



**LABİRENT YAN SAVAKLARDA
MEMBA KRET UZUNLUĞU DEĞİŞİMİNİN VE
ANA KANALDA AYAK KULLANIMININ
DEŞARJ KAPASİTESİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Yük. Müh. Yusuf DOĞAN

**Doktora Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danıőman: Doç. Dr. Nihat KAYA**

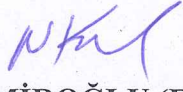
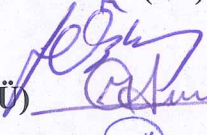
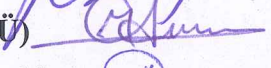
EYLÜL-2017

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LABİRENT YAN SAVAKLARDA MEMBA KRET UZUNLUĞU DEĞİŞİMİNİN
VE ANA KANALDA AYAK KULLANIMININ DEŞARJ KAPASİTESİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ
Yusuf DOĞAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09.08.2017
Tezin Savunulduğu Tarih : 15.09.2017

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nihat KAYA (FÜ) 
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Muhammet Emin EMİROĞLU (FÜ) 
: Prof. Dr. Fahri ÖZKAN (FÜ) 
: Doç. Dr. M. Cihan AYDIN (BEÜ) 
: Y. Doç. Dr. Ö. Faruk DURSUN (İÜ) 

ELAZIĞ, 2017

ÖNSÖZ

Doktora çalışmamın her aşamasında bilgi, tecrübe ve fedakârlıklarıyla bana büyük destek veren danışmanım Sayın Doç. Dr. Nihat KAYA'ya bu çalışmanın konusunun seçiminde çok büyük katkısı bulunan ve bilgilerini bizlerden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Muhammet Emin EMİROĞLU'na gönülden teşekkür ederim.

Tezimin özellikle yazım aşamasında tecrübe ve bilgisiyle yardımına koşan Sayın Arş. Gör. Mustafa TUNÇ'a teşekkür ederim.

Tezimin özellikle laboratuvar çalışmaları sırasında yardıma her ihtiyaç duyduğumda yanımda olan ve yardımına koşan Teknisyen Muhammet KARTAL'a emeklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Yorucu ve uzun süren çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen ve özellikle hayatım boyunca üzerinde çok emeği olan annem, babam, eşim ve biricik kızıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yusuf DOĞAN

Elazığ-2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
TABLO LİSTESİ.....	X
SEMBOL LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. YAN SAVAK AKIMININ HİDROLİĞİ.....	3
3. LABİRENT YAN SAVAKLAR.....	12
3.1. Labirent Savakların Uygulamaları.....	15
3.1.1. Ritschard Barajı (A.B.D)	15
3.1.2. Sarıoğlan Barajı (Türkiye)	17
3.1.3. Kızılcapınar Barajı (Türkiye)	18
3.1.4. Avon Barajı (Avusturalya)	19
3.1.5. Hyrum Barajı (A.B.D).....	20
3.1.6. Ute Barajı (A.B.D).....	21
4. DENEY DÜZENEĞİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA.....	23
4.1. Deney Düzeneği.....	23
4.1.1. Su Temin Borusu ve Debimetre	24
4.1.2. Deney Kanalını Besleyen Dinlendirme Havuzu.....	24
4.1.3. Savaktan Sonraki Dinlendirme Havuzu	24
4.1.4. Yaklaşım Kanalı	24
4.1.5. Kıvrımlı Kanal.....	25
4.1.6. Doğrusal Çıkış Kanalı.....	25
4.1.7. Yan Savak Ayırma Duvarı	25
4.1.8. Toplama Kanalı	26
4.1.9. Boşaltım Havuzu.....	26

4.1.10.	Boşaltım Havuzuna Bağlı Kanal.....	27
4.1.11.	Hareketli Seviye Ölçüm Arabası.....	27
4.2.	Giriş Debisinin Ölçülmesi.....	31
4.3.	Toplama Kanalı Sonundaki Dikdörtgen Savak Anahtar Eğrisi.....	32
4.4.	Çalışmada Kullanılan Debi Katsayısı Belirleme Yöntemi.....	33
4.4.1.	De Marchi Yaklaşımı	33
4.5.	Deneysel Çalışma.....	33
4.5.1.	Trapez Labirent Yan Savak Testleri.....	40
5.	DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ	43
5.1.	Üçgen Labirent Yan Savakta Debi Katsayısının Değişimi	43
5.1.1.	Boyutsuz Nap Yüksekliğinin Etkisi	46
5.1.2.	Froude Sayısının Etkisi.....	53
5.2.	Boyutsuz Savak Genişliğine Göre İrdeleme.....	59
5.2.1.	Froude Sayısının Etkisi.....	59
5.2.2.	Boyutsuz Nap Yüksekliğinin Etkisi	65
5.3.	Trapez Labirent Yan Savakta Debi Katsayısının Değişimi	71
5.3.1.	Ana Kanala Bırakılan Ayakların Etkisinin İncelenmesi.....	71
6.	SONUÇLAR	85
	KAYNAKLAR.....	86
	ÖZGEÇMİŞ.....	89

ÖZET

Savaklar; debi ölçmek, taşkın kontrolü yapmak gibi amaçlar için yüzyıllardır kullanılan en eski ve kullanım açısından en basit hidrolik yapılardandır. Yan savaklarda yüksek Froude sayılarında memba kret uzunluğunun bir kısmında savaklanma olmadığı literatür taramalarında gözlemlenmiştir. Bu da deşarj kapasitesinin azalmasına neden olmaktadır. Böylece bu çalışmanın asıl amacı, ince kenarlı labirent yan savaklarda memba kret uzunluğu değişiminin deşarj kapasitesine etkisini ve hidrolik performansın artırılmasına yönelik yöntemlerin geliştirilmesini detaylı bir şekilde incelemektir. Deneyler doğrusal ve 30° kıvrımlı kanalda 25, 50 ve 75 cm savak uzunluğuna sahip, 12, 16, 20 cm kret yükseklikleri için tepe açıları 45°, 90° ve 150° olan üçgen labirent yan savak kesitleri için gerçekleştirilmiştir. Her bir kret yüksekliğinde savak memba kret uzunluğunun üç aşamalı olarak kapatılıp okumalar alınmıştır. Bununla birlikte doğrusal kanalda trapez labirent yan savak kesitinin $p = 16$ cm , $\emptyset = 16^\circ$ ve $L = 50$ cm için ana kanalın belirli bölgesine farklı dizilim ile dikdörtgen ve yuvarlak kesitli ayaklar sabitlenerek bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler 7 – 145 L/s debi aralığı ve 0.07 – 0.93 Froude sayısı aralığı için yapılmıştır. Deneyler, nehir rejimli ve kararlı akım şartlarında serbest savaklanma hali için gerçekleştirilmiştir. Minimum nap kalınlığı 30 mm olarak okunmuş olup, Froude sayısı ve debi katsayısı hesaplanıp gerekli grafikler çizilmiştir. Bu çalışmada, De Marchi yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, doğrusal ve 30° kıvrımlı kanallarda üçgen labirent yan savağın memba kret uzunluğunun azaltılması ile debi katsayısında azalma olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda doğrusal kanalın trapez labirent yan savak kısmında ana kanal içerisine yerleştirilen ayakların farklı dizilimleri sonucunda yapılan deneylerde ise debi katsayısında artış meydana gelmektedir. Yapılan literatür taramalarında uygulanan yöntem ve metotlar ile kıyaslandığında farklılık arz etmesine paralel olarak gerek teorik gerekse deneysel tabanlı olması bakımından bu tez çalışması labirent yan savaklar konusuna büyük katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal ve Kıvrımlı Kanal, Debi Katsayısı, Labirent yan savak

SUMMARY

Investigation of the Effect of Upstream Crest Length Variation and Piles Usage on Main Channel on Discharge Capacity at the Labyrinth Side Weirs

Weirs are hydraulic structures oldest and simplest in terms of usage for centuries used for measuring of discharge and flood control. It has been observed in the literature that there is no discharging in part of the upstream crest length of the side weirs for the high Froude numbers. This causes a decrease in discharge capacity. Thus, the main purpose of this study is to investigation in detail the effect of the upstream crest length variation on the discharge capacity and development of methods for improving the hydraulic performance at the sharp-crested labyrinth side weirs. Experiments have been carried out for triangular labyrinth side weir sections with apex angles of 45° , 90° and 150° for the crest heights of 12, 16, 20 cm with 25, 50 and 75 cm weir opening lengths in straight channel and with bend angle 30° in curved channel. For each crest height, the weir crest length was closed in three steps and readings were taken. However, a series of experiments have been carried out using rectangular and circular piers at the trapezoidal labyrinth sideweir main section for $p=16$ cm, $\phi=16^\circ$ and $L=50$ cm. The experiments were made for a discharge of 7-145 L/s and a Froude number of 0.07-0.93. Experiments have been carried out for subcritical flow regime, steady flow and free overflow conditions. The readings for the minimum nap thickness 30 mm were obtained, Froude number and discharge coefficient were calculated and the required graphs were drawn. In this study, De Marchi method is used. As a result of the experimental study, it has been found that the discharge coefficient decreases with decreasing the upstream crest length of the triangular labyrinth side weir in straight channel and with bend angle 30° in curved channel. Also, it has been observed that the discharge coefficient is increased in the tests performed as a result of different arrangements of the piers placed in the trapezoidal labyrinth side weir in the straight channel. Parallel to the differences in the methods applied in the literature review, the labyrinth side weirs in the study, will contribute greatly in terms of the theoretical and empirical basis.

Keywords: Straight and Curved Channel, Discharge Coefficient, Labyrinth Side Weir.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Yan savak akımının planı ve kesiti.....	4
Şekil 2.2. Yan savak akımında özgül enerji-derinlik ilişkisi	6
Şekil 2.3. Sabit özgül enerjili kanal akımı durumunda derinlik ve kanal debisi arasındaki ilişki.....	7
Şekil 2.4. Yan savak akımında nehir rejimi için su yüzü profili.....	8
Şekil 2.5. Yan savak akımında sel rejimi için su yüzü profili	8
Şekil 3.1. Labirent savaklar	12
Şekil 3.2. East Park Barajı Labirent Dolusavağı, California	13
Şekil 3.3. Üçgen ve Trapez Labirent Savakların Geometrik Şekilleri.....	14
Şekil 3.4. Labirent Savakların Mansabındaki Akımın Görünüşü	14
Şekil 3.5. Ritschard Barajı Dolusavak Genel Yerleşim Planı.....	16
Şekil 3.6. Ritschard Barajı Ana Dolusavak ve Labirent Tipi Yardımcı Dolusavağı	16
Şekil 3.7. Sarıoğlan Barajı Labirent Tipi Dolusavak Yerleşim Planı, Kesit ve Detayı	17
Şekil 3.8. Kızılcapınar Barajı Labirent Dolusavak Yerleşim Planı, Kesit ve Detayı.....	18
Şekil 3.9. Avon Barajı Labirent Dolusavak Yerleşim Planı ve Savak Detayı	19
Şekil 3.10. Hyrum Barajı Labirent Dolusavağı Yerleşim Planı ve Kesiti	20
Şekil 3.11. Ute Barajı Labirent Dolusavağı Yerleşim Planı	21
Şekil 3.12. Labirent Dolusavak.....	22
Şekil 4.1. Labirent yansavak üzerindeki akım	26
Şekil 4.2. Hareketli seviye ölçüm arabası.	27
Şekil 4.3. Deney seti plan ve kesitleri.....	30
Şekil 4.4. Hidrolik laboratuvarındaki tanklar.....	30
Şekil 4.5. 22 kW'lık Pompalar.....	31
Şekil 4.6. Giriş debisini ölçen elektromanyetik debimetre	31
Şekil 4.7. Giriş debisinin ayarlandığı debimetrenin ön kısmındaki vana	32
Şekil 4.8. Dikdörtgen savak anahtar eğrisi	32
Şekil 4.9. Yan savağın karşısında toplama kanalı.....	34
Şekil 4.10. Üçgen labirent yan savaklarda memba kret uzunluklarının kapatılması	36
Şekil 4.11. Çalışılan üçgen labirent savak türleri.....	37
Şekil 4.12. Uzunlamasına derinliklerin ölçüldüğü yerler	38
Şekil 4.13. Üçgen labirent yan savak testlerinden görüntüler.....	39

Şekil 4.14.	Trapez Labirent Yan Savakda Kullanılan Profillerin Yerleştirilmesi.....	42
Şekil 5.1.	Doğrusal Kanalda, E_1 ile E_2 karşılaştırılması	44
Şekil 5.2.	30° Kıvrımlı Kanalda, E_1 ile E_2 karşılaştırılması	45
Şekil 5.3.	Doğrusal kanalda $\alpha=45^\circ$ için savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi	47
Şekil 5.4.	Doğrusal kanalda $\alpha=90^\circ$ için savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi	48
Şekil 5.5.	Doğrusal kanalda $\alpha=150^\circ$ için savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi.	49
Şekil 5.6.	30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=45^\circ$ için savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi	50
Şekil 5.7.	30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=90^\circ$ için savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi	51
Şekil 5.8.	30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ için savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi	52
Şekil 5.9.	Doğrusal kanalda $\alpha=45^\circ$ için farklı savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için debi katsayısının (C_d), Froude sayısına (Fr) göre değişimi.....	53
Şekil 5.10.	Doğrusal kanalda $\alpha=90^\circ$ için farklı savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için debi katsayısının (C_d), Froude sayısına (Fr) göre değişimi	54
Şekil 5.11.	Doğrusal kanalda $\alpha=150^\circ$ için farklı savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için debi katsayısının (C_d), Froude sayısına (Fr) göre değişimi	55
Şekil 5.12.	30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=45^\circ$ için farklı savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için debi katsayısının (C_d), Froude sayısına (Fr) göre değişimi.....	56
Şekil 5.13.	30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=90^\circ$ için farklı savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için debi katsayısının (C_d), Froude sayısına (Fr) göre değişimi.....	57
Şekil 5.14.	30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ için farklı savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için debi katsayısının (C_d), Froude sayısına (Fr) göre değişimi	58
Şekil 5.15.	Doğrusal kanalda $\alpha=45^\circ$ için farklı memba kret uzunluklarında ve $L/B=0.5, 1.0, 1.5$ durumunda debi katsayısı (C_d) ile Froude sayısının (Fr) karşılaştırılması.....	59
Şekil 5.16.	Doğrusal kanalda $\alpha=90^\circ$ için farklı memba kret uzunluklarında ve $L/B=0.5, 1.0, 1.5$ durumunda debi katsayısı (C_d) ile Froude sayısının (Fr) karşılaştırılması.....	60

Şekil 5.17. Doğrusal kanalda $\alpha=150^\circ$ için farklı memba kret uzunluklarında ve $L/B=0.5, 1.0, 1.5$ durumunda debi katsayısı (C_d) ile Froude sayısının (Fr) karşılaştırılması	61
Şekil 5.18. 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=45^\circ$ için farklı memba kret uzunluklarında ve $L/B=0.5, 1.0, 1.5$ durumunda debi katsayısı (C_d) ile Froude sayısının (Fr) karşılaştırılması	62
Şekil 5.19. 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=90^\circ$ için farklı memba kret uzunluklarında ve $L/B=0.5, 1.0, 1.5$ durumunda debi katsayısı (C_d) ile Froude sayısının (Fr) karşılaştırılması.....	63
Şekil 5.20. 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ için farklı memba kret uzunluklarında ve $L/B=0.5, 1.0, 1.5$ durumunda debi katsayısı (C_d) ile Froude sayısının (Fr) karşılaştırılması.....	64
Şekil 5.21. Doğrusal kanalda $\alpha=45^\circ$ için savak kret uzunluklarının ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi	65
Şekil 5.22. Doğrusal kanalda $\alpha=90^\circ$ için savak kret uzunluklarının ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi	66
Şekil 5.23. Doğrusal kanalda $\alpha=150^\circ$ için savak kret uzunluklarının ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi	67
Şekil 5.24. 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=45^\circ$ için savak kret uzunluklarının ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi	68
Şekil 5.25. 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=90^\circ$ için savak kret uzunluklarının ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi	69
Şekil 5.26. 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ için savak kret uzunluklarının ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi	70
Şekil 5.27. Doğrusal kanalda, trapez labirent yan savaklar için E_1 ile E_2 karşılaştırılması	71
Şekil 5.28. Trapez labirent yan savakta Ayaksız, Tip 1, Tip 2 ve Tip 3 için Fr sayısının C_d değişimi	72
Şekil 5.29. Trapez labirent yan savakta Ayaksız, Tip 4, Tip 5 ve Tip 6 için Fr sayısının C_d değişimi	73
Şekil 5.30. Trapez labirent yan savakta aynı dizilimdeki dikdörtgen ve yuvarlak ayakların Fr sayısı ile C_d değişimi	75
Şekil 5.31. Mevcut çalışma ile Borghei vd. (1999) için trapez labirent yan savakta C_d 'nin Fr sayısı ile değişimi	78
Şekil 5.32. Mevcut çalışma ile Emiroglu vd. (2014) için trapez labirent yan savakta C_d 'nin Fr sayısı ile değişimi	81
Şekil 5.33. Mevcut çalışma ile Kabiri-Samani vd. (2011) için trapez labirent yan savakta C_d 'nin Fr sayısı ile değişimi.....	84

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Doğrusal kanallara yerleştirilen dikdörtgen enkesitli yan savakların debi katsayısıiçin, araştırmacıların verdikleri eşitlikler.....	11
Tablo 4.1. Üçgen Labirent Yan Savak İçin İncelenen Değişken Aralığı.....	35



SEMBOL LİSTESİ

A	: Ana kanal ıslak kesit alanı (m^2)
B	: Ana kanal genişliği (m)
b	: Ana kanala yerleştirilen ayaklar arası mesafe (m)
C_d	: Yan savak debi katsayısı
D	: Silindirik ayak çapı (m)
E	: Herhangi bir kesitteki özgül enerji yüksekliği (m)
Fr	: Froude sayısı (-)
Fr_1	: Yan savak başlangıcındaki Froude sayısı (-)
Fr^*	: Tane Froude sayısı (-)
$Fr_{giriş}$	: Membadan gelen akımın Froude sayısı (-)
$Fr_{çıkış}$	: Mansaptan çıkan akımın Froude sayısı (-)
g	: Yerçekimi ivmesi (m^2/s)
h	: Herhangi bir kesitteki akım derinliği (m)
h_o	: Başlangıç akım derinliği (m)
J_θ	: Teğetsel su yüzü eğimi (-)
J_{kr}	: Kritik taban eğimi (-)
J_o	: Ana kanal taban eğimi (-)
J_f	: Enerji çizgisi eğimi (-)
ℓ	: Yan savak kret uzunluğu (m)
L	: Yan savak açıklığı (m)
P	: Savak kret yüksekliği (m)
Q_w	: Toplama kanalı sonundaki dikdörtgen savaktan savaklanan debi (m^3/s)
Q_1	: Ana kanal debisi (m^3/s)
Q_2	: Savaşın mansap ucundaki ana kanal debisi (m^3/s)
r_e	: Kanal ekseni eğrilik yarıçapı (m)
R	: Hidrolik yarıçap (m)
Re	: Reynolds sayısı
X	: Yan savaşın herhangi bir noktasının, yan savaşın başlangıcına olan uzaklığı (m)
V	: Ana kanaldaki ortalama akım hızı (m/s)

V_o	: Su yüzeyindeki boyuna hız (m/s)
V_1	: Yan savak membasında ana kanal eksenindeki ortalama akım hızı (m/s)
V_{kr}	: Kritik hız (m/s)
W	: Ağırlık kuvveti (kN)
We	: Weber sayısı (-)
W	: Tane çökelme hızı (mm/s)
y_1	: Yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
y_2	: Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği (m)
y_{kr}	: Kritik akım halinde su derinliği (m)
α	: Labirent yan savak tepe açısı ($^{\circ}$)
θ	: Kıvrım merkez açısı ($^{\circ}$)
ϕ_1	: De Marchi değişken akım fonksiyonu (-)
ψ	: Savaklanma (sapma) açısı ($^{\circ}$)
β	: Momentum katsayısı (-)
λ	: Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı (-)
ρ	: Özgül kütle (kg/m^3)
σ	: Taban malzemesi granülometrisinin standart sapması (-)
ν	: Kinematik viskozite (m^2/s)
$\emptyset$	: Trapez kanalda yan savak duvar açısı($^{\circ}$)

1. GİRİŞ

Hidrolik yapılar; suyu kontrol altına alarak suyun çeşitli amaçlar için kullanılmasını sağlayan çok önemli yapılardır [1]. Savaklar, küçük nap yüklü akımlarında ve kanallarda suyun akış miktarını ölçmek için kullanılan en eski hidrolik yapılardan biridir [2]. Aynı zamanda savaklar, sulamada, yağmur suyu kanallarında, suların havalandırılmasında, oksijen transferinde, kanalizasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan hidrolik yapılardandır.

Savaklar genel olarak; keskin kenarlı savaklar, kalın kenarlı savaklar ve labirent savaklar olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır [3]. Ayrıca savaklar ya büzülmeli ya da büzülmesiz olarak inşa edilirler. Büzülmesiz savaklar normal karşıdan alışı dolusavaklar gibi giriş kısmında herhangi bir daralma söz konusu değildir. Büzülmeli savaklarda ise kanalın her iki kısmında aynı oranda daralma yapılmaktadır [4]. Her iki tip de yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı savak tiplerinin her birinin hidrolik davranışı birbirinden çok farklıdır.

Savaklar akım doğrultusuna dik olacak şekilde yerleştirildikleri gibi, kırık doğrular veya daire şeklinde ve akış doğrultusu ile bir açı teşkil edecek şekilde de yerleştirilirler. Kret şekli debi deşarj kapasitesini etkileyen parametreler arasında yer almaktadır. Savaklar, hidrolik mühendisliğinde birçok alanda kullanıldığı için, bunların akım özelliklerinin ve farklı kret şekillerinin debi katsayısına etkisinin incelenmesi yararlı olacaktır. Tullis vd. (1995), labirent dolusavakların tasarım ilkeleri ile ilgili yaptıkları çalışmalarında kret şeklinin debi katsayısı üzerinde önemli etkisinin olduğunu vurgulamıştır [5]. Amanian (1987), yüksek lisans tez çalışmasında labirent savakların tasarım performansı üzerine yaptığı çalışmada savak yüksekliğinin, kalınlığının ve şeklinin debi deşarj kapasitesi üzerinde önemli etkilerinin olduğunu ifade etmiştir [6]. Aynı şekilde Waldron (1994)'de yüksek lisans tezinde bu konunun önemini vurgulamış ve labirent savaklar üzerinde deneysel çalışmalar yapmıştır [7]. Emiroğlu vd. (2011), trapez labirent yan savakların hidrolik karakteristiklerini ve deşarj kapasitelerini deneysel olarak araştırmışlardır. Bu tip yan savakların debi katsayılarının klasik yan savaklarındakinden 1.5 – 4.5 kat daha fazla olduğunu kanısına varmışlardır. Savak açıklığını geniş bir aralıkta yapılan deneyler ile incelemişlerdir. Etkili tüm boyutsuz parametreler dikkate alınarak doğrusal olmayan bir

eşitlik sunmuşlardır [8]. Emiroğlu vd. (2014), çok gözlü trapez yan savakların deşarj kapasitelerini ve aynı açıklık için tek gözlü ve çok gözlü labirent yan savak kullanmanın avantajlarını tartışmışlardır. Yukarıda bahsedilen labirent yan savakların deşarj kapasiteleri ile ilgili çalışmalar sabit taban koşulları için gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda (1.1) eşitliğini sunmuşlardır [9].

$$C_d = \left[-10.054 \left(Fr \frac{L_{ef}}{L} \right)^{0.039} - 0.001 Fr \left(\frac{L}{B} \right)^{-6.79} - 0.438 \left(\frac{L_{ef}}{L} \right)^{-0.284} + 0.52 Fr \left(\frac{y-p}{p} \right)^{-0.114} + 11.178 \left(Fr \frac{y-p}{p \sin \alpha} \right)^{0.013} \right]^{-3.64} \quad (1.1)$$

Burada; C_d : Debi katsayısı, Fr : Froude sayısı, L_{ef} : Savağın etkili uzunluğu, L : Yan savak açıklığı, B : Kanal genişliği, y : Akım derinliği, p : Yan savak kret yüksekliği, α : Yan savak tepe açısını ifade etmektedir.

Kabiri-Samani vd. (2011), labirent yan savaklar da çubuklar kullanarak akımın hidrolik performansını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda aşağıdaki ifadeyi bulmuşlardır [10].

$$C_{MO} = 0.01 \left(\frac{L}{B} \right)^{1.64} + 0.026 \left(\frac{p}{y} \right)^{-1.977} - 0.03 Fr^{-1.420} + 0.013 \left(\frac{L}{y} \right)^{0.703} + 0.01 \left(\frac{L_{ef}}{L} \right)^{1.259} + 2.07 \quad (1.2)$$

$$C_v = \left(1 + 2.92 \frac{Na}{By} \right) \text{ ve } C_p = \left(1 + 1.90 \frac{Na}{By} \right)$$

$$C_d = C_{MO} C_v \text{ ve } C_d = C_{MO} C_p$$

Burada; C_v : Yuvarlak kesitli cubukların katsayısı, C_p : Dikdörtgen kesitli cubukların katsayısı, N : Çubuk sayısı, a : Çubuk alanı ifade etmektedir.

Borghesi vd. (1999), yan savaklarla ilgili yaptıkları çalışmalarında debi katsayısını ifade eden denklemi aşağıda vermişlerdir [11].

$$C_d = 0.687 - 0.46 Fr - 0.3 \frac{p}{y} + 0.06 \frac{L}{B} + 1.2J \quad (1.3)$$

J : Ana kanal taban eğimi.

Savaklar hidrolik mühendisliğinde birçok alanda kullanıldığı için, bunların akım özelliklerinin ve farklı kret uzunluklarının debi katsayısına etkisinin incelenmesi yararlı olacaktır. Bu çalışmada, farklı kret uzunluklarının ve ana kanalda ayak kullanımının debi deşarj kapasitesi üzerine etkisi deneysel olarak detaylı bir şekilde incelenmiş ve literatürdeki verilerle karşılaştırılmıştır.

2. YAN SAVAK AKIMLARININ HİDROLİĞİ

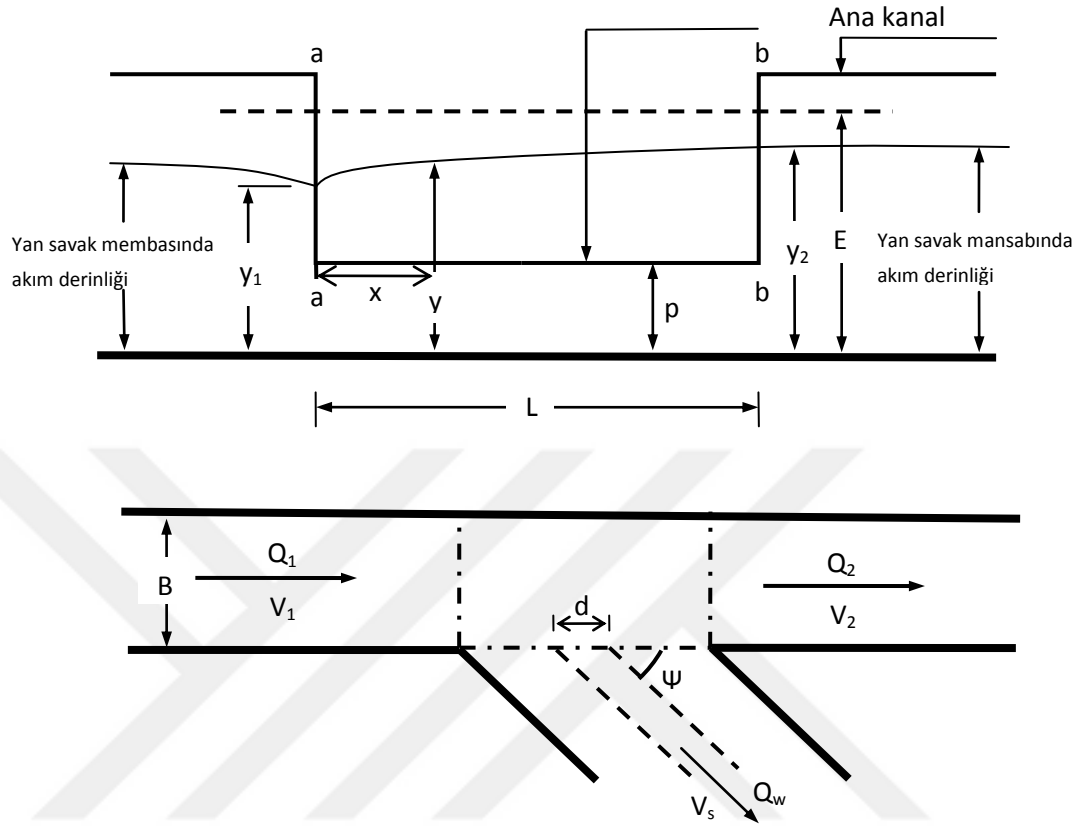
Yan savaklar; bir kanaldaki fazla debinin azaltılması veya herhangi bir kanaldan ihtiyaç olan debinin alınması için kullanılan bir hidrolik yapıdır. Bu savaklar kanalların yan duvarlarına akıma paralel olarak inşa edildiklerinden bu ismi almışlardır.

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

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

Yan savakların farklı enkesit tipleri mevcuttur. Yan savaklar dikdörtgen, trapez veya dairesel kanalların yan duvarlarına farklı enkesitlerde inşa edilirler. Bunları dikdörtgen, üçgen, trapez ve dairesel yan savaklar olarak saymak mümkündür. Bu yan savaklar ana kanalın yanına inşa edilirken ana kanal eksenine ile belirli bir açı yapacak şekilde inşa edilebileceği gibi ana kanala paralel olarak da inşa edilebilmektedir. Yerleştirme yapılırken kullanılacak yan savak tipi, kanal enkesiti ve yerleştirme açısı savaklanacak debinin miktarını değiştirmektedir. Yan savakların debi katsayısı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Günümüzde bu konu ile ilgili çalışmalar halen yapılmaktadır. Yan savaklar ile ilgili hem teorik hem de deneysel çalışmalar literatürde mevcuttur. Borghei vd. (2012), çok gözlü üçgen labirent yan savakların deşarj kapasitelerini incelemişlerdir [12]. Emiroğlu vd. (2014), bir ve iki gözlü trapez labirent yan savakların hidrolik karakteristiklerini deneysel olarak araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada De Marchi yaklaşımını uygulamışlardır. Belirli bir savak açıklığında bir gözlünün mü yoksa iki gözlünün mü daha uygun olduğunu ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Hem bir gözlü trapez labirent yan savak için ve hem de iki

gözlü trapez labirent yan savak için doğrusal olmayan güvenilir eşitlikler ifade etmişlerdir [9].



Şekil 2.1. Yan savak akımının planı ve kesiti

Şekil 2.1’de, y_1 =Yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliğini (m), y_2 =Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliğini (m), y =Herhangi bir kesitteki su derinliğini (m), Q_1 =Ana kanaldaki debiyi (m^3/s), Q_2 =Yan savaktan sonraki ana kanal debisi (m^3/s), Q_w =Yan savaktan savaklanan debiyi (m^3/s), V_1 =Yan savak membasında ortalama akım hızını (m/s), V_2 =Yan savak mansabında ortalama akım hızını (m/s), V_s Yan savaktan savaklanan akım hızını (m/s), B =Ana kanal genişliğini (m), L =Yan savak açıklığını (m), ψ =Savaklanma (sapma) açısını, p =Yan savak kret yüksekliğini, x =Yan savağın herhangi bir noktasının yan savak başlangıcına olan mesafesini ifade etmektedir.

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

Parmley (1905), yapmış olduğu çalışmalar sonucunda sel rejimli akım şartları için yan savak uzunluğunu veren ifadeyi aşağıdaki gibi bulmuştur [13].

$$L = 0.106BV\sqrt{g} \left[\sqrt{\left(\frac{1}{y_2-p}\right)} - \sqrt{\left(\frac{1}{y_1-p}\right)} \right] \quad (2.1)$$

Burada; V: Ana kanaldaki ortalama akım hızı (m/s), g = Yerçekim ivmesi.

Bu denklem deneysel çalışmalarla karşılaştırıldığında (y_2-p) teriminin küçülmesi durumunda L yan savak uzunluğu sonsuza gittiğinden (y_2-p) teriminin minimum 19 mm alınması önerilmiştir.

Engels (1920), yaptığı deneysel çalışmalarda yan savak üzerindeki su yüzü profillerini gözlemleyerek yan savaktan savaklanan debi için;

$$Q' = C_d\sqrt{2g}L^{0.83}(y_2 - p)^{1.67} \quad (2.2)$$

formülünü vermiştir [14]. Deneyler dikdörtgen enkesitli kanallarda gerçekleştirilmiştir. Burada; Q' :Yan savak debisini (m^3/s) göstermektedir.

Araştırmacının vermiş olduğu (2.2) eşitlik, sabit genişlikli dikdörtgen kanallar için geçerlidir. Araştırmacı ayrıca yan savak uzunluğu boyunca kanal genişliğini tedricen azalan dikdörtgen enkesitli kanallar için ise;

$$Q' = C_d\sqrt{2g}L^{0.90}(y_2 - p)^{1.60} \quad (2.3)$$

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

Coleman ve Smith (1923), yan savak debisini veren bağıntıyı;

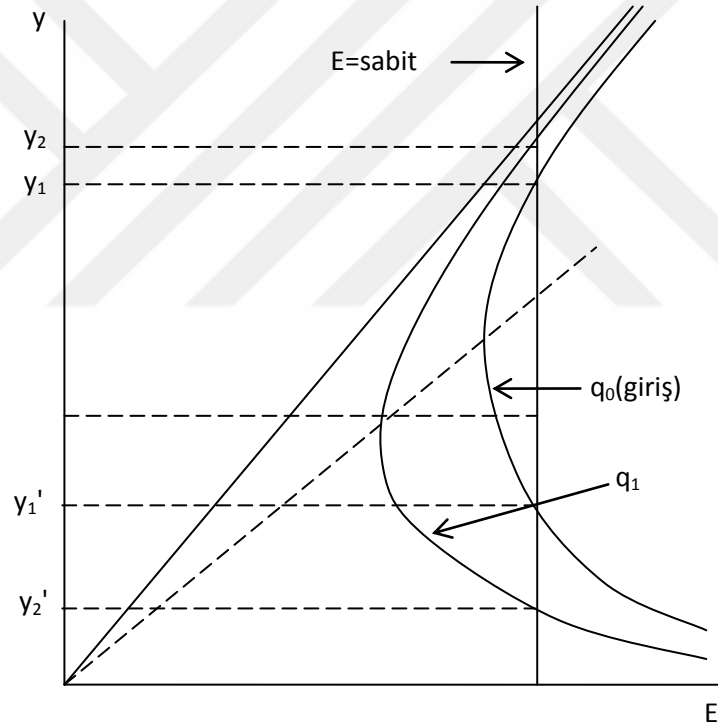
$$Q' = 2.58BL^{0.72}(y_1 - p)^{1.645} \quad (2.4)$$

şeklinde vermişlerdir. Buna ilaveten, yan savak uzunluğunu veren bağıntıyı da aşağıdaki gibi sunmuşlardır [15].

$$L = 1.16BV_1(y_1 - p)^{0.13} \left[\sqrt{\left(\frac{1}{y_2-p}\right)} - \sqrt{\left(\frac{1}{y_1-p}\right)} \right] \quad (2.5)$$

(2.5) denkleminde $(y_2 - p)$ teriminin 19 mm'den daha az alınmaması gerektiği belirtilmiştir. Çünkü denklemden görüleceği gibi $(y_2 - p)$ terimi küçüldükçe L yan savak uzunluğu sonsuza gitmektedir.

Genel olarak kanala girecek “ Q ” debisi tahmin edilebilir. Kanaldan geçmesi istenilen debi “ Q_0 ” ise “ $Q_0 < Q$ ” olduğunda, aradaki “ ΔQ ” farkı savaklanacak şekilde yan savağın boyutlandırılması istenir. Yan savak boyunca kanaldan dışarı sürekli olarak su savaklandığı için, kanalın debisi gittikçe azalmaktadır. İncelemeler sırasında, yan savak boyunca kanaldaki akışkanın özgül enerjisinin sabit kaldığı kabul edilir ($J=J_0$). Yan savak boyunca oluşacak su yüzeyi profili, gelen akımın rejimine bağlı olarak değişir (Şekil 2.2). Bunun nedeni aşağıda açıklanmaktadır.



Şekil 2.2. Yan savak akımında özgül enerji-derinlik ilişkisi

Şekil 2.2'e göre yan savak boyunca kanalın debisi azalacağından akım durumu, “ q_0 ” eğrisinden “ q_1 ” eğrisine geçecektir. Yan savak boyunca $E=sabit$ kabul edilmiş olduğundan su derinliği de;

- Nehir rejimindeki akımlarda y_1' den y_2' 'ye çıkacak, yani yan savak boyunca su derinliği artacak,
- Sel rejimindeki akımlarda ise y_1'' 'den y_2'' 'ye düşecek, yani yan savak boyunca derinlik azalacaktır.

Su yüzeyi profilinin belirlenmesi için bu problemde $q=\text{sabit}$ için $E=E(y)$ eğrisi kullanılmıştır, tabiatıyla daha önce yapıldığı gibi bu halde de Koch parabolü ile ($E=\text{sabit}$ için $q=q(y)$ eğrisi çalışılabilir [16].

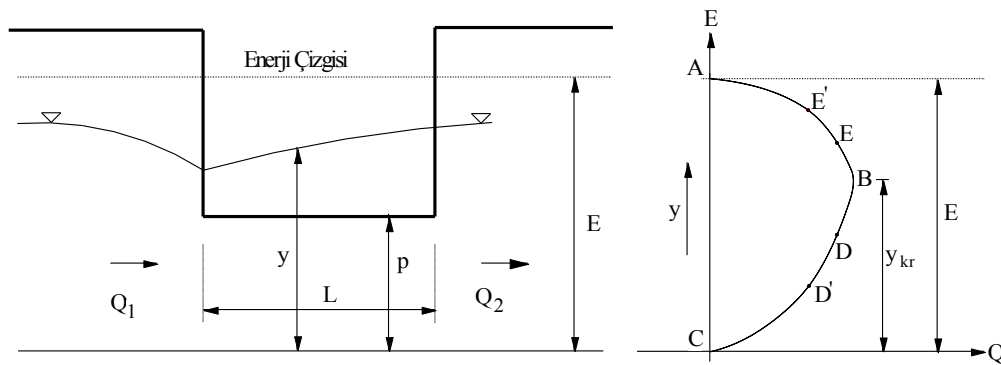
De Marchi (1934) yan savak boyunca özgül enerjinin sabit kaldığını varsayarak teorik bir çalışma yapmıştır [17]. Araştırmacının yaptığı kabuller şunlardır;

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

$$\frac{dQ'}{dx} = C_d \sqrt{2g} (y - p)^{3/2} \quad (2.6)$$

- Enerji çizgisi kanal tabanına paraleldir. (Enerji kaybı yoktur)

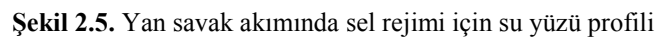
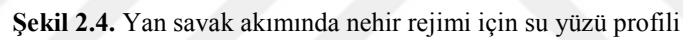
Bir kanalın sabit bir enerji seviyesinde geçirebileceği debi ile su derinliği arasındaki bağıntı Koch parabolü ile verilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Sabit özgül enerjili kanal akımı durumunda derinlik ve kanal debisi arasındaki ilişki

Yan savak başlangıcında akım sel rejiminde ise, $y < y_{kr}$ olduğundan debi-derinlik ilişkisi D noktası ile verilir. Yan savak boyunca ana kanal debisi azalacağından, akım D' noktası ile verilir. Yan savak başlangıcında akım nehir rejiminde ise, $y > y_{kr}$ olacağından akım bir E

Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’de sırasıyla, nehir rejiminde ve sel rejiminde oluşacak su yüzü profilinde enerji çizgisinin yeri gösterilmiştir.



8

uygun olabileceğini, sel rejimli akımlarda ise teori ve deneysel çalışmalar arasında farklılıklar olduğunu göstermiştir [18].

Schmidt (1955), dikdörtgen enkesitli kanallarda nehir rejimine sahip akım şartlarında deneysel çalışmalar yaparak normal savak denklemine benzeyen aşağıdaki ifadeyi vermiştir [19].

$$Q' = C_d L \sqrt{2g} \left(\frac{(y_1 - p) + (y_2 - p)}{2} \right)^{3/2} \quad (2.7)$$

Ayrıca yan savak debi katsayısının;

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

ifadesinden hesaplandığında oldukça iyi sonuçlar verdiğini ileri sürmüştür. Burada;

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

Kindsvater ve Carter (1957) tarafından tanımlanan debi denkleminde, savak genişliği (L) ve savak üstündeki su yüksekliği (h), belli bir düzeltme yapılarak kullanılmıştır. Araştırmacılar, “ L/B ” ve “ h/p ” parametrelerine bağlı bir debi katsayısı önermişlerdir [20]. Yanal daralmalı ve yanal daralmasız savaklar üzerinden savaklanan debi için birkaç eşitlik bu bölümde özetle verilmiştir. Yanal daralmalı dikdörtgen savaklar için 1883 yılında Francis, (2.8) eşitliğini önermiştir [21].

$$Q = 1.83(L - 0.2h)h^{3/2} \quad (2.8)$$

burada, Q = Savaklanan debiyi (m^3/s), h = Nap yükünü (m) ifade etmektedir.

Yanal daralmasız savaklarda, $H/p < 5$ için Rehbock (1929) (2.9) eşitliğini vermiştir [22]. Yanal daralmasız savaklarda $H/p > 20$ için Henderson (1966) (2.10) eşitliğini önermiştir [23].

$$C_d = 0.611 + 0.08 \frac{H_1}{p} \quad (2.9)$$

$$C_d = 1.06 \left(1 + \frac{p}{H_1} \right)^{3/2} \quad (2.10)$$

Şişman vd. (2009), “Dikdörtgen kesitli keskin kenarlı savaklarda debi ölçümü” konulu çalışmalarında, tam açıklıklı savaktan başlayarak dar açıklıklı savağa kadar bir dizi deneyler yürütmüşlerdir. Araştırmacılar yanal daralmalı savaklar için debi katsayısının,

(2.11) eşitliğinde verilen boyutsuz parametrelere bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Keskin kenarlı dikdörtgen savakların, hem tam açıklıklı hem de dar açıklıklı üzerinden dökülen debi için (2.12) eşitliğini önermişlerdir [24].

$$C_d = f\left(Re, We, \frac{y_1}{b}, \frac{B}{L}, \frac{y_1}{p}\right) \quad (2.11)$$

$$Q = \left[-0.001 + 0.254 \left(\frac{B}{L} \right) + 0.366 \left(\frac{B}{L} \right)^2 - 1.631 \left(\frac{B}{L} \right)^3 \right] y_1 \\ + \left[0.015 + 3.212 \left(\frac{B}{L} \right) - 8.068 \left(\frac{B}{L} \right)^2 + 39.609 \left(\frac{B}{L} \right)^3 \right] y_1^2 \quad (2.12)$$

burada, Re = Reynolds sayısını, We = Weber sayısını göstermektedir. Diğer simgeler Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Tokay ve Turhan (2009) keskin kenarlı savaklarda, $5 < H_1/p < 20$ için yanıl daralması savaklarda debi katsayısını veren eşitliği elde etmek amacıyla deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Sunulan eşitlik, “ H_1/p ” parametresine bağlıdır. Araştırmacılar savak üzerindeki birim debinin (q); savağın kret yüksekliğine (p), savak üzerindeki su yüküne (H_1), akışkanın yoğunluğuna (ρ), dinamik viskoziteye (μ), yüzeysel gerilmeye (σ) ve yerçekimi ivmesine (g) bağlı olduğunu ifade etmişlerdir [25].

$$q = f_1(p, H_1, \rho, \mu, \sigma, g) \quad (2.13)$$

$$\frac{q}{y\sqrt{gy_1}} = f_2\left(\frac{p}{H_1}, Re, We\right) \quad (2.14)$$

$$C_d = f_3\left(\frac{p}{H_1}, Re, We\right) \quad (2.15)$$

Akışkanlar mekaniğinde genel olarak Reynolds sayısı büyüdükçe, akımın parametreleri Reynolds sayısından bağımsız olur. Weber sayısı ise, savak üzerindeki su yükünün çok küçük olduğu durumlarda önemli olur [25].

Küçük debilerin ölçülmesinde, üçgen savakların kullanılması daha hassas sonuçlar vermektedir. Suyun üzerinde aktığı taban açısına göre çeşitli üçgen şekilli savaklar kullanılabilir. Bu açı 30° , 45° , 60° ve 90° olabilmektedir. Ölçülecek debi ne kadar az ise, o oranda taban açısı küçük olan bir savak tercih edilmektedir. Gourley ve Crimp (1915) tarafından (2.16) eşitliği önerilmiştir [26]. Bu eşitlik, yaygın olarak kullanılan sade ve

gerçeğe yakın değerler veren bir formüldür. 90° taban açılı ince kenarlı savak için “ $\tan(\omega/2)$ ” ifadesi 1’e eşit olduğundan, formül daha da sade hale gelmektedir.

$$Q = 1.32 \tan \frac{\omega}{2} h^{2.47} \quad (2.16)$$

burada, ω = Keskin kenarlı üçgen savağın taban açısını (°) ifade etmektedir.

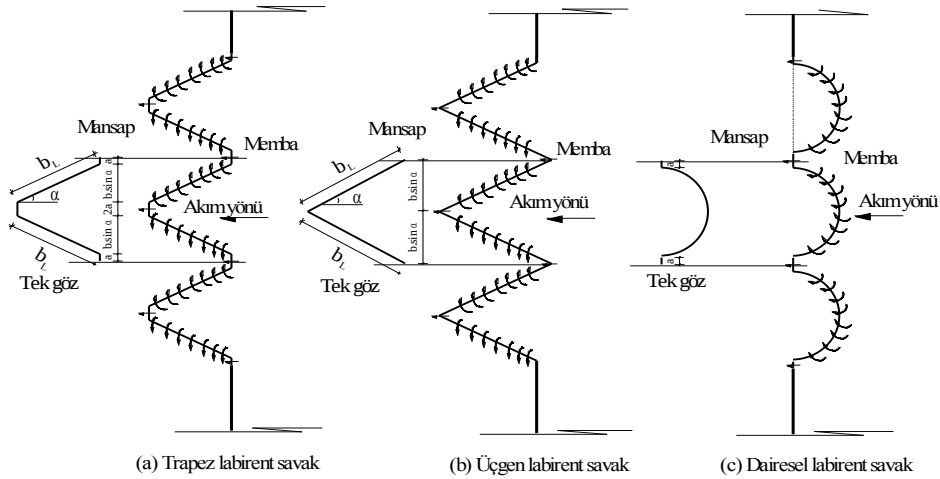
Birçok araştırmacının farklı Froude sayıları, farklı savak genişlikleri ve farklı yan savak kret yükseklikleri için, doğrusal kanallardaki nehir rejimli akımlar üzerine yaptıkları çalışmalarında elde ettikleri yan savak debi katsayısının (C_d), Froude sayısı ile değişimini veren bağıntılar Tablo 2.1’de verilmiştir [27].

Tablo 2.1. Doğrusal kanallara yerleştirilen dikdörtgen enkesitli yan savakların debi katsayısı için, araştırmacıların verdikleri eşitlikler

Kaynak	Debi Katsayısı (C_d) ile İlgili Denklemler
Nandesamoorthy vd. (1972)	$C_d = 0.432((2 - Fr_1^2)/(1 + 2Fr_1^2))^{0.5}$
Subramanya ve Awasthy (1972)	$C_d = 0.611 \sqrt{1 - \left(\frac{3Fr_1^2}{Fr_1^2 + 2}\right)} = 0.864 \left(\frac{1 - Fr_1^2}{2 + Fr_1^2}\right)^{0.5}$
Yu-Tech (1972)	$C_d = 0.623 - 0.222Fr_1$
Ranga Raju vd. (1979)	$C_d = 0.81 - 0.6Fr_1$
Hager (1987)	$C_d = 0.485 \left(\frac{2 - Fr_1^2}{2 + 3Fr_1^2}\right)^{0.5}$
Cheong (1991)	$C_d = 0.45 - 0.221Fr_1^2$
Singh vd. (1994)	$C_d = 0.33 - 0.18Fr_1 + 0.49 \left(\frac{p}{y_1}\right)$
Jalili ve Borghei, (1996)	$C_d = 0.71 - 0.41Fr_1 - 0.22 \left(\frac{p}{y_1}\right)$
Borghei vd. (1999)	$C_d = 0.7 - 0.48Fr_1 - 0.3 \left(\frac{p}{y_1}\right) + 0.06 \frac{L}{B}$
Swamee vd. (1994)	$C_d = 1.06 \left[\left(\frac{14.14p}{8.15p + y_1}\right)^{10} + \left(\frac{y_1}{y_1 + p}\right)^{15} \right]^{-0.1}$
Emiroğlu vd. (2011)	$C_d = \left[0.836 + \left(-0.035 + 0.39 \left(\frac{p}{y_1}\right)^{2.69} + 0.158 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.59} + 0.049 \left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.42} + 0.244Fr_1^{2.125} \right)^{3.018} \right]^{5.36}$

3. LABİRENT YAN SAVAKLAR

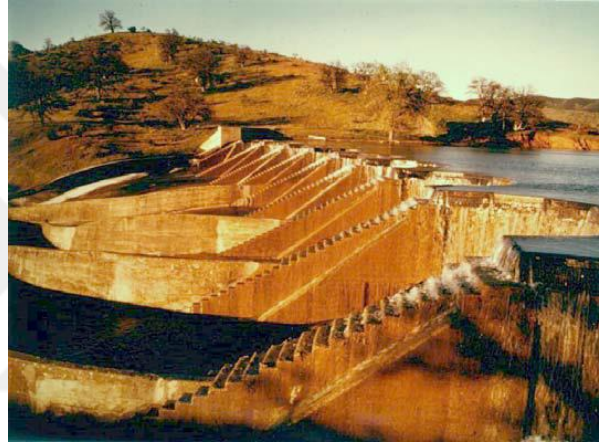
Dolusavakların deşarj kapasitelerinin artırılması için çözüm alternatiflerinden birisi de savağın kret uzunluğunu arttırmaktır. Bu da labirent veya çeşitli geometrik plan formlarına sahip savakların projelendirilmesi ile gerçekleştirilebilir. Labirent dolusavaklar ile dolusavak kretinin etkili uzunluğu arttırılarak, belirli bir göl seviyesinde savaklanabilen debinin arttırılması veya sabit bir debinin daha küçük kret su yükü ile geçirilmesi amaçlanmıştır. Bu savaklar; özellikle taşkın debisinin oluşturacağı rezervuar su seviyesi için membadaki alanın kısıtlı olduğu veya topografyanın dolusavak genişliğini sınırlandırdığı koşullarda avantajlar sağlayan bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Labirent savaklar; trapez, üçgen ve dairesel şekilli olarak inşa edilebilmektedir (Şekil 3.1). En çok tercih edilen tip, trapez şekilli tiptir. Labirent savaklar üzerinden geçen akımın debisini bulmak için (2.8) eşitliği kullanılmaktadır. (2.8) eşitliğindeki “ L ” mesafesi yerine toplam kret uzunluğu alınmalıdır. Debi katsayısı eşitlikleri, Tullis vd. (1995) tarafından sunulmuştur [5]. Bu eşitlikler trapez şekilli, ince kenarlı ve $\frac{1}{4}$ yuvarlatılmış kret şekli için geçerlidir. Araştırmacılar, debi katsayısı formülünü “ H_1/p ” değerine bağlı olarak vermişlerdir.



Şekil 3.1. Labirent savaklar [28]

Labirent tipindeki bir savak aynı bir trapez veya üçgen formda sürekliliğe sahip olan kırıklı bir savak planı olarak düşünülebilir. Böylece belirli bir genişlik için labirent

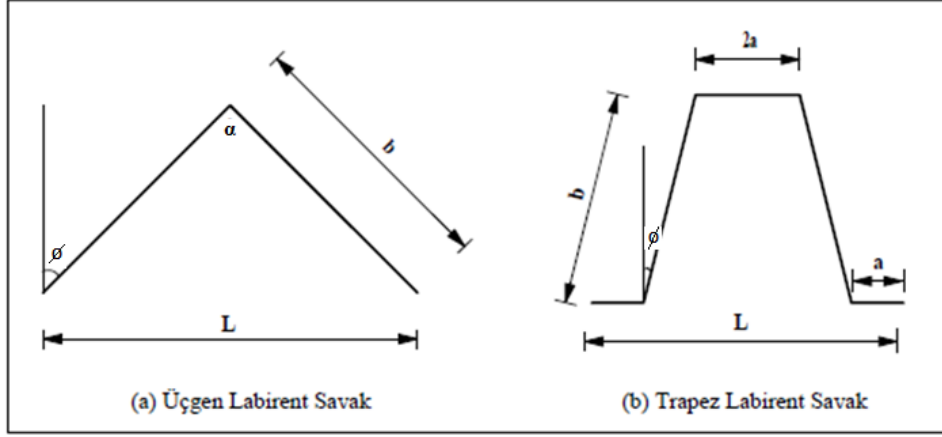
tipindeki savaklar doğrusal veya radyal olanlara nazaran daha uzun bir kret uzunluğuna sahip olurlar. Bu tip savaklar eşit bir toplam genişlik ve eşit su yükünde diğer savaklara oranla daha büyük debileri deşarj ederler veya aynı toplam genişlikte daha düşük su yükünde aynı debinin deşarjını sağlarlar. İkinci durumda barajın gövde yüksekliğinin azaltılması veya rezervuarın normal su seviyesinin yükseltilmesi avantajı sağlanabilmektedir. Labirent ismi savağın geometrik formundan gelmektedir. Labirent savaklar genellikle dolusavağa serbest akış olanağı tanıyacak şekilde bir ince duvar yapısı göz önüne alınarak projelendirilirler. Bu savaklara planda çeşitli formlar verilebilir. Şekil 3.2’de görülen labirent dolusavakta, her bir labirent gözü dairesel olarak tasarlanmıştır.



Şekil 3.2. East Park Barajı Labirent Dolusavağı, California [29]

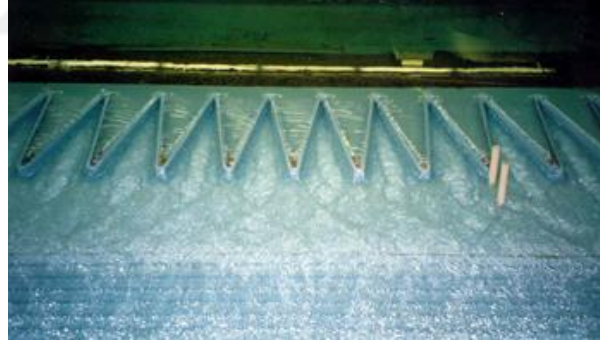
Labirent savaklarda kırıklı bölümler sabit bir genişlikte savak uzunluğunun artırılabilmesi olanağını sağlar. Labirent için herhangi bir geometrik şekil kullanılabilmesine rağmen, inşaat kolaylığı açısından çoğunlukla üçgen veya trapez şekiller tercih edilmektedir (Şekil 3.3).

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



Şekil 3.3. Üçgen ve Trapez Labirent Savakların Geometrik Şekilleri

Labirent savak üzerindeki akım koşulları lineer savaklara nazaran daha düzensizdir. Her bir kıvrımda birbirine yaklaşan savak geometrisi akımın büyük bir bölümünü savak kreti üzerinden bir açı ile geçmeye zorlar. Bu durum, aynı zamanda savak kreti boyunca su yükü farklılıkları yaratmaktadır. Akım savak kıvrımları arasından geçerek kret üzerinden kanala geçtiğinde mansapta girişime başlamaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Labirent Savakların Mansabındaki Akımın Görünüşü [29]

Bir labirent savağın projelendirilmesi için aşağıda verilen lineer bir savağın temel eşitliği kullanılabilir. Debi katsayıları (C_d), (3.1) eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır.

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

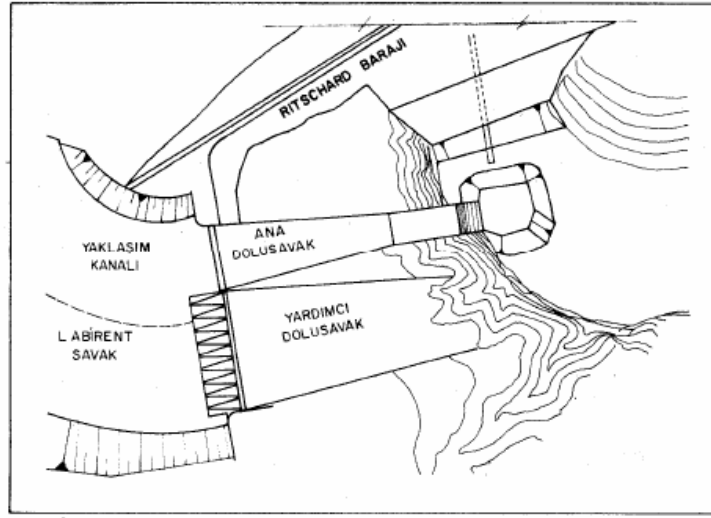
Debi katsayısı verilirken formüldeki $2/3$ çoğu zaman C_d 'nin içerisinde verilmektedir. Yani formül, $Q = C_d \sqrt{2g} L h^{3/2}$ şeklinde verilmektedir.

3.1. Labirent Savakların Uygulamaları

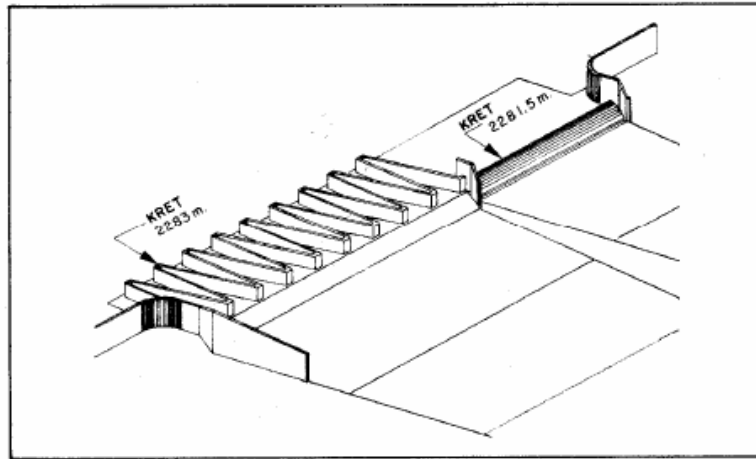
3.1.1.Ritschard Barajı (ABD)

Labirent tipi dolusavakların büyük debileri daha küçük su yüklerinde geçirebilme özellikleri, bu tip yapıların birçok yerde uygulama alanı bulması sonucunu doğurmuştur. Labirent dolusavaklar genellikle baraj dolusavakları olarak uygulanmıştır. Bu tip dolusavaklar daha çok arazide dolusavağın yerleştirileceği bölgenin genişliğinin kısıtlı olduğu veya rezervuardaki taşkın öteleme hacminin kısıtlı olduğu bölgeler için uygun olmaktadır. Kapaklı dolusavak tiplerine nazaran daha düşük maliyeti olan bu dolusavaklar aynı zamanda kontrolsüz dolusavaklarla kıyaslandıklarında dolusavağın eşit kret kotlarında baraj gövdesi kret kotunun düşürülmesine olanak tanımaktadır. Bunun yanı sıra, gövde kret kotunun eşit olduğu durumda ise klasik kontrolsüz dolusavaklara oranla rezervuarın aktif depolama kapasitesinin artırılmasına olanak tanımaktadır. Labirent dolusavaklar kapaklı dolusavaklara nazaran daha güvenilir ve düşük maliyetli işletme olanağı sağlamaktadır [30].

Labirent savaklar yardımcı dolusavak uygulamalarında en uygun tipi oluşturmaktadır. Bu tip savaklar, baraj yeri topografyası dolusavak genişliğini kısıtladığında özellikle önem kazanırlar ve genellikle küçük bir servis dolusavağı ile birlikte kullanılırlar. Bu yaklaşım ABD’de Ritschard Barajı projesinde kullanılmıştır (Şekil 3.5). Labirentin kreti servis dolusavağı ogee kretinden 1.5 m yüksekte projelendirilmiştir. Kret seviyeleri arasındaki 1.5 m’lik fark yardımcı dolusavağın 100 yıllık taşkın debilerinden daha küçük debi değerlerinde işletme dışı olması amacıyla seçilmiştir (Şekil 3.6). Labirent tipi yardımcı dolusavak, az olan işletme olasılığından dolayı kaplamasız bir kaya kanal içine inşa edilmiştir [30].

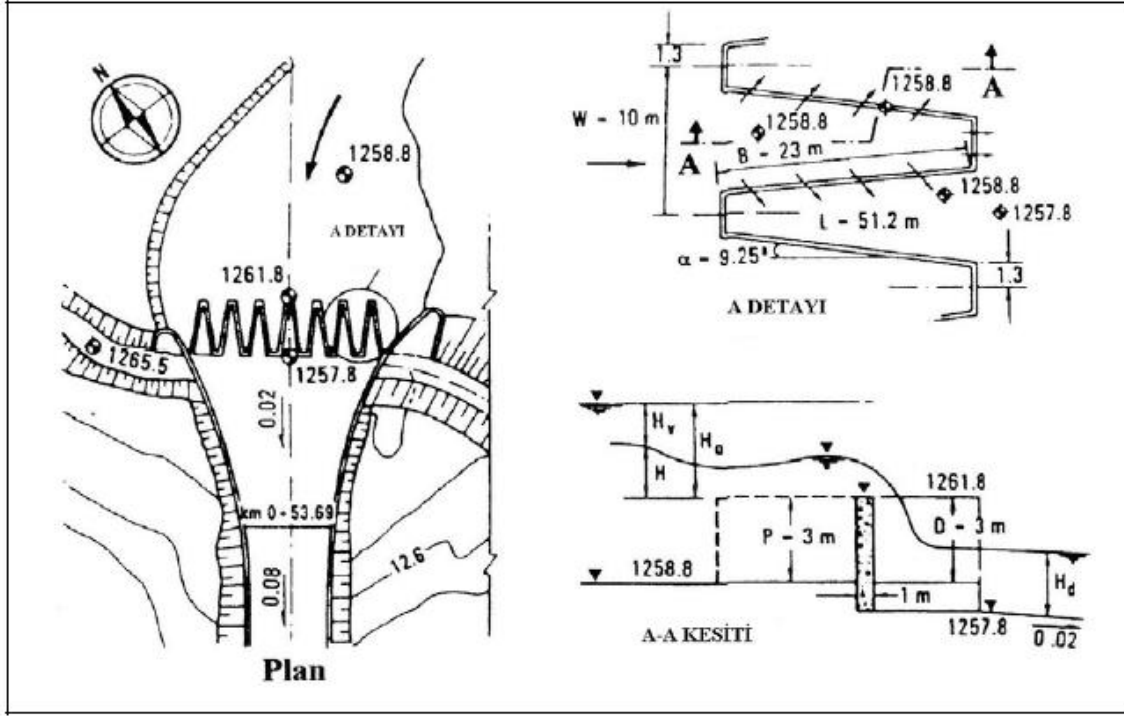


Şekil 3.5. Ritschard Barajı Dolusavak Genel Yerleşim Planı [31]



Şekil 3.6. Ritschard Barajı Ana Dolusavak ve Labirent Tipi Yardımcı Dolusavağı [31]

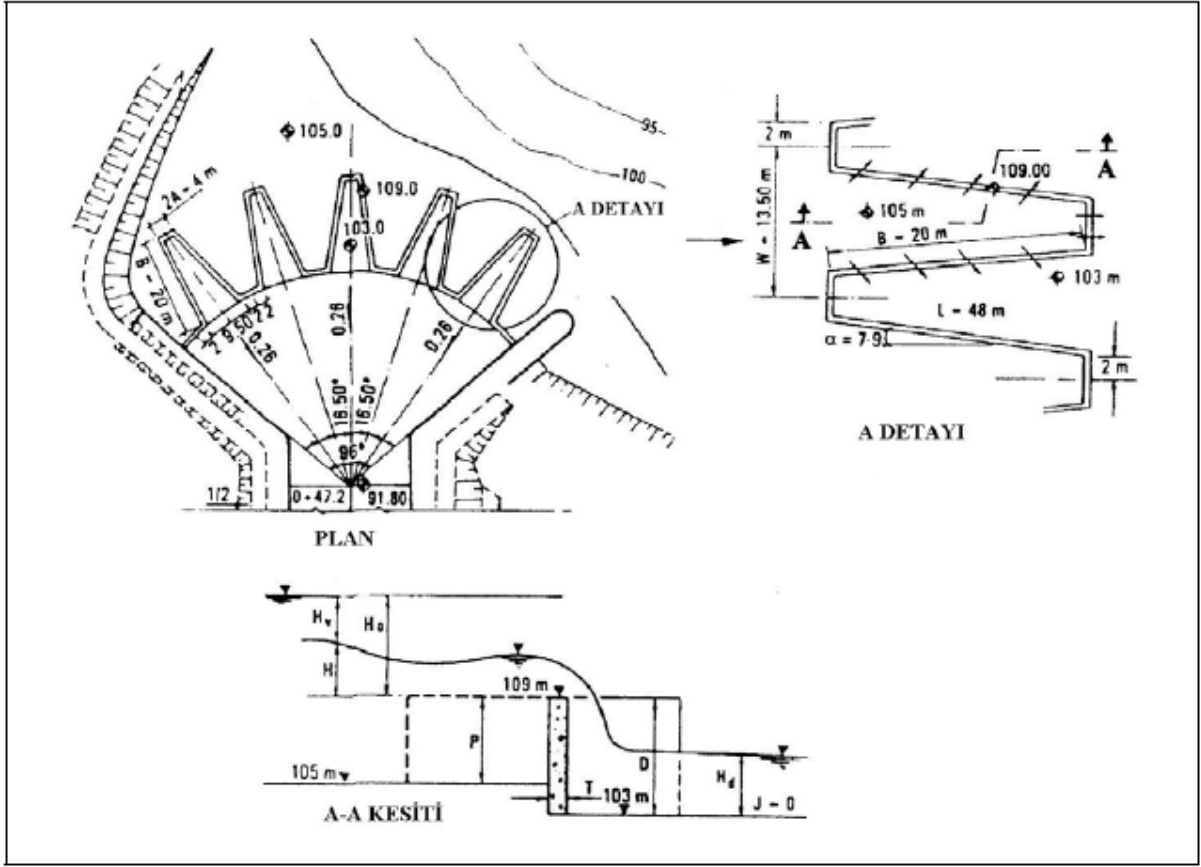
3.1.2.Sarıoğlan Barajı (Türkiye)



Şekil 3.7. Sarıoğlan Barajı Labirent Tipi Dolusavak Yerleşim Planı, Kesit ve Detayı [32]

Sarıoğlan Barajı, Kayseri yakınlarında olup Kestuvan suyu ile Düzençik çayı üzerinde sulama amacı için inşa edilmektedir. Baraj homojen toprak dolgu tipindedir. Kret kotu 1265.50 m, kret uzunluğu 1783.535 m, kret genişliği 10.00 m, talveg kotu 1234.30 m, temel kotu 1227.50 m, temelden yüksekliği 38.00 m'dir. Barajın deşarj kapasitesi 490.70 m^3/s 'dir [30].

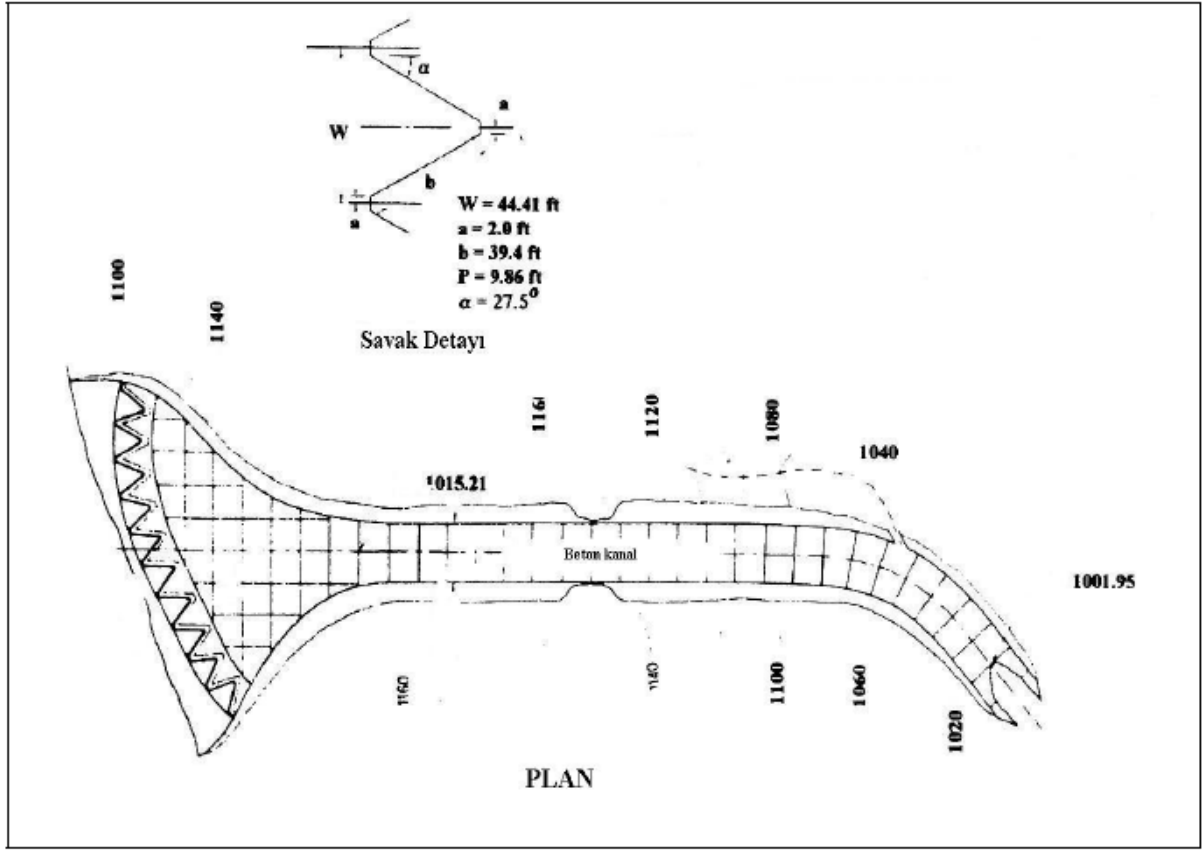
3.1.3. Kızılcapınar Barajı (Türkiye)



Şekil 3.8.Kızılcapınar Barajı Labirent Dolusavak Yerleşim Planı, Kesit ve Detayı [32]

Erdemir Su Temini Projesi Kızılcapınar Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Zonguldak ili Ereğli ilçesi Kızlar çayı üzerindedir. Endüstri, içme suyu mini, sulama ve enerji üretimi amaçları için inşa edilmektedir. Baraj kaya dolgu tipindedir. Kret kotu 117 m, kret uzunluğu 263 m, kret genişliği 10 m, talveg kotu 63 m, talvegden yüksekliği 53 m ve temel kotu 57 m'dir. Barajın deşarj kapasitesi $2270 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir [30].

3.1.4. Avon Barajı (Avusturalya)

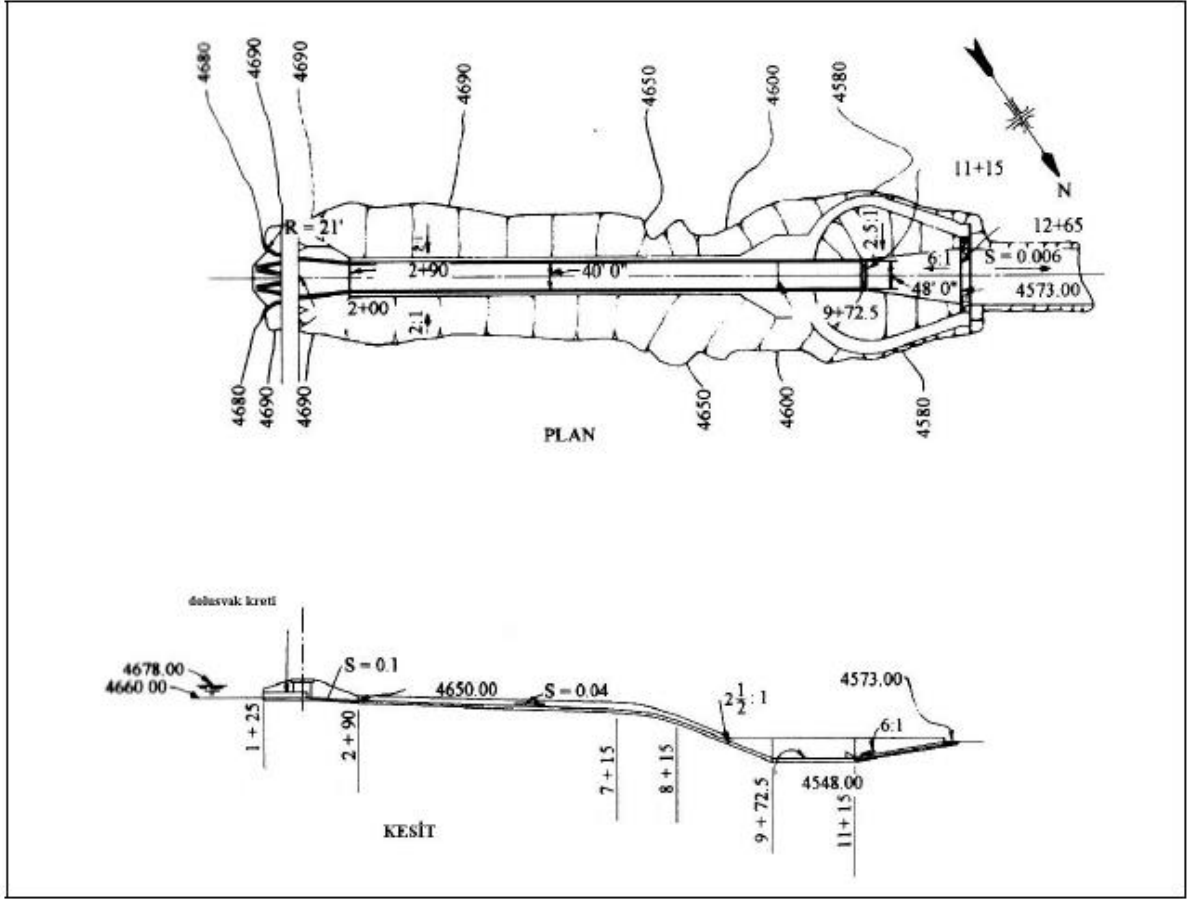


Şekil 3.9. Avon Barajı Labirent Dolusavak Yerleşim Planı ve Savak Detayı [32]

Avon barajı Avustralya’da 1927 yılında tamamlanmıştır. 27 m yüksekliğinde kargir olarak inşa edilen baraj 146 m uzunluğunda fan şeklinde bir dolusavağa (fan shapeweir) sahiptir. Dolusavağın maksimum debisi $756 \text{ m}^3/\text{s}$ olup bu debide kret üzerindeki su yükü 2.80 m’dir [30].

Bu baraj için, daha sonra yapılan hidrolojik çalışmalar, olası taşkın debisinin projelendirilmede kullanılan değerden çok yüksek olduğunu ortaya çıkarmıştır [33]. Yapılan hidrolik model çalışmaları sonunda, orijinal savağın yerine aynı genişlikte bir labirent savak yerleştirilmesine karar verilmiştir. 1970 yılında yapılan labirent savak 265 m toplam uzunluğa sahip olup, on gözden oluşmuştur. Yapılan hidrolik model çalışmalarında bu savağın 2.8 m’lik su yükünde $1970 \text{ m}^3/\text{s}$ ’lik debiyi deşarj ettiği belirlenmiştir. Bu değer aynı su yükünde orijinal savaktan geçen debinin 2.3 katına karşılık gelmektedir.

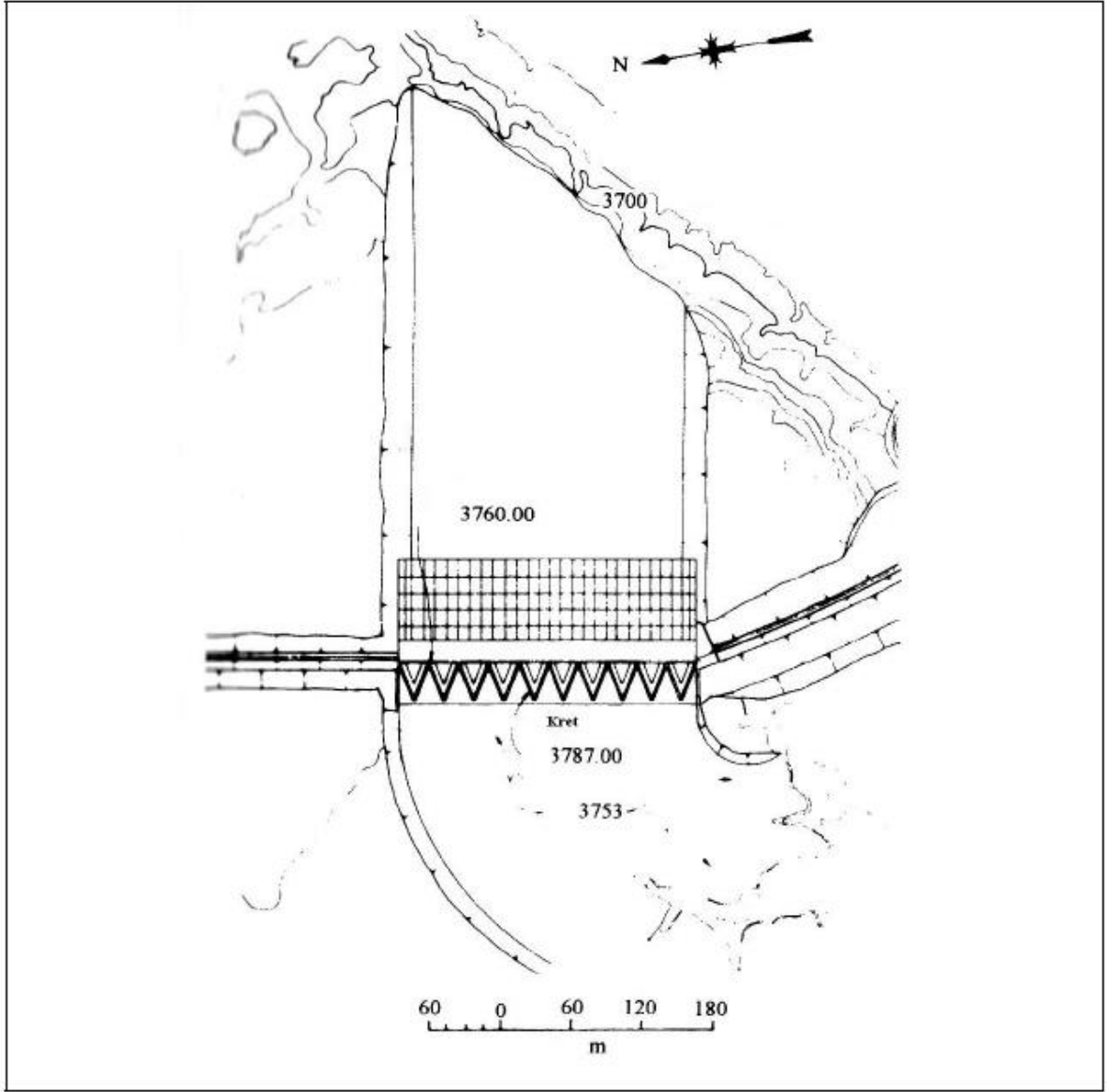
3.1.5. Hyrum Barajı (A.B.D)



Şekil 3.10. Hyrum Barajı Labirent Dolusvağı Yerleşim Planı ve Kesiti [32]

ABD'nin Utah eyaletinin Little Bear nehri üzerinde bulunan Hyrum Barajı, 1935 yılında tamamlanmıştır. Baraj dolusavağı 15 m genişliğinde kapaklı bir dolusavaktır. Dolusavak proje debisi $160 \text{ m}^3/\text{s}$, dipsavak deşarj kapasitesi ise $8.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir [30]. Rezervuar taşkın debisinin 1981 yılında revize edilmesinden sonra mevcut yapının bu debiyi deşarj edemeyeceği anlaşılmıştır. Bazı alternatifler üzerine yapılan çalışmalar sonunda, labirent tipi yardımcı dolusavağın en ekonomik alternatif olduğuna karar verilmiştir. Bu dolusavağın hidrolik model çalışmaları yapılarak savağın iki açıklıklı, 18.20 m toplam genişlikte, 91.40 m toplam uzunlukta yapılması önerilmiştir. Söz konusu savağın $256 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik debiyi 1.68 m su yükü ile deşarj ettiği belirlenmiştir [34].

3.1.6. Ute Barajı (A.B.D)



Şekil 3.11. Ute Barajı Labirent Dolusavağı Yerleşim Planı [32]

37 m yüksekliğinde ve toprak dolgu tipindeki baraj, ABD'nin New Mexico eyaletinde 1962 yılında tamamlanmıştır. Barajın dolusavağı doğrusal ve ogee profiline sahip olup, 265 m uzunluğundadır. Dolusavak daha sonra üzerine kapak yerleştirmeye uygun olarak projelendirilmiştir. Ancak birkaç sene sonra rezervuar depolama kapasitesinin artırılması için kapak yerleştirilmesine ihtiyaç duyulduğunda, kapak maliyetinin 30 milyon dolar olduğu tespit edilmiş ve bu miktar kabul edilmeyecek oranda yüksek bulunmuştur. Yapılan

araştırmalar sonunda, baraj gövdesinin 3.35 m yükseltilmesi ve mevcut dolusavağın yerine labirent tipi dolusavak inşa edilmesinin en ekonomik çözüm olacağı belirlenmiştir [35]. Bu düzenlemelerin toplam maliyetinin yaklaşık 10 milyon dolar olacağı hesaplanmıştır. Yapılan hidrolik model çalışmaları sonunda, mevcut dolusavağın yerine 256 m genişliğinde, 14 gözü bulunan ve toplam uzunluğu 1024 m olan bir labirent savak projelendirilmiş ve inşaatı da 1983 yılında tamamlanmıştır [36]. Bu labirent dolusavağın 1557 m³/s'lik debiyi 5.79 m'lik su yükü ile geçirdiğı tespit edilmiştir.



Şekil 3.12. Labirent Dolusavak

4. DENEY DÜZENİĞİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, ince kenarlı yan savakların (klasik savaklar) yerine labirent yan savaklar kullanılmış olup, üçgen labirent yan savaklarda farklı kret uzunluklarının debi deşarj kapasitesi üzerine etkisi deneysel olarak detaylı bir şekilde incelenmiş ve literatürdeki verilerle karşılaştırma yapılmıştır. Yan savak debi katsayısının hesaplanmasında farklı metotlar kullanılabilir. Bu çalışmada, De Marchi metodu kullanılarak farklı kret uzunlukları için bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney modelinden elde edilen veriler kullanılarak, debi katsayısının hem Froude sayısına (Fr) ve hem de boyutsuz nap yükü değerine $[(y_1-p)/p]$ göre değişimleri incelenmiştir.

Bu bölümde deney kanalı ve yapılacak olan deneysel çalışma izah edilecektir.

4.1. Deney Düzenliği

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarındaki mevcut deney setine ilaveler yapılarak yürütülmüştür. (Şekil 4.3). Setteki açık kanal, bir ana kanal ve bir adet toplama kanalından oluşmaktadır. Ana kanal 0.50 m genişliğinde ve 0.50 m yüksekliğindedir. Toplama kanalı 0.50 m genişliğinde 0.70 m yüksekliğindedir. Yan savakların yerleştirileceği kısımların karşısındaki toplama kanalı genişliği 1.30 m yarıçapında daire şeklinde inşa edilmiştir. Bunun nedeni labirent yan savaktan su savaklanırken serbest naplı ve akıma herhangi bir müdahale olmaması içindir.

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

Deney kanalı sırasıyla aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

4.1.1. Su temin borusu ve debimetre

Su temin borusunun çapı 10 inç'tir. Ana su temin borusundan yaklaşık 210 L/s debi alınabilmektedir. Laboratuvarımızda mevcut su temin sisteminde iki adet tank vardır. Biri bodrum katta diğeri üçüncü kattadır. Bodrum kattaki tank 100 m³ ve üst kattaki tank ise 50 m³ kapasitelidir. Üst kattaki tank üzerinde bir dolusavak yapılmıştır. Bu şekilde deney süresince su seviyesi sabit tutulmaktadır. Bu tanka bodrumdaki tanktan su basan üç adet pompa mevcuttur. Bunların her biri yaklaşık 77 L/s su basabilmektedir. 75 L/s'ye kadar tek pompa, sonraki debiler için ise iki veya üç pompa çalıştırılmaktadır.

4.1.2. Deney kanalını besleyen dinlendirme havuzu

Kanalı besleyen dinlendirme havuzu üç bölmeden oluşmaktadır. Bunlar üzerinde sakinleştiriciler yerleştirilmiştir. Boyutları Şekil 4.3'te verilmiştir. Havuzun sonunda ise, debi ölçümü amacıyla 90° keskin kenarlı bir üçgen savak yerleştirilmiştir. Savağın tepe noktasının, havuz tabanından yüksekliği 0.95 m dir. Debi ölçümü debimetre ile yapıldığından üçgen savak sadece karşılaştırma için ilk aşamalarda kullanılmıştır.

4.1.3. Savaktan sonraki dinlendirme havuzu

Üçgen savaktan kanala akan su, 1.00x0.90 m boyutunda ikinci bir dinlendirme havuzunda dinlendirilmiştir. Bu havuzun, su giriş ve çıkışında sakinleştiriciler mevcuttur.

4.1.4. Yaklaşım kanalı

Yaklaşım kanalı 4.50 m'lik doğrusal giriş kanalı, 0.80 m geçiş kanalı ve 9.00 m uzunluğunda ve 0.50x0.50 m enkesitli doğrusal ana kanaldan oluşmaktadır.

4.1.5. Kıvrımlı kanal

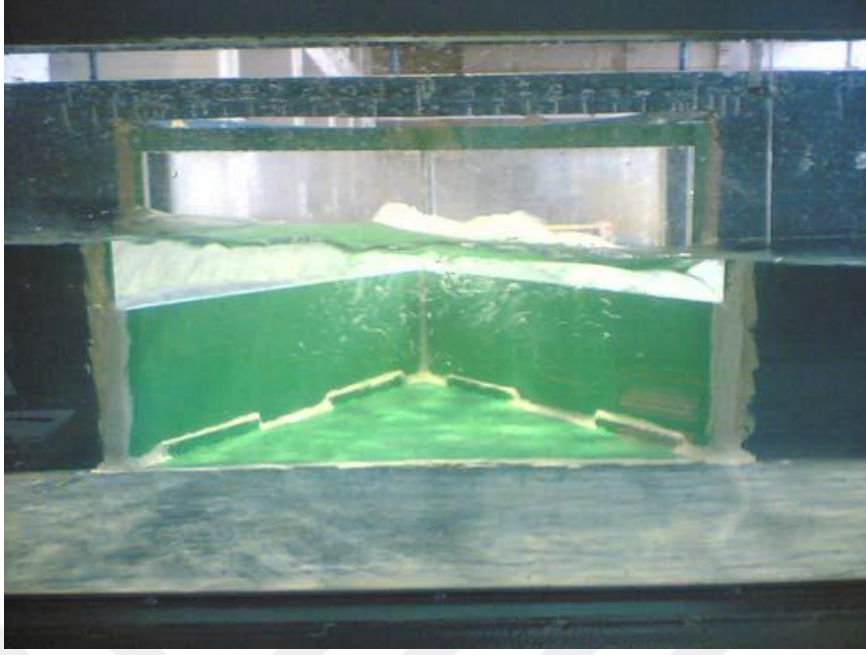
Kıvrımlı kanal, $r_e=3$ m eksen yarıçaplı ve 180° 'lik kıvrımlı kanal kısmından oluşmaktadır. Kıvrımlı kanal üzerine 30° , 60° , 90° , 120° ve 150° 'lik kıvrım merkez açılarına yan savakların yerleştirileceği özel kapaklar inşa edilmiştir. Bu çalışmada sadece 30° kıvrım açısı kullanılmıştır.

4.1.6. Doğrusal çıkış kanalı

Doğrusal çıkış kanalı 3 m uzunluğundadır. Toplama kanalı sonuna bir dikdörtgen savak yerleştirilmiştir. Bu kısımda iki adet sakinleştirici mevcuttur. Doğrusal kanalın ana kanal sonunda iki parçalı ve düz seviye ayar kapağı yerleştirilmiştir. Bu kapakların boyutları 0.25×0.50 m'dir. Sakinleştirici olarak tuğlalardan da yararlanılmıştır.

4.1.7. Yan savak ayırma duvarı

Ana kanal dış duvarı, 5 mm'lik sac malzemeden imal edilmiştir. Üst kısmı kutu profile tutturulmuştur. Bu duvar üzerinde kıvrım girişinden 365 cm membasında ve kıvrım kısmında 30° , 60° , 90° , 120° ve 150° 'lik daire yaylarını görecektir şekilde yan savak yerleri hazırlanmıştır. Bu kısımlara kapaklar imal edilmiştir. Hangi kısımda çalışılacaksa o kapak çıkartılmakta ve yerine çalışılacak yan savak yerleştirilmektedir. Doğrusal ve 30° kıvrımlı yan savak bölgesinde 0.25, 0.50 ve 0.75 m uzunluğunda, 0.12, 0.16 ve 0.20 m kret yüksekliğinde, 45° , 90° ve 150° kıvrım açılarına sahip üçgen labirent savaklar ile doğrusal yan savak bölgesinde 0.50 m uzunluğunda, 0.16 m kret yüksekliğinde, $\emptyset = 16^\circ$ açısına sahip trapez labirent yan savak boyutu çalışılmıştır.



Şekil 4.1. Labirent yan savak üzerindeki akım

4.1.8. Toplama kanalı

Yan savaklardan savaklanan su toplama kanalı ile uzaklaştırılmaktadır. 0.50x0.70 m enkesitinde olan bu toplama kanalı 9 m doğrusal kısım, 3.50 m eksen yarıçapına sahip 180° lik daire yay parçası ve 3 m lik doğrusal çıkış kanalından ibarettir. Toplama kanalının sonuna 0.50 m genişlikli ve 0.0705 m eşik yükseklikli bir dikdörtgen savak yerleştirilerek savaklanma debisi belirlenmiştir. Bunun içi dikdörtgen savaktan 40 cm ötede bir elektronik limnimetre (± 0.01 mm hassasiyetli) sabit olarak yerleştirilmiştir.

4.1.9. Boşaltım havuzu

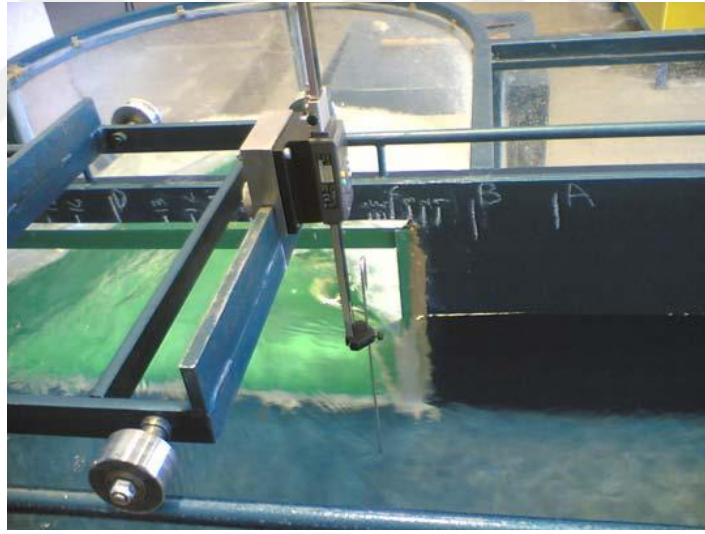
Ana kanal ve toplama kanalından dökülen su boşaltım havuzuna dökülmektedir. Bu kısımdaki su seviyesini düşük tutmak ve batık akım oluşumunu önlemek amacıyla bu kısım Şekil 4.3'teki gibi tasarlanmıştır.

4.1.10. Boşaltım havuzuna bağlı kanal

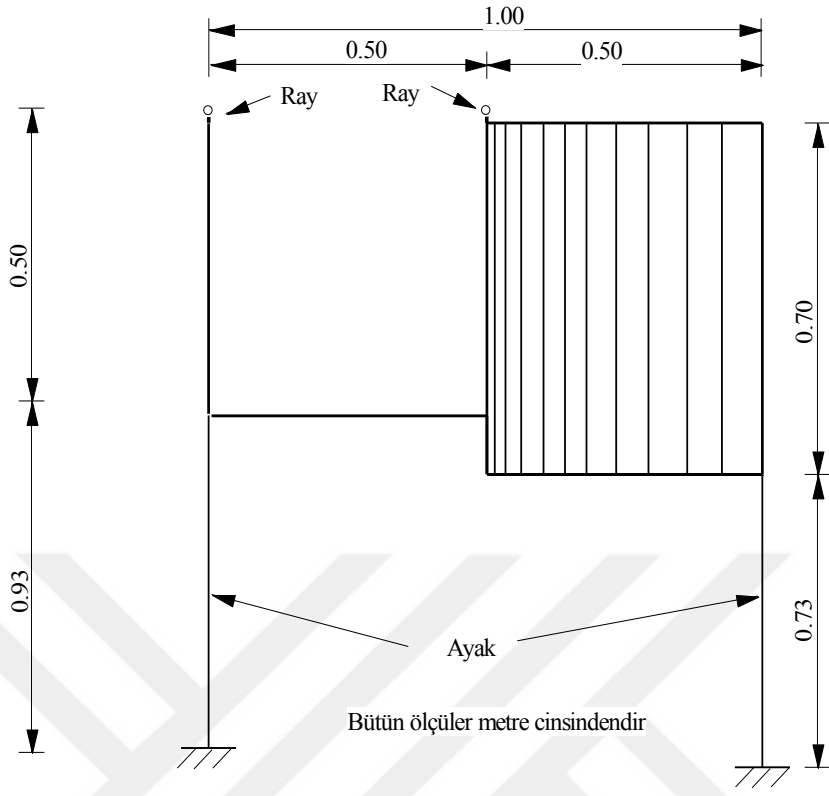
Boşaltım havuzundaki suyu ana tahliye kanalına veren taban eğimi büyük bir kanal inşa edilmiştir. Bu kısımda taban eğimi büyük olduğundan akım sel rejiminde olmakta ve boşaltım havuzunda suyun kabarması önlemektedir. Böylece, dikdörtgen savaktan savaklanan su serbest naplı olarak dökülmektedir.

4.1.11. Hareketli seviye ölçüm arabası

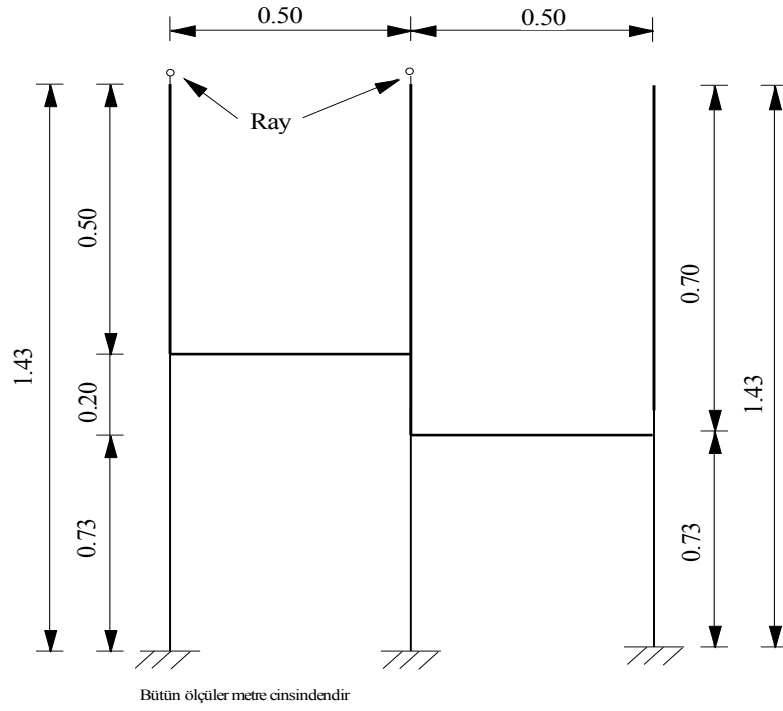
Ana kanal ve yan savak üzerindeki seviye ölçümleri raylar üzerinde hareket eden arabaya monte edilmiş elektronik limnimetre (± 0.01 mm hassasiyetli) ile yapılmıştır. Araba hem doğrusal kısımda ve hem de kıvrımlı kısımda rahatlıkla hareket edecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece, hem x ve hem de y doğrultusunda okumalar alınabilmektedir (Şekil 4.2).



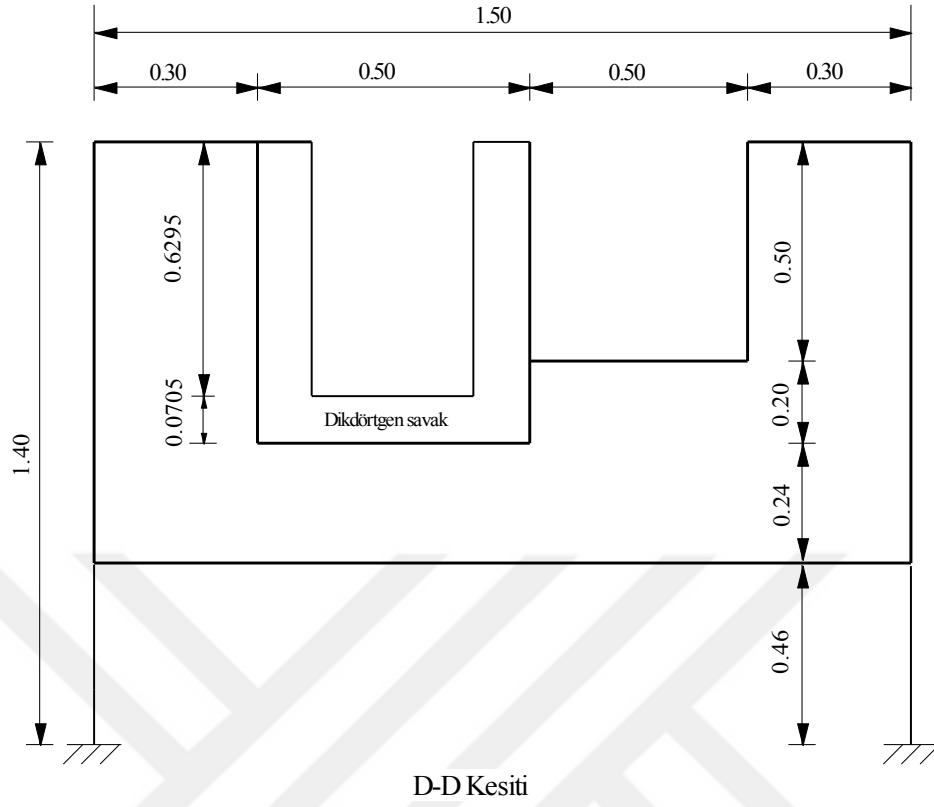
Şekil 4.2. Hareketli seviye ölçüm arabası



B-B Kesiti



C-C Kesiti



Şekil 4.3. Deney seti plan ve kesitleri, tüm ölçüler metre cinsindendir [27].

Fırat Üniversitesi hidrolik laboratuvarında devir-daim sistemine bağlı iki adet tank mevcuttur (Şekil 4.4). Bunlardan biri bodrum kattaki 100 m³'lük tank, diğeri ise 50 m³'lük üst kattaki tanktır. Üst kattaki tank üzerinde bir taşıma savağı vardır. Bu savak yardımı ile bu tanktaki su seviyesi sabit tutulmaktadır.



Üst kattaki depo



Bodrum kattaki depo

Şekil 4.4. Hidrolik laboratuvarındaki tanklar

Bodrum kattaki tanka bağılı üç adet 22 kW'lık pompa bağılıdır (Şekil 4.5). Bu pompaların her biri üst kattaki depoya yaklaşık 77 L/s lik debi basabilmektedir. Kıvrımlı kanal setinin çıkışındaki su bodrum kattaki depoya akmakta, buradan da pompalar yardımı ile üst kattaki depoya tekrar basılmaktadır.



Şekil 4.5. 22 kW'lık Pompalar

4.2. Giriş Debisinin Ölçülmesi

Giriş debisi Siemens marka elektromanyetik bir debimetre kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 4.6). Debiler L/s cinsinden ölçülmüştür. Ayrıca, 90° ince kenarlı bir savak ile elde edilen debilerle karşılaştırılmıştır.



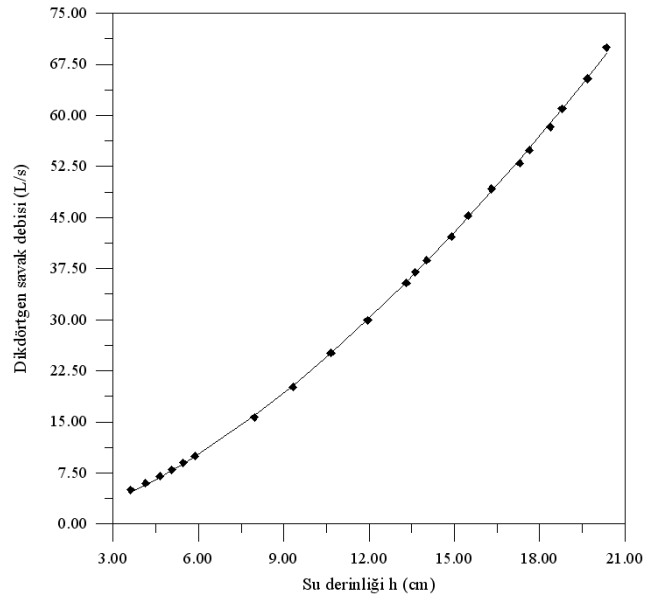
Şekil 4.6. Giriş debisini ölçen elektromanyetik debimetre



Şekil 4.7. Giriş debisinin ayarlandığı debimetrenin ön kısmındaki vana

4.3. Toplama Kanalı Sonundaki Dikdörtgen Savak Anahtar Eğrisi

Dikdörtgen savak anahtar eğrisi, ana kanaldaki akımın tamamı, toplama kanalına verilerek belirlenmiştir. Elektromanyetik debimetreden okunan debiler ve dikdörtgen savak üzerindeki nap kalınlığı ölçülerek, elde edilen anahtar eğrisi Şekil 4.8’de verilmiştir. Toplama kanalı sonundaki dikdörtgen savak için elde edilen (4.1) eşitliğinde verilmiştir [27].



Şekil 4.8. Dikdörtgen savak anahtar eğrisi

$$Q_w = 0.619356 \times h^{1.564577} \quad (4.1)$$

burada, Q_w = Toplama kanalı sonundaki dikdörtgen savaktan savaklanan debiyi (L/s),
 h = Nap yükünü (cm) ifade etmektedir.

4.4. Çalışmada Kullanılan Debi Katsayısı Belirleme Yöntemi

4.4.1. De Marchi Yaklaşımı

De Marchi debi katsayısını belirlemek için, yan savak boyunca özgül enerjinin sabit kaldığını varsayarak teorik bir çalışma yapan ilk araştırmacılar arasında yer almaktadır. Su yüzü diferansiyel denkleminin kapalı çözümü için ilk kez De Marchi (1934) tarafından bir yaklaşım geliştirilmiş ve (4.2) eşitliği elde edilmiştir.

$$C_d = \frac{3B}{2L} (\Phi_2 - \Phi_1) \quad (4.2)$$

(Φ_i) için geçerli olan eşitlik, (4.3) bağıntısında sunulmuştur [17].

$$\Phi_i = \frac{2E_i - 3p}{E_i - p} \sqrt{\frac{E_i - y_i}{y_i - p}} - 3 \sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{E_i - y_i}{y_i - p}} \right) \quad (4.3)$$

4.5. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada hem doğrusal kanalda ve hem de kıvrımlı kanalda deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deney setinin uzunluğu 18.20 m'dir. Labirent yan savak teknesi ile ana kanal kotu aynı seviyededir. Ana kanalın ve toplama kanalının genişliği 0.50 m ve eğimleri 0.001'dir. Deneylerde üçgen ve trapez labirent yan savaklar kullanılmıştır. Üçgen ve trapez labirent yan savaklar, tam gelişmiş akım koşullarını sağlayacak şekilde, kanalın giriş kısmından belli bir mesafe sonra bırakılmıştır. Deney kanalı net 9 m doğrusal kısımdan ve 3 m eksen eğrilik yarıçapına sahip toplam 100 cm genişliğinde kıvrımlı kanal ve kıvrımdan sonra net olarak 3 m'lik doğrusal kanalda gerçekleştirilmiştir. Yan savakların yerleştirildiği kısımların karşısında toplama kanalı daha geniş inşa edilmiştir (Şekil 4.9). Bunun nedeni labirent yan savaktan serbest savaklanmayı temin etmek ve üçüncü boyutu olan labirent savakları yerleştirebilmektir.



Şekil 4.9. Yan savağın karşısında toplama kanalı

Doğrusal kanalda yan savağın yeri, kıvrımdan etkilenmeyecek şekilde kıvrımdan yeterinde uzakta seçilmiştir. Ayırma duvarının üzerinde çeşitli kret yüksekliklerinde ve uzunluklarında labirent yan savaklar yerleştirilmiştir. Deneyler nehir rejimli ve kararlı akım şartlarında ve serbest savaklanma hali için gerçekleştirilmiştir. Kararlı akım şartlarını sağlamak için, kanalın memba kısmına ve toplama kanalının sonundaki uygun kısımların önüne delikli tuğlalar bırakılmıştır. Yan savak nap kalınlığı (nap yükü) olarak, yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliğine göre elde edilen nap kalınlığı dikkate alınmıştır. Literatürdeki birçok çalışmada bu şekilde alınmıştır [37,38]. Özellikle prototip çalışmaları için uygun olmayan yüzeysel gerilme etkilerini minimize etmek amacıyla, minimum nap yüksekliği 30 mm alınmıştır. Parmley (1905) [13], Coleman ve Smith (1923) [15] minimum nap yükünün 19 mm'den az olmaması gerektiğini ifade etmişlerdir. Deneyler, önce doğrusal kanalda $L=25$, 50 ve 75 cm savak uzunluğuna sahip, $p=12$, 16 ve 20 cm kret yüksekliklerinde, $\alpha=45^\circ$, $\alpha=90^\circ$, $\alpha=150^\circ$ labirent savak kıvrım tepe açıları için yapılmıştır. Daha sonra kıvrımlı kanalda $\theta=30^\circ$ kıvrım merkez açısında, doğrusal kanalda yapılan tüm deneyler burada da yapılmıştır. Ayrıca doğrusal kanalda $L=50$ cm savak uzunluğunda, $p=16$ cm kret yüksekliğinde, $\phi=16^\circ$ yan duvar açısı için trapez labirent yan savak kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde debi değerleri 7 ve 145 L/s arasında, Froude sayısı ise 0.07 ile 0.95 arasında değişmiştir. Çalışmada, üçgen labirent yan savaklar kullanılarak üç farklı levha boyutuyla birlikte savak uzunluğunun kapatıldığı (dolayısıyla kısaltıldığı) durumlar için deneyler yapılmıştır. Ayrıca memba ve mansap

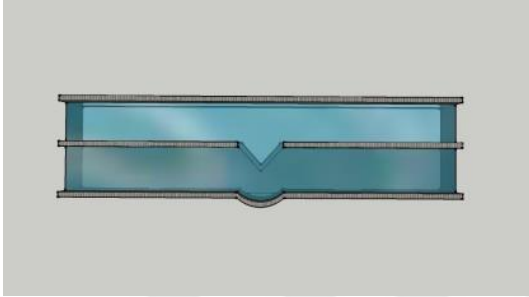
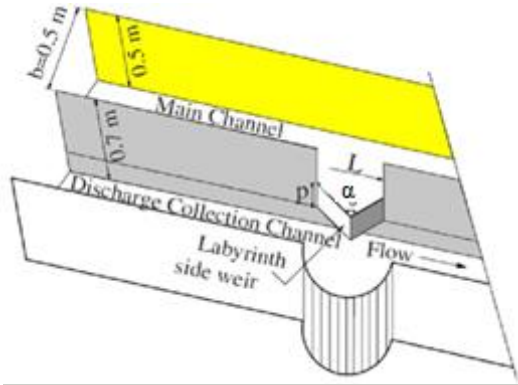
uçlarındaki özgül enerjiler dikkate alındığında rölatif özgül enerji değeri %4'ten oldukça küçük olduğundan De Marchi yaklaşımı da güvenle kullanılmıştır.

Tablo 4.1'de üçgen labirent yan savaklar için test değişkenleri aralığı ve labirent yan savak gösterim ve noktaları gösterilmiştir. Doğrusal kanaldaki labirent yan savak akışının iyi bir fiziksel tanımlamasının ardından labirent yan savak akış oranları, farklı Froude sayısı, farklı p/y_1 oranı, farklı L_{ef}/L oranının debi katsayısı üzerindeki değişimini göstermek amacıyla bir dizi deneyler yapılmıştır.

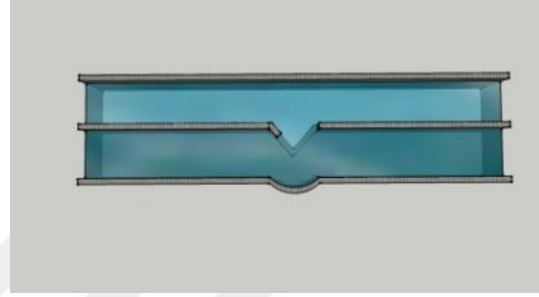
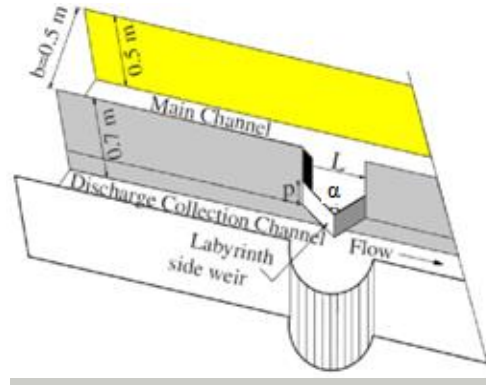
Tablo 4.1. Üçgen Labirent Yan Savak İçin İncelenen Değişken Aralığı

Değişkenler	Arahklar
Kanal genişliği, B (m)	0.50
Savak açıklık uzunluğu, L (m)	0.25, 0.50, 0.75
Yan savak derinliği, d (m)	0.3018, 0.6035, 0.9053
Labirent yan savağın toplam savak kret uzunluğu, ℓ (m)	0.3266, 0.6533, 0.9799
Savak yüksekliği, p (m)	0.12, 0.16, 0.20
Kanal tabanının eğimi, J_o (-)	0.001
Ana kanal debisi, Q_1 (m ³ /s)	0.007-0.145
Memba froude sayısı, Fr (-)	0.07-0.95
Memba akım derinliği, y_1 (m)	0.15-0.28
Üçgen labirent yan savak tepe açısı, α (-)	45°, 90°, 150°

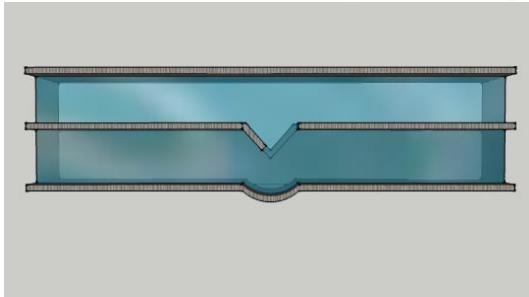
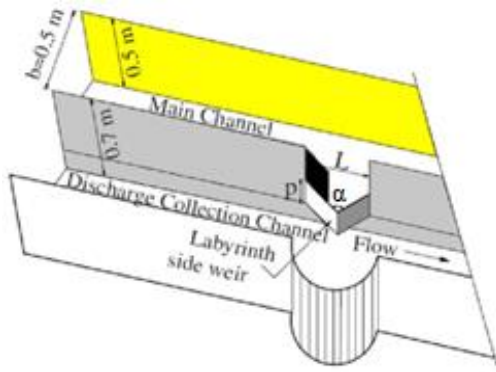
İlk olarak, üç farklı kret yükseklikli yan savak için kret uzunlukları üç aşamalı (1/3, 2/3, 3/3) olarak kapatılıp eksen ve kıyı şeridinde derinlik okumaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.10'da gösterildiği gibi, memba kret uzunluğu levhalar yardımı ile kapatılmıştır. Levhalar 3 mm kalınlığında çelik malzemeden yapılmış olup korozyona karşı boyanmıştır. Emiroğlu vd. [8] tarafından kret uzunluğunun tam açık hali için yapılan deneylerin verileri alınarak grafikler çizilip kıyaslamalar yapılmıştır ($p = 0.12, 0.16$ ve 0.20 m).



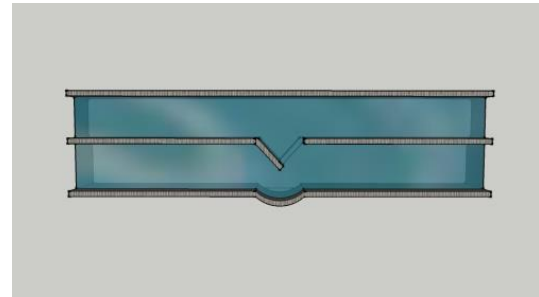
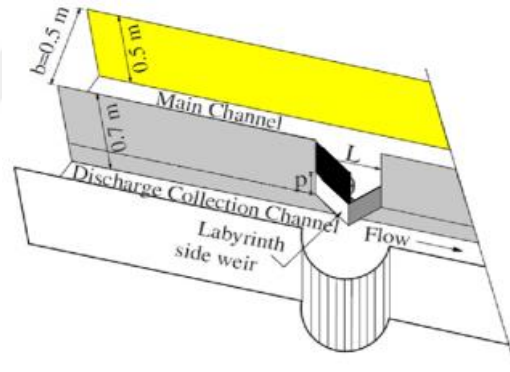
(a). Tam açık üçgen labirent yan savak



(b). 1/3 Kapalı üçgen labirent yan savak



(c). 2/3 Kapalı üçgen labirent yan savak



(d). 3/3 Kapalı üçgen labirent yan savak

Şekil 4.10.(a-d). Üçgen labirent yan savaklarda memba kret uzunluklarının kapatılması

Debi katsayılarının belirlenmesinin deneysel olarak incelenmesi için aşağıdaki parametreler dikkate alınmıştır.

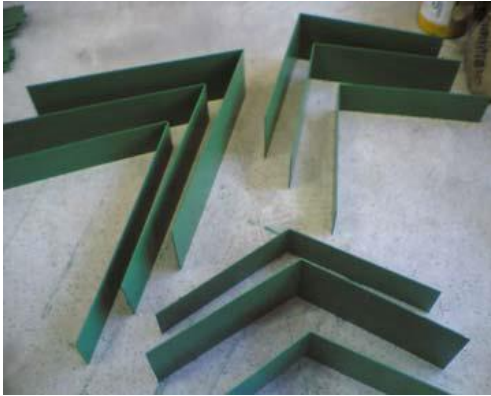
- $\theta = 30^\circ$ ve doğrusal kanal (2 parametre)
- $L=0.25, L=0.50$ ve $L=0.75$ m (savak uzunluğu) (3 parametre)
- $p=0.12, p=0.16$ ve $p=0.20$ m (kret yüksekliği) (3 parametre)
- $\alpha =45^\circ, \alpha =90^\circ, \alpha =150^\circ$ (üçgen labirent savak kıvrım açısı) (3 parametre)
- $\emptyset =16^\circ$ (trapez labirent yan savak açısı) (1 parametre)
- Çalışılan debi aralıkları: 7-145 L/s
- Nehir rejiminde deneyler yapılmıştır. $Fr<1$

2306 adet debi katsayısının belirlenmesi için yapılan deney sayısı

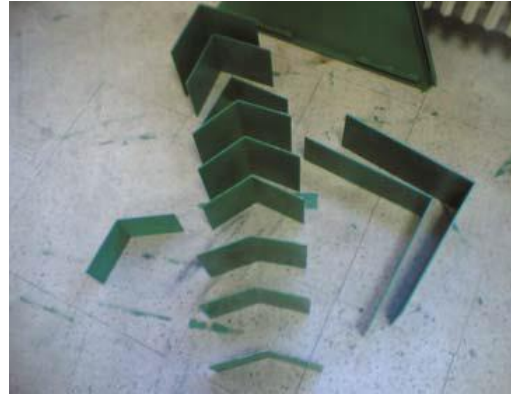
Her deneyde okunan veri sayısı=7

$2306 \times 7 = 16142$ toplam C_d için toplam veri sayısı.

Doğrusal kanalda ve kıvrımlı kanalda hangi kısımda çalışılacaksa o kısımdaki kapak çıkartılıp, buraya çalışılacak yan savak yerleştirilmiştir. Toplam **82** farklı yan savak için çalışılmıştır. Şekil 4.10'da doğrusal kanala yerleştirilen üçgen labirent yan savak ve çalışılan kapatılma alternatifleri görülmektedir. Şekil 4.11'de ise labirent yan savağın farklı boyutları görülmektedir.



(a)

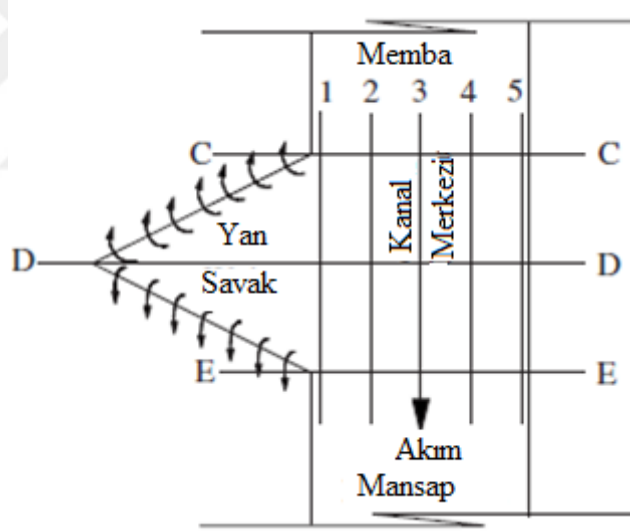


(b)

Şekil 4.11.(a).(b) Çalışılan üçgen labirent savak türleri

Deneyler yapılırken 75 L/s'ye kadar bir adet pompa, daha üst debiler için ise iki adet pompa çalıştırılması yeterli olmuştur. Sistem için debi, ana hazneye bağlı 0.25 m çaplı ana borudan cazibeli olarak akıtılmıştır. Debi Siemens marka bir elektromanyetik debimetre ile ölçülmüştür. Bu debimetre yardımı ile ± 0.01 L/s hassasiyetle ölçümler gerçekleştirilmiştir. Debi ayarı debimetrenin memba kısmında bulunan bir vana yardımı ile ayarlanmıştır. Vana ile debimetre arasındaki mesafe debimetrenin kullanma kılavuzunda verilen mesafelere göre inşa edilmiştir. Toplama kanalına yan savaktan dökülen debinin ölçülmesi için ise toplama kanalının sonuna yerleştirilmiş ince kenarlı bir dikdörtgen kullanılmıştır.

Seviye ölçümleri Mitutoyo marka bir elektronik limnimetre ile yapılmıştır. Bu limnimetre yardımı ile ± 0.01 mm hassasiyetle ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.12'de görüldüğü gibi, su derinliği ölçümleri, C3, D3 ve E3 kanal merkez hattı boyunca ve ana kanalın C1, D1 ve E1'in yan savaklarındaki noktalarda ölçümler alınmıştır. Limnimetre ölçü aleti taşıyıcısı üzerine yerleştirilmiş, deney kanalı üzerindeki raylar üzerinde hareket ettirilerek ölçümler x ve y yönünde yapılmıştır.



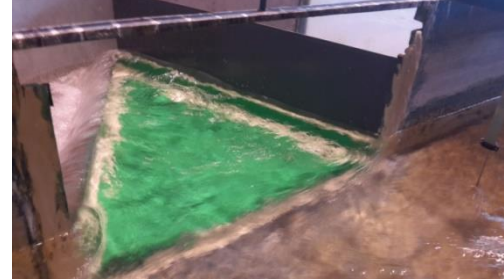
Şekil 4.12. Uzunlamasına derinliklerin ölçüldüğü yerler [8]

Şekil 4.13'de farklı açılara sahip ve farklı genişlikli üçgen labirent yan savakların kullanımı gösterilmiştir. Ayrıca kret uzunluklarının üç aşamalı olarak kapatılması Şekil 4.13'de açıkça gösterilmektedir. Bu işlem yapılırken levhanın arkasında somun ile sabitlenerek cam macunu yardımıyla sızdırmazlık önlenmiştir. Aynı zamanda yapılan bu işlemler akımı etkilemeyecek şekilde titizlik ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılırken su yüksekliğinin sabitlenmesi için belli bir süre beklenilmiştir. Daha sonra okumalar

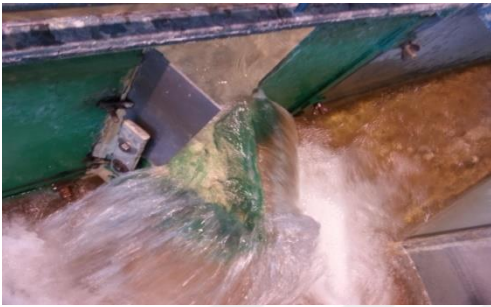
alınmıştır. Su yüzeyinde dalgalanma olmaması için Şekil 4.13.(e)'de görüldüğü gibi belli bir mesafede ızgara şeklinde sakinleştirici yerleştirilmiştir.



(a). 3/3 Kapalı Üçgen Labirent
Yan Savak: $\alpha = 150^\circ$ ve $L = 50$ cm



(b). 3/3 Kapalı Üçgen Labirent
Yan Savak: $\alpha = 45^\circ$ ve $L = 75$ cm



(c). 1/3 Kapalı Üçgen Labirent
Yan Savak: $\alpha = 45^\circ$ ve $L = 25$ cm



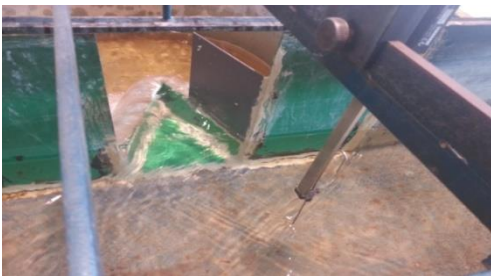
(d). 1/3 Kapalı Üçgen Labirent
Yan Savak: $\alpha = 90^\circ$ ve $L = 25$ cm



(e). 1/3 Kapalı Üçgen Labirent
Yan Savak: $\alpha = 150^\circ$ ve $L = 50$ cm



(f). 1/3 Kapalı Üçgen Labirent
Yan Savak: $\alpha = 90^\circ$ ve $L = 50$ cm



(g). 2/3 Kapalı Üçgen Labirent
Yan Savak: $\alpha = 45^\circ$ ve $L = 25$ cm



(h). 2/3 Kapalı Üçgen Labirent
Yan Savak: $\alpha = 150^\circ$ ve $L = 50$ cm

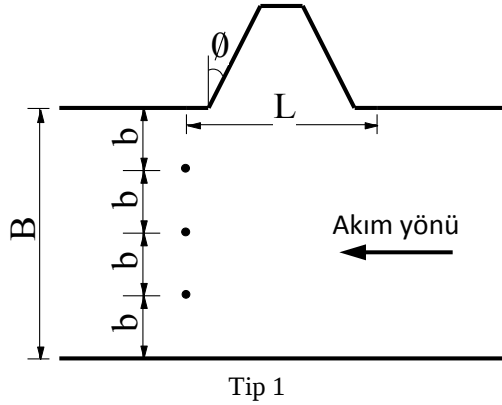
4.13.(a-h). Üçgen labirent yan savak testlerinden görüntüler

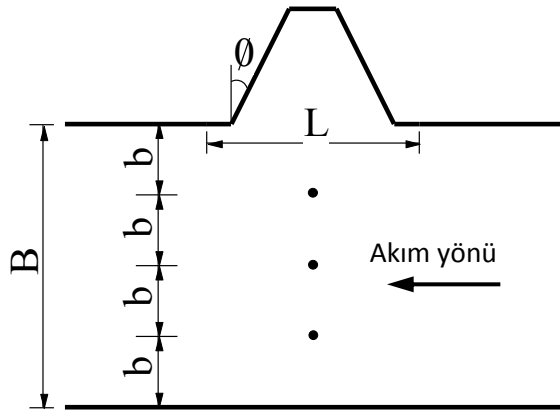
4.5.1. Trapez Labirent Yan Savak Testleri

Doğrusal ve kıvrımlı kanallarda üçgen labirent yan savaklar kullanılarak yapılan deneylerin bitmesi ile doğrusal kanala yerleştirilen trapez labirent yan savak yardımı ile deneyler yapılmıştır. Bu deneyler de 50 cm savak uzunluğuna sahip, 16 cm kret yüksekliği ve $\theta = 16^\circ$ için trapez labirent yan savak kullanılarak ana kanalın belirli bölgesine farklı dizilim ile dikdörtgen ve yuvarlak kesitli ayaklar sabitlenerek bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan dikdörtgen kesitli ayakların; boyları 35 cm olup 2 cm genişliğinde ve 0.5 cm kalınlığında, yuvarlak kesitli ayakların ise boyları 35 cm olup 2 cm çapında ana kanala yan savağa yakın olarak kaynak ile sabitlendirilmiştir.

Bu deney yapılırken profillerin yerlerine yerleştirilmesi işlemi göz önünde bulundurularak Tip 1, Tip 2, Tip 3, Tip 4, Tip 5 ve Tip 6 olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 4.14). Ana kanala bırakılan ayakların birbiri ile olan 'b' mesafeleri ana kanalın genişliğinin %25' i kadardır.

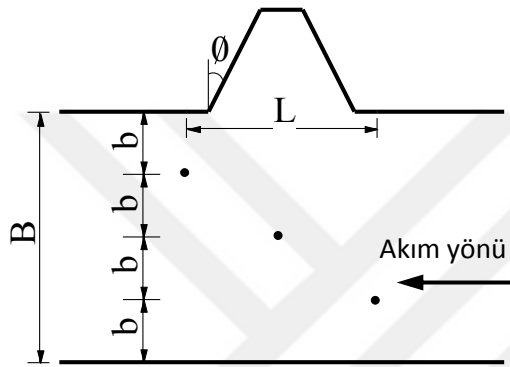




Tip 2



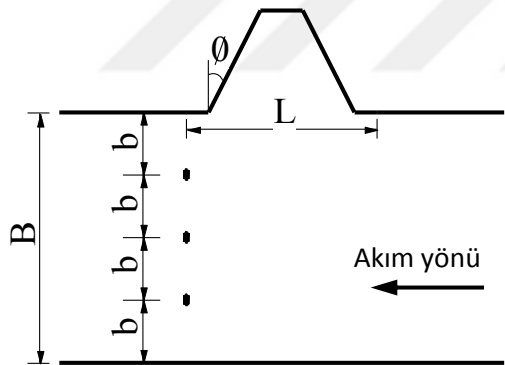
Tip 2



Tip 3



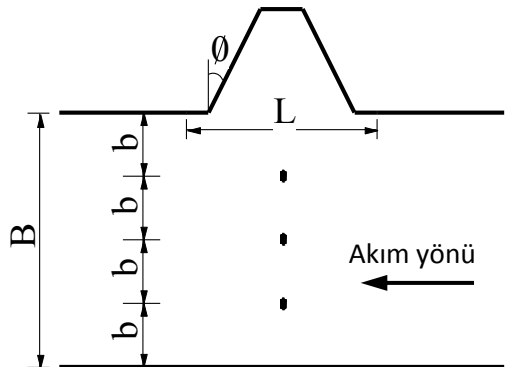
Tip 3



Tip 4



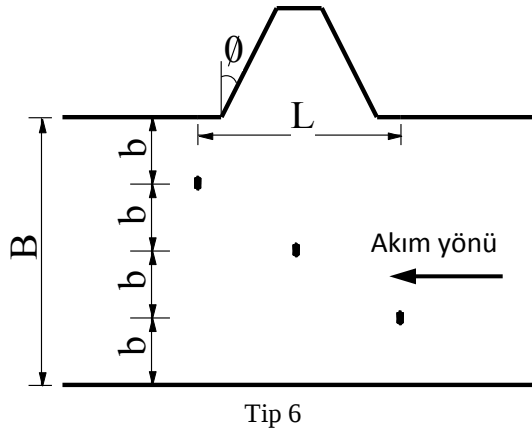
Tip 4



Tip 5



Tip 5



Şekil 4.14. Trapez Labirent Yan Savakda Kullanılan Profillerin Yerleştirilmesi:

$$\emptyset = 16^\circ, L = 50 \text{ cm ve } p = 16 \text{ cm}$$

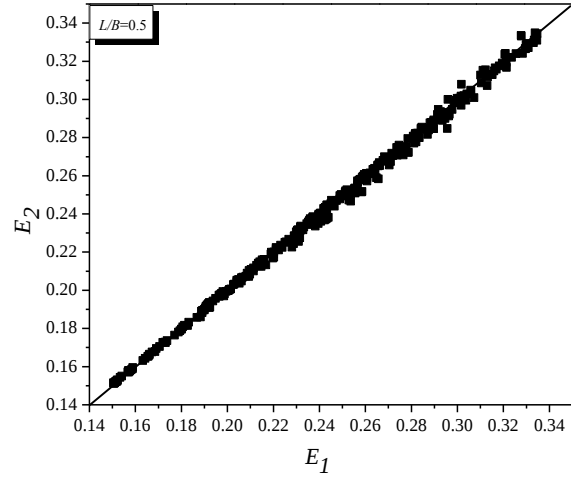
Üçgen labirent yan savak ölçümlerinin yapıldığı yerler ile kullanılan metot trapez labirent yan savak için de uygulanmıştır. Ayaklar arasındaki mesafe eşit olarak dizayn edilmiştir (Şekil 4.14). Ayaklar, sabitlenirken kaynak kullanılmıştır. Fakat akımın etkilenmemesi için titizlikle sabitlenmiş olup dik durumda olmasına dikkat edilmiştir. Elde edilen tüm veriler excel programında hesaplanıp, grafik çizim programı yardımıyla grafikler çizilmiştir. Grafikler ve yorumları bir sonraki bölümde verilecektir.

5. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ

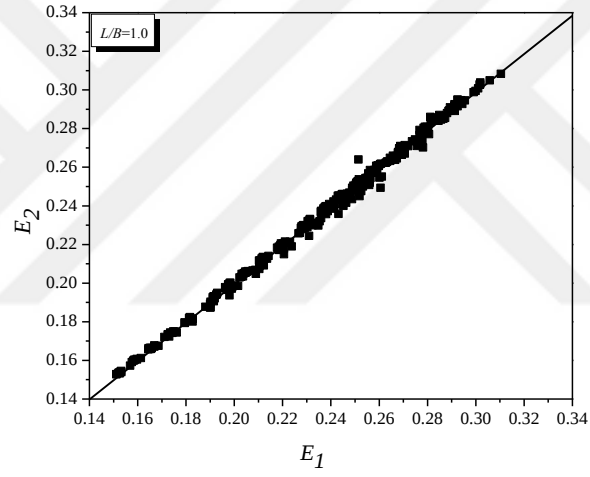
Bu çalışmada, labirent yan savaklarda memba kret uzunluklarının debi katsayısı üzerine etkisini incelemek için, özellikle Froude sayısı Fr , boyutsuz kret yüksekliği p/y , boyutsuz savak genişliği L/B , boyutsuz kret uzunluğu ve tepe açısı α dikkate alınarak deneyler yapılmıştır. Deneylerde klasik yan savakların yerine labirent yan savaklar kullanılarak kret uzunluğunun farklı savaklama boyları ele alınmıştır. Bununla birlikte doğrusal kanalda trapez labirent yan savak kesiti için kanalın belirli bölgesine farklı dizilim ile dikdörtgen ve yuvarlak kesitli ayaklar sabitlenerek bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın asıl amacı, ince kenarlı labirent yan savaklarda kret uzunluğu değişiminin ve trapez labirent yan savakta kanal içerisine yerleştirilen ayakların farklı dizilimleri sonucunda deşarj kapasitesine etkisini detaylı bir şekilde incelemektir.

5.1. Üçgen Labirent Yan Savakta Debi Katsayısının Değişimi

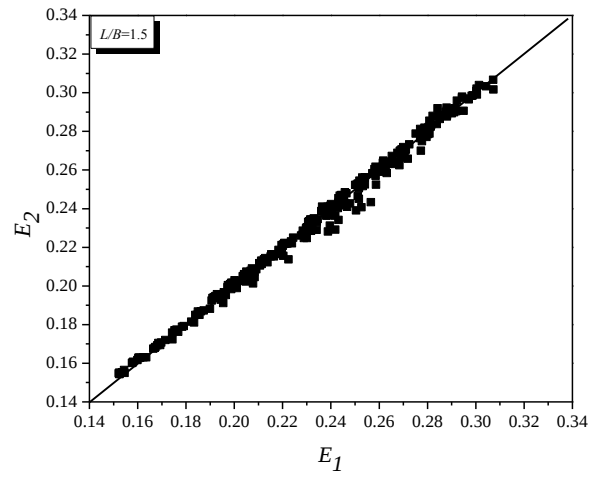
Yan savakların tasarımında en yaygın ve temel ilkelerinden biri olan De Marchi yöntemini uygulamak için ana kanal dikdörtgen kesitli olarak düzenlenmelidir. Aksi takdirde, yöntem kesit alanı için uyarlanmalıdır. Yan savağın memba ve mansabında sabit bir özgül enerjinin kabul edilmesi sağlanmalıdır. Deneyler dikdörtgen kesiti olan açık bir kanalda yapılmasından dolayı De Marchi denklemi uyarlanmaksızın uygulanmıştır. Dahası, De Marchi denkleminin kullanılması için, yan savak memba ve mansap arasındaki özgül enerjideki fark ihmal edilebilir durumu göz önünde bulundurulmalıdır ($< \% 4$) [28]. Şekil 5.1 ve 5.2’de görüldüğü gibi farklı L/B oranları için çizilen E_1 ve E_2 değerlerine ait grafiklerde hemen hemen tüm değerlerin 45° çizgi hattına yakınsadığı görülmüştür. E_1 ve E_2 arasındaki ortalama fark hesaplamalar sonucunda doğrusal kanalda yaklaşık $\%0.09$, kıvrımlı kanalda ise yaklaşık $\%1.74$ olduğundan De Marchi yaklaşımının güvenle uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.



(a)

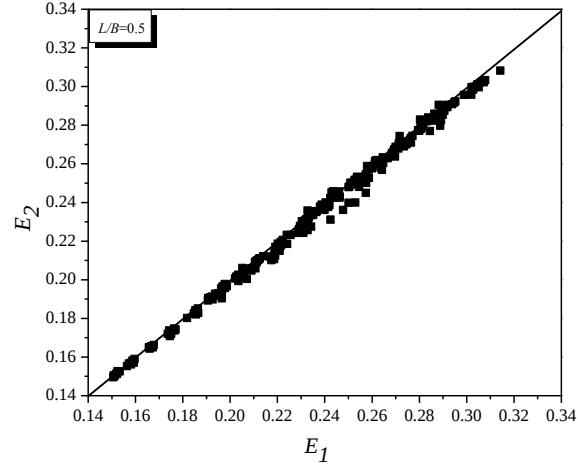


(b)

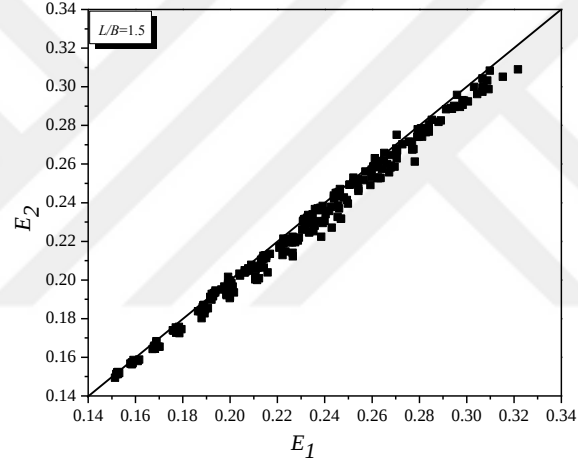


(c)

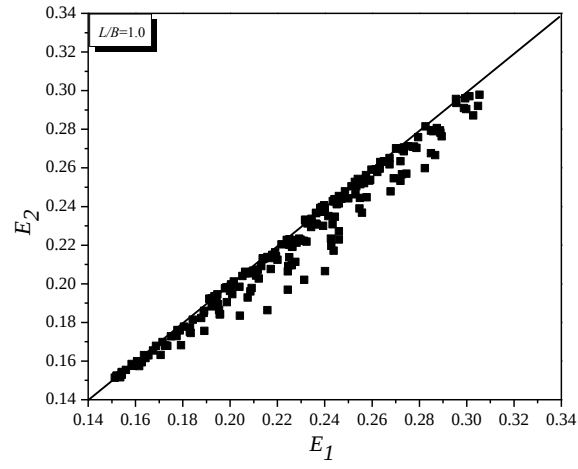
Şekil 5.1.(a-c). Doğrusal Kanalda, E_1 ile E_2 karşılaştırılması



(a)



(b)



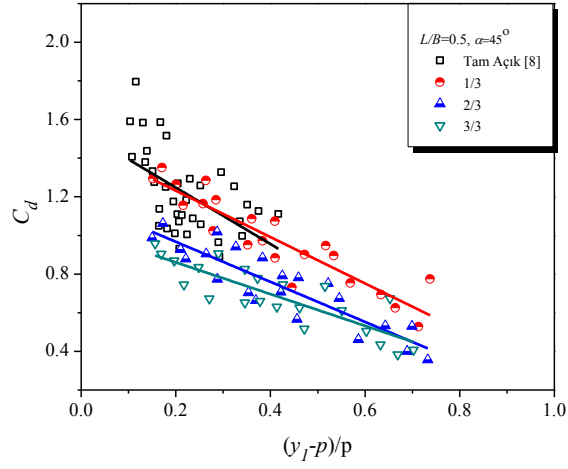
(c)

Şekil 5.2.(a-c). 30° Kıvrımlı Kanalda, E_1 ile E_2 karşılaştırılması:

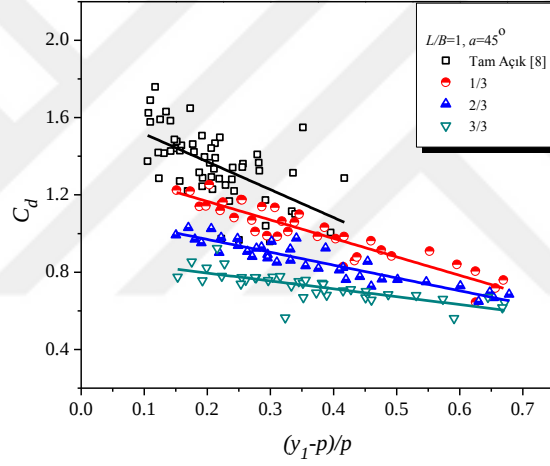
5.1.1. Boyutsuz Nap Yüksekliğinin Etkisi

Debi katsayısı üzerindeki $(y_1-p)/p$ parametresinin etkisini göstermek için, C_d ' ye karşı $(y_1-p)/p$ değerleri Şekil 5.3-5.8'deki grafiklerde verilmiştir. Şekil 5.3-5.8, $(y_1-p)/p$ değeri arttıkça debi katsayısının azaldığını göstermektedir. Khode ve diğ. [39] labirent dolusavaklardaki deşarj kapasitesinin nap yükü arttıkça azaldığını bulmuşlardır. Benzer şekilde, bu çalışmada da nap yükü arttıkça deşarj kapasitesinde azalma gözlemlenmiştir. Akım derinliği küçük olduğunda, akış savağın tüm uzunluğu boyunca serbestçe düşmektedir. Hava akışı mansap ve köşelerden erişime sahiptir. Emiroğlu ve diğ. [8] düşük eğim açılarında bu azalış eğiliminin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Şekil 5.3-5.8'de, napın artmasıyla, tepe üzerindeki akış yan savakların üzerindeki akıştan dolayı değişime uğramaktadır.

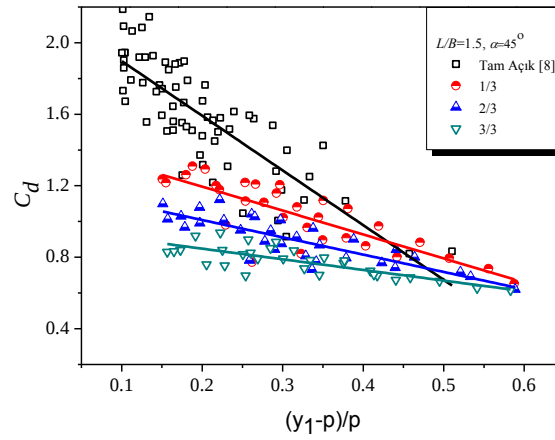
Şekil 5.3 doğrusal kanalda $\alpha=45^\circ$ tepe açısına sahip üçgen labirent yan savak için C_d ile $(y_1-p)/p$ arasındaki değişimi göstermektedir. Şekil 5.3. (a)'da görüldüğü gibi $L/B=0.5$ oranında tam açık ve 1/3 kapalı durumu için $(y_1-p)/p$ değerinin yaklaşık 0.22 değerinde çakıştığı gözlemlenmektedir. Tam açık durumda belirlenen debi katsayısı değerleri, $(y_1-p)/p$ 'nin 0.1 ile 0.22 aralığı için 1/3 kapalı durumdan daha yüksektir. Şekil 5.3'deki üç grafikte gösteriyor ki, debi katsayısının maksimum olduğu durum tam açık halidir. Sırasıyla 1/3, 2/3 ve 3/3 kapalı durumu izlemektedir. Ayrıca Şekil 5.3 (c)'de diğer durumlara nazaran tam açık durumu için debi katsayısı değerlerine uydurulan eğrinin eğimi diğer eğrilere göre daha diktir. Yani debi katsayısında daha büyük oranlarda azalma gözlenmiştir. Bunun nedenin bu dataların elde edildiği deneylerde, L/B değerinin maksimum olduğu düşünülmektedir.



(a)



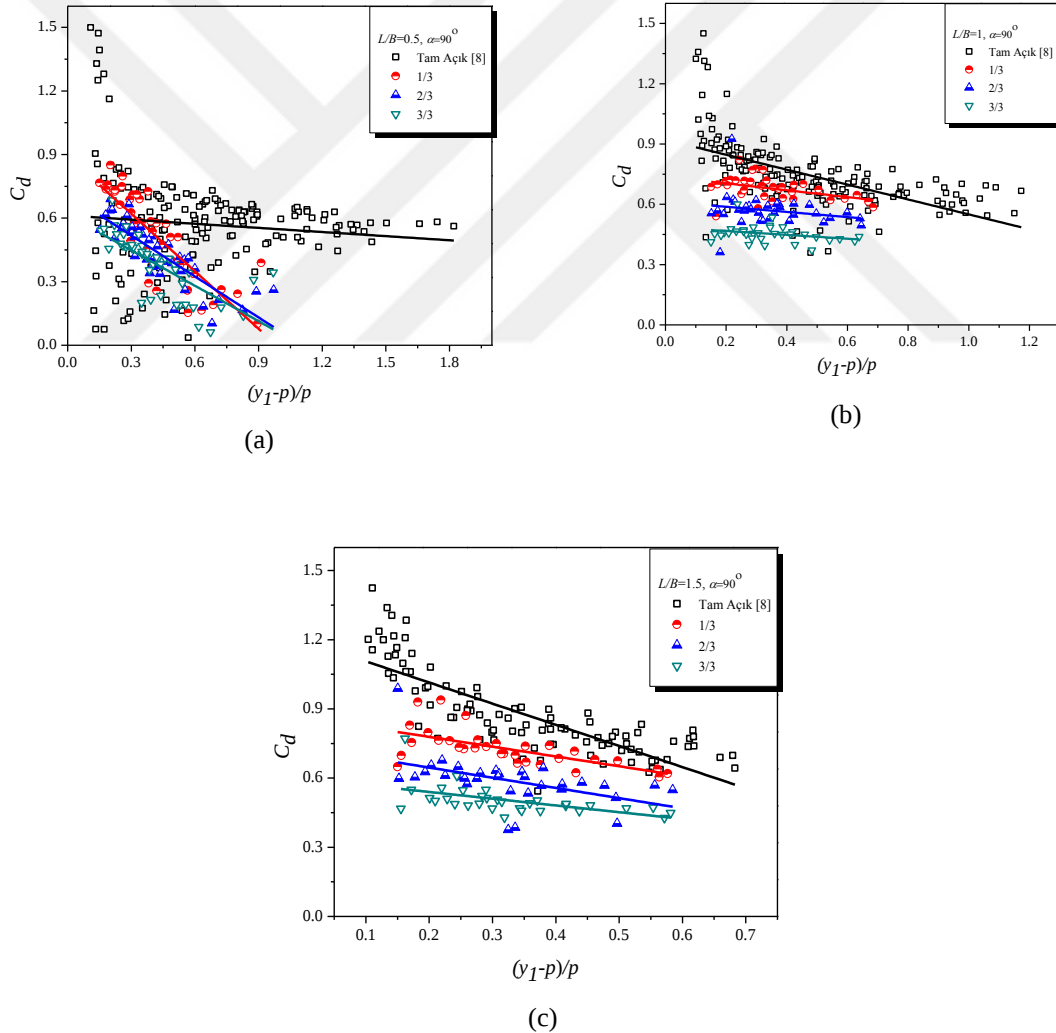
(b)



(c)

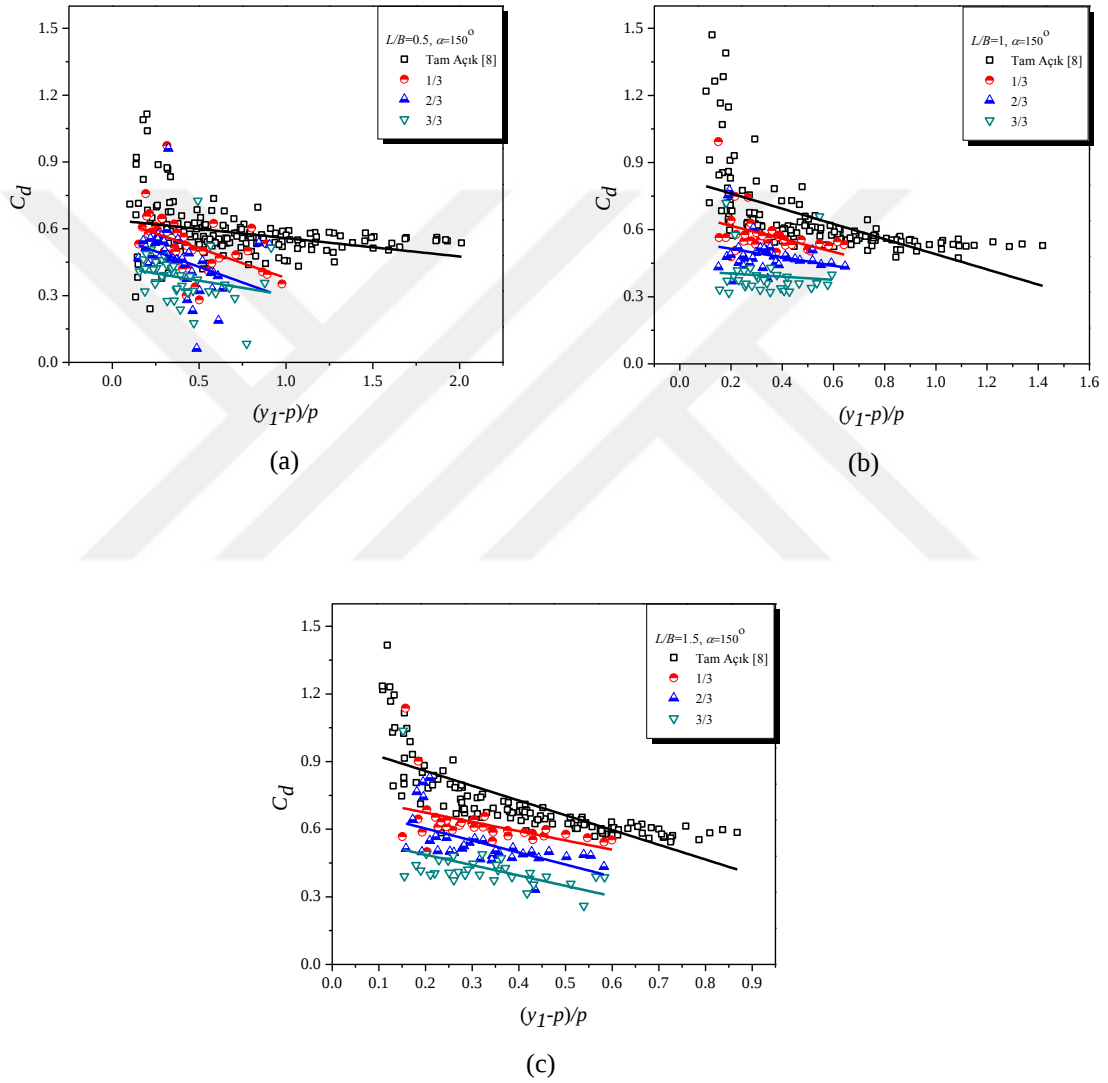
Şekil 5.3. Doğrusal kanalda $\alpha=45^\circ$ için savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi:
a) $L/B = 0.5$ b) $L/B = 1.0$ c) $L/B = 1.5$

Şekil 5.4 doğrusal kanalda $\alpha=90^\circ$ tepe açısına sahip üçgen labirent yan savak için C_d ile $(y_1-p)/p$ arasındaki değişimi göstermektedir. Şekil 5.4 (a)'da tam açık durumundaki değişimin daha az olduğu görülmektedir. Diğer durumlarda bu söz konusu değildir. Şekil 5.4 (a), (b) ve (c)'ye bakıldığında $(y_1-p)/p$ değeri ile C_d karşılaştırılmasında ters orantı olduğu görülmüştür. Debi katsayısının maksimum değerleri tam açık durumunda söz konusudur. Bunu sırasıyla 1/3 kapalı, 2/3 kapalı ve 3/3 kapalı durumları izlemektedir. Şekil 5.4 (a), (b) ve (c)'de görüldüğü gibi L/B oranı arttıkça tam açık durumu için debi katsayısında bir artış söz konusudur. Şekil 5.4 (a)'da görünen o ki, $(y_1-p)/p$ değerlerinin minimum olduğu durumlarda eğriler birbirlerine yakın seyretmektedirler. Fakat Şekil 5.4 (b) ve (c)'de bu durum görülmemektedir.



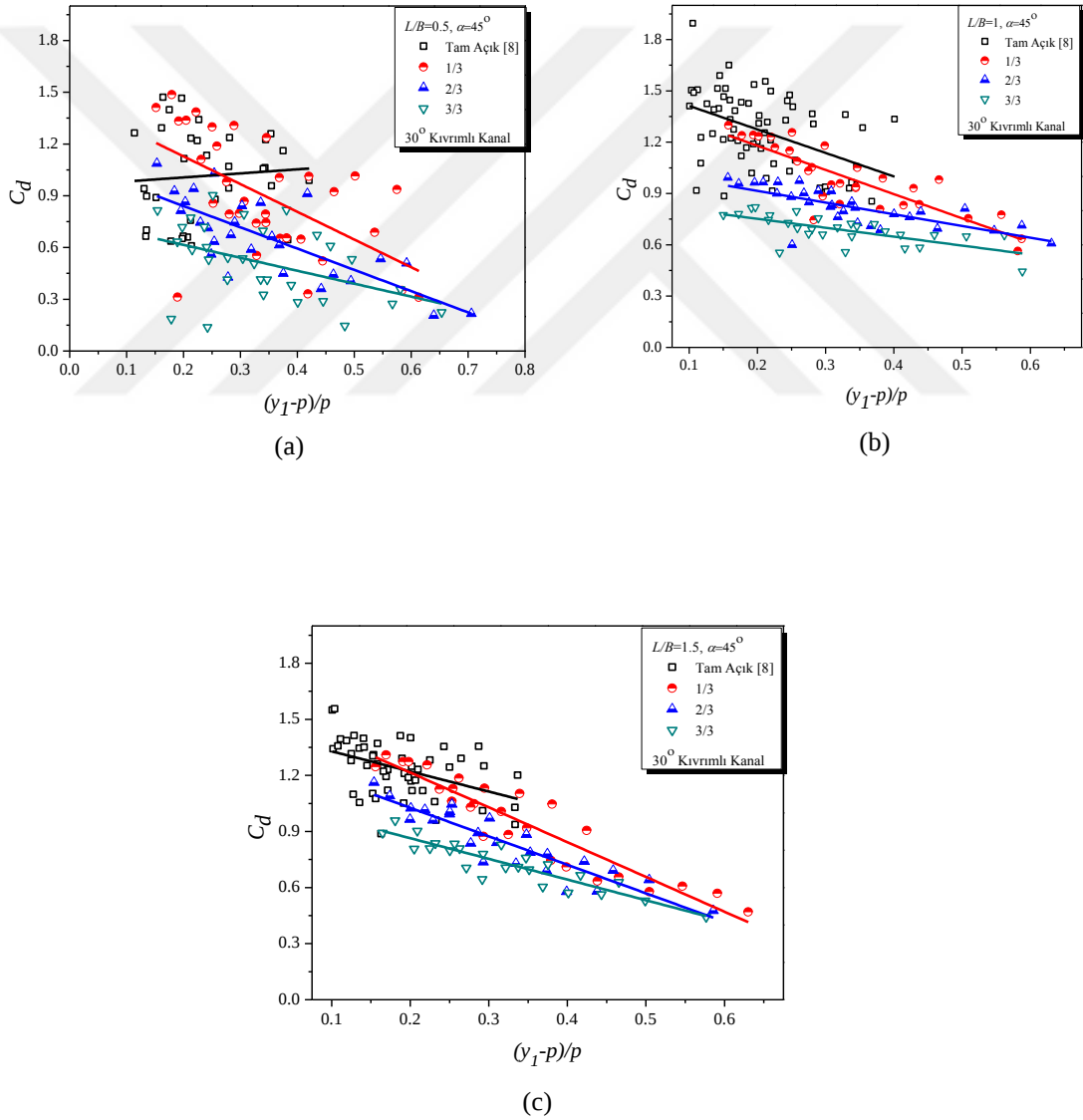
Şekil 5.4. Doğrusal kanalda $\alpha=90^\circ$ içinsavak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi:
a) $L/B = 0.5$ b) $L/B = 1.0$ c) $L/B = 1.5$

Şekil 5.5 doğrusal kanalda $\alpha=150^\circ$ tepe açısına sahip üçgen labirent yan savak için C_d ile $(y_1-p)/p$ arasındaki değişimi göstermektedir. Şekil 5.5 (a), (b) ve (c)'deki debi katsayısının minimumdan maksimuma doğru sıralanması 3/3 kapalı, 2/3 kapalı, 1/3 kapalı ve tam açık durumu olarak karşımıza çıkmaktadır. Buradan da anlaşıyor ki toplam kret uzunluğunun azaltılması ile debi katsayısında azalma olmuştur.



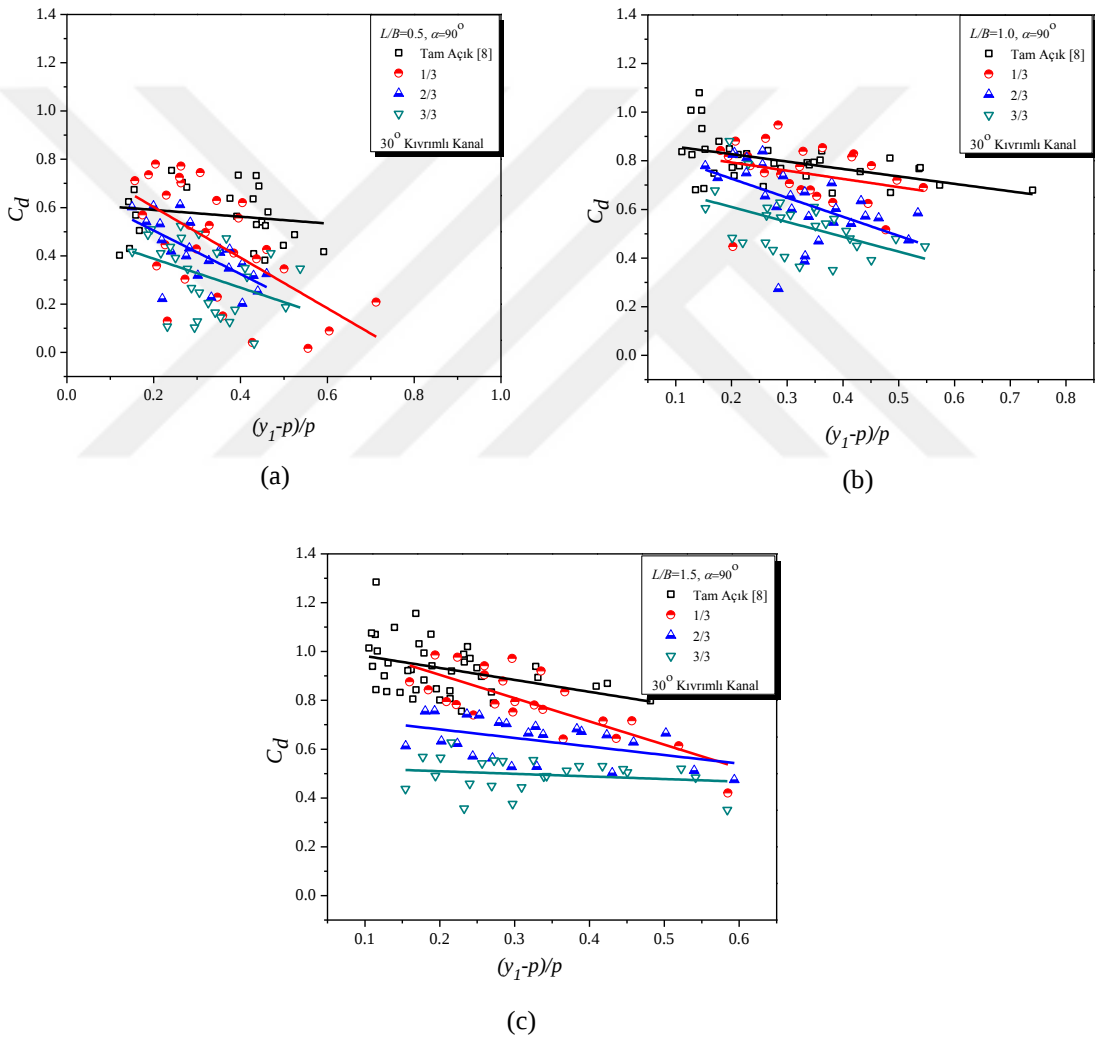
Şekil 5.5. Doğrusal kanalda $\alpha=150^\circ$ için savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi:
a) $L/B = 0.5$ b) $L/B = 1.0$ c) $L/B = 1.5$

Şekil 5.6 30° kıvrımlı kanalda $\alpha=45^\circ$ tepe açısına sahip üçgen labirent yan savak için C_d ile $(y_1-p)/p$ arasındaki değişimi göstermektedir. Şekil 5.6 (a) ve (c)'de tam açık hali ile 1/3 kapalı durumunda $(y_1-p)/p$ değerinin sırasıyla yaklaşık olarak 0.25 ve 0.2 oranlarında çakıştığı görülmüştür. Şekil 5.6 (a)'da nap yükünün 0.15 ile 0.25 değerleri arasında debi katsayısının 1/3 kapalı halinin tam açık halinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Fakat nap yükünün 0.25 değerinden sonra 1/3 kapalı durumu için bir azalış tam açık durumu için ise artış söz konusudur. Buradan da tam açık hali için debi katsayısının maksimum olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.6 (c)'de tam açık haline göre 1/3 kapalı, 2/3 kapalı ve 3/3 kapalı durumları için debi katsayısındaki azalma daha fazla olmuştur.



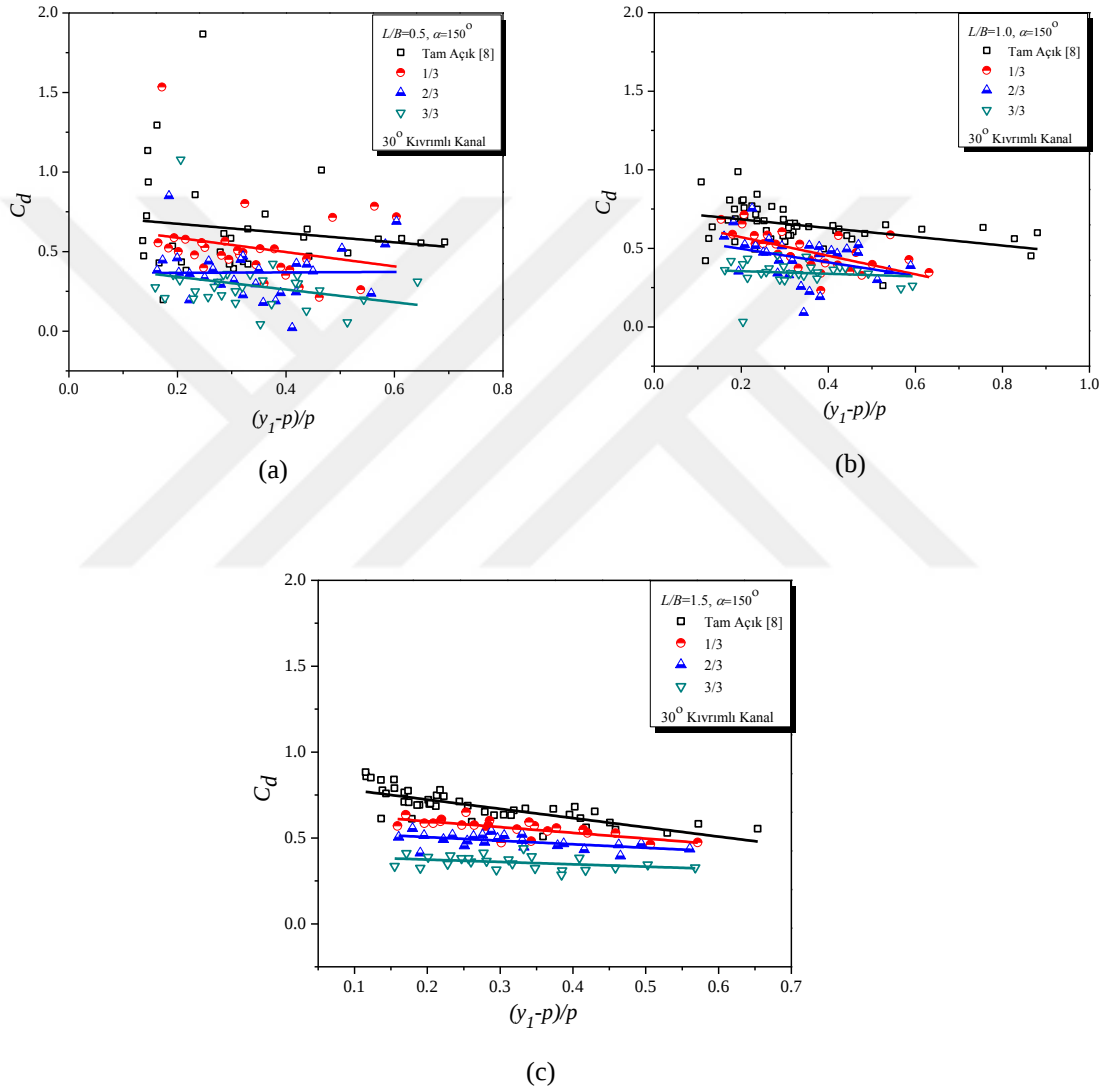
Şekil 5.6. 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=45^\circ$ için savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi:
a) $L/B=0.5$ b) $L/B=1.0$ c) $L/B=1.5$

Şekil 5.7 30° kıvrımlı kanalda $\alpha=90^\circ$ tepe açısına sahip üçgen labirent yan savak için C_d ile $(y_1-p)/p$ arasındaki değişimi göstermektedir. Şekil 5.7 (a)'da $(y_1-p)/p$ değerinin 0.21'e kadar olan kısmında debi katsayısının 1/3 kapalı durumunun tam açık durumundan daha yüksek olduğu, 0.21 değerinde çakışıp 1/3 kapalı durumunun daha fazla azalma gösterdiği görülmüştür. Bu da iki durum arasındaki farkın giderek arttığını göstermektedir. Şekil 5.7'ye bakıldığında debi katsayısının maksimumdan minimuma göre sıralaması yine değişmemektedir. Şekil 5.7 (a), (b) ve (c)'de 1/3 kapalı ile tam açık durumu için debi katsayısı L/B oranı arttıkça artmıştır.



Şekil 5.7. 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=90^\circ$ için savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi:
a) $L/B=0.5$ b) $L/B=1.0$ c) $L/B=1.5$

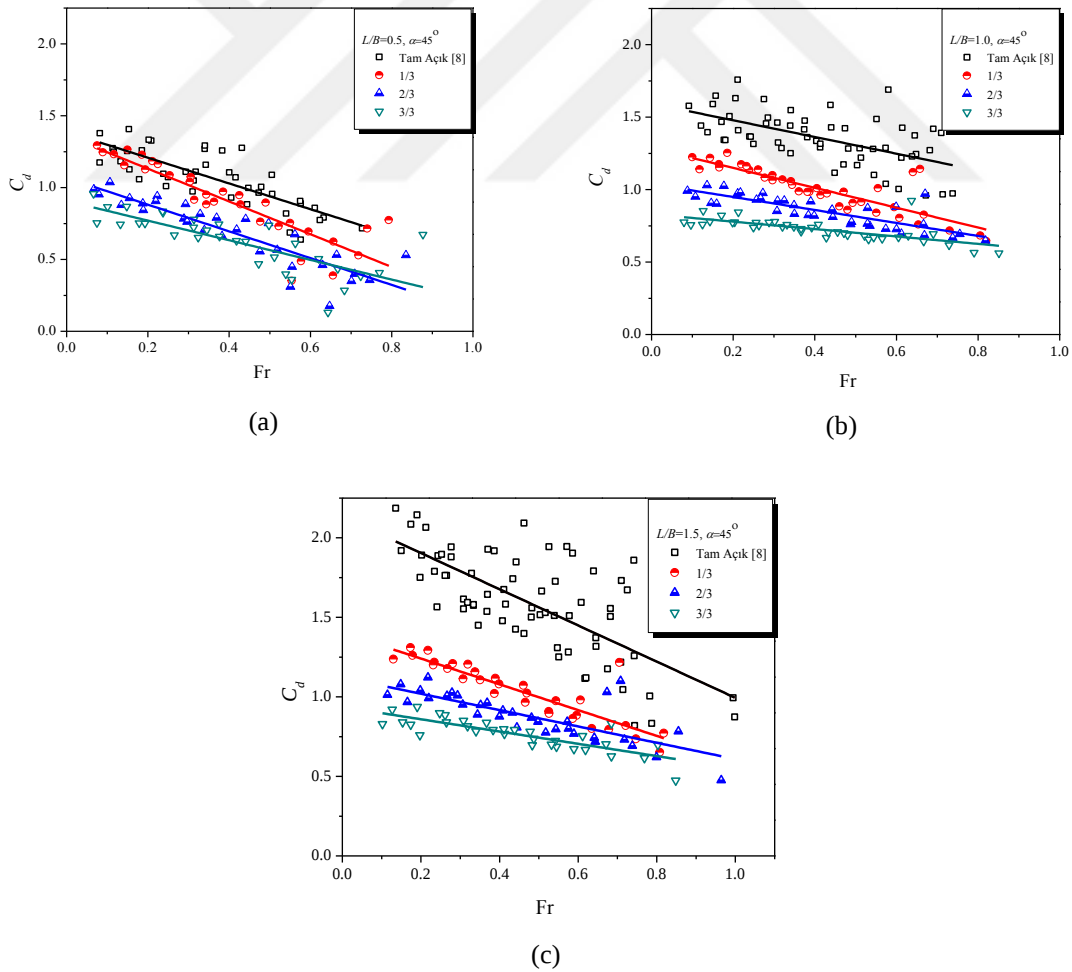
Şekil 5.8 30° kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ tepe açısına sahip üçgen labirent yan savak için C_d ile $(y_1-p)/p$ arasındaki değişimi göstermektedir. Şekil 5.8 (a)'da $(y_1-p)/p$ değerinin 0.18 ile 0.20 arasındaki kısımda 2/3 ve 3/3 kapalı durumları için debi katsayısı değerlerinin yakınsadığı görülmüştür. Daha sonra 3/3 kapalı halindeki debi katsayısının azalma oranı 2/3 kapalı halinden daha fazla olduğu için aradaki fark giderek artmıştır. Şekil 5.8'de de debi katsayısı sıralamasında bir değişiklik söz konusu değildir.



Şekil 5.8. 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ için savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi:
a) $L/B=0.5$ b) $L/B=1.0$ c) $L/B=1.5$

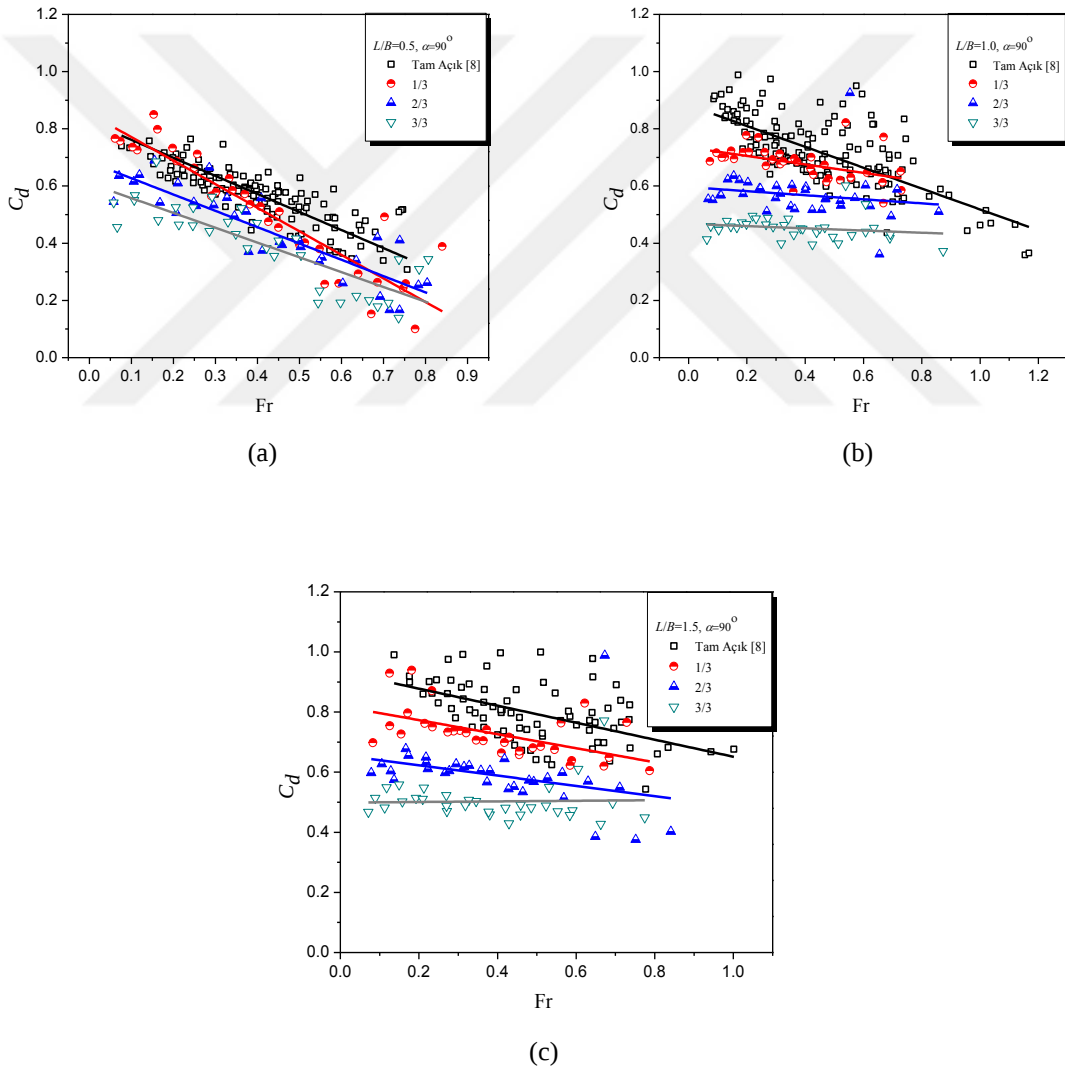
5.1.2. Froude Sayısının Etkisi

Şekil 5.9-5.14’de, $L/B=0.50, 1.0, 1.5$ boyutsuz savak genişlikleri için tam açık, $1/3, 2/3$ ve $3/3$ farklı boyutsuz savak kret uzunlukları ile birlikte, Froude sayısı ile deşarj katsayısının değişimini vermektedir. Debi katsayısı (C_d), Froude sayısının (Fr) artmasıyla azaldığı görülmüştür. Şekil 5.9 (a)’da düşük Froude sayılarında tam açık ile $1/3$ kapalı durumlarına bakıldığında birbirlerine yakın değerler elde edilmiş olduğu görülmektedir. Froude sayısının artması ile debi katsayısının düşmesi durumunda ise $2/3$ ile $3/3$ kapalı durumları yakın seyir etmektedir. Şekil 5.9 (a), (b) ve (c) grafiklerinden çıkan sonuç $L/B=0.5, 1.0, 1.5$ oranları için en iyi debi katsayısının tam açık olması durumunda söz konusudur. Sırasıyla $1/3, 2/3, 3/3$ oranında memba kret uzunluklarının kapatılması ile debi katsayısında azalma görülmüştür. Şekil 5.9’da görüldüğü gibi tam açık durumda (C_d) daha fazla değişkenlik gösterdiği (saçılım) görülmektedir.



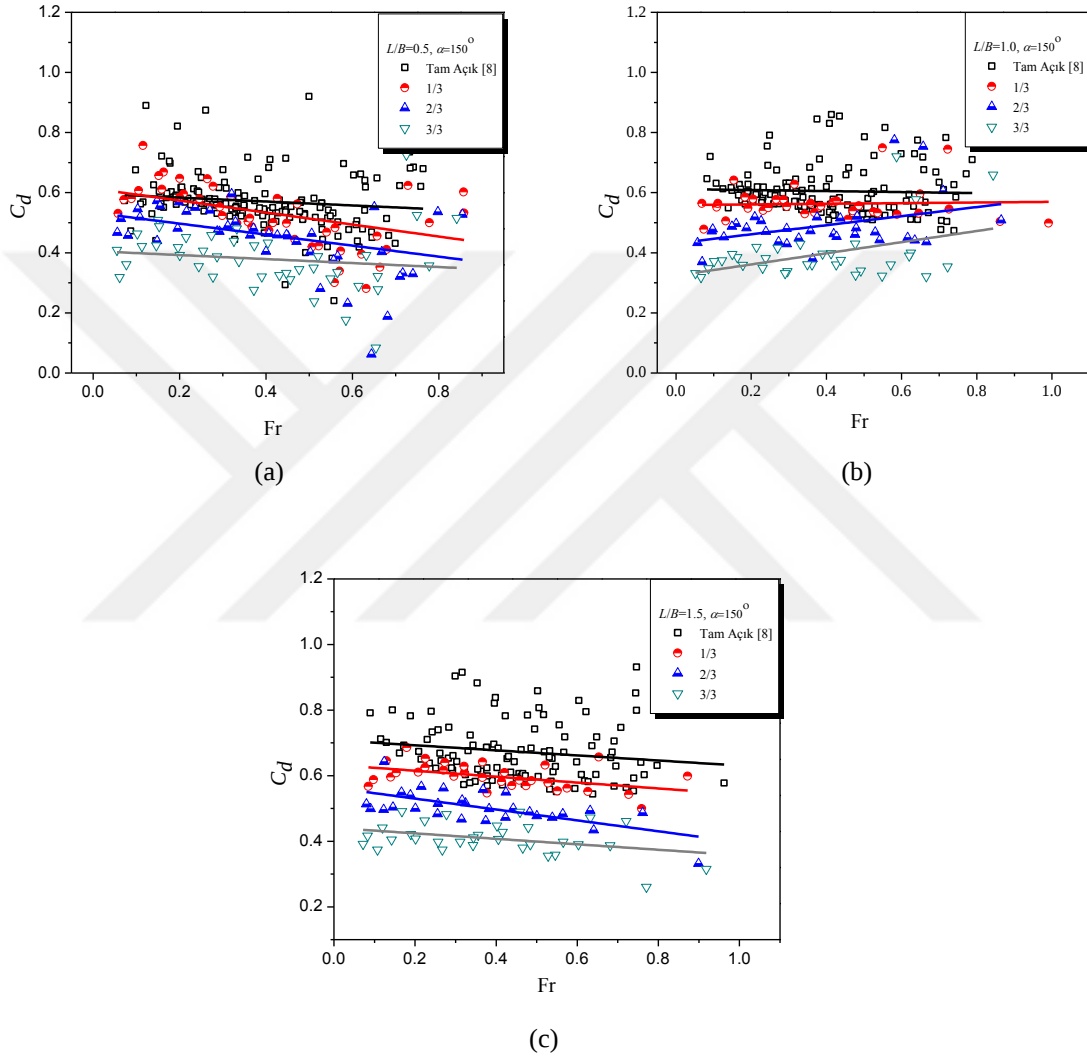
Şekil 5.9 Doğrusal kanalda $\alpha=45^\circ$ için farklı savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için debi katsayısının (C_d), Froude sayısına (Fr) göre değişimi:
a) $L/B=0.5$ b) $L/B=1.0$ c) $L/B=1.5$

Şekil 5.10 doğrusal kanalda $\alpha=90^\circ$ için farklı L/B oranlarında Froude sayısı ile debi katsayısı arasındaki bağıntıyı göstermektedir. Şekil 5.10 (a), (b) ve (c)'de Froude sayısının artmasıyla debi katsayısında bir azalmanın olduğunu göstermektedir. Debi katsayısının maksimum olduğu durum tam açık hali olup, minimum olduğu durum ise 3/3 kapalı hali olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 5.10 (c)'deki debi katsayısı değerleri diğer grafiklere göre daha fazla değişkenlik göstermiştir. Şekil 5.10 (a)'da 1/3 kapalı hali için Froude sayısının küçük değerlerinde tam açık haline yakınsadığı büyük değerlerde ise 2/3 kapalı haline yakınsadığı görülmektedir.



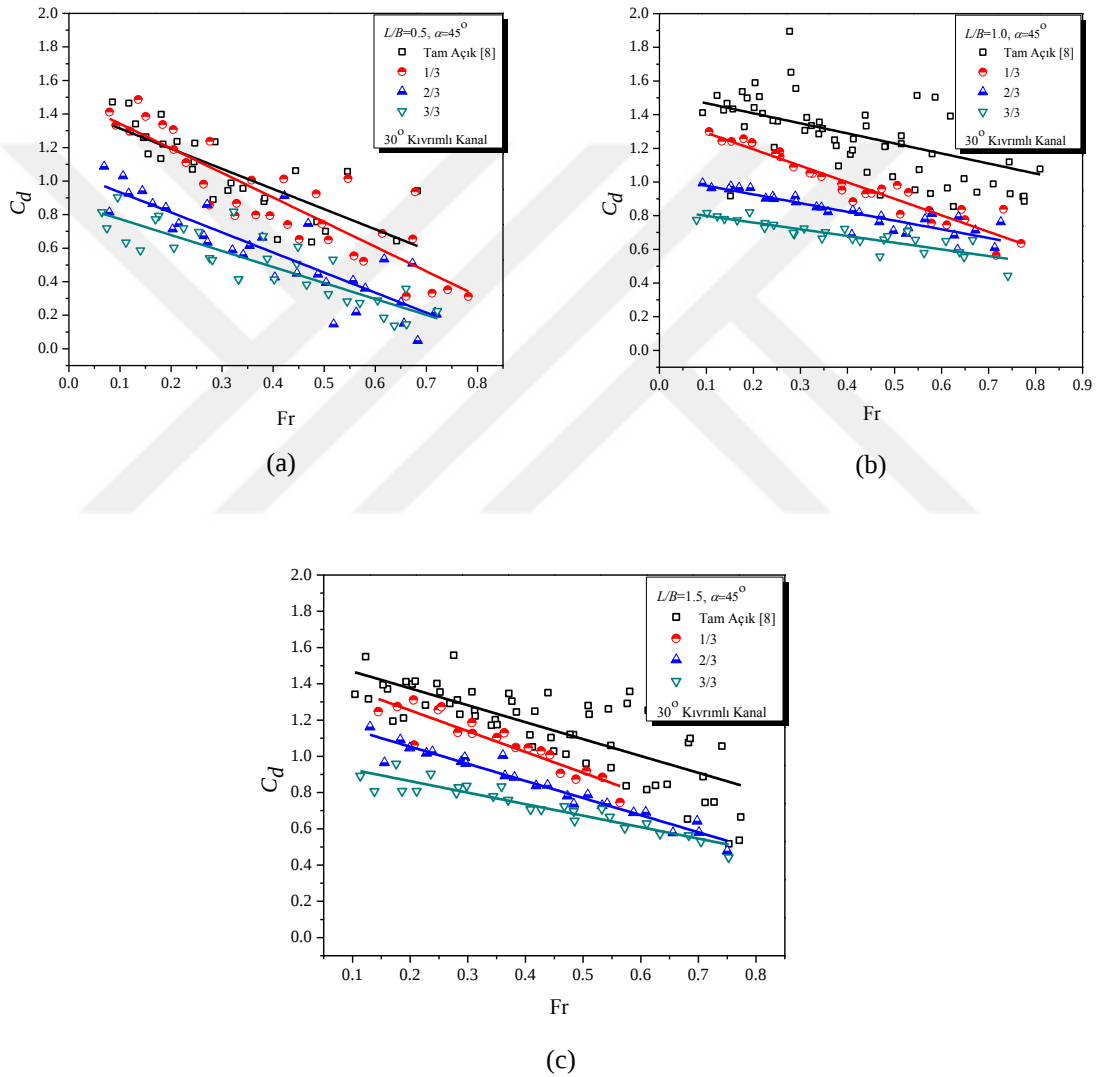
Şekil 5.10 Doğrusal kanalda $\alpha=90^\circ$ için farklı savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için debi katsayısının (C_d), Froude sayısına (Fr) göre değişimi:
a) $L/B=0.5$ b) $L/B=1.0$ c) $L/B=1.5$

Şekil 5.11 doğrusal kanalda $\alpha=150^\circ$ için farklı L/B oranlarında Froude sayısı ile debi katsayısı arasındaki bağıntıyı göstermektedir. Şekil 5.11 ise Froude sayısının artması ile debi katsayısının azaldığını göstermektedir. Debi katsayısı sıralamasının değişmediği görülmektedir.



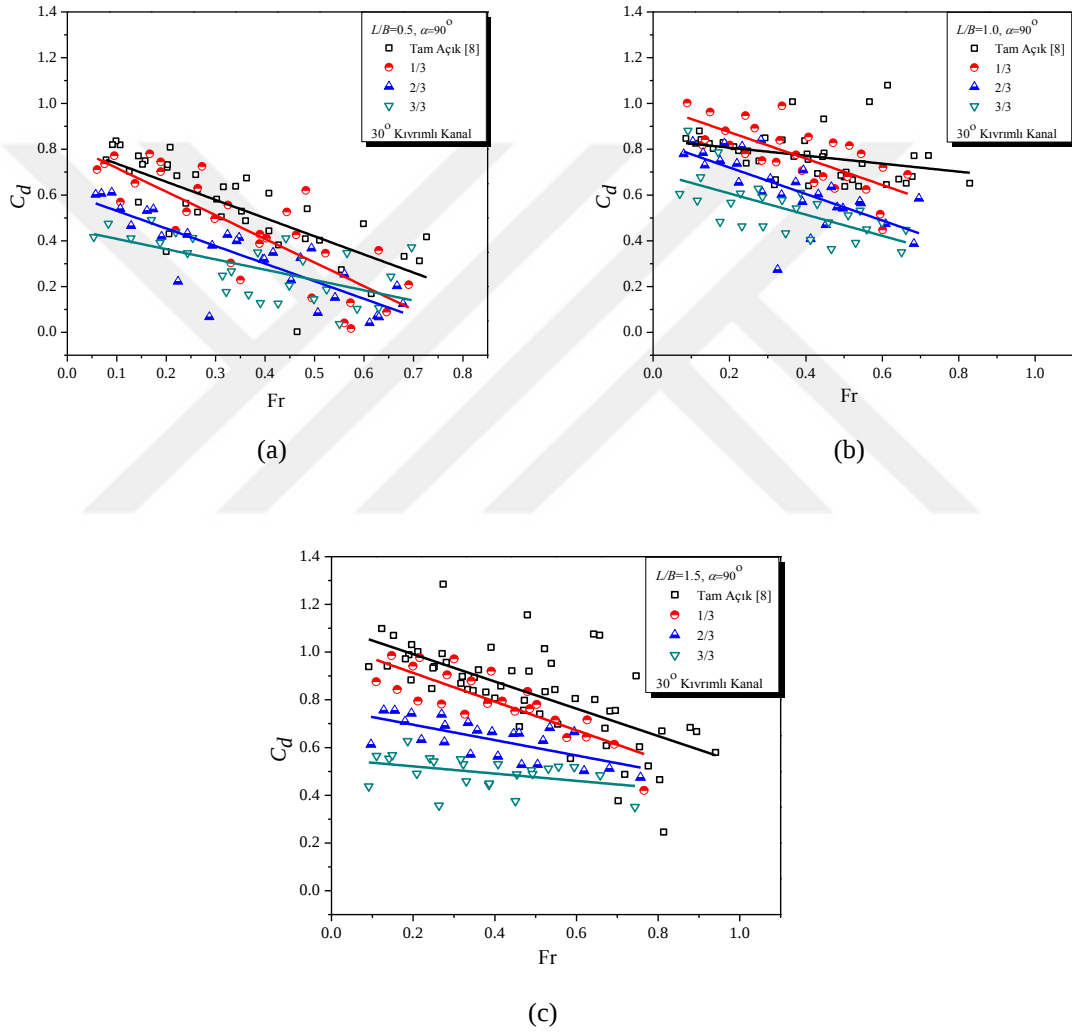
Şekil 5.11 Doğrusal kanalda $\alpha=150^\circ$ için farklı savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için debi katsayısının (C_d), Froude sayısına (Fr) göre değişimi:
a) $L/B=0.5$ b) $L/B=1.0$ c) $L/B=1.5$

Şekil 5.12 30° kıvrımlı kanalda $\alpha=45^\circ$ için farklı L/B oranlarında Froude sayısı ile debi katsayısı arasındaki bağıntıyı göstermektedir. Şekil 5.12 (a)'da görüldüğü gibi $L/B=0.5$ oranında tam açık ve 1/3 kapalı durumu için Fr değerinin yaklaşık 0.20 değerinde çakıştığı gözlemlenmektedir. Tam açık durumu için debi katsayısı, Fr değerinin 0.1 ile 0.20 arasında 1/3 kapalı durumundan aşağıda olduğu görülmüştür. Şekil 5.12'deki üç grafikte gösteriyor ki, debi katsayısının maksimum olduğu durum tam açık halidir. Sırasıyla 1/3, 2/3 ve 3/3 kapalı durumu izlemektedir.



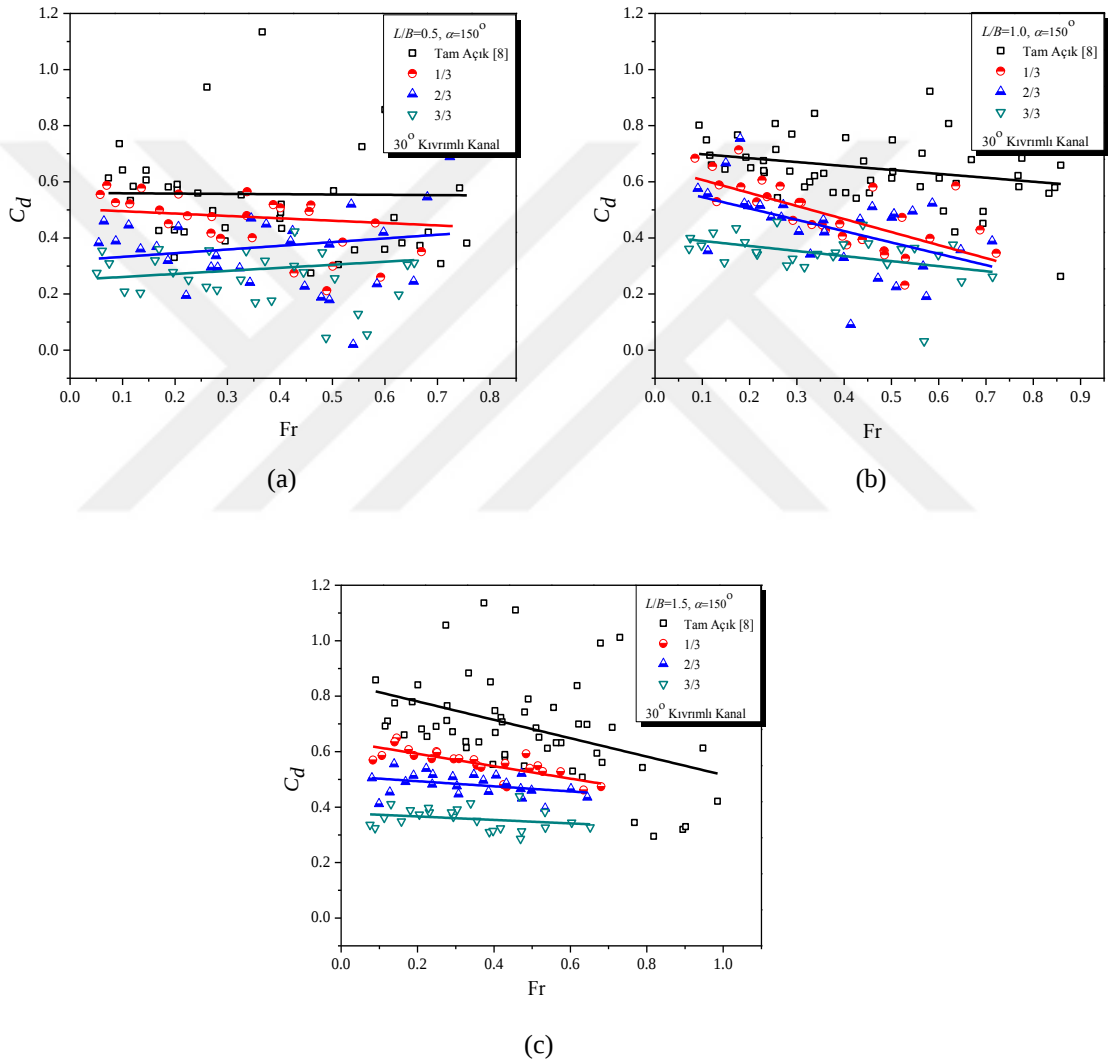
Şekil 5.12 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=45^\circ$ için farklı savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için debi katsayısının (C_d), Froude sayısına (Fr) göre değişimi:
a) $L/B=0.5$ b) $L/B=1.0$ c) $L/B=1.5$

Şekil 5.13 30° kıvrımlı kanalda $\alpha=90^\circ$ için farklı L/B oranlarında Froude sayısı ile debi katsayısı arasındaki bağıntıyı göstermektedir. Şekil 5.13 (a)'da Froude sayısının 0.45 değerinde 2/3 kapalı hali ile 3/3 kapalı hali, 0.65 değerlerinde ise 3/3 kapalı hali ile 1/3 kapalı hali değişmiştir. Şekil 5.13 (b)'de küçük Froude sayılarında debi katsayısının 1/3 kapalı halinin tam açık halinden daha iyi olduğu görülmektedir. Fakat Froude sayısının artmasıyla bir yer değiştirme olmuştur. Şekil 5.13 (c)'de ise debi katsayısının maksimum olduğu tam açık durumu olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.13 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=90^\circ$ için farklı savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için debi katsayısının (C_d), Froude sayısına (Fr) göre değişimi:
a) $L/B=0.5$ b) $L/B=1.0$ c) $L/B=1.5$

Şekil 5.14 30° kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ için farklı L/B oranlarında Froude sayısı ile debi katsayısı arasındaki bağıntıyı göstermektedir. Şekil 5.14 (a)'da eğrilerin birbirlerine yakın seyir ettiği dağılım daha az olduğu görülmektedir. Şekil 5.14 (b)'de ise tam açık hali için dağılımın daha fazla olduğu fakat Şekil 5.14 (c)'deki kadar olmadığı ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.14'deki her üç grafik için debi katsayısının en iyi olduğu durum tam açık hali olarak görülmüştür. Bunu sırasıyla 1/3, 2/3 ve 3/3 kapalı halleri izlemektedir.

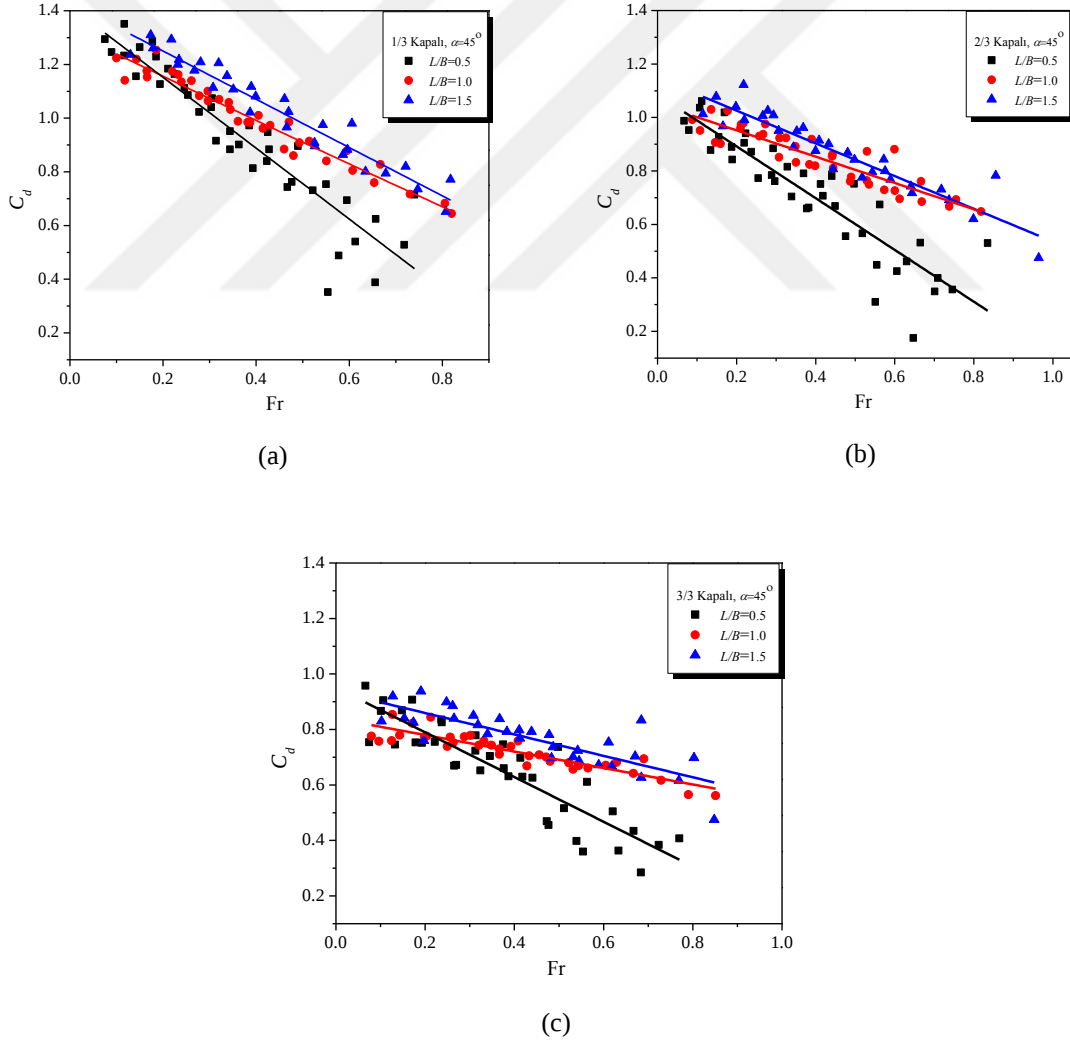


Şekil 5.14 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ için farklı savak kret uzunlukları ve farklı L/B değerleri için debi katsayısının (C_d), Froude sayısına (Fr) göre değişimi:
a) $L/B=0.5$ b) $L/B=1.0$ c) $L/B=1.5$

5.2. Boyutsuz Savak Genişliğine Göre İrdeleme

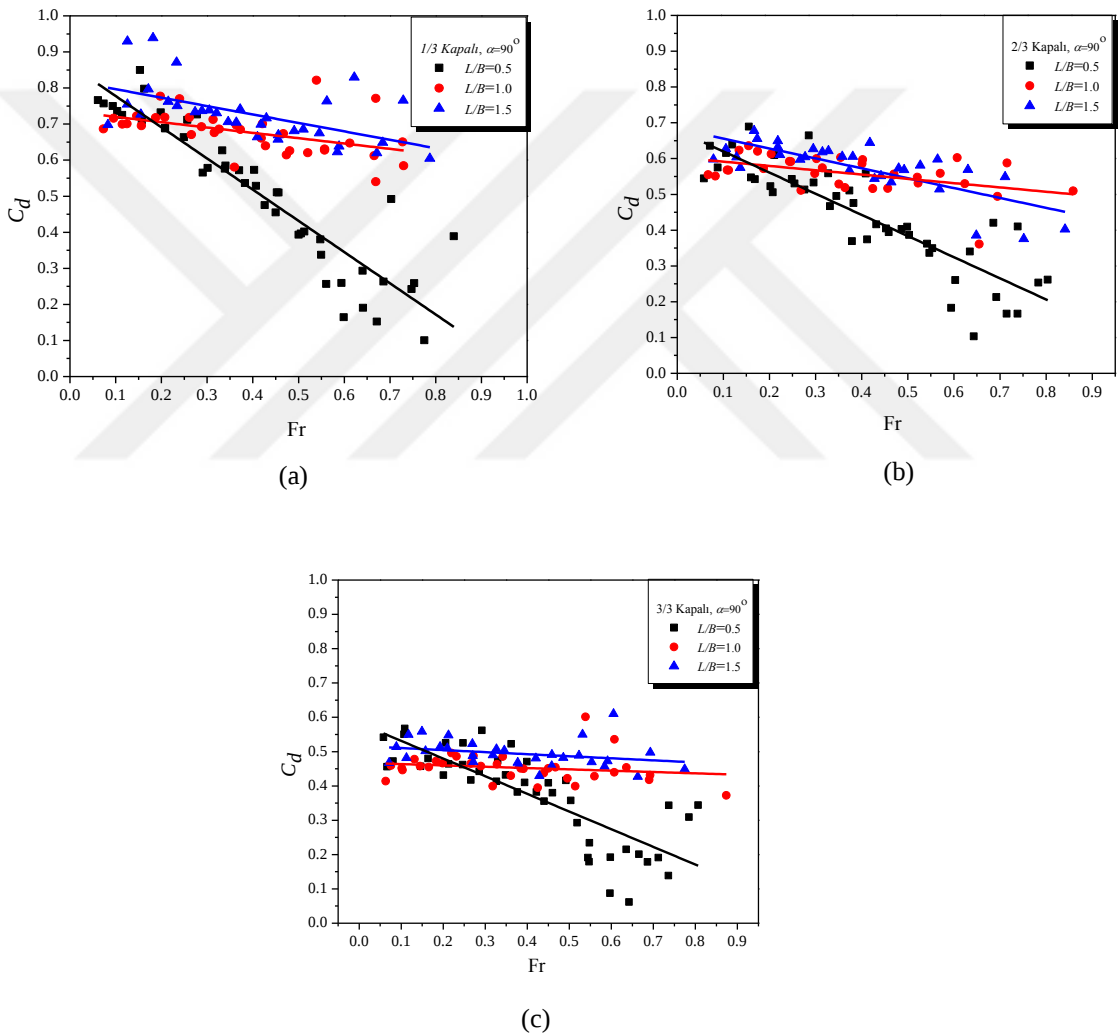
5.2.1. Froude Sayısının Etkisi

Şekil 5.15’de verilen grafiklerde doğrusal kanalda $\alpha=45^\circ$ tepe açısı için üçgen labirent yan savaklarda memba kret uzunluğunun farklı L/B oranlarına göre debi katsayısı ile Froude sayısı arasındaki ilişki irdelenmiştir. Görülen o ki; burada da Froude sayısının artması ile debi katsayısında azalma olduğu görülmektedir. Debi katsayısının, kret uzunlukları dikkate alındığında L/B oranlarına göre yüksek çıktığı oran 1.5’dir. Bunu sırasıyla 1.0, 0.5 oranları izlemektedir. Şekil 5.15 (a), (b) ve (c)’de memba kret uzunluğunun azalması ile debi katsayısında düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Savak genişliği arttıkça debi katsayısında artış gözlenmiştir.



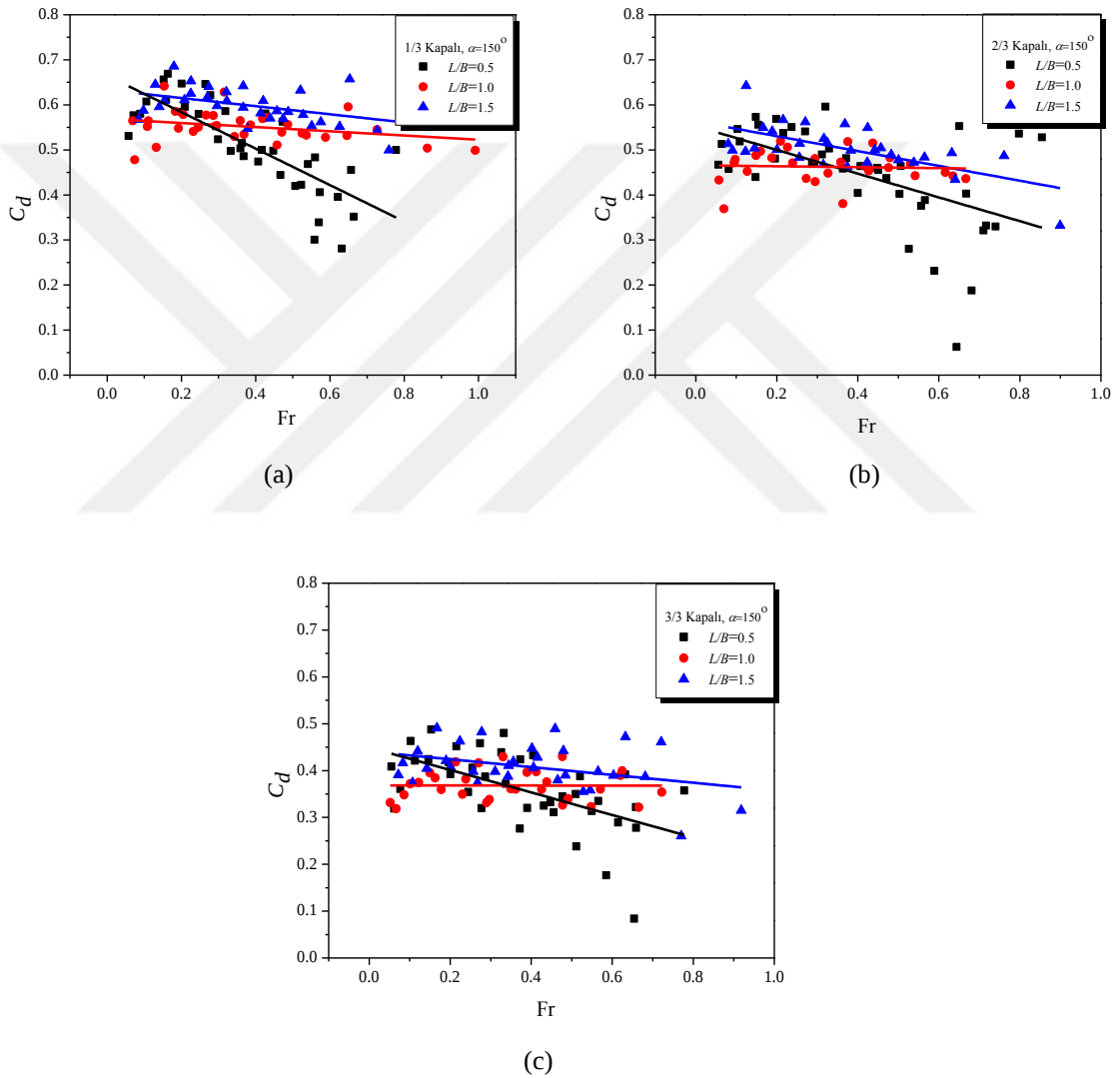
Şekil 5.15 Doğrusal kanalda $\alpha=45^\circ$ için farklı memba kret uzunluklarında ve $L/B=0.5, 1.0, 1.5$ durumunda debi katsayısı (C_d) ile Froude sayısının (Fr) karşılaştırılması:
a) 1/3 Kapalı b) 2/3 Kapalı c) 3/3 Kapalı

Şekil 5.16’da verilen grafiklerde doğrusal kanalda $\alpha=90^\circ$ tepe açısı için üçgen labirent yan savaklarda memba kret uzunluğunun farklı L/B oranlarına göre debi katsayısı ile Froude sayısı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 5.16 (a)’da Froude sayısının 0.05 ile 0.16 arasındaki kısmında $L/B = 0.5$ durumu $L/B=1.0$ durumundan daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı durum Şekil 5.16 (b)’de de görülmektedir. Şekil 5.16 (c)’de ise Froude sayısının 0.05 ile 0.15 arasındaki kısmında da söz konusudur. Genel anlamda debi katsayısının maksimumdan minimuma göre sıralama yapılmak istenirse $L/B=1.5$, 1.0 ve 0.5 olarak verilebilir.



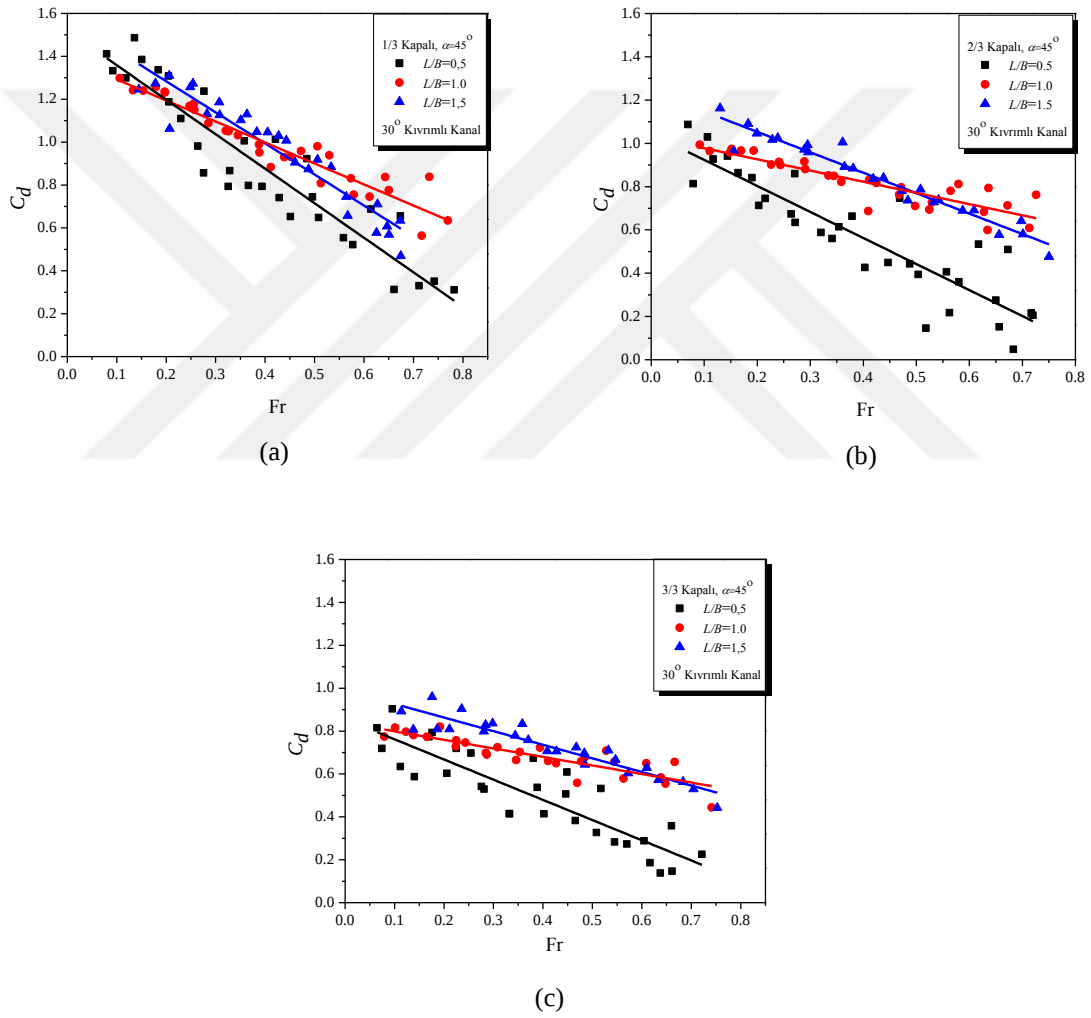
Şekil 5.16 Doğrusal kanalda $\alpha=90^\circ$ için farklı memba kret uzunluklarında ve $L/B=0.5$, 1.0, 1.5 durumunda debi katsayısı (C_d) ile Froude sayısının (Fr) karşılaştırılması:
a) 1/3 Kapalı b) 2/3 Kapalı c) 3/3 Kapalı

Şekil 5.17’de verilen grafiklerde doğrusal kanalda $\alpha=150^\circ$ tepe açısı için üçgen labirent yan savaklarda memba kret uzunluğunun farklı L/B oranlarına göre debi katsayısı ile Froude sayısı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 5.17’deki her üç grafikte de $L/B=0.5$ ile $L/B=1.0$ durumlarında bir çakışma söz konusudur. Froude sayısının küçük değerlerinde $L/B=0.5$ durumunun $L/B=1.0$ durumundan daha yüksek olduğu görülmektedir. Froude sayısının artmasıyla $L/B=0.5$ durumunda bir azalma söz konusu olduğundan dolayı $L/B=1.0$ durumunun debi katsayısı daha yüksek olarak karşımıza çıkmaktadır.



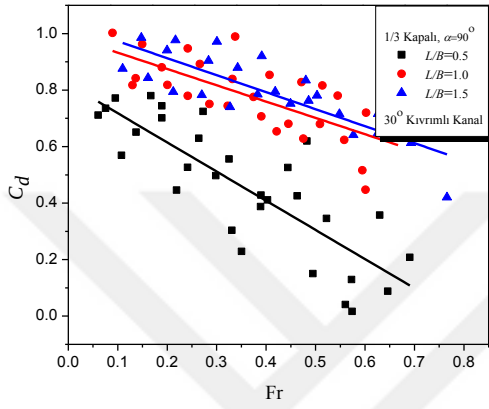
Şekil 5.17 Doğrusal kanalda $\alpha=150^\circ$ için farklı memba kret uzunluklarında ve $L/B=0.5, 1.0, 1.5$ durumunda debi katsayısı (C_d) ile Froude sayısının (Fr) karşılaştırılması:
a) 1/3 Kapalı b) 2/3 Kapalı c) 3/3 Kapalı

Şekil 5.18’de verilen grafiklerde 30° kıvrımlı kanalda $\alpha=45^\circ$ tepe açısı için üçgen labirent yan savaklarda memba kret uzunluğunun farklı L/B oranlarına göre debi katsayısı ile Froude sayısı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 5.18 (a)’da Froude sayısının 0.4’e kadar olan kısmında debi katsayısı $L/B=1.5$ durumu $L/B=1.0$ durumundan daha yüksek olmasına karşın daha sonra yer değiştirdikleri görülmüştür. Şekil 5.18 (b)’de Froude sayısının 0.5’e kadar olan kısmında, Şekil 5.18 (c)’de ise Froude sayısının 0.6’ya kadar olan kısmında söz konusudur. Şekil 5.18’deki üç grafikte debi katsayısının düşük çıktığı durum ise $L/B=0.5$ ’dir.

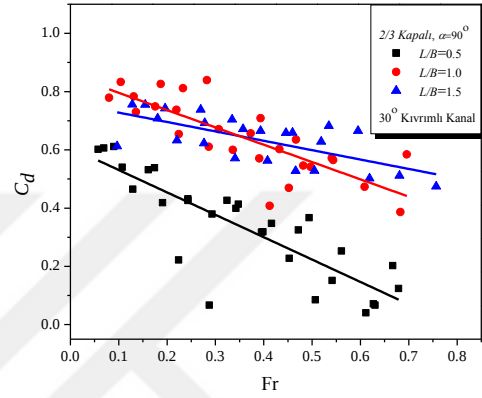


Şekil 5.18 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=45^\circ$ için farklı memba kret uzunluklarında ve $L/B=0.5, 1.0, 1.5$ durumunda debi katsayısı (C_d) ile Froude sayısının (Fr) karşılaştırılması:
a) 1/3 Kapalı b) 2/3 Kapalı c) 3/3 Kapalı

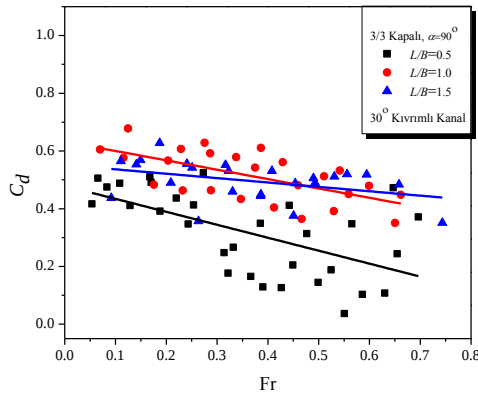
Şekil 5.19’da verilen grafiklerde 30° kıvrımlı kanalda $\alpha=90^\circ$ tepe açısı için üçgen labirent yan savaklarda memba kret uzunluğunun farklı L/B oranlarına göre debi katsayısı ile Froude sayısı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 5.19 (a)’da Froude sayısının artmasıyla debi katsayısındaki azalma sırası net bir şekilde $L/B=1.5$, 1.0 , 0.5 olarak görülmektedir. Şekil 5.19 (b) ve (c)’de ise $L/B=1.0$ ve $L/B=1.5$ arasında bir yer değiştirme meydana gelmiştir.



(a)



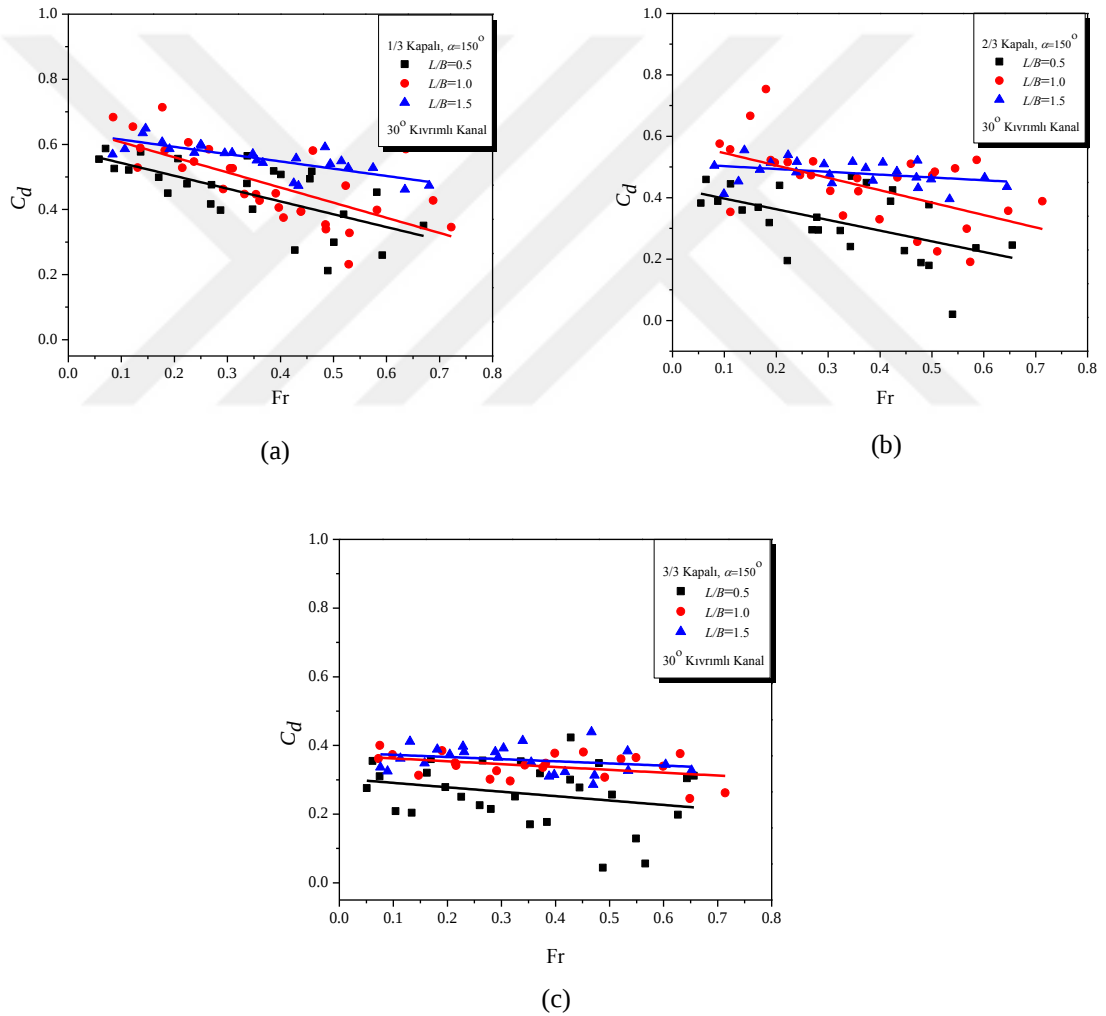
(b)



(c)

Şekil 5.19 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=90^\circ$ için farklı memba kret uzunluklarında ve $L/B=0.5$, 1.0 , 1.5 durumunda debi katsayısı (C_d) ile Froude sayısının (Fr) karşılaştırılması:
a) 1/3 Kapalı b) 2/3 Kapalı c) 3/3 Kapalı

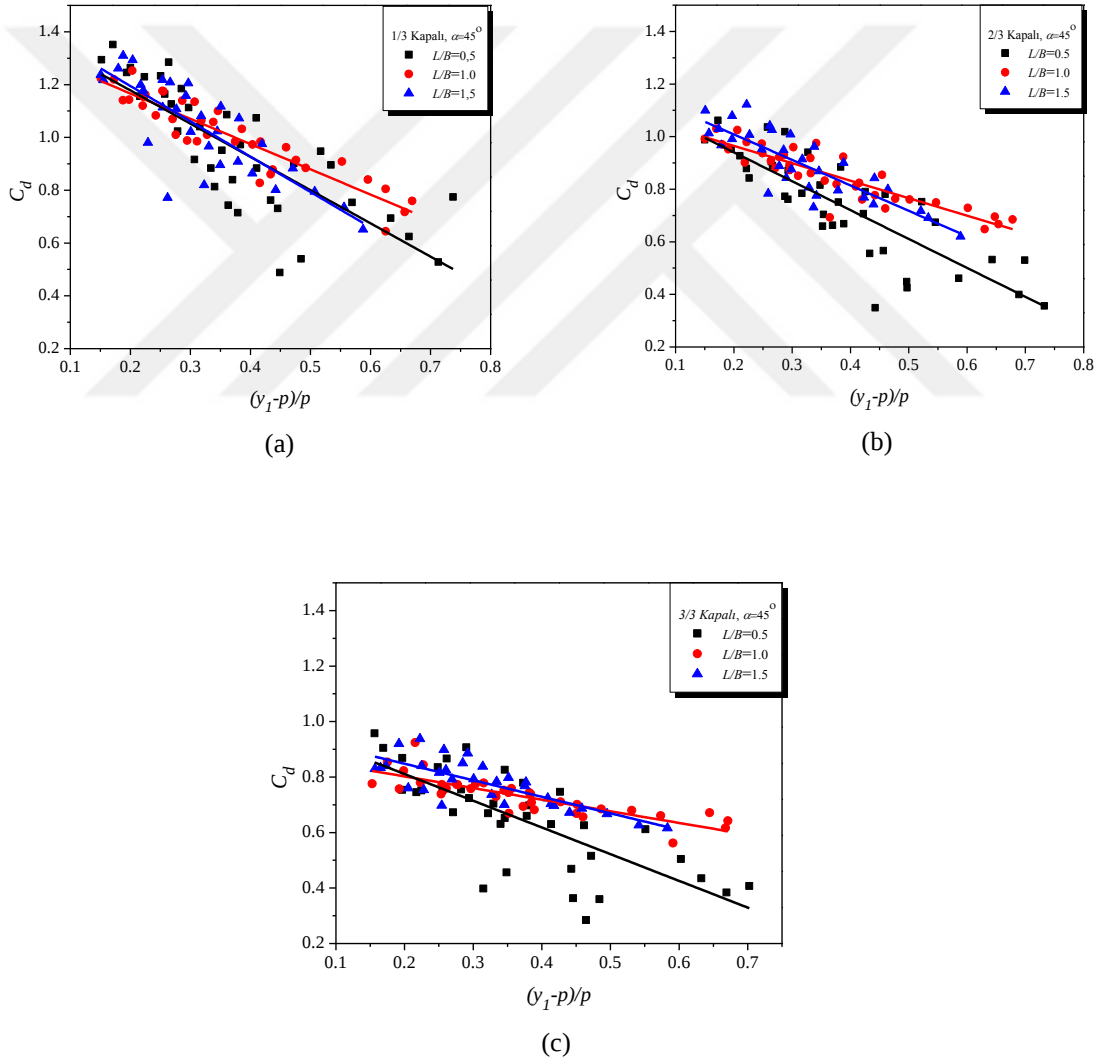
Şekil 5.20’de verilen grafiklerde 30° kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ tepe açısı için üçgen labirent yan savaklarda memba kret uzunluğunun farklı L/B oranlarına göre debi katsayısı ile Froude sayısı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 5.20 (a)’da açık bir şekilde debi katsayısının maksimum olduğu durum $L/B=1.5$ olarak görülmektedir. Daha sonra sırasıyla $L/B=1.0$ ve $L/B=0.5$ durumları izlemektedir. Şekil 5.20 (a)’da Froude sayısının artmasıyla debi katsayısında azalmanın en fazla olduğu durum $L/B=1$ dir. Şekil 5.20 (b)’de Froude sayılarının 0.05 ile 0.21 arasındaki kısımda $L/B=1.0$ durumu için debi katsayısı daha yüksektir. Şekil 5.20 (c)’de ise $L/B=1.5$ ile $L/B=1.0$ durumları birbirlerine yakın seyretmektedirler.



Şekil 5.20 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ için farklı memba kret uzunluklarında ve $L/B=0.5, 1.0, 1.5$ durumunda debi katsayısı (C_d) ile Froude sayısının (Fr) karşılaştırılması:
a) 1/3 Kapalı b) 2/3 Kapalı c) 3/3 Kapalı

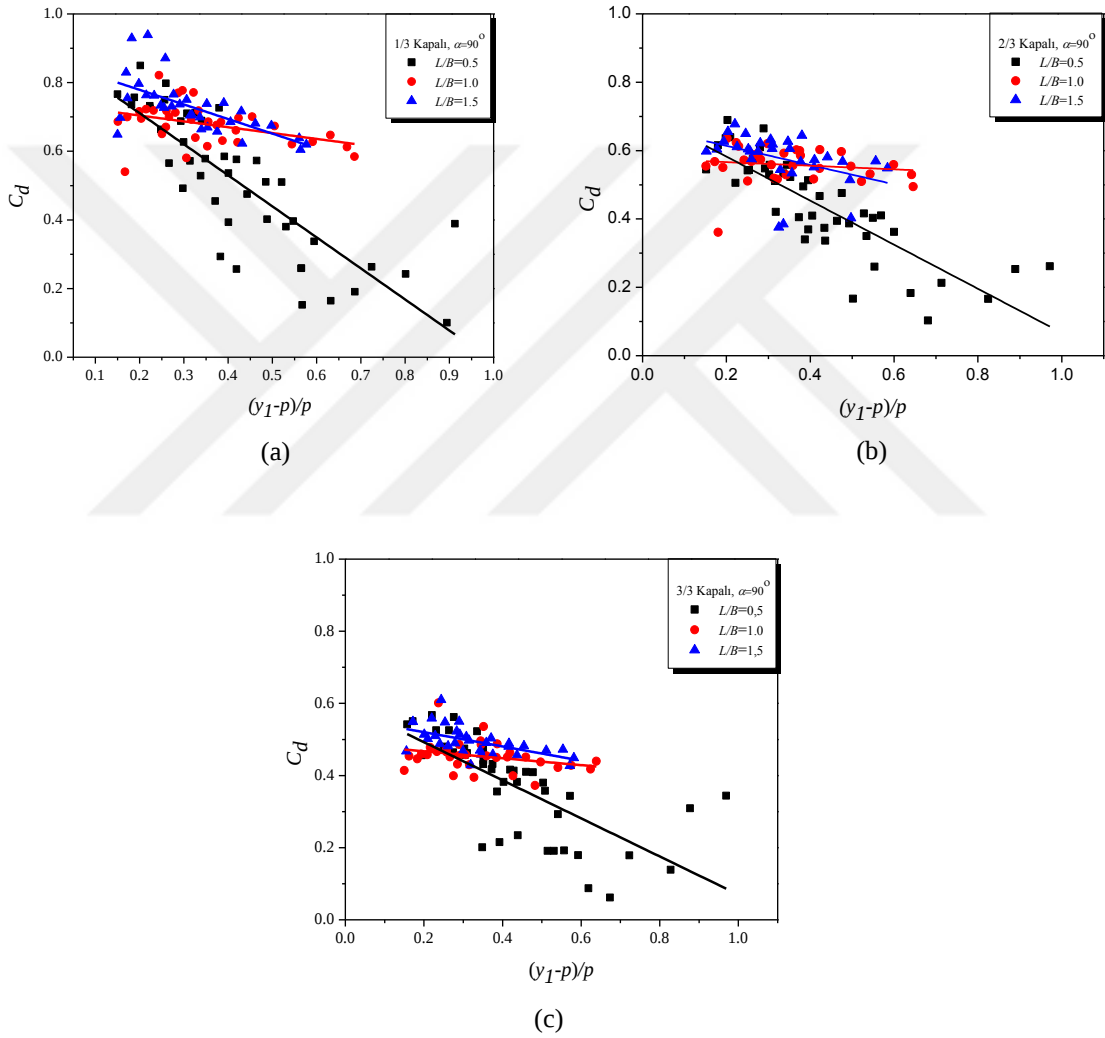
5.2.2. Boyutsuz Nap Yüksekliğinin Etkisi

Şekil 5.21 doğrusal kanalda $\alpha=45^\circ$ tepe açısı için üçgen labirent yan savakta memba kret uzunluğunun farklı L/B oranlarına göre debi katsayısı ile $(y_1-p)/p$ arasındaki bağıntıyı vermektedir. Şekil 5.21'deki verilere dayanarak, debi katsayısının en düşük olduğu $L/B=0.5$ durumudur. $L/B=1.0$ ve 1.5 oranları birbirine yakın seyir etmektedir. Şekil 5.21 (a) gösteriyor ki $(y_1-p)/p$ oranının yaklaşık 0.25 değerinden sonra $L/B=1.5$ ve 1.0 değerleri yer değiştirmektedir. Aynı durum Şekil 5.21 (b)'de yaklaşık 0.32 ve Şekil 5.21 (c)'de yaklaşık 0.46 değerlerinde ortaya çıkmaktadır.



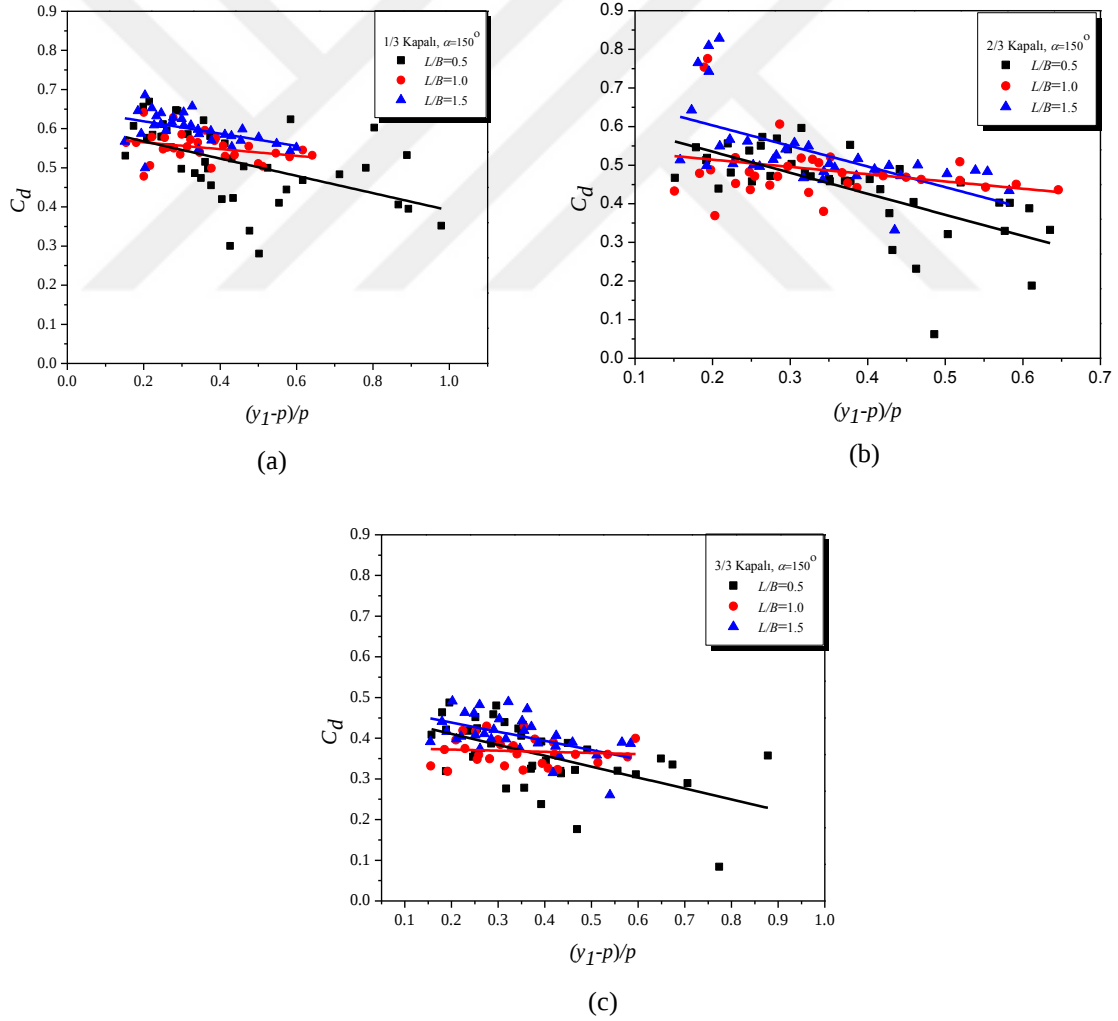
Şekil 21. Doğrusal kanalda $\alpha=45^\circ$ için savak kret uzunluklarının ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi:
a) 1/3 Kapalı b) 2/3 Kapalı c) 3/3 Kapalı

Şekil 5.22 doğrusal kanalda $\alpha=90^\circ$ tepe açısı için üçgen labirent yan savakta memba kret uzunluğunun farklı L/B oranlarına göre debi katsayısı ile $(y_1-p)/p$ arasındaki bağıntıyı vermektedir. Şekil 5.22 (a)'da $(y_1-p)/p$ oranının 0.50 kadar olan kısmında $L/B=1.5$ durumu için debi katsayısı daha yüksektir. Fakat daha sonra ise $L/B=1.0$ durumu söz konusudur. Şekil 5.22 (b)'de ise bu değer 0.42 olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 5.22'deki üç grafikten memba kret uzunluğunun azaltılması ile debi katsayısında azalma olduğu gözlemlenmiştir.



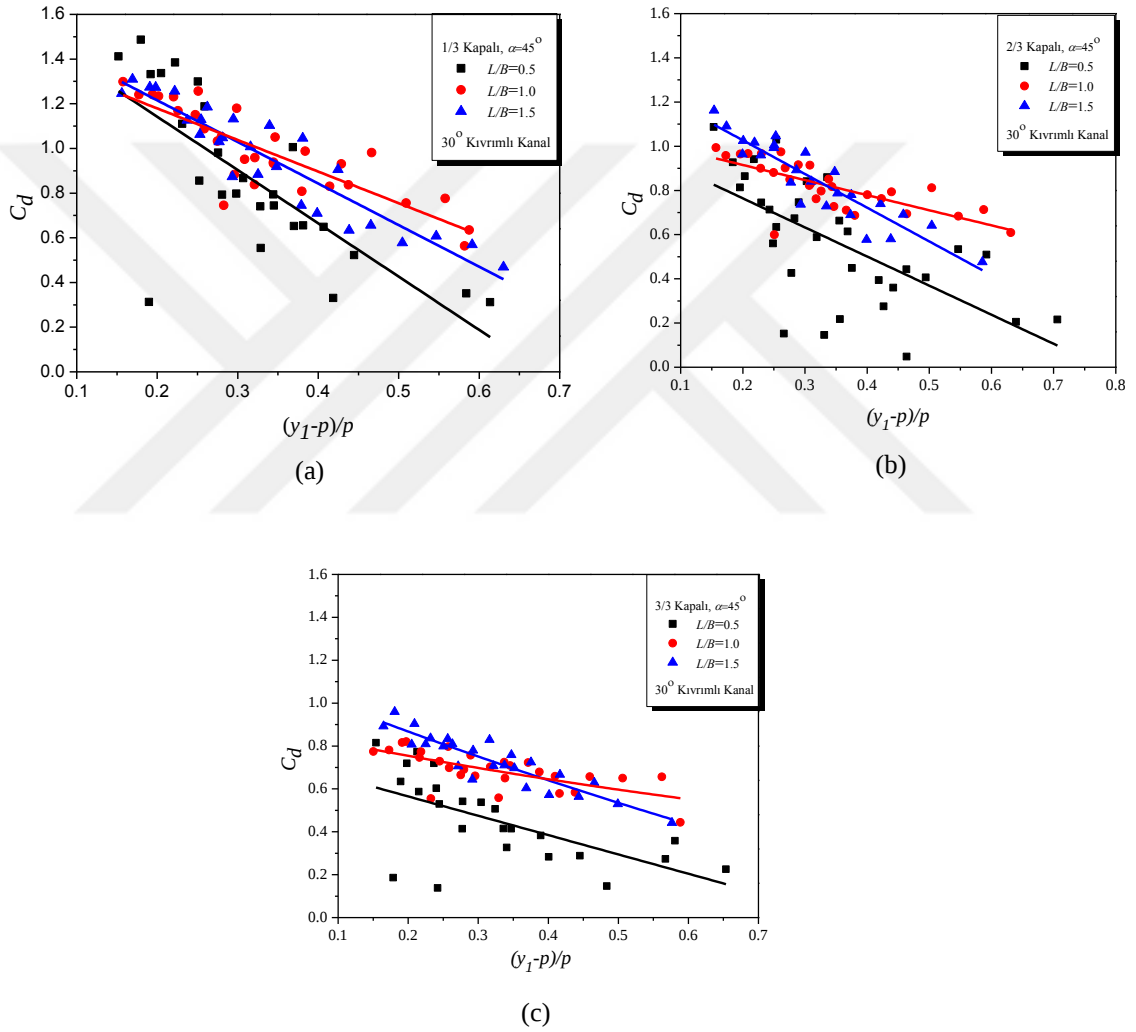
Şekil 22. Doğrusal kanalda $\alpha=90^\circ$ için savak kret uzunluklarının ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi:
a) 1/3 Kapalı b) 2/3 Kapalı c) 3/3 Kapalı

Şekil 5.23 doğrusal kanalda $\alpha=150^\circ$ tepe açısı için üçgen labirent yan savakta memba kret uzunluğunun farklı L/B oranlarına göre debi katsayısı ile $(y_1-p)/p$ arasındaki bağıntıyı vermektedir. Şekil 5.23'deki üç grafikte debi katsayısının maksimum olduğu durum $L/B=1.5$ olarak görülmektedir. Şekil 5.23 (a)'da $(y_1-p)/p$ oranının 0.23'e kadar olan kısmında $L/B=0.5$ durumu için debi katsayısı $L/B=1.0$ durumundan daha yüksek olduğu karşımıza çıkmaktadır. Şekil 5.23 (b)'de ise $(y_1-p)/p$ oranının 0.15 ile 0.30 arasında debi katsayısı $L/B=0.5$ kapalı hali, $L/B=1.0$ kapalı halinden daha yüksektir. Aynı durum $L/B=1.5$ kapalı halinin $L/B=1.0$ kapalı haliden, $(y_1-p)/p$ oranının 0.45 ile 0.65 arasında debi katsayısı daha yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 5.23 (c)'de $(y_1-p)/p$ oranının 0.35 kadar olan kısımda $L/B=0.5$ durumu için debi katsayısı $L/B=1.0$ durumundan daha yüksekte seyretilmektedir.



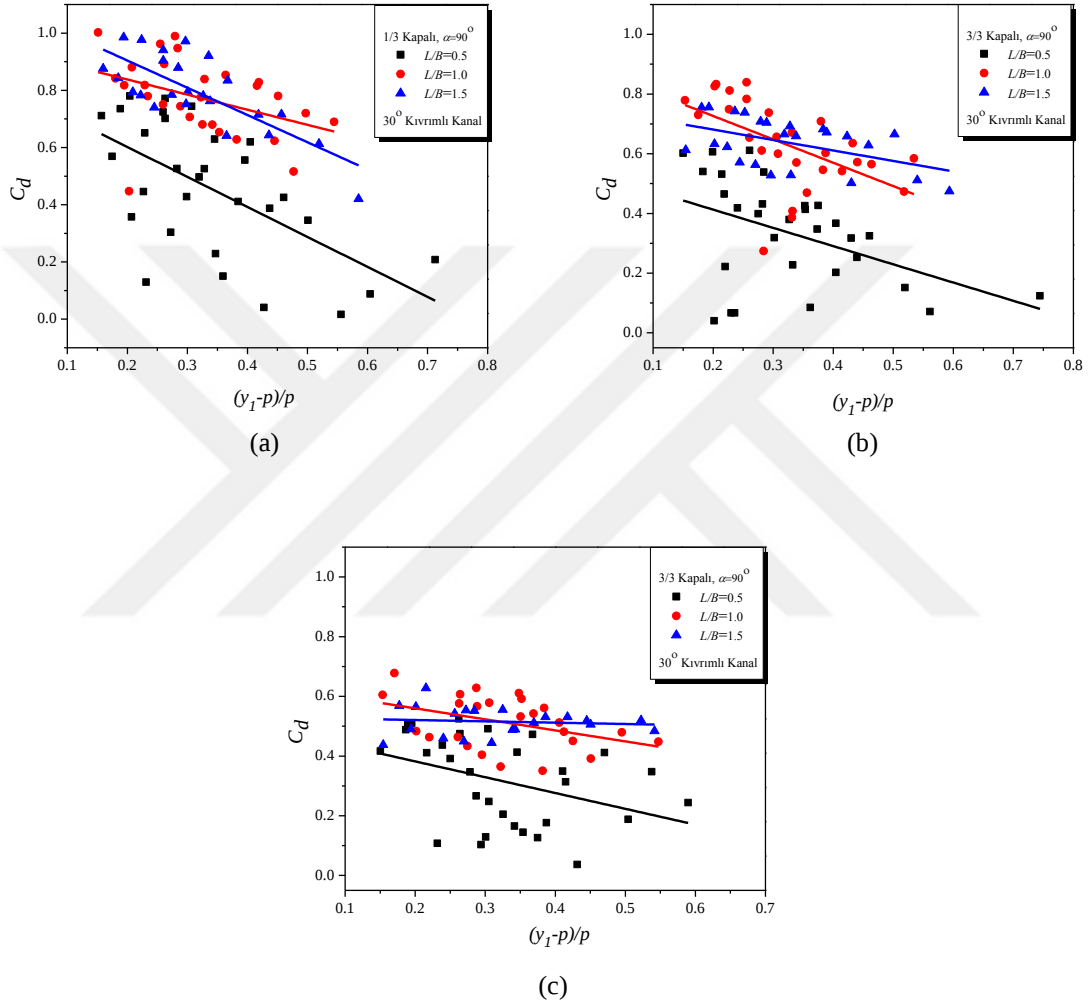
Şekil 23. Doğrusal kanalda $\alpha=150^\circ$ için savak kret uzunluklarının ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi:
a) 1/3 Kapalı b) 2/3 Kapalı c) 3/3 Kapalı

Şekil 5.24 30° kıvrımlı kanalda $\alpha=45^\circ$ tepe açısı için üçgen labirent yan savakta memba kret uzunluğunun farklı L/B oranlarına göre debi katsayısı ile $(y_1-p)/p$ arasındaki bağıntıyı vermektedir. Şekil 5.24 (a)'da $(y_1-p)/p$ oranının 0.26 kadar olan kısmında $L/B=1.5$ durumu için debi katsayısı $L/B=1.0$ durumundan daha yüksek seyrettiği daha sonra ise yer değişimi söz konusu olmuştur. Şekil 5.24 (b)'de bu değer 0.32 değerlerde olduğu görülmektedir. Şekil 5.24 (c)'de ise değer 0.4 olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.24'deki üç grafikte debi katsayısının minimum olduğu durum $L/B=0.5$ 'dir.



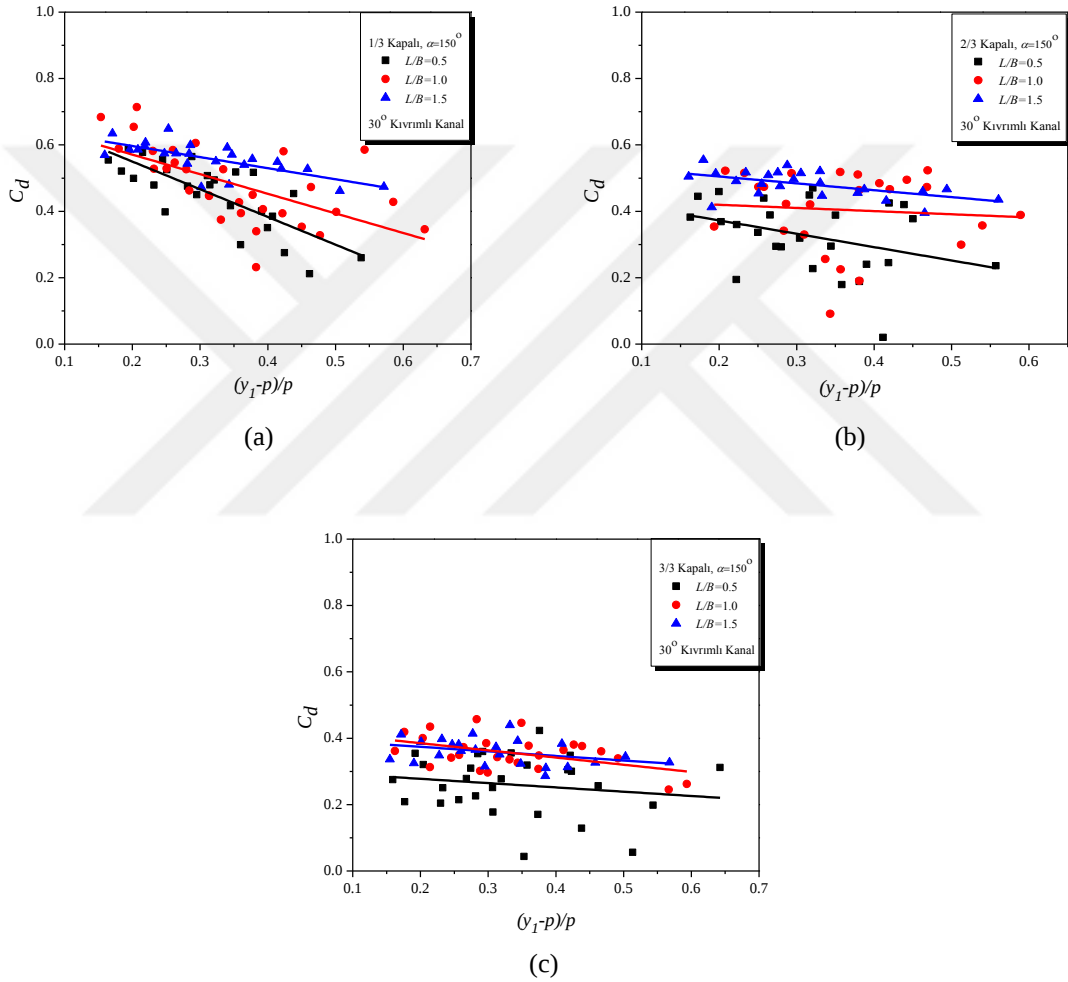
Şekil 24. 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=45^\circ$ için savak kret uzunluklarının ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi:
a) 1/3 Kapalı b) 2/3 Kapalı c) 3/3 Kapalı

Şekil 5.25 30° kıvrımlı kanalda $\alpha=90^\circ$ tepe açısı için üçgen labirent yan savakta memba kret uzunluğunun farklı L/B oranlarına göre debi katsayısı ile $(y_1-p)/p$ arasındaki bağıntıyı vermektedir. Şekil 5.25’deki üç grafikte debi katsayısı gösteren eğriler $L/B=1.5$ ile $L/B=1.0$ için belli $(y_1-p)/p$ oranlarında yer değiştirdikleri görülmüştür. Fakat $L/B=0.5$ için bu söz konusu değildir. Debi katsayısının minimum olduğu durum $L/B=0.5$ olarak görülmektedir.



Şekil 25. 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=90^\circ$ için savak kret uzunluklarının ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi:
a) 1/3 Kapalı b) 2/3 Kapalı c) 3/3 Kapalı

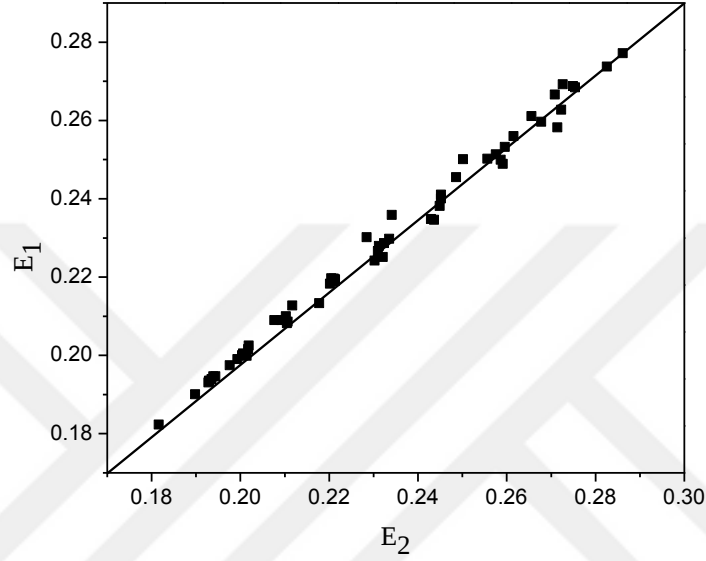
Şekil 5.26 30° kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ tepe açısı için üçgen labirent yan savakta memba kret uzunluğunun farklı L/B oranlarına göre debi katsayısı ile $(y_1-p)/p$ arasındaki bağıntıyı vermektedir. Şekil 5.26 (a) ve (b)'de debi katsayısının maksimum olduğu durumun $L/B=1.5$ olduğu açıkça belli olmaktadır. Bunları sırasıyla $L/B=1.0$ ve $L/B=0.5$ durumları izlemektedir. Şekil 5.36 (c)'de $L/B=1.5$ ile $L/B=1.0$ durumları çok yakın seyretmekte olup $(y_1-p)/p$ oranının 0.28 değerine kadar $L/B=1.0$ durumunun debi katsayısının az da olsa yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 26. 30° Kıvrımlı kanalda $\alpha=150^\circ$ için savak kret uzunluklarının ve farklı L/B değerleri için $(y_1-p)/p$ değerlerine karşı debi katsayısının (C_d) değişimi:
a) 1/3 Kapalı b) 2/3 Kapalı c) 3/3 Kapalı

5.3. Trapez Labirent Yan Savakta Debi Katsayısının Değişimi

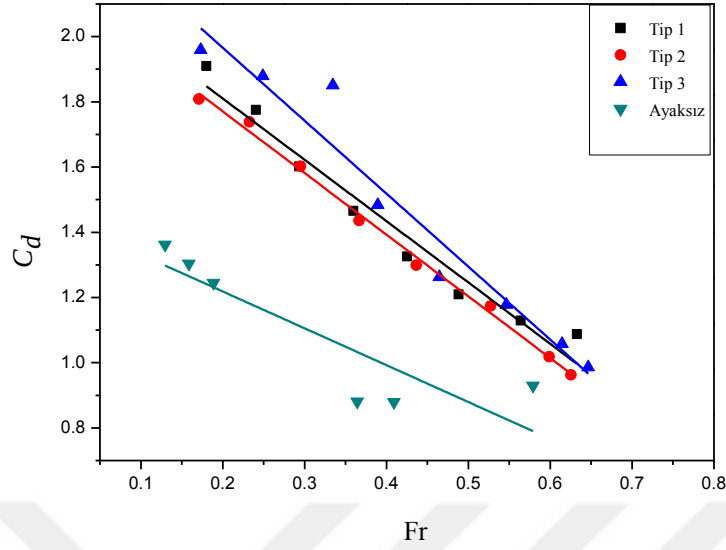
Şekil 5.27’de E_1 ve E_2 arasında uyum olduğu ve dataların 45°’lik eğri üzerinde oldukça düzenli bir şekilde saçıldığı gözlenmiştir. Buna göre; Şekil 5.27’e paralel olarak bu durum için de De Marchi yönteminin güvenle kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.27. Doğrusal kanalda, trapez labirent yan savaklar için E_1 ile E_2 karşılaştırılması

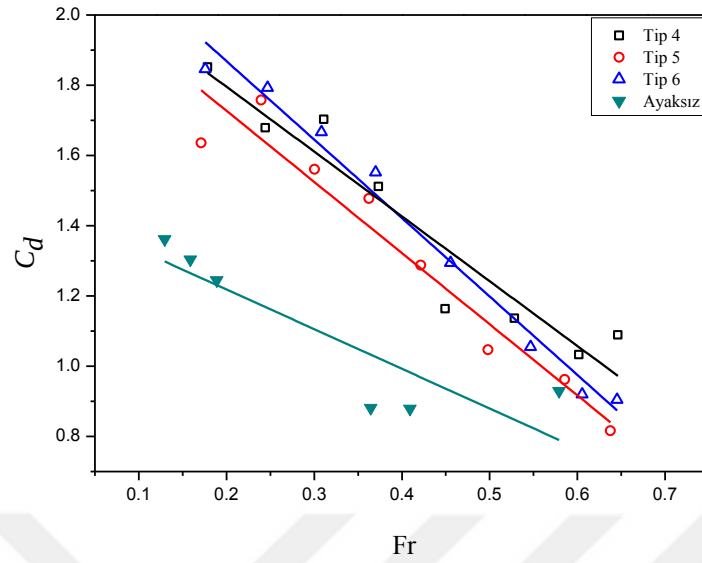
5.3.1. Ana Kanala Bırakılan Ayakların Etkisinin İncelenmesi

Şekil 5.28’de trapez labirent yan savaklarda; sabit yuvarlak kesitli ayak sayısı (3 adet) için, ayakların diziliş şeklinin, değişen Froude sayısı ile, debi katsayısına etkisi araştırılmıştır. Şekil incelendiğinde Tip 3 diziliminin debi katsayılarının daha yüksek olduğu gözlenmiş ve Tip 1 ile Tip 2 dizilimlerinin debi katsayısına etkisinin birbirine daha yakın olduğu belirlenmiştir. Şekil 5.28’e bakıldığında ana kanala ayak bırakılmadan yapılan deneylerdeki debi katsayısı minimum çıkmaktadır. Buradan anlaşılan o ki; ayak kullanımının debi katsayısını arttırdığı sonucuna varılmaktadır. Ayak kullanımı ile savaklanan debi artırılabilir.



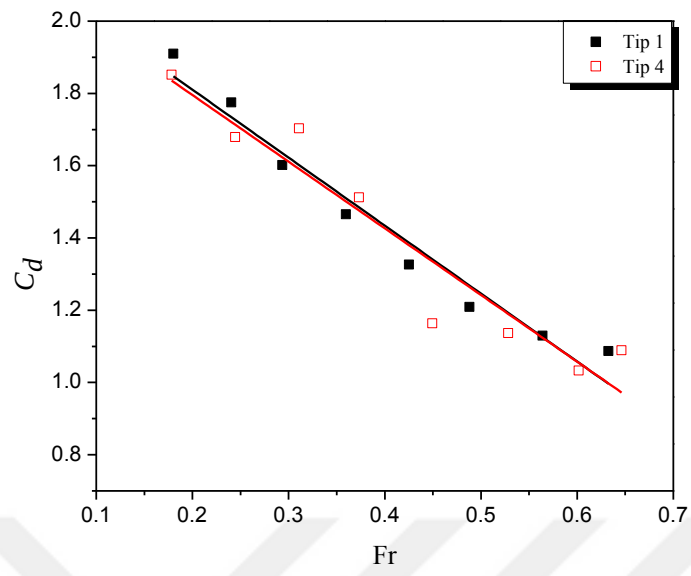
Şekil 5.28. Trapez labirent yan savakta Ayaksız, Tip 1, Tip 2 ve Tip 3 için Fr sayısının C_d değişimi

Şekil 5.29'da trapez labirent yan savaklarda; sabit dikdörtgen kesitli ayak sayısı (3 adet) için, ayakların diziliş şeklinin, değişen Froude sayısı ile, debi katsayısına etkisi araştırılmıştır. Şekil incelendiğinde $Fr=0.4$ değerine kadar en yüksek debi katsayısı değerleri Tip 6 için, bu değerden sonra ise Tip 4 için gözlenmiştir. En küçük debi katsayısı değerleri Tip 5 için gözlenmiştir. Genel olarak; çok az bir farkla da olsa, yuvarlak kesitli ayaklarla elde edilen debi katsayısı değerlerinin daha büyük olduğu gözlenmektedir. Hem yuvarlak ve hem de dikdörtgen kesitli ayaklarla aynı dizilim şekilleri için, yapılan deneylerden elde edilen değerlere uydurulan eğrilerin eğilimleri yaklaşık olarak benzerdir. Şekil 5.29 incelendiğinde ana kanala ayak kullanımının debi katsayısını arttırdığı gözlemlenmiştir.

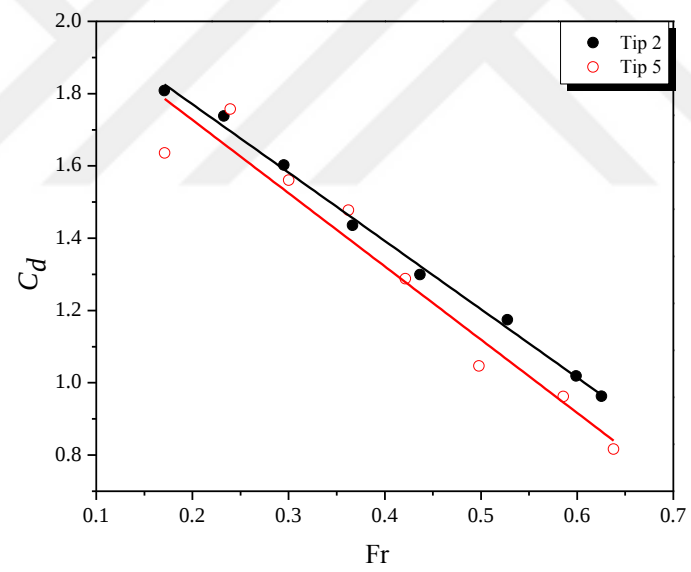


Şekil 5.29. Trapez labirent yan savakta Ayaksız, Tip 4, Tip 5 ve Tip 6 için Fr sayısının C_d değişimi

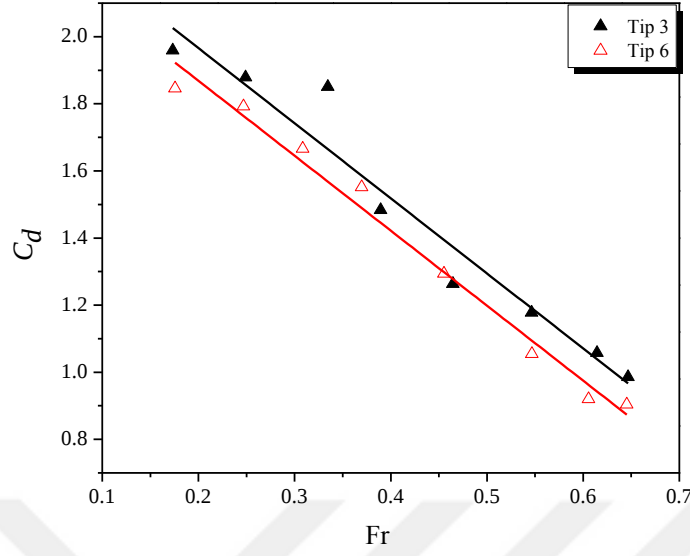
Şekil 5.30. (a-c)'de aynı dizilim şekilleri için yuvarlak ve dikdörtgen kesitli ayakların değişen Froude sayısı ile debi katsayısına etkileri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Şekilde 5.30'da görüldüğü gibi yuvarlak kesitli ayaklar kullanılarak elde edilen debi katsayısı değerlerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Bu farklılık, dizilim şekli ve akım şartları aynı olduğu için, tamamen ayakların geometrik şeklinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla debi katsayısını (yani deşarj kapasitesini) arttırması sebebiyle yuvarlak kesitli ayakların tercih edilmesi daha uygundur.



(a)



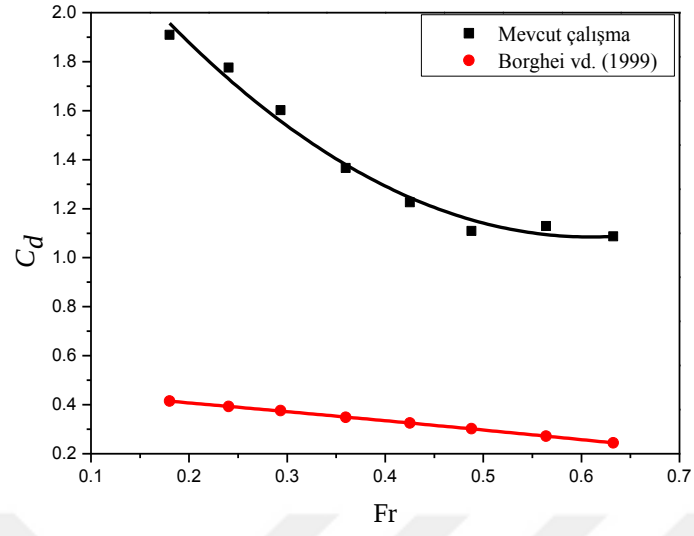
(b)



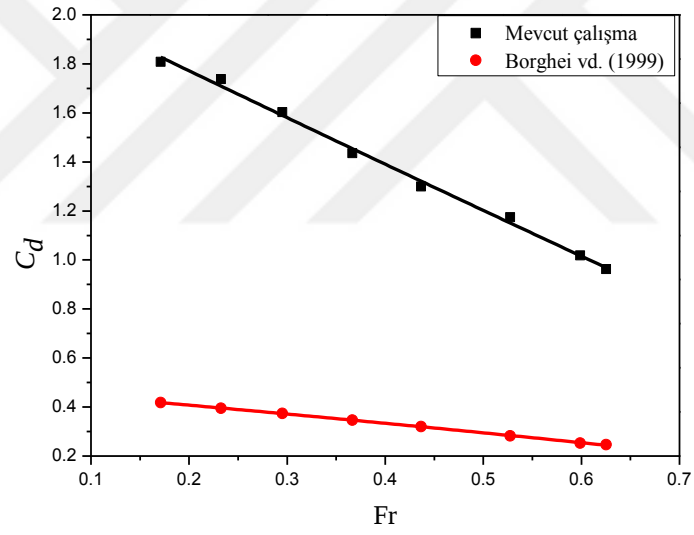
(c)

Şekil 5.30. Trapez labirent yan savakta aynı dizilimdeki dikdörtgen ve yuvarlak ayakların Fr sayısı ile C_d değişimi

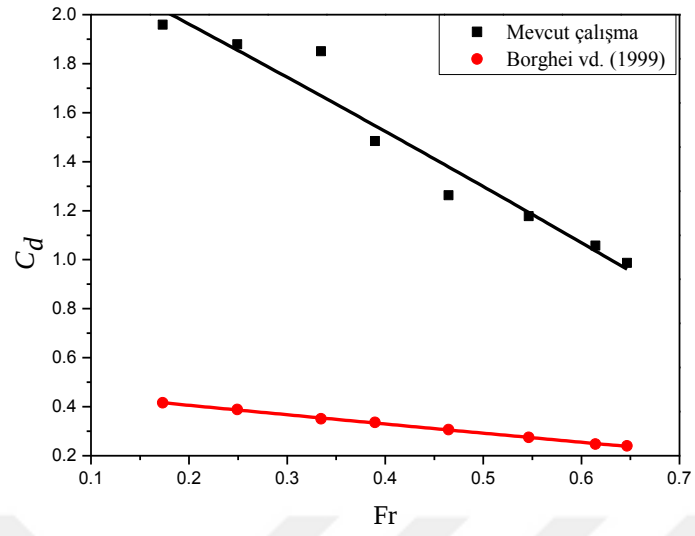
Şekil 5.31.(a-f)'de mevcut çalışmada ayak kullanılarak elde edilen bulgularla Borghei vd. (1999) [11] çalışmasında aynı savak tipi kullanılarak ayaksız gerçekleştirilen deneylerden elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır. Borghei vd. (1999) ayak kullanmadan yürüttükleri çalışmada debi katsayısını belirlemek için (1.3) eşitliğini sunmuşlardır. Bu (1.3) eşitliği kullanılarak mevcut çalışmadaki parameterlerin aynı değerleri formülde yazılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda karşılaştırılmalı bir şekilde sunulmuştur. Buna göre ayak kullanmanın debi katsayısını önemli derecede arttırdığı ve bu nedenle kullanılmasının uygulamadaki mühendislere önemle tavsiye edilmesi sonucuna varılmıştır. Ayrıca ayak kullanılarak elde edilen sonuçlara uydurulan eğilim çizgisinin eğiminin daha yüksek olduğu, dolayısıyla Froude sayısındaki artışla debi katsayısındaki değişim oranının daha yüksek olduğu gözlenmektedir.



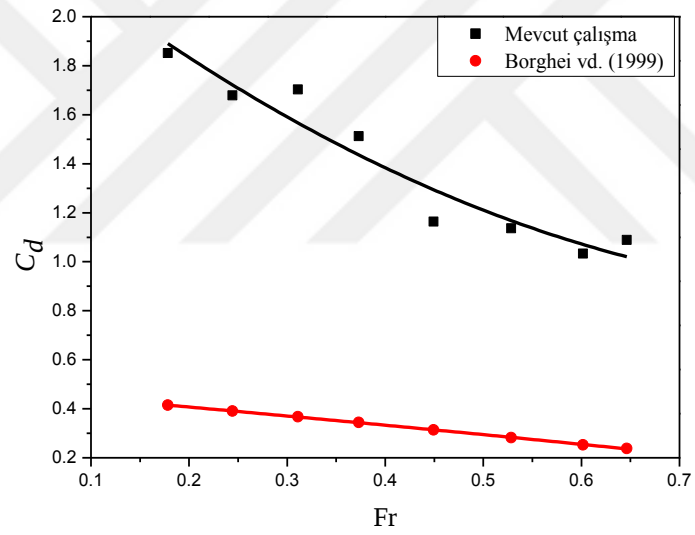
(a)



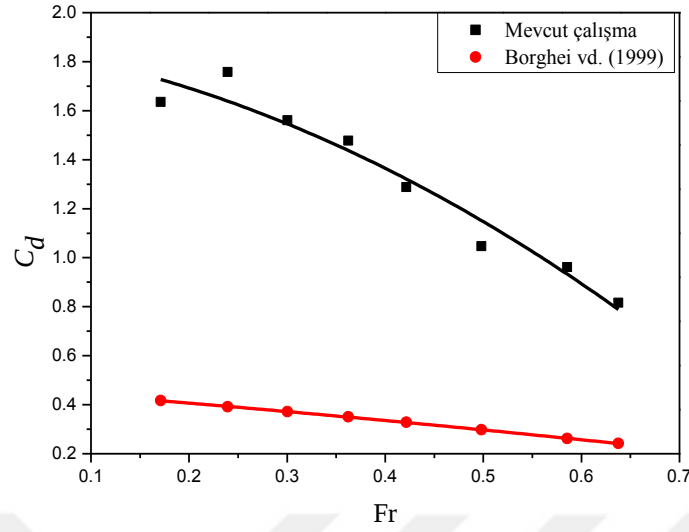
(b)



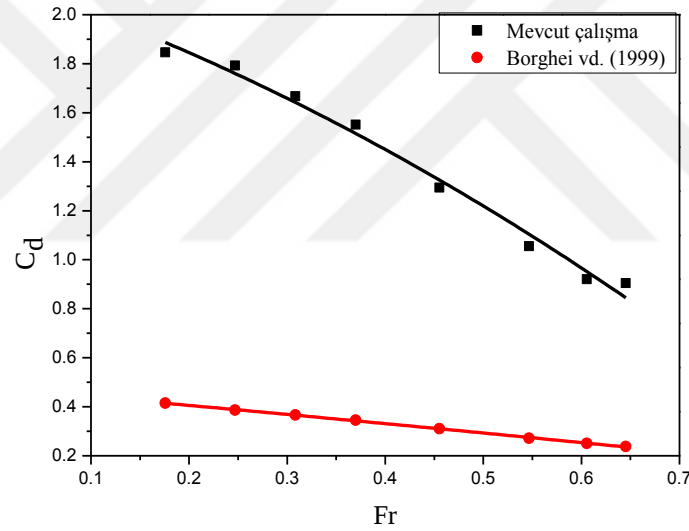
(c)



(d)



(e)

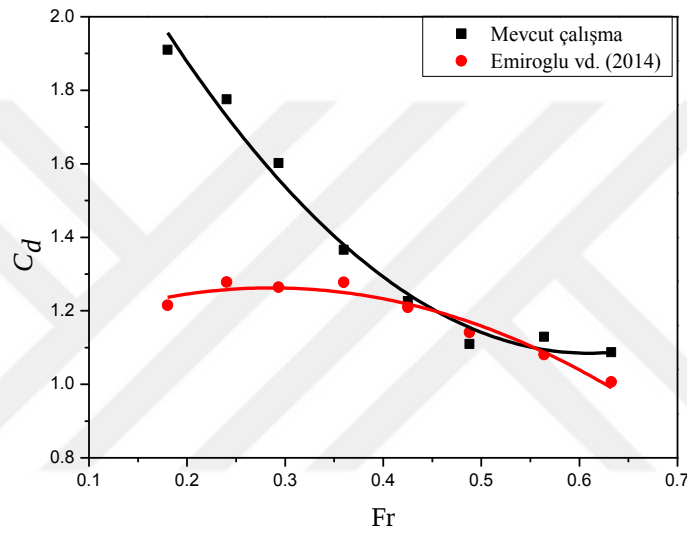


(f)

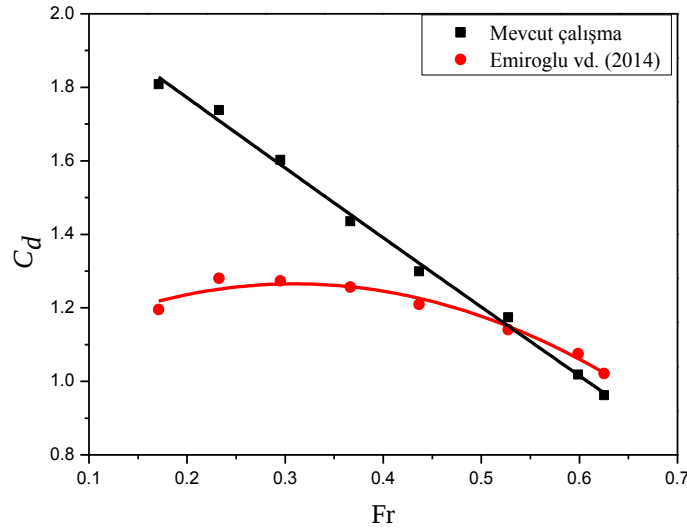
Şekil 5.31. Mevcut çalışma ile Borghei vd. (1999) için trapez labirent yan savakta C_d 'nin Fr sayısı ile değişimi:
a) Tip 1, b) Tip 2, c) Tip 3, d) Tip 4, e) Tip 5, f) Tip 6

Şekil 5.32.(a-f)'de mevcut çalışmada ayak kullanılarak elde edilen bulgularla Emiroglu vd. (2014) [9] çalışmasında aynı savak tipi ve aynı akım şartları için ayak kullanılmadan gerçekleştirilen deneylerden elde edilen bulgular karşılaştırılmıştır. Emiroglu vd. (2014) ayak kullanmadan yürüttükleri çalışmada debi katsayısını belirlemek için güvenle kullanılabilecek bir (1.1) eşitliğini sunmuşlardır. Bu (1.1) eşitliği kullanılarak mevcut çalışmadaki parameterlerin aynı değerleri formülde yazılmış ve elde edilen sonuçlar

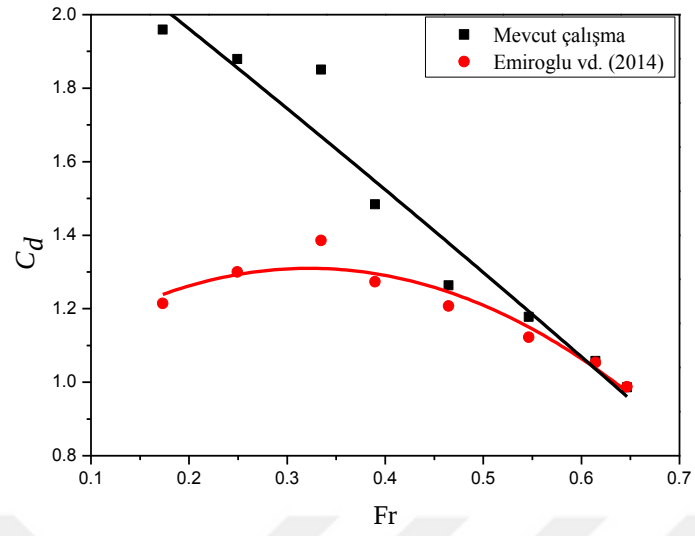
aşağıda karşılaştırılmalı bir şekilde sunulmuştur. Buna göre ayak kullanmanın debi katsayısını önemli derecede arttırdığı ve bu nedenle kullanılmasının uygulamadaki mühendislere önemle tavsiye edilmesi sonucuna varılmıştır. Ayrıca ayak kullanılarak elde edilen sonuçlara uydurulan eğilim çizgisinin eğiminin daha yüksek olduğu, dolayısıyla Froude sayısındaki artışla debi katsayısındaki değişim oranının daha yüksek olduğu gözlenmektedir. $Fr=0.5$ ile 0.6 değerleri arasında iki eğrinin çakıştığı gözlenmiştir.



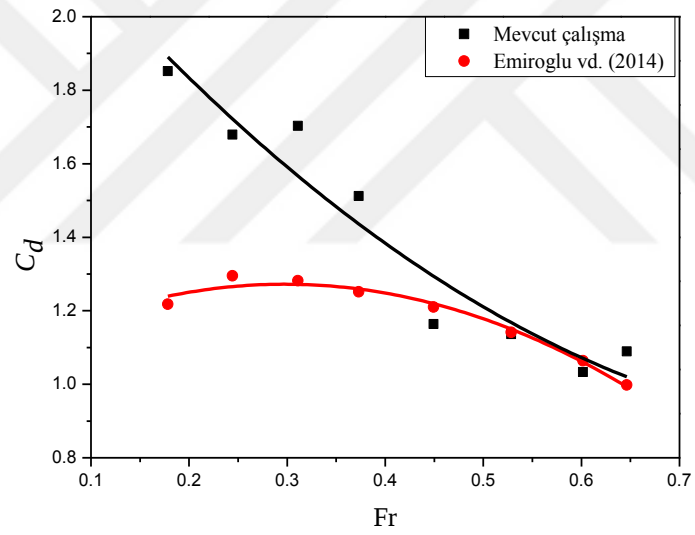
(a)



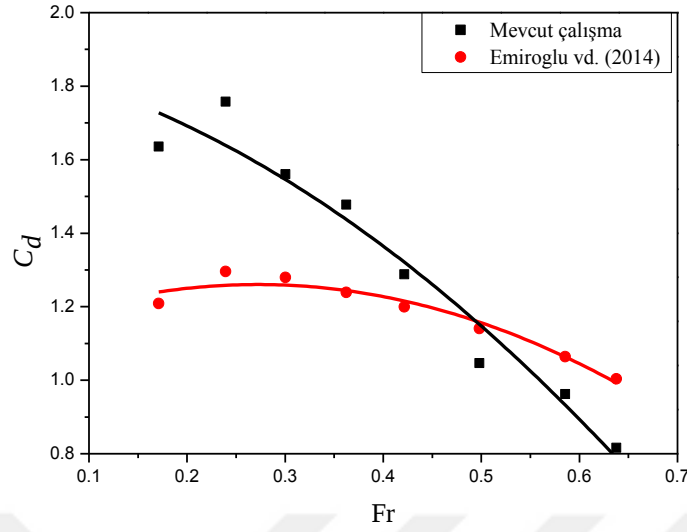
(b)



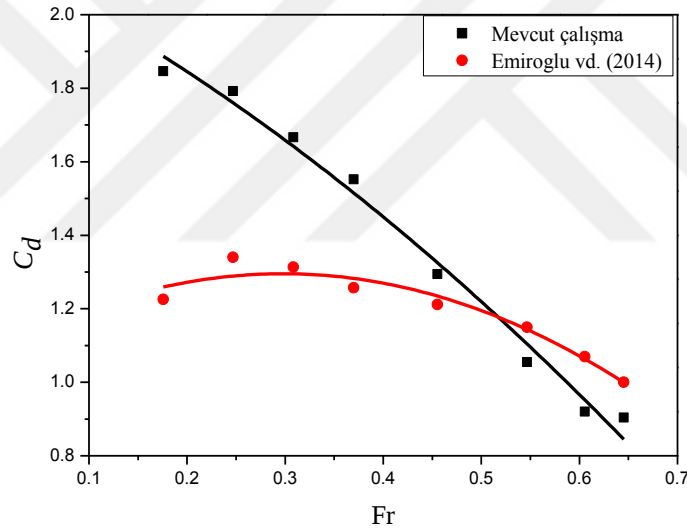
(c)



(d)



(e)

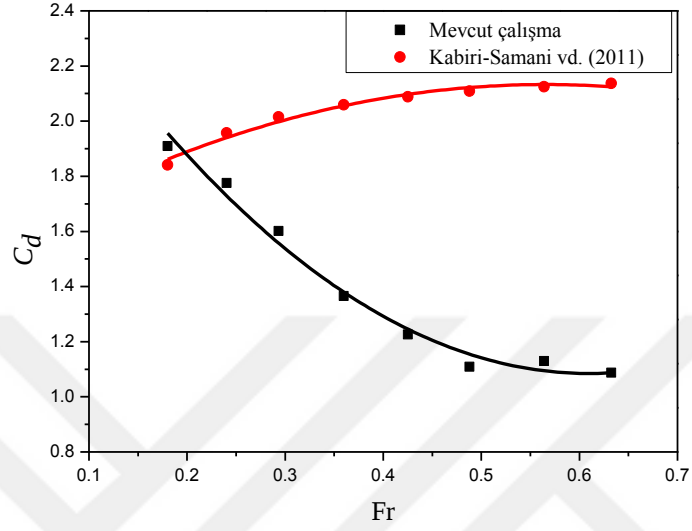


(f)

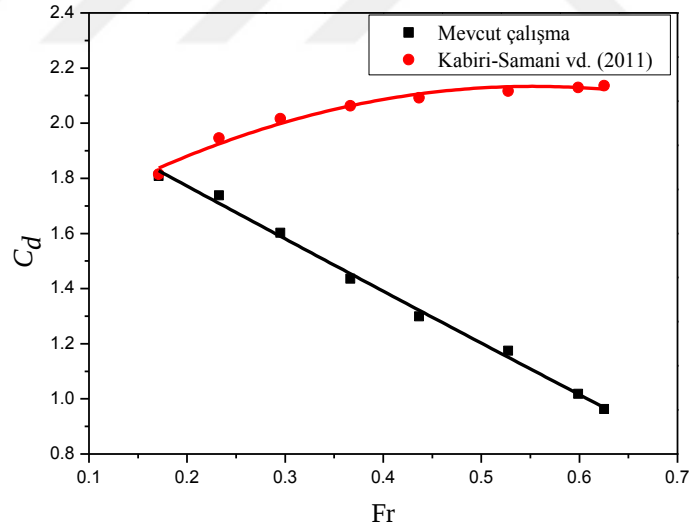
Şekil 5.32. Mevcut çalışma ile Emiroglu vd. (2014) için trapez labirent yan savakta C_d 'nin Fr sayısı ile değişimi:
a) Tip 1, b) Tip 2, c) Tip 3, d) Tip 4, e) Tip 5, f) Tip 6

Şekil 5.33 (a-f)'de mevcut çalışma ile Kabiri-Samani vd. (2011) çalışmasından elde edilen deneysel bulgular karşılaştırılmıştır. Kabiri-Samani vd. (2011) [10] ayak sayısı ve ayak şekline bağlı olarak yürüttükleri çalışmada, debi katsayısını hesaplamak için (1.2) eşitliğini sunmuşlardır. Bu (1.2) eşitliği kullanılarak mevcut çalışma parametreleri için elde edilen debi katsayısı değerleri, mevcut çalışmadaki deneylerde ölçülen debi katsayısı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5.33 (a-f) incelendiğinde, iki çalışmadan elde edilen bulguların pek uyumlu olduğu söylenememektedir. Kabiri-Samani vd. (2011) çalışma

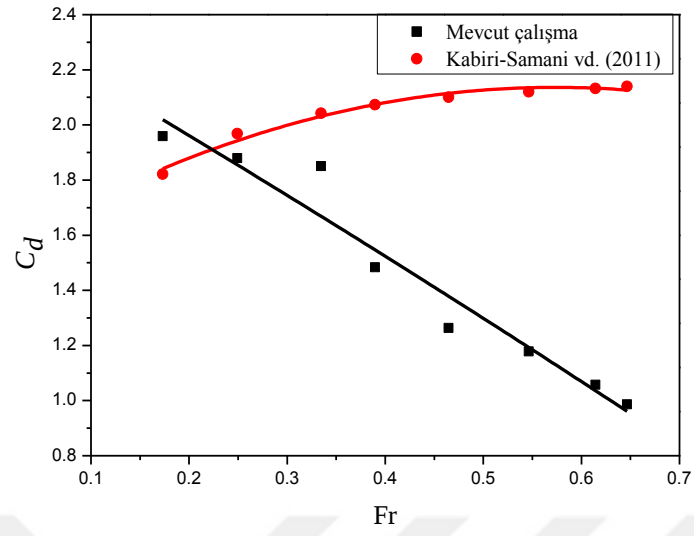
bulguları artma eğilimi gösterirken, mevcut çalışma bulguları azalma eğilimi göstermektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, Froude sayısındaki artışla debi katsayısı değerlerinin azaldığı gözlenmiştir.



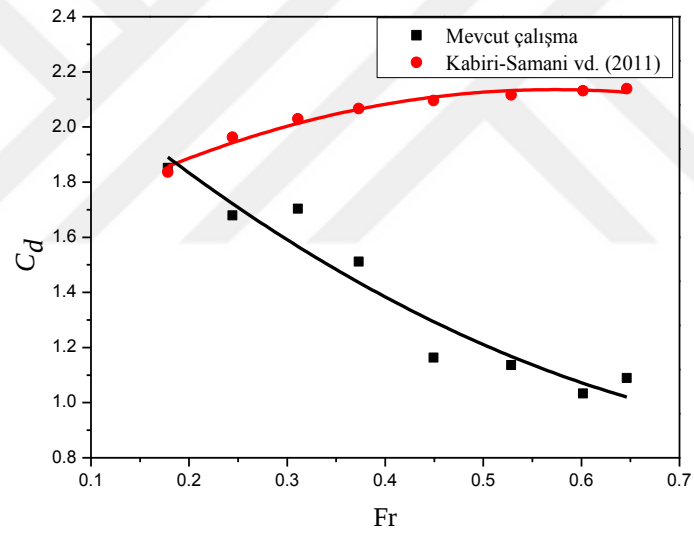
(a)



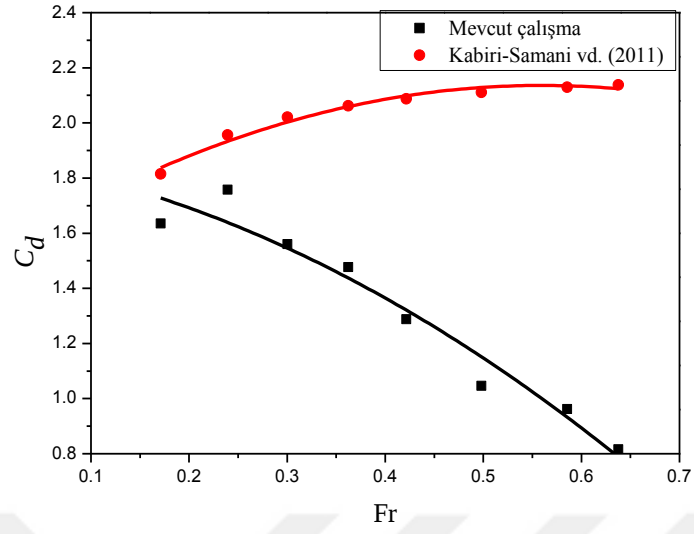
(b)



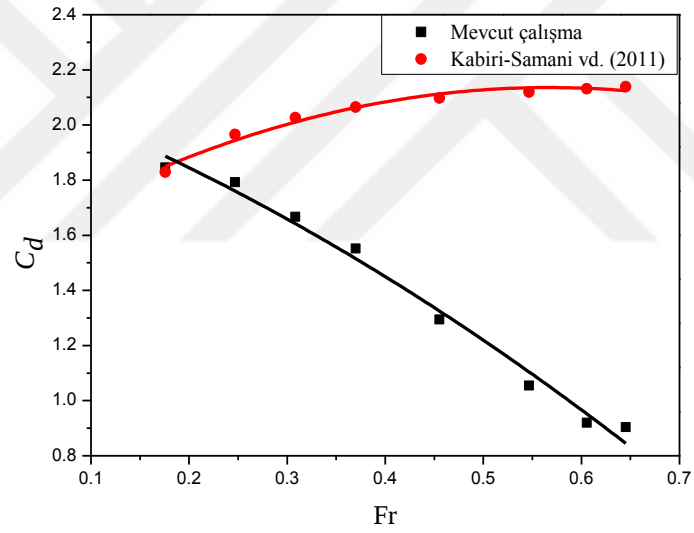
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 5.33. Mevcut çalışma ile Kabiri-Samani vd. (2011) için trapez labirent yan savakta C_d 'nin Fr sayısı ile değişimi:
a) Tip 1, b) Tip 2, c) Tip 3, d) Tip 4, e) Tip 5, f) Tip 6

SONUÇLAR

Bu çalışmada, üçgen yan savakların deşarj kapasiteleri, sabit boyutsuz yan savak uzunlukları (L/B) ve kret yükseklikleri (p) ile birlikte yan savak tepe açısı ($\alpha=45^\circ$, 90° ve 150°) için debi katsayısının değişimi Froude sayısına göre irdelenmiş ve De Marchi yöntemi uygulanarak hesaplanmıştır. De Marchi yaklaşımı, çeşitli debi katsayılarının hesaplanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Laboratuvar deneyleri, doğrusal kanal üzerinde bulunan labirent yan savak üzerinde Fr , p/y , L/b , boyutsuz parametrelerin debi katsayısı üzerindeki etkisini araştırmak için yapılmıştır. Ayrıca, farklı geometrik şekillere sahip ayaklar trapez labirent yan savak civarında farklı dizilim şekilleri ile monte edilmiş ve bu kapsamda bir dizi deney daha gerçekleştirilmiştir. Bu deneysel çalışmadan elde edilen bulgular aşağıda sunulmaktadır:

- Deney verileri ve grafikler yorumlandığında literatürdeki gibi Froude sayısının artması ile debi katsayısında azalma olduğu gözlemlenmiştir.
- Farklı kret uzunlukları ve farklı L/B oranları için Fr sayısı ile C_d karşılaştırıldığında, maksimum debi katsayısının tam açık durumunda üçgen labirent yan savakta gözlemlendiği belirlenmiştir.
- Memba kret uzunluklarının $1/3$, $2/3$, $3/3$ oranında kapatılarak yapılan deneylerde $1/3$ için elde edilen debi katsayısı değerleri en yüksek olmuştur.
- Boyutsuz nap yükü $(y_1-p)/p$ oranı arttıkça debi katsayısının azaldığı sonucuna varılmıştır.
- Bazı deney sonuçlarında memba kret uzunluğunun tam açık olduğu durum ile $1/3$ kapatılma durumu ne kadar yakın olsalar bile tam açık olması durumunda debi katsayısı daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Trapez labirent yan savaklarda ana kanala ayak yerleştirilmesi, debi katsayısında önemli derecede artışa neden olmuştur. Özellikle yuvarlak kesitli ayakların debi katsayısını daha fazla arttırdığı görülmüştür. Bu nedenle mevcut çalışmanın, ana kanala ayak kullanılarak deşarj kapasitesini artırma açısından önem kazandığı düşünülmektedir.
- Sonuç olarak, doğrusal kanalda yapılan deneylerde üçgen labirent yan savakların memba kret uzunluğunun azaltılması debi katsayısında azalmaya neden olmaktadır. Aynı zamanda L/B oranı arttıkça debi katsayısında artış gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **USBR**, (1987). Design of Small Dams, *3rd edition*, Bureau of Reclamation, U. S. Department of the Interior
- [2] **USBR**, (2001). Water Measurement Manual, *3rd edition*, Water Resources Research Laboratory, Bureau of Reclamation, U. S. Department of the Interior.
- [3] **Chanson, H.**, (2004). The Hydraulics of Open Channel Flow : An Introduction. *Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 2nd edition*, 630 pages (ISBN 978 0 7506 5978 9).
- [4] **Sturm, T.W.**, (2001). Open Channel Hydraulics . McGraw Hill, Boston, USA, *Water Resources and Environmental Engineering Series*, 493 pages.
- [5] **Tullis, J.P., Amanian, N., Waldron, D.**, (1995). Design of Labyrinth Spillway. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 121, No.3.
- [6] **Amanian, N.**, (1987). Performance and design of labyrinth spillway. *MSc thesis, Utah State University, Logan, Utah.*
- [7] **Waldron, D.R.**, (1994). Design of labyrinth weirs. *MSc thesis, Utah State University, Logan, Utah.*
- [8] **Emiroglu, M. E., Kaya, N.**, (2011). Discharge coefficient for trapezoidal labyrinth side weir in subcritical flow. *Water resources management*, 25(3), 1037-1058.
- [9] **Emiroglu, M. E., Aydin, M. C., and Kaya, N.**, (2014). Discharge characteristics of a trapezoidal labyrinth side weir with one and two cycles in subcritical flow. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000709.
- [10] **Kabiri-Samani, A., Borghei, S. M., and Esmaili, H.**, (2011). Hydraulic performance of labyrinth side weirs using vanes or piles. *In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management* (Vol. 164, No. 5, pp. 229-241).
- [11] **Borghei M., Jalili MR. and Ghodsian M.**, (1999). Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(10), 1051-1056.
- [12] **Borghei, S. M., Nekooie, M. A., Sadeghian, H., and Ghazizadeh, M. R. J.**, (2012). "Triangular labyrinth side weirs with one and two cycles." *Proceedings of the ICE-Water Management*, 166(1), 27-42.

- [13] **Parmley, W. C.**, (1905). The Walworth sewer, Cleveland, Ohio. *In Proceedings of the American Society of Civil Engineers, ASCE* (Vol. 31, No. 6, pp. 415-474).
- [14] **Engels, F.**, (1920). Kommunismus und Bakunismus. Die Bakunisten an der Arbeit. 3. A. mit einer Einleitung von Franz Diederich. Vorwärts.
- [15] **Coleman, G. S., and Smith, D.**, (1923). The discharging capacity of side weirs. *Selected Engrg. Paper No.6, Inst. Civ. Engrg.*
- [16] **Sümer, M., Ünsal, İ. ve Bayazıt, M.**, 2007. Hidrolik, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [17] **De Marchi, G.**, (1934). Essay on the performance of lateral weirs. *L'Energia Electtrica, Milano*, 11(11), 849-860.
- [18] **Gentini, G.**, (1938). Alcune formole notevoli per il calcolo delle equazione differenziale. *Ric. Ingeni*, 6, 34-36.
- [19] **Schmidt, M.**, (1954). Zur Frage des Abflusses über Streichwehre. *Techuniv Berlin-Charlottenbury, Mitteilung*; NY41, 1-68.
- [20] **Kindsvater, C. E. and Carter, R. W.**, 1957. Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs, *J. Hydraulics Div.*, Vol. 83, No. HY6, Paper No. 1453, pp. 1-36.
- [21] **Francis, P. W.**, (1985). The origin of the 1883 Krakatau tsunamis. *Journal of volcanology and geothermal research*, 25(3-4), 349-363.
- [22] **Rehbock, T.**, 1929. Discussion of precise measurements, by K. B. Turner. *Trans., ASCE*, 93, 1143-1162.
- [23] **Henderson, F. M.**, 1966. Open Channel Flow, *Macmillan Co.*, New York.
- [24] **Şişman, H. Ç., Altan-Sakarya A. B. ve Aydın, İ.**, 2009. Dikdörtgen Kesitli Keskin Kenarlı Savaklarla Debi Ölçümü, *IV. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, İstanbul, 27-35.
- [25] **Tokyay, N. D. ve Turhan, Z. G.**, 2009. Küçük Savak Yükseklikleri için Dikdörtgen Keskin Kenarlı Savaklarda Debi Katsayısı, *IV. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu*, 06-10, İstanbul, 71-76.
- [26] **Gourley, H. J. F. and Crimp, B. S.**, 1915. The flow of water over sharp-edged notches and weirs (Including Appendix), *Minutes of the Proceedings*, Volume 200, Issue 1915, pp. 388-408.
- [27] **Emiroğlu, M. E., Kaya, N. ve Öztürk, M.**, 2007. Labirent yan savaklardaki akımın ve su alma bölgesindeki oyulmanın kıvrımlı bir kanal boyunca incelenmesi, *TÜBİTAK Proje No: 104M394*.

- [28] **Emiroğlu, M. E., Kaya, N. ve Doğan, Y.,** 2010. Savaklarda kret şeklinin debi katsayısına etkisi, *DSİ Teknik Bülteni*, 108(Temmuz), 57-70.
- [29] **Bilhan, Ö.,** 2005. Labirent savakların hidrolik karakteristiklerinin deneysel olarak incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ*
- [30] **Yıldız D., Üzücek E.,** Labirent dolusavakların projelendirilme kriterleri. *Devlet Su İşleri Teknik Araştırma Kalite ve Kontrol Dairesi Başkanlığı*. Yayın No: Hİ-862 Ankara 1993.
- [31] **Vermeyen, T.B.,** Hydraulic model study of Ritschard Dam Spillway report R – 91-08, *Bureau of Reclamation, Denver, Colorado*, October 1991.
- [32] **Falvey, H.T.,** 2003, Hydraulic Design of Labyrinth Weirs *ASCE*, 162p.
- [33] **Carter, F.J.,** 1970, The Strengthening of Avon Dam. *The Journal of the Institution of Engineers, Australia*, June 1970, 75–77.
- [34] **Houston, K.L.,** 1983, Hydraulic model study of Hyrum Dam Auxiliary Labyrinth Spillway, *USDI Bureau of Reclamation, Denver, Colorado*, May, 1983.
- [35] **ENR,** 1983 – BUREC Stretches Spillway. *Engineering News-Record* Set. 1, 1983.
- [36] **Houston K.L.,** Hydraulic model study of Ute Dam Labyrinth Spillway, report no. GR-82-7, *Bureau of Reclamation Denver, Colorado*, August 1982.
- [37] **Coşar, A. ve Agaccioglu, H.,** (2004). Discharge coefficient of a triangular side weir located on a curved channel. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 130(5): 410-423.
- [38] **Agaccioglu, H. ve Yüksel, Y.,** (1998). Side-weir flow in curved channels. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*; 124(3): 163-175.
- [39] **Khode, B. V., Tembhurkar, A. R., Porey, P. D., and Ingle, R. N.** (2012). Experimental studies on flow over labyrinth weir. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 10.1061

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	11.09.1984	
Doğum Yeri	Elazığ	
Lise	1998-2002	Mehmet Akif Ersoy Süper Lisesi
Lisans	2002-2007	Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2008-2009	Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Bilim Dalı
Çalıştığı Kurum	2009-	Devam ediyor Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü, Öğretim Görevlisi