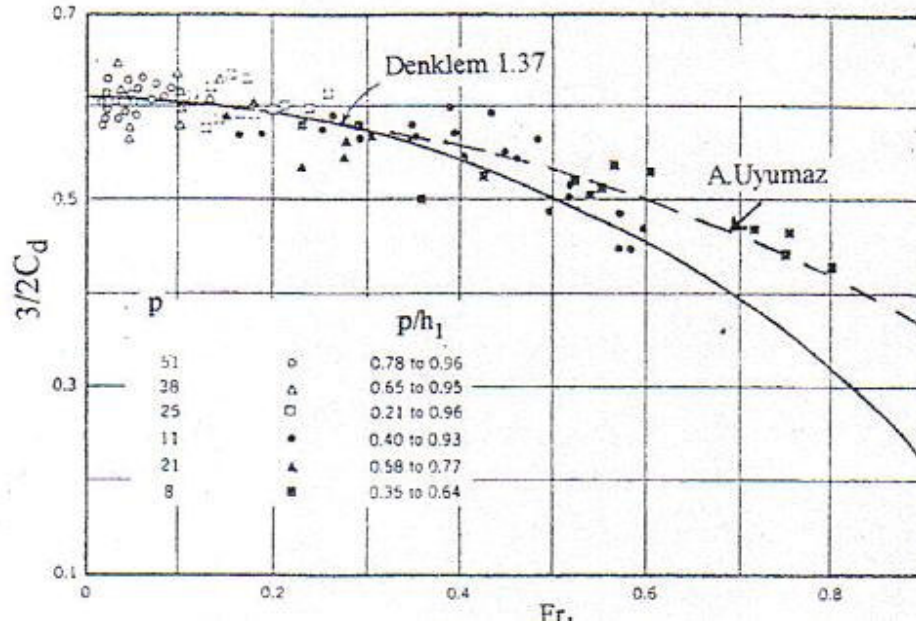
ifadesini vermişlerdir. (1.39) bağıntısının sıfır savak kret yükseklikli yan savaklar için nehir rejimine sahip kanal şartlarında, deneysel olarak bulunan C_d değerlerine çok uyum sağladığı görülmüştür. Sonlu kret yükseklikli yan savakta ise aynı akım şartlarında $Fr_1 > 0.6$ için meydana gelen küçük sapmalar, deney çalışmalarındaki hatalara bağlanmıştır. (Şekil 1.17.a)

Sel rejimindeki akım şartlarında ise, L/b , h_1/L , p/h_1 parametrelerinin etkileri hissedilmediği gibi, nehir rejiminde debi katsayısını etki eden Fr_1 sayısının etkisinin de çok az olduğu görülmüştür. Yazarlara göre, sel rejiminde Fr_1 sayısının etkisinin az olması muhtemelen sürtünme tesirlerinden kaynaklanmaktadır. Yazarlar, $Fr_1 > 2.0$ olduğunda C_d 'in değişimini,

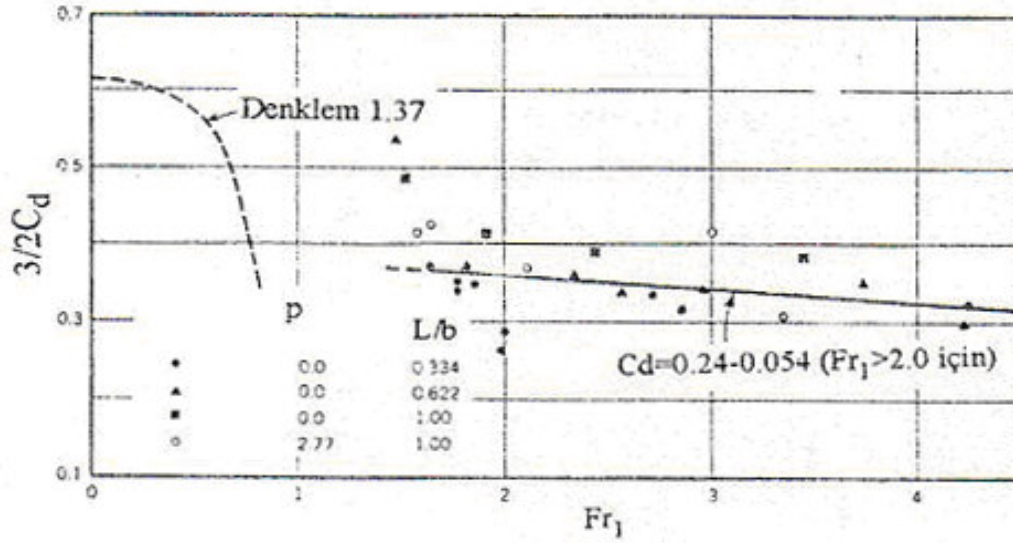
$$C_d = 0.24 - 0.053Fr_1 \quad (1.42)$$

ifadesi ile vermişlerdir (Şekil 1.17.b). Yazarlar, gerek nehir rejimi için elde edilen (1.39) bağıntısı ve gerekse sel rejimi için elde edilen (1.40) bağıntısının, yan savaklar üzerinden geçen debinin tahmininde kullanılabileceğini, bunun hem sıfır eşik yükseklikli hem de sonlu yükseklikli yan savaklar için geçerli olduğunu belirtmişlerdir.

Smith (1973), deneysel çalışmalara dayanılarak yapılan yaklaşık çözüm yollarının, sınırlı sayıda değişkeni içermesi sebebiyle, uygulamaların yetersiz kaldığını ileri sürmüştür. Sabit dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savaklarda, kanal tabanının yatay ve sürtünme kuvvetlerinin ihmal edilmesi halinde, De Marchi (1934)'nin analitik çözümünün geçerli olduğunun, fakat bunun kullanılmasının oldukça zor olduğunu ifade etmiştir. Yazar yüksek hızlı dijital bilgisayarlar, kanal tabanı ve yan savak eşik yüksekliği gibi geniş kapsamlı değişkenler ve her çeşit enkesite sahip kanallar için bile çözümü mümkün kıldığını belirtmiştir.



Şekil 1.17.a Nehir rejimli akım halinde C_d yan savak debi katsayısının Fr_1 'e göre değişimi (Subramanya – Awasthy, 1972).



Şekil 1.17.b Sel rejimli akım halinde C_d yan savak debi katsayısının Fr_1 'e göre değişimi (Subramanya – Awasthy, 1972).

Smith (1973), genellikle aşağıdaki kabullerin yapılabileceğini ifade etmiştir.

- 1- Savak boyunca toplam enerji sabittir.
- 2- (Şekil 1.11) baz alınır, yan savak üzerindeki yük $[h-p]$, enine değişimler dikkate alınmazsa, teğetsel hız yükü $\alpha[V^2/2g]$ dir.
- 3- Savak üzerindeki akım savak normali ile belli bir açı yapmasına rağmen, yan savak debisi için aşağıdaki klasik yan savak debi ifadesi uygulanabilir.

$$q = C_d \sqrt{2g} [h - p]^{3/2} \quad (1.43)$$

- 4- Kanaldaki basınç dağılımı, su yüzeyindeki eğrilğe ve dalgalanmalara rağmen hidrostatiktir.

Yazar bu kabulleri yaparak, özgül enerji denkleminde hareketle su yüzü profilini veren (1.42) bağlantısını elde etmiştir.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{J_0 - J - \frac{\alpha Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx} + \frac{Q^2 h}{gA^2} \frac{db}{dx}}{1 - \frac{Q^2 b}{gA^3}} \quad (1.44)$$

Bu denklem, yazar tarafından nümerik olarak çözülmüştür.

Akan (1974), Smith (1973)'in yapmış olduğu çalışmalarda enerji yüksekliğinin sabit kabul edilmesinin hatalı olduğunu belirtmiş, akımın yan savağa belirli bir açı ile girmesi sebebiyle klasik yan savak ifadesinin kullanılmasının hatalı sonuçlar vereceğini belirtmişlerdir.

Smith (1974), yan savak su yüzü profilini veren bağlantıları elde ederken, yaptığı bazı kabullerden dolayı çözümlerin hatalı olabileceğini belirtmiş, enerji kayıpları da dikkate alınarak yeni formüller geliştirilebileceğini ve bunun için hazırlanacak bilgisayar programlarının daha iyi sonuçlar vereceğini öne sürmüştür.

El-Khashap (1975), dikdörtgen enkesitli bir kanal üzerine yerleştirilen yan savaklarla ilgili deneysel çalışmada, C_d yan savak debi katsayısı, yan savak üzerindeki enine ve boyuna su yüzü profilleri, hız dağılımları ve yanal akımdan dolayı ana kanalda meydana gelen sekonder akım hakkında bir dizi deney yapmıştır. Yazar boyut analizi ile C_d yan savak debi katsayısına ait etkili boyutsuz parametreleri,

$$C_d = f(Fr_1, p/h_1, b/h_1) \quad (1.45)$$

olarak verilmiştir. Yazar ayrıca, akımın ψ yan savağa sapma açısına etki eden boyutsuz parametreleri de,

$$\psi = f(Fr_1, p/h_1, b/h_1) \quad (1.46)$$

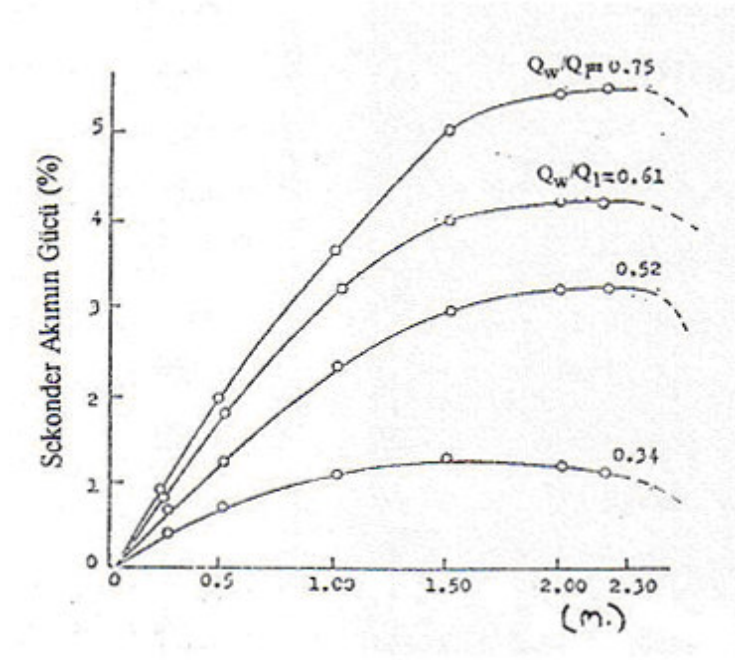
olarak belirlemiştir. Buna göre, C_d ve ψ aynı boyutsuz parametrelerin fonksiyonudur ve birbiriyle doğrudan ilişkilidir.

Yazara göre C_d yan savak debi katsayısı ile ilgili daha önceden yapılan çalışmalarda yan savak boyunca değişen boyuna hız ile ψ sapma açısı dikkate alınmadığından, C_d yan savak katsayısında farklılıklar vardır.

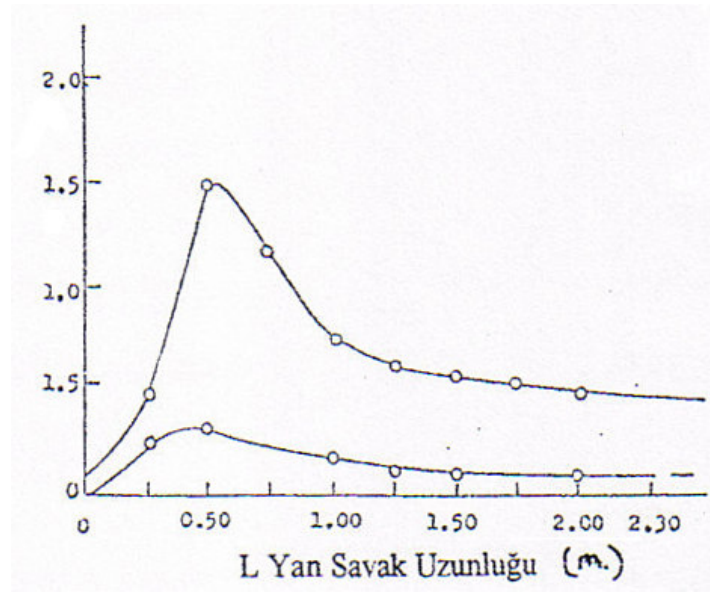
Yazarın daha önceki çalışmalarda belirtilmeyen en önemli tespitlerinden biri de yanal akımdan dolayı ana kanalda meydana gelen sekonder akımdır. Sekonder akımın gücünün belirlenmesinde Shurky (1950)'nin yaklaşımı kullanılmış, nehir ve sel rejimli akım halinde sekonder akımın yan savak boyunca elde edilen değişimi (Şekil 1.18) ve (Şekil 1.19)'de verilmiştir. Sekonder akımın gücü, kanal enkesiti 20 cm^2 lik elemanlara bölünerek her bir elemanın enkesit planındaki kinetik enerjisi ($V_x^2/2g + V_y^2/2g$) beş delikli pitot tüpü ile, akımın toplam kinetik enerjisi ($V^2/2g$) de klasik pitot tüpü ile hesaplanarak,

$$S_{xy} = \left\{ \sum V_x^2/2g + \sum V_y^2/2g \right\} / \sum \{V^2/2g\} \quad (1.47)$$

eşitliğinden belirlenmiştir. (Şekil 1.18) ve (Şekil 1.19) incelendiğinde, nehir rejimli akım halinde sekonder akımın gücü yan savak boyunca artarak gitmekte, yan savaktan b kanal genişliği kadar bir mesafe sonra bir azalma görülmektedir. Yan savak yüksekliği ve yan savak uzunluğu sabit tutulursa Q_w/Q_1 oranı (savaklanma oranı) arttıkça yani, yan savak üzerindeki nap kalınlığı arttırıldığında sekonder akımın gücünde artmaktadır. Sel rejimli akım halinde ise sekonder akımın gücü hızla artarak maksimuma ulaşmakta ve daha sonra hızla azalmaktadır.



Şekil 1.18 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım halinde yan savak boyunca sekonder akımın değişimi (El-Khashab,1975).



Şekil 1.19 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım halinde yan savak boyunca sekonder akımın değişimi (El-Khashab,1975).

El-Khashap ve Smith (1976), Smith (1973)'in yaptığı kabullerden hareket ederek, dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savaklar için enerji denkleminde faydalananak genel bir su yüzü bağıntısı elde etmişlerdir.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{J_0 - J_f - \alpha \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - \alpha \frac{Q^2 b}{gA^3}} \quad (1.48)$$

(1.44) ve (1.48) bağıntıları benzer ifadelerdir. Fakat (1.48) bağıntısı sabit enkesitli dikdörtgen kanallardaki yan savaklar için elde edildiğinden, (1.44) bağıntısının payında bulunan ve kanal genişliğinin savak boyunca değişimini gösteren,

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

terimi sıfır alınmıştır. Eşitliğin sağ tarafındaki dQ/dx terimi azalan bir değer olduğundan (-) işareti alınmıştır.

El-Khashap ve Smith (1976) ayrıca, yan savaktaki momentum korunumunu yazarak su yüzü profilini veren,

$$\frac{dh}{dx} = \frac{J_0 - J - \frac{1}{gA} [2\beta V - U] \frac{dQ}{dx}}{1 - \beta \frac{Q^2 b}{gA^3}} \quad (1.49)$$

bağlantısını elde etmişlerdir. $U=V$ ve $\alpha = \beta' = 1$ kabulüyle (1.48) ve (1.49) bağıntılarının aynı formda olduğu görülür. (1.49) bağıntısının çözümü, yan savak üzerindeki hızın kanal eksenine yönündeki bileşeni ile kanalın ortalama V hızı arasındaki ilişki deneysel çalışmalarla elde edilerek gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sürtünme kayıplarının tahmini değerleri alınarak elde edilen enerji çizgisi, deneysel çalışmalarla elde edilen enerji çizgisiyle karşılaştırılmış ve uyum sağladığı gözlenmiştir. Burada U , yan savak üzerindeki akım hızının, kanal eksenine paralel bileşenidir.

Balmforth ve Sarginson (1977) yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda elde ettikleri α ve β' katsayılarını kullanarak (1.48) ve (1.49) bağıntılarını çözmüşler ve bunun El-Khashap ve Smith (1976)'in çözümlerinden daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

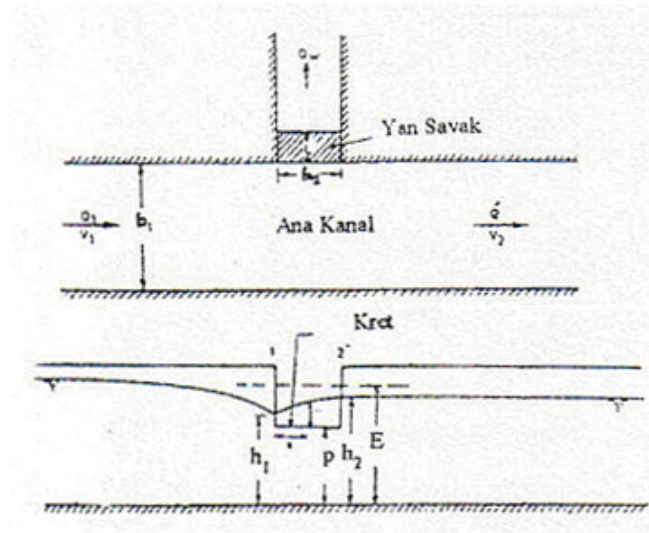
Yen (1977), yan savak bulunan bir kanalda hız vektörünün, basıncın ve su yüzü profilinin

enine doğrultudaki değişimlerinin de bilinmesi gerektiğini öne sürmüştür. Yazar, El-Khashap ve Smith (1976) tarafından ileri sürülen momentum denkleminin enerji denkleminin üstün olduğu fikrine katılmadığını, denklemlerin doğru olarak üretilmesi halinde her iki denklemin de uygun şekilde kullanılabileceğini belirtmiştir.

El-Khashap ve Smith (1978), dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savak probleminin incelenmesinde, verilen herhangi bir kesitteki boyuna hız bileşeninin, yan savak üzerindeki akım hızı ile değişmemesi sebebiyle, momentum denkleminin çözümünün enerji denkleminin çözümüne nazaran daha kolay ulaşılabilir sonuçlar verdiğini ileri sürmüşlerdir. Yazarlar, yan savak uzunluğunun çok kısa olmaması ve $Q_w/Q=0.75$ için herhangi bir savak uzunluğunda uygulanabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, savak yüksekliğinin sıfıra yaklaşması halinde çözümün geçerli olduğunu, $Q_w/Q=1$ durumunda ise çözümün geçerli olmayacağını açıklamışlardır.

El-Khashap ve Smith (1978), elde ettikleri çözümlerin dikdörtgenden başka kanal kesitleri için de uygulanabileceğini, bunun için bazı deneylerin yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Ranga Raju, Prasad ve Grupta (1979),dikdörtgen enkesitli kanallardaki yan savağın, ana kanala dik bir branşa bağlanması halinde keskin ve kalın kenarlı savakta nehir rejimi halinde deneysel çalışma yapmışlar, özgül enerjinin yan savak boyunca sabit kaldığını kabul ederek, her iki savak tipi için debi katsayılarını elde etmişlerdir (Şekil 1.20).



Şekil 1.20 Ana kanala dik bir branş bağlanması durumunda yan savağın genel görünüşü (R.Raju, Prasad ve Grupta 1979).

Yazarlar çalışmaları sonucunda, De Marchi (1934)'nin vermiş olduğu analitik çözümün iyi neticeler verdiğini ifade etmişlerdir.

Yazarlar, Q, Q', h_1, h_2 ve p değerlerini ölçerek, De Marchi (1934)'nin verdiği (1.20) ve (1.21) bağlantılarını kullanarak keskin kenarlı yan savağın bir branşa girmesi halinde yan savak debi katsayısı için,

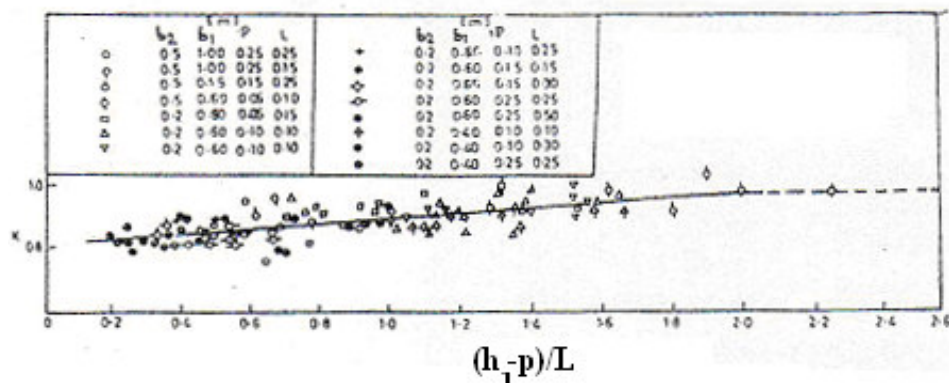
$$C_d = 0.54 - 0.40Fr_1 \quad (1.50)$$

bağıntısını vermişlerdir. Yazarlara göre, bu denklemden elde edilen C_d yan savak debi katsayısı, Subramanya ve Awasthy (1972)'nin vermiş olduğu (1.41) bağıntısındaki C_d değerinden daha büyük çıkmaktadır. Bu farkın muhtemelen brans yan duvarlarının etkisinden kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Yazarlar, kalın kenarlı yan savağa brans eklenmesi hali içinde (1.47) bağıntısını bir K ampirik katsayısı ile çarparak,

$$C_d = (0.54 - 0.4Fr_1)K \quad (1.51)$$

bağıntısını vermişlerdir. Yazarlar tarafından, K Katsayısı için (Şekil 1.21) önerilmiştir. Burada L branş girişiindeki savak kret genişliğidir.



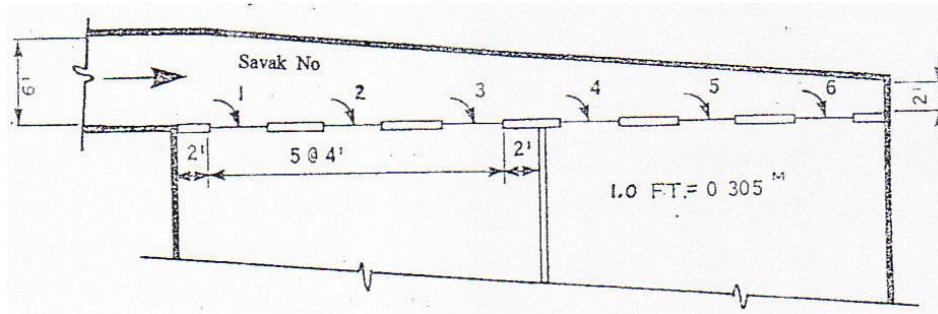
Şekil 1.21 kalın kenarlı savaklar için $(h_1 - p)/L$ ile K katsayısının değişimi(R.Raju, Prasad ve Grupta, 1979).

Yazarlara göre, C_d yan savak debi katsayısı keskin kenarlı bir yan savakta sadece Froude sayısına bağlı kalırken, kalın kenarlı bir savak için Froude sayısına ilave olarak $(h-p)/L$ değerine de bağlıdır.

- 2- Bütün savak katsayıları hemen hemen sabit kalacak şekilde yeterince küçük Froude sayıları elde etmek için, dağıtım kanalı genişliğini veya derinliğini ya da her ikisini birlikte arttırmak,
- 3- Sabit savak katsayısı elde edilecek şekilde, hemen hemen sabit Froude sayıları için, üniform daralan dağıtım kanalı oluşturmak (Şekil 1.23),
- 4- Üniform daralan dağıtım kanalında savak yüksekliklerinde küçük ayarlamalar yapmak,

olarak sıralanabilir. Yazarlara göre 2. ve 3. alternatifler diğer alternatiflere göre probleme daha iyi çözümler getirmektedir. Fakat bunlar da katı madde çökmesi gibi işletme problemleri yaratmaktadır. Bu işletme problemleri, çeşitli mekanik düzenlemelerle önlenabilir.

Ramamurthy ve Satish (1986), yaptıkları deneysel çalışmalarla bir açık kanal tabanında enine olarak açılan bir açıklık boyunca oluşan akım şartlarını incelemişlerdir. Bunun için iki boyutlu kanal akımındaki mevcut yanal akı modelini kullanmışlardır.



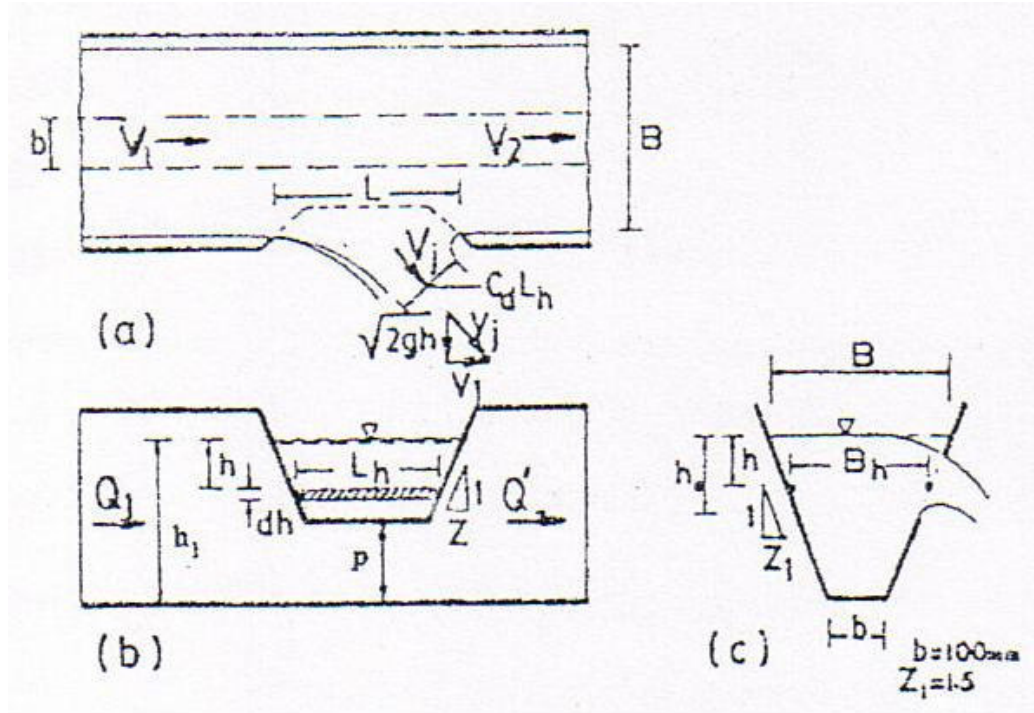
Şekil 1.23 Üniform debi dağıtımı için üniform daralan debi dağıtım kanalı genel görünüşü
(Chao ve Trussel, 1980)

Yazarlar, kanal tabanına yerleştirilen açıklıktan geçecek debiyi belirleyebilmek için ana kanalın debisi ile açıklık genişliğinin önemli parametreler olarak ortaya çıktığını belirtmişlerdir.

Ramamurthy, Tim ve Carballada (1986), Ramamurthy ve Carballada (1980)'nın dikdörtgen kesitli bir kanaldaki dikdörtgen yan savaklar için kurdukları matematiksel modelden hareket ederek, trapez enkesitli bir kanaldaki trapez kesitli yan savaklar için bir model geliştirmişlerdir. Modelde, yan savaktan geçen akımın ana kanaldan belirli bir açı ile sapan

çok sayıda jet akısının toplamı olduğu kabul edilmiştir. (Şekil 1.24)

Yazarların, savak katsayısı için yaptığı kabuller aşağıdaki gibidir.



Şekil 1.24 Trapez enkesitli bir kanalda trapez enkesitli yan savak genel görünüşü (Ramamurthy, Tim ve Carballada, 1986).

- 1- Kanal tabanı yataydır.
- 2- Yan savak menbaında kanaldaki akım nehir rejimli bir akımdır,
- 3- Yan savak menbaındaki hız derinlikle değişmez,
- 4- Serbest yüzeydeki yan savak uzunluğunun ana kanal su yüzüylene oranı, serbest yüzeyden h derinliğindeki herhangi bir yerdeki yan savak uzunluğunun aynı derinlikteki kanal genişliğine oranı değişmez,
- 5- Serbest yüzeyden h derinlikteki sonsuz küçük bir tabakadan çıkan jet için, kanal eksenine normal hız bileşeni $\sqrt{(2gh)}$ şeklindedir.

Jain ve Fisher (1982), yan savak üzerinde üniform bir debi dağılımı elde edebilmek için, dikdörtgen enkesitli genişliği savak boyunca tedricen azalan ve eğik olarak yerleştirilen yan savak problemini incelemişlerdir. (Şekil 1.25). Problemin çözümünde, kanal tabanının yatay

kıyaslamıştır.

Yazara göre, dikdörtgen enkesitli kanalların yan savakları için geliştirilen bağıntılar, dairesel enkesitli kanalların yan savakları için geçerli değildir. Nehir ve sel rejimi halinde yapılan deneylerde, teorik bilgilere uygun olarak, nehir rejiminde yan savak üzerinde, ana kanal eksenindeki su yüzü profilinin menbadan mansaba doğru giderek yükseldiği, sel rejiminde ise menbadan mansaba doğru giderek azaldığı görülmüştür.

Akımın nehir rejimi olması halinde deneysel olarak elde edilen yan savak debi katsayıları Froude sayısına göre 2. dereceden eğrisel karakter taşıdığı, L/D 'nin büyük değerlerinde Froude sayısına fazla bağımlı olmadığı, küçük L/D değerlerinde bağıllığın tedricen arttığı gözlenmiştir. Yazar, nehir rejimi halindeki yan savak debi katsayısı için,

$$C_d = B + C\sqrt{1 - Fr_1} \quad (1.53)$$

ifadesini vermiştir. B ve C katsayılarının p/D 'ye göre fazla değişim göstermediği, fakat L/D 'ye bağımlı olduğu öne sürülerek,

$$B = 0.21 + 0.094\sqrt{1.74L/D - 1} \quad (1.54)$$

ve

$$C = 0.22 - 0.08\sqrt{1.68L/D - 1} \quad (1.55)$$

ifadeleri verilmiştir. Burada,

L = Yan savak uzunluğu (m),

D = Ana kanal çapı (m),

p = Yan savak eşik yüksekliği (m),

dir. Yazara göre, p/D 'nin etkisinin ihmal edilmesiyle yapılacak hata maksimum %5'i geçmemektedir.

Akımın sel rejiminde olması durumunda ise, deneysel olarak elde edilen yan savak debi katsayılarının Froude sayısına çok az bağımlı olduğu ve doğrusal karakter taşıdığı tespit edilerek, yan savak debi katsayısı için,

$$C_d = MFr_1 + N \quad (1.56)$$

ifadesi verilmiştir. Yazara göre, M ve N katsayılarının p/D'ye fazla bağımlı olmadığı, L/D'ye ise oldukça bağımlı olduğu görülmüştür. P/D'nin ihmal edilmesiyle M v N katsayılarının hesabı için,

$$M = 0.046 + 0.054\sqrt{[1.67L/D - 1]} \quad (1.57)$$

$$N = 0.24 + 0.021\sqrt{[1 + 35.3L/D]} \quad (1.58)$$

bağıntıları elde edilmiştir. Burada da p/D'nin ihmal edilmesi ile yapılan hatanın maksimum %5'i geçmediği ifade edilmiştir.

Yazar tarafından verilen, p/D ve L/D'ye göre nehir rejimi için B ve C katsayılarının değişimi (Şekil 1.26) de yine p/D ve L/D'ye göre sel rejimi için M ve N katsayılarının değişimi (Şekil 1.27) görülmektedir.

Kumar ve Pathak (1987), keskin ve kalın kenarlı üçgen yan savakların debi karakteristiklerini deneysel olarak araştırmışlar, üçgen savağın farklı tepe açılarında ana kanal Froude sayısı ve yan savak debi katsayısı arasındaki ilişkiyi kurmaya çalışmışlardır.

Yazarlar, deneysel çalışmalarda, dikdörtgen enkesitli bir kanala 90°'lik açı yapan serbest akıma sahip bir branş ekleyerek, üçgen yan savağın branş girişine yerleştirmişler ve deneylerini ana kanaldaki nehir rejimli akım şartlarında gerçekleştirmişlerdir. (Şekil 1.28)

Kumar ve Pathak (1987), dikdörtgen prizmatik bir kanala yerleştirilen üçgen yan savak su yüzü profilini veren genel diferansiyel denklemi ,

$$\frac{dh}{dx} = \frac{8}{15} \frac{C_p}{B} \frac{\sqrt{\{[E-h][h-s]^3\}}}{3h-2E} \quad (1.59)$$

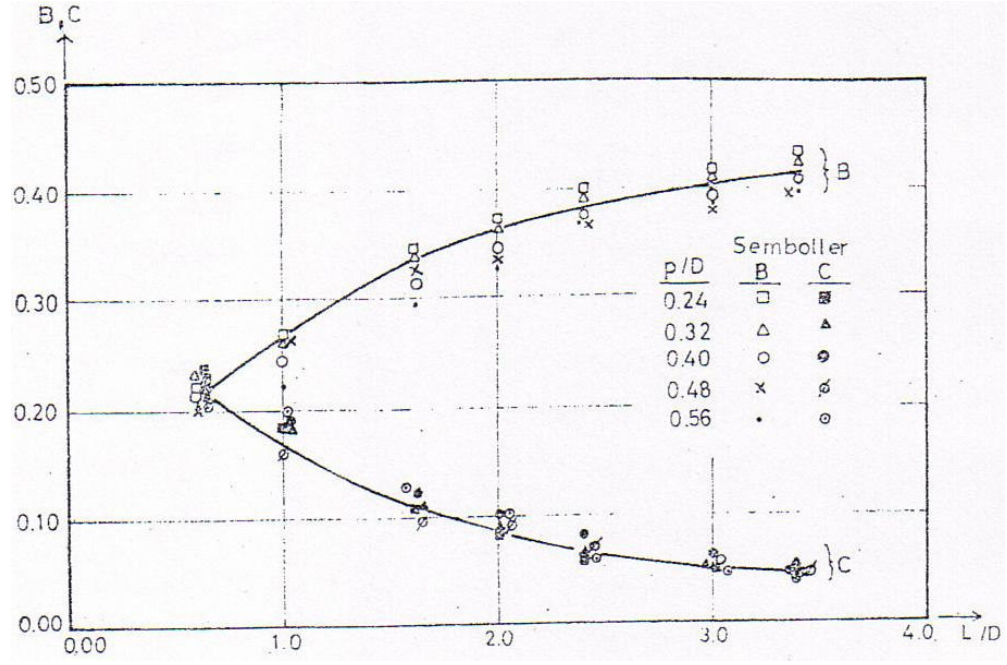
olarak ifade etmişlerdir. Bu bağıntı (1) ve (2) kesitleri arasında integre edilirse,

$$L = x_2 - x_1 = \frac{15B}{4C_p} [\phi_2 - \phi_1] \quad (1.60)$$

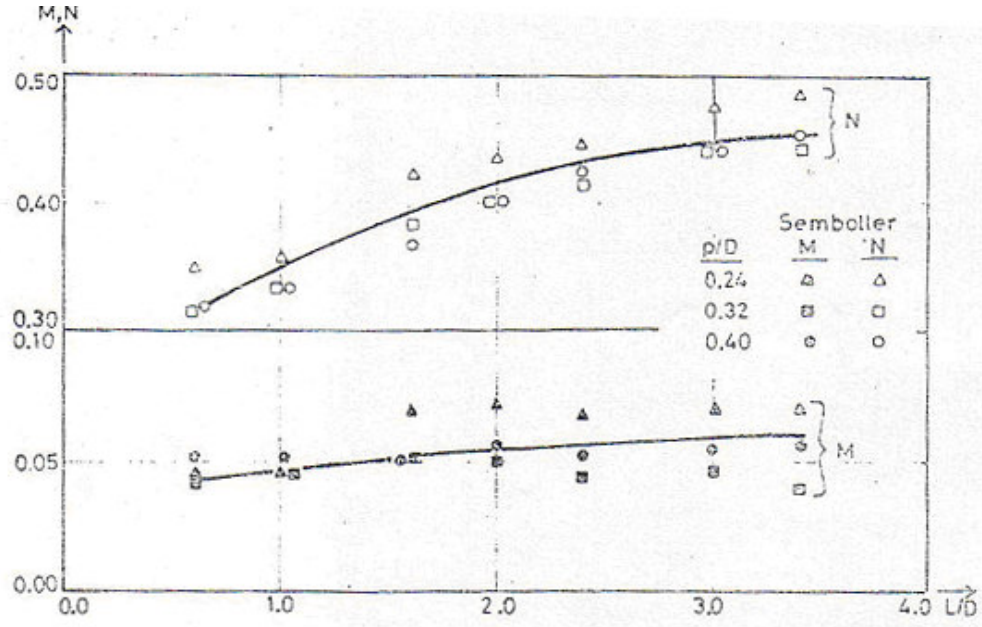
şeklini alır. Burada,

$$\phi = \frac{2E-3s}{E-s} \sqrt{\left[\frac{E-h}{h-s}\right]} - 3\sin^{-1} \sqrt{\left[\frac{E-h}{E-s}\right]} \quad (1.61)$$

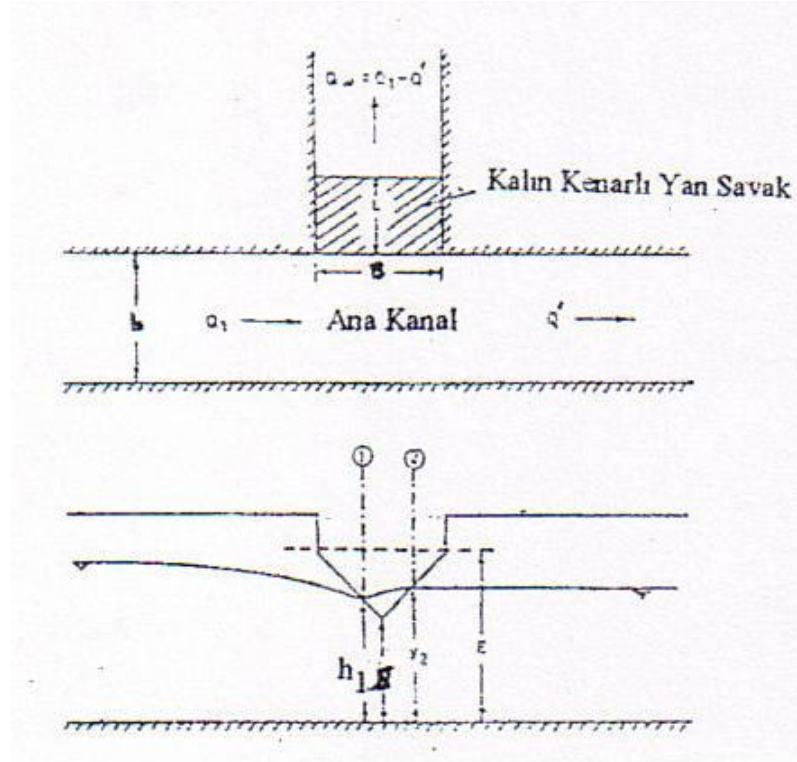
olarak verilmiştir.



Şekil 1.26 B ve C katsayılarının L/D 'ye göre değişimi (Uyumaz, 1982).



Şekil 1.27 M ve N katsayılarının L/D 'ye göre değişimi (Uyumaz 1982).



Şekil 1.28 Dikdörtgen enkesitli bir kanal üzerine yerleştirilen üçgen yan savak genel görünüşü (Kumar ve Pathak, 1987).

Bu bağıntı De Marchi (1934) tarafından verilen (1.21) bağıntısının benzeridir. Denklemlerde,

E = Ana kanaldaki özgül enerji,

C_p =Üçgen savak debi katsayısı,

B = Branş kanalı genişliği,

h = Herhangi bir noktadaki su derinliği,

s = Üçgen savağın eşik yüksekliği,

olarak verilmiştir.

Yazarlar, her bir deney için Q, Q', h_1, h_2 ve s değerlerini ölçerek (1.60) ve (1.61) bağıntılarından keskin kenarlı yan savaklar için C_p debi katsayısını hesaplayarak (Şekil 1.29) daki gibi verilmişlerdir. Yukarıdaki hesap yolunun uzun ve karmaşık olması nedeni ile alternatif olarak, 60° ve 90° lik tepe açıları arasında mevcut deneysel verilerden hareket edilerek yazarlar tarafından aşağıdaki yan savak debi formülleri önerilmiştir.

Keskin kenarlı üçgen yan savaklar için;

$$Q_w = 0.5908 C_p \sqrt{(2g) \tan(\theta/2) (h-s)^{5/2}} \quad (1.62)$$

Kalın kenarlı üçgen yan savaklar için;

$$Q_w = 0.5566(0.80 + 0.10(h-s)/L) C_p \sqrt{(2g) \tan(\theta/2) (h-s)^{5/2}} \quad (1.63)$$

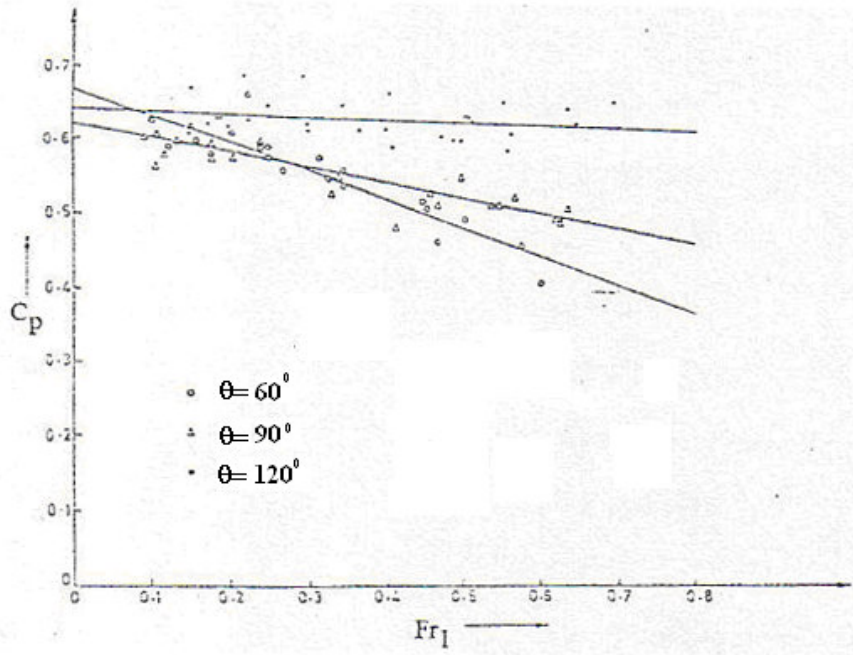
Burada,

θ , üçgen savak tepe açısı ve

$$C_p = \left[0.811 - 0.321 \tan \theta / 2 + 0.129 \tan^2 \theta / 2 \right] - \left[0.695 - 0.638 \tan \theta / 2 + 0.150 \tan^2 \theta / 2 \right] Fr_1 \quad (1.64)$$

olarak verilmektedir. Fr_1 , ana kanalda yan savağın membaı tarafındaki Froude sayısıdır.

A.Uyumaz ve E.H.Smith (1991), özgül enerjinin sabit olduğu kabulüyle, sonlu farklar metodunu kullanarak dikdörtgen ve dairesel enkesitli kanallar üzerindeki yan savak akımını nümerik olarak araştırmışlardır. Yazarlar çalışmalarında, dikdörtgen ve



Şekil 1.29 Keskin kenarlı üçgen yan savaklarda C_p yan savak debi katsayısını Fr_1 froude sayısı ile değişimi (Kumar ve Pathak, 1987)

dairesel enkesitli kanalda yan savakların uzunluklarını deneysel ve teorik olarak belirlemeye çalışmışlardır. Dairesel enkesitli kanallarda su yüzü profilinin belirlenmesi yada yan savak boyutlandırılmasının, sadece $p/D=0.66$ için dikdörtgen yan savak prosedürünün uygulanabileceğini, bunun dışındaki p/D değerlerinde bu yaklaşımın çok hatalı sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

H.F.Cheong (1991), enerjinin ve momentumun korunumu prensiplerinden ayrı ayrı hareketlerle nehir rejimli akım şartları için trapez enkesitli bir kanaldaki yan savak katsayısını arttırmışlardır. Çalışmada, kanalın yan duvarlarının eğimi ve savak uzunlukları değiştirilmiştir. Yazar yan savak debi katsayısı için,

$$C_d = 0.30 - 0.147 Fr_1^2 \quad (1.65)$$

eşitliğini vermiştir. Burada Fr_1 , yan savak menbaındaki Froude sayısıdır. Yazarın verdiği eşitlik özgül enerjinin sabit olması durumundadır. Özgül enerjinin sabit olduğu kabulüyle verilen yukarıdaki eşitliğin, momentum yaklaşımı ile elde edilene oldukça yakın olduğu da yazar tarafından belirtilmiştir.

P.K.Swamee, S.K.Pathak ve M.S.Ali (1993), keskin ve kalın kenarlı dikdörtgen ve üçgen yan savaklarda sınırlandırılmış ve sınırlandırılmamış akım şartlarında elementer yan savak katsayısını vermişlerdir. Bunun için, debisi yan savak boyunca azalan (spatial akım) akım eşitliklerinden faydalanmışlardır.

P.K.Swamee, S.K.Pathak, M.Mohan, S.K.Agraval ve M.S.Ali (1994), De Marchi eşitliğinden faydalanarak ana kanal memba Froude sayısına göre yan savak debi kat sayısını veren pek çok araştırma bulunduğunu, fakat bunların hiç birinin p/h ın değişimini içermediğini belirtmişlerdir. Yazarlar yan savak üzerinde sonsuz küçük bir düşey elemanı dikkate alarak, bu elaman üzerindeki yan savak debi katsayısını,

$$C_e = 0.447 \left\{ \left[\frac{44.7p}{49p+h} \right] 6.67 + \left[\frac{h-p}{h} \right] 6.67 \right\} - 0.15 \quad (1.66)$$

eşitliğiyle vermişlerdir. Yazarlar yan savak katsayısıyla ilgili daha önce yapılan çalışmalarıda değerlendirmişler, bu çalışmaların hiç birinin yan savak katsayısının doğru olarak belirlenmesini mümkün kılmadığını ifade etmişlerdir. (H.Ağaçcıoğlu, 1995)

R.Singh, D.Manivannan ve T.Satyanarayana (1994), özgül enerjinin sabit olduğu kabulüyle

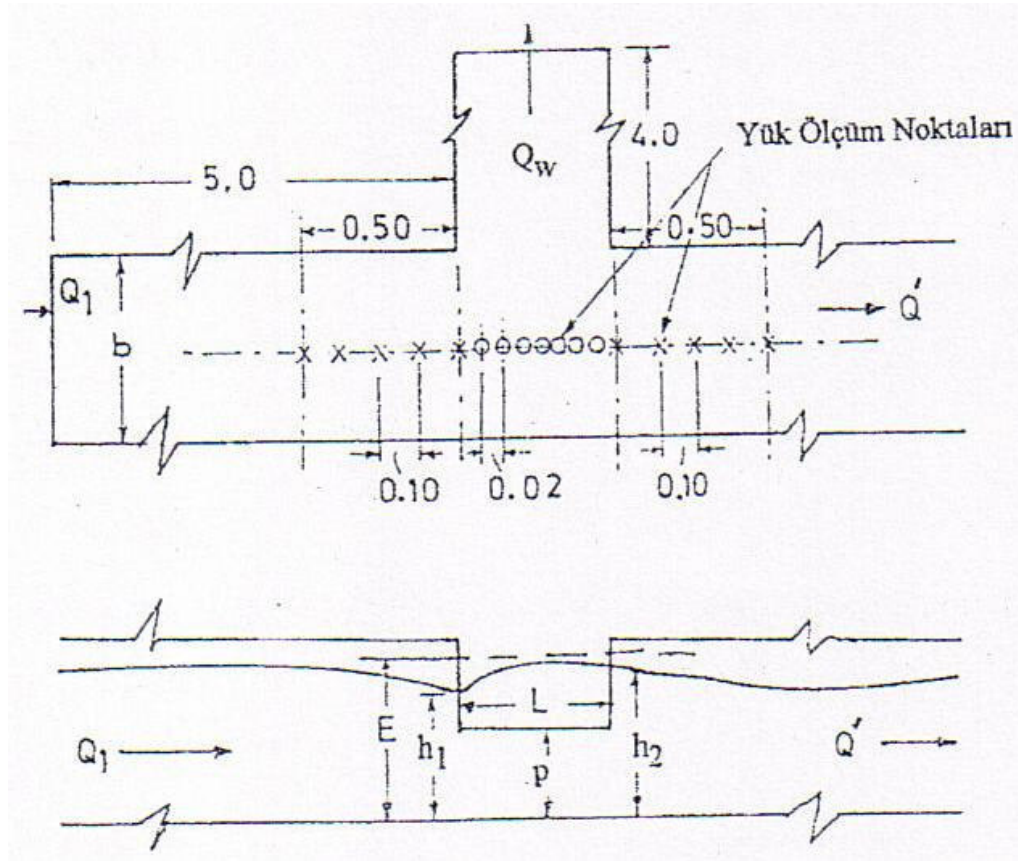
nehir rejimli akım şartlarında yan savak debi katsayısını belirlemek için, yan savak eşik yüksekliğini, yan savak uzunluğunu ve ana kanal debisini olaya etkili parametreler olarak ele almışlardır.(Şekil 1.30). Yazarlar yan savak debi katsayısının memba Froude sayısı ve p/h_1 oranına göre ayrı ayrı incelemişler, saha sonra bu iki değişkenin birbirlerine olan etkisini araştırmışlardır. Boyut analiziyle olaya etkili parametreler,

$$C_d = f(Fr_1, p/h_1, L/h_1)$$

olarak verilmiştir. Yazarlar, C_d nin L/h_1 den bağımsız olduğunu kabul ederek,

$$C_d = f(Fr_1, p/h_1)$$

şeklinde olaya etkili parametreleri dikkate almışlardır.



Şekil 1.30 Yan savak genel görünüşü (R.Singh, D.Manivannan ve T.Satyanarayana,1994)

C_d yan savak debi katsayısını yan savak memba Froude sayısı ve p/h_1 'e göre lineer değişimin gösterdikleri belirtilmiş bulguları Şekil 1.31 ve Şekil 1.32'deki gibi verilmiştir.

Şekil 1.31 ve Şekil 1.32 de verilen eğrileri 1.dereceden lineer eşitlikleri sırasıyla,

$$C_d = 0.66 - 0.84Fr_1 \quad (1.67)$$

ve

$$C_d = 0.16 + 0.36p/h_1 \quad (1.68)$$

olarak verilmektedir. Yazarlar bu eşitlikleri birlikte analiz ederek,

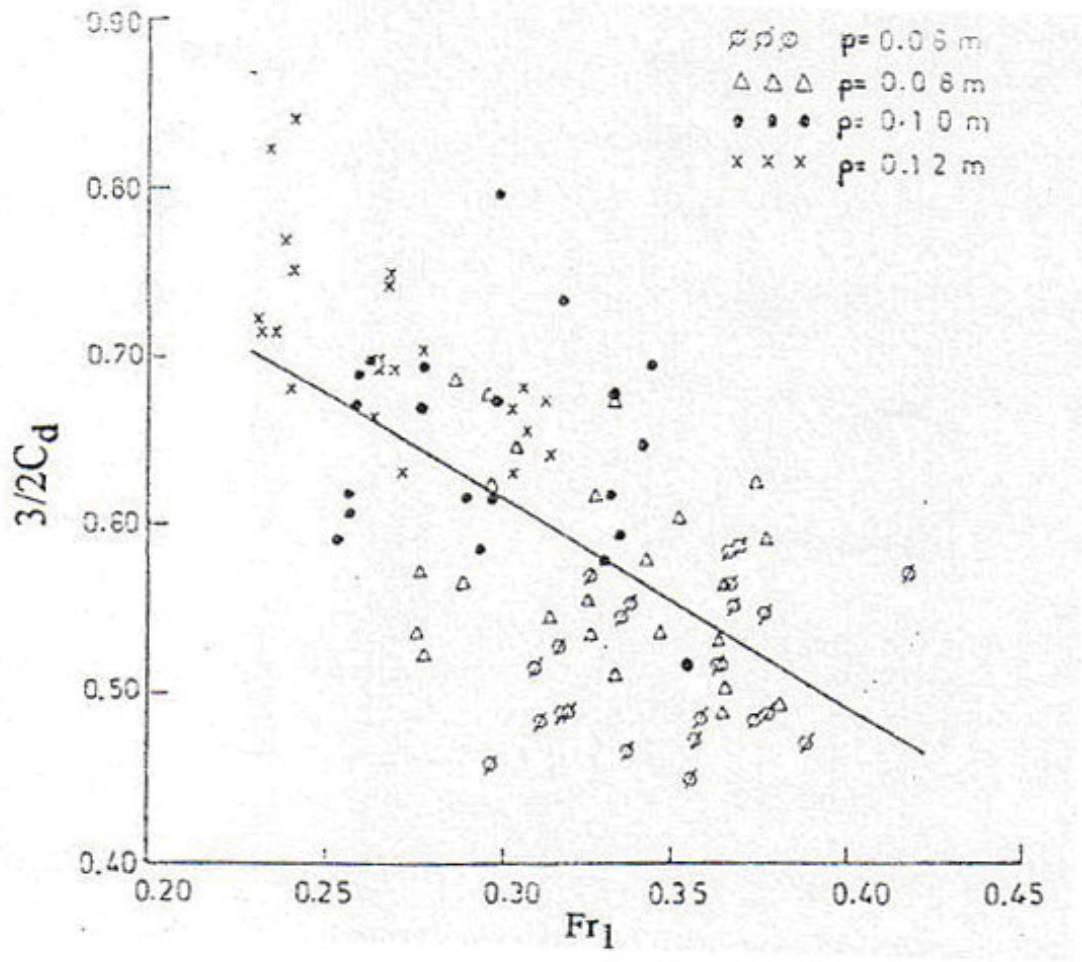
$$C_d = 0.22 - 0.12Fr_1 + 0.327p/h_1 \quad (1.69)$$

ifadesini vermiştir.

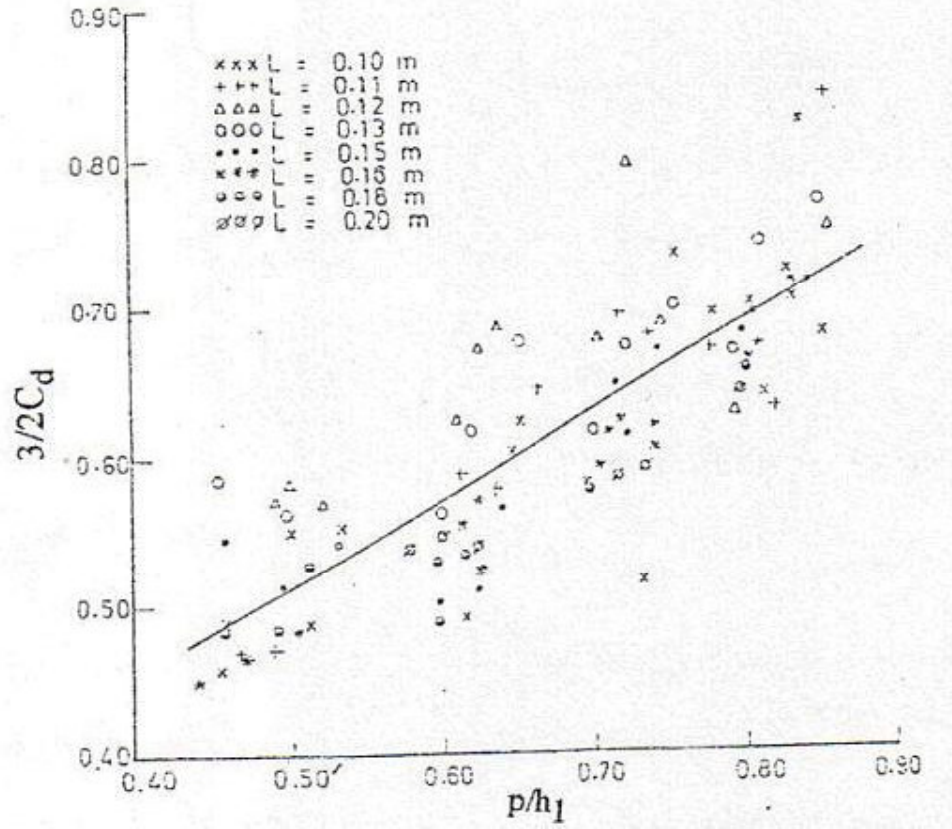
H.Tozluk (1994), yan savak probleminin çözümünde en rasyonel yaklaşımlardan birini enerji denklemi kullanarak De Marchi tarafından uygulandığını ve bu denklemde kullanılan C_d katsayısının deneysel değerlerinin 1.41 bağıntısıyla bulunan teorik değerlerden farklı olduğunu belirterek ve Şekil 1.17 de deney noktalarında dağılımlar olduğunu ifade etmiştir.

Yazar, ψ sapma açısının değişken olduğunu dikkate almış ve C_d katsayısının başlangıç Froude sayısından başka, L/b , p/E , h/E ve $\psi = h'/h$ oranlarının da fonksiyonu olarak nümerik integrasyonla elde etmiştir. Yazarın elde ettiği sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- 1- Su napının ψ sapma açısı sabit olmayıp, yan savak boyunca değişen Froude sayısının bir fonksiyonudur. Bu fonksiyon, savak uzunluğunu veren bir belirli integral içerisine katılarak yan savak problemi daha gerçekçi bir şekilde çözülebilir.,
- 2- Su yüzü enine doğrultuda savak kretine doğru alçalmaktadır. Bu alçalmayı ifade eden bir ψ parametresini yan savak probleminin çözümünde hesaba katmak gerekir. Değerlendirilen deney sonuçları ψ 'nin Fr_1 Froude sayısı ve L/b oranına bağlı olduğunu göstermektedir,



Şekil 1.31 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimi akım halinde C_d Yan Savak Debi Katsayısının Fr_1 'e Göre Değişimi (Sing, Manivannan ve Satyanarayana, 1994)



Şekil 1.32 Dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda nehir rejimli akım halinde C_d yan savak debi katsayısının p/h_1 'e göre değişimi Sing, Manivannan ve Satyanarayana, 1994)

- 3- Deneyler, ψ nin üzerinde savak yüksekliğinin önemli bir etkisinin olmadığını L/b 'nin büyük değerlerinde ise ψ ile Fr_1 Froude sayısı arasındaki grafiklerde deney noktalarında dağılımlar olduğunu göstermektedir. Küçük L/b değerlerinde ise ψ , Froude sayısının bir fonksiyonu olarak değişmektedir. L/b nin verilen değerleri için,

$$\psi = 1.0 - 0.2(L/b)Fr_1^2 \quad (1.70)$$

eşitliği kullanılabilir.

Pinherio ve Silva (1999), yan savak debi katsayısı üzerine çalışmalarda bulunmuşlar. Bu çalışmaları yaparken deneysel, çalışmaların sonuçları ile farklı formüllerle [Subramanya ve Awasty, Raju ve diğ. Cheong] analiz sonuçlarını kıyaslayarak aşağıdaki gibi bir debi katsayı formülü önermişlerdir.

$$\frac{1}{C_d} = 1.57 + 0.127 \frac{1}{Fr_r} + 7.45 \frac{1}{L_{n \dim}} + 0.52 \frac{h_m}{p} \quad (1.71)$$

Burada,

F_r , Froude sayısı,

$L_{n\dim}$, yan savak uzunluğunun memba akım hızına oranı $[L_{n\dim} / (V_1^2 / 2g)]$

h_m , orta akım yüksekliğidir.

Uyumaz (1997), özgül enerji denklemini kullanarak U kesitli kanallara yerleştirilmiş yan savaklar üzerine incelemelerde bulunmuştur. Bu çalışması sonunda savak boyu için aşağıdaki denklemi vermiştir.

$$L = \frac{D_s (\pi + 4)}{16m} \left| \psi(t) \right|_{t_1}^{t_2} \quad (1.72)$$

Burada,

L= Yan savağın uzunluğu,

D_s = Kanal çapı,

$\psi(t)$ = integral alanları.

Ayrıca U kesitli kanallara yerleştirilmiş yan savaklar için $t \leq 0.5$ olan durumlarda debi katsayısı formülünün kullanılabileceğini belirtmiştir.

$$m = \left(0.21 + 0.094\sqrt{1.75L/D - 1} \right) + \left(0.22 - 0.08\sqrt{1.67L/D - 1} \right) \sqrt{1 - F_r} \quad (1.73)$$

Nehir Rejimi ($F_r < 1$)

$$m = \left(0.046 + 0.0054\sqrt{1.67L/D - 1} \right) F_r + \left(0.24 - 0.021\sqrt{1 + 35.3L/D} \right) \quad (1.74)$$

Sel Rejimi ($F_r > 1$)

$t > 0.5$ olan durumlarda da Subramanya ve Awasthy tarafından verilen aşağıdaki debi katsayısı formülünün kullanılabileceğini belirtmiştir.

$$m = \frac{2}{3} 0.611 \sqrt{1 - \left(\frac{3F_r^2}{F_r^2 + 2} \right)} \quad \text{Nehir Rejimi } (F_r < 1) \quad (1.75)$$

$$m = \frac{2}{3}(0.36 - 0.008F_r) \text{ Sel Rejimi } (F_1 > 2) \quad (1.76)$$

Burada,

F_r = Yan savak başlangıcındaki Froude Sayısı,

t = Sabit (h/D)

Ağaçcıoğlu ve Yüksel (1998) yapmış oldukları çalışmalar sonucunda kıvrımlardaki akımın en önemli karakteristiklerinden birinin helikoidal akım diğerrinin de maksimum hız yörüngesinin hareketi olduğunu belirtmişlerdir. Helikoidal akım sürtünme, merkezkaç ve atalet kuvvetlerinin birbirlerinin etkilenmesinden dolayı ortaya çıkmaktadır. Kanal tabanı yakınlarında akışkan zerreciklerin hızları sınır direnci tarafından büyük ölçüde geciktirilir. Taban yakınlarında daha yavaş hareket eden akışkan, merkezkaç ve basınç kuvvetleri arasında bir denge meydana getirmek için daha keskin eğrisel bir yörüngeyi izlemek zorunda kalırken, daha büyük hızlardan dolayı daha büyük ataletle sahip olan yüzeydeki akışkan zerreciklerinin yörüngeleri kanal tabanına doğru olmaktadır. Akışkan kütlelerinin sürekliliğini sürdürmesi için su dış kıyıda tabana hareket ederken iç kıyı boyunca yukarı doğru hareket etmektedir. Böylece teğetsel hız bileşenine ilave kanal eksenine dik radyal hız bileşeni meydana gelir. Bu radyal hız bileşeni enkesit planında sekonder akım oluşturur.

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

$$S_{yz} = \frac{V_{yz}^2}{V^2} \quad (1.77)$$

eşitliği ile verilmektedir. Burada,

V_{yz} = YZ planındaki hız vektörü,

V = Enkesitteki ortalama hız.

Ağaçcıoğlu ve Yüksel (1998), yaptıkları çalışmada C_d yan savak debi katsayısını aşağıdaki

gibi vermişlerdir.

$$C_d = A + BF_r + CF_R^2 \quad (1.78)$$

Börghei vd.(1999), keskin kenarlı yan savaklarda nehir rejimi için debi katsayısını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda C_d debi katsayısını $f(F_r, L, b_1, p, h, J_0)$ fonksiyonuyla ifade etmişler ve aşağıdaki denklemi vermişlerdir.

$$C_d = 0.687 - 0.46F_r - 0.3\frac{h}{p} + 0.06\frac{L}{b_1} + 1.2J_0 \quad (1.79)$$

Burada,

F_r = Membadaki Froude sayısı,

p = Savak kret yüksekliği,

h = Ana kanal su derinliği,

L = Savak uzunluğu,

b_1 = Kanal genişliği,

J_0 = Kanal eğimidir.

Ura vd.(2001), eğik olarak yerleştirilmiş daralan yan savak katsayısı üzerine bir dizi çalışma yürütmüşler ve en büyük debi katsayısının savağın ana kanal eksenine 70° 'lik açı yapacak şekilde yerleştirilmesiyle meydana geldiğini bulmuşlardır. Araştırmacılar eğik olarak yerleştirilmiş savaklar için debi katsayısını aşağıdaki gibi vermişlerdir.

$$C_d = 0.611 \sqrt{1 - \frac{3\gamma^2 F_r^2}{2 + F_r^2}} \quad (1.80)$$

Burada,

C_d = Yan savak debi katsayısı,

γ = Yan savak üzerindeki hızın kanaldaki hıza oranı,

F_r = Yan savak menbaındaki Froude sayısı

Bu denklemde γ sabiti bir birim olduğu zaman Subramanya ve Awasthy tarafından bulunan

eşitlik meydana gelmektedir.

Muslu (2002), yüzey profili ve debi için genel denklemler geliştirmek amacıyla napı elemanter parçalara bölerek enerji prensipleri ve eğri uydurma metodunu kullanarak yan savak akım modelini incelemiş, debi katsayısı ve savak uzunluğu için aşağıdaki formülleri vermiştir.

$$C_d = 0.611 \sqrt{3 \frac{h}{H} - 2} = 0.611 \sqrt{3\psi_z - 2} \quad (1.81)$$

Burada,

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

$$-\phi(z) = A(1-z)^{0.55} + B(1-z)^3 \quad (1.82)$$

Burada,

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

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

$$A = 15 * 10^{1.75[(p/H)-0.65]} \quad p/H < 0.65 \quad (1.83)$$

$$A = 15 * 10^{4.142(p/H)^2[(p/H)-0.65]} \quad p/H > 0.65 \quad (1.84)$$

$$B = 200 * 10^{6[(p/H)-0.65]} \quad p/H < 0.65 \quad (1.85)$$

$$B = 200 * 10^{9.231(p/H)[(p/H)-0.65]} \quad p/H > 0.65 \quad (1.86)$$

Ghodsian (2003), dikdörtgen yan savaklar hakkında yaptığı çalışmasında sel rejimi şartlarında dikdörtgen yan savakların debi katsayısını inceleyerek aşağıdaki formülü elde etmiştir.

$$C_d = \left\{ \left[\left(0.61 + 0.08 \frac{h-p}{p} \right) (1 - 0.802 F_r^{0.212})^{-3.984} \right] + \right\}^{-0.251} \quad (1.85)$$

$$\left[1.06 \left(1 + \frac{p}{h-p} \right)^{1.5} (1 - 0.195 F_r^{0.657})^{1.55} \right]^{-3.984} \right\}$$

Burada,

C_d = Yan savak debi katsayısı,

h = Su yüksekliği,

p = Kret yüksekliği,

F_r = Froude sayısı dır.

Sonuç; yapılan çalışmalar labirent savakların üç boyutlu akım koşullarının tam olarak matematiksel modellenemediğini göstermiştir. Bu sebepten dolayı deneysel çalışma yoluna gidilmiştir ve ampirik bağıntılar elde edilmeye çalışılmıştır.

2. BÖLÜM MODEL ÇALIŞMALARI VE BOYUT ANALİZİ

Hidrolik problemlerin matematik modellerle çözümü 1960'lı yıllardan beri kullanılmaktadır. Matematik modeller, hidrolik modellere göre daha hızlı ve daha ekonomiktirler ve bir çok problem için kolaylıkla uygulanabilirler. Buna rağmen matematik modeller bazı problemler tam olarak tanımlanamadığı için ve yapılan kabullerle oluşacak bazı hataların etkisi tam olarak bilinemediği için laboratuvar modelleri hala kullanılmaktadır.

Bu bölümde laboratuvar da hidrolik model kurulurken kullanılan araçlardan kısaca bahsedilip modelin inşası anlatılacak ve boyut analizi hakkında bilgi verilip olaya etkili parametreler boyut analizi kullanılarak belirlenecektir.

2.1 Model İnşası

Bu çalışma Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Ana bilim Dalı Hidrolik ve Kıyı Liman Laboratuvarında mevcut olan 90 cm genişliğinde, 60 cm yüksekliğinde ve ana kanal genişliği 40 cm olacak şekilde bölünmüş dikdörtgen enkesitli ve alüminyum tabanlı kanalda gerçekleştirilmiştir. Kanal planı Şekil 2.1'de verilmiştir.

Dinlendirme havuzlarıyla suyun kanala verilmesi;

Su pompayla depolara geldikten sonra vanalarla 2.5x1.0x0.7 m yüksekliğindeki kanalı besleyen 1. dinlendirme havuzuna gelir. Bu havuzda tabana yerleştirilmiş delikli tuğlalarla su sakınleştirilir. Havuzun çıkışında kanala verilen debiyi ölçmek için tabandan 24 cm yukarıda üst genişliği 70 cm olan, keskin kenarlı bir dik üçgen savak mevcuttur. Üçgen savaktan 35 cm geride nap kalınlığını ölçmek için sabit bir limnimetre yerleştirilmiştir. Üçgen savaktan savaklanan su 2. bir dinlendirme havuzuna boşalır. Bu havuz 2x0.90 m boyutlarındadır. Havuzun ortasına ve çıkışına yerleştirilmiş delikli sac perde ile su tekrar sakınleştirilir.

İkinci dinlendirme havuzundan sonraki deney kanalı sekiz ana bölümden oluşmaktadır.

1. Yaklaşım kanalı;

3.7x0.9 m'lik doğrusal giriş kanalı, 2 m'lik geçiş kanalı ve 10.30 m uzunluğunda 0.4x0.4m enkesitli doğrusal ana kanaldan oluşmaktadır. Böylece kanala giren su toplama kanalı girişine kadar yaklaşık 7 m yaklaşım uzunluğuna sahip olur.

2. Labirent yan savak;

L=25, 40 ve 50 cm genişliği olan ve kesişme açıları $\alpha = 90^\circ$ ve 120° olan (L=25 cm için

$\alpha=60^0$ de yapılmıştır) ve her bir aç ve genişlikte savak kret yüksekliği p=12, 16 ve 20cm olacak şekilde toplam 21 adettir. Savaklar 3mm sac malzemedan preste kesilip apkantta bükölerek yapılmışlardır.

3. Kıvrımlı kanal;

Kıvrımlı kanal $r=2.95$ m eğrilik yarıçapında, 180^0 kıvrıma sahiptir.

4. Doğrusal çıkış kanalı;

Doğrusal çıkış kanalı 3 m uzunluğundadır. Kanalin sonunda ana kanal kısmında ana kanala gelen debiyi kontrol etmek için kullanılan 0.4x0.2 m ebatlarında 180^0 dönebilen iki adet radyal kapak bulunmaktadır.

5. Yan savak ayırma duvarı;

Alüminyum tabana kutu profillerle tutturulmuş sac levhalardan oluşur

6. Toplama kanalı;

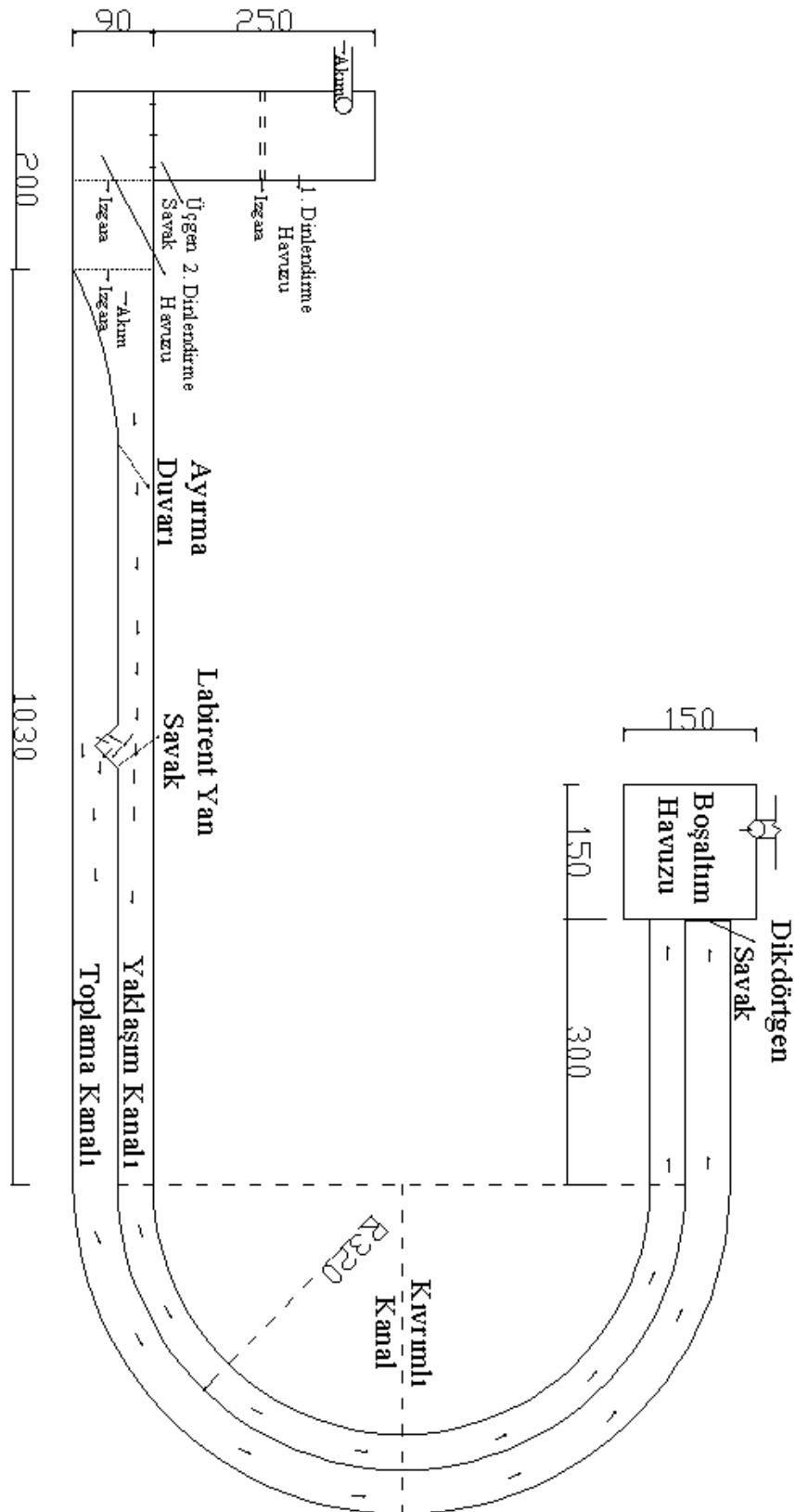
Yan savaktan savaklanan suyu uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. 0.5 m genişliğindedir. Kanalin sonuna kadar ana kanala paralel gitmektedir. Kanal sonuna yan savaktan savaklanan debiyi ölçmek için kullanılan 50x4 cm uzunluğunda dikdörtgen ölçüm savağı yerleştirilmiştir. Seviye ölçümü için kullanılan limnimetre bu savaktan 35 cm geriye konulmuştur.

7. Boşaltım havuzu;

Ana kanal ve boşaltım havuzundan gelen tüm debinin devridaim yaptırılmak üzere verildiğı havuzdur.

8. Hareketli seviye ölçüm arabası;

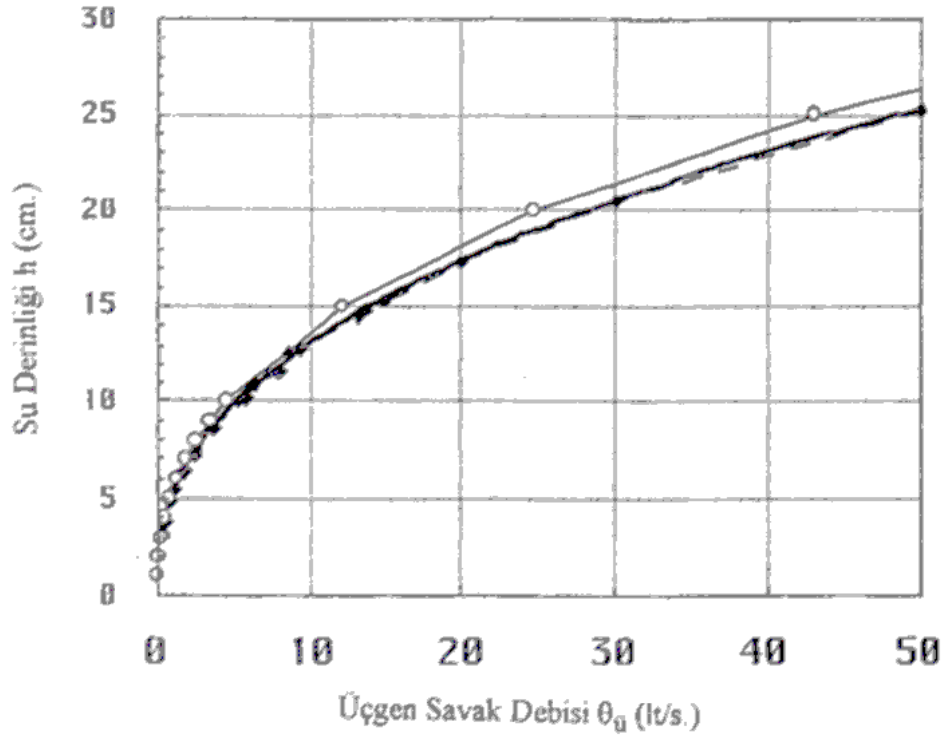
Ana kanal üzerinde kanalın ekseninde ve labirent yan savağın menbasında su seviyelerini belirlemek için kullanılan ve raylar üzerinde hareket edebilen bir araçtır. Üzerinde ± 0.1 mm hassasiyetli seviye ölçümü yapan bir limnimetresi bulunmaktadır.



Şekil 2.1 Kanal planı

2.2 Üçgen Savak Anahtar Eğrisi

Daha önceki çalışmalarda ana kanal anahtar eğrisi belirlenmiştir (Ağaçcıoğlu, 1995). Eğriyi kalibre etmek için tekrar ölçüm yapılmış ve anahtar eğrisinin doğru olduğu tespit edilmiştir. Buna göre ana kanala su veren üçgen savak anahtar eğrisi Şekil 2.2’de verilmiş ve bu eğriye ait denklem aşağıda sunulmuştur.



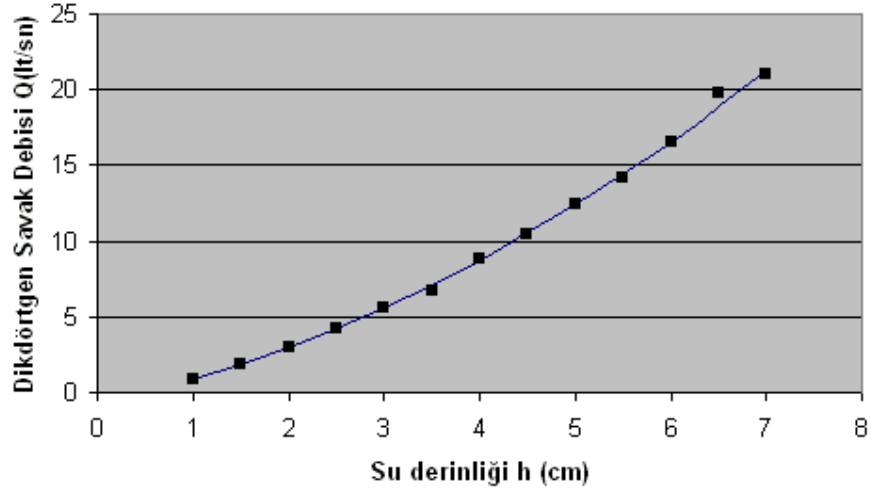
Şekil 2.2 Üçgen savak anahtar eğrisi (Ağaçcıoğlu, 1995)

$$Q = [h/5.108]^{2.4469} \quad (2.1)$$

Burada h (cm), üçgen savak üzerindeki nap kalınlığıdır.

2.3 Dikdörtgen Savak Anahtar Eğrisinin Belirlenmesi

Dikdörtgen savak anahtar eğrisini belirlemek için ana kanalda labirent savağın mansap tarafı tamamen kapatılarak ana kanala gelen bütün suyun toplama kanalına savaklanması sağlanmıştır. Kanala giren toplam su çıkan suya eşit olduğundan ve üçgen savak anahtar eğrisiyle toplam giren su daha önceden belirlendiği için dikdörtgen savak anahtar eğrisi de tayin edilmiştir.



Şekil 2.3 Dikdörtgen savak anahtar eğrisi

Toplama kanalının sonundaki dikdörtgen savak anahtar eğrisi Şekil 3.3’de verilmiştir. Ayrıca anahtar eğrisi,

$$Q_w = 0.2652.h^2 + 1.3551.h - 0.7594 \quad (2.2)$$

denklemleri ile tarif edilmiştir. Burada h cm olarak dikdörtgen savak üzerindeki nap kalınlığıdır. Savaklanan debi toplama kanalına gelen debi olduğu için, bu formülle savaklanan debi hesaplanmış olur.

2.4 Deneylerin Yapılışı

Deney kanalında ölçümlere başlamadan önce tüm kanal bakıma alınmıştır. Ölçme hatalarına meydan vermemek için kanaldaki suyla temas eden birleşme yerleri silikonlanmıştır.

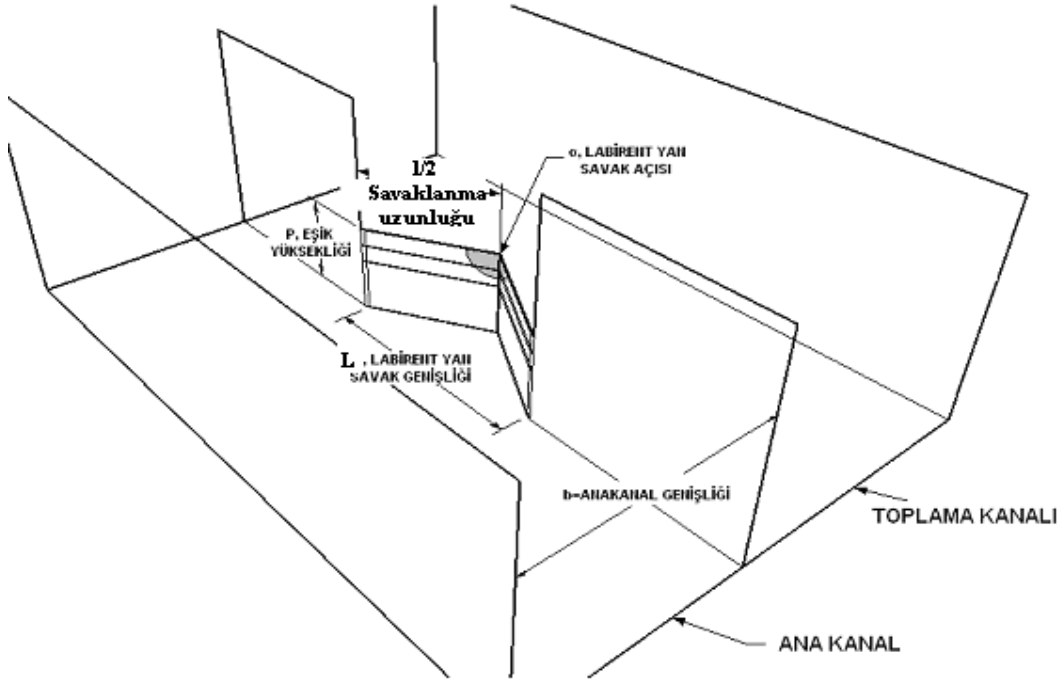
Labirent yan savakta savak katsayısının elde edilmesi için yapılan deneyler;

Farklı açılı ve L genişliğindeki labirent savak parçalarından, birer tane 12cm kret yüksekliğinde parça ve ikişer tanede 4 cm yüksekliğinde parça mevcuttur. Şekil 2.4’de çalışmada kullanılan savakların üç boyutlu görünüşleri verilmiştir. Bu parçalar üst üste geçebilecek şekilde imal edilmişlerdir. 12 cm’lik ilk parçalarla p=12 cm savak kret yüksekliği elde edilmiştir. Bu parçayla kanal şartları elverdiği kadar deney yapıldıktan sonra üzerine 4 cm’lik diğer parça takılmış ve 16 cm’lik savak kret yüksekliği elde edilmiştir. Aynı şekilde diğer ek parçada takılıp 20 cm’lik savak kret yüksekliği elde edilmiştir.

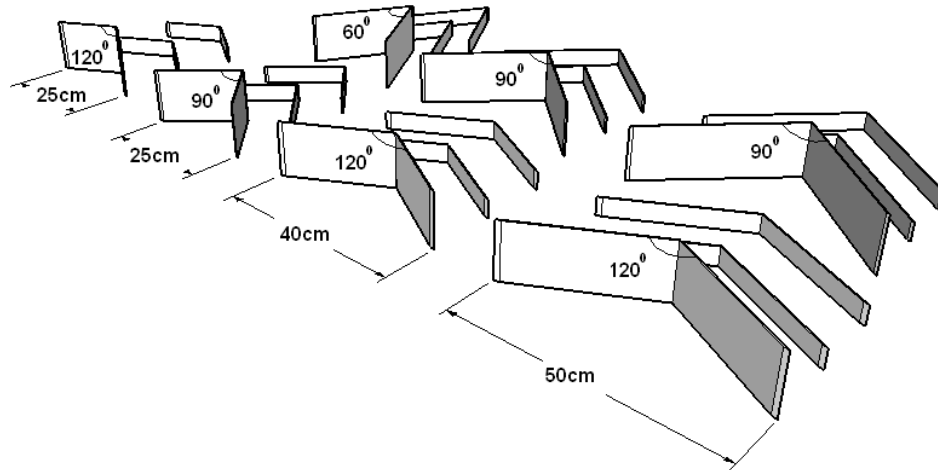
Çizelge 2.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Savaklar Ve Akım Özellikleri

Parça No	Savak genişliği L (cm)	Savak kret yüksekliği p (cm)	Savaklanma uzunluğu l (cm)	Savak açısı α (derece)	Fr çalışma aralığı	Savak katsayısı C_d
1	50	12	70.71068	90	0.14-0.85	0.43-0.82
2	50	16	70.71068	90	0.14-0.55	0.51-0.62
3	50	20	70.71068	90	0.11-0.45	0.48-0.52
4	50	12	57.73503	120	0.13-0.81	0.36-0.60
5	50	16	57.73503	120	0.13-0.50	0.41-0.56
6	50	20	57.73503	120	0.10-0.44	0.38-0.53
7	40	12	56.56854	90	0.18-0.82	0.49-0.65
8	40	16	56.56854	90	0.17-0.47	0.45-0.51
9	40	20	56.56854	90	0.15-0.47	0.38-0.53
10	40	12	46.18802	120	0.17-0.81	0.42-0.60
11	40	16	46.18802	120	0.13-0.53	0.41-0.53
12	40	20	46.18802	120	0.10-0.40	0.38-0.50
13	25	12	50.00000	60	0.13-0.76	0.62-0.74
14	25	16	50.00000	60	0.16-0.65	0.58-0.70
15	25	20	50.00000	60	0.10-0.49	0.60-0.68
16	25	12	35.35534	90	0.12-0.72	0.43-0.53
17	25	16	35.35534	90	0.12-0.55	0.41-0.53
18	25	20	35.35534	90	0.10-0.46	0.44-0.52
19	25	12	28.86751	120	0.12-0.75	0.41-0.53
20	25	16	28.86751	120	0.14-0.43	0.41-0.51
21	25	20	28.86751	120	0.09-0.43	0.41-0.49

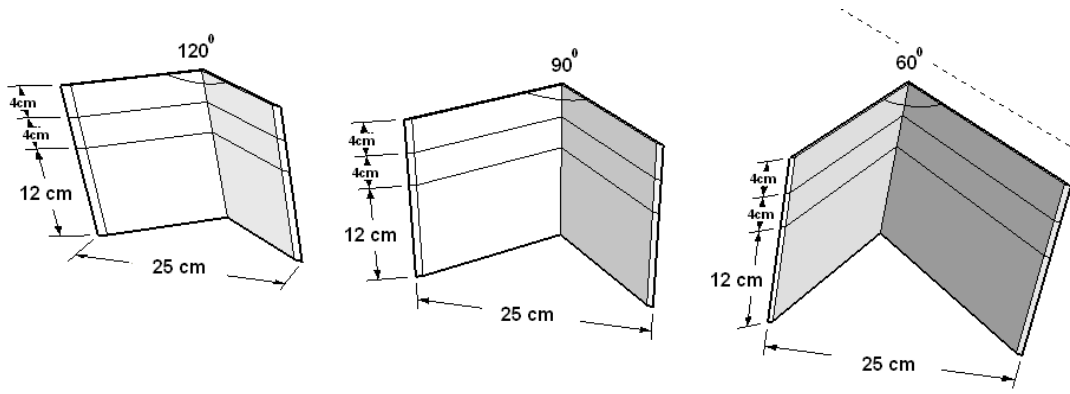
Bu parçalarda mümkün olan tüm deneyler yapıldıktan sonra farklı açısı veya farklı L genişliğindeki diğer parçalara geçilmiştir. Tüm bu deneyler 21 farklı boyuttaki labirent yan savak için yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan savak ve akım özellikleri Çizelge 2.1 de verilmiştir.



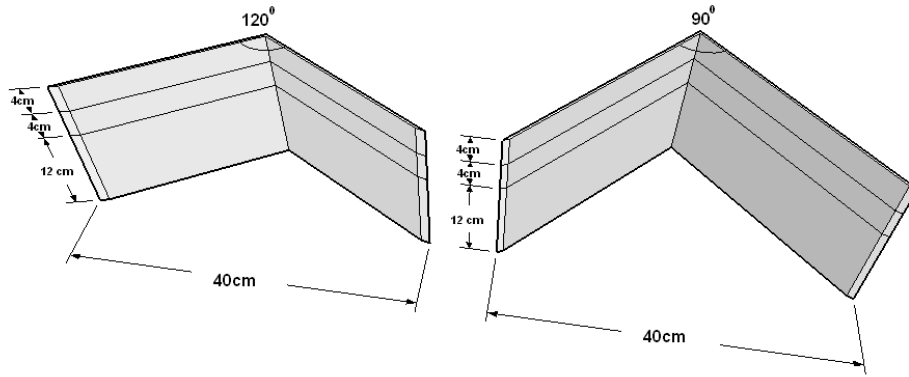
Şekil 2.4.a Labirent yan savak üç boyutlu genel görüntüsü



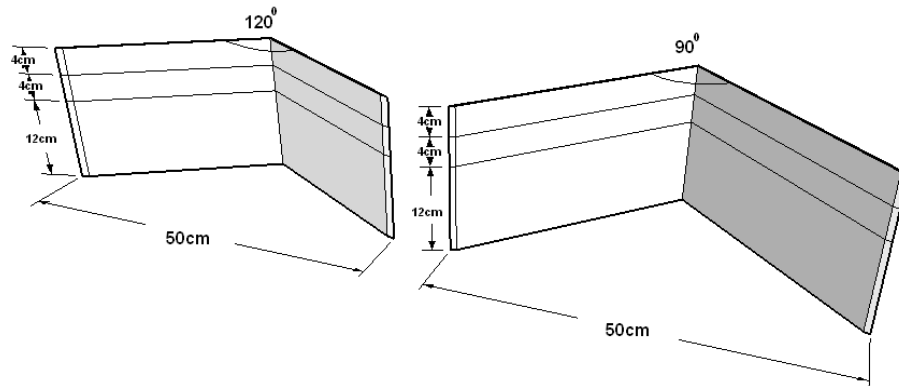
Şekil 2.4.b Labirent yan savak parçalarının üç boyutlu görünümü



Şekil 2.4.c $L=25\text{cm}$ $\alpha = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ 'lik labirent yan savaklar



Şekil 2.4.d $L=40\text{ cm}$ $\alpha = 90^\circ, 120^\circ$ 'lik labirent yan savaklar



Şekil 2.4.e $L=50\text{ cm}$ $\alpha = 90^\circ, 120^\circ$ 'lik labirent yan savaklar

Şelil 2. 1 deki kanal planında ok işaretleriyle akım yönü gösterilmiştir. Kanala giren debi vana vasıtasıyla ayarlanarak 1. dinlendirme havuzuna boşalır. Dinlendirme havuzundan sonra üçgen savağın bulunduğu yere gelen suyun seviyesi limnimetre yardımıyla ölçülür. Üçgen savak anahtar eğrisi formülü kullanılarak kanala giren toplam su miktarı belirlenir. Üçgen savak üzerinden savaklanan su 2. dinlendirme havuzuna buradan da ana kanala geçer. Ana kanala paralel yerleştirilen labirent yan savağa gelen suyun bir kısmı ana kanal üzerinde akmaya devam ederken bir kısmı da labirent savak üzerinden savaklanır. Labirent savak menba girişinde, ana kanal ekseninde farklı Fr sayılarında limnimetreyle su kotları, yani h_1 değerleri ölçülür. Labirent savak üzerinden savaklanan su toplama kanalı vasıtasıyla boşaltım havuzu girişindeki dikdörtgen savağa kadar gelir. Dikdörtgen savağın 35 cm gerisinde toplama kanalı merkezine yerleştirilen limnimetre yardımıyla su kotları ölçülür. Ölçülen kotlarla dikdörtgen savak anahtar eğrisi formülü kullanılarak toplama kanalına giren toplam debi bulunur. Bu debi labirent yan savak üzerinden savaklanan debidir. Ana kanal üzerinde labirent savak tarafından savaklanamayan diğer su kısmı ana kanal üzerinden akarak boşaltım havuzuna gelir. Ana kanal üzerindeki boşaltım havuzu girişinde iki adet ayarlanabilir radyal kapak vardır. Ana kanal üzerindeki su seviyesine ve Fr sayısına; kanala giren su miktarı ve bu radyal kapaklarla ayarlanan, ana kanaldan çıkan su miktarı etkilidir. Kanala su veren ilk vana ve radyal kapaklar ayarlanılarak farklı Fr sayılarında ve farklı nap yüksekliklerinde 21 adet farklı labirent yan savak da debi katsayısının tayini için 643 adet deney yapılmıştır.

2.5 Boyut Analizi Yardımıyla Deneysel Çalışmadaki Etkili Parametrelerin Belirlenmesi

Akışkanlar mekaniği ile ilgili birçok uygulamada, deneysel sonuçlardan çıkartılan ampirik sonuçlar kullanılır. Deneysel sonuçlardan elde edilen verileri, anlaşılır bir formda sunmak zordur. Karışık verilerden elde edilecek grafikleri yorumlamakta mümkün olmayabilir. Boyut analizi ise uygun verilerin seçiminde ve sunumunda doğru bir strateji sağlar.

Boyut analiz, mühendislikle ilgili tüm deneylerde, faydalı teknikler sağlar. Eğer, herhangi bir fiziksel durumda etkili parametreler tanımlanabiliyorsa, boyut analizi bu faktörler arasındaki ilişkiyi belirleyebilir.

2.5.1 Boyutlar Ve Birimler

Uzunluk, hız, ivme, ses gibi herhangi bir fiziksel durum, bilinen özelliklerle tanımlanabilirler.

Gerçekte bir büyüklük boyut tayin edilmeksizin kullanılamaz. Örneğin biz uzunluktan daha

fazlasını bilmeliyiz. Ve bu metre, yada gibi standartlaştırılmış birimler olmalıdır.

Boyutlar ölçülebilir özelliklerdir. Birimlerse bu boyutların miktarlarını belirlemek için kullandığımız standartlardır. Boyut analizi sadece boyutun tipiyle alakalıdır. Bu ise nitelikler, nicelik değildir. Aşağıda yaygın olarak kullanılan boyutsal kısaltmalar mevcuttur.

Uzunluk=L

Kütle=M

Zaman=T

Kuvvet=F

Sıcaklık=Θ

M veya F'den biri ve L, T değerleri kullanılarak bütün fiziksel özellikleri tanımlayabiliriz. Bu çalışmada L,T ve M boyutları kullanılarak, konu analiz edilmiştir.

2.5.2 Boyutsal Homojenlik

Herhangi bir fiziksel durumu tanımlayan denklem, sadece her iki tarafındaki boyutların aynı olması durumunda doğru olabilir. Örneğin dikdörtgen yan savaklar için kullanılan debi formülü;

$$Q = \frac{2}{3} L \sqrt{2gh}^{3/2} \quad (2.3)$$

SI birim sisteminde eşitliğin sol tarafı $m^3 s^{-1}$ 'dir. Ve eşitliğin sağ tarafı da aynı boyutta olmalıdır. Sadece SI birim sistemi kullanılarak eşitlik yazılırsa;

$$m^3 s^{-1} = m (ms^{-2})^{\frac{1}{2}} m^{\frac{3}{2}}$$

$$m^3 s^{-1} = m^3 s^{-1}$$

sonuç tutarlıdır. Eşitlikteki farklı boyutların, üstlerin eşit olduğuna dikkat edelim. Boyutsal homojenitenin bu özelliği;

1. Boyutsuzların ilişkilerinin belirlenmesini
2. İki grup arasında birimlerin çevrilmesini
3. Eşitliğin doğruluğunun kontrol edilmesini sağlar.

Çizelge 2.2 Fiziksel niceliklerin boyutları

Boyutsal miktar	SI birimleri	Sembol	Boyutsal Formları
Hız	m/s	V	LT^{-1}
İvme	m/s^2	a	LT^{-2}
Kütle	kg	m	M
Kuvvet	$kg\ m/s^2$	F, K	$M\ LT^{-2}$
Enerji veya iş	N m, $kg\ m^2/s^2$	J	ML^2T^{-2}
Güç	N m/s $kg\ m^2/s^3$	W	ML^2T^{-3}
Basınç	N/m^2 , $kg/m/s^2$	P	$ML^{-1}T^{-2}$
Özgül ağırlık	N/m^3 , $kg/m^2/s^2$	ρ	$ML^{-2}T^{-2}$
Dinamik viskozite	$N\ s/m^2$ $kg/m\ s$	μ	$M\ L^{-1}T^{-1}$
Yüzey gerilmesi	N/m $kg\ /s^2$	σ	MT^{-2}

2.5.3 Buckingham Π Teoremi

Boyut analizi için başka metotlar olsa bile Buckingham'ın Π teoremi çözüm için genelleştirilmiş iyi stratejiler sağlar.

1. Π teoremi;

m adet değişken (hız, özgül ağırlık vb. fiziksel özellikler) arasındaki ilişki m-n adet

boyutsuz grupla tanımlanır. Burada n kullanılan temel boyutların (kütle, uzunluk, zaman vb.) sayısıdır. Eğer fiziksel problem aşağıdaki gibi tanımlanırsa;

$$\phi(Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_m) = 0 \quad (2.9)$$

bu teoreme göre;

$$\phi(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{m-n}) = 0 \quad (2.10)$$

denilir. Akışkanlarda normalde M, L, T ye bağlı olarak n=3 alırsız.

2. Π teoremi;

Her bir Π grubu, kalan değişkenlerden birine, tekrar eden değişkenlerin veya n ile geliştirilen fonksiyonların eklenmesiyle oluşur.

2.5.4 Tekerrür Eden Değişkenlerin Seçimi

Tekerrür eden değişkenler, her Π grubunda görebileceğimiz ve problem çözümüne etkili olabileceğini düşündüğümüz değişkenlerdir. Problemi analiz etmeye başlamadan önce bir tane tekerrür eden değer seçilmelidir. Bu değişken serbestçe seçilebilir.

Tekerrür eden değişkenlerin seçiminde bazı kurallara dikkat edilir. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

1. 2. Π teoremindeki n=3 alınabilir.
2. Tekerrür eden değişkenler birleştirildiğinde tüm boyutları (M, L, T) içermelidir. Ama bu herbir tekerrür eden değişkenin (M, L, T) boyutlarını içereceği anlamına gelmez.
3. Tekerrür eden değişkenlerin kombinasyonu boyutsuz bir grup oluşturmamalıdır.
4. Tekerrür eden değişkenler her Π grubunda olması gerekmez.
5. Tekerrür eden değişkenler deney çalışmasında ölçülebilecek değişkenlerden seçilmelidir. Bunlar tasarımcının ilgisini çeken değerler olabilir. Mesela boru çapı ve boru pürüzlülüğü aynı boyutta (L) olmalarına rağmen boru çapı daha faydalı ve ölçülebilir bir değerdir.

Akışkanlarda, genellikle ρ , u ve d değerleri, üç tane tekrarlanan değişken olarak kullanılabilir. Tekerrür eden değişkenlerin seçimindeki farklılık sonucunda birçok boyutsuz Π grupları oluşacaktır. Bunlar geçerlidir ve gerçekte yanlış seçim yoktur.

2.5.5 Labirent Yan Savak Debi Katsayısı İçin Boyutsuz Büyüklüklerin Belirlenmesi

Doğrusal bir kanal boyunca yerleştirilmiş labirent yan savak akımına etki eden başlıca parametreleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

$$C_d = f(b, h_1, V_1, L, g, J_0, \psi, \mu, \sigma, \rho, l, \alpha, p, n) \quad (2.11)$$

Elemanter bir akım parçacığı için J_0, n, σ ve μ değerlerinin etkileri çok küçük olduğundan, C_d 'ye olan etkileri ihmal edilebilir.(El-Khashab, 1975). Dolayısıyla;

$$f(C_d, b, h_1, V_1, L, g, \psi, \rho, l, \alpha, p) = 0 \quad (2.12)$$

yazılabilir. Olaya etkili değişkenlerin sayısını azaltmak ve deneysel sonuçların bağıntılarını ortaya koymak için ρ, g, h_1 değerlerini tekrarlanan değişken seçerek boyut analizi yapalım.

Çizelge 2.3 Labirent yan savak debi katsayısına etki eden parametreler.

Adı	İşareti	Birimi	Boyutu
Kanalı karakterize eden değişkenler			
Ana kanal genişliği	b	m	L
Kanal taban eğimi	r	m	L
Kanal pürüzlülüğü	n	-	-
Akışkanı karakterize eden değerler			
Akışkanın özgül kütlesi	ρ	kg / m^3	ML^3
Akışkanın dinamik viskozitesi	μ	$kg / m.s.$	$ML^{-1}T^{-1}$
Yerçekimi ivmesi	g	m / s^2	LT^{-2}
Yüzey gerilmesi	σ	N / m^2	KL^{-2}
Akımı karakterize eden değişkenler			
Akım derinliği	h	m	L
Labirent yan savak boyunca değişen ortalama akım hızı	V	m/s	LT^{-1}
Ana kanaldaki akımın yan savağa sapma açısı	ψ	-	-
Labirent yan savağı karakterize eden değişkenler			
Labirent yan savak genişliği	L	m	L
Labirent yan savak eşik yüksekliği	p	m	L
Savaklanma uzunluğu	l	m	L
Labirent yan savak açısı	α	-	-

Çizelge 2.4'ten aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.

$$k_9 = 0$$

$$-k_2 - 2k_{10} = 0$$

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

$$k_{10} = -\frac{1}{2}k_2$$

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

(2.13)

Çizelge 2.4 Labirent yan savak katsayısına etki eden parametreler için boyut analizi

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}
	b	V	L	P	ψ	1	α	C_d	ρ	g	h_1
L	1	1	1	1	0	1	0	0	-3	1	1
M	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
T	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-2	0

eşitlikleri elde edilir. (2.10) eşitlikleri kullanılarak Çizelge2.5 hazırlanır.

Çizelge 2.5 Labirent yan savakların 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}
	b	V	L	p	ψ	1	α	Cd	ρ	g	h_1
Π_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
Π_2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1/2	-1/2
Π_3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1
Π_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1
Π_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Π_6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-1
Π_7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Π_8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Çizelge 2.5 incelendiğinde olaya etkili parametreler aşağıdaki gibidir.

$$\Pi_1 = b / h_1$$

$$\Pi_2 = V_1 / \sqrt{g \cdot h_1}$$

$$\Pi_3 = L / h_1$$

$$\Pi_4 = p / h_1$$

$$\Pi_5 = \psi$$

$$\Pi_6 = l / h_1$$

$$\Pi_7 = \alpha$$

$$\Pi_8 = Cd$$

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

$$\frac{\Pi_3}{\Pi_6} = \frac{l / h_1}{L / h_1} = \frac{l}{L}$$

(2.14)

Boyutsuz büyüklükler ;

$$Cd = f(Fr_1, \frac{L}{b}, \frac{l}{L}, \frac{p}{h_1}, \psi, \alpha) \quad (2.15)$$

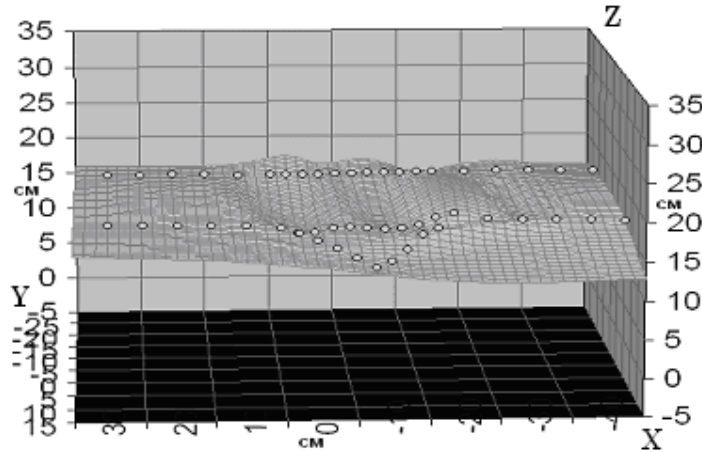
Burada Fr_1 labirent yan savak başlangıcındaki kanal ekseninde ölçülen su derinliğine göre bulunan Fr sayısıdır, bundan sonra Fr diye gösterilecektir.

Boyut analizinde tekrarlanan değişken seçimindeki kurallar doğrultusunda h_1 tekrarlanan değişkeni yerine L, p, l veya b değerleri konulabilir. Fakat, $\Pi_2 = V_1 / \sqrt{g \cdot h_1} = Fr$ değeri değişeceği ve fiziksel anlamlı bir değer elde edilemeyeceği için farklı değişkenlerle bir analiz yapılmamıştır.

Gerçekte ana kanaldaki labirent yan savak üzerinde Fr sayısı değişmektedir. Fakat mevcut aletlerin yetersizliği yüzünden h_1 su derinliğine göre bulunan Fr sayısı kullanılmıştır.

2.6 Su Yüzü Profilleri

Su yüzü profillerinin belirlenmesi için, savaktan önce ve savaktan sonra savak genişliği kadar bir uzunlukta; ana kanal ekseninde, ana kanalla toplama kanalını birleştiren parçanın ana kanal tarafında, iç kıyıda labirent savak kreti boyunca su seviyeleri ölçülmüştür. Bu ölçümler 5 farklı Froude sayısı ve nap yüksekliği için $L=25, 40, 50$ cm genişliğindeki labirent yan savakların $\alpha = 90^\circ$ ve $p=12$ cm eşik yüksekliği için yapılmıştır.



Şekil 2.5 $Fr=0.4$, $h-p=4$ cm, $L=25$ cm $p=12$ cm için su yüzü profili

Savak başlangıcında su derinliği kritik derinlikten yüksektir. ($Fr < 1$) Akım yan savak

boyunca nehir rejimindedir ve su derinliği gittikçe artar (Şekil 1.11 a). Toplam 1092 adet su seviyesi değeri okunmuş ve (Şekil 2.5)'de $Fr=0.4$, $h-p=4\text{cm}$, $L=25\text{cm}$, $p=12\text{cm}$ için elde edilen su yüzü profili gibi 14 farklı su yüzü profilinin toplam 42 adet görünüşü ek1'de verilmiştir. Su yüzü profillerinde savak giriş ve çıkışlarında su kotlarında yükselmeler görölmüştür.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SPSS PROGRAMINDA İŞLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Regresyon eşitliklerine dahil edilen bağımsız değişkenler Fr , (l/L) , (p/h) ve (L/b) değişkenleri olup “ C_d ” (savak katsayısı) ise bağımlı değişkendir. Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki çoklu korelasyon katsayısı R ile verilmiş olup R^2 ile verilen değerin kareköküdür. Söz konusu katsayı bağımlı değişkenler ile bütün bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi vermektedir.

Deterministik katsayısı (R^2), doğrusal modelin uyumluluğunun en yaygın ölçü birimidir. Söz konusu katsayı, bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarının bağımsız değişken tarafından açıklandığını ifade etmektedir. Bu durum, regresyon modelinin açıklayıcılığının iyi bir göstergesidir. Bütün gözlemler regresyon doğrusu üzerinde yer alırsa, $R^2 = 1$ olur. Eğer bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında hiç doğrusal ilişki yoksa $R^2 = 0$ olur.

Örneğin $R^2=0,74$ olması durumunda, “ C_d ” değişkeni ile “ Fr , (l/L) , (p/h) ve (L/b) ” değişkenleri arasında kuvvetli bir doğrusal ilişki olduğu belirtilebilir. Bir başka ifadeyle, “ C_d ” değerindeki değişimlerin %74’ünü Fr , (l/L) , (p/h) ve (L/b) değişkenleri açıklayabilmektedir.

Verilerde hata olması, bağımlı değişkenin gözlem değerleri ile denklem değerleri arasında bir fark oluşturabilir. Tahmin edilen ile gerçek değerler arasındaki farkın ölçüsü olan “standart hata”, “ C_d ”nin tahmin edilen değerleri arasındaki güven aralığının hesaplanmasında kullanılabilir.

Her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkisini değerlendirmek için, çıktının “katsayılar” kısmına bakılır. Çıktının bu kısmında, eşitlikteki her değişken ile ilgili olarak, sırasıyla; “b” değeri, b’nin standart hatası, beta, T değeri ve P değeri verilmiştir. “Beta”nın altındaki katsayılar kısmi regresyon katsayılarıdır.

Negatif b değeri bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasında negatif bir ilişki olduğunu ifade eder. Yani bağımsız değişken artarken, bağımlı değişken azalır. Diğer taraftan, pozitif b değeri, bağımlı değişkenle bağımsız değişken arasında pozitif bir ilişki olduğunu gösterir. Yani bağımsız değişken artarken, bağımlı değişkende artar. “ C_d ” verisi kullanılarak “ C_d ” için tahmin edilen örnekleme regresyon eşitliği şöyle ifade edilir:

C_d için tahmin edilen çıktı;

$$C_d = b(\text{sabit}) + X_1 \times b(\text{Fr}) + X_2 \times (l/L) + X_3 \times b(p/h) + X_4 \times (L/b) \quad (3.1)$$

$b(\text{Fr})$, çoklu regresyon eşitliğindeki diğer bağımsız değişkenleri (l/L) , (p/h) ve (L/b) sabit tutmak kaydıyla. Fr değerindeki bir birimlik artışa karşı C_d de X_1 kadar bir artış olacağı anlamına gelmektedir. $b(p/h)$, çoklu regresyon eşitliğindeki diğer bağımsız değişkenleri Fr , (l/L) , ve (L/b) sabit tutmak kaydıyla (p/h) değerindeki bir birimlik artışa karşı “ C_d ” değerinde X_2 kadar artış olacağı anlamına gelir. (l/L) ve (L/b) değişkenleri içinde Fr ve (p/h) değişkenleri gibi düşünülebilir. $b(\text{sabit})$ değeri, XY koordinat sisteminde, doğru denkleminin Y eksenini keseceği noktayı belirtir.

Beta kısmi korelasyon katsayısı olup, diğer bağımsız değişkenin etkisi sabit tutulduğunda; bağımlı değişkenle bağımsız değişken arasındaki ilişkinin ölçütüdür.

Boyut analizi sonucu bulunan boyutsuz parametreler kullanılarak yapılan regresyon analizin aşağıda verilmiştir. Bu analizde açış değeri l/L değeri ile aynı fiziksel anlamı ifade ettiği için kullanılmamıştır.

$L=25, 40, 50 \text{ cm}$, $\alpha=60, 90$ ve 120°

Çizelge 2.5 Girilen/çıkarılan değerler(b)

Model	Girilen Değerler	Çıkarılan Değerler	Metot
1	$L/b, \text{Fr}, l/L, p/h$	.	Giriş

a Verilmiş Girilen Değerler.

b Bağımlı Değişken : C_d

Çizelge 2.6 Özet Model

Model	R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahminlerin Standart Sapması
1	0.891(a)	0.795	0.793	0.038936909

a Tahmin İçin Kullanılan Değerler, $L/b, \text{Fr}, l/L, p/h$

Çizelge 2.7 Varyans analizi(b)

Model		Toplam Kareler	df	Karelerin Ortalaması	F	Sig.
1	REGRESYON	3.743	4	0.936	617.159	0.000(a)
	Fark	0.967	638	0.0020		
	Toplam	4.710	642			

a Tahmin İçin Kullanılan Değerler, L/b, Fr, L/l, p/h

b Bağımlı Değişken : C_d

Çizelge 2.8 Katsayılar(a)

Model		Standartlaştırılmamış Katsayılar		Standartlaştırılmış Katsayılar		
		b	Standart Hata	Beta	T	Sig.
1	(Sabit)	0.062	0.013		4.645	0.000
	Fr	0.152	0.009	0.296	16.365	0.000
	l/L	0.254	0.006	0.884	45.779	0.000
	p/h	-0.036	0.015	-0.048	-2.407	0.016
	L/b	0.078	0.007	0.236	11.174	0.000

a Bağımlı Değişken : C_d

$$C_d = 0.062 + 0.0152(Fr) + 0.254 (l/L) - 0.036(p/h) + 0.078(L/b) \quad (3.2)$$

Spss programında yapılan bu regresyon sonucunda 3.2 eşitliği elde edilir. Regresyon analizinde Çizelge 2. 6 da verilen $R=0.891$ değeri yüksek bir değerdir. Bu eşitlik çıkartılırken tüm çalışmalar aynı regresyon modeli içinde değerlendirilmiştir. Düzeltilmiş R^2 değeri de göz önüne alınarak modelden elde edilen verilerin %79.3 oranında bir doğrulukla gerçeği yansıtacağı söylenebilir.

Bunu göstermek için yapılan tüm ölçümleri içeren grafikler çizildi. Bu grafiklerde Fr sayısı ile deney sonucu bulunan C_d değerleri ve aynı Fr sayısı için farklı formüllerle bulunan C_d

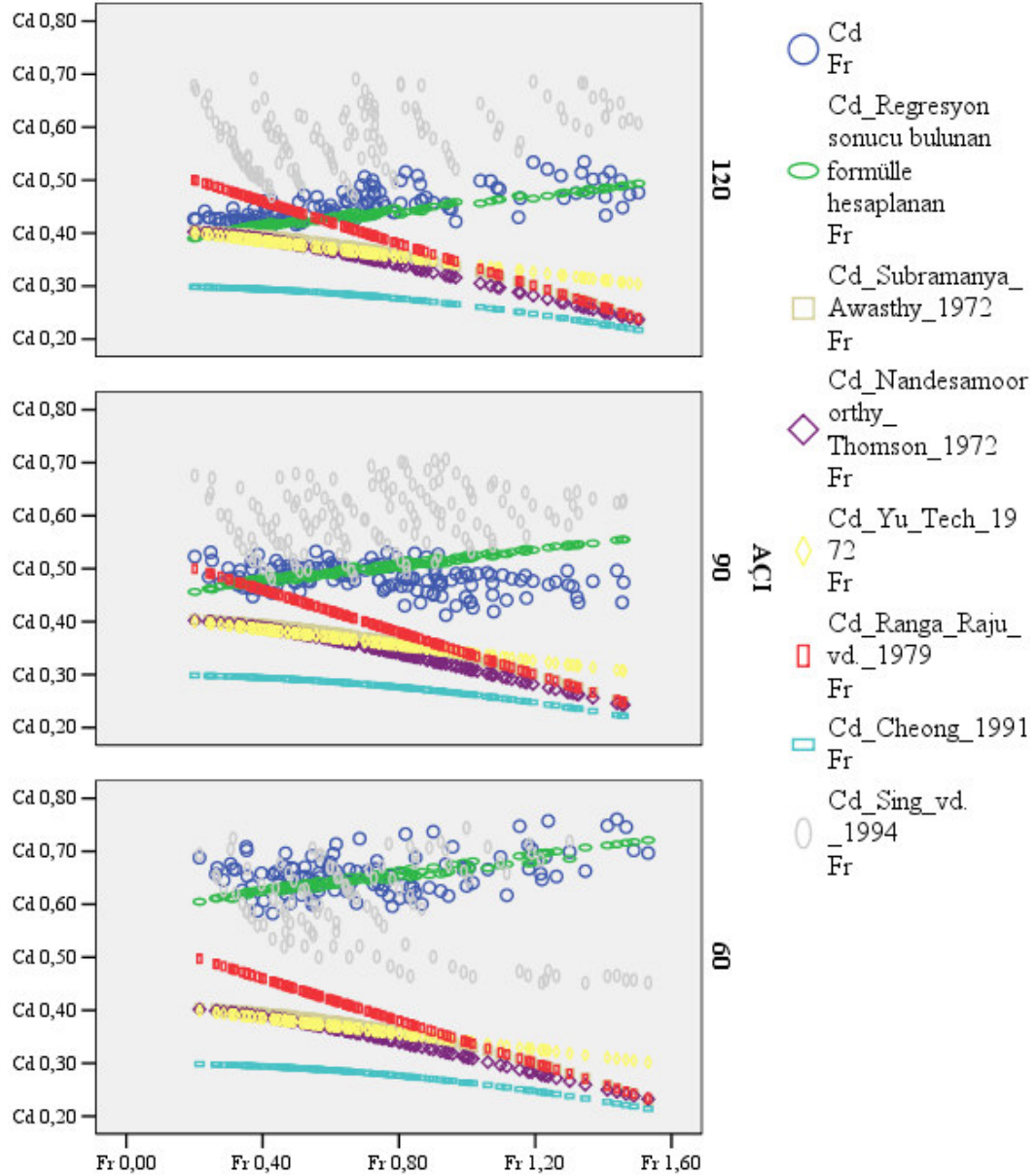
değerleri karşılaştırılmıştır. Bu grafikler çizilirken aşağıdaki çizelgede (Çizelge 2.9) verilen formüller ve formüller çıkartılırken kullanılan değişkenlerin değer aralıkları verilmiştir.

Çizelge 2.9 Doğrusal kanalda yan savak debi katsayısı eşitlikleri (Ağaçcıoğlu ve Yüksel, 1998)

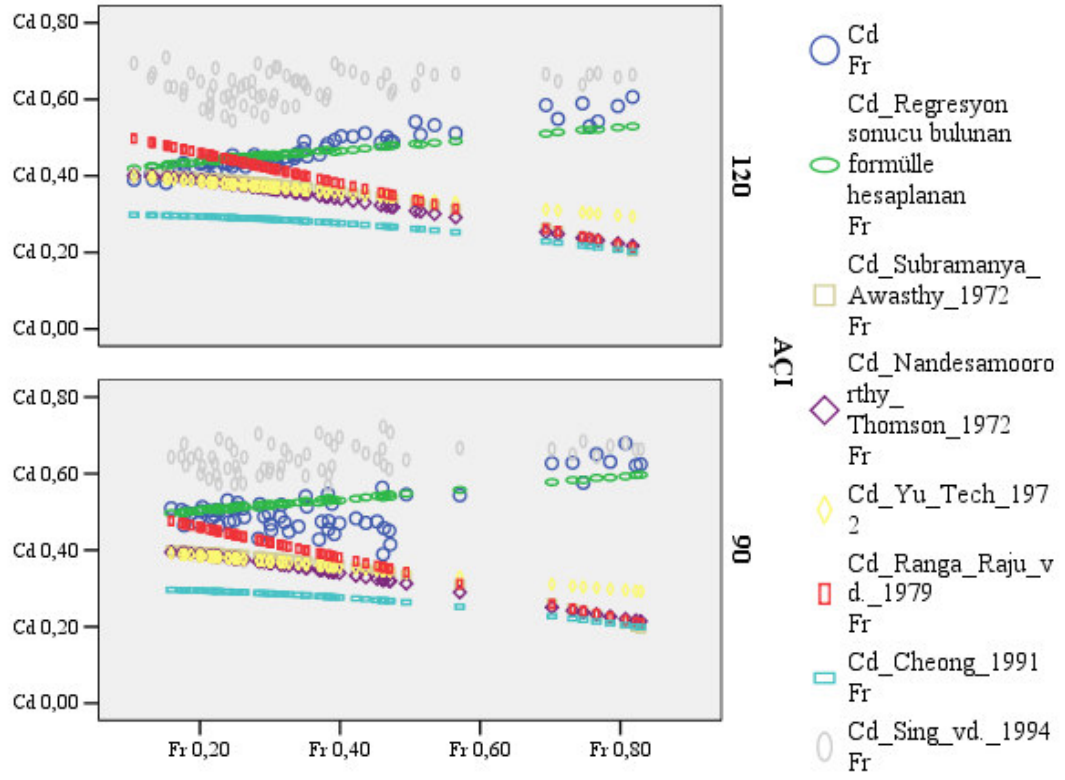
Kaynak	Yan savak debi katsayısı denklemleri	Fr sayısı	$\frac{L}{b}$	$\frac{l}{L}$	$\frac{p}{h}$	Standart sapma
Subramanya ve Awasthy (1972)	$C_d = 0.576 \left(\frac{1 - Fr^2}{2 + Fr^2} \right)^{0.5}$	0.02-0.85	0.2-1.0	1	0.2-0.96 (0.0-0.6)	0.09
Nandesamoorthy ve Thomson (1972)	$C_d = 0.288 \left(\frac{2 - Fr^2}{1 + 2Fr^2} \right)^{0.5}$	-	-	1	(0.0-0.6)	-
Yu Tech (1972)	$C_d = 0.415 - 0.148Fr$	-	-	1	(0.0-0.6)	-
Ranga Raju ve dig. (1972)	$C_d = 0.54 - 0.40Fr$	0.1-0.5	0.1-0.7	1	(0.2-0.5)	0.08
Cheong (1991)	$C_d = 0.30 - 0.147Fr^2$	0.286-0.784	0.5-1.64	1	-	0.09
Sing ve dig. (1994)	$C_d = 0.99 - 1.26Fr$ $C_d = 0.24 + 0.54 \frac{p}{h}$	0.23-0.43	0.25-0.5	1	0.42-0.85	0.07 0.09
Regresyon sonucu bulduğumuz formülle hesaplanan	$C_d = 0.062 + 0.0152(Fr) + 0.254 (l/L) - 0.036(p/h) + 0.078(L/b)$	0.1-0.85	0.63-1.25	1.15-2.00	0.39-0.93	0.039

Grafiklerdeki C_d değerleri, De Marchi'nin birim boydan savaklanan debi formülüne (1.43)

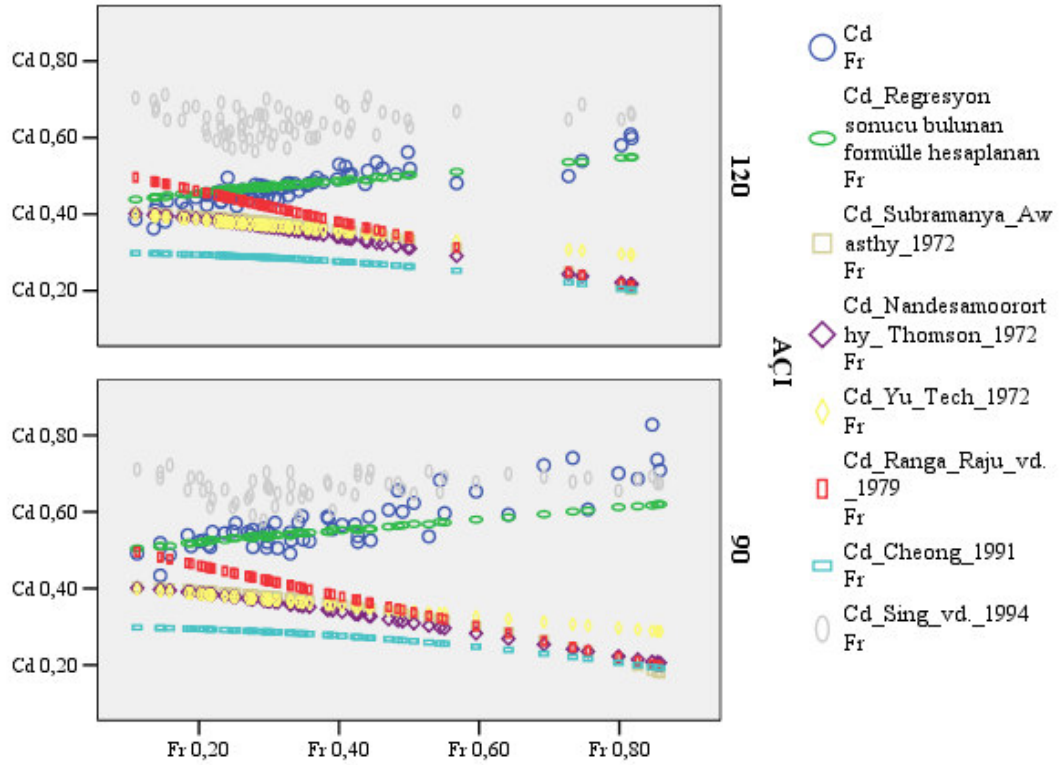
göre bulunmuş değerlerdir. Bu formül birim boydan savaklanan debiyi verdiği için bulunan değerler L savak uzunluğuyla çarpılmıştır. Şekillerin yanında verilen kaynak isimleri Çizelge 2.9'dan alınıp, deneylerde ölçülen değerler kullanılarak bu çizelgede verilen debi katsayısı formülleriyle C_d değerleri hesaplanmıştır ve grafikler çizilmiştir.



Şekil 3.1. $L=25$ cm, $\alpha= 60, 90, 120^\circ$ için ölçülen değerlerin formülle bulunan değerlerle karşılaştırılması



Şekil 3.2. $L=40$ cm, $\alpha= 60, 90, 120^\circ$ için ölçülen değerlerin formülle bulunan değerlerle karşılaştırılması

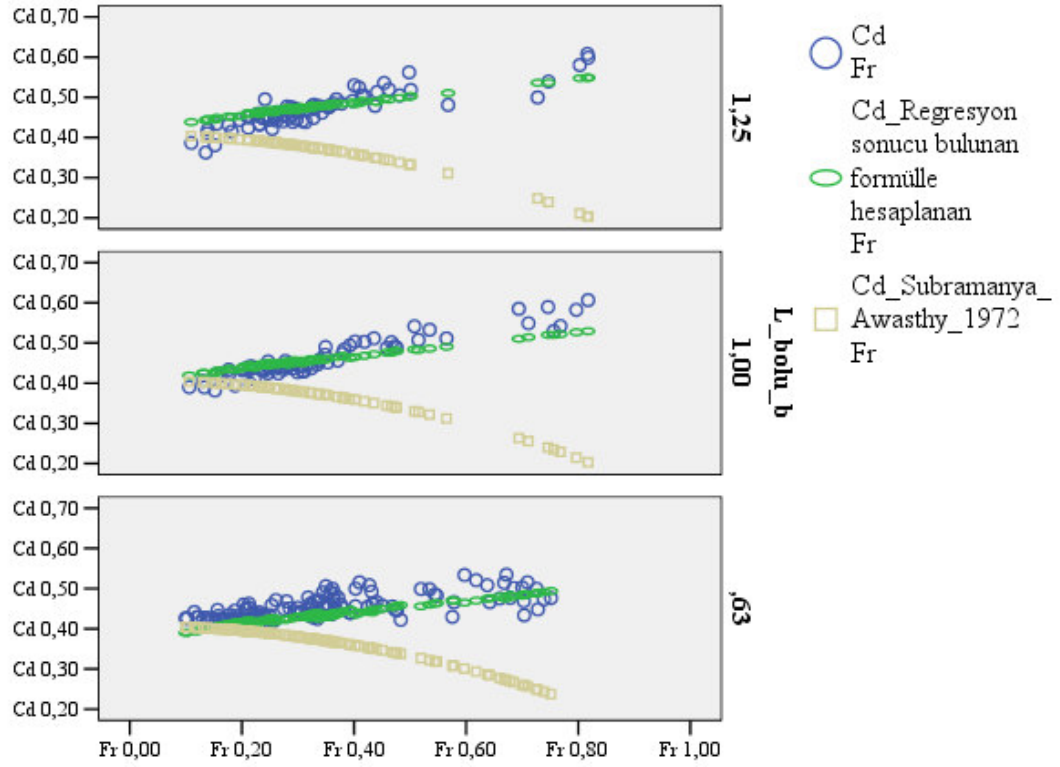


Şekil 3.3. $L=50$ cm, $\alpha=120^\circ$ için ölçülen değerlerin formülle bulunan değerlerle karşılaştırılması

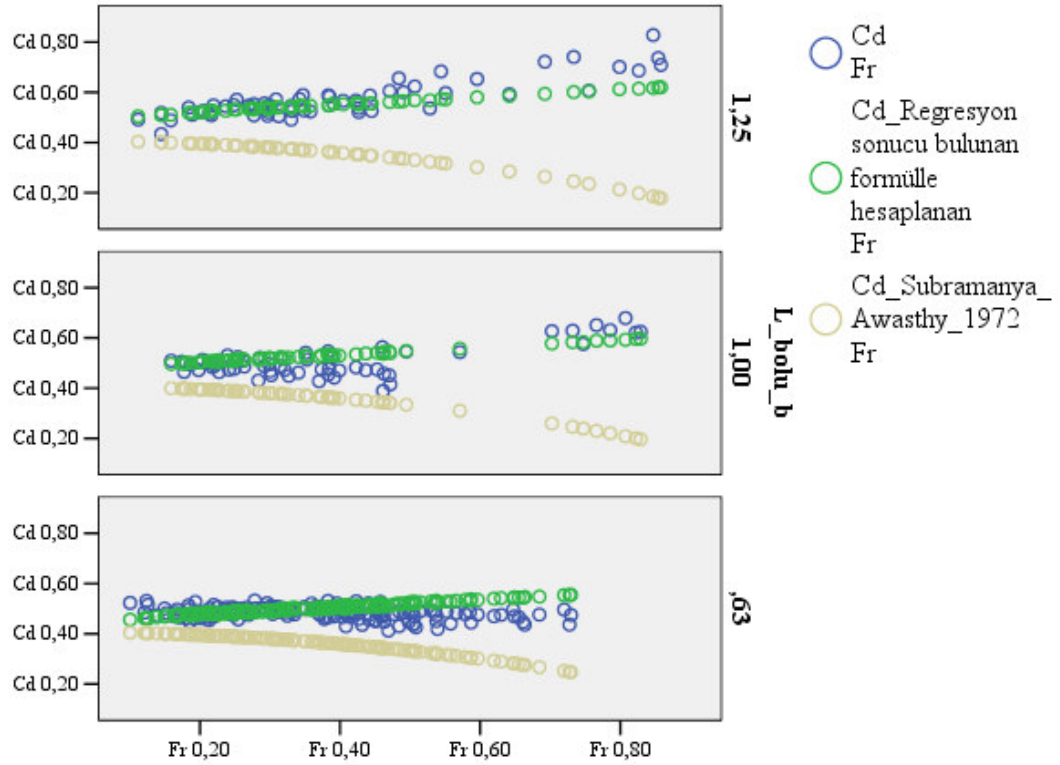
Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 incelenerek, Sing vd. (1994) kullandıkları $\frac{P}{h}$ bağımsız değişkenini içeren $C_d = 0.24 + 0.54 \frac{P}{h}$ formülüyle hesaplanan C_d değerlerinin diğer formüllerle hesaplanan C_d değerlerine nispeten,

$C_d = 0.062 + 0.0152(Fr) + 0.254 (1/L) - 0.036(p/h) + 0.078(L/b)$ formülü ile hesapladığımız C_d değerleriyle benzer bir eğilime sahip olduğu görülmüştür. Fakat bu değerler grafik üzerinde çok dağınık bir seyir izlemiştir.

Bu çalışmada, doğrusal kanalda yalnızca Fr sayısı veya yalnızca $\frac{P}{h}$ bağımsız değişkeni kullanılarak elde edilen formüllerle bulunan C_d değerlerinin, labirent yan savakların debi katsayısının tayini için yeterli olmadığı gözlenmiştir.

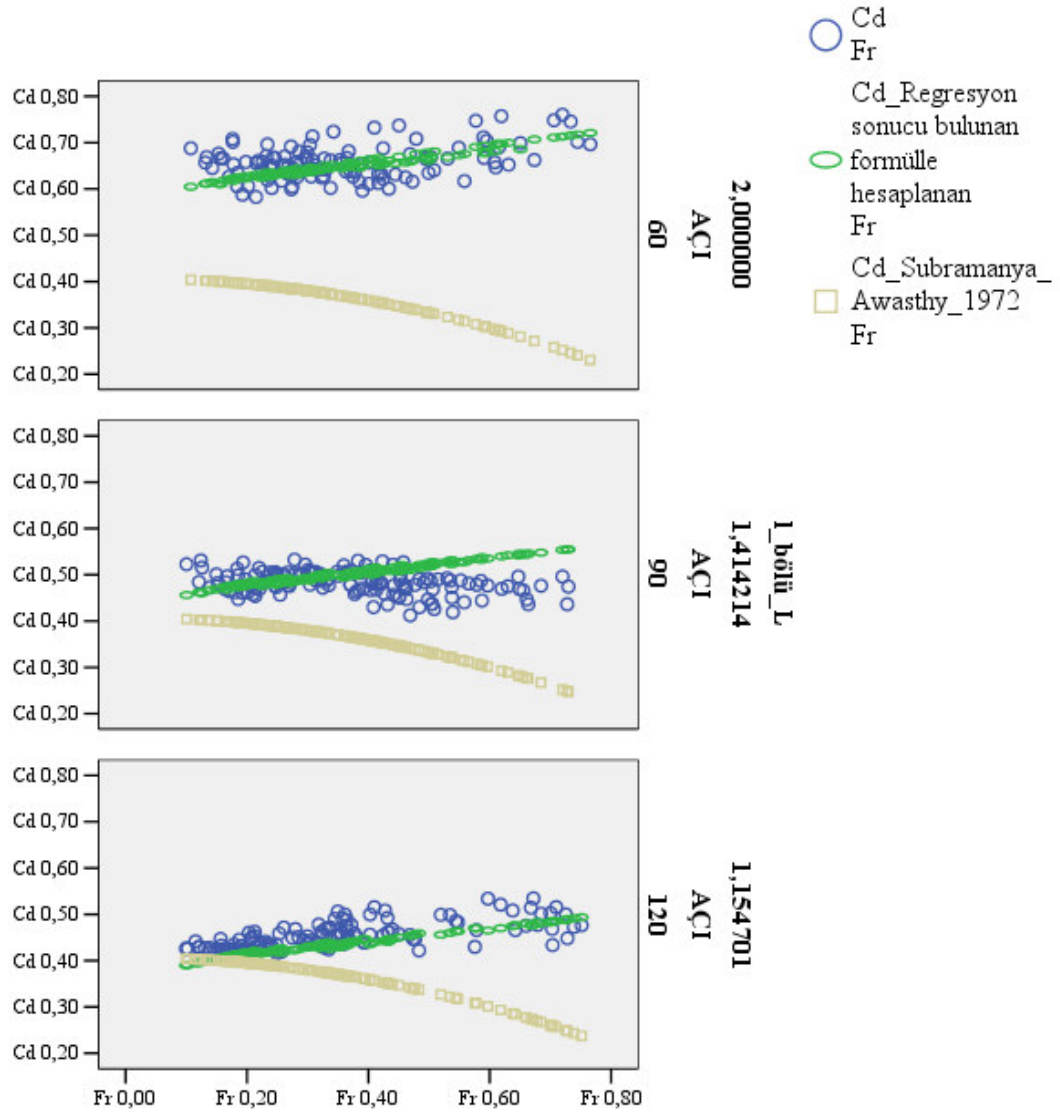


Şekil 3.4 $\alpha=120^\circ$ için Fr sayısı ile (1.43) formülü ile bulunan C_d değerleri, regresyon sonucu bulunan formülle elde edilen C_d değerleri ve Subramanya ve Awasthy (1972)'de verdikleri formülle bulunan C_d değerlerinin L/b değerlerine göre karşılaştırılması

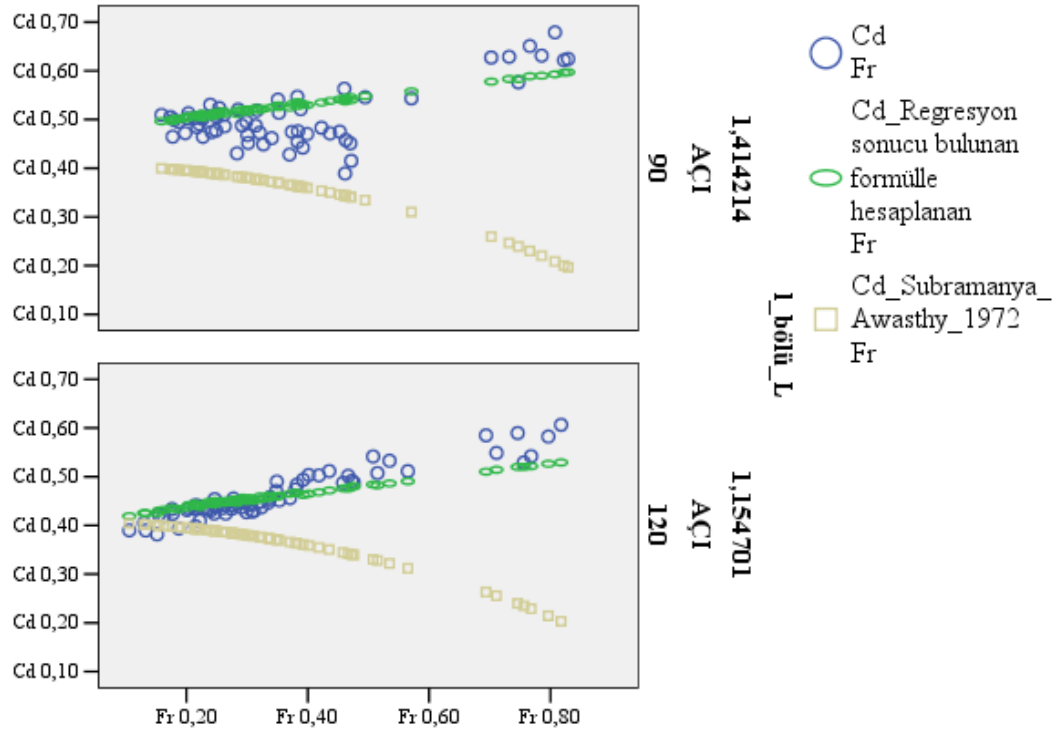


Şekil 3.5. $\alpha=90^\circ$ için Fr sayısı ile (1.43) formülü ile bulunan C_d değerleri, regresyon sonucu bulunan formülle elde edilen C_d değerleri ve Subramanya ve Awasthy (1972)'de verdikleri formülle bulunan C_d değerlerinin L/b değerlerine göre karşılaştırılması

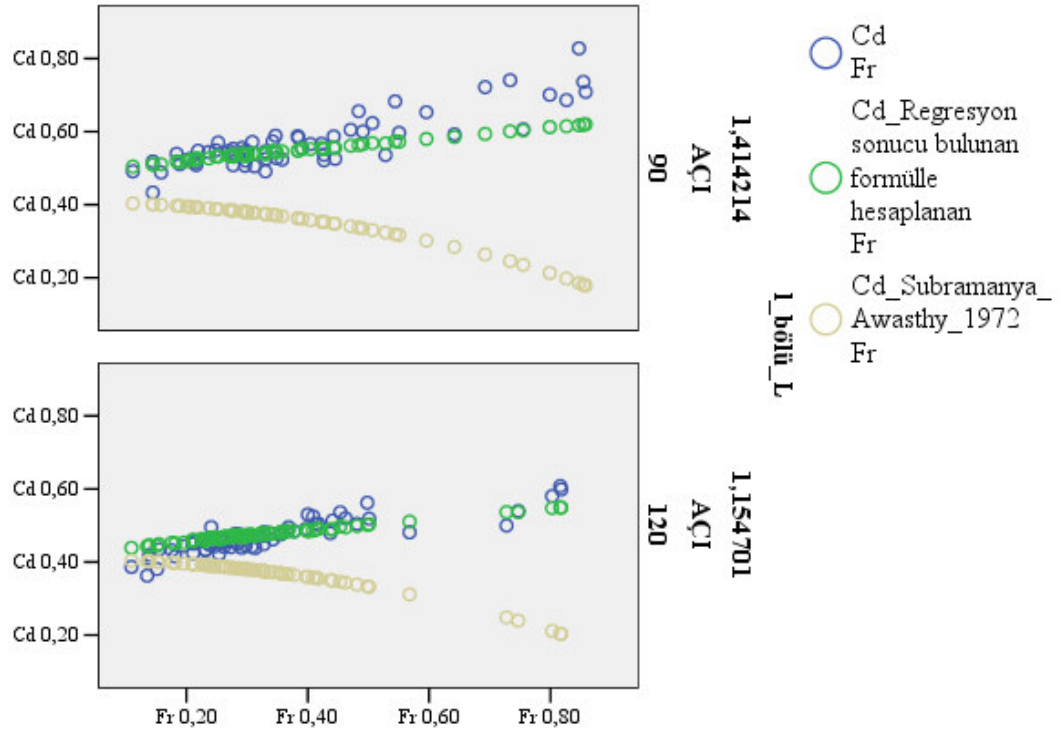
Regresyon sonucu bulunan formülle elde edilen C_d değerleri ve Subramanya ve Awasthy (1972)'de verdikleri formülle bulunan C_d değerleri $\alpha=120^\circ$ ve $\alpha=90^\circ$ savak açısına sahip labirent savakların L/b değerlerine göre değişimleri Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'de verilmiştir. Bu şekillerden de gözüktüğü gibi L/b değerinin değişmesi açının veya l/L değerinin regresyon sonucu bulunan formülle elde edilen C_d değerleri ve Subramanya ve Awasthy (1972)'de verdikleri formülle bulunan C_d değerleri üzerindeki belirleyici etkisi gibi bir etki yapmamaktadır.



Şekil 3.6. $L = 25$ cm için için Fr sayısı ile (1.43) formülü ile bulunan C_d değerleri, regresyon sonucu bulunan formülle elde edilen C_d değerleri ve Subramanya ve Awasthy (1972)'de verdikleri formülle bulunan C_d değerlerinin L/L değerlerine göre karşılaştırılması



Şekil 3.7. $L = 40$ cm için için Fr sayısı ile (1.43) formülü ile bulunan C_d değerleri, regresyon sonucu bulunan formülle elde edilen C_d değerleri ve Subramanya ve Awasthy (1972)'de verdikleri formülle bulunan C_d değerlerinin L/L değerlerine göre karşılaştırılması



Şekil 3.8 $L=50$ cm için için Fr sayısı ile (1.43) formülü ile bulunan C_d değerleri, regresyon sonucu bulunan formülle elde edilen C_d değerleri ve Subramanya ve Awasthy (1972)'de verdikleri formülle bulunan C_d değerlerinin L/l değerlerine göre karşılaştırılması

Regresyon sonucu bulunan formülle elde edilen C_d değerleri ve Subramanya ve Awasthy (1972)'de verdikleri formülle bulunan C_d değerleri $L=25, 40$ ve 50 cm olan labirent savakların L/l değerlerine göre değişimleri Şekil 3.6 Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilmiştir. Bu şekillerden de gözüktüğü gibi L/l değerinin azalması veya açının artması regresyon sonucu bulunan formülle elde edilen C_d değerlerini Subramanya ve Awasthy (1972)'de verdikleri formülle bulunan C_d değerlerine yaklaştırmaktadır. Bunun sebebi Labirent savağın savak açısı büyüdükçe standart savağa benzemesidir.

Çizelge 2.10 Deneylerde kullanılan parçalar ve çalışma aralıkları

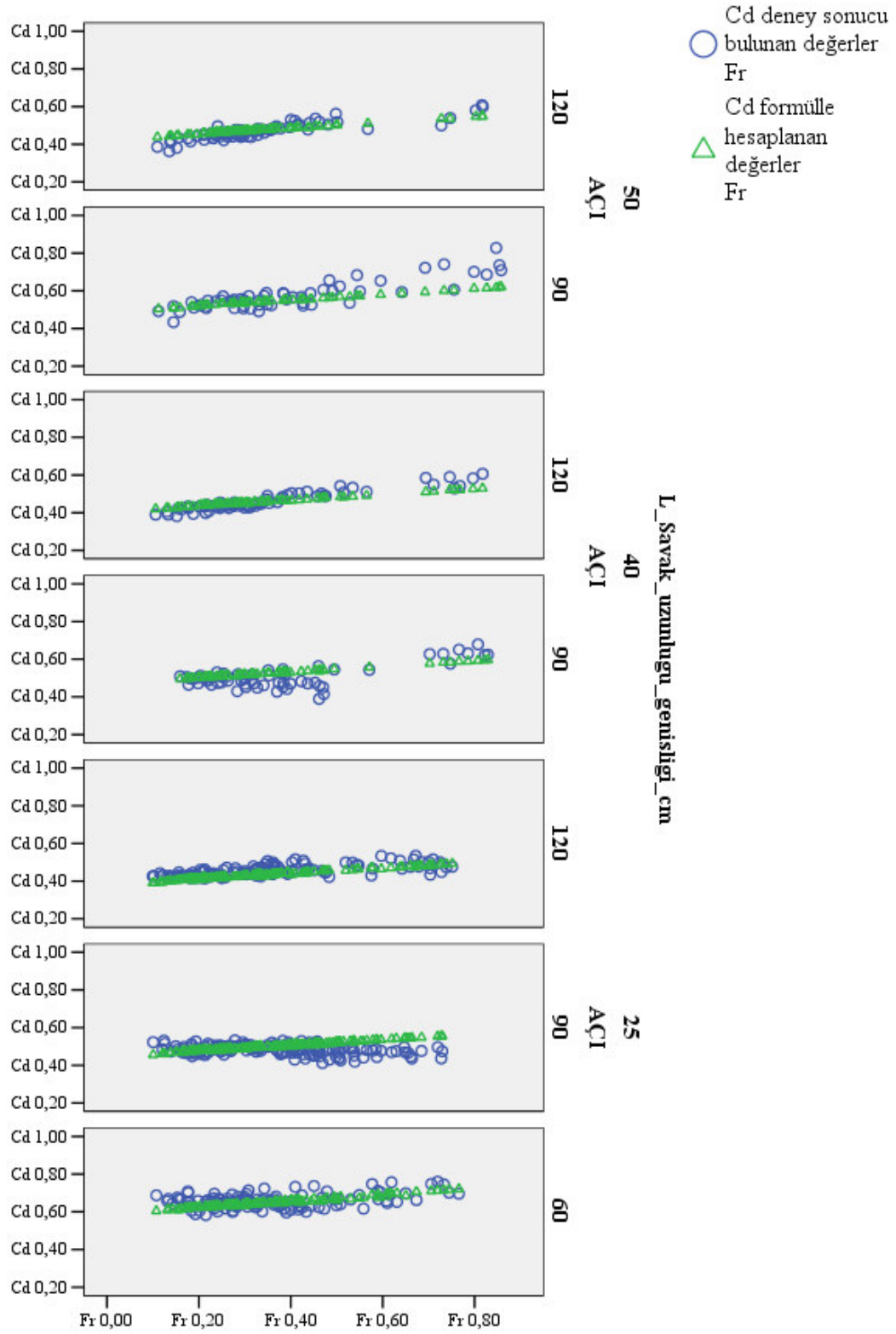
No	L (cm)	p (cm)	α°	Fr	C_d	l/L	L/b	p/h
1	50	12	90	0.14-0.85	0.43-0.82	1.414	1.25	0.70-0.86
2	50	16	90	0.14-0.55	0.51-0.62	1.414	1.25	0.62-0.86
3	50	20	90	0.11-0.45	0.48-0.52	1.414	1.25	0.75-0.89
4	50	12	120	0.13-0.81	0.36-0.60	1.155	1.25	0.66-0.84
5	50	16	120	0.13-0.50	0.41-0.56	1.155	1.25	0.60-0.82
6	50	20	120	0.10-0.44	0.38-0.53	1.155	1.25	0.61-0.87
7	40	12	90	0.18-0.82	0.49-0.65	1.414	1	0.61-0.82
8	40	16	90	0.17-0.47	0.45-0.51	1.414	1	0.61-0.84
9	40	20	90	0.15-0.47	0.38-0.53	1.414	1	0.61-0.89
10	40	12	120	0.17-0.81	0.42-0.60	1.155	1	0.63-0.79
11	40	16	120	0.13-0.53	0.41-0.53	1.155	1	0.58-0.82
12	40	20	120	0.10-0.40	0.38-0.50	1.155	1	0.61-0.84
13	25	12	60	0.13-0.76	0.62-0.74	2	0.63	0.39-0.75
14	25	16	60	0.16-0.65	0.58-0.70	2	0.63	0.54-0.89
15	25	20	60	0.10-0.49	0.60-0.68	2	0.63	0.59-0.93
16	25	12	90	0.12-0.72	0.43-0.53	1.414	0.63	0.46-0.79
17	25	16	90	0.12-0.55	0.41-0.53	1.414	0.63	0.44-0.85
18	25	20	90	0.10-0.46	0.44-0.52	1.414	0.63	0.85-0.50
19	25	12	120	0.12-0.75	0.41-0.53	1.155	0.63	0.42-0.82
20	25	16	120	0.14-0.43	0.41-0.51	1.155	0.63	0.42-0.75
21	25	20	120	0.09-0.43	0.41-0.49	1.155	0.63	0.48-0.81

Çizelge 2.10 da verilen labirent savak özellikleri için,

$$C_d = 0.062 + 0.0152(Fr) + 0.254 (1/L) - 0.036(p/h) + 0.078(L/b)$$

formülü kullanılarak çizilen (Şekil 3.9) dan görüldüğü gibi, bulunan formül %79 oranında gerçeği yansıtmaktadır.

Spss programını kullanarak, çoklu regresyon sonucu bulduğumuz bu formüldeki C_d bağımlı değişkenine, bağımsız değişkenlerin diğerleri sabit tutulduğunda herbirinin etkilerini incelemek için korelasyon analizi yapılmıştır (Çizelge 2.11). Aşağıdaki çizelge incelendiğinde C_d savak katsayısına, en fazla L/l değerinin, sonra L/b değerinin sonra, Fr sayısının ve en son olarak da p/h değerinin etkidiği gözükecektir. Bu çizelge regresyon sonucu bulduğumuz formüle kuvvet vermektedir.



Şekil 3.9 Deney sonuçlarından bulunan sonuçların formülle hesaplanan değerlerle karşılaştırılması

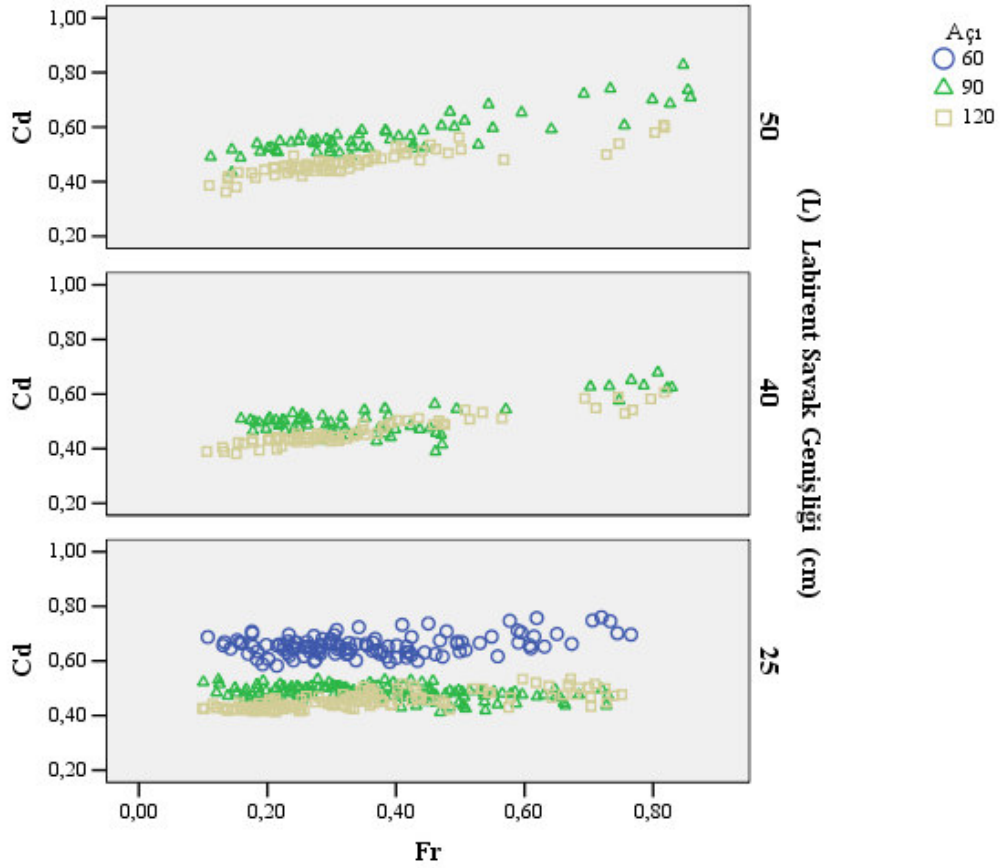
Çizelge 2.11 Korelasyon

		C_d	Fr	L/l	p/h	L/b
C_d	Pearson Katsayısı	1	0.331(**)	0.816(**)	0.012	-0.099(*)
	Önem		0.000	0.000	0.759	0.000
	N	643	643	643	643	643
Fr	Pearson Katsayısı	0.331(**)	1	0.044	0.119(**)	0.008
	Önem	0.000		0.270	0.002	0.249
	N	643	643	643	643	643
L/l	Pearson Katsayısı	0.816(**)	0.044	1	-0.083(*)	0.359(**)
	Önem	0.000	0.270		0.035	0.000
	N	643	643	643	643	643
p/h	Pearson Katsayısı	0.012	0.119(**)	-0.083(*)	1	0.416(**)
	Önem	0.759	0.002	0.035		0.000
	N	643	643	643	643	643
L/b	Pearson Katsayısı	-0.099(*)	0.008	-0.359(**)	0.416(**)	1
	Önem	0.012	0.843	0.000	0.000	
	N	643	643	643	643	643

** Korelasyon 0.01 önem seviyesinde

* Korelasyon 0.05 önem seviyesinde

C_d labirent savak debi katsayısına bağımsız değişkenlerin tek başlarına etkisini görsel olarak incelemek için Şekil 3.10- Şekil 3.13 arasındaki grafikler çizilmiştir.

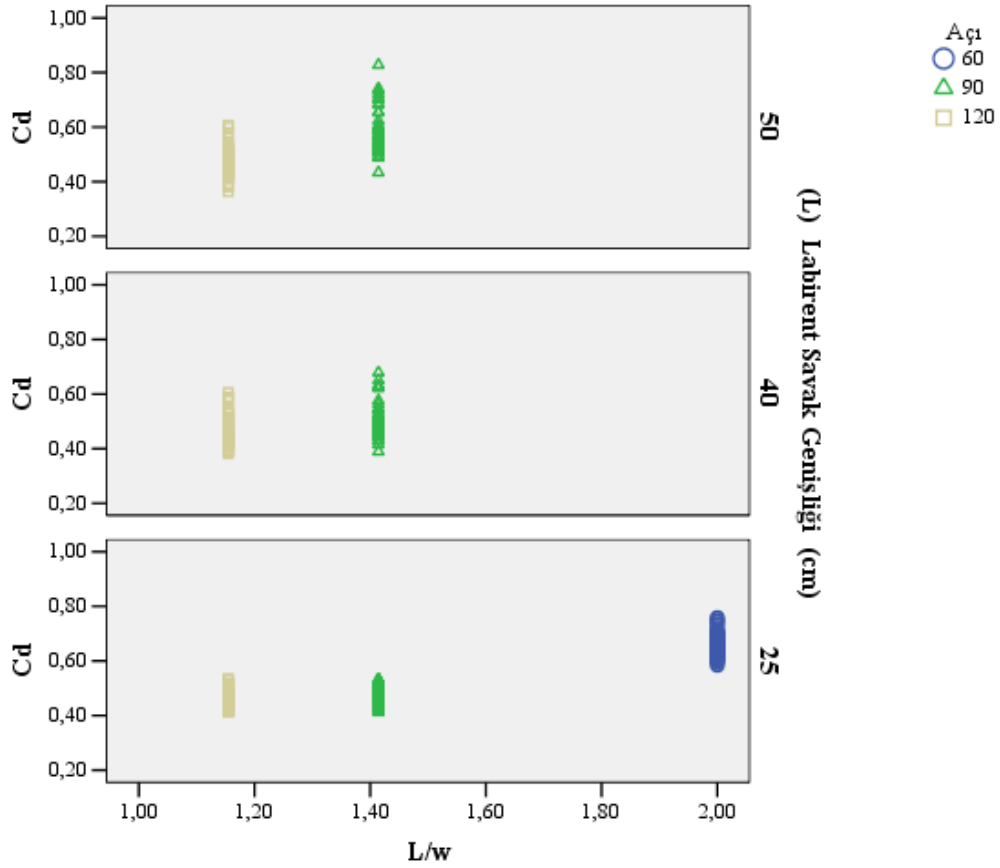


Şekil 3.10 Farklı açılarda ve farklı savak genişliklerinde Fr sayısının C_d 'ye etkisi

Şekil 3.10 da savak genişliğinin azalmasıyla Fr sayısının C_d değerine etkisinin azaldığı görülmüştür. Savak giriş genişliği L azaldıkça savak standart yan savaklara daha fazla benzediği için sonuçların eğilimi de Subramanya ve Awasthy (1972) de verdikleri formülle çizilen değerlere yaklaşmaktadır.

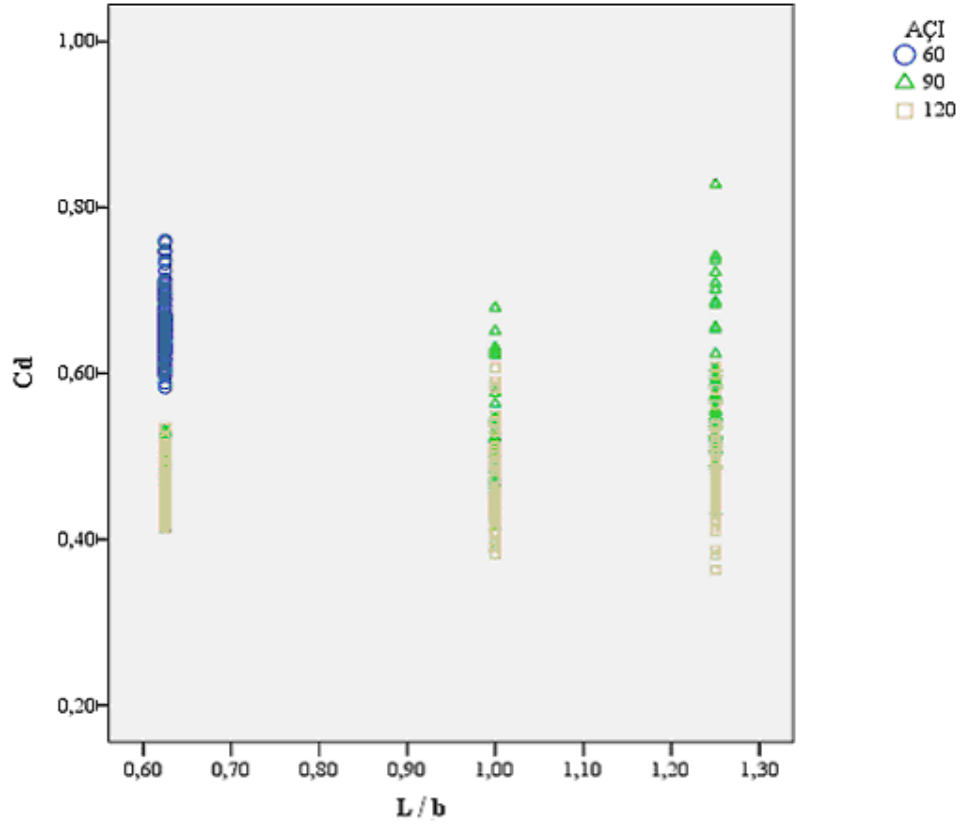
Şekil 3.10 daki grafikten savak açısının azaldıkça aynı Fr sayılarında daha büyük C_d katsayıları elde edildiği görülmektedir.

Fr ve C_d arasındaki korelasyon katsayısı 0.331 çıkmıştı. Bu değer grafikte örtüşmekte ve Fr sayısı arttıkça C_d değeri de artmaktadır.



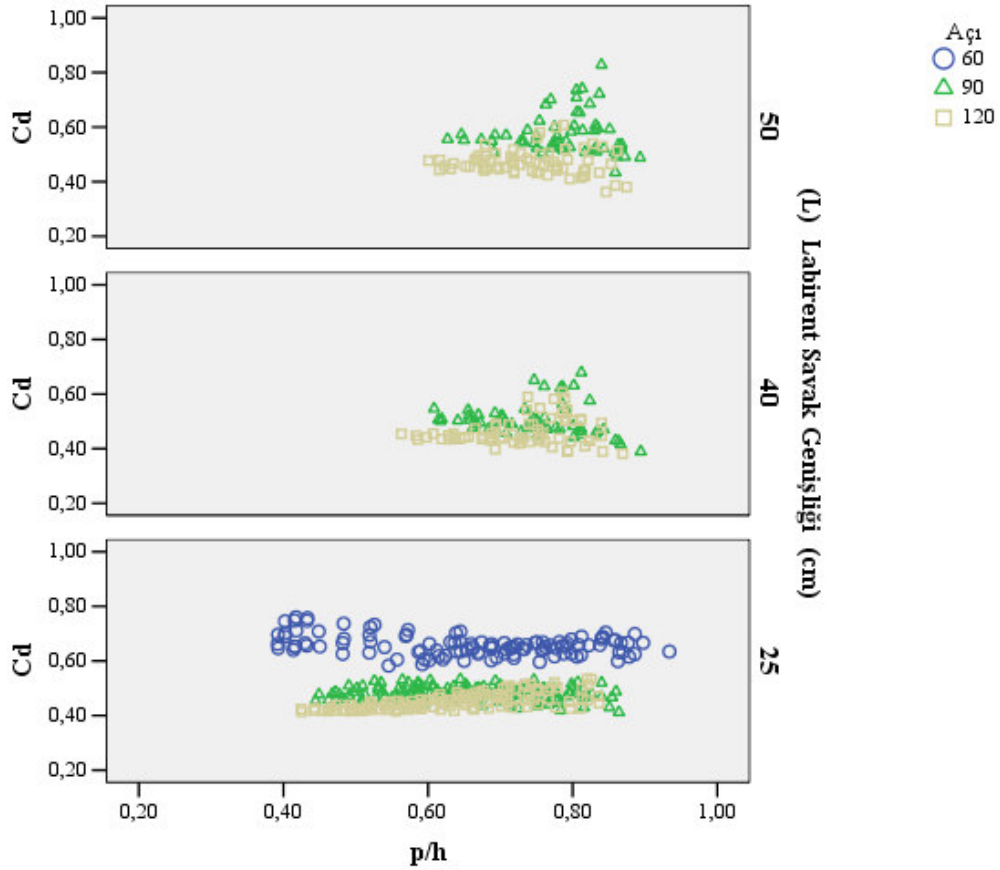
Şekil 3.11 Farklı açılarda ve farklı savak genişliklerinde L/l değerinin C_d 'ye etkisi

L/l ile C_d arasındaki korelasyon katsayısı 0.816 gibi çok yüksek bir değerdir. Açı ve L/l birbirine bağımlı değişkenlerdir. Şekil 3.11 dan L/l 'nin pozitif veya açının negatif etkisi gözükmemektedir.



Şekil 3.12 Farklı açılarda L/b değerinin C_d 'ye etkisi

C_d açıyla ters orantılı olduğu için açı arttıkça C_d değeri düşmektedir. Grafikte L/b değerinin C_d katsayısıyla ters orantılı arttığı görülmektedir. Korelasyon sonucu C_d ve L/b değerleri arasında bulunan korelasyon katsayısının -0.099 değeri de Şekil 3.12 deki grafikte doğrulanmış olmaktadır.



Şekil 3.13 Farklı açılarda ve farklı savak genişliklerinde p/h değerinin C_d 'ye etkisi

Şekil 3.13 den görüldüğü gibi savak genişliği $L=40, 50\text{cm}$ için çok geniş bir p/h aralığında çalışılamamıştır. Bunun sebebi kanalın fiziksel koşullarının elverişli olmamasıdır. p/h değerinin C_d değerine çok fazla bir etkisi olmadığı bu grafikten görülmektedir. Zaten p/h ve C_d değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0.012 gibi çok düşük bir değer çıkmıştı. p/h katsayısının etkisi bu kadar az olmasına rağmen daha önceki çalışmalarda mesela (Sing ve dig. (1994)) değerlendirmeye alındığı için incelenmiştir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1 Sonuçlar

Doğrusal kanala paralel şekilde labirent yan savak yerleştirilerek yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

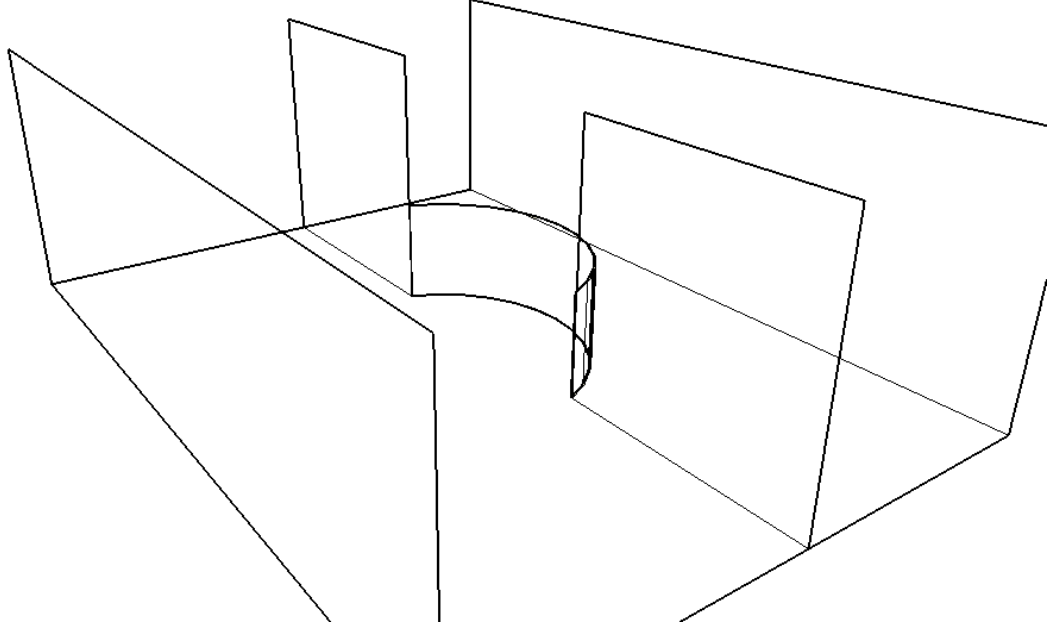
1. Nehir rejiminde yapılan deneyler sonucu elde edilen su yüzü profillerinden görülmüştür ki, ana kanaldan labirent yan savağa gelen su kanala girmeden ve kanaldan çıkarken seviyesi artar.
2. Dikdörtgen enkesitli kanalda inşa edilen labirent yan savağın debi katsayısına etkiyen boyutsuz parametreler aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$Cd = f\left(Fr_1, \frac{L}{b}, \frac{l}{L}, \frac{p}{h_1}, \psi, \alpha\right)$$

3. Boyut analiziyle bulunan boyutsuz katsayılar kullanılarak, C_d katsayısını bulmak için regresyon analizi yapılmıştır. Elde edilen regresyon değerleri kullanılarak C_d için (3.2) formülü çıkartılmıştır. Bu formül Fr sayısının 1'den küçük olduğu durumlarda geçerlidir.
4. Fr sayısının büyük değerlerinde (bu çalışma için $0.6 > Fr > 0.85$) ,labirent yan savağın mansap tarafında vortexlerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Hareketli zeminde bu savaklar uygulanırsa oyulmaların oluşacağı beklenmektedir.
5. Deney sonuçlarıyla elde edilen formül kullanılarak, deney sonuçları grafiksel olarak da karşılaştırılmıştır. Regresyon sonucu elde edilen R^2 değerinin gerçekliği gözle de görülmüştür.

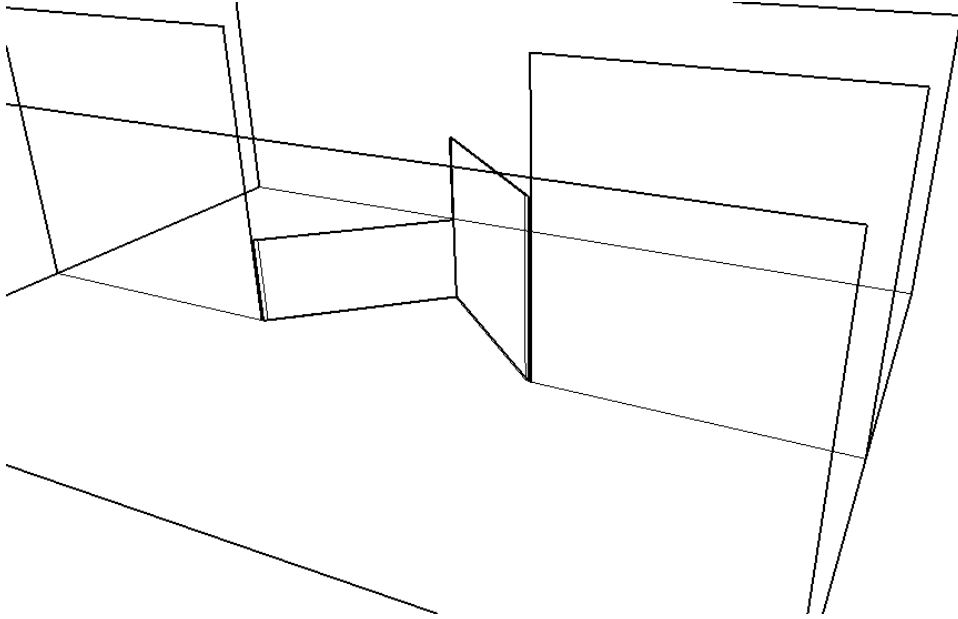
4.2 Öneriler

1. Bu çalışma kanalın müsait olmaması yüzünden Fr sayısının birden küçük olduğu nehir rejimi koşullarında yapılmıştır ve sonuçlar yalnız nehir rejimini kapsar. Fr sayısı arttırılarak sel rejiminde de benzer bir çalışma yapılabilir.
2. Kanal girişinde vortexler gözlemlenmiştir. Sabit yüzeyde yapılan bu deneyler hareketli yüzeyli kanallarda yapılarak oyulmalar ve yığılmalar tespit edilebilir.
3. Aşağıdaki şekillerdeki gibi labirent yan savaklar inşa edilebilir.



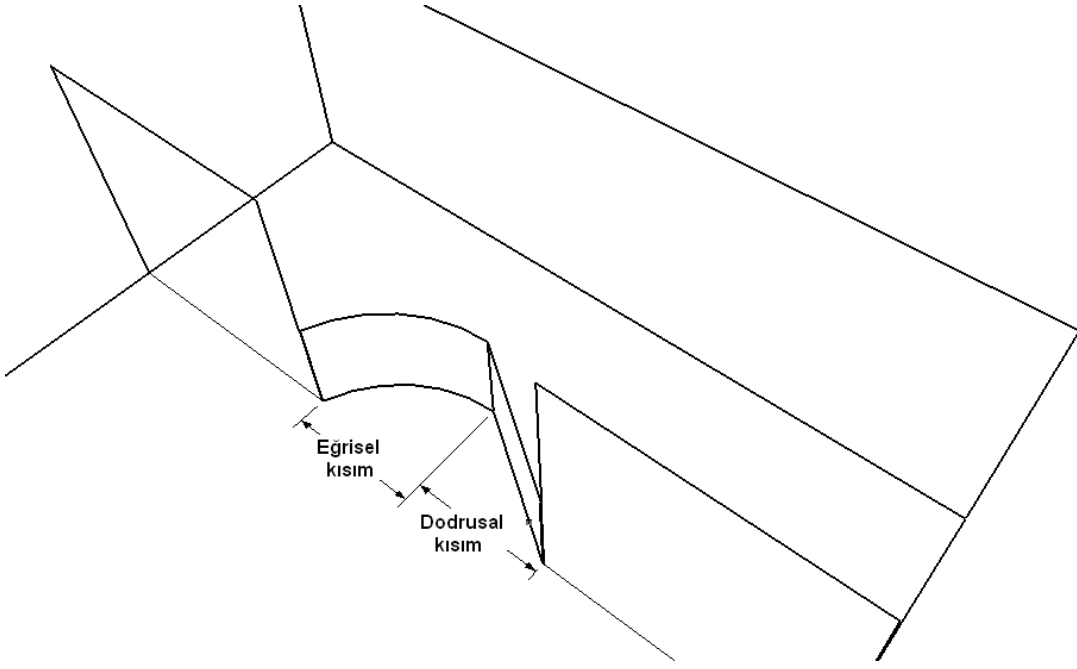
Şekil 4.1 Dairesel yan savak

Böyle bir savakğın aynı savak genişliğinde daha fazla debi savaklanacağı düşünülmektedir.



Şekil 4.2 Farklı kret yüksekliğinde iki yüzeye sahip labirent yan savaklar

Böyle bir savağın mansap tarafına yakın bölgede oluşan vortexleri önleyeceği ve dolayısıyla hareketli yüzeylerde oyulmaların azalmasına sebep olacağı düşünülmektedir.



Şekil 4.3 Menba tarafı doğrusal mansap tarafı eğrisel yan savak

Şekil 4.3' teki savak kullanılarak Şekil 4.2 ve 4.1 deki savaklar kısmen birleştirilmiş olmakta ve daha az vortex oluşturması ve daha fazla debi savaklaması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

1. Ackers, P 1957 A Theoretical Consideration of Side Weirs as Storm Water Overflows, Proc. of the ICE, London, Vol. 6, pp. 250-269
2. Ağaçcıoğlu H., 1995 Yan Savaklardaki Akımın Kıvrımlı bir Kanal Boyunca İncelenmesi , Doktora Tezi Y.T.Ü.
3. Agaccioglu H., Yuksel Y., 1998, "Side weir flow in curved channels" Journal Of irrigation Drainage Engineering Vol.124 No. 3, May/June 1998, 163-175
4. Akgül A, Çevik O, 2005, İstatiksel Analiz Teknikleri
5. Allen, J.W., 1957. The Discharge of Water over Side Weirs in Circular Pipes, Proc. of the ICE, London, Vol. 6, pp.270-287
6. Babbitt, H.E., 1953. Sewerage and Sewage Treatment, Wiley, New york, 17th ed., pp.143-146.
7. Balmforth, D.J., 1977. Sarginson, E.J., 1977. Experimental Investigation of Flow over Side Weirs, Journal of the Hydraulics Division, Discussion, Proc, ASCE, Vol. 103, No. HY3, pp. 941-943.
8. Borghai M., Jalili MR., Ghodsian M., 1999, "Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow" Journal Of Hydraulic Engineering Vol. 125 No. 10, October 1999, 1051-1056
9. By Henry T Falvey, 2003, Hydraulic Design of Labyrinth Weirs
10. By R. W. P. May, 2003, B. C. Bromwich, Y. Gasowski, Charles E. Rickard, Hydraulic Design of Side Weirs
11. Chang, H.H., 1983. Energy Expenditure in Curved Open Channels, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol.109, No.7
12. Chao, J.L. ve Trussell, R.R., 1980. Hydraulic Design of Flow Distribution Channels, Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, Vol.106, No. EE2., pp. 321-333.
13. Cheong, H.F., 1991. Discharge Coefficient of Lateral Diversion from Trapezoidal Channel, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Proc., ASCE, Vol. 117, No. 4, pp.321-333.
14. Coleman, G.S., Smith, D., 1923. The Discharging Capacity of Side Weirs, Selected Engineering Paper No. 6, Instn. Civ. Engrs.
15. Collinge, V.K., 1957. The Discharge Capacity of Side Weirs, Proc. of the ICE, London, Vol.6 , pp. 288-304.
16. De Marchi, G., 1934. Saggio di Teoria de Funzionamento Degli Stramazzi Lateralı, L'Energia Elettrica, Milano, Vol. 11, pp. 849-860.
17. El-Khashab, A.M.M., 1975. Hydraulics of Flow over Side Weirs, Ph.D. Thesis Presented to the University of Southampton, England.
18. El-Khashab, A.M.M., Smith, K.V.H., 1976. Experimental Investigation of Flow over Side Weirs, Journal of the Hydraulics Division, Proc., ASCE, Vol. 102, No. HY9, pp. 1255-1268.
19. Engels, H, 1920. Mitteilungen aus der Dresdener Flussbaulaboratorium Weiten, pp.362-365; 387-390.

20. Forchhemier, P., 1930. Hydraulic, Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, Berlin, 3rd. ed., pp.406-408.
21. Frazer, W., 1954. The Behaviour of Side Weirs in Prismatic Rectangular Channels, Ph.D. Thesis Presented Glasgow University.
22. Gentilini, B., 1938. Ricerche Specimentali Sogli Sforatori Longitudinali, L'energia Elettnca, Heft. 9.
23. Ghodsian M., 2003, "Supercritical flow over a rectengular side weir" Canadian Journal Of Civil Engineering 30:596-600.
24. Jain, S.C., ve Fischer, E.E., 1982. Uniform Flow over Skew Side Weir, Journal of the Irragation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 108, No. 2., pp. 163-166.
25. Kumar, C.P, ve Pathak, S.K., 1987. Triangular Side Weirs, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol 113, No. 1, pp. 98-105.
26. Muslu Y. 2002, "Lateral weir flow model using a curve fitting analysis" Journal Of Hydraulic Engineering Vol. 128 No. 7, 712-715
27. Nimmo, W.H.R., 1928. Side Spillways for Regulating Diversion Canals, Trans., ASCE, Vol. 92, pp. 1561-1584.
28. Pinheiro AN., Silva IN., 1999, "Discharge coefficieent of side weirs. Experimental study and comperative analysis of different formulas" IAHR Congress, Graz, Austria.
29. Ramamurthy, A.S. ve Satish, M.G., 1986. Discharga Characteristics of Flow Past a Floor Slot, Journal of the Irragation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 112, No. L, pp. 20-27.
30. Ramamurthy, A.S., Carballada, L., 1980. Lateral Weirs Flow Model, Journal of the Irragation and Dramega Division, Proc., A.S.C.E., IR1, pp. 9-25.
31. Ramamurthy, A.S., Carballada, L. ve Tim, U.S., 1986. Lateral Weirs in Trapezoidal Channels, Journal of the Irragation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 112, No.1., pp.130-137
32. Rangu Ruju, K.G., Prasad, B., Grupta, S.K., 1979. Side Weirs in Regtangular Channels, Journal of the Hydraulics Division, Proc., A.S.C.E., Vol. 105, No. HY5, pp. 547-554.
33. Schmidt, M., 1955/56. Die Berechnung von Streicwehren, Die Wasserwirtschaft, Berlin, pp.96-100.
34. Singh, R., Manivanna, D., Satyanarayana, T., 1994. Discharge Coefficient of Rectangular Side Weirs, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Proc., ASCE, Vol. 120, No. 4, pp. 814-819
35. Smith, K.V.H., 1973. Computer Programming for Flow over Side Weirs, Journal of the Hydraulics Division, Proc., ASCE, Vol. 99, No. HY3, pp.495-508.
36. Smith, K.V.H., 1974. Computer Programming for Flow over Side Weirs, Journal of the Hydraulic Division, Closure, Proc., ASCE, Vol. 100, No. HY1, pp. 1722-1723.
37. Soliman, M.M., Tinney, E.R., 1968. Flow Around 180° Bends in Open Rectangular Channels, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 94, No. HY4, pp. 893-908.
38. Subramanya, K., Awasthy, S.C., 1972. Spatially Varied Flow over Side Weirs, Journal of the Hydraulic Division, Proc., ASCE, Vol. 98, No. HY1, pp. 1-10.
39. Swamee, P.K., Pathak, S.K. ve Masoud, S.A, 1994. Side Weir Analysis Using Elemantary

Discharge Coefficient, ASCE, Vol. 120, No. 4, pp.742-755.

40. Swamee, P.K., Pathak, S.K., Mohan, M., Agraval, S.K. ve Masoud, S.A, 1994. Subcritical Flow over Rectangular Side Weir, ASCE, Vol 120, No. 1, pp. 212-217.

41. Tozluk, H.1994. Yan Savak Akımın Hesabı için Nümerik Bir Yaklaşım, Doktora Tezi. İ.T.Ü.

42. Tyler, R.C., Carolla, J.A., Steyskal, N.A., 1929. Discharge over Side Weirs with and without Baffles, Journal Boston Soc. Civ. Engrs., Vol. 16, p. 118.

43. Ura M., Kita Y., Akiyama J., Moriyama H.. Jha AK., 2001, "Discharge coefficient of oblique side-weirs" Journal Of Hydrosience and Hydraulic Engineering Vol.19 No.1, May 2001,85-96

44. Uyumaz, A., 1982. Yan Savaklardaki Akımın Teorik ve Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü.

45. Uyumaz, A., Smith, R.H., 1991. Design Procedure for Flow over Side Weirs, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Proc., ASCE, Vol.117, NO.1, pp.79-90.

46. Uyumaz A., 1997, "Side weir in U-shaped channels" Journal Of Hydraulic Engineering Vol. (23 No. 7, July 1997,639-646

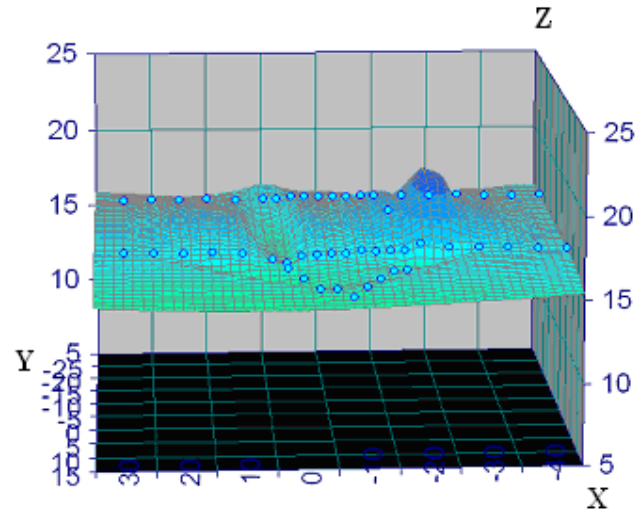
47. Yen,L.C.,Yen, B.C., 1971. Water Surface Configuration in Channel Bends, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol. 97., No. HY2., pp. 303-321.

48. Yen, B.C., 1977. Experimental Investigation of Flow over Side Weirs, Journal of Hydraulic Division, Discussion, Proc., ASCE, Vol. 103, No. HY5, pp. 580-581.

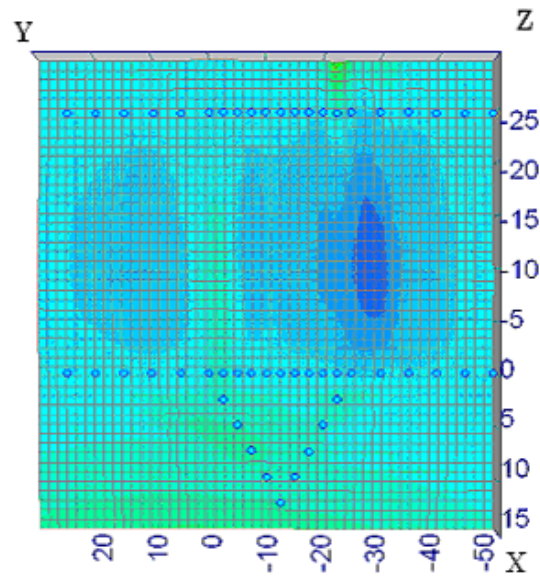
49. YÜKSEL,Y , 2000, Teori ve Çözümlü Problemler ile Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar mekaniği ve Hidrolik

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://library.wrds.uwyo.edu/wrp/93-13/ch-02.html>

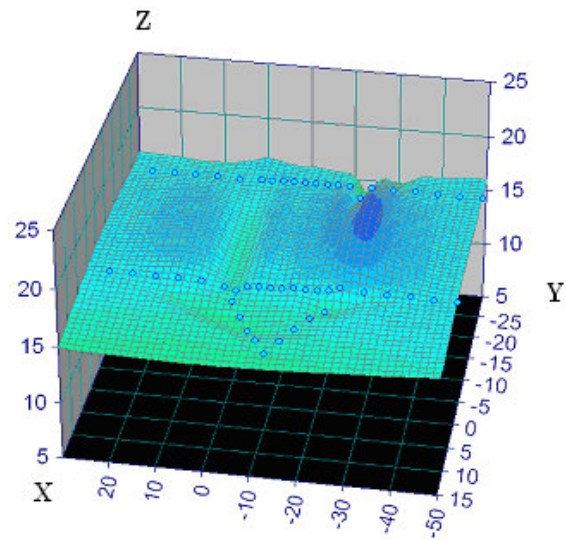
EKLER**Ek-1 SU YÜZÜ PROFİLLERİ**

$L=25$ cm, Fr 0.2, $h-p=4$ cm

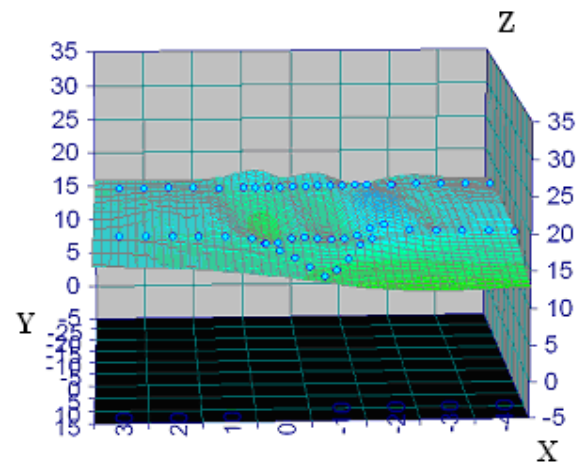


$L=25$ cm, Fr 0.2, $h-p=4$ cm

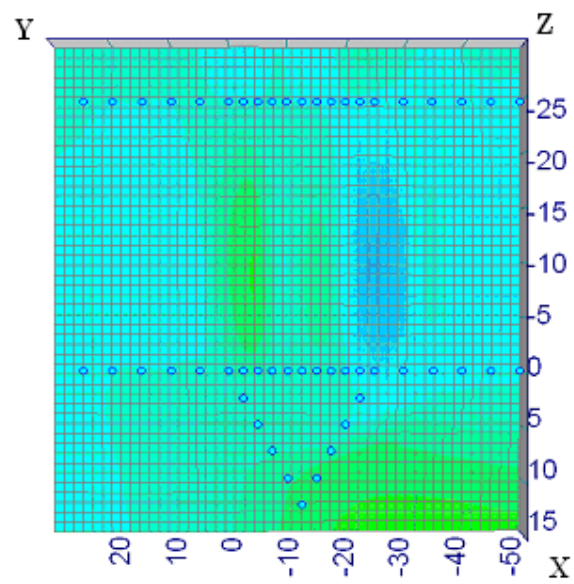
L



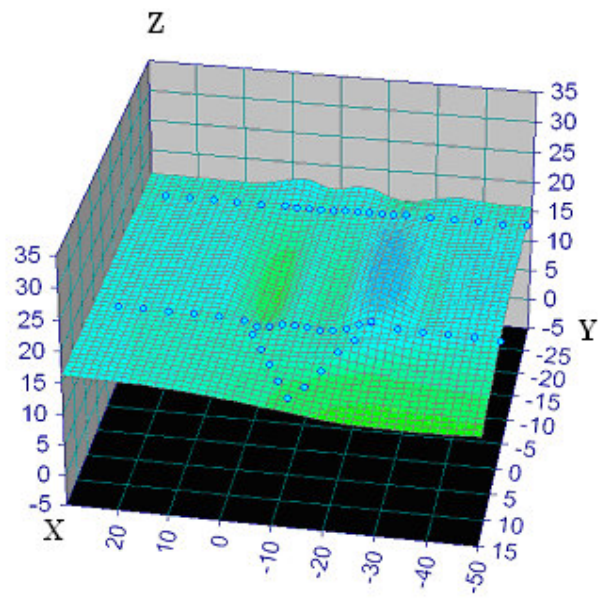
$L=25$ cm, Fr 0.2, $h-p=4$ cm



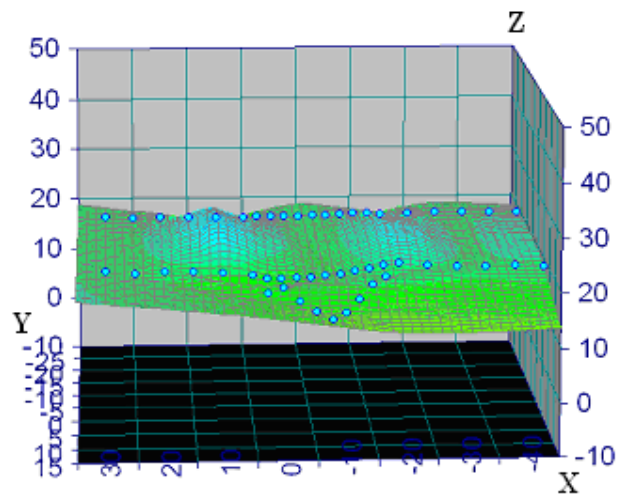
$L=25$ cm, Fr 0.4, $h-p=4$ cm



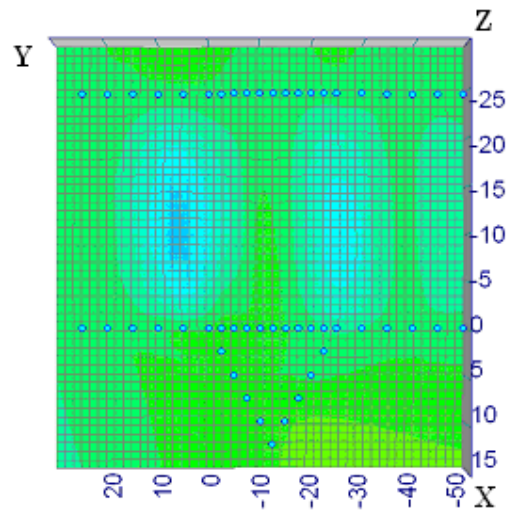
$L=25$ cm, Fr 0.4, $h-p=4$ cm



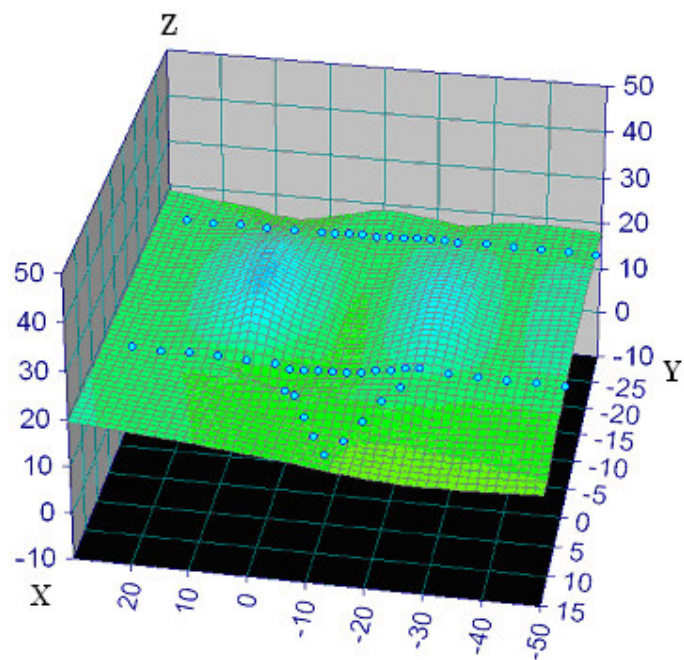
$L=25$ cm, Fr 0.4, $h-p= 4$ cm



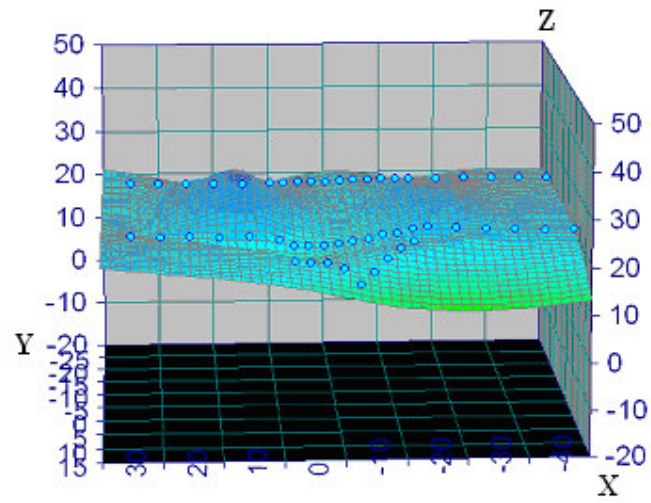
$L=25$ cm, Fr 0.4, $h-p= 6$ cm



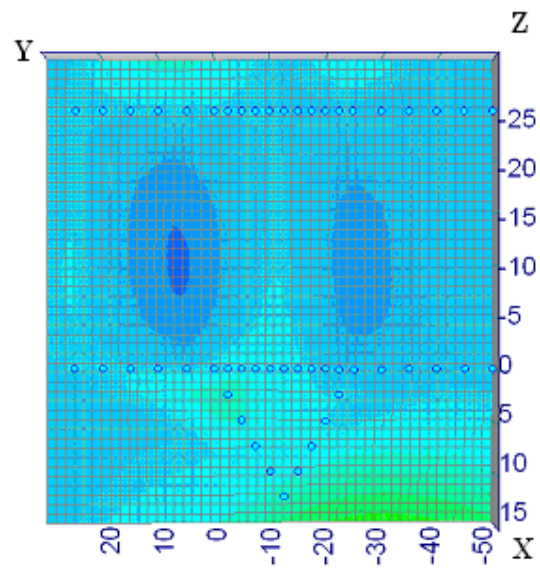
$L=25$ cm, Fr 0.4, $h-p=6$ cm



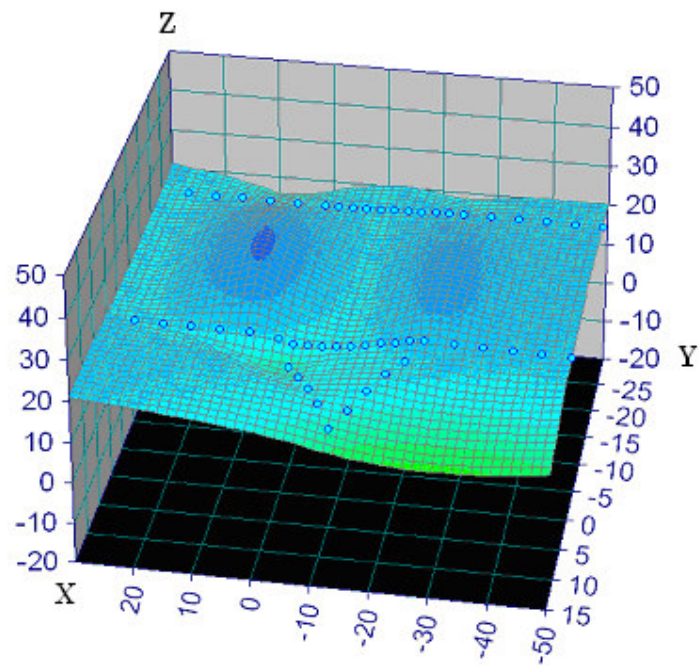
$L=25$ cm, Fr 0.4, $h-p=6$ cm



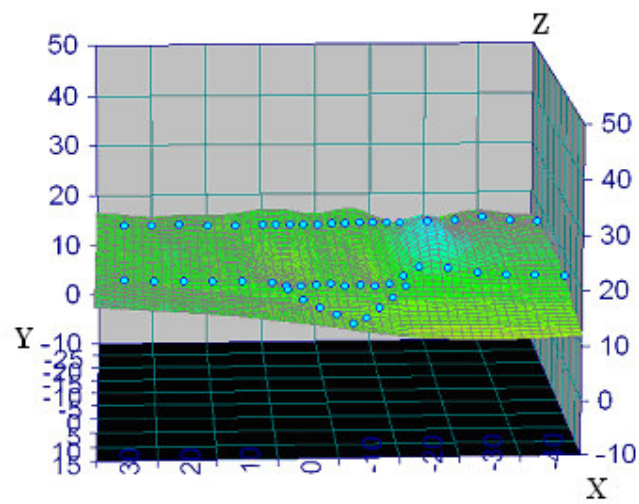
$L=25$ cm, Fr 0.4, $h-p=8$ cm



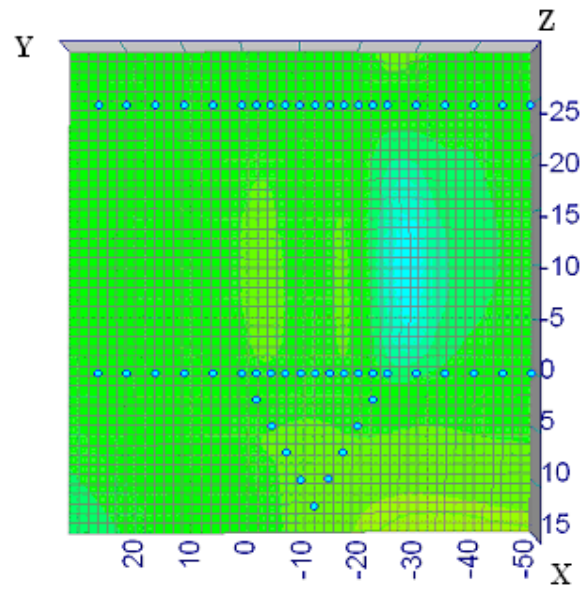
$L=25$ cm, Fr 0.4, $h-p=8$ cm



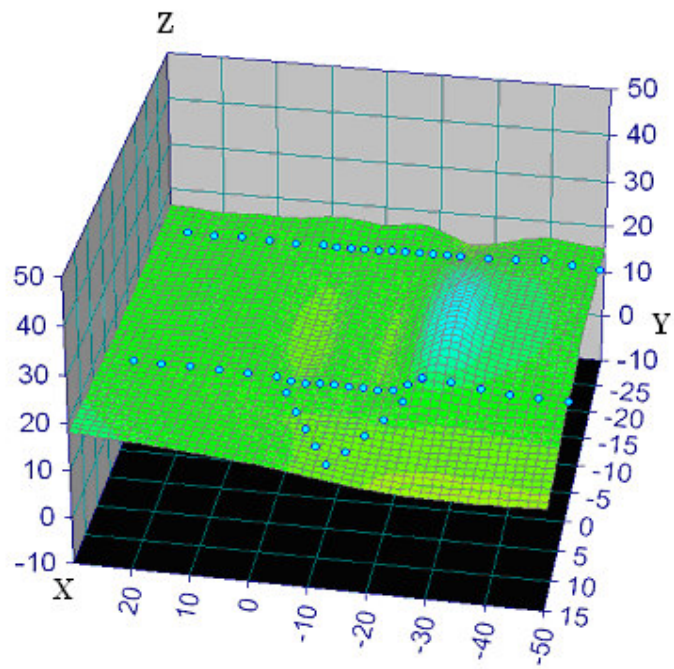
$L=25$ cm, Fr 0.4, $h-p= 8$ cm



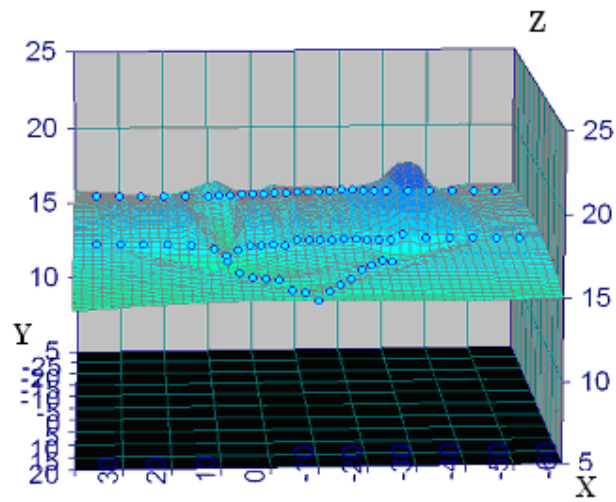
$L=25$ cm, Fr 0.6, $h-p= 4$ cm



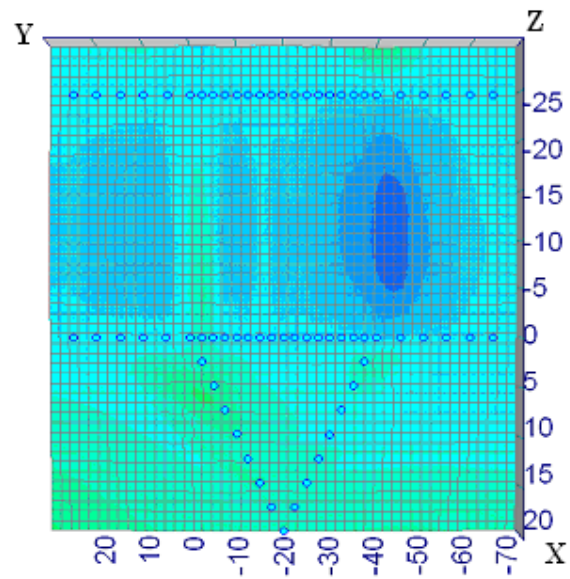
$L=25$ cm, Fr 0.6, $h-p=4$ cm



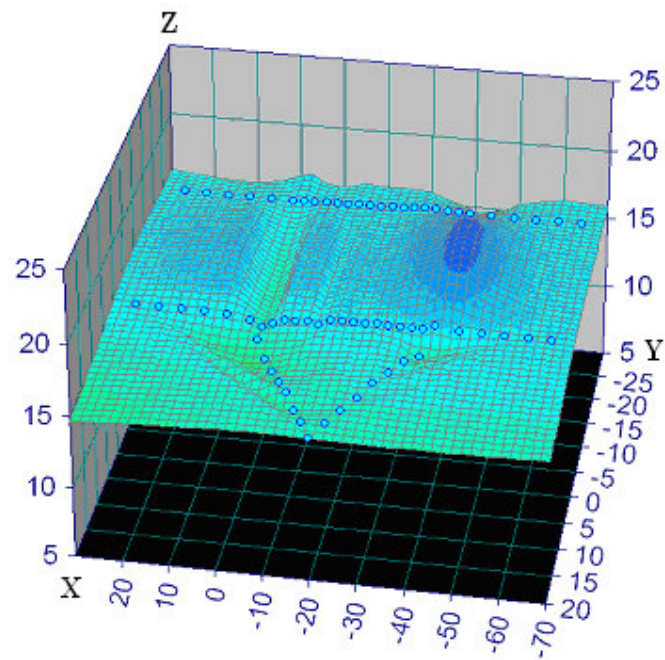
$L=25$ cm, Fr 0.6, $h-p=4$ cm



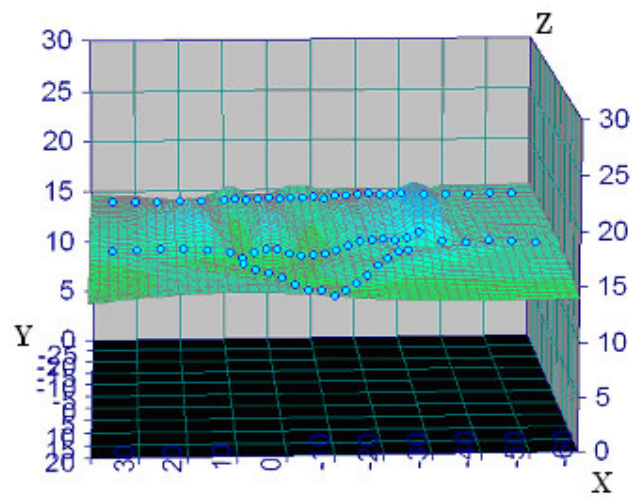
$L=40$ cm, Fr 0.2, $h-p=4$ cm



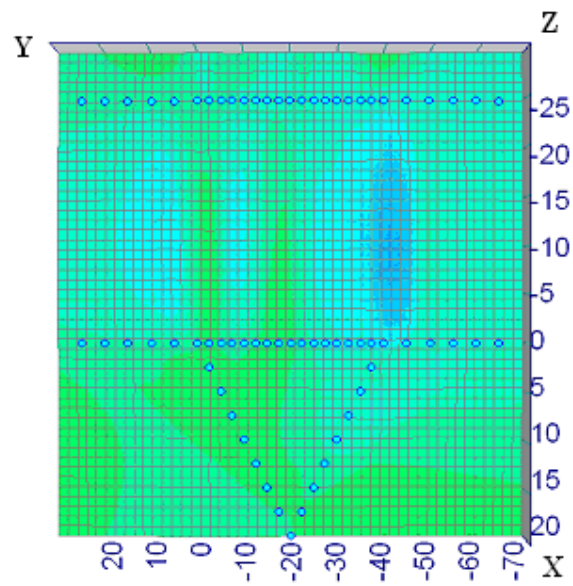
$L=40$ cm, Fr 0.2, $h-p=4$ cm



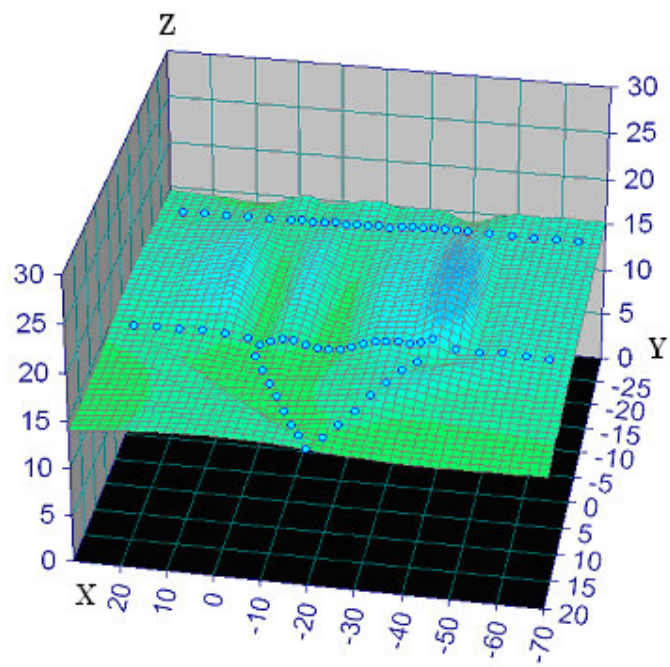
$L=40$ cm, Fr 0.2, $h-p=4$ cm



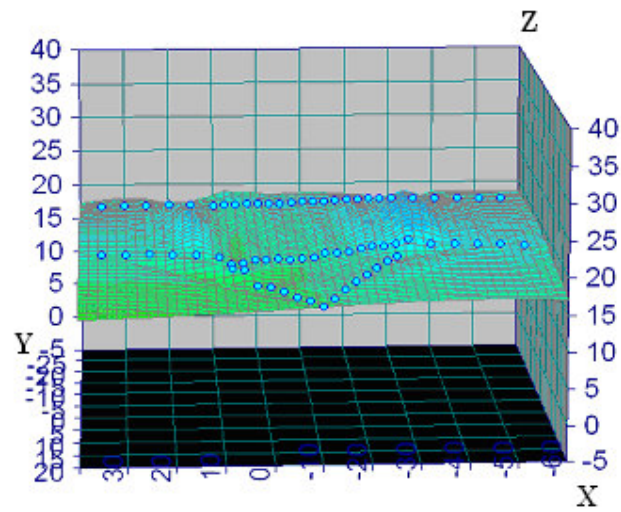
$L=40$ cm, Fr 0.4, $h-p=4$ cm



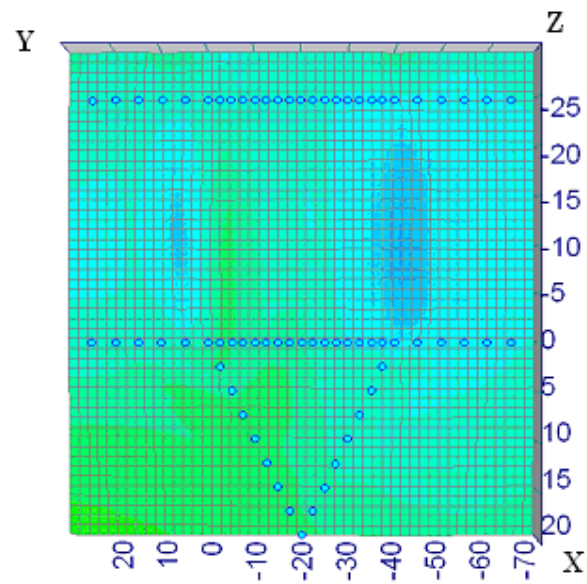
$L=40$ cm, Fr 0.4, $h-p=4$ cm



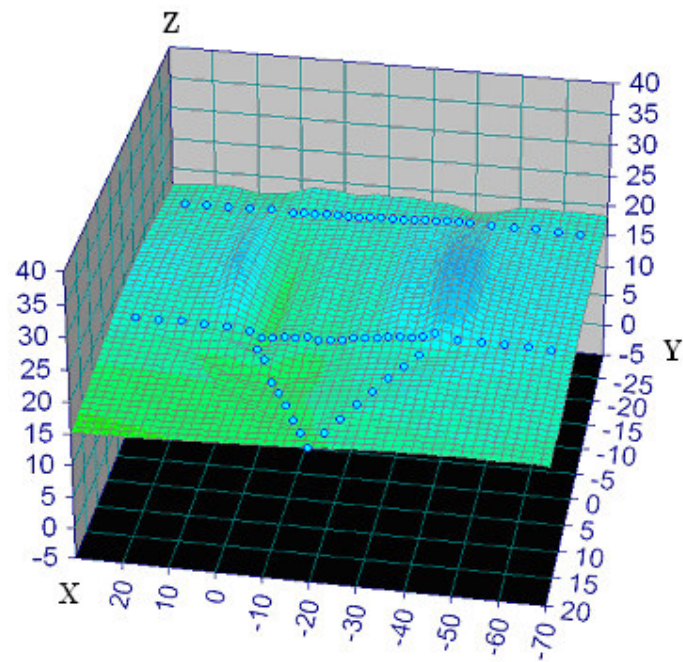
$L=40$ cm, Fr 0.4, $h-p=4$ cm



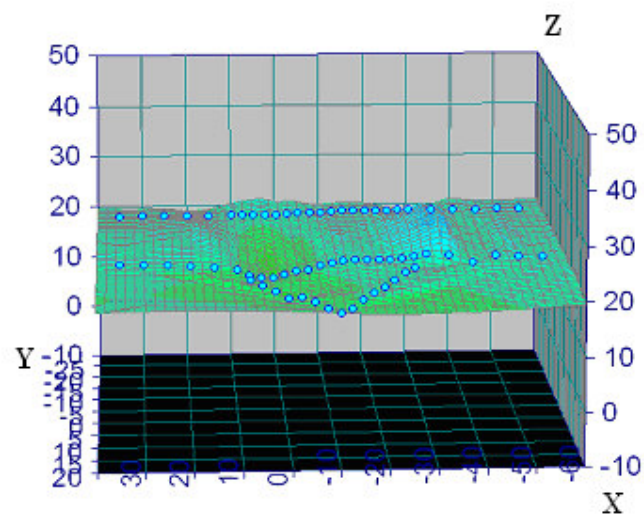
$L=40$ cm, Fr 0.4, $h-p=6$ cm



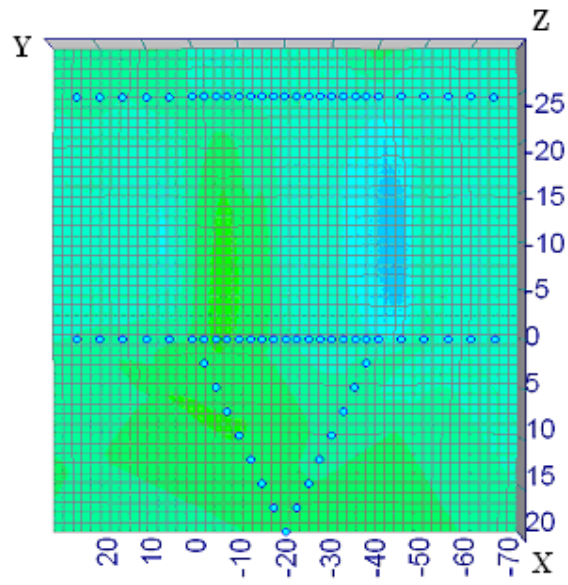
$L=40$ cm, Fr 0.4, $h-p=6$ cm



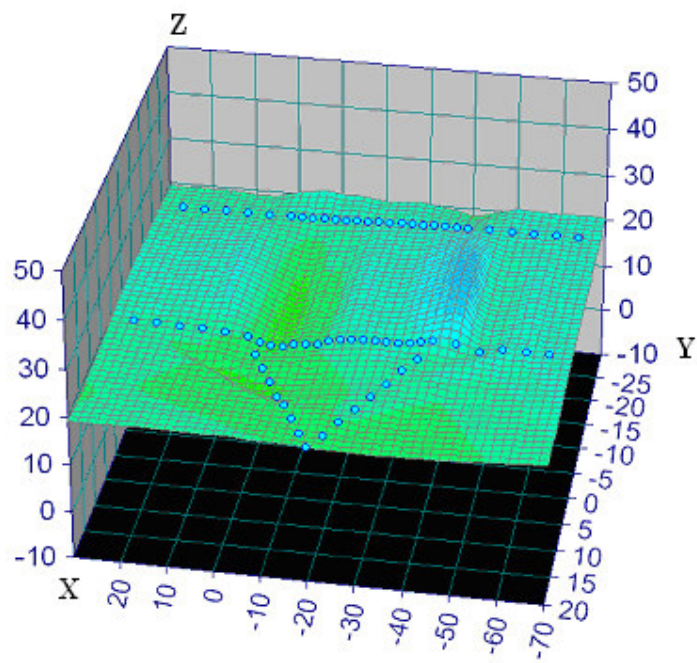
$L=40$ cm, Fr 0.4, $h-p= 6$ cm



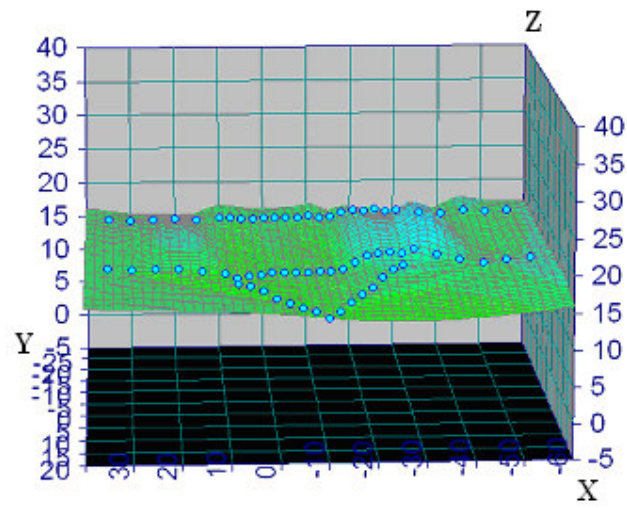
$L=40$ cm, Fr 0.4, $h-p= 8$ cm



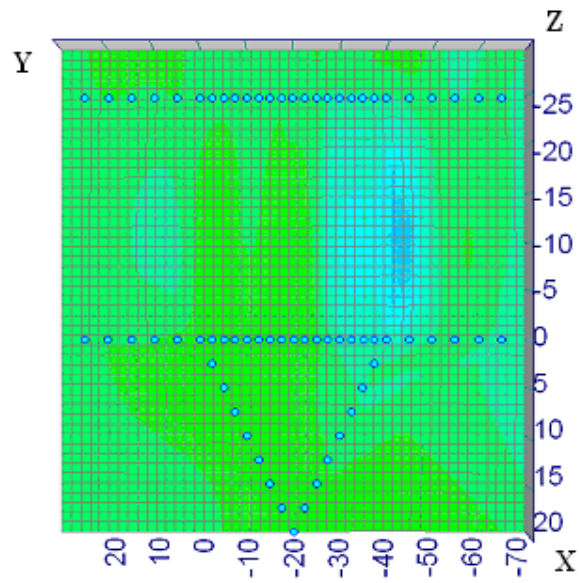
$L=40$ cm, Fr 0.4, $h-p=8$ cm



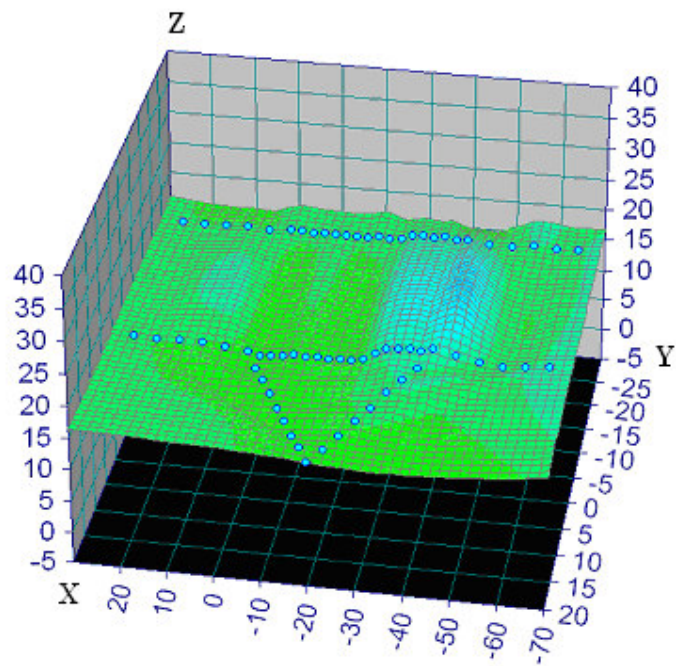
$L=40$ cm, Fr 0.4, $h-p=8$ cm



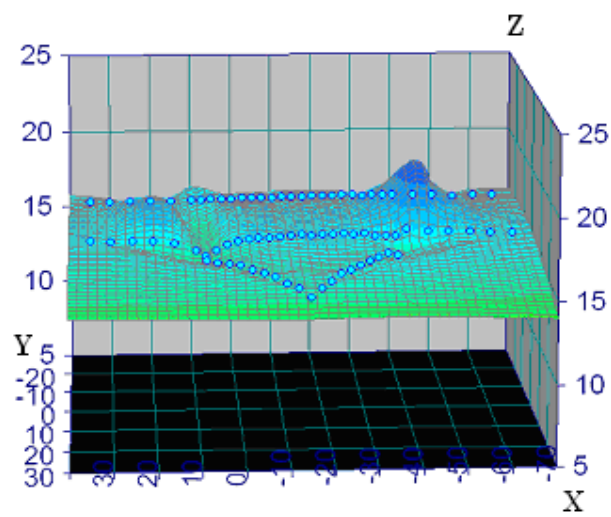
$L=40$ cm, Fr 0.6, $h-p=4$ cm



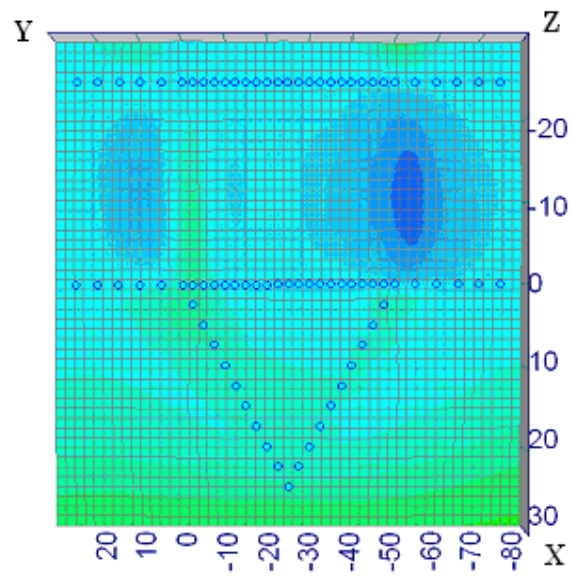
$L=40$ cm, Fr 0.6, $h-p=4$ cm



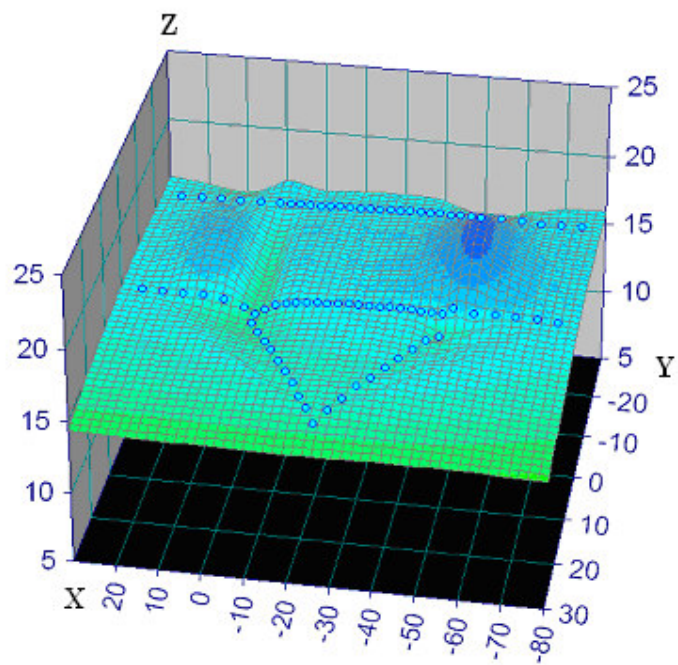
$L=40$ cm, Fr 0.6, $h-p=4$ cm



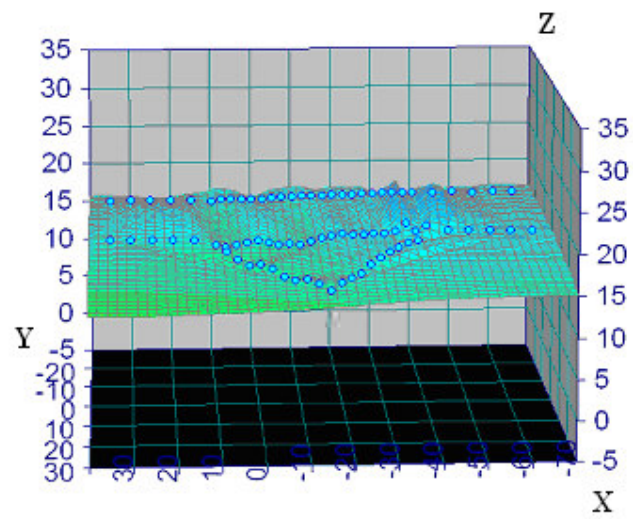
$L=50$ cm, Fr 0.2, $h-p=4$ cm



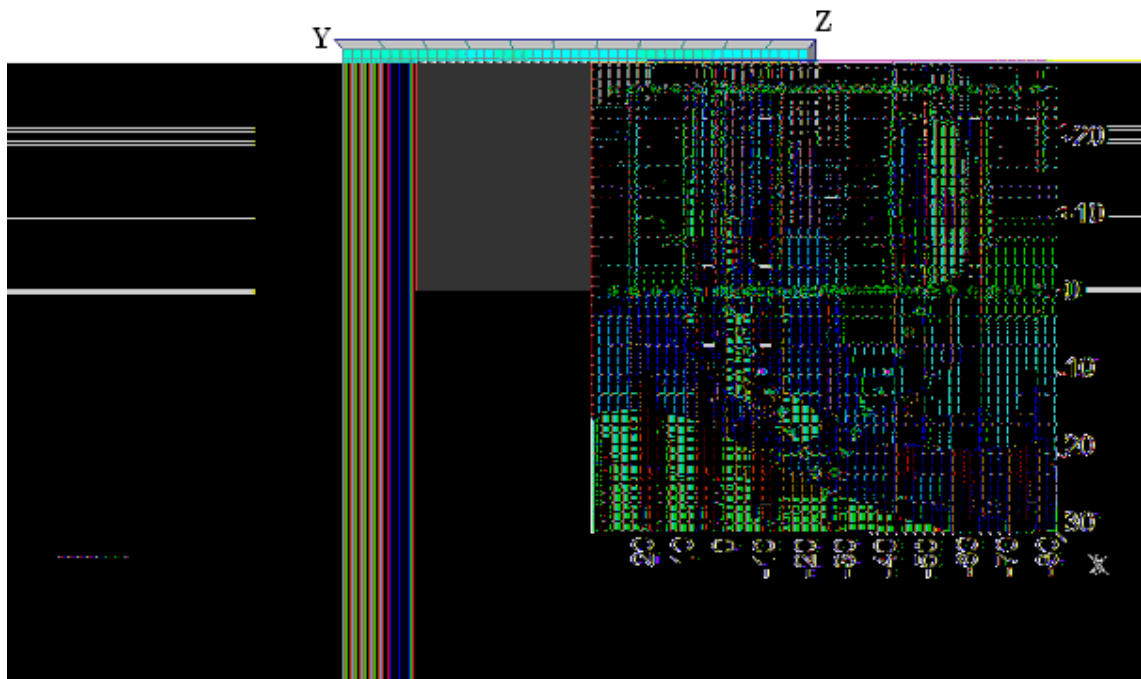
$L=50$ cm, Fr 0.2, $h-p=4$ cm



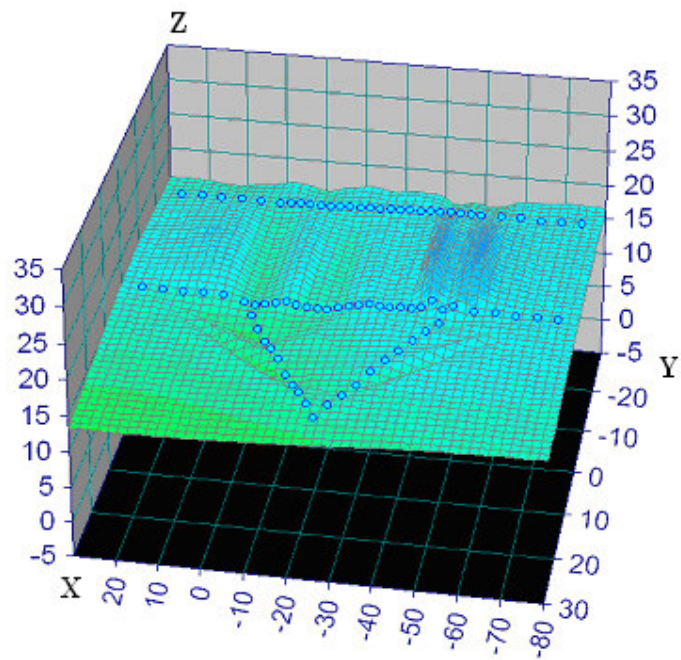
$L=50$ cm, Fr 0.2, $h-p=4$ cm



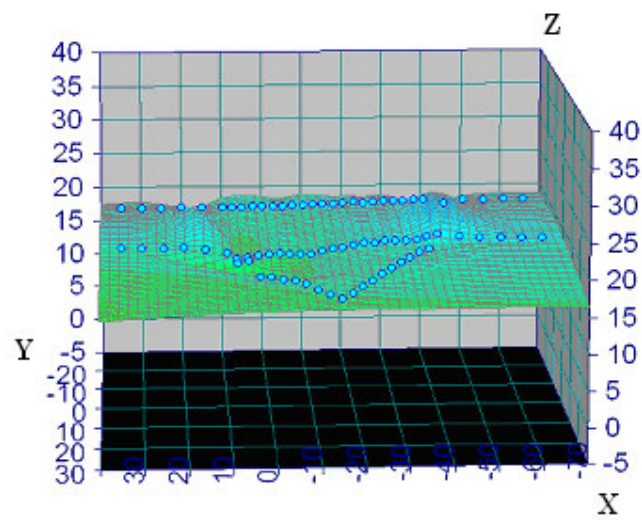
$L=50$ cm, Fr 0.4, $h-p=4$ cm



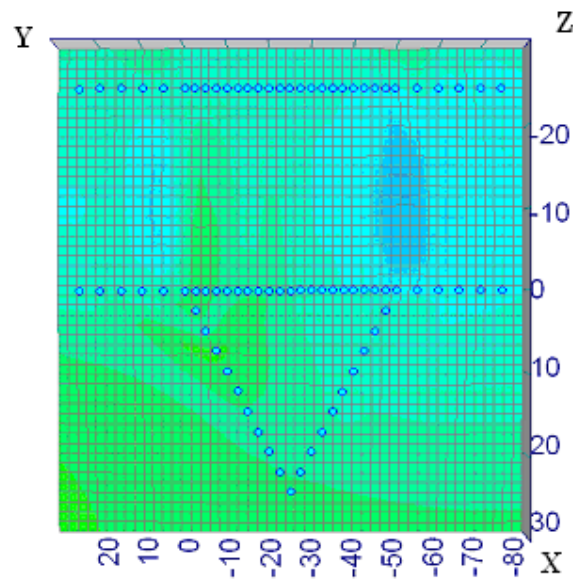
$L=50$ cm, Fr 0.4, $h-p=4$ cm



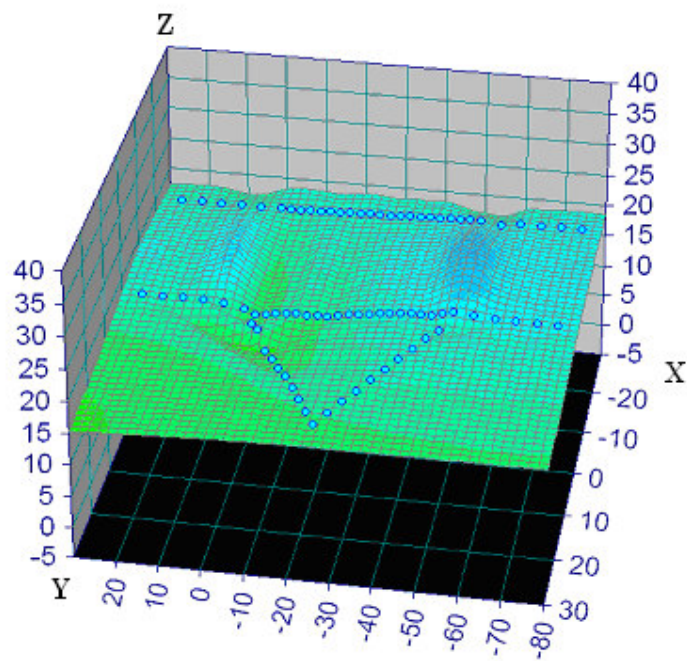
$L=50$ cm, Fr 0.4, $h-p= 4$ cm



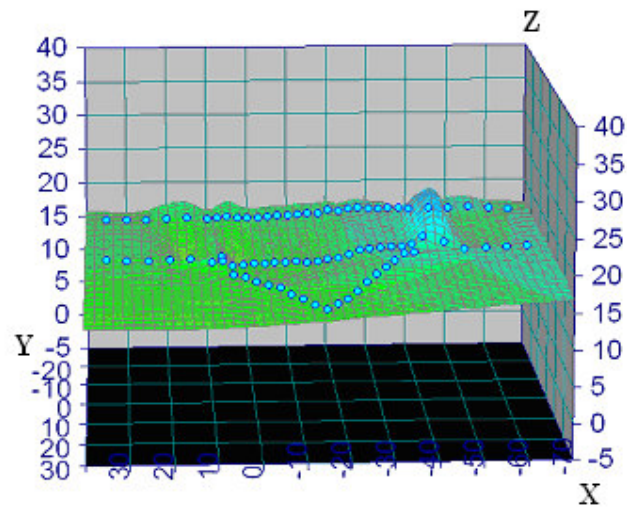
$L=50$ cm, Fr 0.4, $h-p= 6$ cm



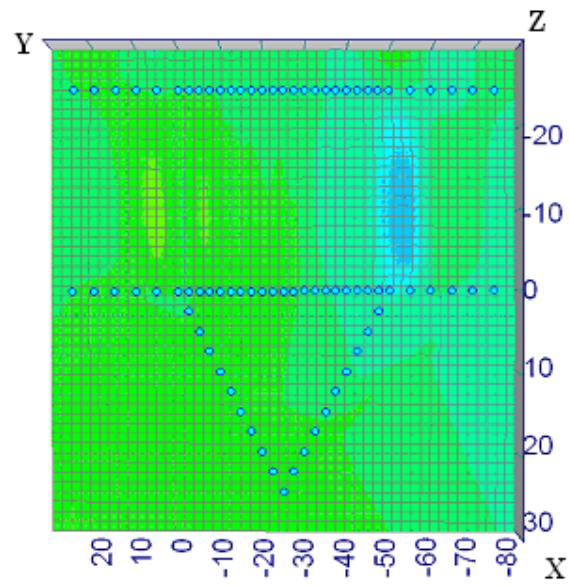
$L=50$ cm, Fr 0.4, $h-p=6$ cm



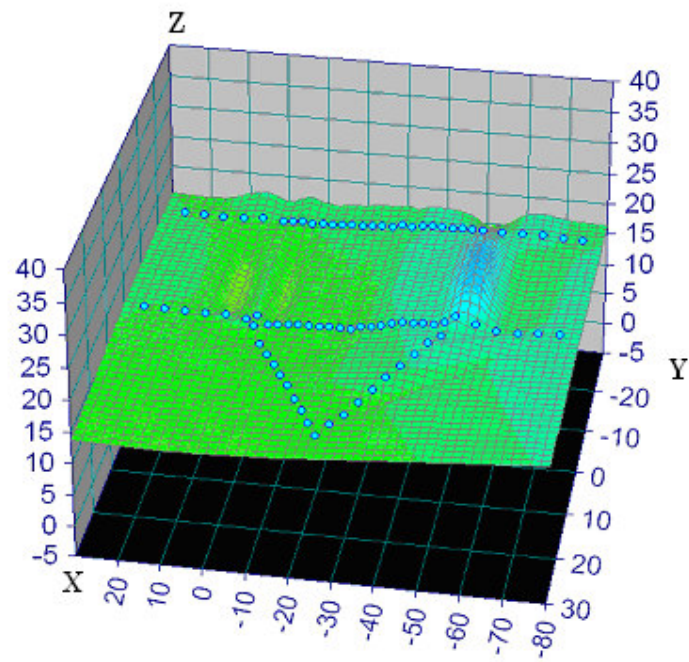
$L=50$ cm, Fr 0.4, $h-p=6$ cm



$L=50$ cm, Fr 0.6, $h-p=4$ cm



$L=50$ cm, Fr 0.6, $h-p=4$ cm



$L=50$ cm, Fr 0.6, $h-p=4$ cm

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 04.05.1980

Doğum yeri Bursa

Lise 1994-1997 Çelebi Mehmet Lisesi

Lisans 1998-2003 Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2003-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Hidrolik Anabilim Dalı

Çalıştığı kurum

2004-2006 Argus Ltd Şti.