



**KIVRIMLI KANALLARDA YAN SAVAK DEŞARJ
KAPASİTESİNİN DOMÍNGUEZ YAKLAŞIMI
İLE BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Esra ULUCAN**

**Yüksek lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. M. Emin EMİROĞLU
ELAZIĞ, 2017**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KIVRIMLI KANALLARDA YAN SAVAK DEŞARJ KAPASİTESİNİN
DOMÍNGUEZ YAKLAŞIMI İLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esra ULUCAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :12.07.2017

Tezin Savunulduğu Tarih :04.08.2017

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Muhammet Emin EMİROĞLU (FÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Nihat KAYA

: Yrd. Doç. Dr. Ö. Faruk DURSUN

ELAZIĞ, 2017

ÖNSÖZ

Lisans ve lisansüstü eğitim hayatım boyunca, aldığım dersler ve tez döneminde bana vermiş olduğu emekten, yardımseverliğinden, iyi niyetinden dolayı danışman hocam Prof. Dr. Muhammet Emin EMİROĞLU'na teşekkür ederim. Ders döneminde bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Doç. Dr. Nihat KAYA'ya ve Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk DURSUN'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca elinden gelenin en iyisini yapan, her zaman arkamda olan, bugünlere gelebilmemde emeği olan bitanecik anneme, bana mesleğimi sevdiren, mesleğimde başarılı olmam için uğraşan, bu konuma gelebilmemde yardımcı olan, her konuda desteğini esirgemeyen, çocukları için uğraşan mükemmel babama teşekkür ederim. Son olarak hayatımda iyi ki var olan, her zaman yanımda olan nişanlıma teşekkür ederim.

Esra ULUCAN

Elazığ-2017

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	IV
SUMMARY	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
SEMBOL LİSTESİ	X
1. GİRİŞ.....	1
2. YAN SAVAKLARIN HİDROLİĞİ VE KIVRIMLI KANALLARDA AKIM.....	2
2.1. Giriş	2
2.2. Değişken Debili Üniform Olmayan Yanal Akım	4
2.3. Yan Savaklarda Özgül Enerji ve Su Yüzü Profili	10
2.4. Yanal Akımların Analitik Çözümü.....	12
2.5. Kıvrımlı Kanallarda Akım	15
2.6. Literatür Özeti	20
3. DOMÍNGUEZ YAKLAŞIMI	23
4.DENEY SONUÇLARININ DOMÍNGUEZ METODU KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ.....	25
4.1. Giriş	25
4.2. DeneY Düzenegi ve Deneysel çalışma	25
4.3. Yan Savağın Memba ve Mansap Ucunda Özgül Enerjinin Değişimi	27
4.4. Yan Savak Deşarj kapasitesinin Froude Sayısı ile Değişimi	29
4.5.Dominguez YöntemininDe Marchi ve Schmidt Yöntemleri ile Karşılaştırılması .	44
5. SONUÇLAR.....	52
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ	56

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KIVRIMLI KANALLARDA YAN SAVAK DEŞARJ KAPASİTESİNİN DOMÍNGUEZ YAKLAŞIMI İLE BELİRLENMESİ

Esra ULUCAN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı

2017,56

Yan savaklar veya yanal savaklar inşaat ve çevre mühendisliği projelerinde (örneğin; taşkın kanallarında, sulama sistemlerinde, birleşik sistem kanalizasyon sistemlerinde, baraj rezervuarlarında ve su alma yapılarında) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yan savaklar fazla suları taşkın kanallarına (toplama kanallarına) veya suyun belirli bir kısmını bir açık kanala veya bir yapıya çevirirler. Yan savaklar genellikle dikdörtgen enkesitlidir. Bundan başka; üçgen, trapez, açılı ve labirent savak tipleri de mevcuttur. Labirent yan savaklar yeni bir tiptir ve son yıllarda oldukça popülerdir.

Bu çalışmada, üçgen labirent yan savaklar klasik yan savakların yerine kullanılmıştır. Üçgen labirent yan savakların debi katsayıları Domínguez yaklaşımı kullanılarak belirlenmiştir. Literatürde bu yöntemle üçgen labirent yan savakların deşarj kapasitesinin belirlenmesinde Domínguez yaklaşımının kullanıldığına rastlanmamıştır. Bu açıdan özgünlüğe sahiptir.

Bu çalışma; üçgen labirent yan savakların laboratuvar ortamındaki model deney setlerinden elde edilen veriler TÜBİTAK 104M394 no'lu projeden alınarak kullanılarak hazırlanmıştır. Deney verileri kıvrımlı bir kanala aittir. Deneyler farklı labirent yan savak tepe açıları, savak açıklıkları ve farklı savak yükseklikleri için yürütülmüştür.

Deneyler, kıvrımlı kanalda $L=25, 50$ ve 75 cm savak uzunluğuna sahip, $p=12, 16$ ve 20 cm kret yüksekliklerinde, $\theta=45^\circ, \theta=60^\circ, \theta=90^\circ, \theta=120^\circ, \theta=150^\circ$ labirent savak kıvrım tepe açıları için ve kıvrımlı kanalda $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ kıvrım merkez açılarında deneyler yapılmıştır.

Bu çalışmada, deney modelinden elde edilen veriler kullanılarak debi katsayısının hem Froude sayısına göre hem de boyutsuz nap yükü değerine $[(y_1-p)/p]$ göre değişimi belirlenmiştir.

Sonuç olarak, Domínguez metodu Schmidt ve De Marchi yaklaşımlarıyla karşılaştırıldı. Yapılan detaylı karşılaştırmalar neticesinde Domínguez metodunda verilerin çok daha az saçıldığı grlmştir. Bu nedenle, Domínguez metodu üçgen labirent yan savakların debi katsayısının belirlenmesinde güvenle kullanılabilereği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yan savak, üçgen labirent yan savak, Domínguez yaklaşımı



SUMMARY

Master Thesis

DETERMINATION OF THE SIDE WEIR DISCHARGE CAPACITY BY THE DOMÍNGUEZ APPROACH IN CURVED CHANNELS

Esra ULUCAN

Firat University

Institute of Science and Technology

Department of Civil Engineering

2017,56

The lateral weirs, or side weirs, are commonly used in civil and environmental engineering project (e.g., flood channels systems, irrigation systems, combine sewerage systems, dam reservoirs and intake structures). Side weirs mostly convey excess flows into a collection channel or to divert a certain water into a diversion open channel. Side weirs are commonly rectangular in shape. Moreover, there are a lot of side weir shapes (e.g., triangular side weir, oblique side weir, labyrinth side weir). Labyrinth side weirs are a new weir type and it is quite popular in recent years.

In the current study, the triangular labyrinth side weirs have used instead of conventional side weirs. Discharge coefficient of the triangular labyrinth side weir has been determined using Domínguez approach. The scope of discharge capacity of the labyrinth side weirs using Domínguez approach is not available, within our knowledge, in the literature. Therefore, this issue is original.

In the study, laboratory experiment data from TÜBİTAK project (104M394) were used in order to determine by using Domínguez approach the discharge coefficient of the triangular labyrinth side weirs. The experimental data belong to a curved channel for different labyrinth side weir apex angle, opening length of weir, height of the crest.

At the experiments, the weir opening lengths (L) were taken as 25, 50 and 75 cm. The weir crest heights (p) were 12, 16 and 20 cm. The labyrinth side weir apex angles (θ) were 45° , 60° , 90° , 120° , and 150° . Moreover, the angle of bend center (a) were 30° , 60° , 90° , 120° and 150° .

In this study, the variation of the discharge coefficient values according to Froude number was studied in detail. Moreover, the variation of the discharge coefficient values in accordance with the values of dimensionless nappe load $[(y_1-p)/p]$ was evaluated.

As a conclusion, Domínguez method was compared with Schmidt and De Marchi approaches. It can be seen that the values at Domínguez method are scattered very less than the other approaches. Thus, Domínguez method can be used safely for determining of the discharge coefficient of the labyrinth side weirs.

Key words: Side weir, triangular labyrinth side weir, Domínguez approach



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 Nehir rejimi ve sel rejimi durumunda su yüzü profilinin değişimi.....	3
Şekil 2.2 Yanal akım durumunda özgül enerji ile derinlik arasındaki değişim	4
Şekil 2.3 Yan savak ve toplama kanalı	5
Şekil 2.4 Yanal alanın değişimi.....	5
Şekil 2.5 ΔA ve Δb 'nin şekil üzerinde gösterimi	6
Şekil 2.6 Kontrol (kritik) kesitin şekil üzerinde gösterimi.....	8
Şekil 2.7 Yan savak ve boşaltım kanalı.....	10
Şekil 2.8 Nehir rejiminde su yüzü profili.....	13
Şekil 2.9 Sel rejiminde su yüzü profili	14
Şekil 2.10 De Marchi'ye göre yan savağa ait fonksiyonlar	14
Şekil 2.11 Mendereslerin planda gösterimi	15
Şekil 2.12 Mendereslerin oluşumu ve gelişimi	15
Şekil 2.13 Deneysel olarak gözlenen su yüzü profilleri	17
Şekil 2.14 Kanal enkesiti	18
Şekil 3.1 Bagheri vd tarafından verilen dikdörtgen yan savaklarda akımın şematik olarak gösterilmesi.....	23
Şekil 4.1 Deney düzeneği.....	26
Şekil 4.2 Labirent yan savak üzerinde yanal akım.....	27
Şekil 4.3 Yan savağın memba ve mansap ucundaki özgül enerjinin değişimi: (a) $\alpha=30^\circ$, (b) $\alpha=60^\circ$, (c) $\alpha=120^\circ$	28
Şekil 4.4 Yan savağın $L/B=0.50$, $\alpha=30^\circ$ ve farklı kret yükseklikleri için Froude sayısına göre değişimi: (a) $\theta=60^\circ$, (b) $\theta=150^\circ$	30
Şekil 4.5 Yan savağın $L/B=1.00$, $\alpha=30^\circ$ ve farklı kret yükseklikleri için Froude sayısına göre değişimi: (a) $\theta=60^\circ$, (b) $\theta=150^\circ$	31

Şekil 4.6 Yan savağın $L/B=1.50$, $\alpha=30^\circ$ ve farklı kret yükseklikleri için Froude sayısına göre değişimi: (a) $\theta=60^\circ$, (b) $\theta=150^\circ$	32
Şekil 4.7 Labirent yan savak farklı kret açıları için Froude sayısının debi katsayısı ile değişimi: (a) $L/B=0.50$, (b) $L/B=1.00$, (c) $L/B=1.50$	33
Şekil 4.8 Labirent yan savak farklı savak açıklıkları için Froude sayısının debi katsayısı ile değişimi: (a) $\theta=45^\circ$, (b) $\theta=120^\circ$	35
Şekil 4.9 Labirent yan savak farklı kıvrım açıları ve $L/B=0.50$ için Froude sayısının debi katsayısı ile değişimi: (a) $\theta=45^\circ$, (b) $\theta=60^\circ$, (c) $\theta=90^\circ$, (d) $\theta=120^\circ$, (e) $\theta=150^\circ$	37
Şekil 4.10 Labirent yan savak farklı kıvrım açıları ve $L/B=1.50$ için Froude sayısının debi katsayısı ile değişimi: (a) $\theta=45^\circ$, (b) $\theta=60^\circ$, (c) $\theta=90^\circ$, (d) $\theta=120^\circ$, (e) $\theta=150^\circ$	40
Şekil 4.11 Farklı tepe açıları için boyutsuz nap yükünün debi katsayısı ile değişimi: (a) $L/B=0.50$, (b) $L/B=1.00$, (c) $L/B=1.50$	43
Şekil 4.12 $L=0.25$ m, $\theta=45^\circ$ için $(y_1-p)/p$ ile debi katsayısının değişimi: (a) $p=0.12$ m, (b) $p=0.16$ m, (c) $p=0.20$ m	45
Şekil 4.13 $L=0.25$ m, $\theta=150^\circ$ için $(y_1-p)/p$ ile debi katsayısının değişimi: (a) $p=0.12$ m, (b) $p=0.16$ m, (c) $p=0.20$ m	47
Şekil 4.14 $L=0.25$ m, $\theta=45^\circ$ için Froude sayısı ile debi katsayısının değişimi: (a) $p=0.12$ m, (b) $p=0.16$ m, (c) $p=0.20$ m	49
Şekil 4.15 $L=0.25$ m, $\theta=150^\circ$ için Froude sayısı ile debi katsayısının değişimi: (a) $p=0.12$ m, (b) $p=0.16$ m, (c) $p=0.20$ m	50

SEMBOL LİSTESİ

- A** : Ana kanal ıslak kesit alanı (L^2)
- B** : Ana kanal genişliği (L)
- b_1** : Yan savak sonunda ana kanal genişliği (L)
- b_2** : Yan savak başlangıcında ana kanal genişliği (L)
- c** : İntegral sabiti ($M^0L^0T^0$)
- C** : Chezy katsayısı ($M^0L^0T^0$)
- C_L** : Kaldırma katsayısı ($M^0L^0T^0$)
- C_D** : Sürükleme katsayısı ($M^0L^0T^0$)
- C_d** : Yan savak debi katsayısı ($M^0L^0T^0$)
- D** : Silindirik ayak çapı (L)
- d^*** : Boyutsuz malzeme çapı ($M^0L^0T^0$)
- d** : Volümetrik katı madde çapı (L)
- d_{50}** : Malzemenin yüzde ellisini geçiren elek çapı (Medyan çap, L)
- d_{60}** : Malzemenin yüzde altmışını geçiren elek çapı (L)
- d_{90}** : Malzemenin yüzde doksanını geçiren elek çapı (L)
- E** : Herhangi bir kesitteki özgül enerji yüksekliği (L)
- F_D** : Sürükleme kuvveti ($ML^{-1}T^{-2}$)
- F_I** : Kaldırma kuvveti ($ML^{-1}T^{-2}$)
- Fr** : Froude sayısı ($M^0L^0T^0$)
- Fr₁** : Yan savak başlangıcındaki Froude sayısı ($M^0L^0T^0$)
- Fr*** : Tane Froude sayısı ($M^0L^0T^0$)
- Fr_{giriş}** : Membadan gelen akımın Froude sayısı ($M^0L^0T^0$)
- Fr_{çıkış}** : Mansaptan çıkan akımın Froude sayısı ($M^0L^0T^0$)
- g** : Yerçekimi ivmesi (L^2T^{-1})
- h** : Herhangi bir kesitteki akım derinliği (L)
- h_L** : Yan savak boyunca meydana gelen yük kaybı (L)
- h_o** : Başlangıç akım derinliği (L)
- H_d** : Oyulma derinliği (L)

- H_{de} : Denge zamanındaki oyulma derinliği (L)
- J' : Teğetsel enerji gradyanı ($M^0 L^0 T^0$)
- J_{θ} : Teğetsel su yüzü eğimi ($M^0 L^0 T^0$)
- J_{kr} : Kritik taban eğimi ($M^0 L^0 T^0$)
- J_o : Ana kanal taban eğimi ($M^0 L^0 T^0$)
- J_f : Enerji çizgisi eğimi ($M^0 L^0 T^0$)
- k : Pürüz yüksekliği ($M^0 L^0 T^0$)
- K : Su yüzü yanal değişim katsayısı ($M^0 L^0 T^0$)
- K_{θ} : Rölatif yan savak debi katsayısı ($M^0 L^0 T^0$)
- ℓ : Yan savak kret uzunluğu (L)
- L : Yan savak açıklığı (L)
- L_w : Kalın kenarlı savak uzunluğu (L)
- n : Manning pürüzlülük katsayısı ($M^0 L^0 T^0$)
- p : Savak kret yüksekliği (L)
- Q_w : Toplama kanalı sonundaki dikdörtgen savaktan savaklanan debi ($L^3 T^{-1}$)
- Q_1 : Ana kanal debisi ($L^3 T^{-1}$)
- Q_2 : Savaşın mansap ucundaki ana kanal debisi ($L^3 T^{-1}$)
- Q_s : Katı madde (sediment) debisi ($L^3 T^{-1}$)
- q_r : Birim genişlikte enine doğrultudaki katı madde oranı ($M^0 L^0 T^0$)
- q : Birim uzunluktan savaklanan debi ($L^2 T^{-1}$)
- q_w : Yan savaktan savaklanma oranı ($M^0 L^0 T^0$)
- $q_T(B)$: Tabanın geometrisine bağlı olarak taşıma kapasitesi ($M^0 L^0 T^0$)
- $q_T(S)$: Söz konusu kesitte membadan gelen katı madde miktarı ($M^0 L^0 T^0$)
- r : Kıvrım eğrilik yarıçapı (L)
- r_i : İç kıyı eğrilik yarıçapı (L)
- r_o : Dış kıyı eğrilik yarıçapı (L)
- r_e : Kanal ekseni eğrilik yarıçapı (L)
- R : Hidrolik yarıçap (L)
- Re : Reynolds sayısı ($M^0 L^0 T^0$)
- Re^* : Tane Reynolds sayısı ($M^0 L^0 T^0$)
- S : Batmış tane özgül ağırlığı ($M^0 L^0 T^0$)
- t : Zaman (T)

t_e	: Denge zamanı (T)
τ	: Kayma gerilmesi ($ML^{-1} T^{-2}$)
τ_{kr}	: Kritik kayma gerilmesi ($ML^{-1} T^{-2}$)
τ_o	: Taban kayma gerilmesi ($ML^{-1} T^{-2}$)
u	: Tane yakınlarındaki hız ($L T^{-1}$)
U	: Üniformluk katsayısı ($M^0 L^0 T^0$)
u^*	: Taban kayma hızı ($L T^{-1}$)
u^*_{kr}	: Kritik kayma hızı ($L T^{-1}$),
x	: Yan savağın herhangi bir noktasının, yan savağın başlangıcına olan uzaklığı (L)
V	: Ana kanaldaki ortalama akım hızı ($L T^{-1}$)
V_o	: Su yüzeyindeki boyuna hız ($L T^{-1}$)
V_θ	: Kıvrımda teğetsel (boyuna) hız bileşeni ($L T^{-1}$)
V_I	: Yan savak membasında ana kanal eksenindeki ortalama akım hızı ($L T^{-1}$)
V_{kr}	: Kritik hız ($L T^{-1}$)
W	: Ağırlık kuvveti ($M L T^{-1}$)
We	: Weber sayısı ($M^0 L^0 T^0$)
w	: Tane çökme hızı ($L T^{-1}$)
y_I	: Yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği (L)
y_2	: Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği (L)
y_{kr}	: Kritik akım halinde su derinliği (L)
θ	: Labirent yan savak tepe açısı ($M^0 L^0 T^0$)
α	: Kıvrım merkez açısı ($M^0 L^0 T^0$)
\emptyset	: De Marchi değişken akım fonksiyonu ($M^0 L^0 T^0$)
ψ	: Savaklanma (sapma) açısı ($M^0 L^0 T^0$)
β	: Momentum katsayısı ($M^0 L^0 T^0$)
λ	: Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı ($M^0 L^0 T^0$)
τ	: Taban kayma gerilmesi ($M L T^{-1}$)
η	: Rölatif derinlik (z/h) ($M^0 L^0 T^0$)
ρ	: Özgül kütle ($M L^{-3}$)
σ	: Taban malzemesi granülometrisinin standart sapması ($M L T^{-1}$)
γ	: Suyun özgül ağırlığı ($ML^{-2} T^{-2}$)

γ_s : Kumun özgül ağırlığı ($ML^{-2} T^{-2}$)

ν : Kinematik viskozite ($L^2 T^{-1}$)



1. GİRİŞ

Debi ölçmek, taşkın kontrolü yapmak gibi amaçlar için yüzyıllardır kullanılan en eski ve kullanım açısından en basit hidrolik yapılara savak denir. Savaklar ince kenarlı, kalın kenarlı ve labirent savaklar olmak üzere üçe ayrılır. Farklı savak tiplerinin hidrolik davranışı birbirinden farklıdır. Savaklar, karşıdan alıslı savaklar ve yan savaklar şeklinde de sınıflandırılmaktadırlar. Bu sebeple her bir savak tipinin akım karakteristiklerini ayrı ayrı incelemek önemlidir.

Karşıdan alıslı savaklar debi ölçmek için sıklıkla kullanılan hidrolik yapılar iken yan savaklar bir kanaldaki fazla debinin azaltılması veya herhangi bir kanaldan ihtiyaç olan debinin alınması için kullanılan hidrolik yapılardır. Yan savaklar ana kanalın yanına, ana kanal eksenini ile belirli bir açı yapacak şekilde inşa edilebileceği gibi ana kanala paralel olarak da inşa edilebilmektedir.

Yan savaklarda farklı enkesit tipleri mevcuttur. Yan savaklar dikdörtgen, trapez veya dairesel kanalların yan duvarlarına farklı enkesitlerde inşa edilmektedirler. Bunları dikdörtgen, üçgen, trapez ve dairesel enkesitler olarak belirtmek mümkündür. Bu çalışma kapsamında üçgen labirent yan savaklar üzerinde durulmuştur. Yan savakların deşarj kapasitesinin belirlenmesinde farklı hesaplama metotları geliştirilmiştir. Bunlar; De Marchi Yaklaşımı (1934), Domínguez Yaklaşımı (1935), Schmidt Yaklaşımı (1954) ve Stopsack Yaklaşımı (1979)'dır. Bu çalışma kapsamında Dominguez yaklaşımı ile debi katsayısı belirlenmiş elde edilen bulgular De Marchi ve Schmidt yaklaşımı ile kıyaslanmıştır.

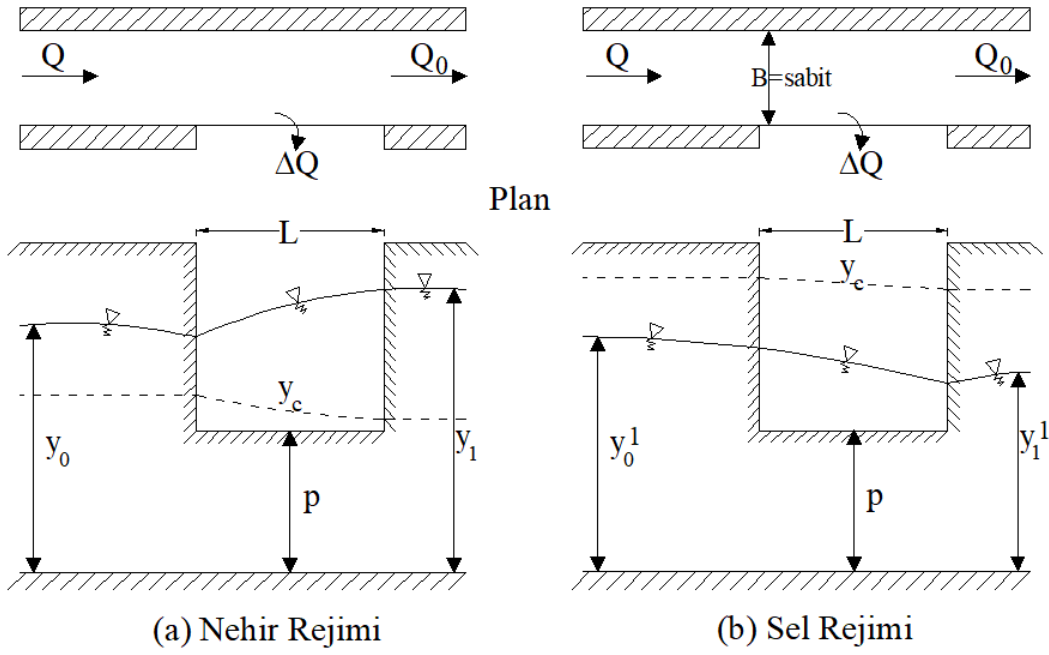
2. YAN SAVAKLARIN HİDROLİĞİ VE KIVRIMLI KANALLARDA AKIM

2.1. Giriş

Suların debisini ölçmek, taşkın kanallarındaki fazla suyu kontrol altında tutmak, birleşik sistem kanalizasyon sistemlerinde yağışlı zamanlardaki fazla suyu tahliye etmek, sulama sistemlerinde su almak gibi amaçlar için yüzyıllardır kullanılan basit hidrolik yapılar savak olarak isimlendirilmektedir. Savaklar keskin kenarlı, kalın kenarlı ve labirent savaklar olmak üzere üç grupta toplanabilir. Savakların hidrolik karakteristikleri birbirinden çok farklı olmaktadır. Savakların hidrolik karakteristikleri çoğunlukla deneysel olarak incelenmektedir. Son yıllarda sayısal olarak da çalışmalar yapılmaktadır.

Yan savaklar kanalın veya akarsuyun paralelinden su alındığında isimlendirilen bir savak tipidir. Bir başka deyişle su alma yanaldır, karşıdan alışlı değildir.

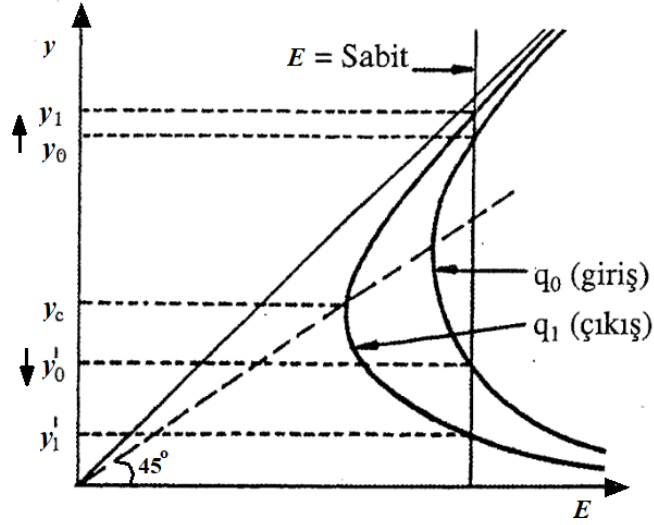
Bir kanalın debisinin bir kısmının azaltılması için kanal eksenine paralel yada kanal eksenine küçük bir açı yapacak şekilde tertip edilmiş savaklara yan savak ismi verilir (Şekil 2.1.a ve b). Genel olarak, kanala girecek Q debisi tahmin edilebilir; kanaldan geçmesi istenilen debi Q_0 ise ($Q_0 < Q$), aradaki ΔQ farkı savaklanacak şekilde yan savağın boyutlandırılması istenir. Yan savak boyunca kanaldan dışarı sürekli olarak su atıldığı 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 2.1). Bunun nedeni aşağıda açıklanmaktadır.



Şekil 2.1. Nehir rejimi ve sel rejimi durumunda su yüzü profilinin değişimi

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

- a) Nehir rejimindeki akımlarda y_0 'dan y_1 'e çıkacak, yani yan savak boyunca su derinliği artacak (Şekil 2.1.a);
- b) Sel rejimindeki akımlarda y_0^1 'den y_1^1 'ye düşecek, yani yan savak boyunca derinlik azalacaktır (Şekil 2.1.b).



Şekil 2.2. Yanal akım durumunda özgül enerji ile derinlik arasındaki değişim

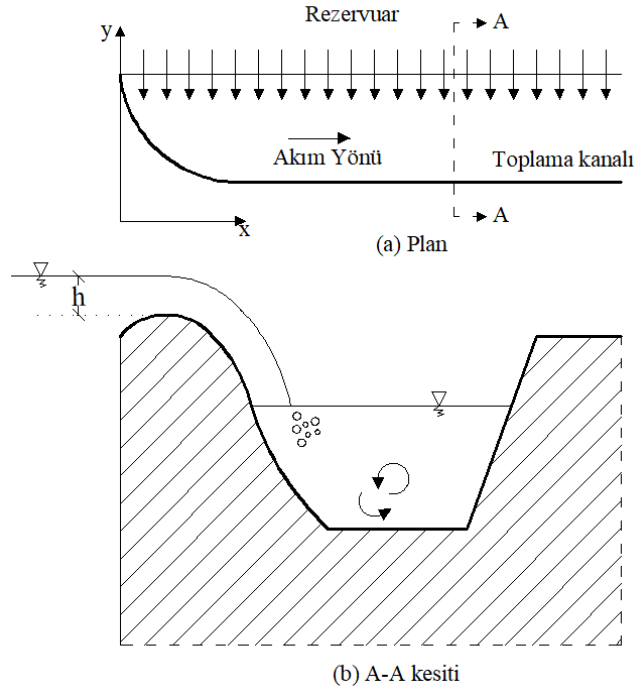
Su yüzeyi profilinin belirlenmesi için bu problemde $q=\text{sabit}$ için $E=E(y)$ eğrisi kullanılmış, tabiatıyla daha önce yapıldığı gibi bu halde de Koch parabolü ile ($E = \text{sabit}$ için $q=q(y)$ eğrisi) de çalışılabilir.

2.2. Değişken Debili Üiform Olmayan Yanal Akım

Şekil 2.3'te gösterildiği gibi devamlı debisi artan bir yan savakta, yanal akım kanal doğrultusunda momentuma sahip olmamasına karşılık toplama kanalında önemli enerji kayıpları oluşur, dolayısıyla bu problemde enerji prensibi uygulayamadığımızdan ancak momentum prensibi uygulanabilir.

Bu tip üniform olmayan akımlarda debi mesafeye göre değiştiğinden;

$$Q = f(x) \text{ 'dir.}$$



Şekil 2.3. Yan savak ve toplama kanalı (Yüksel, 2008)

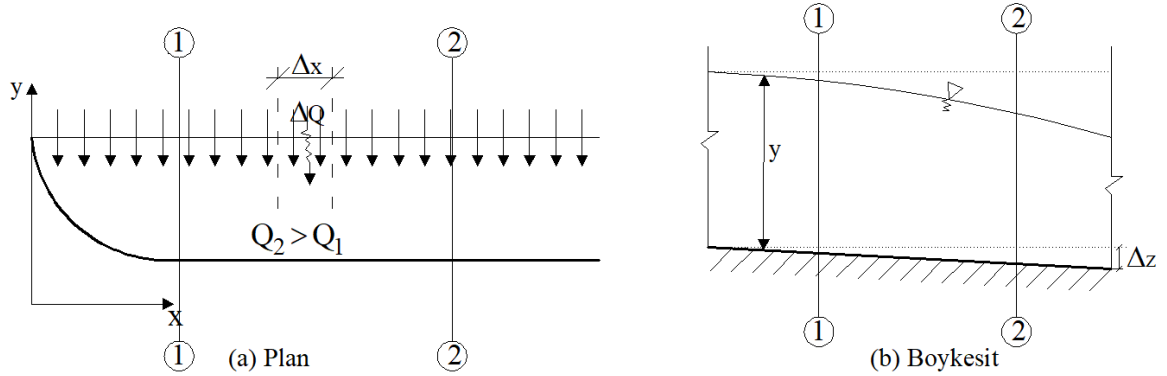
Kanal eğimini ve pürüzlülüğü hesaba alarak, momentum prensibini göz önüne alalım (Şekil 2.4);

$$\frac{F}{\rho g} = \Delta M = M_2 - M_1$$

$$\rho g \Delta M = \rho g A (-\Delta z) - \tau_0 P \Delta x$$

Yerçekimi kuvveti = Hidrostatik Basınç Kuvveti - Direnç Kuvveti

$$\rho g \Delta M + \rho g A \Delta z + \tau_0 P \Delta x = 0$$



Şekil 2.4. Yanal alanın değişimi (Yüksel, 2008)

Burada P ıslak çevredir.

$$\frac{dM}{dx} + A \frac{dz}{dx} + \frac{\tau_0}{\rho g} P = 0; \tau_0 = \rho g R J_e$$

ve

$$R = \frac{A}{P}$$

$$\frac{dM}{dx} = A \left(-\frac{dz}{dx} - \frac{\rho g R J_e}{\rho g R} \right) = A(J_0 - J_e)$$

$$J_0 = -\frac{dz}{dx}$$

bu denklem sayısal yöntem kullanılarak çözülebilir.

Aynı zamanda,

$$M = \frac{Q^2}{gA} + Ay^+$$

yazılabildiğinden

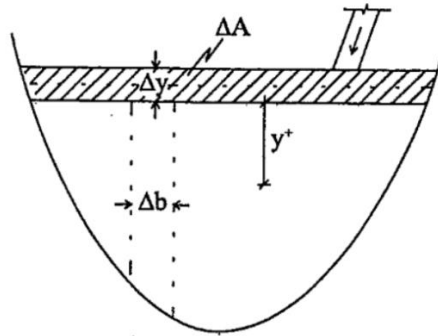
$$\frac{dM}{dx} = \frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{gA} + Ay^+ \right) = \frac{2Q}{gA} \frac{dQ}{dx} - \frac{Q^2}{gA^2} \frac{dA}{dx} + \frac{d}{dx} (Ay^+)$$

burada,

$$A(y^+ + dy) + dA \frac{dy}{2} = (A + dA) \left(y^+ + \frac{dy^+}{dy} dy \right)$$

$$A dy = y^+ dA + A \frac{dy^+}{dy} dy = d(Ay^+)$$

Şekil 2.5'te ΔA ve Δb 'nin yeri gösterilmiştir.



Şekil 2.5. ΔA ve Δb 'nin şekil üzerinde gösterimi (Yüksel, 2008)

bağıntıları yardımıyla

$$A(J_0 + J_e) = \frac{2Q}{dx} \frac{dQ}{gA} - \frac{Q^2 B}{gA^2} \frac{dy}{dx} + A \frac{dy}{dx}$$

yazılabilir, buradan,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J_e - \frac{2Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - Fr^2} \quad (2.1)$$

elde edilir.

Kritik akım $Fr_1 = 1$ için meydana gelir, ancak kanal taban eğimi; $\frac{dy}{dx}$ sonlu bir değere sahiptir, o halde kritik akım için,

$$J_{0kr} - J_e - \frac{2Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx} = 0$$

$Q = ax$ için

$$\frac{dQ}{dx} = a$$

burada a bir sabiti göstermektedir çünkü yan savağın Δx uzunluğundan giren debi

$$\Delta Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2gh} h^{3/2} \Delta x$$

$$a = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2gh} h^{3/2}$$

olarak yazılabilir, burada C_d debi katsayısıdır. O halde

$$J_{0kr} = J_e + \frac{2Q}{gA^2} a = J_e + \frac{2Q}{gA^2 x} = \frac{V^2}{C^2 R} + \frac{2Q}{gA^2 x}$$

$$J_{0kr} = \frac{Q^2}{C^2 R A^2} + \frac{2Q}{gA^2 x} = \frac{gAB}{gAB} \frac{Q^2}{C^2 R A^2} + \frac{AB}{AB} + \frac{2Q^2}{gA^2 x}$$

$$J_{0kr} = \frac{Q^2 B}{gA^3} \frac{Ag}{BC^2 R} + \frac{Q^2 B}{gA^3} \frac{2A}{Bx}$$

kritik kesitte $\frac{Q^2 B}{gA^3} = 1$ 'dir ve

$$A = \left(\frac{Q^2 B}{g} \right)^{1/3} = \left(\frac{a^2 x^2 B}{g} \right)^{1/3}$$

yazılabildiğine göre

$$J_{0kr} = \frac{Ag}{BC^2R} + \frac{2A}{Bx} = \frac{gP}{C^2B} + \frac{2}{Bx} \left(\frac{a^2 x^2 B}{g} \right)^{1/3}$$

$$J_{0kr} = \frac{gP}{C^2B} + \frac{2}{B} \left(\frac{a^2 B}{gx} \right)^{1/3} \quad (2.2)$$

Mansapta kritik kesitin oluşması için; $x = L$ için taban eğimi bu değerden daha büyük olmalıdır veya L savak uzunluğu;

$$x = \frac{8a^2}{gB^2 \left(J_0 - \frac{gP}{C^2B} \right)^3} \quad (2.3)$$

ifadesinde elde edilenden daha büyük olmalıdır.

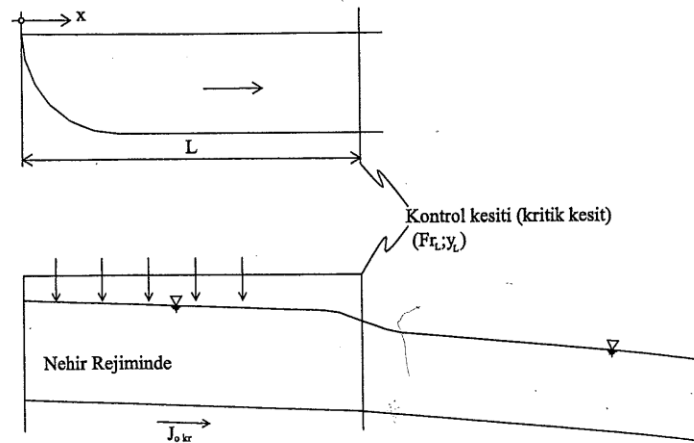
Şekil 2.6'da verilen savağın sonundaki kritik kesit için;

$$P = P_{kr} B = B_{kr} L = x_{kr}$$

$J_0 > J_{0kr}$ veya $x_{kr} < L$ sağlanmalıdır.

$J_0 = J_e$ için dikdörtgen kesit halinde;

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J_e - \frac{2Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - Fr^2}$$
 ifadesi $B=1$ m birim genişlik için integre edilebilir.



Şekil 2.6. Kontrol (kritik) kesitin şekil üzerinde gösterimi (Yüksel, 2008)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-2a^2x}{gy^2 \left(1 - \frac{a^2x^2}{gy^3}\right)}$$

ve

$$\frac{2a^2x}{y} dx + \left(gy - \frac{a^2x^2}{y^2}\right) dy = 0$$

($D_1 dx + D_2 dy = 0$ denkleminde $\frac{\partial D_1}{\partial y_1} = \frac{\partial D_2}{\partial x}$ olacağından)

diferansiyel denklem çözülürse

$$\left(\frac{x}{L}\right)^2 = \left(1 + \frac{1}{2Fr_L^2}\right) \frac{y}{y_L} - \frac{1}{2Fr_L^2} \left(\frac{y}{y_L}\right)^3 \quad (2.4)$$

elde edilir, burada y_L ve Fr_L büyüklükleri $x = L$ kesitindeki değerleridir.

Sayısal integrasyon için

$$\frac{dM}{dx} = \frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{gA} + Ay^+ \right)$$

ifadesini tekrar yazalım. Buradan;

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{gA} + Ay^+ \right) = \frac{d}{dx} \left(\frac{V}{g} Q \right) + A \frac{dy}{dx} = \frac{dV}{dx} \frac{Q}{g} + \frac{V}{g} \frac{dQ}{dx} + A \frac{dy}{dx}$$

böylece;

$$A(J_0 - J_e) = \frac{dV}{dx} \frac{Q}{g} + \frac{V}{g} \frac{dQ}{dx} + A \frac{dy}{dx}$$

$$\frac{dy}{dx} = J_0 - J_e - \frac{dV}{dx} \frac{V}{g} - \frac{V}{gA} \frac{dQ}{dx}$$

$$\frac{dy}{dx} = J_0 - J_e - \frac{V}{g} \frac{dV}{dx} - \frac{V^2}{gQ} \frac{dQ}{dx}$$

$$\Delta y = (J_0 - J_e) \Delta x - \frac{V_1 + V_2}{2g} \left(\Delta V + \frac{V_1 + V_2}{Q_1 + Q_2} \Delta Q \right)$$

$$\Delta y = (J_0 - J_e) \Delta x - \frac{V_1 + V_2}{2g(Q_1 + Q_2)} \left((Q_1 + Q_2) \Delta V + (V_1 + V_2) \Delta Q \right)$$

$$\Delta y = (J_0 - J_e) \Delta x - \frac{aQ_1(V_1 + V_2)}{g(Q_1 + Q_2)} \left(\Delta V + \frac{V_2 \Delta Q}{Q_1} \right) \quad (2.5)$$

bulunur. Bu denklem $Q_1, V_1, J_0, \Delta x, Q_2$, kanal boyutları ve tahmin edilen y_2 değeriyle (buradan V_2 de bulunur) Δy değeri için deneme yanılma ile çözümlenir, bulunan değer $\Delta y = y_2 - y_1$ ile uyum sağlaması gerekmektedir.

2.3. Yan Savaklarda Özgül Enerji ve Su Yüzü Profili

Bu tip akımlarda enerji prensibi uygulanabilir (Şekil 2.7);

$$H = y + \frac{V^2}{2g} + z$$

burada,

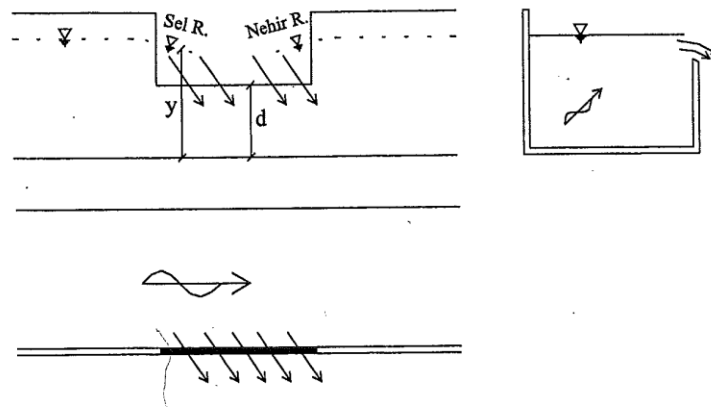
$$E = y + \frac{V^2}{2g}$$

olduğundan, x 'e göre değişim söz konusu olduğundan,

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dE}{dx} + \frac{dz}{dx}$$

veya

$$-J_e = \frac{dE}{dx} - J_0$$



Şekil 2.7. Yan savak ve boşaltım kanalı (Yüksel, 2008)

$$\frac{dE}{dx} = J_0 - J_e$$

diğer taraftan

$$\frac{dE}{dx} = \frac{d}{dx} \left(y + \frac{Q^2}{2gA^2} \right)$$

$$\frac{dE}{dx} = \frac{dy}{dx} + \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx} - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx}$$

bu iki ifade eşitlenirse

$$\frac{dy}{dx} + \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx} - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} = J_0 - J_e$$

$$\frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} = \frac{Q^2 B}{gA^3} \frac{dQ}{dx} = J_0 - J_e$$

$$\frac{dy}{dx} (1 - Fr^2) + \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx} = J_0 - J_e$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J_e - \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - Fr^2} \quad (2.6)$$

diferansiyel denklemi elde edilir. Toplama ve boşaltım kanallı yan savakların diferansiyel denklemleri arasındaki tek fark $\frac{Q^2}{gA^2} \frac{dQ}{dx}$ 'nın 2 ile çarpımıdır.

Bu ifadelerde $\frac{dQ}{dx}$; birim boyda giren veya çıkan debi olarak $\frac{dQ}{dx} = q$ * ile gösterilebilir.

$$Q = VA = A \sqrt{2g \frac{V^2}{2g}} = A \sqrt{2g(E - y)}$$

Çıkan debi için

$$-\frac{dQ}{dx} = C_d \sqrt{2g} (y - d)^{3/2}$$

yazılabilir, burada C_d sabittir. Bu da $\frac{dQ}{dx}$ genel diferansiyel denklemde yazılıp sayısal yaklaşım yapılarak çözümlenirse;

$$\Delta y = -\frac{aQ_1(V_1 + V_2)\Delta V}{g(Q_1 + Q_2)} \left(1 - \frac{\Delta Q}{2Q_1} \right) + (J_0 - J_e)\Delta x$$

yazılabilir.

Buradaki esas zorluk bilinmeyen sınır şartlarıdır yani baştaki veya sondaki su yükleri ve kontrol kesitinin yeri için; deneme yanılma yöntemi gerekli olmaktadır.

Tabanı yatay dikdörtgen kesitli kanallar için $J_0 = J_e \cong 0$; genel diferansiyel denklem ile

$$\frac{dQ}{dx} = -C_d \sqrt{2g(y-d)^{3/2}} \text{ birlikte çözümlenirse;}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-QA \frac{dQ}{dx}}{gA^3 - Q^2B} = \frac{2C_d \sqrt{(E-y)(y-d)^3}}{b(3y-2E)}$$

integre edilirse;

$$\frac{x C_d}{b} = \frac{2E-3d}{E-d} \sqrt{\left(\frac{E-y}{y-d}\right)} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\left(\frac{E-y}{y-d}\right)} + \text{sabit} \quad (2.7)$$

elde edilir. Mansaptaki sınır şartı bilinmediğinden integrasyon sabiti deneme yanılma ile bulunmalıdır.

2.4. Yanal Akımların Analitik Çözümü

Taban eğimi yatay olan dikdörtgen kesitli yan savaklar göz önüne alınırsa,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J_e - \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - \frac{Q^2B}{gA^3}}$$

$$y_m = \frac{A}{B} = \frac{By}{B} = y \text{ ortalama derinlik}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{Q}{gA^2} \left(-\frac{dQ}{dx}\right)}{1 - \frac{Q^2B}{gA^3}} = \frac{\frac{Q}{gB^2 y_m^2} \left(-\frac{dQ}{dx}\right)}{1 - \frac{Q^2B}{g y_m^3 B^3}} = \frac{\frac{Q}{gB^2 y_m^2} \left(-\frac{dQ}{dx}\right)}{\frac{g y_m^3 B^2 - Q^2}{g y_m^3 B^2}}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Q y_m \left(-\frac{dQ}{dx}\right)}{g y_m^3 B^2 - Q^2}$$

$\frac{dQ}{dx} = -C_d \sqrt{2g}(y-d)^{3/2}$ ile $Q = B y_m \sqrt{2g(E-y)}$ ifadeleri yukarıdaki denklemde yerine konursa;

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2C_d}{B} \frac{\sqrt{(E-y)(y-d)^3}}{3y-2E}$$

Bu diferansiyel denklem De Marchi tarafından aşağıdaki gibi çözümlenmiştir;

$$x = \frac{B}{C_d} \phi \left(\frac{y}{E} \right) + \text{sabit} \quad (2.8)$$

burada,

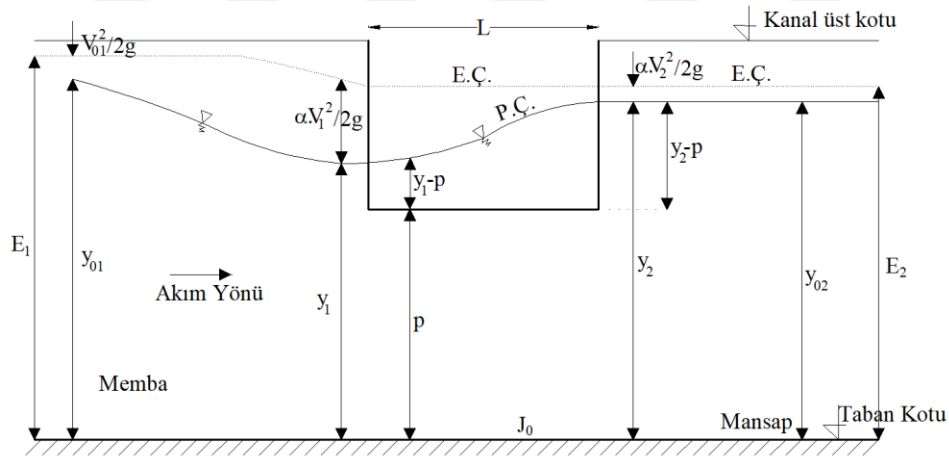
$$\phi \left(\frac{y}{E} \right) = \left(\frac{2E - 3d}{E - d} \sqrt{\frac{E - d}{y - d}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E - y}{E - d}} \right) \quad (2.9)$$

L yan savak uzunluğu ise,

$$L = x_2 - x_1 = \frac{B}{C_d} \left[\phi \left(\frac{y_2}{E} \right) - \phi \left(\frac{y_1}{E} \right) \right] \quad (2.10)$$

şeklinde verilmiştir.

Şekil 2.8 ve 2.9'da hem nehir rejimi ve hem de sel rejimi için su yüzü profilleri sunulmaktadır.

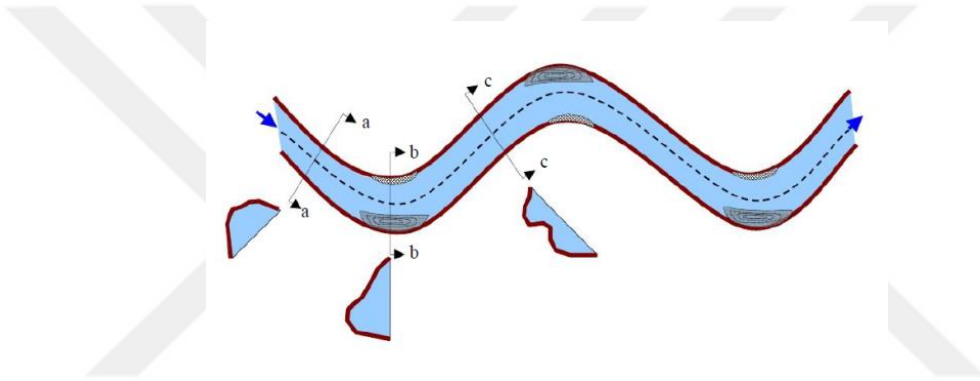


Şekil 2.8. Nehir rejiminde su yüzü profili (Yüksel, 2008)

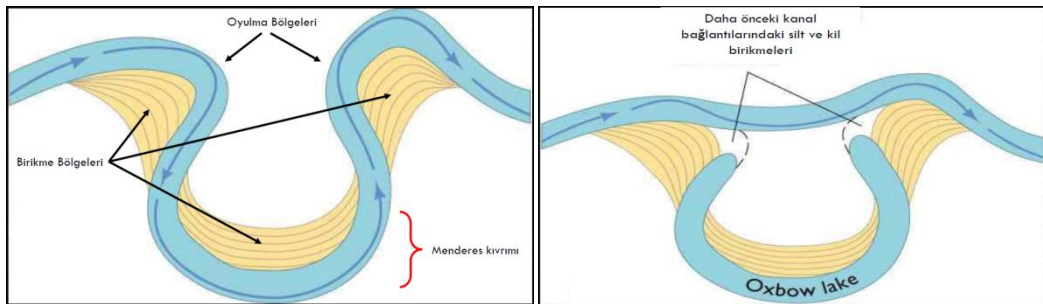
2.5. Kıvrımlı Kanallarda Akım

Birinde saat ibresi yönünde, diğesinde aksi yönde akımın oluştuğu birbirini takip eden iki veya daha fazla kıvrımlara menderes denir. Genellikle düz veya az eğimli arazilerde yer alan tutturulmamış malzeme içinde, akarsular yataklarını kazarak gelişirler. Buna karşın, bazı akarsularda hemen hemen taşkın ovasının olmadığı ve V şekilli vadilerde menderesler yaparlar. Bazı mendereslerde, geniş taşkın ovalı fakat vadileri sert kayalarda oyulmuş kesimlerde gelişebilirler.

Kıvrımlı bir akarsuda akan su, merkezkaç kuvvetin etkisiyle dış kıyıda sürekli olarak kıyı aşınması ve taban oyulmasına, iç kıyıda ise birikme ve yığılmalara neden olur. Mendereslerin planda gösterimi ve arazide oluşumu Şekil 2.11 ve 2.12’de sunulmaktadır



Şekil 2.11. Mendereslerin planda gösterimi



Şekil 2.12. Mendereslerin oluşumu ve gelişimi

Akarsular, genellikle kıvrımlar yaparak akmaktadır. Bu sebepten ötürü akarsularda sualma yapılarının kıvrımlar üzerine yerleştirilmesi söz konusu olabilmektedir. Ayrıca, arıtma tesislerinde uzun havalandırma havuzları ya da çökeltim havuzları gibi yapılarda kıvrımlı akım ve yan savak akımı birlikte bulunmaktadır. Bundan dolayı kıvrımlı akıma sahip yapılarda kıvrım ve yan savak akımlarının birlikte ele alınması gerekmektedir.

Kıvrımlardaki akımın en önemli karakteristiklerinden biri helikoidal akım diğeri ise maksimum hız yörüngesinin hareketidir. Helikoidal akım sürtünme, merkezkaç ve atalet kuvvetlerinin birbirlerini etkilemesine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Kanal tabanı yakınlarında akışkan zerreciklerinin hızları sınır direncine bağlı olarak büyük ölçüde azalır. Tabana yakın noktalarda daha yavaş hareket eden akışkan, merkezkaç ve basınç kuvvetleri arasında bir denge ortamı sağlamak için daha keskin eğrisel bir yörüngeyi izlemek zorunda kalırken, daha büyük hızlardan dolayı daha büyük atalete sahip olan yüzeydeki akışkan zerreciklerinin yörüngeleri kanalın tabanına doğru olacaktır. Akışkan kütesinin devamlılığını sağlayabilmesi için su, dış kıyıda tabana doğru hareket eder. Bu durumda, teğetsel hız bileşenine ilave olarak kanal eksenine dik radyal hız bileşeni meydana gelir. Oluşan radyal hız bileşeni enkesit planında sekonder akım oluşturur.

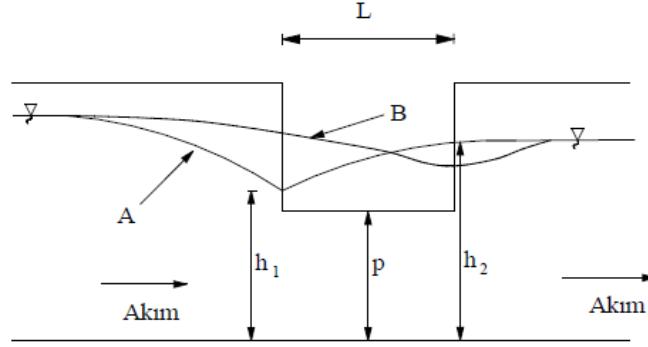
Kıvrımlı kanallarda kıvrımdan kaynaklı meydana gelen sekonder akım, yanall akımdan kaynaklı ana kanalda meydana gelen sekonder akımın şiddetlenmesine sebep olmakta, yan savak debi katsayısının doğrusal kanallarinkine göre farklı değerler almasına sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra su yüzü profilinde ve ana kanaldaki akım yapısında meydana gelen değişimin incelenmesi de oldukça önemlidir.

Bir açık kanaldaki kıvrım veya eğrilik, doğrusal kanallara yerleştirilmiş köprü ayaklarında oluşan ya da kanal pürüzlülüğünün artırılmasıyla oluşan dirence benzer ek bir akım direncine neden olur. Akım direncinde oluşan bu değişim, nehir rejiminde mansap bölgesinde derinlik artışına ve akım hızının azalmasına sebep olur. Kabarma etkisi, dış kıyının mansaba yakın olan noktalarında özellikle, sınır tabakasından ayrılmayla oluşan keskin eğriliklerde daha belirgin olmaktadır.

Engel, deneysel çalışmalarını nehir rejiminde yaptığından yukarıdaki 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 de artmaya başladığını gözlemlemiştir (Şekil 2.13).

Coleman ve Smith (1923), sel rejiminde yapmış oldukları yan savaklar ile ilgili çalışmalarda su yüzü profilinin yan savak boyunca memba kısmından mansap kısmına

doğru azaldığını ve sonrasında mansap kısmında tekrar artarak normal akım derinliğine ulaştığını gözlemlemiştir (Şekil 2.13). Deneylerin yapıldığı kanal dikdörtgen enkesitli kanallardır.



Şekil 2.13. Deneyel olarak gözlenen su yüzü profilleri

Woodward ve Posey (1995), dış ve iç kıyılarda hızların sıfır ve ekseninde maksimum olduğu kabulünü yaparak, Newton'un 2. yasasından yararlanarak kabarma için,

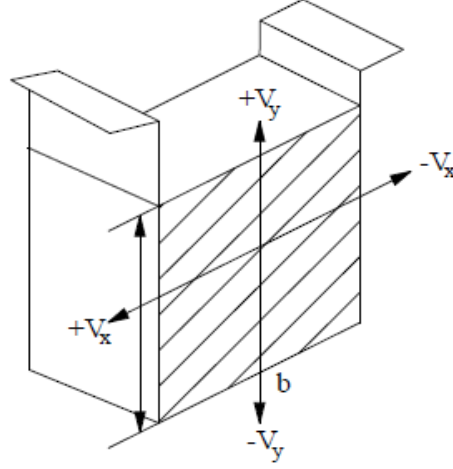
$$\Delta h = \frac{V_{max}^2}{g} \left[\frac{20 r_e}{3 b} - 16 \frac{r_e^3}{b^3} + \left(\frac{4 r_e^3}{b^2} - 1 \right) \ln \left(\frac{2 r_e + b}{2 r_e - b} \right) \right] \quad (2.11)$$

denklemini vermiştir. Burada r_e : eğrilik yarıçapı, V_{max} : maksimum hız ve b : kanalın genişliğini ifade eder.

Shukry (1950) çalışmasında, helikoidal akımın karmaşık ve üç boyutlu olması nedeniyle pitot küresi olarak adlandırılan ve farklı noktalardaki hız bileşenlerini doğrudan ölçebilen özel olarak tasarlanmış bir alet kullanmıştır. Shukry (1950), değişik akım şartları altında farklı kıvrımlarda, helikoidal akımın etkisini ve büyüklüğünü ifade etmek amacıyla, helikoidal hareketin gücü olarak bilinen bir ifade kullanmıştır. Bu ifade, verilen bir enkesitte sekonder hareketin ortalama kinetik enerjisinin, akımın toplam kinetik enerjisine oranı olarak tarif edilir. Akımın kinetik enerjisi hızın karesine bağlıdır. Şekil 2.14'teki xy planında gösterilen kanal enkesitine göre, helikoidal akımın gücü,

$$S_{xy} = \frac{V_{xy}^2}{V^2} 100 \quad (2.12)$$

olarak verilir. Burada, V_{xy} xy planındaki ortalama hız vektörü, V enkesitteki ortalama hızı göstermektedir. Böylece, kanal eksenine paralel bütün akım çizgileri için $S_{xy}=0$ olacaktır.



Şekil 2.14. Kanal enkesiti

Shukry (1950) dikdörtgen enkesitli kıvrımlı bir açık kanalda, nehir rejiminde yaptığı deneylerden elde ettiği sonuçları maddeler halinde aşağıda vermiştir:

1. S_{xy} , r_e/b (kıvrımın eksen eğrilik yarıçapı/kanal genişliği) oranının artmasıyla kademeli olarak azalır ve $r_e/b=3$ 'de minimuma ulaşır (yani eğrilik etkisi minimum seviyededir)
2. Akımın Re sayısı büyüdükçe S_{xy} küçülür.
3. h/b (akım derinliği/kanal genişliği) oranı arttıkça helikoidal akımın gücü azalır.
4. α kıvrım açısı büyüdükçe helikoidal akımın gücü artar. S_{xy} 'deki artış miktarı, $\alpha/180=0.0-0.50$ arasında, $\alpha/180=0.50-1.00$ arasındaki değerlerden hemen hemen iki kat daha büyüktür.
5. Sekonder akımın kinetik enerjisi teğetsel akımın kinetik enerjisine oranla daha küçüktür ve dolayısıyla kıvrım direncinden meydana gelen enerji kaybında küçük bir kısmı oluşturur.

Chow (1959), kıvrımdaki tüm teğetsel hızların V ortalama hızına eşit olduğu ve tüm akım çizgilerinin r_e eğrilik yarıçapına sahip olduğu kabul edilerek ve enine su yüzeyinin doğrusal olarak değiştiğini kabul ederek, kıvrımlı kanallarda oluşacak kabarma miktarı;

$$\Delta h = \frac{v^2}{gr_e} \quad (2.13)$$

denklemleri ile hesaplanabilir.

Choudhary ve Narasimhan (1977), 180°'lik bir açık kanal kıvrımında dar ve geniş kanallarda nehir rejiminde, şev ve taban kayma gerilmesi ile helikoidal hareketin gelişimini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler için, eksen eğrilik yarıçapı $r_e=80$ cm, genişliği $b=96$ cm, derinliği $h=25$ cm olan bir dikdörtgen kanal kullanmışlardır. Değişik akım şartlarında $b/h=5$ dar kanal ve $b/h=10$ geniş kanal için 0.2, 0.4 ve 0.6 Froude sayılarında deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Ölçümler kıvrımlı kısımda 15°'lik radyal aralıklarla, doğrusal kısımda ise 50 cm'lik aralıklarla yapılmıştır. Radyal ve teğetsel hızlar pitot tüpü kullanılması ile her enkesitte beş düşey boyunca hız bileşeni V_θ 'nın kanal eksenine ile yapmış olduğu β sapması ölçülmüştür. Su yüzü profilinde oluşan değişimler depreston tüpü yardımıyla belirlenmiştir. Araştırmacılara göre, helikoidal hareket $\alpha=15^\circ$ 'de dış kıyıda başlamakta ve $\alpha=105^\circ-120^\circ$ civarında maksimum değere ulaşmaktadır. Froude sayısında meydana gelen artış veya b/h oranındaki azalma, helikoidal hareketin daha erken oluşmasına ve daha hızlı gelişmesine sebep olmaktadır. Aynı zamanda, $\alpha=135^\circ$ 'de dış kıyı yakınlarında büyük kayma gerilmesi meydana gelmekte ve helikoidal hareketin yönü ve şiddeti taban malzemesini hareket ettirmeye çalışmaktadır. Bu sebepten ötürü taban koruma çalışmalarının, kıvrımın bu bölgesinde yapılması daha uygundur.

De Verient (1973), bir açık kanal kıvrımında oluşan akımın yapısını şu şekilde anlatmıştır. Kıvrım bölgesine yaklaştıkça akım, akım çizgisinin eğriliğini kademeli arttırmaya çalışan memba kısmındaki basınç yükünün etkisiyle karşılaşır. Kıvrıma girişte, akım çizgisinin eğriliği, kıvrımın iç kıyısında akımın hızlanmasına sebep olan radyal ve teğetsel basınç gradyanlarına sahiptir. Kıvrım girişinden sonra akım, üniform olmayan derinlik dağılımını kademeli olarak kendisine uydurmaya çalışır.

Fares ve Herbertson (1993), 0.50 m genişliğinde dikdörtgen enkesite ve 60°'lik kıvrım açısına sahip kıvrımlı kanalın dış kıyısına yerleştirilen kalın kenarlı yan savağın, kıvrımdaki akım yapısına olan etkisini laboratuvar ortamında araştırmışlardır. Yazarların sadece kıvrım ve yan savaktan aktif savaklanma durumlarında 60°'lik kıvrım kısmında elde ettikleri derinlik boyunca teğetsel hızları çıkarmışlardır.

Derinlik boyunca ortalama hızın radyal dağılımının dışa doğru sapmasına sebep olur. Bu dışa doğru sapma, sekonder akımdaki düşey bileşenin konvektif ivme etkisini arttırmaya çalışır. Kıvrımın çıkışına doğru ise, akım çizgisinin eğriliği kademeli olarak

azalır. Radyal doğrultudaki basınç gradyanında oluşan değişim, kıvrımın iç kıyısında akımı yavaşlatan, dış kıyısında ise hızlandıran teğetsel basınç gradyanlarına sebep olur. Kıvrım çıkışında da akımda meydana gelen bu değişiklikler kendisini taban topoğrafyasına uydurmaya çalışır.

De Marchi yan savaklarda özgül enerjinin sabit bir değerde olabileceğini belirtmiştir. Yansavaklarda su yüzünün diferansiyel denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{J_0 - J_f - \frac{aQ}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - \frac{aQ^2 B}{gA^3}} \quad (2.14)$$

burada y ana kanaldaki akım derinliğini; x yatay eksen boyunca yönü; J_0 kanal eğimini; J_f enerji çizgisinin eğimini; Q ana kanaldaki debiyi; dQ/dx (veya q) yan savağın birim uzunluğuna karşılık gelen debiyi; A akımın enkesit alanını; g yerçekimi ivmesini; a kinetik enerji düzeltme faktörünü ve B ise kanal genişliğini ifade etmektedir. Yan savağın birim uzunluğundan geçen debi, özgül enerji sabit kabul edilerek, (2.15) eşitliği yardımı ile hesaplanabilir.

$$q = - \left(\frac{dQ}{dx} \right) \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} (h - p)^{3/2} \quad (2.15)$$

bu denklemde p savak yüksekliğini; h x kesitindeki akım derinliğini ($x=0$ 'da: $h=h_1$ ve $Q=Q_1$); $(h-p)$ savak üzerindeki nap yükünü ve C_d debi katsayısını ifade etmektedir. h derinliğinin klasik savaklarda olduğu gibi savaktan memba kısmına doğru belirli bir mesafe ileriye değil de, savak yakınında ya da savak üzerinde ölçümün yapılması gerektiğini rapor etmiştir.

2.6. Literatür Özeti

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

$$C_d = 0.611 \sqrt{3 \frac{h'}{H} - 2} = 0.611 \sqrt{3 \psi z - 2} \quad (2.16)$$

burada, $z=h/H$ = kanal eksenindeki boyutsuz akım derinliğidir.

$$-\emptyset(z) = A(1 - z)^{0.55} + B(1 - z)^3 \quad (2.17)$$

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

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

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

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

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

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

Muslu (2002), yan savak akımıyla ilgili nümerik bir analiz geliştirerek deneysel sonuçlarla karşılaştırmış ve iyi sonuçlar elde etmiştir. Çalışmasında eğri uydurma yöntemini kullanmıştır.

Khorchani ve Blanpain (2004), yan savaklar üzerindeki yüzey profilinin tespitinde video izleme tekniğini kullanmışlardır. İzlenen veriler model için nümerik verilere dönüştürülmüş ve memnun edici sonuçlar elde edilmiştir.

Ghodsian (2003), dikdörtgen yan savakların akım özelliklerini sel rejimi için deneysel olarak incelemiştir. Debi katsayısının belirlenmesi için aşağıdaki eşitliği vermiştir.

$$C_e = \left\{ \left[\left(0.611 + 0.08 \frac{y-w}{w} \right) (1 - 0.802 F^{0.212})^{0.85} \right]^{-3.984} + \left[1.06 \left(1 + \frac{w}{y-w} \right)^{1.5} (1 - 0.195 F^{0.657})^{1.55} \right]^{-3.984} \right\}^{-0.251} \quad (2.18)$$

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

Mizumura (2005), sel rejimli kanal akımlarında yanal akımları hem teorik ve hem de deneysel olarak incelemişler ve elde ettiği sonuçları karşılaştırmışlardır.

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

$$C_d = \left\{ \left[\left(0.61 + 0.08 \frac{h-p}{p} \right) (1 - 0.802F^{0.212})^{0.85} \right]^{-3.984} + \left[1.06 \left(1 + \frac{p}{h-p} \right)^{1.5} (1 - 0.195F^{0.657})^{1.55} \right]^{-3.984} \right\}^{-0.251} \quad (2.19)$$

burada; C_d =yan savak debi katsayısı, h =su yüksekliği, p =kret yüksekliği, F_1 = Froude sayısı'dır.

Emiroğlu vd. (2011) dikdörtgen yan savak debi katsayısı için (2.20) eşitliğini vermişlerdir.

$$C_d = \left[0.836 + \left(-0.035 + 0.39 \left(\frac{p}{h_1} \right)^{12.69} + 0.158 \left(\frac{L}{b} \right)^{0.59} + 0.049 \left(\frac{L}{h_1} \right)^{0.42} + 0.244 F_1^{2.125} \right)^{3.018} \right]^{5.36} \quad (2.20)$$

3. DOMÍNGUEZ YAKLAŞIMI

Bagheri vd (2013) dikdörtgen yan savakların debi katsayısını belirlemek için Dominguez yaklaşımını kullanmışlardır. Dominguez (1935) yan savakların deşarj kapasitesini belirlemek için basit bir yol önermiştir. Söz konusu bu yöntemle göre;

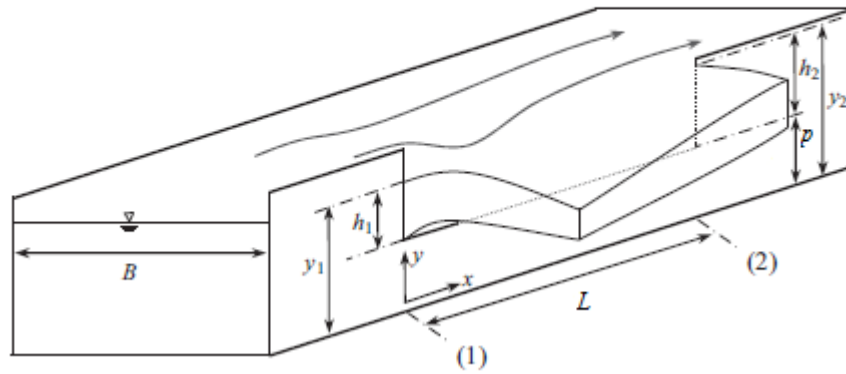
- (a) Ana kanalda yan savak boyunca özgül enerji sabittir.
- (b) Yan savaktan savaklanan akımın debisi hesaplanırken Poleni Eşitliği kullanılır.

$$dQ_w = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g(y-p)^3} dx \quad (3.1)$$

- (c) Yan savak üzerinde oluşan su yüzü profili savak boyunca doğrusal olarak değişir.

$$h(x) = y - p = h_1 + (h_2 - h_1) \frac{x}{L} \quad (3.2)$$

burada Q =akım debisini (m^3/s), C_d =debi katsayısını (-), g =yerçekimi ivmesini (m/s^2), y =akım derinliğini (m), x =kret uzunluğunu (m), p =kret yüksekliğini (m), h =akım derinliğini (m) ve L =savak açıklığını (m) ifade etmektedir. Söz konusu bu notasyonlar Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Bagheri vd (2013) tarafından verilen dikdörtgen yan savaklarda akımın şematik olarak gösterilmesi

(3.1) ve (3.2) eşitlikleri birleştirilerek, bir yan savak üzerindeki debi aşağıdaki şekilde elde edilebilir;

$$Q_w = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} \int_0^L (h_1 + (h_2 - h_1) \frac{x}{L})^{1,5} dx \quad (3.3)$$

$$Q_w = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} \left[\frac{2}{5} L \frac{(h_1 + (h_2 - h_1) \frac{x}{L})^{2,5}}{(h_2 - h_1)} \right]_0^L \quad (3.4)$$

$$Q_w = \frac{4}{15} C_d L \sqrt{2g} \frac{(h_2^{2,5} - h_1^{2,5})}{(h_2 - h_1)} \quad (3.5)$$

Eşitlik (3.5) düzenlenirse;

$$Q_w = \left[\frac{2}{5} C_d \frac{(h_2/h_1)^{2,5} - 1}{\left(\frac{h_2}{h_1}\right) - 1} \right] \frac{2}{3} \sqrt{2g} L h_1^{1,5} \quad (3.6)$$

Deşarj debisini veren eşitlik elde edilmiş olur.

4. DENEY SONUÇLARININ DOMÍNGUEZ METODU KULLANILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Giriş

Yanal akımların hidroligi hem deneysel ve hem de sayisal olarak uzun yıllardan beri incelenmektedir. “Labirent yan savak” ifadesi ilk defa Emiroğlu (2007) yürütücülüğünü yaptığı TÜBİTAK projesinde kullanmıştır. Emiroğlu vd. (2010) üçgen labirent yan savakların hidrolik karakteristikleri üzerine yaptıkları deneysel çalışmadan sonra labirent yan savaklar ile ilgili literatürde çok sayıda makale yayımlanmıştır. Labirent yan savakların Domínguez metodu kullanılarak hidrolik analizi literatürde bilgimiz dahilinde mevcut değildir. Bu çalışma kapsamında üçgen labirent yan savakların hidrolik karakteristikleri Domínguez yaklaşımı kullanılarak detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

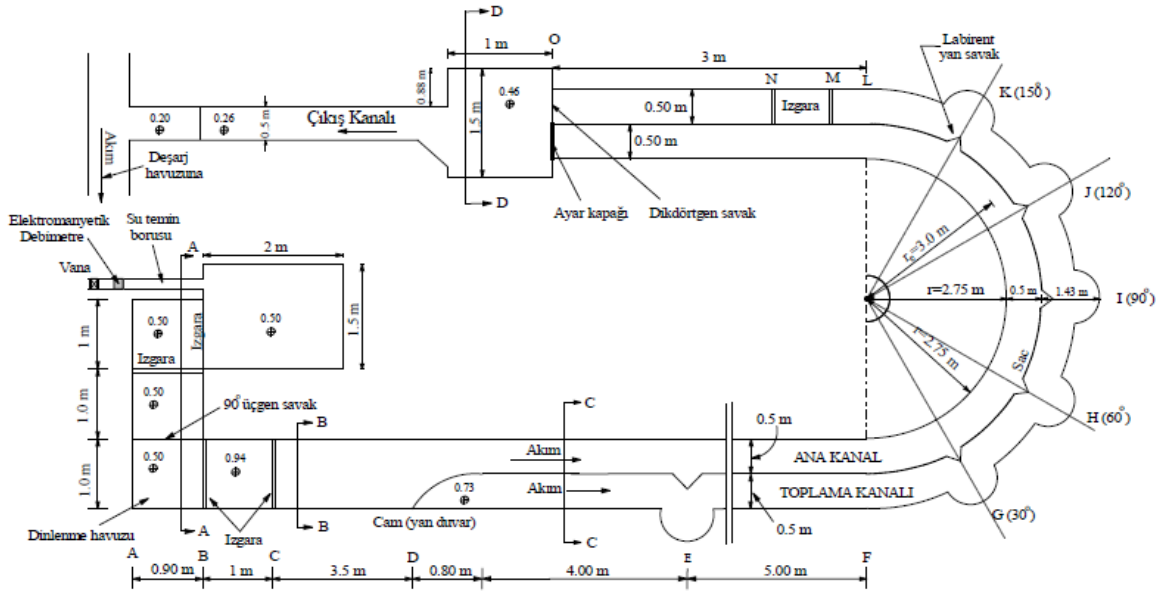
Bu bölüm kapsamında; (1) Yan savağın memba ve mansap ucunda özgül enerjinin değişimi, (2) Yan savak deşarj kapasitesinin Froude sayısı ile değişimi, (3) Yan savak deşarj kapasitesinin boyutsuz nap yükü ile değişimi, (4) Bulguların farklı yöntemler ile karşılaştırılması konuları irdelenmiştir.

4.2. Deney Düzenegi ve Deneysel Çalışma

Bu deneysel çalışma, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarındaki kıvrımlı kanal deney düzeneginde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneginde kurulan açık kanal, bir ana kanal ve bir adet toplama kanalından oluşmaktadır. Ana kanalın genişliği ve yüksekliği 0.50 m’dir. Toplama kanalının ise genişliği 0.50 m yüksekliği de 0.70 m’dir. Yan savakların yerleştirileceği kısımların karşısındaki toplama kanalı genişliği 1.30 m yarıçapında daire kesit şeklinde inşa edilmiştir (Şekil 4.1). Okumalar deney koşulları sağlandıktan yeterli süre sonra alınmıştır.

Deney setinin tüm yan duvarlarında cam ve fleksiglas malzeme kullanılmıştır. İki kanalı birbirinden ayıran kısımda ise sac malzeme kullanılmıştır. Set, püskürtme boyayla boyanmıştır. Set üzerinde gerekli yerlere sakinleştiriciler yerleştirilmiştir (Şekil 4.1). Deneysel yapılrken mevcut sakinleştiriciler yeterli olmadığı zaman su yüzüne paralel 6 inçlik demirden küçük karelere sahip bir sakinleştirici oluşturulmuş, gerektiğinde de

kullanılmıştır. Böylece limnometre ile alınan okumalar oldukça hassas olmuştur. Bu deneysel çalışmada Mitutoyo marka dijital bir limnometre kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Deney düzeneği

Giriş debisi Siemens marka elektromanyetik debimetre ile belirlenmiştir. Debiler L/s cinsinden ölçülmüştür. Ayrıca, 90° ince kenarlı bir savak ile elde edilen debilerle kıyaslanmıştır. Toplama kanalı sonundaki dikdörtgen savaktan geçen debi de elde edilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

Ana kanalın taban eğimi %0.10'dir. Deney çalışmaları nehir rejimli ve kararlı akım koşullarında ve serbest savaklanma hali için gerçekleştirilmiştir. Yan savak nap kalınlığı (nap yükü) olarak, yan savak memba kısmında ana kanal eksenindeki su derinliğine göre bulunan nap kalınlığı dikkate alınmıştır. Literatürdeki birçok çalışmada bu şekilde ele alınmıştır. Deneylerdeki minimum nap kalınlığı 30 mm'dir. Deneyler, kıvrımlı kanalda $L=25, 50$ ve 75 cm savak uzunlukları, $p=12, 16$ ve 20 cm kret yükseklikleri, $\theta=45^\circ, \theta=60^\circ, \theta=90^\circ, \theta=120^\circ, \theta=150^\circ$ labirent savak kıvrım tepe açıları ve kıvrımlı kanalda $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ kıvrım merkez açıları için yapılmıştır.

Su yüzü profilleri kıyıda ve kanal merkezinde belirlenmiştir. Okumalar boykesit boyunca yeterli sıklıkta alınmıştır. Özellikle değişimin fazla olduğu savak başlangıcında ve sonunda okumalar daha sık alınmıştır. Mevcut deneysel çalışmada labirent yan savak üzerindeki akım Şekil 4.2'de sunulmuştur.



Şekil 4.2. Labirent yan savak üzerinde yanal akım

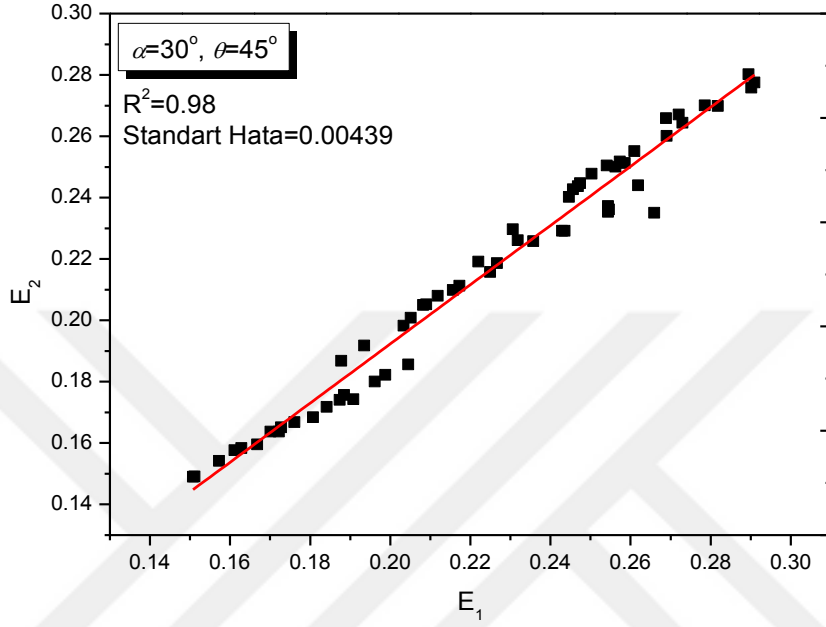
4.3. Yan Savağın Memba ve Mansap Ucunda Özgül Enerjinin Değişimi

Yanal akımlar için ilk analitik yaklaşım De Marchi (1934) tarafından çalışılmıştır. Araştırmacı sunduğu yöntemin uygulanabilmesi için yan savağın memba ve mansap ucundaki özgül enerjinin yaklaşık olarak sabit olduğunu kabul etmiştir. Bir başka deyişle $[(E_1-E_2)/E_2] \times 100$ bağıl hata değerinin %4-5'ten daha küçük olması durumunda De Marchi yöntemi güvenle uygulanabilir. Hatanın bu sınırların altında olması durumunda De Marchi yaklaşımının kullanılabileceğini Borghei ve diğ. (1999) de açık olarak ifade etmiştir. Borghei ve diğ. (1999) klasik dikdörtgen yan savaklar ile ilgili yaptıkları çalışmalarında $[(E_1-E_2)/E_2] \times 100$ değerinin %4'ten daha az olduğunu belirtmiş ve De Marchi yöntemini kullanmışlardır.

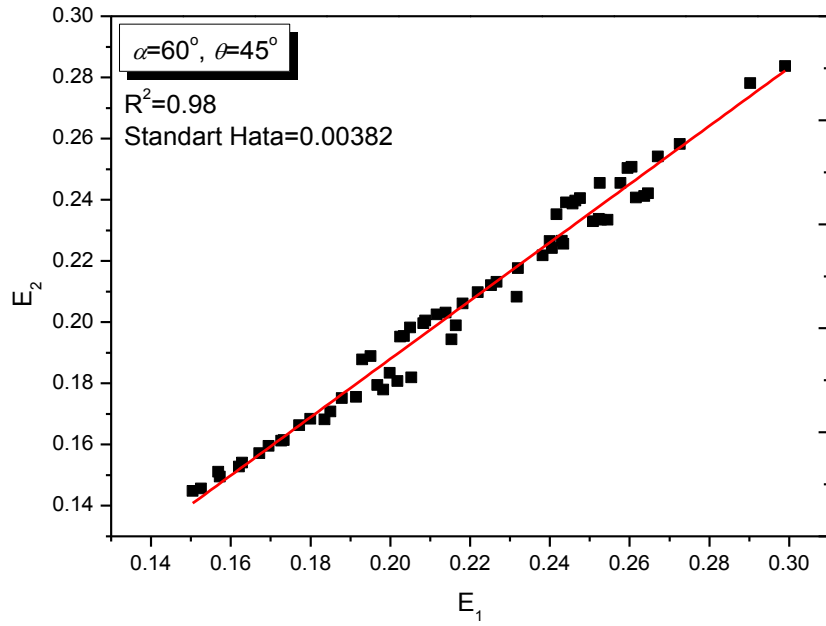
Domínguez yaklaşımının kullanılması için ilk koşul $E_1 \approx E_2$ olması durumudur. Bir başka ifadeyle, ana kanalda yan savak boyunca özgül enerjinin sabit olması kabulü yapılmaktadır. Schmidh yaklaşımında da durum De Marchi ve Domínguez yaklaşımlarındaki gibi benzerdir.

Şekil 4.3'te yan savağın memba ve mansap uçlarındaki özgül enerjiler $\alpha=30, 60, 120^\circ$ ve $\theta=45^\circ$ için çizilmiştir. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi belirginlik katsayısı (R^2) değeri

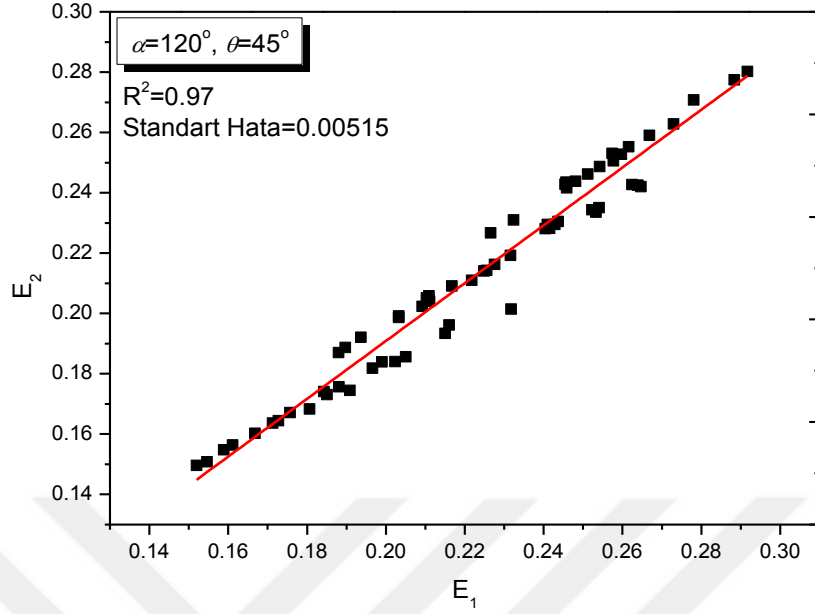
yüksektir. Bağlı hata, $[(E_1-E_2)/E_2] \times 100$, değeri %1'den daha düşüktür. Böylece De Marchi ve Domínguez yaklaşımları üçgen labirent yan savakların deşarj kapasitesini belirlemek için güvenle kullanılabilir.



(a)



(b)



(c)

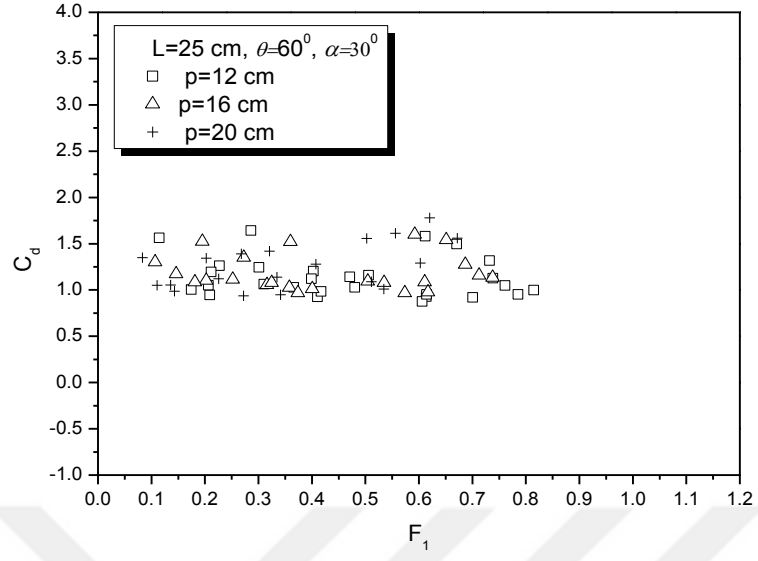
Şekil 4.3. Yan savağın memba ve mansap ucundaki özgül enerjinin değişimi: (a) $\alpha=30^\circ$, (b) $\alpha=60^\circ$, (c) $\alpha=120^\circ$

4.4. Yan Savak Deşarj kapasitesinin Froude Sayısı ile Değişimi

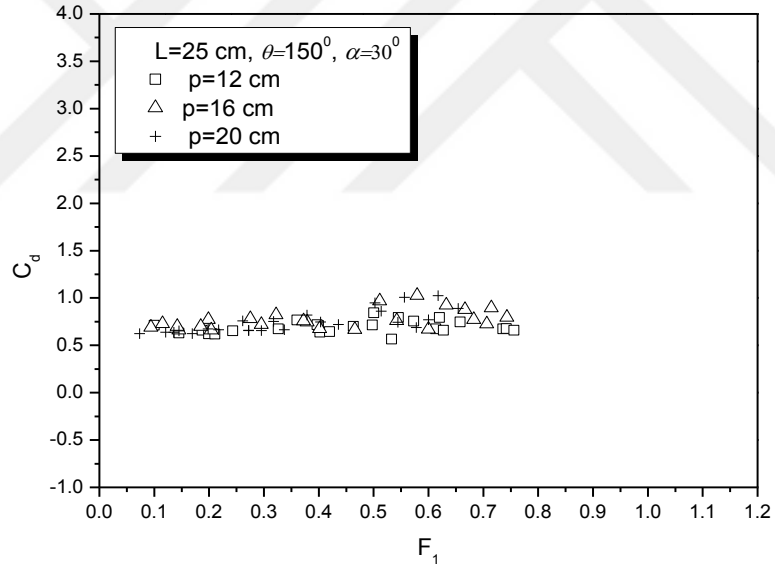
4.4.1. Kret yüksekliğinin değişiminin deşarj kapasitesi üzerine etkisi

Yan savaklar çok nadir olarak eşiksiz (yani kret yüksekliği sıfır, $p=0$) olarak inşa edilmektedir. Bu nedenle yan savaklar çoğunlukla kret yüksekliği dikkate alınarak incelenmektedir. Bu çalışmada kret yükseklikleri 12, 16 ve 20 cm olarak dikkate alınmıştır.

Kret yüksekliğinin artması ile genellikle debi katsayısı değerleri de çok önemli oranlarda olmasa da bir artış göstermektedir. Boyutsuz savak açıklığı arttıkça kret yüksekliğinin etkisi azalmaktadır (Şekil 4.4).

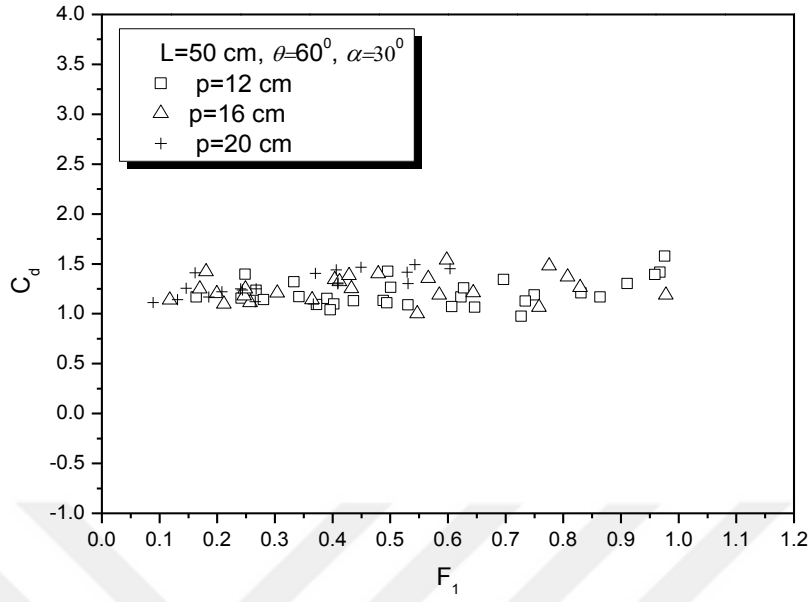


(a)

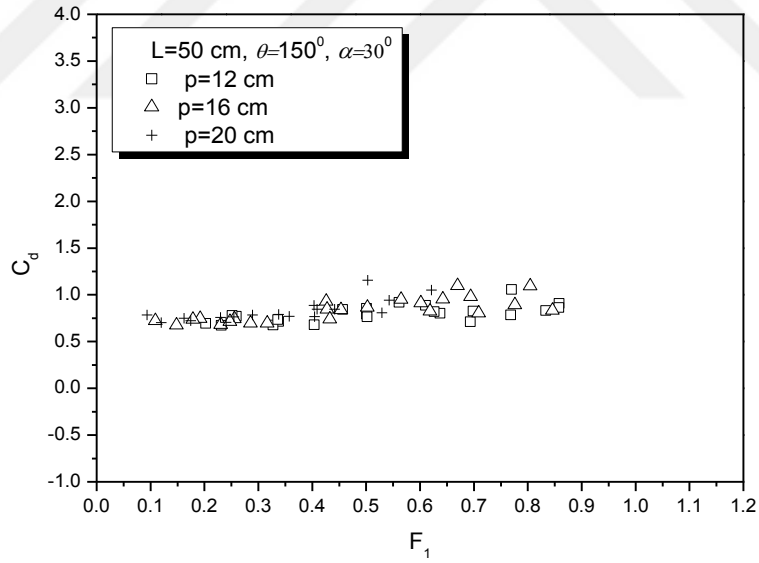


(b)

Şekil 4.4. Yan savağın $L/B=0.50$, $\alpha=30^\circ$ ve farklı kret yükseklikleri için Froude sayısına göre değişimi: (a) $\theta=60^\circ$, (b) $\theta=150^\circ$

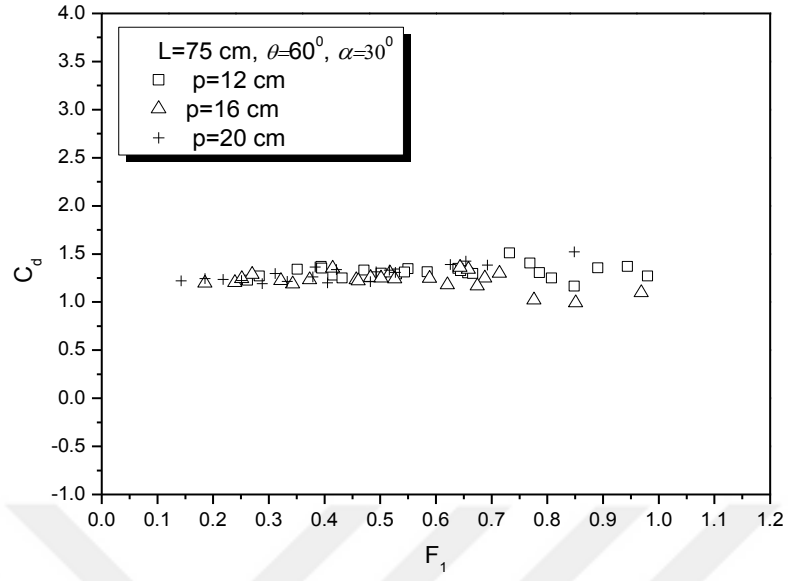


(a)

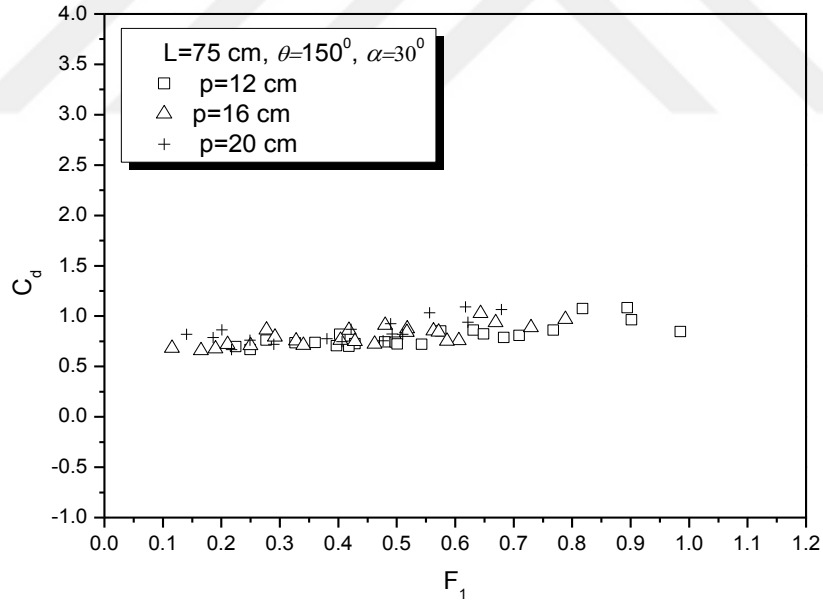


(b)

Şekil 4.5. Yan savağın $L/B=1.00$, $\alpha=30^\circ$ ve farklı kret yükseklikleri için Froude sayısına göre değişimi: (a) $\theta=60^\circ$, (b) $\theta=150^\circ$



(a)



(b)

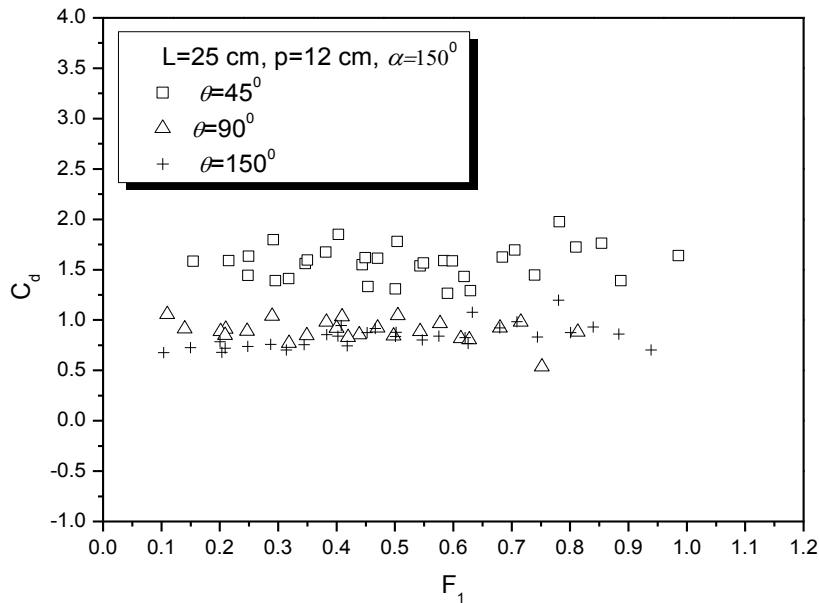
Şekil 4.6. Yan savağın $L/B=1.50$, $\alpha=30^\circ$ ve farklı kret yükseklikleri için Froude sayısına göre değişimi: (a) $\theta=60^\circ$, (b) $\theta=150^\circ$

4.4.2. Yan savak tepe açısının değişiminin deşarj kapasitesi üzerine etkisi

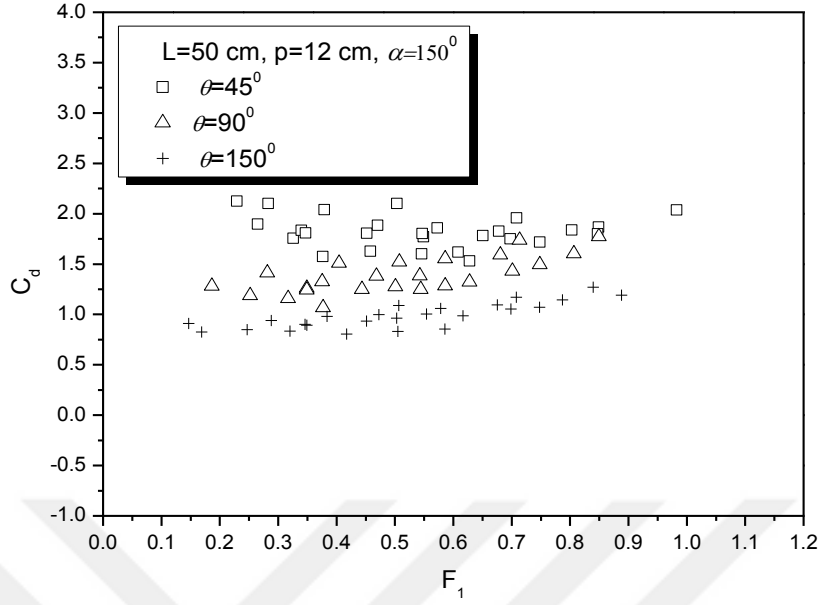
Labirent savakların en büyük avantajı belirli bir savak açıklığı için kret uzunluğunun birkaç kat arttırılabilesidir. Karşıdan alışı labirent savaklar uygulamada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle topoğrafik olarak yer darlığı olan yerlerde labirent dolusavaklar kullanılarak büyük miktardaki taşkın debileri deşarj edilebilmektedir. Fazla debi geçirebilmelerinin nedeni kret uzunluğunun arttırılmasıdır.

Emiroğlu vd. (2010) ifade etmişlerdir ki karşıdan alışı labirent dolusavaklarda çok küçük tepe açıları kullanılmaktadır. Örneğin $\theta=6, 7, 8^\circ$ gibi tepe açıları kullanılmaktadır. Fakat yanal akım için kullanılan labirent yan savaklarda çok küçük açıların kullanılması uygun olmamaktadır. Statik problemleri nedeniyle ek maliyetler gerektirmektedirler. Fakat labirent yan savaklarda küçük açı kullanmak gereksizdir. Büyük açıların kullanılması durumunda istenilen debiler rahatlıkla alınabileceği Emiroğlu vd. (2010 ve 2014) belirtilmiştir. Labirent yan savaklar klasik yan savaklara göre 4-5 kat daha fazla debi geçirebilmektedirler.

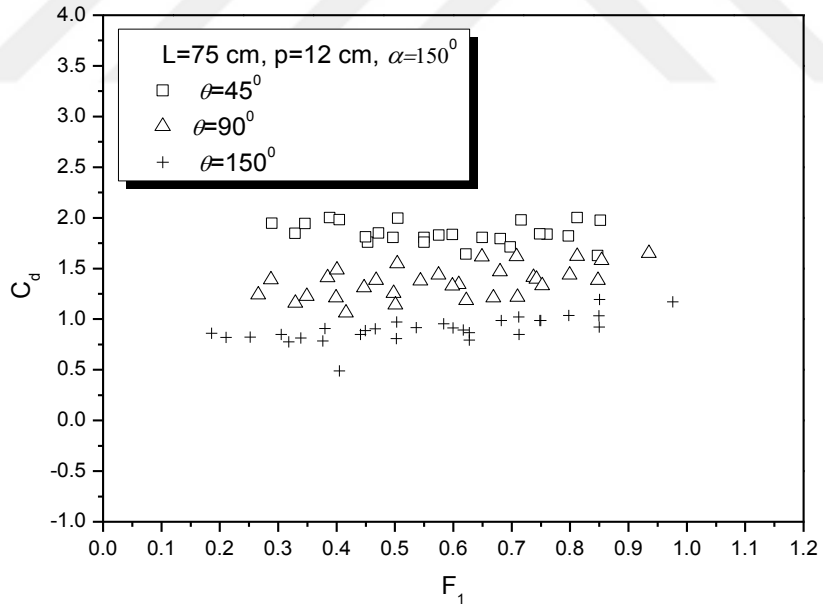
Şekil 4.7 (a-c)'de görüldüğü gibi labirent yan savak tepe açısının artması ile debi katsayısı değerleri küçülmektedir. Bunun en önemli nedeni labirent yan savak tepe açısının artması ile kret uzunluğunun küçülmesidir. Böylece deşarj kapasitesi de azalmaktadır.



(a)



(b)

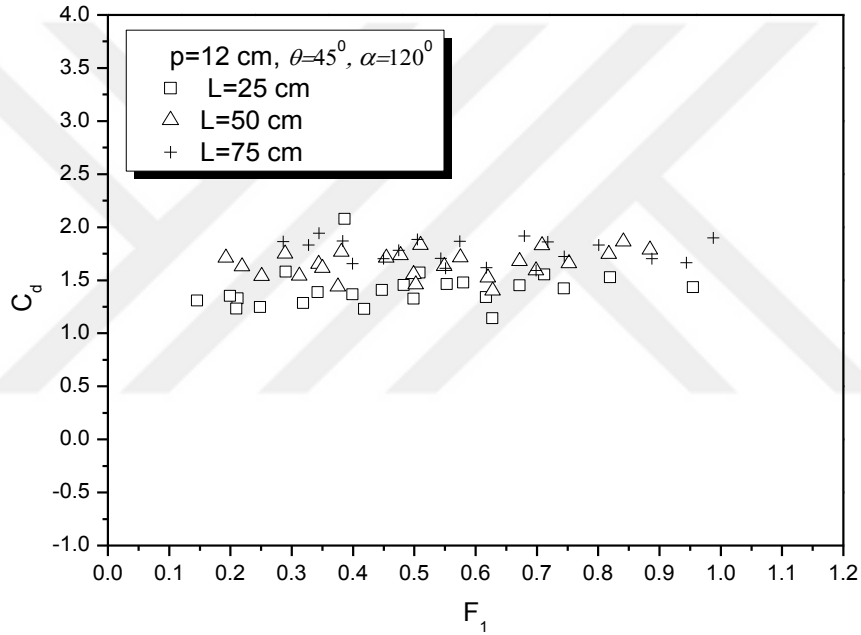


(c)

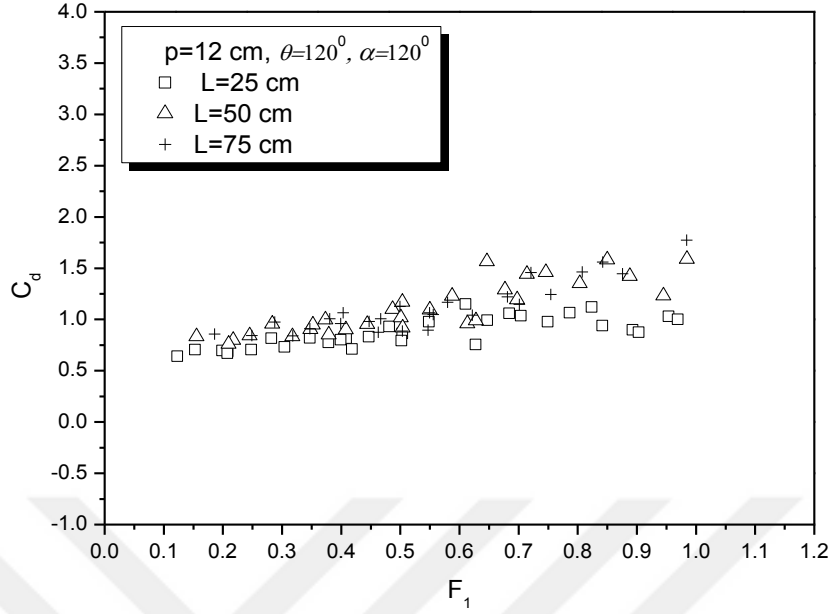
Şekil 4.7. Labirent yan savak farklı kret açıları için Froude sayısının debi katsayısı ile değişimi: (a) $L/B=0.50$, (b) $L/B=1.00$, (c) $L/B=1.50$

4.4.3. Kret uzunluğunun değişiminin deşarj kapasitesi üzerine etkisi

Savak açıklığı yan savağa karşıdan bakıldığında savak uzunluğunu göstermektedir. Savak açıklığının artması ile debi katsayısı değerlerinde artış gözlenmektedir. Subramanya ve Awasty (1972) savak açıklığının artması ile sekonder akımın şiddetinin arttığını belirtmişlerdir. Sekonder akımın şiddetinin artması deşarj kapasitesinin artmasına neden olmaktadır. Şekil 4.8'de da görüldüğü gibi boyutsuz savak açıklığının (L/B) artması ile debi katsayısı değerlerinde artış olmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 4.8. Labirent yan savak farklı savak açıklıkları için Froude sayısının debi katsayısı ile değişimi: (a) $\theta=45^\circ$, (b) $\theta=120^\circ$

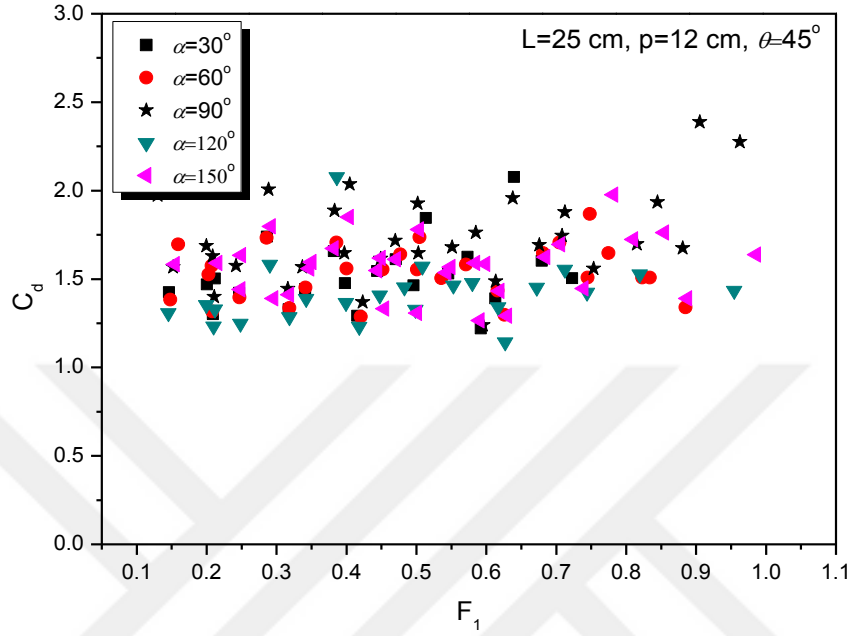
4.4.4. Kıvrım Açılarına Göre Froude Sayısı ile C_d 'nin Değişimi

Şekil 4.9 kıvrımlı kanal farklı kıvrım açıları için Froude sayısı ile debi katsayısının değişimini göstermektedir. Bu şekilde $L/B=0.50$ ve $45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ ve 150° tepe açılı labirent yan savak için yapılan deney sonuçları verilmektedir. Labirent yan savak tepe açısı büyüdükçe deşarj kapasitesi azalmaktadır. Yukarıda da izah edildiği gibi bunun en önemli nedeni tepe açısı büyüdükçe kret uzunluğunun azalmasıdır. Şekil 4.9'dan görüldüğü gibi kıvrımın ikinci debi katsayısı değerleri genellikle daha yüksektir. Yan savakların kıvrımın ikinci yarısına yerleştirilmesi genellikle hidrolik mühendisleri tarafından önerilmektedir. Bu çalışma bulguları da bu bilgi ile uyumludur.

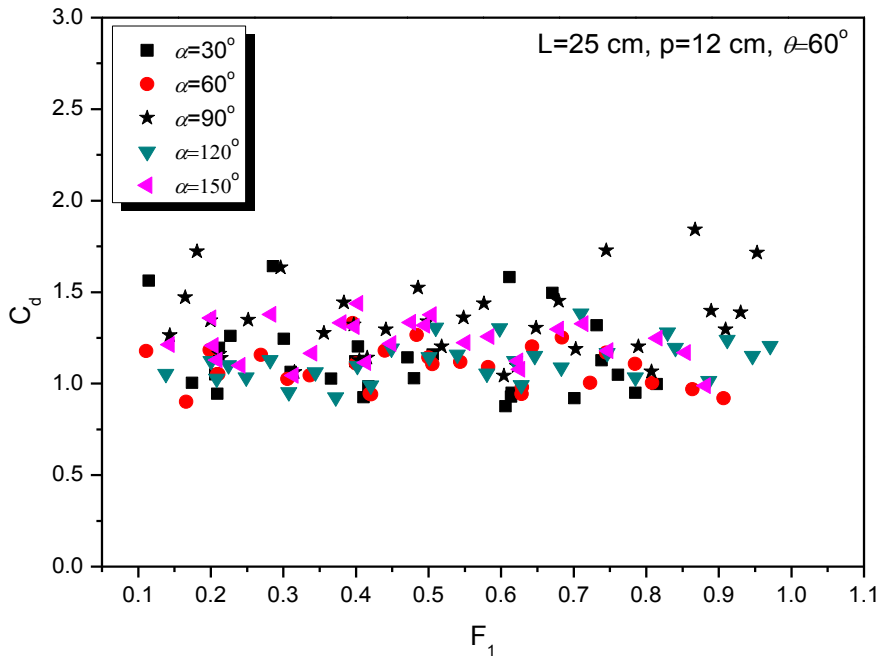
Kıvrımlı kanallarda (mendereslerde) dış kıyı oyulmakta ve iç kıyıya malzeme birikmektedir. Malzeme birikmesi nedeni ile iç kıyıya yan savak yerleştirmek doğru değildir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında kullanılan deney verileri de dış kıyıya aittir.

Literatürde yan savak çalışmalarının hemen hemen hepsi doğrusal kanallarda yürütülmüştür. Ağaçoğlu ve Yüksel (1998), Ağaçoğlu (1995), Coşar ve Ağaçoğlu

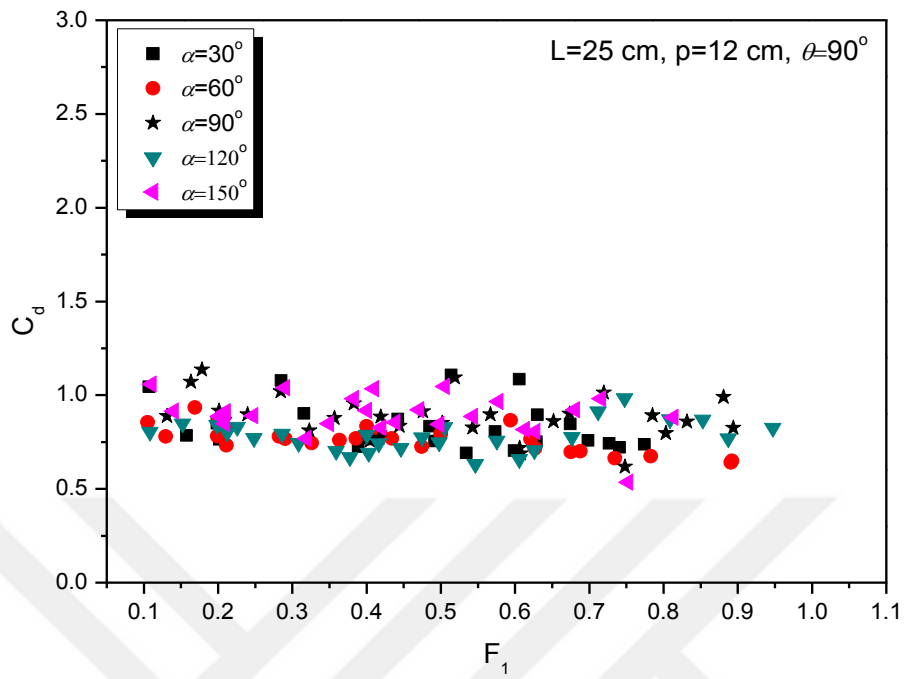
(2004) kıvrımlı kanallarda yan savaklar konusunda çalışmalar yürütmüşlerdir. Bu çalışmada elde edilen bulgular literatürdeki bu çalışmalar ile uyumludur.



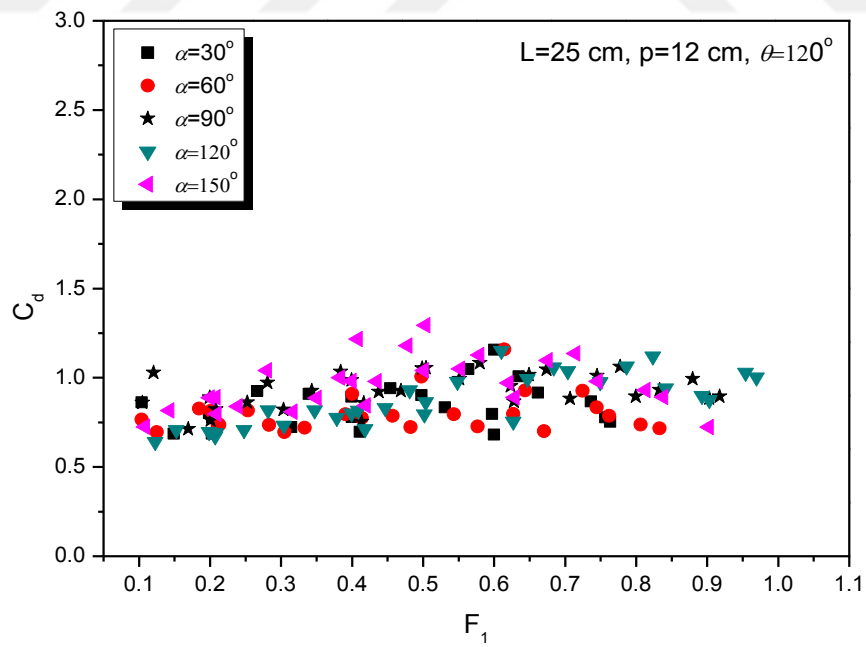
(a)



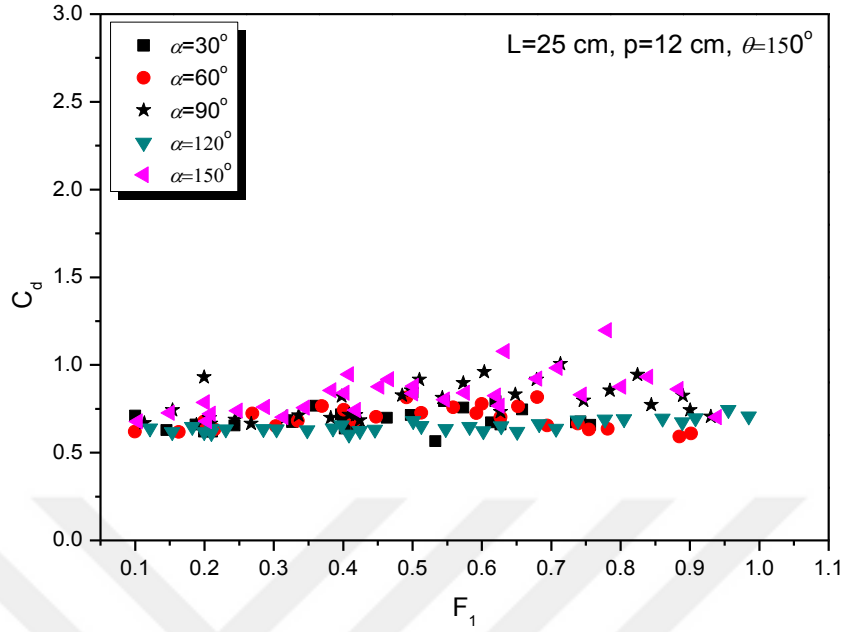
(b)



(c)



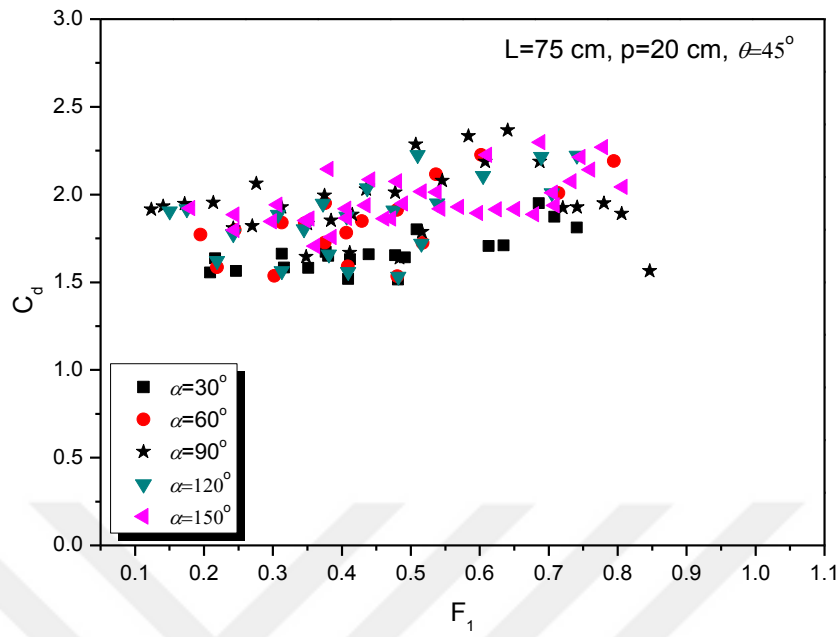
(d)



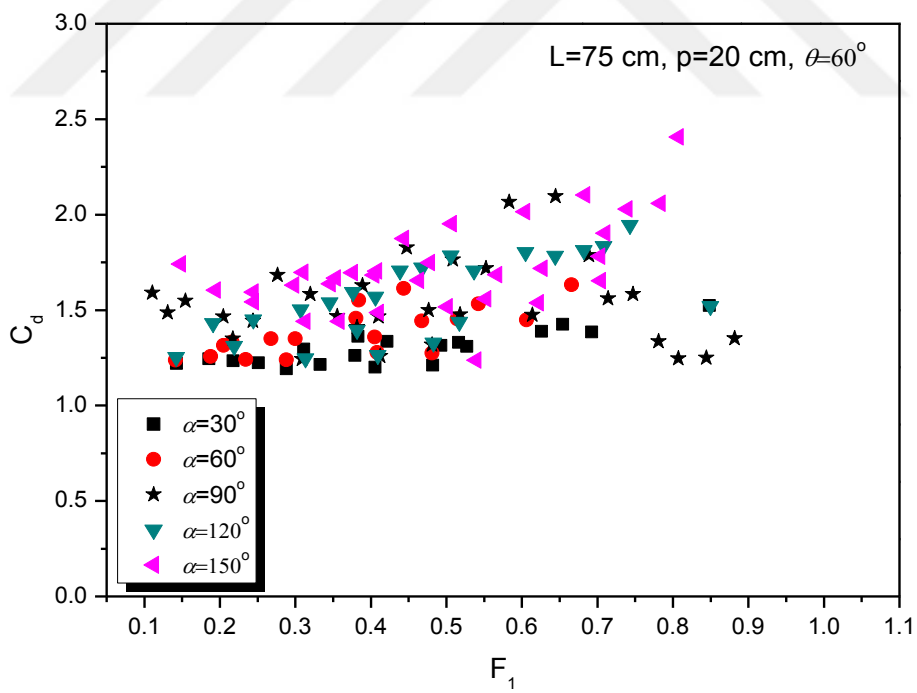
(e)

Şekil 4.9. Labirent yan savak farklı kıvrımaçıları ve $L/B=0.50$ için Froude sayısının debi katsayısı ile değişimi: (a) $\theta=45^\circ$, (b) $\theta=60^\circ$, (c) $\theta=90^\circ$, (d) $\theta=120^\circ$, (e) $\theta=150^\circ$

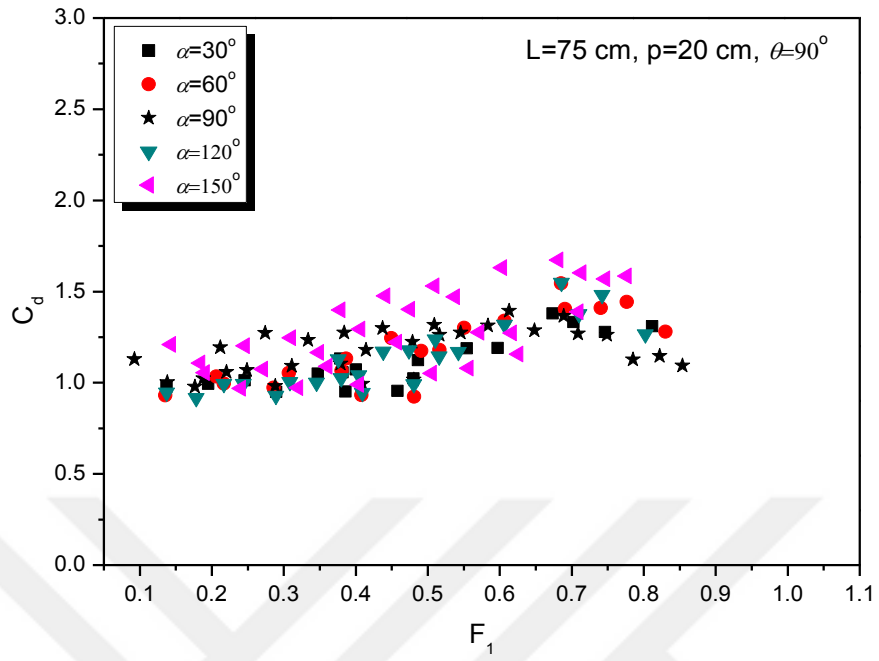
Şekil 4.10 kıvrımlı kanal farklı kıvrım açıları için Froude sayısı ile debi katsayısının değişimini göstermektedir. Bu şekilde $L/B=1.50$ ve 45° , 60° , 90° , 120° ve 150° tepe açılı labirent yan savak için yapılan deney sonuçları verilmektedir. $L/B=0.50$ için elde edilen debi katsayısı değerlerinden daha büyük değerlerin elde edildiği görülmektedir. Bunun nedeninin L/B 'nin artması ile sekonder akımının şiddetinin artmasıdır. $L/B=1.50$ için de kıvrımın ikinci yarısında genellikle daha büyük debi katsayısı değerleri elde edildiği görülmektedir.



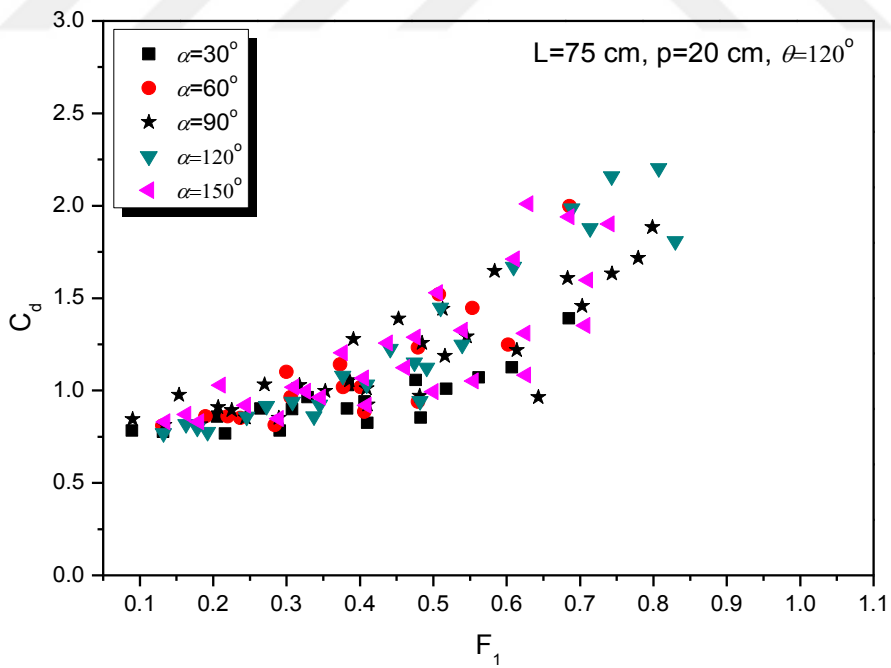
(a)



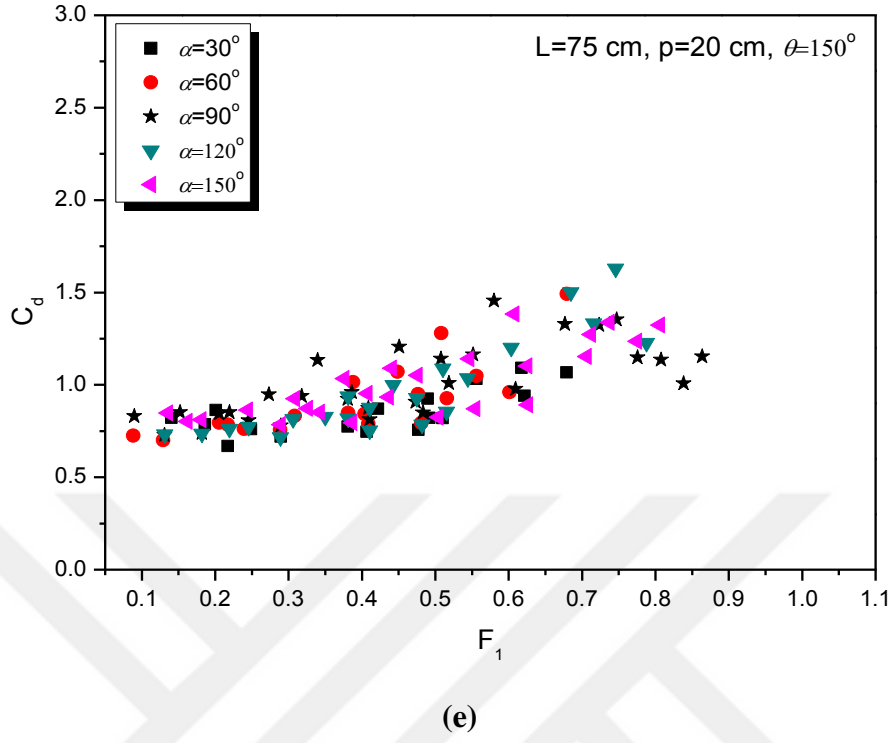
(b)



(c)



(d)

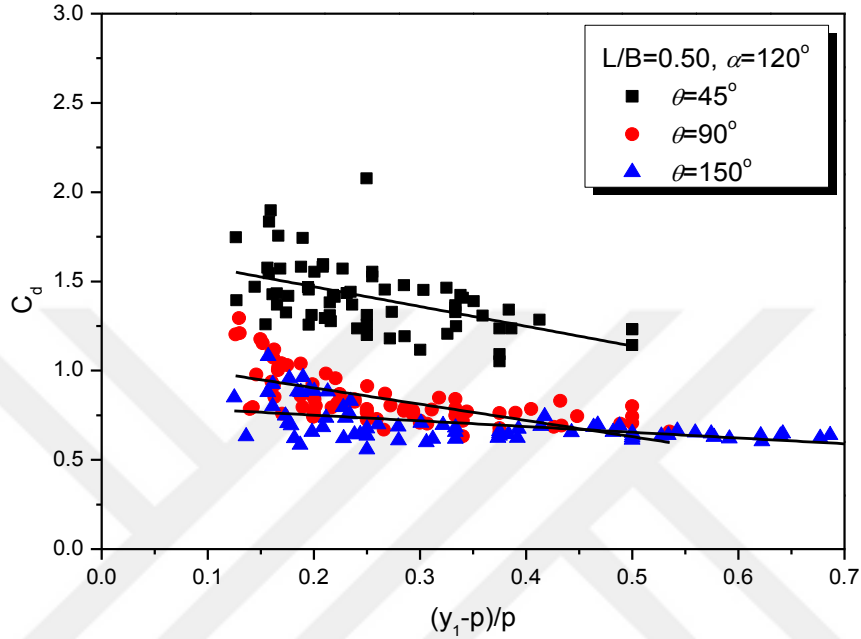


Şekil 4.10. Labirent yan savak farklı kıvrım açıları ve $L/B=1.50$ için Froude sayısının debi katsayısı ile değişimi: (a) $\theta=45^\circ$, (b) $\theta=60^\circ$, (c) $\theta=90^\circ$, (d) $\theta=120^\circ$, (e) $\theta=150^\circ$

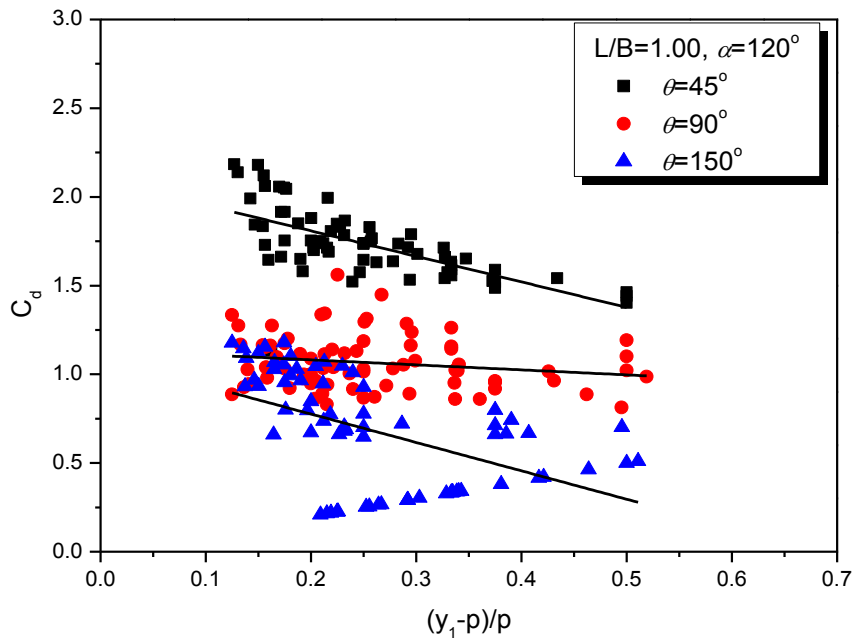
4.4.5. Boyutsuz nap yükünün C_d ile değişimi

Şekil 4.11 farklı savak tepe açıları için nap yükü ile debi katsayısının değişimini göstermektedir. Emiroglu vd. (2011) ifade etmişlerdir ki labirent yan savaklarda nap yükünün artması ile deşarj kapasitesi azalmaktadır. Labirent dolusavaklarda da durum benzerdir. Tullis vd. (1995) karşıdan alışı labirent dolusavaklarda nap yükünün artması ile deşarj kapasitesi önemli ölçüde azalmaktadır. Bir başka deyişle yüksek boyutsuz nap yüklerinde labirent savak kullanmak gereksiz olmakta, görevini yeterince yerine getirememektedir. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi boyutsuz nap yükünün artması ile debi katsayısı değerleri azalmaktadır. Bunun nedeni nap yükünün artması ile labirent yan savak üzerinden serbest savaklanma etkilenmekte ve nap sıkışmaktadır. Mansaba serbest dökülme engellenmektedir. Bu nedenle labirent dolusavaklarda hidrolik tasarımcılar boyutsuz nap yüküne sınırlama getirmişlerdir. Genellikle boyutsuz nap yükünü hidrolik tasarımcılar 0.20 ile 0.45 arasında seçmektedirler. Şekil 4.11 incelendiğinde kıvrımlı kanallarda labirent yan savaklar için de 0.20 ile 0.45 oranı uygun olmaktadır.

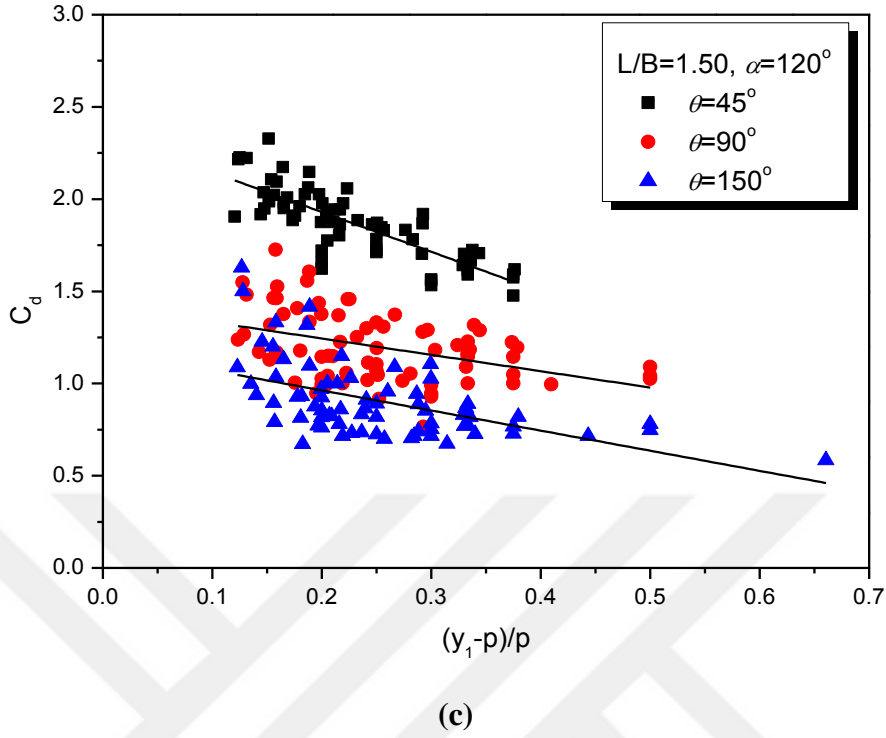
Şekil 4.11'dan görüldüğü gibi küçük savak tepe açılarında boyutsuz nap yükü ile debi katsayısının değişiminin azalma eğilimi büyük savak tepe açılarında göre çok daha fazla olmaktadır.



(a)



(b)



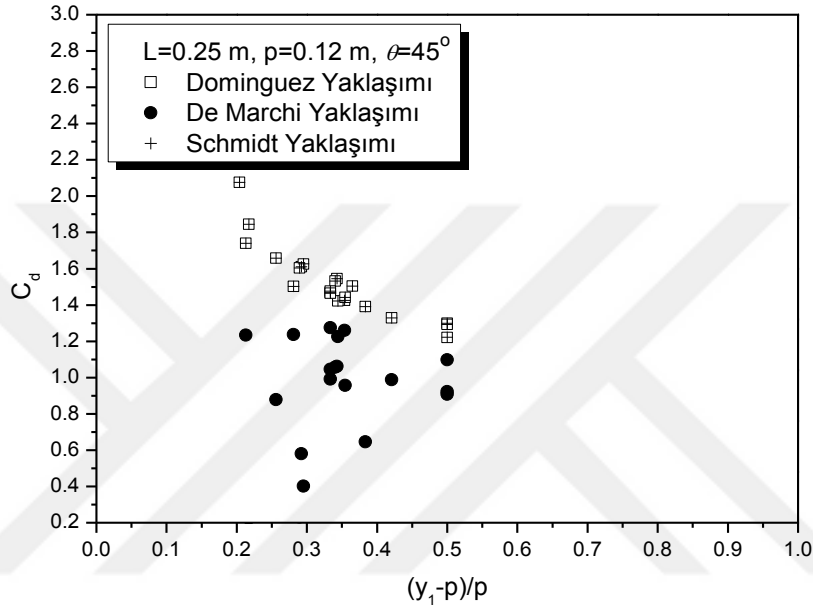
Şekil 4.11. Farklı tepe açıları için boyutsuz nap yükünün debi katsayısı ile değişimi: (a) $L/B=0.50$, (b) $L/B=1.00$, (c) $L/B=1.50$

4.5. Dominguez Yönteminin De Marchi ve Schmidt Yöntemleri ile Karşılaştırılması

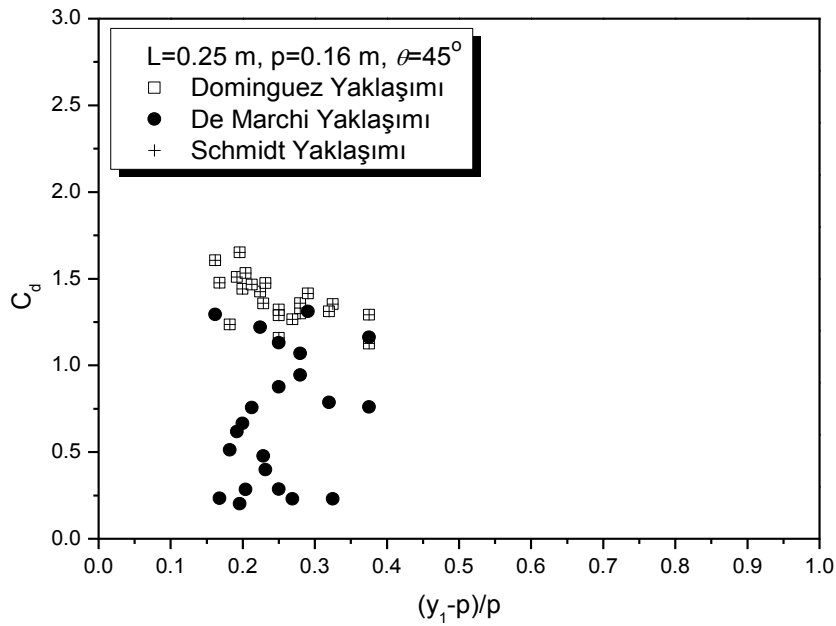
Şekil 4.12’de boyutsuz nap yükü ile debi katsayısının değişimi $L=0.25$ m, $\theta=45^\circ$ için çizilmiştir. Elde edilen bulgular literatür ile uyumludur (Borghei vd. 1999). Şekil 4.10’den görüldüğü gibi De Marchi yönteminde veriler çok fazla saçılmaktadır. Domínguez ve Schmidt metotlarıyla elde edilen değerlerin birbirine yakın çıktığı görülmektedir. Domínguez ve Schmidt metotlarında verilerin saçılımı çok azdır. Bir başka deyişle, bu verilere eğri uydurulduğunda Domínguez ve Schmidt metotlarında belirginlik katsayısı (R^2) yüksek çıkmaktadır, fakat buna karşılık De Marchi yönteminde belirginlik katsayısı (R^2) diğer iki metoda göre düşük değer almaktadır.

Literatürde çoğunlukla De Marchi yöntemi kullanılmıştır. Örneğin; Subramanya ve Awasthy (1972), Ranga Raju vd. (1979), Singh vd. (1994), Borghei vd. (1999), Kabiri-Samani vd. (2011), Borghei ve Parvaneh (2011), Paris vd. (2012) ve Emiroglu vd. (2014) De Marchi yaklaşımını kullanmışlardır. Bagheri vd. (2013) dikdörtgen yan savakların

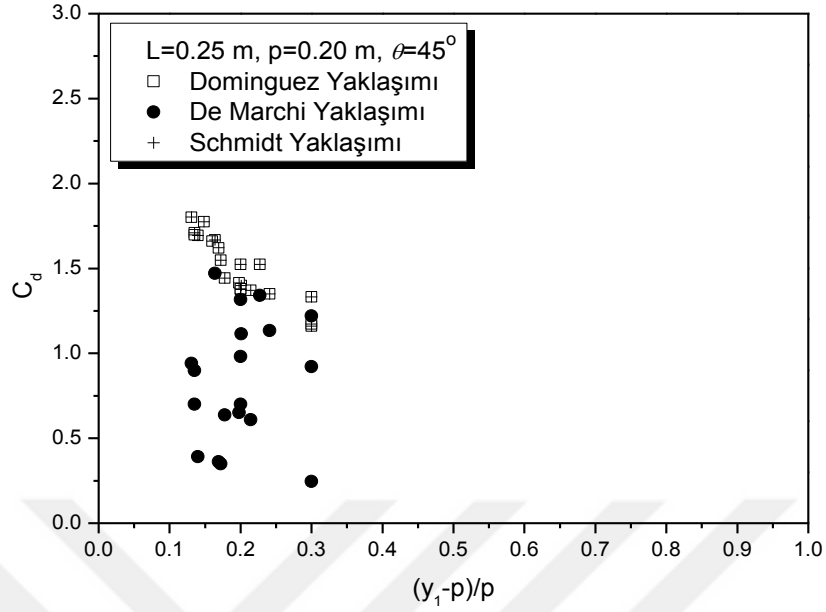
deşarj kapasitesini belirlemek için Domínguez metodunu kullanmışlardır. Araştırmacılar Domínguez metodunu De Marchi metodu ile karşılaştırmışlardır ve belirtmişlerdir ki Domínguez metodu çok doğru sonuçlar vermektedir. Üçgen labirent yan savaklarda Domínguez metodu ilk olarak bu tez çalışmasında kullanılmıştır. Görülmektedir ki Domínguez metodu bu çalışmada da çok iyi sonuçlar vermektedir.



(a)



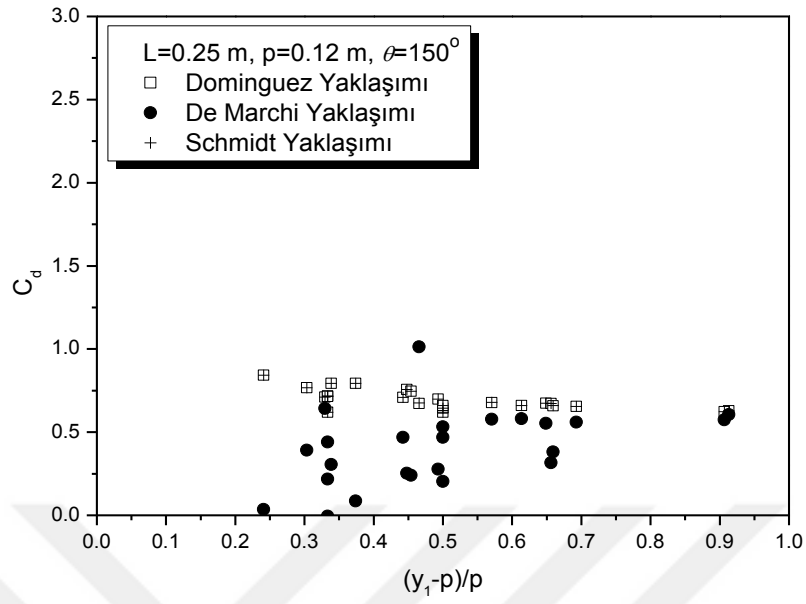
(b)



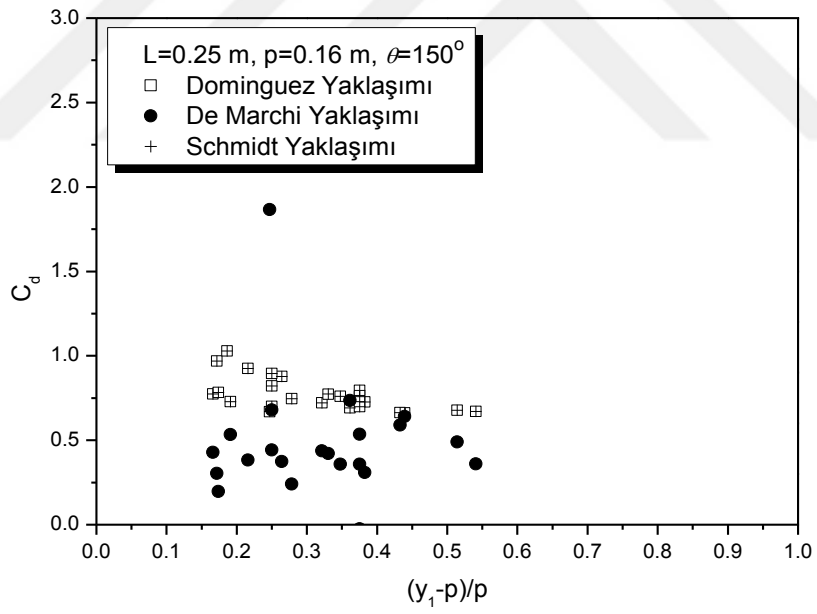
(c)

Şekil 4.12. $L=0.25$ m, $\theta=45^\circ$ için $(y_1-p)/p$ ile debi katsayısının değişimi: (a) $p=0.12$ m, (b) $p=0.16$ m, (c) $p=0.20$ m

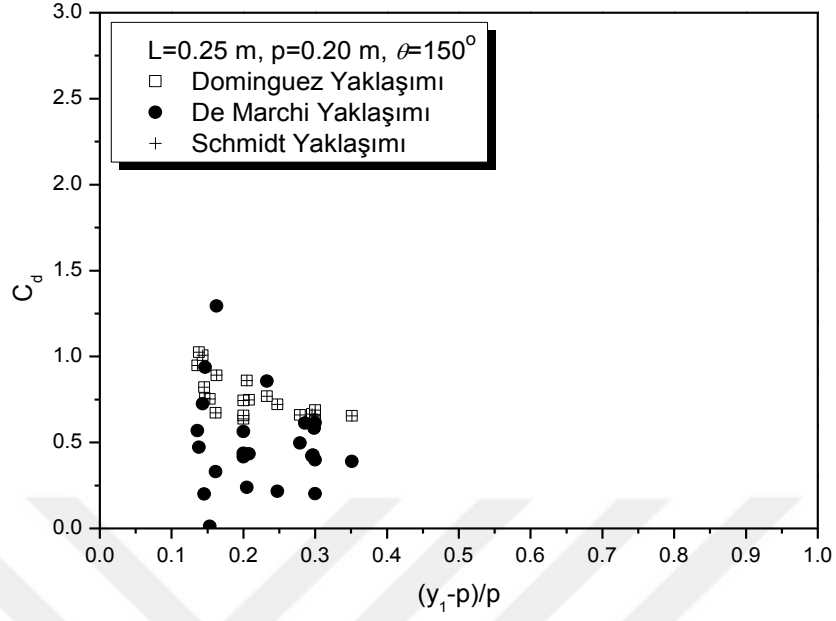
Şekil 4.13’de boyutsuz nap yükü ile debi katsayısının değişimi $L=0.25$ m, $\theta=150^\circ$ için çizilmiştir. Şekil 4.13’de görüldüğü gibi Domínguez metodu ile elde edilen verilen fazla saçılmadığı görülmektedir. Buradan, üçgen labirent yan savaklar için Domínguez metodunun güvenle kullanılabileceği sonucu çıkartılabilir.



(a)

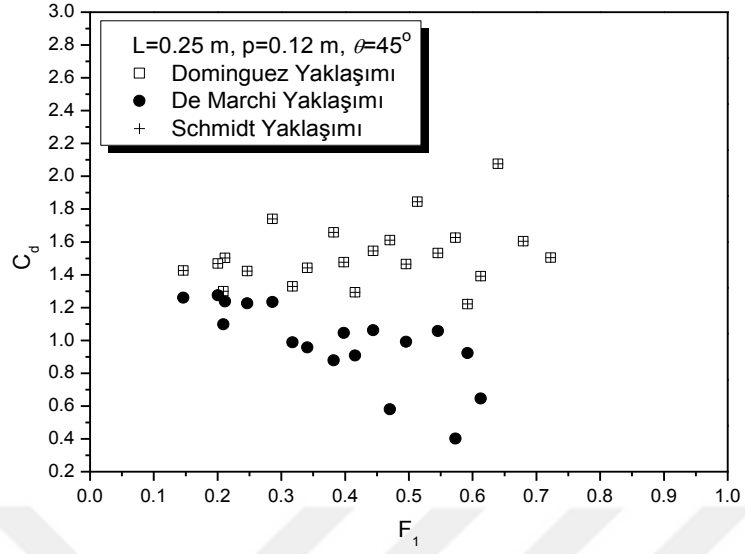


(b)

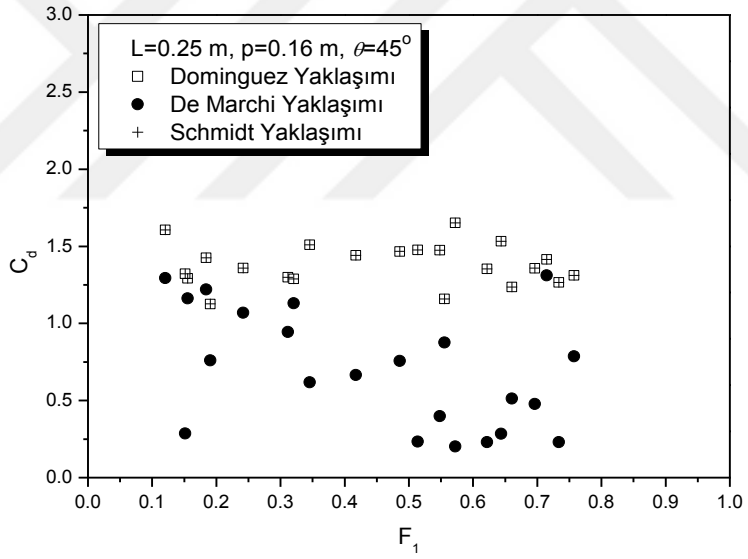


Şekil 4.13. $L=0.25$ m, $\theta=150^\circ$ için $(y_1-p)/p$ ile debi katsayısının değişimi: (a) $p=0.12$ m, (b) $p=0.16$ m, (c) $p=0.20$ m

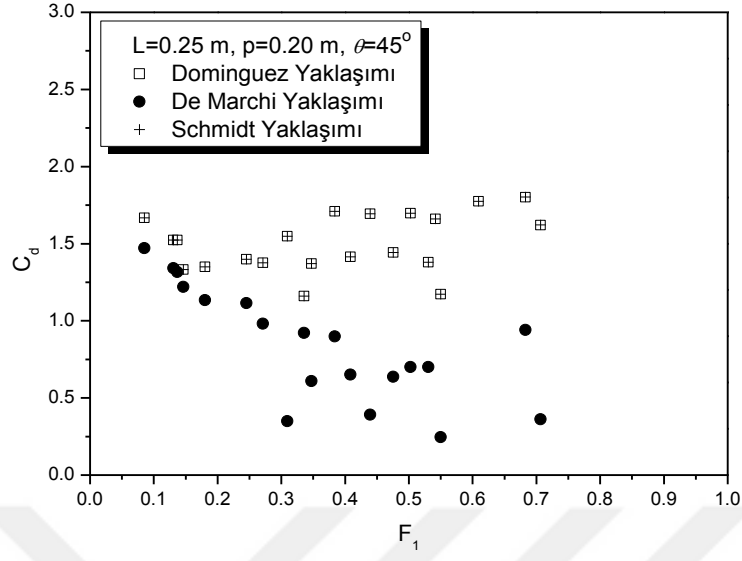
Şekil 4.14’de Froude sayısı ile debi katsayısının değişimi $L=0.25$ m, $\theta=45^\circ$ için çizilmiştir. Dominguez ve Schmidt metotları ile elde edilen bulguların eğilimi De Marchi metodu ile çok uyumlu görünmemektedir. De Marchi metodunda Froude sayısının artması ile azalma eğilimi çok fazladır.



(a)



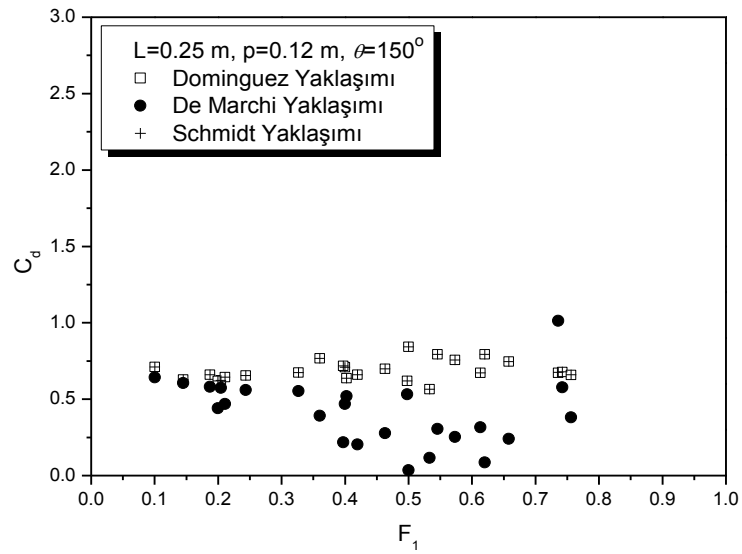
(b)



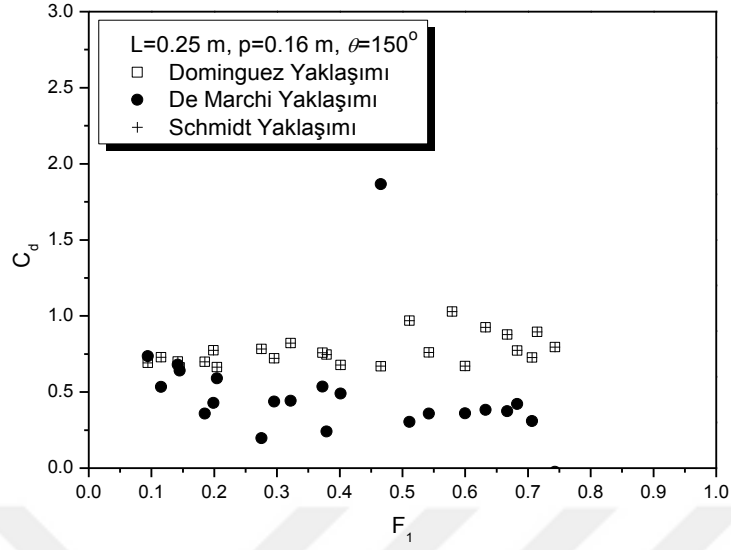
(c)

Şekil 4.14. $L=0.25$ m, $\theta=45^\circ$ için Froude sayısı ile debi katsayısının değişimi: (a) $p=0.12$ m, (b) $p=0.16$ m, (c) $p=0.20$ m

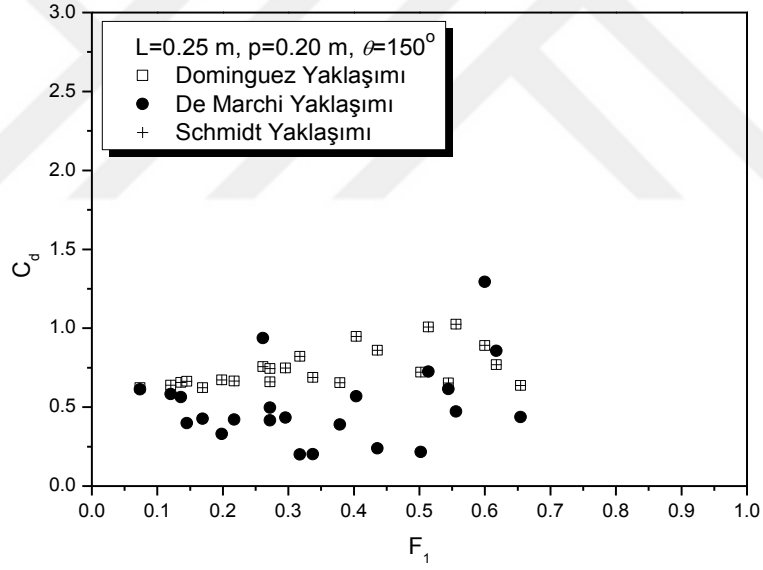
Şekil 4.15'de Froude sayısı ile debi katsayısının değişimi $L=0.25$ m, $\theta=150^\circ$ için çizilmiştir. Labirent yan savak tepe açısının artması ile farklı metotlarla elde edilen değerlerin birbirine yaklaştığı görülmektedir. De Marchi metodu ile elde edilen debi katsayısı değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.15. $L=0.25 \text{ m}$, $\theta=150^\circ$ için Froude sayısı ile debi katsayısının değişimi: (a) $p=0.12 \text{ m}$, (b) $p=0.16 \text{ m}$, (c) $p=0.20 \text{ m}$

5. SONUÇLAR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında üçgen labirent yan savakların deşarj kapasitesi Domínguez metodu kullanılarak incelenmiştir. Deney verileri TÜBİTAK 104M394 nolu projeden alınmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- 1)Üçgen labirent yan savaklar için Domínguez metodu güvenle kullanılabilir. Domínguez metodu, De Marchi metoduna göre daha anlamlı sonuçlar vermektedir.
- 2)Kıvrımlı kanalın ikinci yarısında elde edilen debi katsayısı değerleri genellikle daha yüksek olmaktadır.
- 3)Froude sayısının artması ile debi katsayısı değerleri genellikle azalma eğilimi göstermektedir.
- 4)Boyutsuz nap yükünün artması ile deşarj kapasitesi azalmaktadır. Labirent yan savak tepe açısı küçüldükçe azalma eğilimi çok daha fazla olmaktadır. Hidrolik tasarımcıların 0.2 ile 0.45 arasındaki değerleri dikkate almaları önerilmektedir.
- 5)Labirent yan savak tepe açısının küçülmesi ile debi katsayısı değerleri önemli oranda artmaktadır.
- 5)Domínguez metodu ile Schmidt metodu sonuçları birbirine çok yakın değerler vermiştir.

KAYNAKLAR

- Ağaçcıoğlu H.**, 1995. Yan Savaklardaki Akımın Kıvrımlı Bir Kanal Boyunca İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 165s, İstanbul.
- Ağaçcıoğlu H., Yüksel Y.**, 1998. Side weir flow in curved channels, *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 124(3), May/June 1998, 163-175.
- Bagheri S, Heidarpour M.**, 2013. Characteristics of flow over rectangular sharp- crested side weirs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE* 2012;138(6):541–547.
- Borghei M., Jalili MR., Ghodsian M.**, 1999. Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(10), 1051-1056.
- Choudhary, U. K. and Narasimhan, S.**, 1977. “Flow in 180° Open Channel Rigid Boundary Bends”, *Journal of Hydraulic Division, ASCE, Tec. Notes*, 103(6):651-657.
- Chow, V. T.**, 1959. *Open Channel Hydraulic*, Mc Graw Hill, 16:439-460.
- Coleman, G. S., and Smith, D.**, 1923. “The Discharging Capacity of Side Weirs”, *Selected Engineering Paper 6, Ins. Civ. Eng.*
- Coşar, A., and Ağaçcıoğlu, 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.
- Çeçen, K.**, 1973. “Hidrolik 1 ve 2”, İTÜ, İnşaat Fakültesi.
- De Marchi G.**, 1934. Saggio di teoria de funzionamento delgi starmazzi laterali, *L'Energia Elettrica, Milano*, 11, 849-860.
- De Verient, H. J.**, 1973. Theory of viscos flow in wide curved open channels, *Proceeding of the International Symp. On River Mech., International Association for Hydraulics Research*, Bangkok, Thailand.
- Dominguez FJ.**, 1935. *Hidráulica*. 1st ed., Nascimento editor, Santiago, Chile; Domínguez F. J. 6th ed. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.

- 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.
- Emiroğlu, M. E., Kaya, N., Doğan, Y.,** 2010. Savaklarda kret şeklinin debi katsayısına etkisi, DSİ Teknik Bülteni, 108(Temmuz), 57-70.
- Emiroğlu, M. E., Ağaçcıoğlu, H., Kaya, N.,** 2011. Discharging capacity of rectangular side weir in straight open channels, Flow Measurement and Instrumentation, 22, 319-330.
- Emiroğlu, M. E., Aydın, M. C., and Kaya, N.,** 2014. “Discharge characteristics of a trapezoidal labyrinth side weir with one and two cycles in subcritical flow.” J. Irrig. and Drain. Eng., 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000709, 04014007.
- Fares, Y.R. and Herbertson, J. G.,** 1993. Compertement de I’ ecoulement dans un canal courbe avec un deversior lateral alimentant un canal evacutear de crue, Journal of Hydraulic Research, 31(3), 383-401.
- Ghodsian, M.,** 2003. Supercritical flow over a rectangular side weir. Canadian Journal of Civil Engineering, 30(3), 596-600.
- Kabiri-Samani A, Borghei SM, Esmaili H,** 2011. Hydraulic performance of labyrinth side weirs using vanes or piles. Proc. ICE, Water Manager;164(5), 229–241.
- Khorchani, M., and Blanpain, O.,** 2004. **Free surface measurement of flow over side weirs using the video monitoring concept. Flow Measurement and Instrumentation, 15(2), 111-117.**
- Mizumura, K.,** 2005. Discharge ratio of side outflow to supercritical channel flow. Journal of Hydraulic Engineering, 131(9), 821-824.
- Muslu, Y.,** 2002. Lateral weir flow model using a curve fitting analysis. Journal of Hydraulic Engineering, 128(7), 712-715.
- Ranga Raju KG., Prasad B., Gupta SK.,** 1979. Side weir in rectangular channels, *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, 105(HY5), 547-554.
- Schmidt, M.,** 1954. Zur Frage des Abflusses über Streichwehre. Techuniv Berlin-Charlottenbury, Mitteilung; NY41, 1-68.

- Shukry, A.**, Flow around bends in open flume, *Journal of Hydraulics Eng.*, ASCE, 115, 751-759, (1950).
- Singh R., Manivannan D., Satyanarayana T.**, 1994. Discharge coefficient of rectangular side weirs, *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, ASCE, 120(4), 814-819.
- Stopsack, H.**, 1979. **Experimentelle und theoretische Untersuchung der Strömung am Streichwehr (Doctoral dissertation).**
- Subramanya K., Awasthy SC.**, 1972. Spatially varied flow over side weirs, *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, 98(HY1), 1-10.
- Tullis, J.P., Amanian, N., Waldron, D.**, 1995. Design of labyrinth spillway. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 121, No.3., pp. 247-255.
- Yüksel, Y.** Teori ve Çözümlü Problemler ile Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik, Beta Basım A.Ş., İstanbul, (2008).
- Woodward, S. M. and Posey, C. J.**, 1955. *Hydraulics of steady flow in open channels.*

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	07.06.1991	
Doğum Yeri	Elazığ	
Lise	2006-2009	Hıdır Sever Lisesi
Lisans	2010-2014	Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2015-2017	Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Bilim Dalı

