

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**YANAL AKIMLARDA BİRLEŞİK ÇALIŞAN SAVAK VE KAPAK
AKIMININ DENEYSEL VE NÜMERİK ANALİZİ**

Veysi KARTAL

Doktora Tezi

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Hidrolik Bilim Dalı

ARALIK 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

**YANAL AKIMLARDA BİRLEŞİK ÇALIŞAN SAVAK VE KAPAK
AKIMININ DENEYSEL VE NÜMERİK ANALİZİ**

Tez Yazarı
Veysi KARTAL

Danışman
Prof. Dr. Muhammet Emin EMİROĞLU

ARALIK 2022
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Başlığı:	Yanal Akımlarda Birleşik Çalışan Savak ve Kapak Akımının Deneysel ve Nümerik Analizi
Yazarı:	Veysi KARTAL
İlk Teslim Tarihi:	08.11.2022
Savunma Tarihi:	08.12.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Muhammet Emin EMİROĞLU Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Fevzi ÖNEN Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Prof. Dr. Haydar EREN Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Nihat KAYA Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Ömerul Faruk DURSUN İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Yanal Akımlarda Birleşik Çalışan Savak ve Kapak Akımının Deneysel ve Nümerik Analizi ” Başlıklı Doktora Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

08.12.2022

Veysi KARTAL



ÖNSÖZ

Yanal akımlar, karmaşık yapılarından dolayı çoğunlukla deneysel olarak incelenmektedir. Böyle bir problemin doğrudan nümerik olarak incelenmesi zordur. Ayrıca bu problemin analitik olarak çözümlenmesi de mümkün olmamaktadır. Birleşik çalışan savak ve kapak akımı, karşıdan alışı akımlar ile ilgili literatürde çalışmalar mevcuttur. Birleşik çalışan savak ve kapak akımının hidroluk yapısı, araştırmacıların ilgisini çeken bir konu olmuştur. Fakat bu yapılar bilğimiz dâhilinde yanal akımlarda kullanılmamıştır. Bu çalışma kapsamında bu hidroluk yapının bir yan savak olarak kullanılması planlanmıştır.

Tez çalışmamın tüm aşamalarında emek, fedakârlık, sabır, anlayış ve nezaketi ile desteklerini fazlasıyla gördüğüm her yönüyle örnek bilim insanı ve saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Muhammet Emin EMİROĞLU'na öncelik ve özellikle çok teşekkür ederim.

Kendilerinden ders alarak, bilgilerinden istifade ettiğim bölümümüzün değerli hocalarına, Tez İzleme Komitesi üyeleri, sayın Prof. Dr. Haydar EREN ve Doç. Dr. Nihat KAYA hocalarıma şükran ve hürmetlerimi sunarım.

Çalışmalarında destek ve yardımlarını gördüğüm birimimiz teknisyeni Muhammet KARTAL'a çok teşekkür ederim.

Bu süreçte maddi manevi desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Sebahat KARTAL'a, sabır ve anlayışları için sevgili çocuklarım Ahmet Şahin ve Betül Nisa'ya çok teşekkür ederim.

Veysi KARTAL
ELAZIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLOLAR LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	3
2. SAVAK, KAPAK VE BİRLEŞİK SAVAK-KAPAK YAPILARININ HİDROLİĞİ	4
2.1. Giriş	4
2.2. Yan Savak Akımının Hidroliği	4
2.2.1. Yan Savaklarda Deşarj Kapasitesini Belirlemek İçin Kullanılan Yaklaşımlar	12
2.3. Yan Kapaklar	16
2.3.1. Yan Kapak Akımları için De Marchi Yaklaşımı	16
2.4. Birleşik Yan Savak-Kapak Yapısı ve Deşarj	19
2.4.1. Etki faktörü (IF)	22
3. LİTERATÜR ÖZETİ	24
3.1. Yan savaklar	24
3.2. Yan Kapaklar	40
3.3. Birleşik Savak-Kapak Yapısı	44
4. MATERYAL VE METOT	61
4.1. Deney Kanalı	62
4.1.1. Su Temin Borusu ve Debimetre	63
4.1.2. Deney Kanalını Besleyen Tank ve Dinlendirme Havuzu	64
4.1.3. Yaklaşım Kanalı ve Doğrusal Çıkış Kanalı	65
4.1.4. Yan Ayırma Duvarı	66
4.1.5. Toplama Kanalı	68
4.1.6. Hareketli Seviye Ölçüm Arabası	69
4.2. Ana Kanal Debisinin Ölçülmesi	73
4.3. Yanal Akımı Etkileyen Parametrelerin Belirlenmesi	74
4.3.1. Yan Savaklar	74
4.3.2. Yan Kapaklar	78
4.3.3. Yan Birleşik Savak-Kapak Yapısı	81
4.4. DeneySEL Çalışma	89
5. SAYISAL MODEL	92
5.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)	92
5.1.1. Akışkan Akımının Temel Denklemleri	93
5.1.2. Navier Stokes Denklemleri	93
5.1.3. Türbülans Denklemleri	94
5.1.4. Türbülanslı Akımlarda Kapama Problemi ve Çözüm Yöntemleri	96

5.2. Kullanılan HAD Yazılımı (Flow-3D).....	97
5.3. FAVOR (<i>Fractional area/volume obstacle represantion</i>) ve VOF (<i>Volume of Fluid</i>) Yöntemi....	98
5.4. Türbülans Modelleri	99
5.4.1. Tek Denklemlili (k) Türbülans Enerji Modeli	100
5.4.2. İki Denklemlili k - ϵ Türbülans Modeli.....	102
5.4.3. RNG Türbülans Modeli.....	102
5.4.4. k - ω Türbülans Modeli.....	103
5.4.5. LES Türbülans Modeli	105
5.5. Sayısal Model	106
5.6. Çözüm Ağı	106
5.7. Sınır Şartları.....	110
5.8. Türbülans Modeli	112
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	119
6.1. Yan Kapaklar	119
6.2. Yan Savaklar	126
6.3. Birleşik Çalışan Savak ve Kapak (Birleşik Akım)	140
6.4. Deneyisel ve Sayısal Çalışmadan Elde edilen Sonuçların Karşılaştırılması	167
6.5. Önerilen Denklemlerin Doğrulanması	184
7. SONUÇLAR.....	186
ÖNERİLER	188
KAYNAKLAR.....	189
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yanal Akımlarda Birleşik Çalışan Savak ve Kapak Akımının Deneysel ve Nümerik Analizi

Veysi KARTAL

Doktora Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2022, Sayfa: xv + 193

Açık kanallarda debi ölçümü ve seviye kontrolü, hidrolik yapı sisteminin yönetimini desteklemek için önemlidir. Yan savaklar; bir kanaldan belirli miktarda debinin alınması, su yüksekliğinin düzenlenebilmesi için fazla suyun tahliyesi gibi amaçlar için kullanılan önemli hidrolik yapılardır. Doğrusal kanallarda klasik ve labirent yan savaklar ve kapaklar ile ilgili literatürde birçok çalışma yürütülmüştür. Hem savak hem de kapak yapılarının akım özelliklerinin deneysel olarak araştırılması, birleşik bir yan savak-kapak yapısının akım karakteristiklerinin belirlenmesi önemlidir. Hidrolik yapılarda karşıdan alımlı akımlar için birleşik savak-kapak yapıları yaygın olarak kullanılsa da aynı durum yanal akımlar için geçerli değildir. Bu nedenle mevcut çalışmada birleşik çalışan savak-kapak yapılarının hidrolik karakteristikleri, doğrusal bir kanalda yanal akımlar için deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Ayrıca birleşik yan savak-kapak yapılarını daha iyi analiz edebilmek için aynı geometrilere sahip yan savaklar ve kapaklar için de geniş ve kapsamlı deneyler yapılmıştır. Birleşik yan savak-kapak yapısının sayısal analizi için Flow-3D kullanılmıştır. Türbülans modeli olarak $k-\varepsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır. Farklı akım koşulları, geometri ve tiplere sahip 0.06, 0.09 ve 0.12 m kret yükseklikli yan savak, kapak ve birleşik yan savak-kapak modelleri için nehir rejiminde kapsamlı deneyler yürütülmüştür. Yan savak, kapak ve birleşik yan savak-kapak yapılarının deşarj kapasitesini etkileyen parametreler boyut analizi yapılarak belirlenmiş ve birleşik akımın karakteristikleri elde edilen boyutsuz parametreler dikkate alınarak detaylı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, nehir rejimi için birleşik yan savak ve kapağın akım özelliklerini belirlemek için 770 deney dizisi yürütülmüştür. Etkili boyutsuz parametrelerin birleşik savak-kapak yapısının deşarj kapasitesine etkisini belirlemek için deneysel sonuçlar analiz edilmiştir. Birleşik yan savak yapısının etkileşim faktörü, memba Froude sayısına, kapak açıklığının memba akım derinliğine oranına, kapak üst noktası ile savak kreti arasındaki düşey mesafenin kapak açıklığına olan oranına ve kapak veya savak uzunluğunun memba akım derinliğine ve savak veya kapak uzunluğunun ana kanal genişliğine oranına bağlı olduğu belirlenmiştir. Birleşik yan savak-kapak yapısının, klasik dikdörtgen yan savaklara ve yan kapaklara kıyasla belirgin derecede üstünlüğü ortaya konulmuştur. Birleşik yan savak-kapak yapısının deşarjı için doğrusal olmayan eşitlikler geliştirilmiş, elde edilen eşitliklerin güvenilirlik analizleri yapılmıştır. Sayısal çalışmadan elde edilen verilerle deneysel çalışma verileri arasında çok iyi bir uyum olduğu görülmüştür. Bütün birleşik yan savak-kapak modelleri için ortalama hata oranı değerinin %2 olduğu görülmüş ve sayısal analiz yöntemlerinin birleşik yan savak ve kapak yapısı için uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Açık kanal, Yan savak, Yan kapak, Birleşik yan savak-kapak, Etki faktörü, Flow-3D

ABSTRACT

Experimental and Numerical Analysis of Combined Weir-Gate Flow in Lateral Flows

Veysi KARTAL

Ph.D. Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

December 2022, Pages: xv + 193

Flow measurement and level control in open channels are important to support the management of the hydraulic structure system. Side weirs are an important hydraulic structure used for purposes such as taking a certain amount of flow from a channel, evacuating excess water to regulate the water height. Many studies have been carried out in the literature on classical and labyrinth side weirs and gates in straight channels. It is important to experimentally investigate the flow characteristics of both weir and gate structures and to determine the flow characteristics of a combined side weir-gate structure. Although combined weir-gate structures are commonly used for frontal flows in hydraulic structures, the same is not true for lateral flows. Therefore, in the present study, the hydraulic characteristics of combined weir-gate structures were investigated experimentally and numerically for lateral flows in a straight channel. Several experiments were conducted for side weirs and gates with the same geometries to better analyze the combined side weir-gate structures. Flow-3D was used. The $k-\varepsilon$ turbulence model was used as the turbulence model. Extensive experiments were carried out in the subcritical flow conditions with 0.06, 0.09 and 0.12 m crest height side weir, gates and combined side weir-gate models with different flow conditions, geometries, and types. The parameters affecting the discharge capacity of the side weir, gate and combined side weir-gate structures were determined by dimensional analysis. The characteristics of the combined flow were examined in detail based on the obtained dimensionless parameters. In this study, 770 experiments were conducted to determine the flow characteristics of the combined side weir-gate for subcritical regime. Experimental results were analyzed to determine the effect of effective dimensionless parameters on the discharge capacity of the combined weir-gate structure. The interaction factor of the combined side weir structure is determined that it depends on the upstream Froude number, the ratio of the gate opening to the upstream flow depth, the ratio of the vertical distance between the top of the gate and the weir crest to the gate opening, and the ratio of the gate or weir length to the upstream flow depth and the ratio of the weir or gate length to the main channel width. Discharge capacity of combined side weir-gate is higher than classical rectangular side weirs and side gates. Nonlinear equations were developed for the discharge of the combined side weir-gate structure, and the reliability analyzes of the obtained equations were made. It has been observed that there is a very good agreement between the data obtained from the numerical study and the experimental study data. It has been seen that the mean error rate value for all combined side weir-gate models is 2% and it is concluded that numerical analysis methods are applicable for combined side weir and valve structure.

Keywords: Open channel, side weir, side gate, combined side weir-gate, interaction factor, Flow-3D

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Yan savağın planda gösterimi	5
Şekil 2.2. Planda açılı olarak yerleştirilen yan savaklar	6
Şekil 2.3. Nehir rejiminde su yüzü profili	6
Şekil 2.4. Sel rejiminde su yüzü profili	7
Şekil 2.5. Yanal akım durumunda Koch parabolü.....	7
Şekil 2.6. Özgül enerji-derinlik grafiğinde giren ve çıkan birim debinin gösterimi	8
Şekil 2.7 (a-e). Yan savak akımında fark su yüzü profilleri	9
Şekil 2.8. Yan savak akımında akım karakteristiklerinin gösterimi	9
Şekil 2.9. (a-b) Dikdörtgen yan savaklarda akımın şematik olarak gösterilmesi: (a) plan, (b) yan görünüş 15	
Şekil 2.10. (a-b) Yanal akımlarda kapak altından geçen akım: (a) plan, (b) yan görünüş	19
Şekil 2.11(a, c). Birleşik savak ve kapak akımının akım karakteristikleri (a) plan (b) kesit görünümü, (c) yan görünüş.....	20
Şekil 3.1. Yan savak üzerinden savaklanan akımın sapma açısı	27
Şekil 3.2. Yan ve karşıdan alıslı savakların debi katsayısının karşılaştırılması.....	28
Şekil 3.3. Membra ve mansap özgül enerji değişimin karşılaştırılması.....	29
Şekil 3.4. Verev yan savağın şematik görünümü	32
Şekil 3.5. Üçgen labirent yan savakların akım karakteristikleri	34
Şekil 3.6. İki gözlü trapez labirent yan savak.....	37
Şekil 3.7. Labirent yan savaklarda anti-vorteks tipi	38
Şekil 3.8. $p = 0.12$ m için PKSW'nin verimi.....	39
Şekil 3.9. Yanal akımda kapak altı akımının görünümü.....	43
Şekil 4.1. Bu çalışma kapsamında test edilen birleşik savak ve kapak, yan savak ve kapak modelleri: (a) birleşik dikdörtgen savak ve kapak, (b) birleşik dikdörtgen savak ve üçgen kapak, (c) birleşik dikdörtgen savak ve yarım dairesel kapak, (d) yarım dairesel kapak, (e) üçgen kapak, (f) dikdörtgen kapak, (g) dikdörtgen savak.....	62
Şekil 4.2. Deneysel çalışmada kullanılan deney düzeneği	63
Şekil 4.3. Deneysel çalışmada kullanılan besleme hattı ve pompa.....	64
Şekil 4.4. (a-b) Deneysel çalışmada kullanılan tank ve dinlendirme havuzu.....	65
Şekil 4.5. Deneysel çalışmada kullanılan yaklaşım kanalı ve doğrusal çıkış kanalı.....	66
Şekil 4.6. Yan ayırma duvarı.....	66
Şekil 4.7. (a-d) Deneysel çalışmada kullanılan akım tipleri (a) savak üstü akım, (b) kapak altı akımı (c, d) birleşik akım	68
Şekil 4.8. Deneysel çalışmada kullanılan toplama kanalı.....	69

Şekil 4.9. Hareketli seviye ölçüm arabası.....	69
Şekil 4.10. (a-g) Deneyler sırasında alınan görüntüler.....	72
Şekil 4.11. (a-c) Deneysel çalışmada kullanılan deney düzeneği: (a) plan, (b) A-A kesiti, (c) B-B kesiti...	73
Şekil 4.12. Ana kanal debisini ölçen elektromanyetik debimetre.....	74
Şekil 4.13. Ana kanal debisinin ayarlandığı debimetrenin ön kısmındaki vana.....	74
Şekil 4.14. Deney sistemi uygulama düzeneği.....	89
Şekil 4.15. Ölçüm noktalarının planda gösterimi.....	91
Şekil 5.1. Bir çözüm hücresine etkileyen değişkenler.....	98
Şekil 5.2. (a-d) Birleşik yan savak ve kapak yapısı çözüm ağı.....	108
Şekil 5.3. (a-b) Birleşik yan savak ve kapak yapısının görünümü.....	109
Şekil 5.4. Savaklanan debi miktarının farklı mesh boyutları için zamana bağlı değişimi.....	110
Şekil 5.5. Savaklanan debi miktarının hücre sayısına bağlı değişimi.....	110
Şekil 5.6. Birleşik yan savak ve kapak yapısını için yapılan analizlere ait sınır koşulları.....	111
Şekil 5.7. (a-c) Farklı birleşik yan savak ve kapak modelleri için RNG, $k-\varepsilon$, LES ve $k-\omega$ türbülans modelleri ile elde edilen sonuçlar.....	114
Şekil 5.8. (a-e) Farklı birleşik yan savak ve kapak modelleri için RNG ve $k-\varepsilon$ türbülans modelleri ile elde edilmiş debisinin zamana bağlı değişimi.....	117
Şekil 6.1. Yanal kapaklar için memba ve mansaptaki özgül enerji değişimleri.....	120
Şekil 6.2. Yanal kapak debi katsayısının memba Froude sayısı ile değişimi.....	121
Şekil 6.3. Yanal kapak debi katsayısının y_1/a ile değişimi.....	122
Şekil 6.4. Mevcut çalışmada elde edilen yanal kapak debi katsayısının literatür ile karşılaştırılması.....	123
Şekil 6.5. Ölçülen ve tahmin edilen C_{dg} değerlerinin karşılaştırılması.....	124
Şekil 6.6. Verimlilik ile mansap Froude sayısının değişimi.....	125
Şekil 6.7. Debi katsayısının verimlilik ile değişimi.....	126
Şekil 6.8. Yan savaklar için memba ve mansaptaki özgül enerji değişimleri.....	127
Şekil 6.9. Yan savak debi katsayısının farklı yaklaşımlara göre memba Froude sayısı ile değişimi.....	128
Şekil 6.10. Yan savak debi katsayısının (C_{dw}) ile memba Froude sayısı (F_1) ile değişimi.....	130
Şekil 6.11. Yan savak debi katsayısının (C_{dw}) farklı b_w/B oranları için ile b_w/y_1 ile değişimi.....	131
Şekil 6.12. Yan savak debi katsayısının p/y_1 ile değişimi.....	132
Şekil 6.13. Yan savak debi katsayısının $(y_1-p)/y_1$ ile değişimi.....	133
Şekil 6.14. Memba ve mansap nap kalınlığı farkının (Δh) memba Froude sayısı (F_1) ile değişimi.....	134
Şekil 6.15. Yan savak debi katsayısının (C_{dw}) memba Froude sayısı (F_1) ile değişiminin literatürle karşılaştırılması.....	135
Şekil 6.16. Ölçülen ve tahmin edilen yan savak debi katsayısı (C_{dw}) değerlerinin karşılaştırılması.....	136

Şekil 6.17. Ölçülen ve tahmin edilen yan savak debi (Q_w) değerlerinin karşılaştırılması	137
Şekil 6.18. Yan savak deşarj verimi (η) ile mansap Froude sayısının (F_2) değişimi	138
Şekil 6.19. Yan savak deşarj verimi (η) ile debi katsayısının (C_{dw}) değişimi	139
Şekil 6.20. $p=0.12$ m için χ değerine bağlı olarak yan savak debisinin veriminin değişimi	140
Şekil 6.21. Birleşik yan savak ve kapak yapısının memba ve mansap özgül enerji değişimi.....	141
Şekil 6.22. Birleşik yan savak ve kapak debisinin $(y_1-d)/y_1$ ile değişimi.....	142
Şekil 6.23. Birleşik yan savak ve kapak yapısının deşarj verimi ile mansap Froude sayısının değişimi....	143
Şekil 6.24. Birleşik yan savak ve kapak deşarjının a/y_1 ile değişimi.....	144
Şekil 6.25. Etkileşim faktörü (IF) ile memba Froude sayısının (F_1) değişimi	145
Şekil 6.26. Etkileşim faktörü (IF) ile a/y_1 'in değişimi.....	146
Şekil 6.27. Etkileşim faktörü (IF) ile b/y_1 'in değişimi.....	147
Şekil 6.28. Ölçülen ve tahmin edilen (Eşitlik 6.4) birleşik yan savak ve kapak debilerinin karşılaştırılması	148
Şekil 6.29. Ölçülen ve tahmin edilen (Eşitlik 6.5) birleşik yan savak ve kapak debilerinin karşılaştırılması	149
Şekil 6.30. Birleşik yan savak ve kapak debisi için önerilen eşitliklerden elde edilen verilerin karşılaştırılması	150
Şekil 6.31. Birleşik savak ve kapak yapısında yapılardan geçen deşarj oranları	151
Şekil 6.32. Etkileşim faktörü (IF) ile d/a 'nın değişimi.....	152
Şekil 6.33. Farklı kombinasyonlardan oluşan birleşik akımın etkileşim faktörü (IF) ile memba Froude sayısı (F_1) değişimi	153
Şekil 6.34. Farklı kombinasyonlardan oluşan birleşik akımın debisi ile a/y_1 'in değişimi	154
Şekil 6.35. Farklı kombinasyonlardan oluşan birleşik akımın deşarj verimi ile mansap Froude sayısı (F_2) değişimi	155
Şekil 6.36. q_t parametresi ile d/y_1 'nin değişimi	156
Şekil 6.37. Farklı kombinasyonlar oluşan birleşik akımın q_t parametresi ile a/y_1 'nin değişimi	157
Şekil 6.38. Farklı kombinasyonlarda oluşan birleşik akımın q_t parametresi ile b/y_1 'nin değişimi	158
Şekil 6.39. Memba ve mansap nap yükleri arasındaki farkın memba Froude sayısı ile değişimi	159
Şekil 6.40. Birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) q_t parametresi ile a/y_1 'nin değişimi	160
Şekil 6.41. Farklı b/B ve d/a oranları için birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) q_t parametresi ile a/y_1 'nin değişimi.....	161
Şekil 6.42. Farklı b/a oranları için birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) q_t parametresi ile b/y_1 'nin değişimi.....	162
Şekil 6.43 Birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) q_t parametresi ölçülen ve tahmin edilen değerlerinin karşılaştırması. 163	

Şekil 6.44. Birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) ölçülen q_t paramatresinin değerleri ile artık değerlerinin değişimi	164
Şekil 6.45. Birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) q_t paramatresi ile F_1 'nin değişimi.....	165
Şekil 6.46. Birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) q_t paramatresi ile b/B 'nin değişimi.....	166
Şekil 6.47. Birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) etkileşim faktörü ile q_t paramatresinin değişimi.....	167
Şekil 6.48. (a-b) Deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen etkileşim faktörünün karşılaştırılması: (a) Domínguez yaklaşımı, (b) De Marchi yaklaşımı	168
Şekil 6.49. Deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen memba Froude sayılarının karşılaştırılması	169
Şekil 6.50. Deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen mansap debilerinin karşılaştırılması.....	170
Şekil 6.51. Deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen deşarj verimlerinin karşılaştırılması.....	171
Şekil 6.52. Deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen deşarj kapasitelerinin karşılaştırılması	172
Şekil 6.53. Deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen memba akım derinliklerinin karşılaştırılması.....	173
Şekil 6.54. Deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen mansap akım derinliklerinin karşılaştırılması	174
Şekil 6.55 (a-b) Sayısal çalışmada farklı türbülans yöntemleri için hız dağılımı.....	175
Şekil 6.56 (a-b) Sayısal çalışmada farklı birleşik savak-kapak modelleri için Froude sayısının değişimi.	176
Şekil 6.57 (a-c) Sayısal çalışmada farklı birleşik savak-kapak model geometrileri için basınç dağılımı...	178
Şekil 6.58 (a-d) Deneysel çalışmada farklı birleşik savak-kapak modelleri için jet yörüngelerinin değişimi	180
Şekil 6.59 (a-c) Sayısal çalışmada farklı birleşik savak-kapak modelleri için basınç dağılımı	181

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Yanal akımlarda birleşik savak ve kapak akımını etkileyen parametreler	22
Tablo 3.1. Literatürde bulunan klasik dikdörtgen yan savak için debi katsayısı eşitlikleri	31
Tablo 3.2. Araştırmada elde edilen bulgular	39
Tablo 3.3. Araştırmacının deney koşulları ve sonuçları	53
Tablo 3.4. Araştırmacıların önerdiği eşitlikte kullanılan ampirik katsayılar	60
Tablo 3.5. Araştırmacıların çalıştığı deney koşullar	60
Tablo 4.1. Yanal akımlarda yan savak akımını etkileyen parametreler	74
Tablo 4.2. Yanal akımlarda kapak altı akımını etkileyen parametreler	78
Tablo 4.3. Yanal akımlarda birleşik savak ve kapak akımını etkileyen parametreler	82
Tablo 4.4. Deneylerin gerçekleştirildiği fiziksel ve hidrolik koşulların değerleri ve değişim aralıkları	90
Tablo 5.1. Çözüm ağlarına ait hücre sayıları ve boyutları	109
Tablo 5.2. Farklı birleşik yan savak ve kapak modelleri için deneysel ve sayısal analiz sonuçları	112
Tablo 5.3. Mevcut çalışmada deneysel ve sayısal analiz sonuçlar	118
Tablo 6.1. Literatürde yan kapaklarla ilgili çalışmalarda çalışılan deney şartları	124
Tablo 6.2. Literatürde dikdörtgen yan savak çalışmalarında test edilen deney şartları	140
Tablo 6.3. Mevcut çalışmada deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar	182
Tablo 6.4. Önerilen eşitliklerin istatistik değerleri	185
Tablo 6.5. Deneysel ve sayısal model arasındaki istatistiksel değerler	185

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	: Kapak yüksekliği (L)
a_0, a_1, a_2, a_3, a_4	: Amprik katsayılar ($M^0L^0T^0$)
α	: Trapez labirent ve trapez PKW yan duvar açısı ($^\circ$)
α_1, α_2	: Enerji düzeltme katsayıları ($M^0L^0T^0$)
β	: Kanal kıvrım açısı ($^\circ$)
θ	: Verev savak açısı ($^\circ$)
A_j	: j doğrultusundaki hücrelerdeki akışkan alanı (L^2)
b_g	: Kapak açıklığı, kapak genişliği (L)
b_w	: Savak açıklığı, savak genişliği (L)
B	: Ana kanal genişliği (L)
C_d	: Debi katsayısı ($M^0L^0T^0$)
C_{dg}	: Yan kapak debi katsayısı ($M^0L^0T^0$)
C_{dw}	: Yan savak debi katsayısı ($M^0L^0T^0$)
d	: Savak kreti ile kapak üst noktası arasındaki düşey mesafe (L)
χ	: Yan savak mansap hidrolik koşullarına bağımlı değişken ($M^0L^0T^0$)
Δh_s	: Sürtünme kayıpları (L)
E_1	: Yanal akımda membada enerji yüksekliği (L)
E_2	: Yanal akımda mansapta enerji yüksekliği (L)
ϕ	: Üçgen labirent savak tepe açısı ($^\circ$)
φ	: Akım çizgileri sapma açısı ($^\circ$)
f_i	: Reynolds gerilmeleri ($M^1L^{-1}T^{-2}$)
F_1	: Membada kanal ekseninde Froude sayısı ($M^0L^0T^0$)
F_2	: Mansapta kanal ekseninde Froude sayısı ($M^0L^0T^0$)
ε	: Sönümlenme oranı ($M^0L^0T^0$)
g	: Yerçekimi ivmesi ($L T^{-2}$)
H	: Karşıdan alışı savak kreti üzerinde memba enerji yüksekliği (L)
y_0	: Memba kanalındaki üniform derinlik (L)
h_{ort}	: Memba ve mansap nap yükleri ortalaması (L)
h_2	: Savak sonunda kret üzerindeki kabarma yüksekliği (L)
y_u	: Mansap kanalındaki üniform derinlik (L)
h_1	: Yan savak membasında ana kanal eksenindeki nap yükü (L)
H_1	: Yan savak mansabında kret üzerindeki toplam yük (L)
h_2	: Yan savak mansabında ana kanal eksenindeki nap yükü (L)
h_3	: Yan savak ortasında ana kanal eksenindeki nap yükü (L)
h_d	: Karşıdan alışı savak mansap nap yükü (L)
H_d	: Karşıdan alışı savak kretinden mansap toplam yükü (L)
IF	: Birleşik yan savak ve kapak yapısının etki faktörü ($M^0L^0T^0$)
η	: Yan savaktan savaklanan debinin ana kanal debisine oranı ($M^0L^0T^0$)
S_0	: Kanal taban eğimi ($M^0L^0T^0$)
S_f	: Enerji çizgisinin eğimi ($M^0L^0T^0$)
k	: Türbülanslı kinetik enerji ($M^1L^2T^{-2}$)
l	: Efektif savak boyu (L)
μ	: Akışkanın dinamik viskozitesi ($M^1L^{-1}T^{-1}$)
μ_T	: Türbülans viskozitesi ($M^1L^{-1}T^{-1}$)

ω	: Sönümlleme oranının kinetik enerjiye oranı ($M^0L^0T^0$)
p	: Savak kret yüksekliği (L)
r	: Kıvrımlı kanalın eğrilik yarıçapı (L)
R	: Kret eğrilik yarıçapı (L)
ρ	: Özgül kütle ($M L^{-3}$)
Q	: Debi (L^3/T^{-1})
q	: Birim debi (L^2T^{-1})
Q_1	: Yan savak akımında ana kanalın debisi (L^3T^{-1})
Q_2	: Yan savağın mansap ucundaki ana kanal debisi ($L^3 T^{-1}$)
Q_c	: Birleşik yan savak ve kapak debisi, birleşik debi ($L^3 T^{-1}$)
Q_e	: Tahmin edilen debi ($L^3 T^{-1}$)
Q_g	: Yan kapak debisi ($L^3 T^{-1}$)
Q_m	: Ölçülen debi ($L^3 T^{-1}$)
Q_w	: Yan savak debisi ($L^3 T^{-1}$)
Re	: Reynolds sayısı ($M^0L^0T^0$)
σ	: Suyun yüzey gerilimi (M^1T^{-2})
θ	: Üçgen savak taban açısı ($^\circ$)
τ_{ij}	: Gerilme hızı tensörü ($M^1L^{-1}T^{-2}$)
u^i, v^j, w^k	: Türbülans çalkantı hızları (LT^{-1})
$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$	: Zamansal ortalama hız (LT^{-1})
u^*	: Kayma hızı (LT^{-1})
V_F	: Her bir hücrede akışkanın sahip olduğu hacim (L^3)
V_1	: Ana kanal eksenindeki ortalama akım hızı ($L T^{-1}$)
We	: Weber sayısı ($M^0L^0T^0$)
y	: Kanal tabanından itibaren akım derinliği (L)
y_1	: Nehir rejiminde yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği (L)
y_1'	: Sel rejiminde yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği (L)
y_2	: Nehir rejiminde yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliği (L)
y_2'	: Sel rejiminde yan savak mansabında ana kanal eksenindeki su derinliği (L)
y_{kr}	: Kritik akım halinde su derinliği (L)
z	: Kanal tabanının kıyas düzlemine mesafesi (L)

Kısaltmalar

DNS	: Doğrudan Sayısal Çözüm (<i>Direct Numerical Simulation</i>)
E.Ç.	: Enerji Çizgisi (<i>Energy Grade Line - EGL</i>)
FAVOR	: Hacim Oranları Yöntemi (<i>Fractional Area/Volume Obstacle Represantion</i>)
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (<i>Computational Fluid Dynamics-CFD</i>)
LES	: Büyük Eddy Simulasyonu (<i>Large Eddy Simulation</i>)
LT	: Türbülanslı karıştırma uzunluğunu (<i>Turbulence Mixing Length</i>)
RANS	: Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (<i>Reynolds Averaged Navier - Stokes</i>)
PKSW	: Piyano Tuşu Yan Savak (<i>Piano Key Side Weir</i>)
PKW	: Piyano Tuşu Savak (<i>Piano Key Weir</i>)
RNG	: Yeniden Normalleştirilmiş Grup Teorisi (<i>Renormalized Group</i>)
USBR	: Amerika Birleşik Devletleri Sular İdaresi (<i>United States Bureau of Reclamation</i>)
VOF	: Sonlu Hacimler Yöntemi (<i>Volume of Fluid</i>)

1. GİRİŞ

Suyu kontrol altına alarak çeşitli amaçlar için kullanılmasını sağlayan yapılara su yapıları denir. Hidroelektrik ve dalga enerjisi üretimi, çevresel düzenleme ve rekreasyon alanları oluşturma, sulama suyu temini, içme ve kullanma suyu temini, kıyı ve liman yapıları oluşturma, meskûn bölge drenajı, atık suların uzaklaştırılması, taşkın kontrolü gibi mühendislik hizmetleri su yapılarının başlıca kullanım alanlarındandır [1]. Suyu kontrol altında tutma ve düzenleme olayı insanlık tarihi ile başlamış ve suyu kontrol etme çalışmaları tarihte büyük medeniyetlerin gelişmesinde etkili olmuştur. Su kaynaklarını verimli bir şekilde kullanmak, değerlendirmek, işletebilmek ve aynı zamanda mevcut tesislerden dolayı oluşabilecek riskleri minimize etmek; canlı ve özellikle de insan hayatı için hayati derecede önem taşımaktadır.

Yirminci yüzyılın başlarında su ve su yapıları ile ilgili kaynakların geliştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda artış yaşanmış olup; barajlar, bağlamalar, akarsu düzenleme yapıları, açık kanallar gibi birçok hidrolik yapı toplumların gelişimine önemli katkı sağlamıştır. Bununla birlikte su yapılarının uygun yöntemlerle kontrol altına alınması ve hidrolik yapıların emniyetinin temin edilmesi de gerekmektedir. Güvenilir yapılar inşa etmek için güvenilir deneysel verilere dayanarak tasarımlar yapmak önem taşımaktadır.

Yan savaklar, özellikle akımın debisini ya da su seviyesini düzenlemek için tasarlanmış önemli hidrolik yapılardandır. Herhangi bir kanaldan fazla suyun uzaklaştırılması veya gerekli olan debinin temini amacıyla yan savaklar sık kullanılmaktadır. Yan savaklar sulama sistemlerinde, arazi drenajında, yüzeysel suların uzaklaştırılmasında, kentsel birleşik sistem kanalizasyon sistemlerinde belirli bir derinliğin üzerindeki temiz kabul edilen suların uzaklaştırılmasında, taşkın koruma yapılarında, hidroelektrik sistemlerin yükleme havuzlarında ve barajlarda yanal alıslı dolusavak olarak kullanılmaktadırlar. Dar vadilerde inşa edilen barajlarda dolusavağın baraj gövdesi üzerine yerleştirilmesi mümkün olmamakta ve bu problemin çözülebilmesi için normal su kotunda olan dolusavak kreti baraj rezervuarına paralel olacak şekilde, yandan alıslı dolusavak olarak tasarlanabilmektedir.

Birleşik savak-kapak yapıları, akarsularda ve açık kanallarda su seviyesini düzenlemek, akımı kontrol etmek, su almak ve debi ölçmek için yapılan hidrolik yapılardandır. Birleşik savak-kapak yapıları farklı geometrik şekillerde inşa edilebilmektedir. Birleşik savak-kapak yapıları açık kanallarda birbirlerinden bağımsız bir şekilde çok uzun zamandan beri hem kontrol yapıları hem de ölçüm yapısı olarak kullanılmaktadır. Birleşik savak-kapak yapıları hidrolojik verilerin elde edilmesinde, su iletim kanallarının kontrol kesitinde ve çevirme yapılarında da kullanılmaktadır. Birbirinden ayrı olarak çalışan savak ve kapaklarla ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Açık kanal akımlarında, özellikle karşıdan alıslı akımlar için, savak ve kapakların ayrı kullanımının avantajları yanında dezavantajlar da vardır. Şöyle ki savak akımlarında zamanla suyun alındığı

kaynaktan gelen sedimentin birikmesi ve kapaklarda da yüzen cisimlerin birikmesi bu yapılarda ölçüm hatalarına, işletme ve bakım zorluklarına ve ayrıca işletme ömürlerinin az olmasına sebep olmaktadır. Hidrolik mühendisliğinde bu tür problemlerin üstesinden gelmek için savakların üstünden ve kapakların altından akış olan birleşik akımlar düşünülerek savak ve kapakta birikecek malzemenin mansaba geçişi sağlanarak oluşan veya oluşacak problemlerin de azaltılması amaçlanmıştır. Bu şekilde hem yapının emniyeti ve ömrü artacak ve aynı zamanda birikmelerin neden olduğu problemlerin giderilmesi bu yapıların tercih edilebilirliğini arttıracaktır. Bu amaçla, farklı geometrilerde birçok savak-kapak yapısı literatürde yer almıştır. Ancak, pratikte dikdörtgen kesitli savak-kapak yapısı daha çok yer almıştır. Literatürde birleşik savak-kapaklarla ilgili çok sayıda çalışmalar mevcuttur. Ancak yapılan çalışmalar karşıdan alıslı yapılarla ilgilidir. Açıkça ifade etmek gerekir ki; yanal akımlarda kapak kısmından sedimentin geçişinin temini ve savak kısmından da yüzen cisimlerin geçişinin performansı hakkında kesin ifadeler söylemek zordur. Araştırmacılar birleşik savak-kapak yapıları hakkında bu avantajları karşıdan alıslı akımlar için sarf etmişlerdir. Yanal akımlarda sediment geçişi için detaylı deneysel çalışmalar yürütülmesine ihtiyaç vardır. Yanal akımlarda birleşik savak-kapak yapısı civarında Froude sayısı 1'den küçük de olsa belirli bir değeri vardır. Bu nedenle sediment geçişi konusunda karşıdan alıslı akımlar farklılıklar göstereceği de açıktır. Birleşik savak-kapak yapıları deşarj kapasitesini arttıran önemli bir hidrolik yapıdır. Bu tür yapıların yanal akımlarda kullanılması ile deşarj kapasitesinin artırılması amaçlanmaktadır. Doğrusal kanallarda, birleşik savak-kapak yapılarının yanal akımlarda kullanımı ile ilgili bilginiz dâhilinde yapılan herhangi bir çalışma mevcut değildir. Bu çalışma kapsamında; bu yapılarda akım karakteristiklerinin belirlenmesi, klasik yan savak ve kapak yapılarına olan üstünlüklerinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, mevcut çalışmada yanal akımlarda farklı geometrilere sahip birleşik savak-kapak yapıları deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Yanal akım ile ilgili çalışmaların çoğunluğunu deneysel çalışmalar oluşturmaktadır. Son on yılda birçok bilim alanında sayısal yazılımlar kullanılarak yapılan sayısal çözümlemelerin sayısı gittikçe artmaktadır. Gelişen bilgisayar teknolojisi ve sayısal hesaplama tekniklerinin birlikte kullanıldığı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yaklaşımı su yapıları mühendisliği alanında da etkin şekilde kullanılmaktadır. Zaman ve ekonomi yönünden önemli oranda tasarruf sağlayan HAD analizleri, geliştirilen yazılım programları ile gerçekleştirilmektedir.

Sayısal model analizleri, diferansiyel formdaki denklemleri (Navier-Stokes denklemleri) matematiksel forma indirgenmesiyle birlikte modelin başlangıç ve sınır koşulları belirlenerek bilgisayar yardımı ile çözülür. Diğer taraftan, serbest yüzeyli akımların modellenmesinde sıvı-hava arakesitinin belirlenebilmesi için çeşitli yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Bunların en bilineni ve yaygın olanı Akışkan Hacmi (*Volume of Fluid, VOF*) yaklaşımıdır. Deneysel ve sayısal olarak birçok birleşik modelden geçen akımın özellikleri incelenmiş ve bunların deşarj kapasitesi üzerinde etkisi incelenmiştir. Yanal akımlarda birleştirilmiş savak ve kapak akımının sayısal modellemesinde

özellikle açık kanal akımı problemlerinin çözümünde başarılı bir yazılım olan Flow-3D kullanılmıştır. Sayısal model olarak literatürde yaygın bir şekilde kullanılan $k-\varepsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır. Sayısal çalışmada, Flow-3D programı kullanılarak, akımın üç boyutlu sayısal modeli oluşturulmuştur. Daha sonra, mevcut çalışmada deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Literatürde yanal akımlar için kullanılan birleşik savak-kapak kullanımı oldukça sınırlıdır. Mevcut çalışmada, dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda, serbest akış koşulları ve nehir akım rejiminde yanal akımlarda farklı Froude sayıları, farklı akım derinlikleri için savak, kapak ve birleşik savak-kapak akımı ayrı ayrı deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada; yanal akımlarda birleşik savak-kapak kullanımı hem deneysel hem de nümerik olarak araştırılmıştır. Bu çalışma ile literatüre yanal akımlarda klasik savak ve kapakların yanında yeni bir hidrolik yapının kullanımının önünü açarak, hidrolik mühendisliğine katkı sunulması amaçlanmıştır. Bu çalışmada; birleşik savak-kapak yapılarının hidrolik performanslarını incelemek amacı ile dikdörtgen savak ve dikdörtgen kapak (H- savak), dikdörtgen savak ve üçgen kapak, dikdörtgen savak ve yarım dairesel kapak birleşik modelleri üzerinde geniş bir deney dizisi ve nümerik analizler ile akım ve geometrik özelliklerin deşarj kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yanal akımlarda birleştirilmiş savak-kapak akımının sayısal modellemesinde özellikle açık kanal akımı problemlerinin çözümünde başarılı bir yazılım olan Flow-3D kullanılmıştır. Sayısal çalışmadan türbülans modeli olarak literatürde sıkça kullanılan $k-\varepsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların konuyla ilgili sınırlı sayıda olan literatüre katkı sağlaması, konuyla ilgili ilerideki çalışmalara öncülük edip ilgili alandaki eksikliklerin giderilmesi hedeflenmektedir.

2. SAVAK, KAPAK VE BİRLEŞİK SAVAK-KAPAK YAPILARININ HİDROLİĞİ

2.1. Giriş

Yanal akım, bir kanaldan debi almak amacıyla kullanılan kanal eksenine paralel ya da kanal eksenine belirli bir açı yapacak şekilde düzenlenmiş akımdır. Yanal akımlarda farklı hidrolik yapı türleri ve şekilleri mevcuttur. Örnek olarak; ince kenarlı yan savaklar, kalın kenarlı yan savaklar, labirent yan savaklar, piyano tuşu yan savaklar, yanal akımlar için kullanılan kapaklar, eğimli kapaklar ve eğimli savakları vermek mümkündür. Bu çalışma kapsamında ince kenarlı dikdörtgen yan savaklar, dikdörtgen, üçgen ve yarım dairesel yan kapaklar ve özellikle birleşik yan savak ve kapaklar üzerinde durulmuştur. Geçmişten günümüze yan savakların deşarj kapasitesinin belirlenmesinde farklı hesaplama metotları geliştirilmiştir. Bugüne kadar yan savakların analizinde De Marchi [2], Domínguez [3] ve Schmidt [4] yaklaşımları gibi metotlar kullanılmıştır. Bu çalışmada yan savaklar için literatüre uygun bir şekilde De Marchi, Domínguez ve Schmidt yaklaşımları kullanılmış, yan kapaklar için De Marchi yaklaşımı kullanılmıştır. Mevcut çalışmada elde edilen bulgular karşılaştırma yapılarak elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

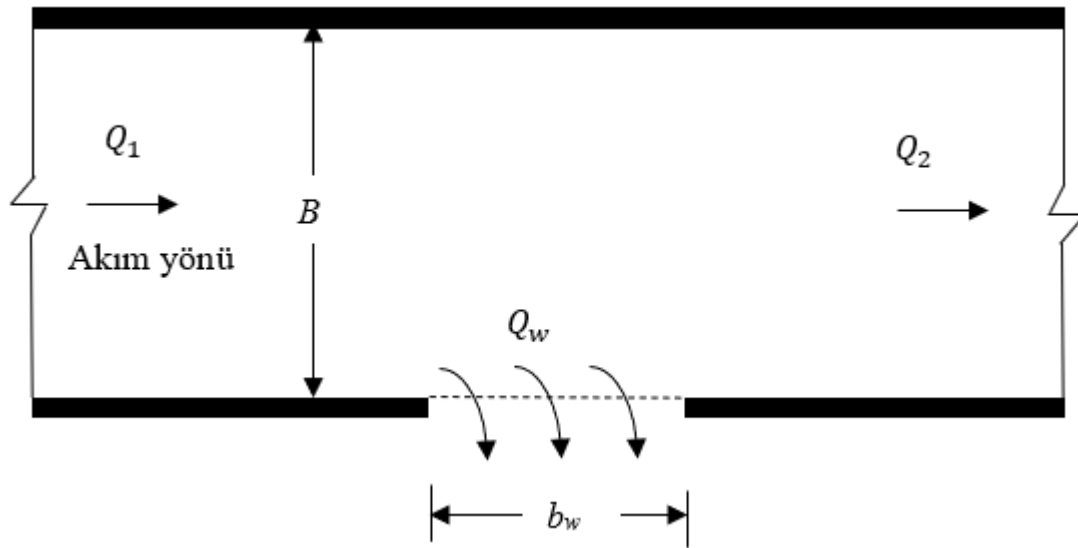
Yan savaklar ve yan kapaklar yağmur suyu toplama kanallarında, birleşik sistem kanalizasyon sistemlerinde, sulama sistemlerinde ve Hidroelektrik Santral (HES) projelerinde yükleme havuzlarında yoğun bir şekilde kullanılan hidrolik yapılardır. Bu yapılar hem inşaat mühendisliği hem de birçok mühendislik uygulamalarında kullanılan hidrolik yapılardır. Savaklar en eski basit hidrolik yapılar arasında olup, debi ölçümü, akımı istenilen yere yönlendirme, akım derinliğini düzenleme, taşkın geçişini ayarlama gibi çok çeşitli amaçlarla yüzyıllardır kullanılmaktadırlar. Her ne kadar farklı türdeki savak tanımı çok basit ve benzer olsa da, her birinin uygulaması ve hidrolik özellikleri oldukça farklıdır [5].

2.2. Yan Savak Akımının Hidroliği

Yan savakların hidroliği 1920 yıllardan bu yana teorik ve deneysel olarak incelenmiş ve bu konu halen araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Yan savaklar konusuyla ilgili literatürde çok sayıda çalışmalar bulunmaktadır [5,6,15–18,7–14]. Klasik yan savaklar üçgen, dikdörtgen ya da dairesel enkesitte tasarlanabilmektedirler. Labirent yan savaklar ise planda dikdörtgen, üçgen, trapez, elips, yarı-daire şeklinde tasarlanabilmektedirler. Ancak üretim ve efektif kret uzunluğunun artırılması nedeniyle hidrolik performansı açısından labirent yan savakların avantajlı bir tür olduğu savunulmuştur [9,10,14,19].

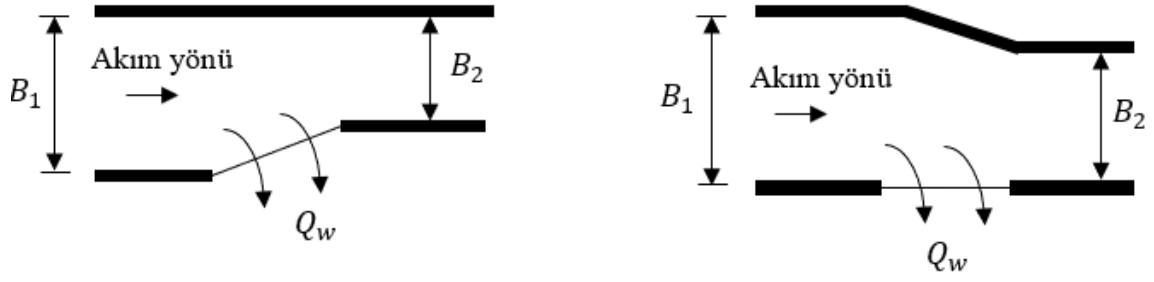
Ana kanaldan yan savak kreti boyunca su dışarı deşarj edildiği için ana kanalın debisi gittikçe azalmaktadır. Yanal akımlardaki akım; azalan debili üniform-olmayan akımdır (*Spatially varied flow with decreasing discharge*). Bir başka deyişle $\frac{\partial Q}{\partial x} \neq 0$ olmaktadır.

Yan savaklar konusunda yapılan ilk çalışmalardan biri De Marchi (1934) tarafından yapılan çalışmadır. De Marchi (1934) yan savakların hidroliğinin analizinde özgül enerjinin sabit olduğu kabulünü yapmıştır. De Marchi'den (1934) sonraki araştırmacılar da [5,6,15–18,7–14] benzer kabulleri yapmışlardır. Yani, $E_1 \cong E_2$. Ana kanaldaki akımın rejimine bağlı olarak yan savak kesiti boyunca oluşacak su yüzü profili değişmektedir. Şekil 2.1'de yan savağın plandaki gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.1. Yan savağın planda gösterimi

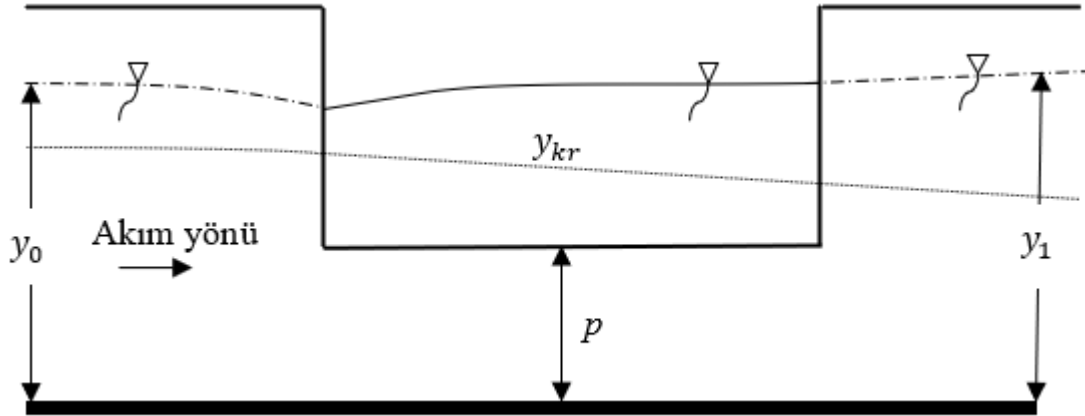
Şekil 2.1'de B = ana kanal genişliğini ve b_w = savak açıklığını göstermektedir. Yan savak kretinin eksen, paralel olarak kanaldaki akım yönüne düzenlenebileceği gibi Şekil 2.2'deki gibi ana kanaldaki akımla belirli bir açı oluşturacak şekilde de düzenlenebilmektedir. Kanal kesiti yan savaktan sonra daraltılarak ekonomiklik sağlanabilmektedir. Özellikle birleşik sistem kanalizasyon projelerinde ana kolektör (meskûn bölgeden gelen bütün atık suları toplayan ana kanal hattı) üzerinde belirli bir seviyenin üzerindeki su deşarj edilerek arıtma tesisinin yükü azaltılmaktadır.



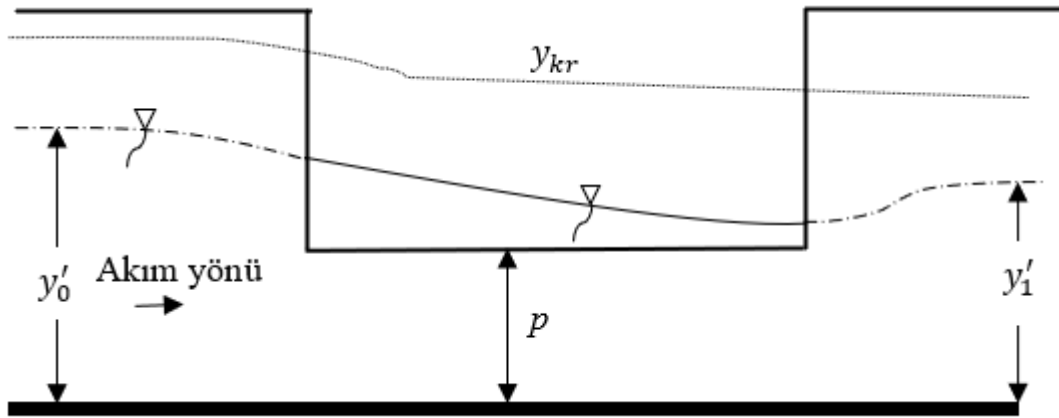
Şekil 2.2. Planda açılı olarak yerleştirilen yan savaklar

Yan savağın büyük debileri savaklaması durumunda yan savağın mansap debisi (Q_2), memba debisiyle (Q_1) karşılaştırıldığında debi farkının küçük olması halinde yan savak mansap kesitinin yan savak memba kesitine oranla daha küçük boyutta projelendirilmesi gerekir. Böyle durumlarda yan savak Şekil 2.2'deki gibi düzenlenebilmektedir.

Ana kanalda akım türü nehir rejiminde ise su yüzü profili Şekil 2.3'te verildiği gibi, sel rejimde olması durumunda ise Şekil 2.4'te verildiği gibi olmaktadır.



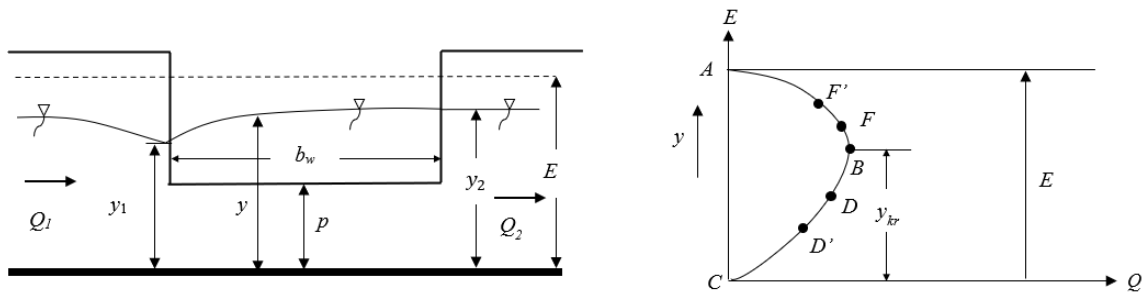
Şekil 2.3. Nehir rejiminde su yüzü profili



Şekil 2.4. Sel rejiminde su yüzü profili

Yan savağın büyük debileri deşarj etmesinin istenmesi durumunda, mansap kanalının memba kanalına oranla daha küçük boyutta projelendirilmesi gerekir. Böyle durumlarda yan savak akım doğrultusuna açılı olarak düzenlenebilmektedir (Şekil 2.2). Kanalin mansap tarafında $Q_2 = 0$ olması istendiğinde yan savaktan savaklanan debi $Q_w = Q_1$ olmaktadır. $Q_w < Q_1$ olması durumunda ise mansaptaki debi $Q_2 = Q_1 - Q_w$ eşitliği ile bulunmaktadır.

Bir yan savağın savaklayacağı debi miktarının derinlik ile ilişkisi akımın sel veya nehir rejiminde olması ile ilgili olup, bu konuda debiye bağlı olarak akım derinliğindeki değişimi yan savak boyunca özgül enerjinin sabit olması koşulu için Şekil 2.5'te verilen Koch parabolü ile açıklanmaktadır.

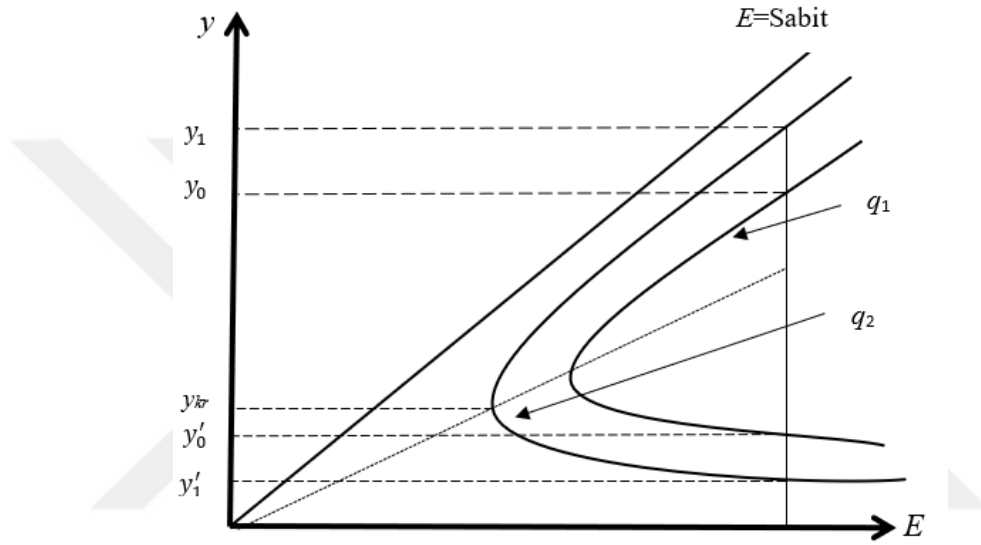


Şekil 2.5. Yanal akım durumunda Koch parabolü

Yan savağın memba ucundan mansap ucuna doğru ilerledikçe savaklanan debi azalmaktadır. Yan savak başlangıcında akım sel rejiminde ise, $y < y_{kr}$ olduğundan parabolün B ile C noktaları arasında bir değer alacaktır. Bu bölge içerisinde debinin artması ile derinliğin artacağı görülmektedir. Nehir rejimi $y > y_{kr}$ koşulunda gerçekleştiğinden parabolde B ile A noktaları

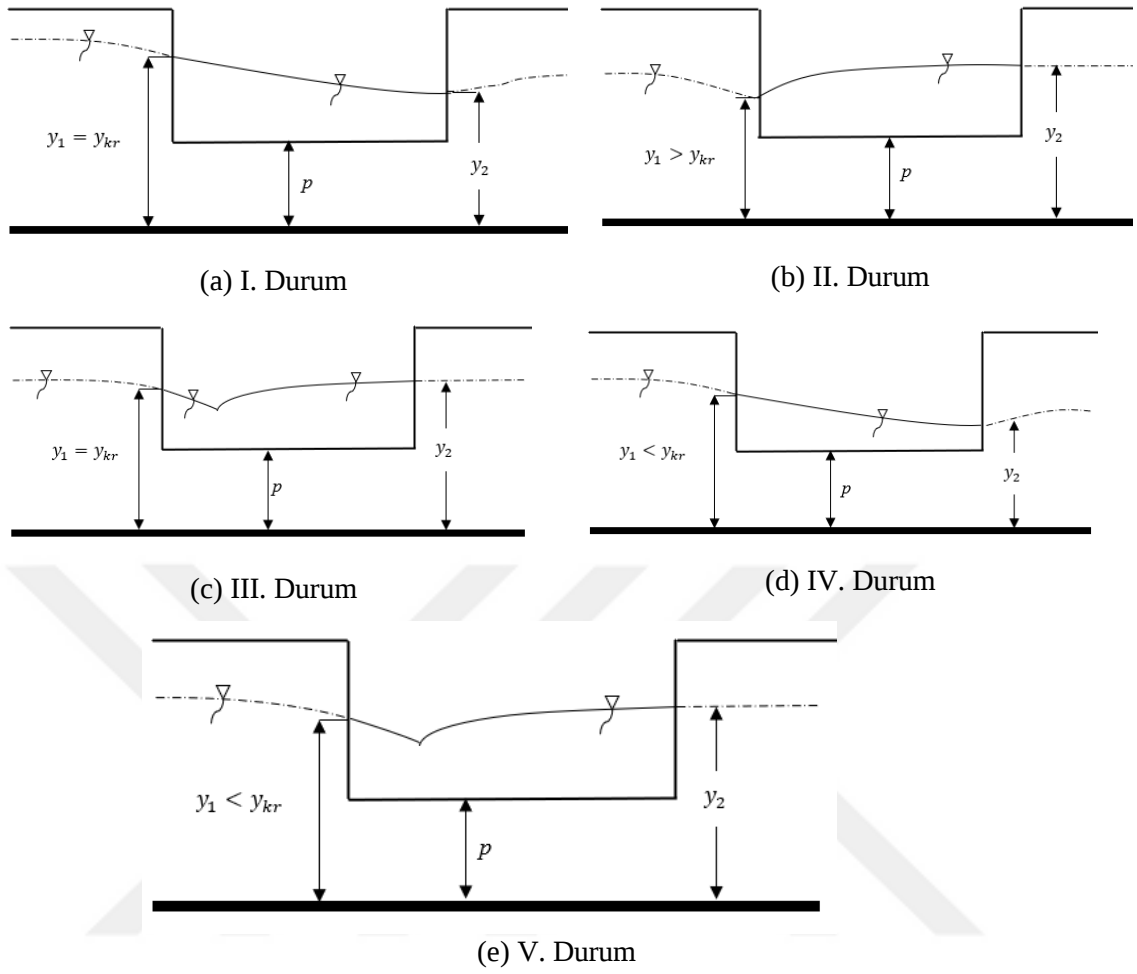
arasında tanımlanmaktadır. Parabolün bu bölümünde debi azalması ile derinliğin arttığı görülmektedir.

Aynı şekilde özgül enerji-derinlik grafiği üzerinde birim debinin değişimini inceleyerek yapmak mümkündür. Şekil 2.6'de q_1 savağın memba tarafta başlangıcındaki birim debiyi, q_2 mansaptaki birim debiyi göstermektedir. Yan savak boyunca özgül enerji sabit kabul edildiğinden su derinliği; nehir rejimindeki akımlarda y_1 'den y_2 'e çıkarak yan savak boyunca artacağı, sel rejimindeki akımlarda y_1' 'den y_2' 'e düşerek yan savak azalacağı görülmektedir.



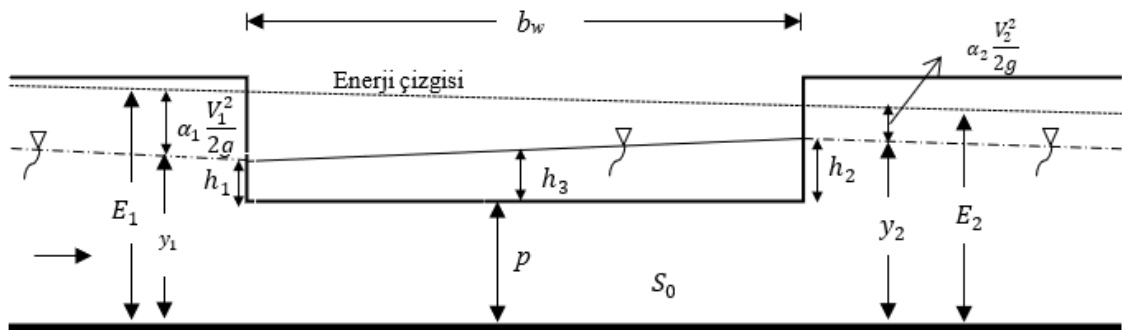
Şekil 2.6. Özgül enerji-derinlik grafiğinde giren ve çıkan birim debinin gösterimi

Chow [20]'a göre yan savaklar üzerinde beş farklı akım profili oluşabilir. Yan savak kesitinde oluşan su yüzü 5 durum şeklinde sınıflandırılmıştır. Su yüzü profilleri Şekil 2.7'de verilmiştir. **I. Durum:** Savak kesitinin giriş yakınlardaki sel rejimli akımlarda, akım derinliği savak boyunca azalır. **II. Durum:** Savak kesitindeki akım derinliği başta nehir rejimiyle kritik derinlikten daha büyüktür ve savak boyunca akım derinliği giderek artmaktadır. **III. Durum:** Savak başlangıcında I. Durumdaki akım durumu oluşur daha sonra oluşan hidrolik sıçrama ile II. Durumdaki akım durumu oluşur. Hidrolik sıçrama nedeniyle yan savağın özgül enerjisinde düşüş oluşur. **IV Durum:** Başlangıçta sel rejimli akım derinliği kritik derinlikten düşüktür ve savak boyunca da akım derinliği azalır. **V. Durum:** Başlangıçta IV. Durumdaki gibi oluşan akım, savak içinde hidrolik sıçrama yaparak devam eder. Hidrolik sıçramanın ardından yan savağın özgül enerjisinde azalarak II. Durumdaki akım gibi devam eder.



Şekil 2.7 (a-e). Yan savak akımında fark su yüzü profilleri

Yan savak akımlarında özgül enerjinin yan savak kreti boyunca değişimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Yan savak akımında akım karakteristiklerinin gösterimi

Yan savak akımında su yüzünün diferansiyel denklemini elde etmek için enerjinin korunumu ilkesi uygulanırsa;

$$H = y + \frac{V^2}{2g} + z \quad (2.1)$$

$$E = y + \frac{V^2}{2g} \quad (2.2)$$

$$H = E + z \quad (2.3)$$

x 'e göre değişim söz konusu olduğundan;

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dE}{dx} + \frac{dz}{dx} \quad (2.4)$$

veya

$$-S_f = \frac{dE}{dx} - S_0 \quad (2.5)$$

$$\frac{dE}{dx} = S_0 - S_f \quad (2.6)$$

diğer taraftan;

$$\frac{dE}{dx} = \frac{d}{dx} \left(y + \frac{Q^2}{2gA^2} \right) \frac{dE}{dx} = \frac{dy}{dx} + \frac{Q^2}{gA^2} \frac{dQ}{dx} - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} \quad (2.7)$$

bu iki eşitlik eşitlenirse;

$$\frac{dy}{dx} + \frac{Q^2}{gA^2} \frac{dQ}{dx} - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} = S_0 - S_f \quad (2.8)$$

$$\frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} = \frac{Q^2 B}{gA^3} \frac{dy}{dx} = Fr^2 \frac{dy}{dx} \quad (2.9)$$

$$\frac{dy}{dx} (1 - Fr^2) + \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx} = S_0 - S_f \quad (2.10)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - Fr^2} \quad (2.11)$$

diferansiyel denklemi elde edilir. Toplama ve boşaltım kanallı yan savakların diferansiyel denklemleri arasındaki tek fark $\frac{Q^2}{gA^2} \frac{dQ}{dx}$ ifadesinin 2 ile çarpımıdır. Bu ifadelerde $\frac{dQ}{dx}$; birim boyda giren veya çıkan debi olarak $\frac{dQ}{dx} = q^*$ ile gösterilebilir.

$$E - y = \frac{Q^2}{A^2 2g} \quad (2.12)$$

$$Q = VA = A \sqrt{2g \frac{V^2}{2g}} = A \sqrt{2g(E - y)} \quad (2.13)$$

Deşarj olan debi için; $-\frac{dQ}{dx} = C_{dw} \sqrt{2g(y - p)^{3/2}}$ burada C_{dw} sabittir. Bu da $\frac{dQ}{dx}$ genel diferansiyel denklemde yazılıp sayısal yaklaşım yapılarak çözümlenirse;

$$\Delta y = -\frac{\alpha Q_1(V_1 + V_2)\Delta V}{g(Q_1 + Q_2)} \left(1 - \frac{Q_w}{2Q_1}\right) + (S_0 - S_f)\Delta x \quad (2.14)$$

Eşitlik (2.14) yazılabilir. Bilinmeyen sınır şartları, buradaki asıl zorluktur. Yani memba veya mansaptaki su yükseklikleri ve kontrol kesitinin yeri deneme yanılma yöntemi ile bulunmaktadır.

Tabanı yatay dikdörtgen kesitli kanallar için $S_0 - S_f \cong 0$ 'dir. Genel diferansiyel denklem ile $\frac{dQ}{dx} = -C_{dw} \sqrt{2g(y - p)^{3/2}}$ birlikte çözümlenirse;

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-QA \frac{dQ}{dx}}{gA^3 - Q^2B} = \frac{2C_d \sqrt{(E - y)(y - p)^3}}{B(3y - 2E)} \quad (2.15)$$

elde edilen bu eşitliğin integrali alınır;

$$\frac{x C_{dw}}{B} = \frac{2E - 3p}{E - p} \sqrt{\frac{E - y}{y - p}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E - y}{y - p}} + \text{sabit} \quad (2.16)$$

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

Taban eğimi yatay olan dikdörtgen kesitli yan savaklar göz önüne alınırsa ($S_0=0$),

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - \frac{Q^2B}{gA^3}} \quad (2.17)$$

$y_m = \frac{A}{B} = \frac{B y}{B} = y$ ortalama derinlik olarak dikkate alınır;

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{Q}{gA^2} \left(-\frac{dQ}{dx}\right)}{1 - \frac{Q^2 B}{gA^3}} = \frac{\frac{Q}{gB^2 y_m^2} \left(-\frac{dQ}{dx}\right)}{1 - \frac{Q^2 B}{gB^3 y_m^3}} = \frac{\frac{Q}{gB^2 y_m^2} \left(-\frac{dQ}{dx}\right)}{\frac{gB^2 y_m^3 - Q^2}{gB^2 y_m^3}} \quad (2.18)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Q y_m \left(-\frac{dQ}{dx}\right)}{gB^2 y_m^3 - Q^2} \quad (2.19)$$

$\frac{dQ}{dx} = -C_{dw} \sqrt{2g(y-p)^{3/2}}$ ile $Q = B y_m \sqrt{2g(E-y)}$ ifadeleri Eşitlik (2.18)'de yerine konulursa;

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2C_{dw}}{B} = \frac{\sqrt{(E-y)(y-p)^3}}{3y-2E} \quad (2.20)$$

eşitliği elde edilir [21].

2.2.1. Yan Savaklarda Deşarj Kapasitesini Belirlemek İçin Kullanılan Yaklaşımlar

De Marchi Yaklaşımı

Zamanla değişmeyen akım koşulları için geçerli olan Eşitlik (2.20)'de verilen su yüzü diferansiyel denkleminin kapalı çözümü için ilk kez De Marchi [2] incelemiş ve bu eşitliğin çözümü için halen literatürde kabul gören bir yaklaşım geliştirilmiştir.

$x = \frac{3}{2} \frac{B}{C_{dw}} (\Phi_i - \Phi_{i-1})$ eşitliğinde $x=b_w$ alındığında $b_w = \frac{3}{2} \frac{B}{C_{dw}} (\Phi_2 - \Phi_1)$ eşitliği elde edilir.

burada b_w =savak açıklığı olup (Φ_i) için geçerli olan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\Phi_i = \frac{2E_i - 3p}{E_i - p} \sqrt{\frac{E_i - y_i}{y_i - p}} - 3 \sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{E_i - y_i}{y_i - p}} \right) \quad (2.21)$$

Schmidt Yaklaşımı

Bu yaklaşım akım rejiminin nehir rejiminde olup akımın rejiminin nehir rejiminde devam ettiği durumlarda geçerlidir. Schmidt yaklaşımında yan savağın deşarj kapasitesi yan savağın memba ve mansap kesitlerindeki nap yüklerinin dikkate alınmasıyla elde edilebilmektedir. Bu çalışmada keskin kenarlı dikdörtgen yan savakların debi katsayıları Schmidt yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Literatürde bu yaklaşımla yan savakların debi katsayılarının belirlenmesi ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır [18,22]. Akımın nehir rejiminde akıp nehir rejiminde akmaya devam ettiği durum için geçerli olan bu yaklaşımda, pürüzlülüğü n , kanalın taban eğimi S_0 , memba ve

mansap kanalındaki akım derinliği y_1 ve y_2 , membadaki debi Q_1 ve mansap debisi Q_2 bilindiğine göre yan savak debisi için aşağıdaki yaklaşım yapılmıştır.

Memba kanalındaki üniform derinlik y_0 , mansap kanalındaki üniform derinlik y_u , savak başlangıcında kanaldaki akım derinliği y_1 , savak kreti üzerinde oluşacak olan kabarma yüksekliği h ile gösterilmektedir. Akımın savak kreti boyunca kritik akım altı olarak devam ettiği akımlarda kritik altı akımlar mansap kontrollü olduğu için savak sonundaki kabarma yüksekliği $h_2 = y_2 - p$ olmakta ve bu yaklaşım ile memba ve mansap arasında enerji eşitliği yazıldığında aşağıdaki denklemler elde edilmektedir.

$$S_0 b_w + y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = h_u + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \Delta h_s \quad (2.22)$$

$$S_0 b_w + p + h_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + p + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \Delta h_s \quad (2.23)$$

Eşitlik (2.23)'te h_1 memba nap yükü h_2 mansap nap yükü, p yan savağın kret yüksekliği, V_1 yan savağın memba kesitindeki hızı ve V_2 yan savağın mansap kesitindeki ortalama hızı, α_1 ve α_2 enerji düzeltme katsayıları, Δh_s ise sürtünme kayıpları anlamındadır. Bu eşitlik aşağıda verildiği şekilde de yazılabilir.

$$h_1 = h_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - S_0 b_w - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + \Delta h_s \quad (2.24)$$

Δh_s sürtünme kaybı $\Delta h_s = S_f b_w$ alınarak örneğin Manning-Strickler formülünden hesaplanır. Burada S_f =ortalama enerji çizgisi eğimi anlamındadır. Eşitlik memba ve mansap kesitlerinde oluşan hızların ortalaması alınarak da hesaplanabilir.

$$\Delta h_s = \frac{V_{ort}^2 b_w}{K_{st}^2 R^{\frac{2}{3}}} = \bar{S}_f b_w \quad (2.25)$$

Yaklaşık hesaplar için $\Delta h_s = S_f b_w \cong S_0 b_w$ olarak kabul edilebilir. Hız dağılımını dikkate alan α_1 ve α_2 değerleri için başlangıçta $\alpha_1 = \alpha_2 = 1.1$ alınarak deneme yanılma yöntemi ile çözülebilir. Akım yönündeki sapma ve benzeri etkileri dikkate alan hız düzeltme katsayılarını düzelterek olan katsayı ξ deneysel olarak bulunmuştur [4,23]. ξ =düzeltme katsayısı ve $\Delta h_s = S_f b_w \cong S_0 b_w$ yaklaşımı kullanılarak aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$h_1 = h_2 - \xi \left[1.1 \frac{V_1^2}{2g} - 1.1 \frac{V_2^2}{2g} \right] \quad (2.26)$$

ξ değerleri $F_1 < 0.75$ için geçerlidir. $F_1 > 0.75$ sayılarında bu yaklaşım geçerli olmamaktadır. Çünkü böyle bir durumda yan savak boyunca hidrolik sıçrama meydana geleceği için yukarıda verilen eşitlik geçerliğini kaybetmektedir.

Schmidt yaklaşımında Poleni eşitliği uygulanmaktadır.

$$Q_w = C_{dw} \frac{2}{3} \sqrt{2g} b_w h_{ort.}^{3/2} \quad (2.27)$$

Yukarıda verilen eşitlikte ortalama nap yükü (savak kreti üzerindeki piyezometrik yükseklik) $h_{ort.}$;

$$h_{ort.} = \frac{1}{2} (h_1 + h_2) \quad (2.28)$$

$$h_{ort.}^* = \frac{1}{2} (h_1 + h_2 + h_3) \quad (2.29)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Schmidt yaklaşımında yan savak hesabında kanaldaki sürtünme kayıpları dikkate alınarak hesap yapıldığında veya yan savak kret uzunluğunun fazla olduğu durumlarda Eşitlik (2.26) yerine güvenli tarafta kalabilmek için S_0 taban eğiminin ihmal edilebileceği Eşitlik (2.30) kullanılmaktadır [23].

$$\xi = \frac{h_2 - h_1}{1.1 \frac{V_1^2}{2g} - 1.1 \frac{V_2^2}{2g} - \Delta h_s} \quad (2.30)$$

Domínguez Yaklaşımı

Domínguez [3] yan savak üstünden akan akımın debisini hesaplarken kolay bir yöntem geliştirmiştir. Buna göre; Savak üzerindeki özgül enerji ana kanal boyunca sabit olmak üzere; yan savak üzerindeki akımın birim debisi, poleni eşitliği ile hesaplanabilir.

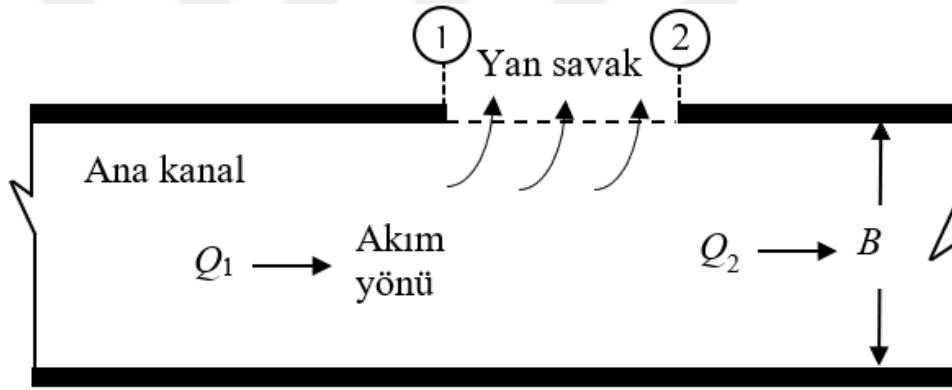
- I. Ana kanal boyunca savak üzerindeki özgül enerji sabittir.
- II. Yan savaktan geçen akım debisi hesaplanırken aşağıdaki formül kullanılır.

$$dQ_w = \frac{2}{3} C_{dw} \sqrt{2g(y-p)^3} dx \quad (2.31)$$

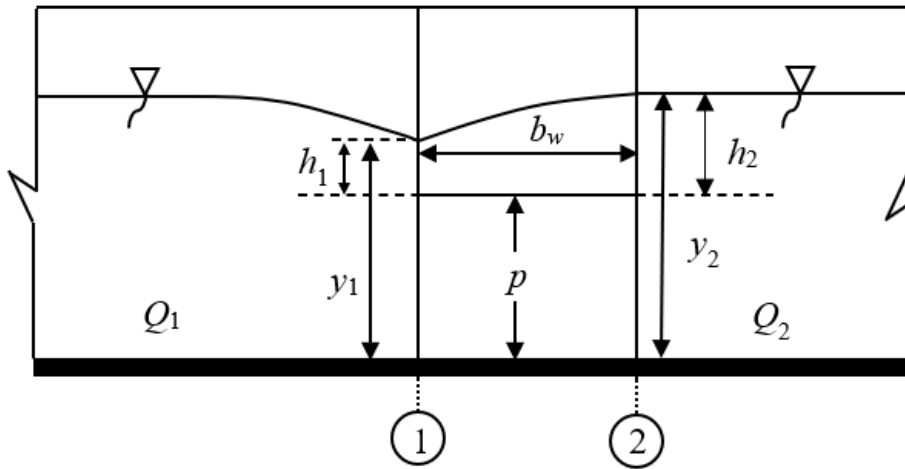
III. Ana kanal boyunca yan savaktaki su yüzü profili doğrusal olarak değişir.

$$h(x) = y - p = h_1 + (h_2 - h_1) \frac{x}{b_w} \quad (2.32)$$

burada C_{dw} =yan savak debi katsayısını, Q_w =yan savak akımının debisini, g =yerçekimi ivmesini, x =kret uzunluğunu, y =akım derinliğini, h =akım derinliğini, p =kret yüksekliğini ve b_w =savak açıklığını ifade etmektedir. Şekil 2.9. (a, b)'de dikdörtgen yan savaklarda akımın şematik olarak gösterilmesi verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.9. (a-b) Dikdörtgen yan savaklarda akımın şematik olarak gösterilmesi: (a) plan, (b) yan görünüş

Bir yan savaktan geçen debi Eşitlik (2.31) ve (2.32) birleştirilerek aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$Q_w = \frac{2}{3} C_{dw} \sqrt{2g} \int_0^{b_w} \left(h_1 + (h_2 - h_1) \frac{x}{b_w} \right)^{1.5} dx \quad (2.33)$$

$$Q_w = \frac{2}{3} C_{dw} \sqrt{2g} \left[\frac{2}{5} b_w \frac{\left(h_1 + (h_2 - h_1) \frac{x}{b_w} \right)^{2.5}}{(h_2 - h_1)} \right]_0^{b_w} \quad (2.34)$$

$$Q_w = \frac{4}{15} C_{dw} b_w \sqrt{2g} \frac{(h_2^{2.5} - h_1^{2.5})}{(h_2 - h_1)} \quad (2.35)$$

Eşitlik (2.35) düzenlenirse;

$$Q_w = \left[\frac{2}{5} C_{dw} \frac{(h_2/h_1)^{2.5} - 1}{\left(\frac{h_2}{h_1} \right) - 1} \right] \frac{2}{3} \sqrt{2g} b_w h_1^{1.5} \quad (2.36)$$

Bagheri vd. [15] klasik dikdörtgen savak için yaptığı çalışmasında bu yaklaşımı kullanmıştır.

2.3. Yan Kapaklar

Kapaklar, açık kanal akımlarında uzun zamandan beri hem kontrol yapısı olarak hem de debi ölçüm aracı olarak kullanılmaktadır. Kapaklar, nehir mühendisliğinde işletme çalışmalarına esas olacak verilerin elde edilmesinde ve su iletim kanallarının kontrol kesiti ve çevirme yapılarında uygulanabilmektedir. Literatürde açık kanallarda, kapak altı akımı için oldukça fazla çalışma mevcuttur. Ancak açık kanallarda, karşıdan alıslı akımlardaki kapak altı akım yanal akımlardaki akıma göre daha çok araştırılmıştır. Bir yanal akımdaki kapak, akımın bir kısmının yandan dökülmesini sağlayan bir kanalın yan tarafına yerleştirilmiş kapak altı akımı ve ölçüm dağıtma yapısıdır. Yanal akımlardaki kapaklar sulama, arazi drenajı, kentsel kanalizasyon sistemleri, sıhhi mühendislik ve taşkın tahliyesinde ve dağıtım şebekelerinin baş düzenleyicileri olarak kullanılabilir.

2.3.1. Yan Kapak Akımları için De Marchi Yaklaşımı

Yanal kapakların altından akan akım, tipik değişken debili üniform olmayan bir akımdır. Enerji denklemi, yanal akımlardaki kapak altından geçen akımı elde etmek için yaygın olarak kullanılır. Şekil 2.10. (a, b)'de yanal akımlarda kapak altından geçen akımın plan ve yan görünüşü

verilmiştir. Bir yanal kapak boyunca kapak altından akan değişken debili üniform olmayan akım aşağıdaki şekilde ifade edilir [20].

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \alpha \frac{Q^2 dQ}{gA^2 dx}}{1 - \alpha \frac{Q^2 T}{gA^3}} \quad (2.37)$$

burada y = akım derinliği (m); x = yanal kapakta memba ve mansap uçları arasındaki mesafe (m); S_0 = ana kanal eğimi; S_f = sürtünme eğimi; α = kinetik enerji düzeltme faktörü; Q = Debi (m^3/s); dQ/dx = birim debi ($m^3/s/m$); g = yerçekimi ivmesi (m/s^2); A = kesitsel akım alanı (m^2); ve T = kanal bölümünün üst genişliği (m)'dir.

Yatay ($S_0=0$) prizmatik dikdörtgen bir ana kanal için; kinetik enerji düzeltme faktörünü sabit kabul ederek ve sürtünme kayıplarını da ihmal ederek ($S_f=0$), Eşitlik (2.37) sadeleştirilmiştir.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Qy}{gB^2y^3 - Q^2} \left(-\frac{dQ}{dx} \right) \quad (2.38)$$

burada; B = ana kanal genişliğidir (m).

Ojha ve Subbaiah [24] Swamee vd. [25] Ghodisan [26] yanal akımlardaki kapak altından akan birim debiyi aşağıdaki şekilde vermiştir.

$$\frac{dQ}{dx} = -aC_{dg}\sqrt{2gy} \quad (2.39)$$

burada; C_{dg} =kapak deşarj katsayısı, a ise kapak açıklığını (m) temsil etmektedir.

Kapak boyunca özgül enerjiyi sabit varsayarsak ana kanaldaki debi;

$$Q = By\sqrt{2g(E - y)} \quad (2.40)$$

Eşitlik (2.39) ve (2.40) Eşitlik (2.38)'de yerine yazılırsa

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2aC_{dg} [(E - y)y]^{0.5}}{B(3y - 2E)} \quad (2.41)$$

$x=0$ ve $x= b_g$ arasında (1 ve 2 no'lu kesit) Eşitlik (2.41)'in integrali alınırsa

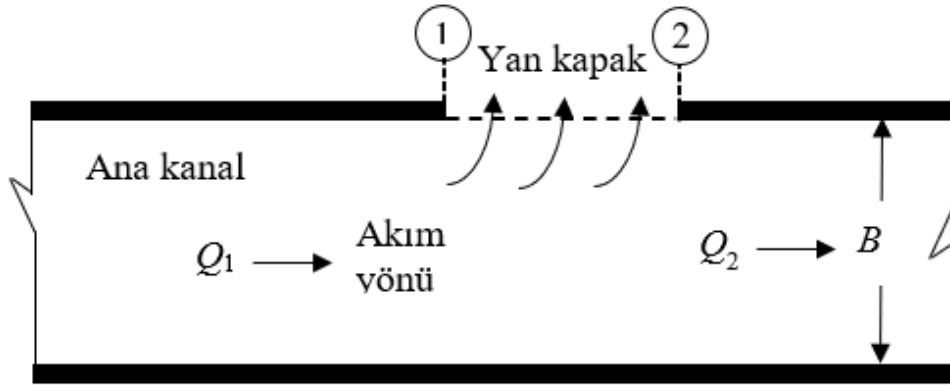
$$b_g = x_2 - x_1 = \frac{BE}{2aC_{dg}} (\phi_1 - \phi_2) \quad (2.42)$$

Yanal akımlarda kapak altından akan akım De Marchi yaklaşımına göre [26-28];

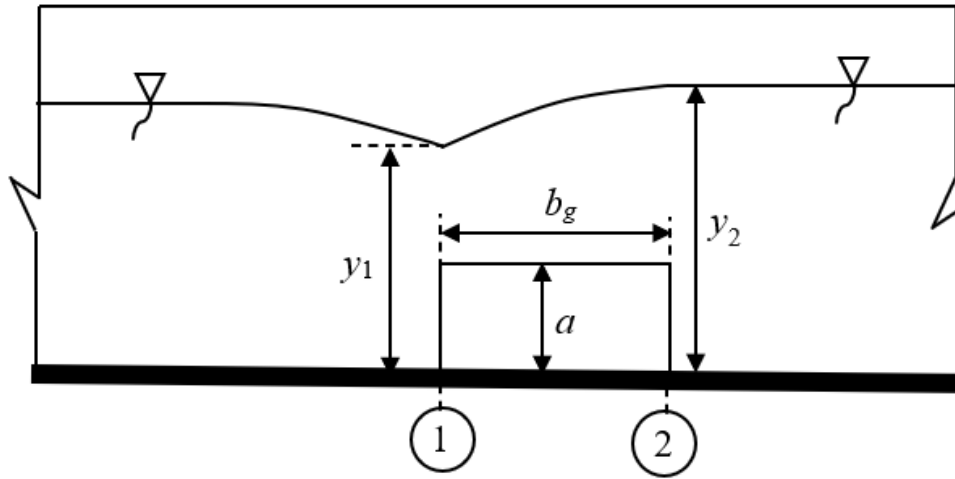
$$\phi = \sin^{-1} \left(\frac{y}{E} \right) + 3 \left[\frac{y}{E} \left(1 - \frac{y}{E} \right) \right]^{0,5} \quad (2.43)$$

Eşitlik (2.42) ve (2.43) birleştirilirse [26,27]

$$\begin{aligned} \frac{2ab_g C_{dg}}{BE} = 3 \left\{ \left[\frac{y_1}{E} \left(1 - \frac{y_1}{E} \right) \right]^{0,5} - \left[\frac{y_2}{E} \left(1 - \frac{y_2}{E} \right) \right]^{0,5} \right\} \\ + \sin^{-1} \left(\frac{y_1}{E} \right) - \sin^{-1} \left(\frac{y_2}{E} \right) \end{aligned} \quad (2.44)$$



(a) plan

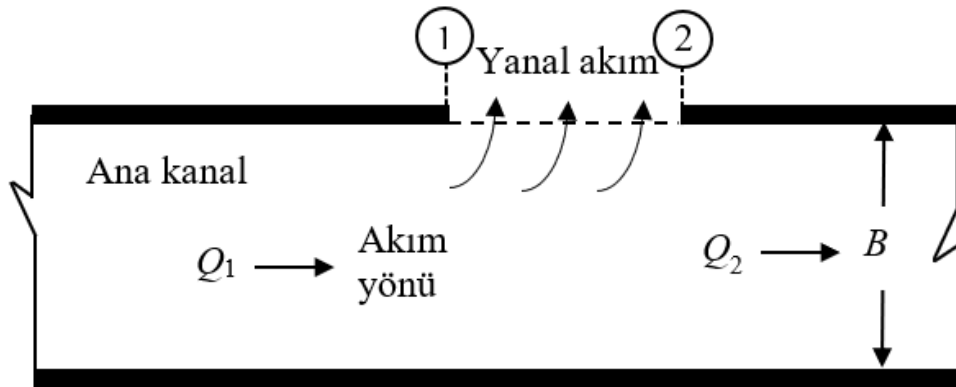


(b) Yan görünüş

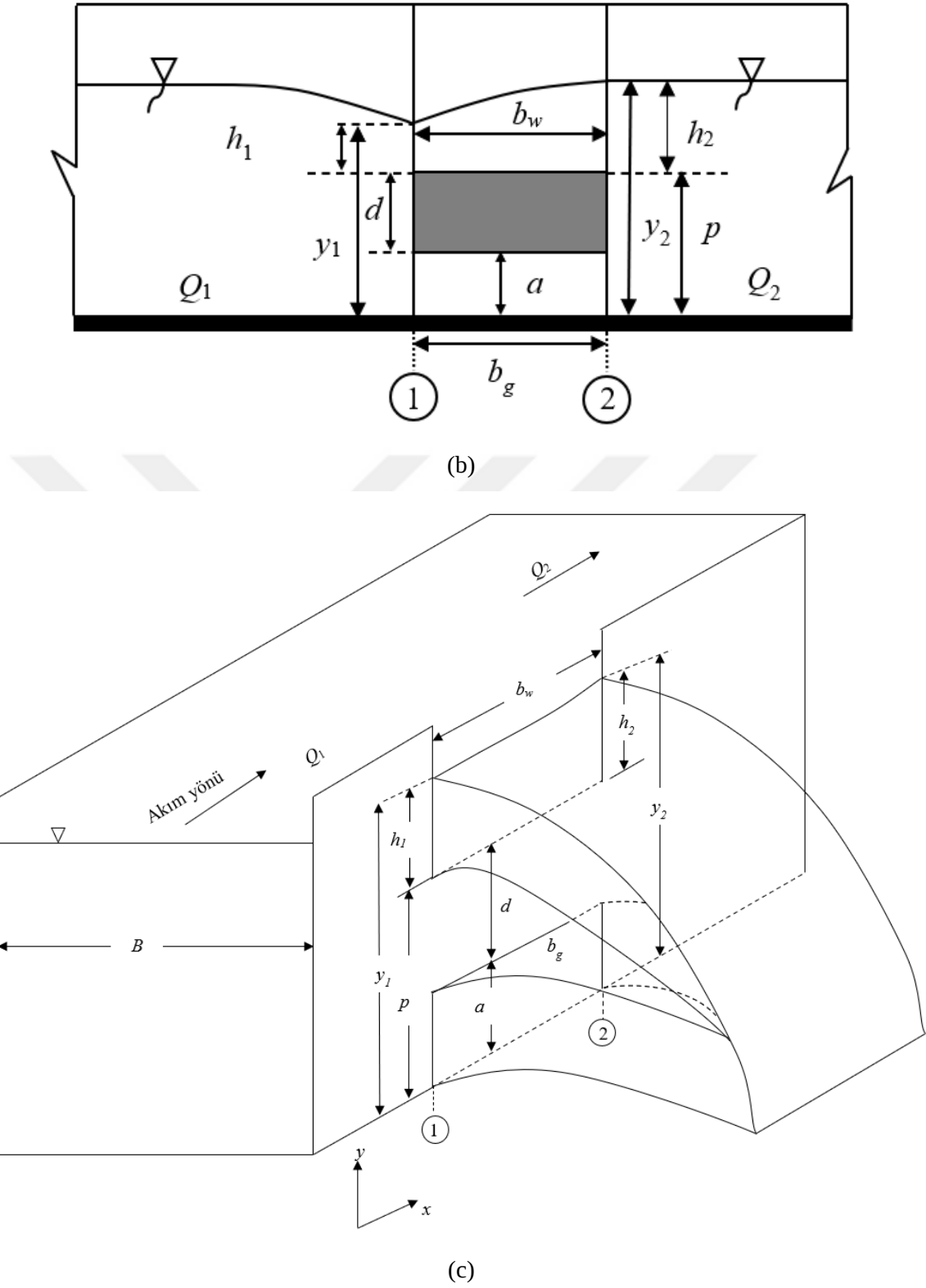
Şekil 2.10. (a-b) Yanal akımlarda kapak altından geçen akım: (a) plan, (b) yan görünüş

2.4. Birleşik Yan Savak-Kapak Yapısı ve Deşarj

Savak ve kapaklar açık kanal akımlarında birbirlerinden bağımsız olarak çok uzun zamandan beri hidrolik mühendisliğinde kullanılmaktadır. Şekil 2.11(a, c)'te birleşik savak ve kapak akımının akım karakteristikleri verilmiştir.



(a)



Şekil 2.11(a, c). Birleşik savak ve kapak akımının akım karakteristikleri (a) plan (b) kesit görünümü, (c) yan görünüş

Birleşik çalışan savak ve kapaklar ile ilgili olarak 1990'lı yılların sonuna doğru yoğunlaşan çalışmalarda Ahmed [28] sınırlı deneysel verilerle birleştirilmiş dikdörtgen ve savak yapısının önden alışı akım için araştırarak açık kanal akımlarında birleşik çalışan savak ve kapak yapılarının çalışmasına öncülük etmiştir. O zamandan beri, birçok araştırmacı önden alışı akımlar için birleşik savak ve kapaklarını incelemiştir ve farklı birleşik savak-kapak yapılarını tanıtmıştır [29,30,39–44,31–38].

Birleşik savak ve kapak yapısının deşarjı, Q_c 'nin deşarj kapasitesi [32,35,39–42,44]:

$$Q_c = Q_g + Q_w \quad (2.45)$$

burada Q_g , kapak debisidir (m^3/s); Q_w ise savaktaki deşarjdır (m^3/s).

Eşitlik (2.46), yana akımlar kullanılan kapak altı akımının [24,25] deşarj denklemidir. Ancak, Eşitlik (2.47) Domínguez yaklaşımı için savak deşarj denklemidir [3,15].

$$Q_g = C_{dg} a b_g \sqrt{2gy_1} \quad (2.46)$$

$$Q_w = \frac{4}{15} C_{dw} b_w \sqrt{2g} \left(\frac{h_2^{2.5} - h_1^{2.5}}{h_2 - h_1} \right) \quad (2.47)$$

Eşitlik (2.46) ve 2.47) Eşitlik (2.45)'teki yerlerine konulursa:

$$Q_c = C_{dg} a b_g \sqrt{2gy_1} + \frac{4}{15} C_{dw} b_w \sqrt{2g} \left(\frac{h_2^{2.5} - h_1^{2.5}}{h_2 - h_1} \right) \quad (2.48)$$

Birleşik savak ve savak yapılarında birleşik deşarj, ön akışlar için literatürde mevcut denklemler kullanılarak ayrı ayrı tahmin edilebilir. Ancak Altan-Sakarya ve Kökpınar [32] ve Negm vd. [39], geleneksel savak deşarj katsayısının kullanılmasının, akış deşarjının hesaplanmasında kabul edilemez hatalara yol açtığını bulmuştur. Ayrıca Salehi ve Azimi [35], savakların üzerindeki ve kapakların altındaki akım arasında etkileşimlerin meydana geldiğini belirtmişlerdir. Nap etkileşimi, birleşik savak ve kapak yapılarında aşırı enerji kayıplarına neden olur. Sonuç olarak, birleşik savak ve kapak yapılarından ölçülen deşarj, savak ve kapaklar için geleneksel denklemler kullanılarak ayrı ayrı hesaplanan deşarjın üst üste bindirilmesinden farklı olabilir. Yukarıda bahsedildiği gibi, bir birleşik yan ve savak yapısı, Şekil 2.11'de gösterildiği gibi bir yan savak ve bir yan kapaktan oluşan bir kombinasyondur. Yanal akımlarda birleşik savak ve kapak akımını etkileyen parametreler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Yanal akımlarda birleşik savak ve kapak akımını etkileyen parametreler

DEĞİŞKENLER	SİMGE	BİRİM (SI)	BOYUT
1) Ana kanala ait değişkenler			
a) Kanal taban eğimi	S_0	-	
b) Kanal genişliği	B	m	L
c) Kanal yüksekliği	H	m	L
2) Akım ilgili değişkenler			
a) Ana kanal giriş debisi	Q_1	m ³ /s	L ³ T ⁻¹
b) Ana kanal çıkış debisi	Q_2	m ³ /s	L ³ T ⁻¹
c) Yan birleşik savak ve kapak debisi	Q_c	m ³ /s	L ³ T ⁻¹
d) Akım derinliği	y_1	m	L
e) Nap yüksekliği	h	m	L
f) Memba kesitindeki hız	V_1	m/s	LT ⁻¹
g) Ana kanaldaki akımın sapma açısı	φ	°	
3) Akışkana ait değişkenler			
a) Suyun dinamik viskozitesi	μ	kg/ms	ML ⁻¹ T ⁻¹
b) Suyun kinematik viskozitesi	ν	m ² /s	L ² T ⁻¹
c) Yüzeysel Gerilme	σ	kg/s ²	MT ⁻²
d) Yerçekimi İvmesi	g	m/s ²	LT ⁻²
4) Savak ve kapaklara ait değişkenler			
a) Kapak yüksekliği	a	m	L
b) Kapak açıklığı	b_g	m	L
c) Kret yüksekliği	p	m	L
d) Savak açıklığı	b_w	m	L
h) Savak kreti ile kapak üstü arasındaki mesafe	d	m	L

2.4.1. Etki faktörü (IF)

Etki faktörü, Negm vd. [39] tarafından savak üzerinden ve kapak altından ölçülen (birleşik) deşarjın toplam tahmini birleşik deşarja oranı olarak sunulmuştur.

Salehi ve Azimi [35], savakların üzerindeki ve savak kapaklarının altındaki akım arasında etkileşimlerin gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Nap etkileşimi, birleşik savak ve kapak yapılarında aşırı enerji kayıplarına neden olur. Sonuç olarak, birleşik savak ve kapak yapılarından ölçülen deşarj, birleşik savak ve kapak için ayrı ayrı olarak tahmin edilen deşarjın toplamından farklı olabilir. Birleşik akımla ilgili literatür incelendiğinde sadece birleşik savak ve kapaktan geçen akım (teorik deşarj, yani C_d 'siz) dikkate alınmıştır. Birleşik savak-kapak yapısının doğrulamasını en üst düzeye çıkarmak için, bu çalışmada literatürden farklı olarak aynı geometriye sahip savaklar ve kapaklar için deneyler yapılarak deşarj katsayıları da elde edilmiştir. Çalışmada savakların deşarj katsayısının elde edilmesinde Domínguez yaklaşımı kullanılırken, kapaklarının deşarj katsayısının elde edilmesinde De Marchi yaklaşımı kullanılmıştır. Aynı geometriye sahip hem savak hem de kapak yapısı için elde edilen deşarj katsayıları kullanılarak bu yapılar için tahmini debiler elde edilmiştir. Birleşik bir yan savak ve kapak Q_c 'nin deşarjı, Eşitlik (2.48)'de verilmiştir. Birleşik yan savak ve kapak yapısının etkileşim faktörü, IF [35,39] ile gösterilirse, o zaman:

$$IF = \frac{Q_c}{ab_g \sqrt{2gy_1} + \left(\frac{4}{15}\right) b_w \sqrt{2g} \left(\frac{h_2^{2.5} - h_1^{2.5}}{h_2 - h_1}\right)} = \frac{Q_m}{Q_e} \quad (2.49)$$

burada Q_e , birleşik sava-kapak yapısından geçen tahmini deşarjdır (teorik deşarj, C_d 'siz)

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde tek başına çalışan çeşitli kapak ve savak tipleri için çalışmalar bulunmasına rağmen birleşik çalışan savak ve kapaklardaki debi ölçümü çalışmalarına az rastlanmaktadır [39,40]. Genelde savaklarda arkasında biriken sediment ve kapakların arkasındaki biriken yüzen maddelerin sonucu oluşan problemler birleşik çalışan savak ve kapaklar kullanılarak bu dezavantajların etkisini asgariye düşürmektedir [42, 46, 47].

3.1. Yan savaklar

Yan savak, ana akış yönüne paralel olarak yerleştirilmiş hidrolik bir yapıdır (Şekil 2.9 (a, b)). Savaklar en eski ve en basit hidrolik yapılar arasındadır. Hidrolik mühendisleri tarafından akım ölçümünde, enerji dağıtımında, akıma yön vermede, akımın düzenlenmesinde, taşkın geçişi ve diğer uygulamalarda yüzyıllardır kullanılmaktadır. Birçok farklı savak türünün tanımı çok basit ve benzer olsa da her birinin uygulama ve hidrolik davranışı oldukça farklıdır. Akışı yanal olarak yönlendirmek için kanalın duvarına yerleştirilmiş bir yan savak, birçok hidrolik projede anahtar yapı olarak kullanılır. Bu yapının sulama, taşkın düzenleme, sanitasyon ve diğer birçok su kaynağı ve çevre projesinde kullanımı çok fazladır. Yan savağın çeşitli geometrik ve hidrolik şekillerinin kullanılması ve bendin yerleştirildiği farklı kanal kesitleri nedeniyle, farklı yan savak türleri için farklı açıdan çok fazla araştırma yapılması beklenmedik bir durum değildir. Keskin tepeli bir yan savak, kritik altı (nehir rejimi) veya kritik üstü (sel rejimi) akımlarda kullanılabilir. Her akım tipinin kendi hidrolik davranışı vardır. Ancak kritik altı, mühendislik projelerinde daha pratiktir ve bu çalışmanın odak noktasıdır. Yan savak bölgesindeki bir kanalda kritik altı akımın davranışı, yaklaşıma ve mansap derinliğine bağlı olarak üç tipte olabilir. Kritik altı akımda, normal derinlik her zaman kritik derinlikten daha büyük olmasına rağmen, yan savaktaki deşarj nedeniyle, savağın membasındaki derinlik normal akış derinliğinden daha azdır.

Su, yan savak boyunca kanaldan tahliye edildiğinden dolayı, x -yönü boyunca kanalın deşarjı azalır. Yan savaklarla ilgili önceki çalışmalarda, yaygın olarak kullanılan De Marchi yaklaşımında yan savak boyunca kanaldaki akışın özgül enerjisinin (E) sabit ($E_1 \cong E_2$) olduğu varsayılır. Bu tür yapıların hidrolik tasarımı için bir dizi yaklaşım önerilmiştir. Örneğin, De Marchi [2], Domínguez [3] ve Schmidt [4]. Yan savak boyunca oluşan su yüzeyi profili, ana kanaldaki akım rejimine bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden konu ile ilgili çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. İlgili çalışmalardan bir kısmı bu bölümde sunulmuştur.

Domínguez [3] yaklaşımı Bagheri vd. [15,47] tarafından kullanılmıştır. Ayrıca Emiroglu ve İkinciogullari [18] da bu yaklaşımı çalışmalarında kullanmışlardır. Hem Bagheri vd. [15,47] hem de Emiroglu ve İkinciogullari [18] bu yaklaşımın yan savakların debi katsayısını belirlemek için

iyi bir yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir. Bu yaklaşımın da literatürde kullanımı sınırlıdır. Deneysel bir çalışma verilerine Schmidt Yaklaşımı Emiroglu ve İkinciogulları [18] tarafından kullanılmıştır. Emiroglu ve İkinciogulları [18] Schmidt Yaklaşımının çok iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Bu yaklaşımın kullanımı literatürde çok yaygın değildir. Farklı yan savak türleri, özellikle geleneksel dikdörtgen yan savaklar için kapsamlı deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır [5–7,11,15,16,18,47–49]. Yan savaklar üzerinden akan akımın hidrolik özelliklerini belirlemek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Önceki çalışmaların çoğu De Marchi yaklaşımına dayanmaktadır [5,9,10,14,47]. Açık kanal akımları ile ilgili kitaplarda özellikle popüler olan Chow [20] ve Henderson [50], yan savakların deşarj kapasitesinin belirlenmesinde sadece De Marchi yaklaşımına yer vermiş olması bu yaklaşımın yaygın olmasına katkıda bulunmuştur.

Subramanya ve Awasthy [51], El-Khashab [52], Ranga Raju vd. [6], Hager [7] ve Singh vd. [48], keskin kenarlı dikdörtgen yan savakları deneysel çalışma yaparak incelemişlerdir. Swamee vd. [8], yan savak boyunca bir temel şerit boyunca deşarj ile ilgili temel deşarj katsayılarını geliştirmiştir. Diğer birçok araştırmacı da konuya farklı teorik ve deneysel bakış açılarından bakmıştır. Yan savak deşarjını tahmin etmek için çok sayıda araştırma yapılmış olmasına rağmen yine de bir yan savak için kabul edilebilir ortak bir tasarım deşarj denklemi mevcut değildir. Bu aynı zamanda en basit ve en popüler olan savak için de geçerlidir Borghei vd. [5] dikdörtgen yan savaklarda debi katsayısını belirlemek için taban eğimi (S_0), kret yüksekliği (p) ve savak açıklığı (b_w) gibi değişkenleri dikkate alarak 250’den fazla deney yapmışlardır. Araştırmacılar yan savak boyunca kanalda özgül enerjinin sabit olduğu varsayımının nehir rejimi için kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, ortalama özgül enerji değişimi %3.70’dır. Borghei vd. [5] De Marchi yaklaşımını kullanarak debi katsayısının Froude sayısı (F_1), p/y_1 , S_0 ve b_w/B ’nin bir fonksiyonu olduğunu söylemişlerdir. Ancak elde edilen bilgilere göre yazarlar kanal taban eğiminin ihmal edilebilir olduğunu bildirmişlerdir. Bu nedenle, nehir rejimi için keskin kenarlı dikdörtgen yan savağının debi katsayısı için birinci dereceden bir polinom denklemi Eşitlik (3.1) önerilmiştir.

$$C_{dw} = 0.70 - 0.48F_1 - 0.30 \frac{p}{y_1} + 0.06 \frac{b_w}{B} \quad (3.1)$$

Emiroglu vd. [11] nehir rejiminde klasik dikdörtgen yan savaklar kullanarak açık olan bir düz kanalda yan savağın deşarj kapasitesini deneysel olarak incelemişlerdir. Araştırmacılar yan savak debi katsayıları elde ederken Poleni eşitliğini kullanmışlardır. Emiroglu vd. [11], debi katsayısını belirlerken Borghei vd. [5] aldığı boyutsuz parametrelerin yanı sıra b_w/y_1 ’i de dikkate almıştır. Araştırmacılar debi katsayısının memba Froude sayısı, kret yüksekliğinin akım derinliğe oranı, savak açıklığının akım derinliğine oranı ve savak açıklığının kanal genişliğine oranının bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. Keskin kenarlı yan savaklar için bir eşitlik önermişlerdir.

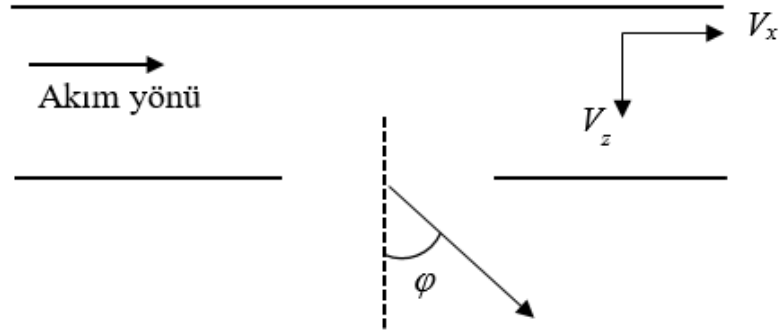
$$C_{dw} = \left[0.836 + \left(-0.035 + 0.244F_1^{2.125} + 0.049 \left(\frac{b_w}{y_1} \right)^{0.42} + 0.39 \left(\frac{p}{y_1} \right)^{12.69} + 0.158 \left(\frac{b_w}{B} \right)^{0.59} \right)^{3.018} \right]^{5.36} \quad (3.2)$$

Bagheri ve Heidarpour [49] keskin kenarlı bir dikdörtgen yan savak üzerindeki su akımının dinamiğini incelemiştir. Çeşitli yükseklik ve genişliklerdeki keskin kenarlı dikdörtgen yan savakların hidrolik özellikleri karşılaştırılmıştır. Yan savak çevresindeki ve kret üstünden akan akım hızının x , y ve z bileşenleri, bir akustik Doppler hızölçer kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar, savak düzlemindeki büyük mesafelerde (hem memba hem mansap) akımın neredeyse yatay olduğunu ve y ve z bileşenlerinin değerlerinin küçük olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, x yönündeki en yüksek hız değerleri savak başlangıcına (membra) yakın bir yerde meydana geldiği ancak en düşük hız değerlerinin ise savak bitişinde (mansap) gerçekleştiğini dile getirmişlerdir. Araştırmacılar, akım derinliği arttığında, su yüzeyinde aşağı doğru akmaya başlayana kadar düşey hızın kademeli olarak azaldığını bulmuşlardır. z yönündeki hız değerleri, yan savak üzerinden akan akımın hızının, savak membasından mansabına doğru kret boyunca arttığını göstermiştir. z yönündeki en büyük hız değerleri, savak sonuna (mansap) yakın gözlenmiştir. 3 boyutlu hızın değişimi, yan savağın sonunda yakın bir durgunluk bölgesinin oluştuğunu ve akımın yan savak bitimine yaklaştığında, yan savağın hidrolik davranışının normal savaktakine yaklaştığını ve daha fazla akımın deşarj edilebileceğini söylemişlerdir.

Ayrıca, sınır tabakanın kalınlığının kret boyunca değiştiğini ve en yüksek sınır tabakası δ değerlerinin savak başlangıcından (membra) itibaren $x = 0.38b_w$ uzaklıkta meydana geldiğini ve sınır tabakasının ortalama kalınlığının $0.27H_1$ olduğunu ifade etmişlerdir. Elde edilen hız profilleri, kret boyunca deşarjın arttığını göstermiştir. Sapma açısının (φ), memba Froude sayısı ile pozitif korelasyon gösterdiği belirtilmiştir. Sonuç olarak sapma açısının φ 'nin tahmin edilmesi için bir ifade önerilmiştir.

$$\varphi = 54.50F_1 - 50.90 \frac{x}{b} + 44.60 \quad (3.3)$$

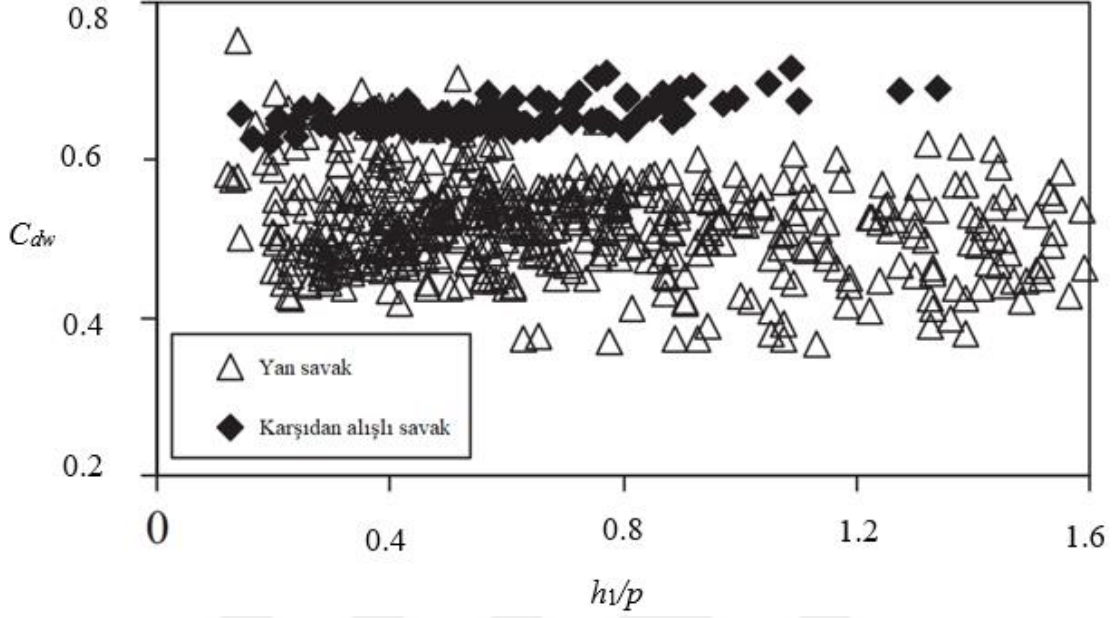
burada x savak boyunca ölçülen mesafedir. H_1 toplam akım yüksekliğidir. Şekil 3.1'de yan savak üzerinden savaklanan akım verilmiştir.



Şekil 3.1. Yan savak üzerinden savaklanan akımın sapma açısı [49]

Bagheri vd. [47] klasik savak denkleminde dayalı olarak nehir rejiminde (kritik altı) 0.08 ila 0.91 arasında değişen memba Froude sayılarında keskin kenarlı dikdörtgen yan savaklar üzerindeki akım özelliklerini incelemek için kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla, iyi bilinen De Marchi denklemi yerine, yan savaklar üzerindeki akış debisini tahmin etmek için geleneksel savak formülü uygulandı. Ayrıca, keskin kenarlı dikdörtgen savakların debi katsayısını etkileyen en önemli parametreleri belirlemek için yapay sinir ağı modellemesine dayalı bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizi sonuçları, Froude sayısının debi katsayısı üzerinde en etkili parametre olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına gösterdiği gibi, memba Froude sayısına göre De Marchi yaklaşımına göre elde edilen debi katsayısı kullanılarak tahmin edilen verilerin dağılımı, geleneksel savak debi katsayısı formülü kullanılarak tahmin edilenden çok daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Yapay sinir ağı modellemesine dayanan duyarlılık analizinin sonuçları, geleneksel savak formülü kullanılarak hesaplanan yan savakların debi katsayısı (C_{dw}), esas olarak memba Froude sayısından etkilendiğini göstermiştir. Sonuç olarak, hem kritik altı (nehir rejimi) hem de kritik üstü akım (sel rejimi) koşullarında yan savakların deşarj katsayısını hesaplamak için, model deneyi kullanılarak elde edilenlerle ve önceki araştırmacıların sonuçlarıyla iyi uyum sağlayan eşitlik geliştirilmiştir. Ayrıca, tüm etkili parametreler kullanılarak, daha yüksek doğrulukta genel bir denklem de elde edilmiştir. Benzer koşullara sahip yan ve karşıdan alıslı savakların debi katsayıları arasındaki karşılaştırma, karşıdan alıslı savakların deşarj katsayısının, yan savaklardan daha büyük olduğunu göstermiştir. Bu fark kısmen de olsa, yan savaklar üzerinden savaklanan akımın sapmasıyla ilişkili olabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, geleneksel savak denklemi, kabul edilebilir bir doğrulukla yan savaklar üzerindeki akım deşarjını tahmin etmek için kullanılmıştır. Şekil 3.2’de araştırmacıların yürüttüğü çalışma için yan ve karşıdan alıslı savakların debi katsayısının karşılaştırılması verilmiştir.

$$C_{dw} = 1.423F_1^{0.138} + 0.744\left(\frac{h_1}{b_w}\right)^{-0.083} + 0.723\left(\frac{h_1}{p}\right)^{0.088} + 0.182\left(\frac{b_w}{B}\right)^{-0.241} \quad (3.4)$$



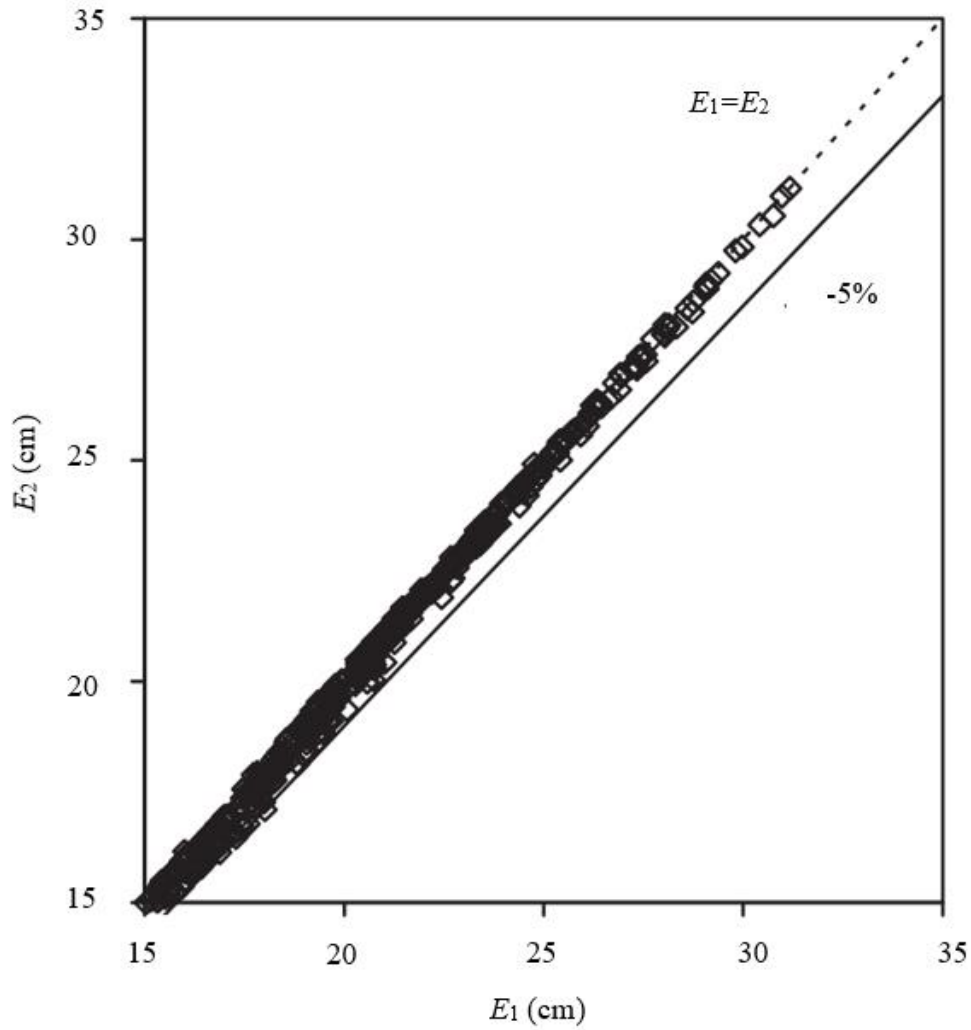
Şekil 3.2. Yan ve karşıdan alışı savakların debi katsayısının karşılaştırılması [47]

Bagheri vd. [15] nehir rejiminde ($F_1 < 1$) keskin kenarlı yan savaklardan savaklanan deşarjı tahmin etmek için Domínguez yaklaşımını kullanarak deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Mevcut deneysel verilerin analizi sonucunda, Domínguez yaklaşımın avantajları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada sonuçlar, Domínguez yaklaşımın temel varsayımlarının, örneğin sabit özgül enerji ve ana kanal merkez hattındaki yan savak boyunca doğrusal serbest yüzey profilinin uygun şekilde karşılandığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, boyut analiz sonucunda, boyutsuz parametrelere göre Domínguez yaklaşımına göre debi katsayısını hesaplamak için eşitlikler önerilmiştir. Yukarıda bahsedilen teoremin ana varsayımlarını incelemek için laboratuvar testleri yapılmıştır. Sonuçlar, Domínguez'in yönteminin ana varsayımlarının tatmin edici bir şekilde doğrulanmıştır. Veri analizine göre, Domínguez yaklaşımı basit olmasına rağmen, yan savaklardan savaklanan debiyi tahmin etmek için De Marchi yaklaşımına göre nispeten daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Duyarlılık analizi kullanılarak, Domínguez yaklaşımına göre belirlenen normal ve uydurulmuş debi katsayısı üzerinde en etkili parametrelerin sırasıyla h_1/b_w ve F_1 olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, elde edilen iki farklı debi katsayısı için (C_{dw} ve C'_{dw}) iki ayrı regresyon tabanlı denklem türetilmiştir. Bunlardan biri, tüm etkili olan değişkenlere içermekte daha fazla doğruluk ve karmaşıklığına sahip olan denklem iken ($R^2=0.855$); diğeri ise kabul edilebilir doğrulukta ve daha basit bir denklem olup yalnızca en belirgin parametreyi içermektedir

($R^2=0.855$). Şekil 3.3'te araştırmacıların yürüttüğü çalışma için özgül enerjinin memba ve mansaptaki değişimleri verilmiştir.

$$C_{dw} = 0.468F_1^{-0.045} \left(\frac{h_1}{b_w}\right)^{-0.136} \left(\frac{h_1}{p}\right)^{0.039} \left(\frac{b_w}{B}\right)^{-0.116} \quad (3.5)$$

$$C'_{dw} = 0.265F_1^{-0.404} \left(\frac{h_1}{b_w}\right)^{-0.115} \left(\frac{h_1}{p}\right)^{0.134} \left(\frac{b_w}{B}\right)^{-0.086} \quad (3.6)$$



Şekil 3.3. Memba ve mansap özgül enerji değişimin karşılaştırılması [15]

İkinciogulları [22] yaptığı tez çalışmasında klasik dikdörtgen yan savakların, üçgen ve trapez labirent yan savakların debi katsayılarını Schmidt yöntemini kullanarak belirlemiştir. Bu çalışma dikdörtgen, üçgen labirent ve trapez labirent yan savakların deneysel çalışmasından elde edilen veriler kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada; dikdörtgen yan savakların, trapez ve üçgen labirent

yan savakların deşarj kapasiteleri Schmidt yöntemi ile elde edilmiştir. Yan savak debi katsayısı değerleri boyutsuz yan savak açıklığı (b_w/B) ve kret yüksekliği (p) sabit tutularak memba Froude sayısı ve boyutsuz nap yükü $[(y_1-p)/p]$ değerleri ile değişimi incelenmiştir. Ayrıca Schmidt yöntemi ile elde edilen sonuçlar De Marchi yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada boyutsuz yan savak açıklığı (b_w/B) oranı sabit tutularak memba Froude sayısının ve boyutsuz nap yükü $[(y_1-p)/p]$ değerinin artırılması ile yan savak debi katsayısı değerlerinde genel olarak azalmaların olduğu gözlemlendiği belirtilmiştir. Boyutsuz yan savak açıklığı b_w/B oranı arttıkça savaklanan debi miktarının da arttığı bildirilmiştir. Yanal akımlardan dolayı şiddetlenen sekonder akım nedeniyle daha büyük C_{dw} değerleri elde edildiği bildirilmiştir. Yan savak kret yüksekliğinin artması ile debi katsayısı değerlerinin genel olarak arttığı söylenmiştir. Yan savak debi katsayısı elde edilirken iki farklı ortalama nap yüksekliği dikkate alınmıştır. Birincisinde hem memba hem de mansap nap yükleri ikincisinde ise bu nap yüksekliklerin yanı sıra yan savak kesitinin ortasından da nap yükseklikleri dikkate alınmıştır. Bu nap yüksekliklerinin ortalamaları alınarak yan savak debi katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre iki farklı ortalama elde edilen C_{dw} ile $*C_{dw}$ değerleri arasındaki neredeyse fark olmadığı tespit edilmiştir. Schmidt yaklaşımıyla kullanıldığı şekilde iki nokta dikkate alınarak yan savak debi katsayısının elde edilmesinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Schmidt yöntemi ile De Marchi yöntemi karşılaştırıldığında her iki yöntemde de yan savak debi katsayısı değerlerinin değişimin aynı eğilimde olduğu ancak De Marchi yaklaşımındaki dağılımın Schmidt yaklaşımına göre daha dağınık saçıldığı görülmektedir. Sonuç olarak yazarlar, Schmidt yaklaşımı yöntemiyle elde edilen sonuçların daha güvenilir olduğu bildirmişlerdir.

Emiroglu ve İkinciogullari [18] çalışmalarında yan savakların deşarj kapasitesini tahmin etmek için farklı yaklaşımlar kullanılmışlardır. Bu çalışmada, De Marchi yaklaşımının yanı sıra Schmidt yaklaşımı kullanılarak dikdörtgen yan savakların deşarj kapasitesi araştırılmıştır. Ayrıca deşarj kapasitesinin hesaplanmasında Schmidt yaklaşımının güvenilirliğini belirlemek için elde edilen sonuçlar De Marchi ve Domínguez yaklaşımları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, Schmidt ve Domínguez yaklaşımlarının debi katsayısı için benzer eğilimlere sahip olduğunu, ancak De Marchi yaklaşımındaki saçılma verilerinin daha dağınık olduğunu göstermiştir. Deşarj kapasitesinin hesaplanmasında Schmidt yaklaşımının oldukça güvenilir olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, debi katsayısını tahmin etmek için Schmidt yaklaşımı De Marchi yaklaşımından çok daha kolaydır. Domínguez yaklaşımı ile deşarj katsayısının tahmini de De Marchi yaklaşımından daha açık ve basittir. Domínguez yaklaşımından elde edilen veriler De Marchi yaklaşımından elde edilen verilerden daha düzenlidir. Bu nedenlerle Schmidt ve Domínguez yaklaşımları De Marchi yaklaşımına göre avantajlıdır. Schmidt yaklaşımı, deşarj katsayısını tahmin etmek için diğer yöntemlere göre daha güvenilir bir yöntemdir; dolayısıyla Schmidt yaklaşımı güvenle kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Klasik yan savakların deşarj kapasitesinin belirlenmesi ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Tablo 3.1’de klasik dikdörtgen yan savaklar için verilen debi katsayısı eşitlikleri verilmiştir. Klasik yan savakların deşarj kapasitesini belirlemek için Tablo 3.1’de verilen eşitliklerden C_{dw} değerleri hesaplanır. Dikdörtgen yan savaktan savaklanan debi Poleni eşitliğinde C_{dw} değerleri yerlerine yazılarak bulunur.

Tablo 3.1. Literatürde bulunan klasik dikdörtgen yan savak için debi katsayısı eşitlikleri

Eşitlik No	Dikdörtgen yan savak için debi katsayısı eşitlikleri	Kaynak
(3.7)	$C_{dw} = 0.432 \left(\frac{2 - F_1^2}{1 + 2F_1^2} \right)^{0.5}$	Nandesamoorthy vd. [53]
(3.8)	$C_{dw} = 0.611 \sqrt{1 - \left(\frac{3F_1^2}{F_1^2 + 2} \right)} = 0.864 \left(\frac{1 - F_1^2}{2 + F_1^2} \right)^{0.5}$	Subramanya vd. [51]
(3.9)	$C_{dw} = 0.623 - 0.222F_1$	Yu-Tech [54]
(3.10)	$C_{dw} = 0.81 - 0.6F_1$	Ranga Raju vd. [6]
(3.11)	$C_{dw} = 0.485 \left(\frac{2 + F_1^2}{2 + 3F_1^2} \right)^{0.5}$	Hager [7]
(3.12)	$C_{dw} = 0.33 - 0.18F_1 + 0.49 \left(\frac{p}{y_1} \right)$	Singh vd. [48]
(3.13)	$C_{dw} = 1.06 \left[\left(\frac{14.14p}{8.15p + y_1} \right)^{10} + \left(\frac{y_1}{y_1 + p} \right)^{15} \right]^{-0.1}$	Swamee vd. [8]
(3.1)	$C_{dw} = 0.7 - 0.48F_1 - 0.3 \left(\frac{p}{y_1} \right) + 0.06 \left(\frac{b_w}{B} \right)$	Borghei vd. [5]
(3.2)	$C_{dw} = \left[0.836 + \left(\frac{-0.035 + 0.39 \left(\frac{p}{y_1} \right)^{12.69} + 0.158 \left(\frac{b_w}{B} \right)^{0.59}}{+0.049 \left(\frac{b_w}{y_1} \right)^{0.42} + 0.244F_1^{2.125}} \right)^{3.018} \right]^{5.36}$	Emiroglu vd. [11]
(3.4)	$C_{dw} = 1.423F_1^{0.138} + 0.744 \left(\frac{h_1}{b_w} \right)^{-0.083} + 0.723 \left(\frac{h_1}{p} \right)^{0.088} + 0.182 \left(\frac{b_w}{B} \right)^{-0.241}$	Bagheri vd. [47]
(3.6)	$C'_{dw} = 0.265F_1^{-0.404} \left(\frac{h_1}{b_w} \right)^{-0.115} \left(\frac{h_1}{p} \right)^{0.134} \left(\frac{b_w}{B} \right)^{-0.086}$	Bagheri vd. [15]
(3.14)	$C_{dw} = \left[1.1308 - 1.5396 \left(\frac{p}{b_w} \right)^{0.0394} - 0.1492(F_1)^{0.8292} + 0.0105 \left(\frac{y_1}{b_w} \right)^{3.6295} + 0.487 \left(\frac{B}{b_w} \right)^{-0.0357} \right]^{0.2322}$	Shariq vd. [16]

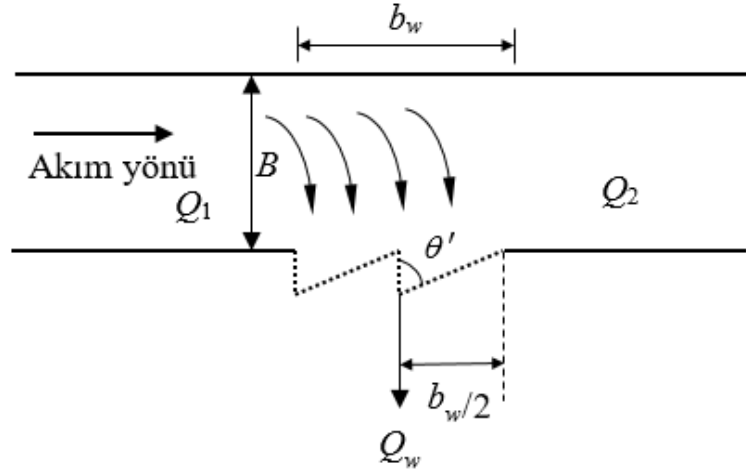
Savak türü olarak klasik dikdörtgen savaklardan başka farklı savak türleri de incelenmiştir. Ura vd. [55] verev yan savakları (*oblique side weir*) incelemişlerdir. Doğrusal olmayan yan savak tipleri üzerinde de bazı çalışmalar yapılmıştır. Özellikle labirent yan savakların deşarj kapasitelerinin klasik savaklara göre çok daha yüksek olduğu [9,10,14,19,56] tespit edilmiş, bu

nedenle labirent savakların son yıllarda daha kapsamlı çalışıldığı görülmüştür. Uygulamada da bu tür savakların kullanımı bilinmektedir. Ura vd. [55] verrev yan savakların (*oblique side weir*) hidrolik karakteristiklerini incelemişlerdir. Araştırmacılar verrev yan savaklar için Eşitlik (3.15)'i önermişlerdir.

$$C_{dw} = 0.611 \left[\cos(\theta') \left(\frac{3F_1^2}{2 + F_1^2} \right)^{0.5} + \sin(\theta') \left(1 - \frac{3F_1^2}{2 + F_1^2} \right)^{0.5} \right] \sin(\theta') \quad (3.15)$$

burada θ' kanal eksenine göre yan savağın verrev açısı ($^\circ$) temsil etmektedir.

Borghei ve Parvaneh [57] modifiye edilmiş verrev yan savakların debi katsayısını kritik altı akım koşullarında incelemişlerdir. Araştırmacılar, sabit bir savak açıklığı, farklı kret yükseklikleri ve farklı verrev açıları kullanarak Şekil 3.4'te plan görünümü verilen modifiye edilmiş verrev savakları araştırmışlardır. Bu çalışmada debi katsayısını elde etmek için De Marchi yaklaşımı kullanılmıştır. Planda verilen verrev savakların debi katsayısı için Eşitlik 3.16'ı önermişlerdir. Borghei ve Parvaneh [57], verrev savak θ' kıvrım açısının küçülmesi ile savak kret uzunluğu ve deşarj kapasitesinin arttığını belirtmişlerdir. Test edilen θ' değerleri arasında 30 derece için elde edilen deşarj kapasitesi değerlerinin en yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.



Şekil 3.4. Verrev yan savağın şematik görünümü [57]

$$C_{dw} = \left[-0.18 \left(\frac{F_1}{\sin \theta'} \right)^{0.71} - 0.15 (F_1)^{0.44} + \left(\frac{p}{y_1} \right)^{0.7} \right] x \left[-2.37 + 2.58 \left(\frac{p \sin \theta'}{y_1} \right)^{-0.36} \right] \quad (3.16)$$

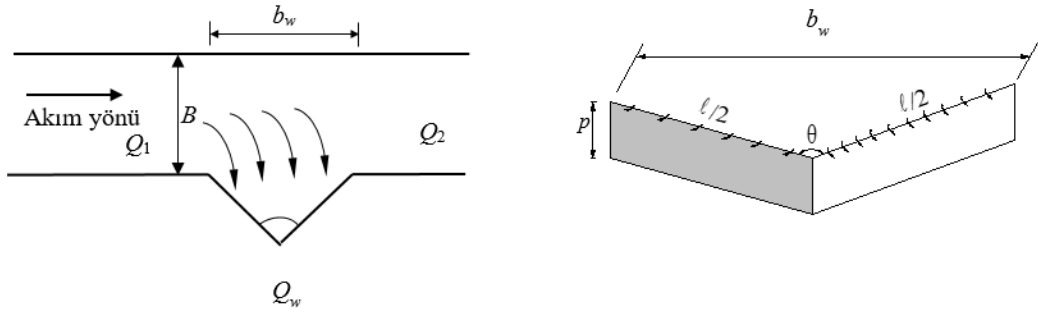
θ' modifiye edilmiş verev yan savak açısı (*modified oblique side weir included angle*) ($^\circ$) ifade etmektedir.

Aydin ve Emiroglu [19] çalışmalarında deneysel çalışmada elde edilen bulguları kullanarak labirent üçgen savakların akım karakteristiklerini yanal akım için sayısal simülasyon kullanarak incelemişlerdir. Bu çalışmada, F_1 ve $(y_1 - p)/p$ gibi boyutsuz bazı parametrelerin belirli θ ve b_w/B değerleri için labirent yan üçgen savakların düz bir kanalda nümerik analizleri yapılmıştır. HAD modellerinde kullanılan açık kanal sınır koşulları, labirent tarafı savak üzerindeki akışın simülasyonu için verimli bir yaklaşım sağlar. Hem HAD hem de fiziksel modelin sonuçları, $(y_1 - p)/p$ değerlerinin artmasıyla C_{dw} katsayısının azaldığını, labirent tarafı savak içindeki sekonder akımın etkilerinden dolayı F_1 'in artmasıyla arttığını göstermiştir. Sadece $b_w/B=0.50$ değerleri için, C_{dw} değerleri, sekonder akımın düşük yoğunluğu nedeniyle keskin tepeli yan savak gibi Froude sayısının artmasıyla azalır. Elde edilen tüm sonuçlara göre, HAD sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında uyum olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, HAD ve deneysel sonuçlar arasında yan savak deşarjlarına göre $\pm\%11$, RMSE=2.016 ve APE=10.64'lük bir aralık hatası elde edildiği bildirilmiştir.

Emiroglu vd. [9] üçgen labirent yan savakların akım karakteristiklerini detaylı bir şekilde incelemişlerdir (Şekil 3.5). Bu çalışmada, labirent yan savaklarının deşarj katsayısını belirlemek için 2.830 deney yapılmış ve sonuçlar analiz edilerek boyutsuz savak uzunluğu b_w/B , boyutsuz efektif b_w/l , boyutsuz savak yüksekliği p/y_1 , üçgen labirent yan savak açısı θ ve memba Froude sayısı F_1 'nin deşarj katsayısı, su yüzeyi profili ve yan savak boyunca kanaldaki hızlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, labirent yan savakların deşarj kapasitesinin klasik yan savakların deşarj kapasitesine göre oldukça yüksek olduğu tespit edilmiş ve labirent savak deşarj katsayısı için güvenilir bir denklem sunulmuştur. Labirent yan savak deşarj kapasitesinin, dikdörtgen yan savağın deşarj kapasitesine göre 1.50-4.50 kat daha büyük olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, bu çalışmada yan savak boyunca su yüzü profilleri, yan savak akım bölgesinde teğetsel hız diyagramları incelenmiştir.

$$C_{dw} = \left[18.6 - 23.535 \left(\frac{b_w}{B} \right)^{0.012} + 6.679 \left(\frac{b_w}{l} \right)^{0.112} - 0.502 \left(\frac{p}{y_1} \right)^{4.024} + 0.094 \sin(\theta) - 0.393 F_1^{2.155} \right]^{-1.431} \quad (3.17)$$

burada l etkili kret uzunluğudur.



Şekil 3.5. Üçgen labirent yan savakların akım karakteristikleri [9]

Emiroglu ve Kaya [10] F_1 , p/y_1 , b_w/B , b_w/l ve α boyutsuz parametrelerinin deşarj katsayısına etkisini araştırmak için düz bir kanalda yerleştirilen trapez labirent yan savakları kullanarak deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- (1) Trapez labirent yan savağın deşarjını tahmin etmek için De Marchi yaklaşım denkleminin kullanılabileceği gösterilmiştir.
- (2) Trapez labirent yan savakların deşarj katsayıları, dikdörtgen yan savaklardan çok daha yüksek değerlere sahiptir, ancak üçgen labirent yan savaklarından biraz daha yüksektir. Debi katsayısı C_{dw} , yan duvar açısındaki α azalma ile artar. Bunun bir nedeni artan kret uzunluğu olabilir. Yanal akımın oluşturduğu sekonder akımın yoğunluğu, artan savaklama uzunluğu ile artar.
- (3) Trapez labirent yan savak deşarj katsayısı, dikdörtgen yan savağı debi katsayısına göre 1.50 ila 5.00 kat daha büyüktür.
- (4) p/y_1 ve F_1 değerlerindeki artışla C_{dw} deşarj katsayısı değerleri artar. Ayrıca, b_w/B oranı arttıkça deşarj katsayısı C_{dw} artar.
- (5) Bu çalışmada önerilen denklem De Marchi yaklaşımıyla elde edilen debi katsayısının kritik altı akım koşulları için güvenilir olduğu gösterilmiştir.

$$C_{dw} = \left[1.063 \left(\frac{b_w}{B} \right)^{0.002} - 0.069 \left(\frac{b_w}{l} \right)^{0.074} + 0.0045 \left(\frac{p}{y_1} \right)^{5.209} - 5.196 (\sin \alpha)^{38.754} + 0.003 F_1^{2.582} \right]^{222.104} \quad (3.18)$$

Trapez labirent yan savağın duvar açısı α derece cinsindendir.

Borghei vd. [56] üçgen labirent yan savakların akım karakteristiklerini bir ve iki göz için incelemiştir. Araştırmacılar bazı durumlarda aynı açıklık uzunluğuna ve akım koşullarına sahip normal bir yan savak ile karşılaştırıldığında, bir labirent yan savak için yanıl deşarj, literatürde ana hatlarıyla verilen yaklaşımlar kullanılarak iki katından daha fazladır. Bu nedenle hem bir göz hem de iki gözlü üçgen labirent yan savak için, etkili boyutsuz değişkenlerin farklı bir kombinasyonu ile C_{dw} 'yi hesaplamak için iki denklem önerilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular aşağıdaki verilmiştir.

(a) İki gözlü üçgen labirent yan savak için çıkıntı uzunluğu λ aynı efektif uzunluk l sahip tek gözlü yan savağına göre azdır.

(b) Üçgen bir labirentin savak verimliliğı, geleneksel bir yan savaktan daha fazladır.

(c) Bir ve iki çevrimli üçgen labirent yan savaklar için girdap önleyici plakalar ve havalandırmanın etkisi, sonuçlara önemli farklılıklar katacak kadar önemlidir.

Araştırmacılar bir gözlü üçgen labirent yan savaklar için Eşitlik (3.19)'u sunmuşlardır.

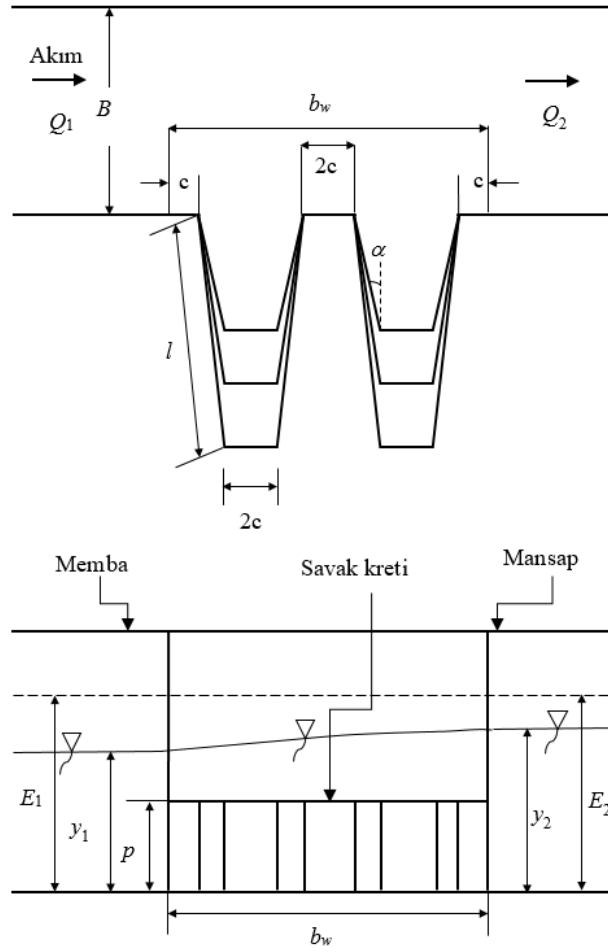
$$C_{dw} = \frac{0.076 \left(\frac{b_w}{B \sin \left(\frac{\theta}{2} \right)} \right)^{1.935} + \left(\frac{p}{y_1 - p} \right)^{0.24}}{1 + 0.802 \left(\frac{1}{\sin \left(\frac{\theta}{2} \right)} \right)^{-2.435} + 0.621 \left(\frac{F_1}{\sin \left(\frac{\theta}{2} \right)} \right)^{-0.403}} \quad (3.19)$$

Araştırmacılar iki gözlü üçgen labirent yan savaklar için Eşitlik (3.20)'i sunmuşlardır.

$$C_{dw} = \frac{-0.269 \left(\frac{b_w}{B \cdot \sin \left(\frac{\theta}{2} \right)} \right)^{-1.188} + \left(\frac{p}{y_1 - p} \right)^{0.18}}{1 + 0.649 \left(\frac{1}{\sin \left(\frac{\theta}{2} \right)} \right)^{-0.505} + 0.056 \left(\frac{F_1}{\sin \left(\frac{\theta}{2} \right)} \right)^{-1.275}} \quad (3.20)$$

Emiroglu vd. [14] çalışmalarında nehir rejimi akım koşullarında düz ve dikdörtgen bir ana kanal üzerinde yer alan bir ve iki gözlü trapez labirent yan savağının deşarj katsayısındaki değişimini deneysel bir incelemesini sunmaktadır. Bir ve iki gözlü bir trapez labirent yan savağının deşarj katsayısını tahmin eden ampirik korelasyonlar geliştirilmiştir. Şekil 3.6'da araştırmacıların yürüttüğü çalışma için trapez yan savakların plan ve kesit görünümleri verilmiştir. Temel bulgular aşağıda verilmiştir.

- (1) Labirent dolusavakların aksine, labirent yan savaklar için her bir göz sayısı için deşarj katsayısını belirlemek için farklı bir denklem gerektirir.
- (2) Ana kanalda aynı açıklık uzunluğu için bir veya iki gözlü labirent yan savağın deşarj kapasitesinde büyük bir fark yoktur. Ancak, sonuçlar tek gözlü bir yan savak için daha büyüktür.
- (3) Daha büyük b_w/B oranları için, tek gözlü bir yan savak için elde edilen ilişki, iki gözlü yan savaklar için yaklaşık sonuçlar verebilir; bu nedenle ilişki dikkatli kullanılabilir.
- (4) Yukarıda önerilen şekilde dışarı akış savağı deşarjının hesaplanması $b_w/B < 0.50$ değerleri için uygun değildir. Başka bir deyişle, $b_w/B < 0.50$ ise, tek gözlü bir yan savak için elde edilen ilişki, çok gözlü yan savakları için uygun değildir.
- (5) Bir ve iki gözlü trapez labirent yan savaklarının deşarj kapasitesi, küçük yan duvar açıkları için yüksek $\frac{y_1 - p}{p}$ değerlerinde azalmaktadır.
- (6) Bu çalışmada, bir ve iki gözlü trapez labirent yan savakları için iki yeni denklem sunulmuştur. Bir gözlü ve iki gözlü labirent savakların C_{dw} debi katsayısı için sırası ile Eşitlik (3.21) ve (3.22)'i önermişlerdir.



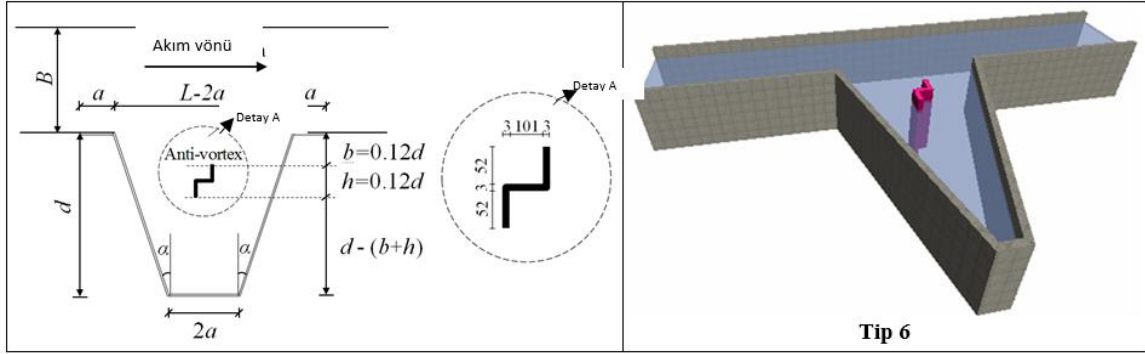
Şekil 3.6. İki gözlü trapez labirent yan savak [14]

$$C_{dw} = \left[\begin{aligned} & -10.054 \left(F_1 \frac{l}{b_w} \right)^{0.039} - 0.001 F_1 \left(\frac{b_w}{B} \right)^{-6.79} - 0.438 \left(\frac{l}{b_w} \right)^{-0.284} \\ & + 0.52 F_1 \left(\frac{y_1 - p}{p} \right)^{-0.114} + 11.178 \left(F_1 \frac{y_1 - p}{p \sin \alpha} \right)^{0.013} \end{aligned} \right]^{-3.64} \quad (3.21)$$

burada l yan savağın efektif kret uzunluğu, α labirent trapez yan savağın duvar açısı derece cinsindendir.

$$C_{dw} = \left[-0.001F_1^{-1.78} + 0.10 \left(\frac{b_w}{B} \right)^{0.22} - 2.036 \left(\frac{y_1 - p}{p} \right)^{0.03} + 2.82 \left(\frac{l}{b_w \sin \alpha} \right)^{0.02} \right]^{5.77} \quad (3.22)$$

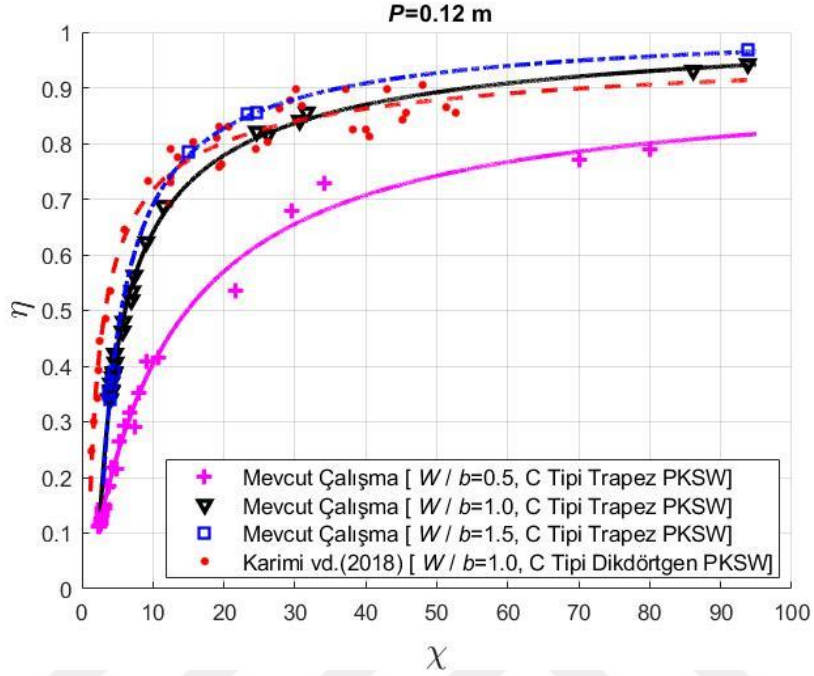
Emiroglu vd. [58] trapez labirent yan savaklarda anti-vorteks kullanarak savak teknesinde oluşan vorteks oluşumu azaltılarak, deşarj kapasitesi arttırılmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmada farklı geometriye sahip anti-vorteksler kullanılmıştır. Anti-vorteks kullanımının deşarj kapasitesini arttırdığını bulmuşlardır. Yazarlar test ettikleri anti-vorteks tipleri arasında en iyi performansı sağlayan tip Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Labirent yan savaklarda anti-vorteks tipi [58]

Kılıç [59] yaptığı tez çalışmasında piyano tuşu (PKW) yan savakların hidrolik karakteristiklerini sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Araştırmacı deneysel verilerden yola çıkarak Flow-3D programı ile RNG türbülans modelini kullanarak PKW yan savakların sayısal simülasyonunu yapmıştır. Araştırmacı ayrıca farklı koşullara sahip PKW yan savakların deşarj verimini ($\eta = Q_w/Q_1$) mansap koşullarını için hesaplayarak PKW yan savakları detaylı bir şekilde incelemiştir. Deşarj verimi (η), PKSW’nin savakladığı debi Q_w ’nin ana kanala giren Q_1 debisine oranı şeklinde ifade edilmektedir. Araştırmacı, deney sonuçlarının büyük η değerlerinin küçük Froude sayılarında gerçekleştiğini gösterdiğini dile getirmiştir. Froude sayısı arttıkça η azalmaktadır. Araştırmacı sabit bir p/y_2 değeri için, Froude değerlerindeki artışla beraber η değerlerinin azalma göstereceğini belirtmiştir. Benzer şekilde Froude değerinin sabit olması halinde p/y_2 değerindeki artışla η değerleri azalmakta olduğunu bulmuştur. Ayrıca b_w/B oranının artması ile η değerlerinin arttığı, kret yüksekliğine bağlı olarak belirgin bir değişimin gerçekleşmediğini ifade etmiştir. Araştırmacının çalışmasında elde ettiği deşarj verimi Şekil 3.8’de

verilmiştir. Ayrıca araştırmacının deneysel ve sayısal çalışmadan elde ettiği sonuçlar Tablo 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.8. $p = 0.12$ m için PKSW’nin verimi [59]

Tablo 3.2. Araştırmada elde edilen bulgular [59]

Savak Tipi	Q_1 (L/s)	Q_w (L/s)		Q_w/Q_1 (%)	Bağıl hata (%)
		Deneysel	Sayısal		
C dikdörtgen	31.0	23.762	25.55	82.40	7.5
C dikdörtgen	67.7	24.763	25.15	37.10	1.5
C dikdörtgen	85.5	23.531	21.50	25.10	8.6
C dikdörtgen	101.4	26.429	24.69	24.70	6.6
A dikdörtgen	27.1	22.220	21.64	79.92	2.6
A dikdörtgen	51.2	43.720	44.95	87.79	2.8
A dikdörtgen	76.5	34.400	40.55	53.01	17.9
A dikdörtgen	98.7	27.450	33.17	42.66	20.8
B dikdörtgen	27.4	22.149	17.64	64.40	20.3
B dikdörtgen	45.0	36.639	31.58	70.20	13.8
B dikdörtgen	75.4	45.145	40.50	53.70	10.3
B dikdörtgen	102.1	40.385	36.96	36.20	8.5
D dikdörtgen	35.0	27.942	31.71	90.60	13.5
D dikdörtgen	55.2	22.082	24.64	44.60	11.6
D dikdörtgen	80.7	22.096	23.12	28.60	4.6

Tablo 3.2 (devamı)

D dikdörtgen	118.1	31.039	31.86	27.00	2.6
C Trapez	30.40	24.752	24.28	79.90	1.9
C Trapez	115.0	40.690	34.78	30.20	14.5

3.2. Yan Kapaklar

Bir yan kapak, yan kanala yanal çıkışın gerçekleştiği bir kanalın yan tarafındaki bir açıklıktır [25]. Yan kapaklar sulama, arazi drenajı, kentsel kanalizasyon sistemleri, sıhhi tesisat mühendisliği, fırtına tahliyesi ve dağıtımların baş düzenleyicileri olarak kullanılmaktadır. Bir yan kapaktan geçen akış, azalan deşarj ile uzamsal olarak değişen akışın tipik bir durumudur (Şekil 2.10). Literatür taramasına göre, yan kapaklarının önemine rağmen, bu yapılardan geçen akışın davranışını incelemeye çok az dikkat edildiği görülmektedir.

Panda [27] tez çalışmasında, yanal kapak altı akımının karakteristiklerini hem serbest hem de batmış akım koşulları için incelemiştir. Araştırmacı, yanal kapakların debi katsayısını elde etmek için De Marchi yaklaşımını kullanmıştır. Panda [27] kapak debi katsayısının Froude sayısının artmasıyla azaldığı ve $0.06 < F_1 < 0.40$ koşulları için debi katsayısını elde etmek için aşağıdaki eşitliği önermiştir.

$$C_{dg} = 0.30F_1^{-0.40} \quad (3.23)$$

Gill [60] orifisten geçen yanal akımın teorik analizini incelemiştir. Araştırmacı, ana kanaldaki yan orifisin uzunluğu boyunca sürtünme kayıplarını ve ana kanalın eğimini ihmal etmiştir. Gill [60], çalışmasında hem serbest yüzeyli hem de basınçlı akımı incelemiştir. Neredeyse sürtünmesiz akımlar ve yataya yakın kanallar için basit cebirsel çözümler elde edilmiştir. Bu basitleştirmelerin nispeten kısa yandan alıslı orifisler için geçerli olduğunu belirtmiştir (kanalizasyonda olduğu gibi).

$$\frac{dQ_s}{dx} = C_{ds}s_a\sqrt{2g\left(y-s-\frac{s_a}{2}\right)} = -\frac{dQ}{dx} \quad (3.24)$$

burada Q_s orifis debisini (m^3/s), C_{ds} orifis debi katsayısı, s_a orifis açıklığı (m), s orifisin tabandan itibaren yüksekliğini (m) temsil etmektedir.

Dikdörtgen orifis için sadeleştirildiğinde;

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2C_{ds}s_a\sqrt{(E-y)(y-s-\frac{s_a}{2})}}{B(3y-2E)} \quad (3.25)$$

$y=y_2=E$ için

$$\begin{aligned} \frac{C_{ds}s_ab_s}{B} &= \frac{3}{2} \left[\sqrt{(E-y_1)(y_1-s-\frac{s_a}{2})} \right] \\ &\quad - \frac{1}{2} \left[E - 3 \left(s + \frac{s_a}{2} \right) \right] \sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{E-y_1}{E-s-\frac{s_a}{2}}} \right) \end{aligned} \quad (3.26)$$

burada b_s orifis genişliğini göstermektedir. Nihai olarak yan kapak için basitleştirilirse;

$$\frac{dQ_g}{dx} = -C_{dg}a\sqrt{2g\left(y-\frac{a}{2}\right)} \quad (3.27)$$

Swamee vd. [25] yan kapağın deşarjı hesaplamak için, kapak uzunluğundaki küçük bir kesitin diferansiyelini alarak debi katsayısı elde edilebileceğini söylemişlerdir. Karşıdan alışı bir kapağa benzer şekilde, serbest akım koşulları için yan kapak debi katsayısının, kanaldaki akım derinliğinin kapak yüksekliğine oranının bir fonksiyonu olduğu bulunmuştur. Ayrıca batmış akım koşulları için de kapak arkasındaki su derinliğinin (kuyruk suyu) kapak yüksekliğine oranına da bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Kalın kenarlı bir yan kapak için ise, debi katsayısının plak kalınlığının kapak açıklığına oranına da bağlı olduğu dile getirmişlerdir. Araştırmacılar aşağıdaki eşitliği önermişlerdir.

$$C_{dg} = 0.611 \left(\frac{y-a}{y+a} \right)^{0.216} \quad (3.28)$$

Ojha ve Subbaiah [24] orifis debi katsayısını incelemek için hem küçük açıklı orifis için hem de büyük açıklıklı orifisler için varsayımlar kullanılarak formüle edilmiştir. Bu amaçla Gill [60]'in kullandığı Eşitlik (3.24)'ü aşağıdaki şekliyle geliştirilmiştir.

$$\frac{dQ_s}{dx} = \frac{2}{3} C_{ds} \sqrt{2g} [(y-s)^{1.5} - (y-s-s_a)^{1.5}] \quad (3.29)$$

Ghodsian [26] yan kapakların hidrolik özelliklerini incelemek için deneysel bir çalışma yürütmüştür. Ayrıca, yan kapakların deşarj katsayılarını belirlemek için de De Marchi yaklaşımını kullanmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda özgül enerjinin yan savak boyunca sabit kaldığı tespit edilmiştir. Serbest akım koşullarında, yan kapak debi katsayısının ana kanaldaki Froude sayısı ve akım derinliğinin kapak açıklığına oranına bağlı olduğunu bildirmiştir. Ayrıca batmış akım koşulları içinde yukardaki değişkenlerin yanı sıra kapak arkasındaki kuyruk suyu derinliğinin kapak açıklığına oranına da bağlı olduğu dile getirmiştir. Ghodsian [26] hem serbest akım için hem de batık akım için ayrı ayrı aşağıda eşitlikler önermiştir.

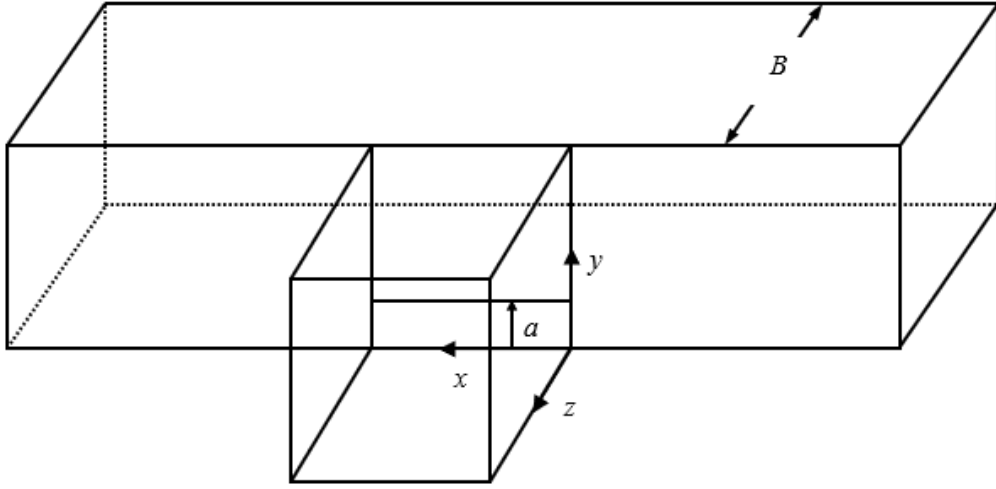
Serbest akım için

$$C_{dg} = 0.611 \left(\frac{\frac{y_1}{a} - 1}{\frac{y_1}{a} + 1} \right)^{0.216} (1 + 0.558F_1^{0.1526})^{0.46} \quad (3.30)$$

Batmış akım için

$$C_{dg} = 0.611 \left(\frac{\frac{y_1}{a} - 1}{\frac{y_1}{a} + 1} \right)^{0.216} \left\{ 0.24 \left[\frac{2.5y_t \left(\frac{y_t}{a} \right)^{0.20} - y_1}{y_1 - y_t} \right]^{0.67} + 1 \right\}^{-1} (y_1 + 0.558F_1^{0.1526})^{0.46} \quad (3.31)$$

Esmailzadeh vd. [61] çalışmalarında kritik altı akımda (nehir rejimi) yan kapakları inceleyerek yan kapakların 3 boyutlu (x, y ve z yönü) hızlarını Akustik Doppler Meter kullanarak ölçmüşlerdir. Araştırmacılar, kritik altı akımda x yönündeki hızın en büyük değerinin membanın yakınında en küçük değerlerinin ise mansabın yakınında olduğunu bulmuşlardır. Araştırmacılar, y ve z yönündeki hızların en büyük değerlerinin ise yan kapağın ortasında oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Şekil 3.9'da araştırmacıların ölçüm yaptıkları yanal kapak altı akımının görünümü verilmiştir.



Şekil 3.9. Yanal akımda kapak altı akımının görünümü [61]

Azamathulla et al. [62] çalışmalarında genetik programlamanın (GP) bir uzantısı olan gen ekspresyon programlamasını (GEP) kullanarak serbest akım koşulları altında bir dikdörtgen yan kapaktan çıkan deşarjın tahminini sunmuşlardır. Bir yan kapaktan geçen akışı orifis akışı olarak kabul ederek, deşarj tahmini için kapalı form bir denklem elde edilmiştir. Yan kapak debi katsayısı, ana kanaldaki memba Froude sayısı ve membadaki akım derinliğinin kapak açıklığının oranı ile ilgili belirtmişlerdir. GEP ve mevcut veriler kullanılarak yan kapak debi katsayısı için önerilen denklem, istatistiksel yaklaşıma dayalı olarak türetilen yan kapak debi katsayısı eşitliklerine kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Aşağıdaki eşitliliği bir dikdörtgen yan kapak debi katsayısı tahmini için önermişlerdir.

$$C_{dg} = -\frac{\tan^{-1}\left(\tan^{-1}\left(\sin\left(\log\left(\frac{y_1}{a}\right)\right)\right) + F_1\right)}{7.953} - \frac{\tan^{-1}\left(\sin\left(\cos\left(\sin\left(\frac{y_1}{a}\right)\right)\right)\right)}{7.348} + \tan^{-1}\left(\cos\left(\frac{F_1}{-\frac{8.54}{F_1} + \left(\frac{y_1}{a}\right)^{\frac{1}{3}}}\right)\right) \quad (3.32)$$

Kianmehr vd. [63] kritik altı akım rejiminde serbest ve batık akış koşullarında keskin kenarlı dikdörtgen yan kapağın su yüzeyi profilini ve deşarjını belirlemektir. Bu çalışma ayrıca serbest veya batık akış koşullarını ayırt etmek için bazı yaklaşımlar sunmaktadır. Bu amaçla, yan kapaktan geçen akım denkleminin çözümüne yönelik iki yaklaşım kullanılmıştır. Bu çalışmada, kritik altı bir

akım rejiminde yan kapakların akım özelliklerinin belirlenmesinde yan kapakların deşarj denkleminin doğrudan çözümü ve tedrici olarak değişken akım deneysel olarak incelenmiştir.

1. Çözüm

$$\frac{dQ_g}{dx} = -\frac{2}{3}C_{dg}\sqrt{2g}[(y)^{1.5} - (y-a)^{1.5}] \quad (3.33)$$

2. Çözüm

$$Q_g = \frac{2}{3}C_{dg}b_g\sqrt{2g}[y_1^{1.5} - (y_1 - a)^{1.5}] \quad (3.34)$$

Kullanılan farklı çözümlerin sonunda Gill [60]'in tedrici değişken akım için önerdiği eşitliğin en iyi sonuçları verdiği tespit edilmiş ve ayrıca her iki yaklaşımın da birbirine yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ayrıca araştırmacılar serbest ve batık akım koşulları için ayrı ayrı eşitlikler önermiştir.

Serbest akım

$$C_{dg} = 0.5665 \left(\frac{y_1}{a}\right)^{0.0513} \quad (3.35)$$

Batmış akım

$$C_{dg} = -0.514 \left(\frac{y_1}{y_t}\right)^{-(2.635\left(\frac{a}{y_1}\right)+1.93)} + 0.616 \quad (3.36)$$

3.3. Birleşik Savak-Kapak Yapısı

Savak ve kapaklar açık kanal akımlarında birbirlerinden bağımsız olarak çok uzun zamandan beri hidrolik mühendisliğinde kullanılmaktadır. Ancak, savaklar arkasında biriken sediment ve kapaklar arkasında yüzen malzemelerin birikmesi gibi çeşitli dezavantajlar da vardır [45,46,64]. Bu tür problemlerin üstesinden gelebilmek için birleşik çalışan savak ve kapak kullanılarak birikecek malzemelerin kapak altından mansaba geçmesi sağlanacak ve bu şekilde sediment birikmesi problemi çözülmüş olacaktır [45,46,64,65]. Ayrıca yüzen malzemelerin de savak üstünden mansaba geçişi sağlanarak ortaya çıkan problem bu sayede giderilecektir. Bu tür problemler, birleşik bir savak ve kapak sistemi kullanılarak aşılabılır [45,46,64,65].

Birleşik çalışan savak ve kapaklar ile ilgili olarak 90'lı yılların sonuna doğru yoğunlaşan çalışmalarda Ahmed [28] sınırlı deneysel verilerle birleştirilmiş dikdörtgen ve savak yapısının önden alışlı akım için araştırarak açık kanal akımlarında birleşik çalışan savak ve kapak yapılarının çalışmasına öncülük etmiştir. O zamandan beri, birçok araştırmacı önden alışlı akımlar için birleşik savak ve kapaklarını incelemiştir ve farklı birleşik savak-kapak yapılarını tanıtmıştır [32,35,66,39–43,45,46,64].

Alhamid vd. [31] savakların arkasında biriken sedimantasyon problemlerini minimize etmek ve bu hidrolik yapıların kapasitesini ve ölçümlerinin doğruluğunu artırmak için üçgen savak ve dikdörtgen kapak kombinasyonunu önermiş ve bu yapıları deneysel olarak araştırmışlardır. Bu çalışmada, farklı geometrik kombinasyonlara (kapak uzunluğu ve açıklığı ve üçgen savak açısı) sahip farklı modeller test edilmiştir. Yatay ve eğimli kanallarda birleşik akım serbest akım koşulları (batmamış akım) altında deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, birleşik savak ve kapaktan geçen akımın birleşik yapının geometrisi ve akım parametrelerinden etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca, araştırmacılar deneysel verilere dayalı bir yarı ampirik deşarj denklemi elde etmiş ve önerilen eşitliğin %4'ten daha az bir mutlak hataya sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Alhamid [41] üçgen savak ve dikdörtgen kapak yapılarının kullanarak birleşik akımı incelemiş ve analiz etmiştir. Alhamid [41] yaptığı çalışmada farklı birleşik savak ve kapak boyutları (üçgen savak açısı, üçgen savak yüksekliği ve kapak açıklığı ve kapak uzunluğu kullanarak birleşik akımı hem serbest hem de batık kapak altı akım koşulları altında incelemiştir. Araştırmacı deneysel çalışmadan elde ettiği verileri analiz ederek ve birleşik akım üzerinde farklı akım koşulları ve birleşik yapı parametrelerinin rollerini tartışmıştır. Sistemdeki birleşik yapının deşarjı, savak üstü ve kapak altı akımlarının birbirine karışması sonucu ve akımı etkileyen parametrelerin sayısı nedeniyle karmaşık bir yapıya sahip olduğunu ifade etmiştir. Araştırmacı boyut analizine dayalı olarak doğrusal olmayan regresyon analizi kullanarak hem serbest hem de batmış kapak altı akım koşulları için birleşik savak ve kapak yapısının deşarj denklemini geliştirmiştir. Geliştirilen denklem, kapak etkisi, savak etkisi ve iki yapının kombinasyonundan oluşan yapı için parametrelerden oluşmaktadır. Araştırmacı, çalışmada elde edilen denklemin deneysel verilerle iyi bir uyum gösterdiğini ve önerilen eşitliğin çeşitli üçgen savak ve dikdörtgen kapak yapısı ve akım koşulları geniş bir aralığını kapsadığını dile getirmiştir.

Altan-Sakarya vd. [40] çalışmalarında beraber çalışan daraltılmış keskin kenarlı dikdörtgen bir savak ve daraltılmış keskin kenarlı dikdörtgen bir kapaktaki akım koşulları deneysel olarak araştırılmışlardır. Deneyler değişik üstten aşmalı savak ve kapak altı açıklıklarında yapılmıştır. Elde edilen verilerle beraber literatürdeki veriler de kullanılmıştır. Savak ve kapağın beraber çalışma durumunda ölçülen debi değerlerinin savak ve kapağın ayrı ayrı çalışmaları durumunda geçecek debilerin toplamından genelde biraz daha düşük olduğu görülmüştür.

Askeroğlu [65] yaptığı tez çalışmasında trapez kesitli savakların üstünden ve dikdörtgen kesitli kapakların altından olan birleşik akımları incelemiştir. Araştırmacı çalışmasını deneysel olarak yapmış ve birleşik akımı incelemek için boyut analizinden yararlanmıştır. Araştırmacı birleşik ve savak ve kapak yapısı ilk olarak tek bir debi katsayısı kullanarak incelemiş ancak elde edilen eğrilerin belli bir trende sahip olmaması nedeniyle bir sonuç elde edememiştir. Birleşik akımın tek bir debi katsayısı yolu ile değerlendirmenin kabul edilemeyecek hatalar verebileceğini açıklamıştır. Araştırmacı savak ve kapaklar arasında meydana gelen etkileşim katsayısı üzerinden giderek bir başka yaklaşım daha kullanmıştır. Ancak bu yaklaşımda ilk olarak kapak altı akımın, artan su seviyesi ile savak üstü akımın baskın olduğunu belirlenmiştir. Bu yaklaşımda, farklı b/B değerlerinde IF katsayısının y_1/a ile değişimi arasında belirgin bir ilişki olmadığını belirtmiştir. Araştırmacı, son olarak da bir başka yaklaşım olan mansaba geçen birleşik akım üzerinden analizler yapmıştır. Bu yaklaşımda birleşik akım üzerinde hangi parametrelerin etkili olduğu boyut analizi yaparak araştırılmıştır. Bu yaklaşımda yapılan boyut analizinde elde edilen boyutsuz birleşik debi değeri irdelenerek birleşik akım değerlendirilmiştir. Birleşik akımın bu denklemdeki parametrelerden b/a , Reynolds ve Weber sayısı ile olan değişiminin ihmal edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak birleşik akım hidrolik parametreler y_1/a ve h/b ve geometrik parametreler olan d/a ve b/B değerleri dikkate alınarak incelenmiştir. Araştırmacı çok regresyon kullanarak boyutsuz birleşik değeri tahmin etmek eşitlik önermiştir. Araştırmacı elde edilen eşitliklerin y_1/a ve d/a parametreler egemen olduğunu ve h/b 'nin etkisinin y_1/a ve d/a 'ya oranla daha az etkili olduğu ortaya koymuştur. Ayrıca geometrik bir parametre olan b/a 'nın kullanılan deney koşullarında birleşik akımda etkin olmadığını ifade etmiştir. Araştırmacı, aşağıdaki değişkenleri dikkate alarak boyut analizi yapmıştır.

$$\Phi(Q_c, b, a, h, y_1, B, d, m, S_0, g, \rho, \nu, \sigma) = 0 \quad (3.37)$$

Burada m trapez savağın şev eğimidir. Yapılan boyut analiz sonucu;

$$\Phi\left(\frac{Q_c}{b}, \frac{y_1}{a}, \frac{b}{B}, \frac{b}{a}, \frac{d}{a}, \frac{h}{b}, S_0, m, \text{Re}, \text{We}\right) = 0 \quad (3.38)$$

Tekrar düzenlenirse

$$\frac{\frac{Q_c}{b}}{(\sqrt{g}a^{1.5})} = \left(\frac{y_1}{a}, \frac{b}{B}, \frac{b}{a}, \frac{d}{a}, \frac{h}{b}, S_0, m, Re, We \right) \quad (3.39)$$

Bu eşitlikte; y_1/a ve h/b akıma etkileyen hidrolik parametreler, b/B , b/a ve d/a ise akımı etkileyen geometrik değişkenler olarak tanımlanmıştır. Araştırmacı d/a ifadesine engelleme oranı b/B ifadesine ise daralma oranı olarak adlandırmıştır. Trapezin şev eğimi ve taban eğimi sabit olduğunda ihmal edilerek;

$$q_t = \frac{\frac{Q_c}{b}}{(\sqrt{g}a^{1.5})} = \left(\frac{y_1}{a}, \frac{b}{B}, \frac{b}{a}, \frac{d}{a}, \frac{h}{b}, Re, We \right) \quad (3.40)$$

burada q_t boyutsuz birleşik değeridir.

Ferro [34] yaptığı çalışmada önden alışı akımlar için boyut analizi ve benzerlik teorisi kullanarak teorik analize ve deneysel çalışmaya dayanan birleşik savak ve kapaklar için derinlik-debi ilişkisi elde etmiştir. Bu çalışmada, savak üzerinden ve kapak altından aynı anda boşalan bir akım için derinlik-deşarj ilişkisini kurmak için yapılan bir incelemenin sonuçları rapor edilmiştir. Çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar, benzerlik teorisi ve boyut analizine göre elde edilen derinlik-debi ilişkisinin doğruluğu ve uygulanabilirliğini teyit etmiştir.

Negm [30] kutu menfez ve geniş tepeli savak üzerinden eşzamanlı akan birleşik akımı deneysel olarak araştırma yapmıştır. Araştırmacı, bu çalışmada kutu menfez çıkışındaki akımın batmış akım olarak kabul etmiş ve hem menfez hem de geniş tepeli savağın (BCW) genişliklerinin kanal genişliğinden daha küçük olduğu söylemiştir. Bu çalışmanın ilk bölümünde, her iki yapı boyunca eşzamanlı akımın özellikleri ve yapının akım ve geometrik parametrelerinin etkileri sunulmuştur. Bu bölümde çoklu doğrusal regresyon, geniş tepeli savak ve menfezin temeldeşarj denklemleri ve yapay sinir ağları kullanarakdeşarj tahmin modelleri geliştirilmiştir. Her üç modelin her birinin tahmini ve performansı ortalama bağıl mutlak hata, (MRAE), kök ortalama kare hata (RMSE), korelasyon katsayısı (R) ve standart hata olmak üzere dört ölçüt kullanılarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yapay sinir ağları (ANN) kullanarak elde edilen sonuçların, geniş tepeli savak ve menfezin temeldeşarj denklemlerine dayanan model üzerinde diğer modellere kıyasla güçlü bir tahmin aracı olduğunu göstermiştir. İlgili değişkenlerin göreceli önemini yansıtmak için duyarlılık analizi de yapılır. Bu çalışmada yapılan duyarlılık analizi, en önemli boyutsuz değişkenin nispi memba su derinliği y_1/a olduğunu, sırasıyla batıklığın, b_w/a , S_0 , b_w/b_g ve son olarak da b_g/a olduğunu göstermiştir.

Negm [37] çalışmasında, hidrolik ve geometrik parametrelerin eşzamanlıdeşarj yani birleşik akımın debisi üzerindeki etkilerini tartışmış ve aynı zamanda eşzamanlı akan birleşik akım debisini

tahmin etmek için boyutsuz bir deşarj denklemi geliştirmiştir. Bu çalışmada, savak ve kapakların bilinen denklemleri kullanılarak genelleştirilmiş bir deşarj modeli önerilmiştir. Önerilen denklem hem serbest hem de batmış kapak altı akım koşullarında geniş bir dizi deneysel veri kullanılarak kalibre edilmiştir. Denklem, savak üstü-kapak altı akımın etkileşim etkisini açıklayan bir faktörün kullanımına ve mevcut savak ve kapak denklemlerinin kullanımına dayanmaktadır. Önerilen modelin tahminleri, verilerin yaklaşık %90'ı için ± 5 'ten daha az bir sapma ile gözlemlerle iyi bir uyum içindedir. Ayrıca, eşzamanlı deşarjlar (birleşik akım) için bir tahmin modeli geliştirmek için yapay sinir ağları kullanmıştır. Bu çalışmada; (1) mevcut ve önceden geliştirilmiş tahmin regresyon modelleri, savaklar üzerinde ve kapakların altında eşzamanlı deşarj için karşılaştırılabilir tahmin üretmektedir, (2) önerilen modelin, tüm yönleriyle ve tüm değerlendirme kriterleri göz önüne alındığında, regresyon modellerinden çok daha iyidir. Araştırmacı, savak üstünden akan akım ile kapak altından akan akım arasındaki etkileşimi dikkate alarak etkileşim faktörünü (IF) tanımlamıştır. Kısaca ölçülen debiyi mevcut denklemlerle tahmin edilen savak üstü ve kapak altı akımının toplam debisine oranı olarak ifade etmiştir.

$$Q_c = IF \left(\frac{2}{3} C_{dw} b_w \sqrt{2gh}^{1.5} + C_{dg} a b_g \sqrt{2gy_1} \right) \quad (3.41)$$

Araştırmacı yaptığı boyut analizi sonucunda etkileşim faktörü (IF):

$$IF = f \left(\frac{b_g}{a}, \frac{b_w}{B}, \frac{b_w}{a}, \frac{d}{a}, \frac{a}{y_1}, \frac{h}{p} \right) \quad (3.42)$$

Araştırmacı serbest akım koşullarında etkileşim faktörünü tahmin etmek için aşağıdaki eşitliği önermiştir.

$$IF = -0.318 + 0.039 \left(\frac{b_g}{a} \right) + 10.061 \left(\frac{b_w}{B} \right) - 3.351 \left(\frac{b_w}{a} \right) + 1.858 \left(\frac{d}{a} \right) - 1.374 \left(\frac{a}{y_1} \right) - 0.206 \left(\frac{h}{p} \right) \quad (3.43)$$

Negm vd. [39] serbest akım koşulları için yaptığı çalışmada keskin kenarlı dikdörtgen savaklar ve kapakları kullanarak birleşik akım özellikleri ile ilgili deneysel bir araştırmanın sonuçları sunmuşlardır. Bu çalışmada, deneylerler farklı akım koşulları altında ve çeşitli geometrik boyutlar kullanılarak bir gerçekleştirilmiştir. Boyutsuz formdaki ilgili geometrik ve hidrolik parametrelerle, deşarjı ilişkilendirmek için temel prensipler kullanılmıştır. Deneysel veriler,

geometrisi ve savak üzerindeki su yüksekliği bilinen bir birleşik yapıdan akan deşarjı tahmin etmek için bir boyutsuz denklem geliştirilmesi için kullanılmıştır. Ayrıca, birleşik savak-kapak akımı için modüler limit tartışılmış ve hesaplanması için bir denklem de yeniden sunulmuştur. Bu çalışmada hem viskozite ve hem de yüzey geriliminin etkisi, Reynolds sayısı (Re) ve Weber sayısının (We) dikkate alınmasıyla bu etkiler ele alınmıştır. Araştırmacılar bu çalışmada, birleşik bir savak ve kapak yapısının hem hidrolik hem de geometrik parametrelerin etkileri sunmuş ve bu yapının deşarj özellikleri tartışmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları boyut analizi sonucu elde ettikleri akım parametresi y_1/a ve geometrik parametre d/a 'nın deşarj üzerinde önemli etkilere sahip olduğu ancak diğer parametrelerin önemsiz olduğunu dile getirmiştir. Yaklaşık %5'lik bir ortalama mutlak hata ile y_1/a , h/b ve d/a cinsinden bir birleşik savak ve kapak için deşarj eşitliği geliştirilmiştir. Geliştirilen denklem, mevcut deneysel çalışmanın sınırlamaları dahilindeki gözlemlerle iyi bir uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, birleşik akım için modüler limit tartışılmış ve sınırlayıcı kuyruk suyu derinlik oranını hesaplamak için de bir eşitlik tanıtılmıştır. Araştırmacılar Reynolds sayısı $Re > 200000$ için viskozite etkisinin ihmal edilebilir, Weber sayısı $We > 40$ için yüzey geriliminin etkisinin ihmal edilebilir kabul edilebileceği belirtmişlerdir. Ayrıca, araştırmacılar H-savaklar üzerinde viskozite ve yüzey geriliminin etkilerinin dar açıklıklara sahip birleşik akım üzerinde oldukça önemli etkileri olduğunu belirtmişlerdir ($b/a < 1.0$ ve $d/a < 0.5$). Araştırmacılar, toplam debiyi kullanarak birleşik yapının debisini analiz etmişlerdir.

$$Q_c = \left(\frac{2}{3} C_{dw} b_w \sqrt{2gh}^{1.5} + C_{dg} a b_g \sqrt{2gy_1} \right) \quad (3.44)$$

Araştırmacılar, yukarıdaki verilen birleşik akım için debi eşitliği dikkate alıp bu yapılar için tek bir debi katsayısı varsayımı yaparak eşitlik düzenlenirse;

$$q_t = \frac{q_c}{\sqrt{2ga}^{1.5}} = C_d \sqrt{\left(\frac{y_1}{a}\right) + \frac{2}{3} C_d \left(1 - 0.20 \frac{h}{b}\right) \left(\frac{h}{a}\right)^{1.5}} \quad (3.45)$$

burada q_c birleşik akımın birim debisidir ($m^3/s \cdot m$). q_t ise boyutsuz debidir.

Araştırmacılar, yukardaki eşitliği ve boyut analizi kullanarak:

$$q_t = \frac{q_c}{\sqrt{2ga}^{1.5}} = f \left(Re, We, \frac{y_1}{a}, \frac{b}{B}, \frac{b}{a}, \frac{d}{a}, \frac{h}{p} \right) \quad (3.46)$$

Ayrıca birleşik akım debi katsayısı için:

$$C_d = f \left(\text{Re}, \text{We}, \frac{y_1}{a}, \frac{b}{B}, \frac{b}{a}, \frac{d}{a}, \frac{h}{p} \right) \quad (3.47)$$

Negm vd. [37] birleşik savak ve kapak yapısı için debiyi tahmin etmek için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir.

$$\frac{q_c}{\sqrt{2ga^{1.5}}} = -0.3863 + 0.8764 \left(\frac{y_1}{a} \right) - 0.1494 \left(\frac{h}{b} \right) - 0.7341 \left(\frac{d}{a} \right) \quad (3.48)$$

Araştırmacılar, etkileşim faktörü kullanarak da debi tahmini için eşitlik önermişlerdir.

$$Q_p = \text{IF} \left(\frac{2}{3} C_{dw} b_w \sqrt{2gh^{1.5}} + C_{dg} a b_g \sqrt{2gy_1} \right) \quad (3.49)$$

$$\text{IF} = 0.833 + 0.0306 \left(\frac{y_1}{a} \right) \quad (3.50)$$

$$\text{IF} = \frac{Q_m}{Q_e} \quad (3.51)$$

Samani ve Mazaheri [44] yaptığı çalışmada sedimantasyon ve çökeltme ile ilgili problemlerde savak ve kapakların birleştirildiği bir sistem kullanılarak oluşan problemlerin en aza indirilebileceğini söylemişlerdir. Araştırmacıların uygulamaları göz önüne alındığında, savak üstü ve kapak altı eşzamanlı akımın hidroliği, özellikle derinlik-debi ilişkisinin belirlenmesinin ilgi çekici olduğunu ve önceki yaklaşımların regresyon veya boyut analizine dayalı olmasına rağmen, çalışmalarının fiziksel tabanlı bir yaklaşım olduğunu dile getirmişlerdir. Bu yaklaşım basit hidrolik prensiplere dayanmaktadır ve model iki veri seti kullanılarak doğrulanmıştır. Bu çalışmada keskin kenarlı savak ve kapak modelleri birleştirilmiştir. Önerilen modeli kalibre etmek ve doğrulamak için, farklı batık koşullarına sahip bir laboratuvar kanalında deneyler yapılmıştır. Araştırmacılar yapılan modelin derinlik-debi ilişkisini makul bir doğrulukla tahmin edebildiği tespit edilmiştir. Önerilen modelin sonuçları, tahmin edilen ve ölçülen deşarjlar arasında iyi bir uyum olduğunu göstermektedir. Savak üstü ve kapak altı olmak üzere iki yarı batık ve tamamen batık akış durumu incelenmiştir. İlk durumda, savak üzerindeki akış serbesttir, ancak kapak altı akımı batmış akımdır ve ikinci durumda ise hem savak hem de kapak altı akımı batmış akım olarak ayarlanmıştır. Her iki durumda da kuyruk suyu derinliğinin memba kısmındaki akım derinliğini ve dolayısıyla debiyi etkilediğini belirtmişlerdir.

Altan-Sakarya ve Kokpınar [32] serbest akım koşulları altında önden alıslı akımlarda savak üstü ve kapak altı eşzamanlı akımı deneysel olarak incelemiştir. Keskin tepeli dikdörtgen bir savak ve dikdörtgen bir kapağın kombinasyonunu kullanarak oluşan bu yapıyı H-Savağı olarak isimlendirerek bu yapıyı bir akım ölçüm yapısı olarak kabul etmişlerdir. H-savakları, savak ve kapak açıklıklarının genişliği, kapak açıklığının yüksekliği ve savak altı yani kret ile kapak açıklığının üstü arasındaki dikey mesafe ile tanımlanmışlardır. Bu çalışmada farklı H-Savakları kullanarak akıntı ve membadaki suyun derinliği ölçülerek ve debiler ölçülerek deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Bu çalışma, birleştirilmiş savak ve kapak yapısının memba kısmındaki suyun derinliğini okuyarak belirli bir H-Savağı için deşarjı belirlemeyi amaçlanmıştır. Bu çalışmada iki b/B oranı ile farklı d/a , y_1/a ve y_1/d değişkenleri için on sekiz H-Savağı kullanılmıştır. Deneysel veriler, iki farklı yöntemle H-Savaklarının deşarjını tahmin etmek için kullanılmıştır.

Ferro [34] tarafından geliştirilen yöntem kullanılarak bir denklem türetilmiş ve daha sonra, ikinci olarak, tüm deneysel veri setlerini kullanarak deşarjı elde etmek için genel bir optimizasyon uygulanmıştır. Bu çalışmada elde edilen veriler kullanılarak derinlik-debi ilişkisinin çeşitli formülasyonlarının uyumluluğu araştırılmış ve bu verilerin analizine dayalı olarak iki yeni formülasyon önerilmiştir. Her bir denklemin yüzdesel hataları elde edilip ve karşılaştırıldıktan sonra, önerilen yeni denklemlerin, deneysel çalışmanın verilen aralıkları içinde H-Savaklarının debisini doğru bir şekilde tahmin etmek için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

$$Q_c = f(y_1, b, a, d, B, g, \rho, \nu, \sigma) \quad (3.52)$$

Araştırmacılar bu değişkenlere boyut analizi uygulayarak

$$F_1 = f\left(\text{Re}, \text{We}, \frac{y_1}{a}, \frac{B}{a}, \frac{b}{a}, \frac{d}{a}\right) \quad (3.53)$$

Araştırmacılar H-Savaklarının debisi için:

$$Q_c = Q_g + Q_w \quad (3.54)$$

Araştırmacılar H-Savaklarının deşarjının tahmini için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir.

$$F_1 = A_1 \left(\frac{y_1}{d} \right) + A_1 \left(\frac{y_1}{d} \right)^2 \quad (3.55)$$

$$A_1 = 0.059 + 0.286 \left(\frac{d}{a} \right) - 0.142 \left(\frac{d}{a} \right)^2 \quad (3.56)$$

$$A_2 = -0.022 + 0.063 \left(\frac{d}{a} \right) + 0.100 \left(\frac{d}{a} \right)^2 \quad (3.57)$$

Arvanaghi ve Mahtabi [36] yaptıkları çalışmada birleşik savak ve kapak yapısının, sulama kanallarındaki akım deşarjını ölçmek için nispeten yeni ve kullanışlı bir yapı olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, çeşitli deneysel çalışmaların birleşik ölçüm yapılarının debi katsayısını artırabileceğini ve dolayısıyla deşarjın artmasına yol açabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada, birleşik savak ve kapak yapısının hidrolik özelliklerini araştırmak için FLUENT yazılımı ve $k-\varepsilon$ türbülans modelini kullanarak çalışmanın sayısal simülasyonu yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, birleşik akımın savak üstü ve kapak altı akım olmak üzere iki bölüme ayrıldığını göstermektedir. Ayrıca, debi katsayısı ile p/y_1 arasındaki ilişkinin yaklaşık olarak lineer olduğunu tespit etmişlerdir.

Duru [67] yaptığı tez çalışmasında iki farklı problemi nümerik olarak incelemiştir. Problem 1 olarak tanımlanan ince kenarlı savaklar ve Problem 2 olarak adlandırılan birleşik savak ve kapakları (trapez savak ve dikdörtgen kapak) olmak üzere iki farklı akımın sayısal simülasyonu yapılmıştır. Yapılan her iki analiz önceden yapılmış olan deneysel çalışmanın koşullarında kullanarak nümerik analiz çalışılmıştır. Bu akımlara ait temel denklemler sonlu hacimler yöntemi kullanan Flow-3D yazılımı ile çözülmüştür. Sayısal analiz sonucu elde edilen akım debileri önceden elde edilen deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Her iki problem için de deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması, hesaplanan debi değerlerinin deneysel veri ile oldukça uyumlu olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Ağ boyutunu en aza indirmek daha iyi sonuçlar vermesine rağmen, hesaplama süresini önemli ölçüde artırır. Problem 1 ve 2 için sırasıyla yeterince doğru simülasyon sonuçları elde etmek için 4 mm ve 5 mm ağ boyutlarının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Tablo 3.3'te araştırmacının elde ettiği sonuçlar verilmiştir.

(1) Türbülans modelinin sayısal simülasyon sonuçları üzerindeki etkisini bulmak için RNG ve LES türbülans modelleri test edilmiştir. Her iki türbülans modeli de benzer sonuçlar vermesine rağmen simülasyonlarda RNG modeli kullanılmıştır.

(2) Optimizasyon çalışması kapsamında 1.00, 1.50 ve 2.50 m memba kanal uzunlukları çalışılmıştır. Tüm uzunluklar için benzer sonuçlar elde edilmesine rağmen, kanalın uzatılmasının

hidrolik olarak doğruluk açısından daha iyi olduğu düşünüldüğünden, 2,5 m'lik memba kanal uzunluğu seçilmiştir.

(3) Simülasyonlardan, akış havalandırmasının simülasyonlar üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gösterilmiştir. Bu nedenle simülasyonlarda havalandırma seçeneği seçilmemiştir.

(4) Problem 2 için, kapak ve savak sistemi kombinasyonunu iki parçaya bölmek, birleşik sistemin kapak ve savak deşarjının bireysel deşarjlarına eşit olmadığını göstermektedir. Başka bir deyişle, birleşik sistemin toplam deşarjı, bireysel savak ve kapak formülasyonlarının toplamı ile hesaplanamaz. Deşarj katsayıları, $(C_{dg})_{CFD}$ ve $(C_{dw})_{CFD}$ değerleri deneysel değerlerden farklıdır. y_1/a artarken, $(C_{dg})_{CFD}$, savaktan çıkan su jetinin kapak açıklığından geçen akım nedeniyle kapak altı akımının batmasına neden olarak azalır. Savak kısmı için, $(C_{dw})_{CFD}$ değerleri, savak $h/(d+a)$ değerleri üzerindeki boyutsuz yük üzerindeki artışla doğrusal olarak azalmaktadır.

(5) Normalde, bireysel savak analizleri için hız yükü ihmal edilir. Bununla birlikte, savak sistemi kapak ile birleştirildiğinde, yaklaşan akım hızlandığından, mambadaki hız yüksekliği çok önemlidir.

(6) Sonuç olarak, HAD'in akış ölçüm yapıları ile ilgili hidrolik problemlerin çözümünde güçlü bir araç olduğu ifade edilebilir.

Tablo 3.3. Araştırmacının deney koşulları ve sonuçları [67]

Deney No	a (m)	d (m)	b (m)	h (m)	$y_1=h+d+a$ (m)	Q_{hesap} (L/s)	Q_{CFD} (L/s)	RE (%)
A1	0.08	0.17	0.2	0.0640	0.314	30.0	31.24	4.1
A2	0.08	0.17	0.2	0.1071	0.357	40.0	39.52	-1.2
A3	0.08	0.17	0.2	0.1403	0.390	50.1	47.68	-4.8
A4	0.08	0.17	0.2	0.1650	0.415	60.1	55.92	-7.0
B1	0.16	0.09	0.2	0.0407	0.2907	40.0	42.74	6.9
B2	0.16	0.09	0.2	0.0859	0.336	50.1	52.60	5.0
B3	0.16	0.09	0.2	0.1194	0.369	60.1	62.50	4.0
B4	0.16	0.09	0.2	0.1451	0.395	69.9	71.16	1.8

Khassaf ve Habeeb [68] keskin tepeli trapez savakların üzerindeki ve dikdörtgen bir savak kapağının altındaki birleşik akımın özelliklerini araştırmak için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada memba akım derinliği, savak üzerindeki akım derinliği ve trapez savak açısının birleşik savak ve kapak yapısının debi katsayısı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneysel veriler dayalı yeni ampirik bir formül bulmak için boyut analizi ve regresyon teknikleri kullanılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir: (1) savak alt kenarı ile kapağın üst kenarı (d) arasındaki düşey mesafe arttıkça deşarj katsayısı artar, (2) aynı deşarj için trapez savak açısı arttıkça savak üzerindeki akım derinliği azalır ve deşarj katsayısı artar.

Salehi ve Azimi [35] farklı savak-orifis ve birleşik savak ve kapak yapılarından geçen birleşik akımın deşarj özellikleri, boyutsal analiz ve çok değişkenli regresyon teknikleri kullanarak araştırmışlardır. Bu çalışma, farklı savak ve kapak yapıları yoluyla toplam deşarjı tahmin etmek için kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Bu çalışmada, birleşik savak ve kapak yapısının şekli ve geometrisine göre yedi birleşik savak-kapak yapısı sınıflandırılmıştır. Savak üstünden ve kapak altından ölçülen deşarjın, literatürde mevcut olan savak ve kapak deşarjlarının toplamına oranı olarak tanımlanan etkileşim faktörü (IF), tüm birleşik savak ve kapak modelleri için hesaplanmıştır. Altı birleşik savak ve kapak modeli, sonlu tepe uzunluğuna sahip savakların üzerindeki ve kapak altı akımın deşarj özelliklerini incelemek için deneysel olarak test edilmiştir. Bu çalışmada etkileşim faktörleri, tüm savak-kapak modelleri için geometri parametreleri ile ortalama 0.85 belirleme katsayısı ile ilişkilendirilmiştir. Keskin tepeli bir savak ve kapak yapısı ve bir öteleme ile sonlu tepe uzunluğuna sahip bir savak için akış dağıtıcıları olarak savak ve kapak yapılarının tasarlanmasına yardımcı olmak için bir dizi rejim grafiği geliştirilmiştir. Rejim grafikleri, farklı savak ve kapak yapılarının geometrileri için savak ve kapak deşarjlarının katkısını göstermektedir. Birleşik savak ve kapak yapısından geçen akım, savak ve kapak tarafından eşit olarak bölündüğünden, kritik bir normalleştirilmiş yük tanıtılmıştır. Savak ve kapak yapısı geometrisine ve deşarja dayalı olarak, pratik mühendislik uygulamaları için kritik normalleştirilmiş yükü tahmin etmek için genel ampirik denklemler geliştirilmiştir. Araştırmacılar, birleşik savak ve kapaktan geçen toplam deşarjın, savaktaki serbest nap akışı ile kapak altındaki duvar jeti arasındaki etkileşimler nedeniyle savak ve kapak deşarjlarının toplanmasından farklıdır. Savak üstü ve kapak altından geçen akımın etkileşiminin etkisini ölçmek için ölçülen toplam deşarjın, tahmini savak ve kapak altı akımı deşarjlarının süperpozisyonuna oranına dayalı olarak etkileşim faktörleri hesaplanmıştır. Etkileşim faktörünü boyutsuz geometrik parametrelere ve savak ve kapak yapısının hidrolik özellikleri ile ilişkilendirmek için çok değişkenli regresyon analizi kullanılmıştır. Birleşik savak ve kapak yapılarından geçen akımın toplam deşarjını tahmin etmek için birkaç matematiksel model arasından iki genel model seçilmiştir. Literatürde sonlu tepe uzunluğu ve kapaktan oluşan birleşik bir savak için sınırlı deneysel veriler nedeniyle hem dar tepeli hem de geniş tepeli rejimler için laboratuvar ölçümlerini elde etmek ve etkileşim faktörünü hesaplamak için bir dizi laboratuvar deneyi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, araştırmacılar birleşik savak ve kapakların sulama kanallarında akış dağıtıcı olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir.

$$\Phi(Q_m, b_w, p, b_g, b_o, t_w, a, h, B, g, \rho, \mu, \sigma) = 0 \quad (3.58)$$

burada b_o eğimli savak açıklığını t_w ise savak kalınlığını göstermektedir. Araştırmacılar, viskozite ve yüzeysel gerilmenin etkilerini ihmal ederek etkileşim faktörünü (IF):

$$IF = f\left(\frac{a}{p}, \frac{b}{B}, \frac{b_o}{B}, \frac{h}{p}, \frac{h}{t_w}\right) \quad (3.59)$$

Parsaie vd. [46] yaptığı çalışmada savakların arkasında sedimentin birikmesi ve su üzerinde yüzen malzemelerin kapakların arkasında birikmesi sonucu bu yapıların performansını düşürdüğünü söylemiştir. Araştırmacılar bu problemlerin üstesinden gelmek için savak ve kapakların kombinasyonundan oluşan birleşik savak ve kapak yapısını önermişlerdir. Birleşik savak ve kapak yapısının performansını artırmak için dairesel bir şekil öneren araştırmacılar ve buna silindirik savak ve kapak yapısı adını vermişlerdir. Bu çalışmada, savak ve kapak yapısının deşarj katsayısı nöro bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS) kullanılarak tahmin edilmiştir. ANFIS'in performansını diğer yumuşak hesaplama teknikleriyle karşılaştırmak için çok katmanlı algılayıcı sinir ağı (MLP) de kullanılmıştır. MLP ve ANFIS'ten elde edilen sonuçlar, her iki modelin de deşarj katsayısını modelleme ve tahmin etmede yüksek yeteneğe sahip olduğunu göstermiştir. Ancak, araştırmacılar ANFIS'in biraz daha doğru olduğu tespit etmişlerdir. Yapılan MLP ve ANFIS'in duyarlılık analizi sonucu, memba Froude sayısı ve kapak açılma yüksekliğinin savak çapına oranının debi katsayısı üzerinde en etkili parametreler olduğunu göstermiştir. MLP ve ANFIS sonuçları, bu modellerin savak ve kapak yapısının deşarj katsayısının modellenmesi ve tahmin edilmesi için çok uygun performansa sahip olduğunu göstermiştir.

Parsaie ve Haghiabi [69] yaptıkları çalışmada yumuşak hesaplama teknikleri kullanarak savak ve kapak yapısının deşarj katsayısını tahmin etmişlerdir. Bu çalışmada, MARS, GEP ve GMDH dahil olmak üzere akıllı fonksiyon uydurma yöntemleri kullanılarak savak ve kapak yapısının debi katsayısının matematiksel modellemesi ele alınmıştır. Kapak açıklığının üst noktasından savak kretine yani savağın tepesine kadar olan düşey mesafenin kapak açıklığına oranı (d/a), savak uzunluğunun savak kapağının açıklığına oranını (b/a), daralma katsayısını (b/B) ve memba akım derinliğinin kapak açıklığına oranı (y_1/a) değişkenlerini dikkate alarak birleşik savak ve kapak yapısını incelemişlerdir. Araştırmacılar, uygulanan yöntemlerin sonuçlarına birleşik savak ve kapak yapısının debi katsayısını modelleme ve tahmin etmede kabul edilebilir performansa sahip olduğunu açıklamışlardır. Ancak MARS modelinin diğer modellerden daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Yapılan modellerden elde edilen sonuçlara göre birleşik savak ve kapak yapısının debi katsayısı üzerinde d/a ve y_1/a parametrelerinin etkileyici faktörler olduğunu bulunmuştur.

Azamathulla vd. [45] savak ve kapakların arkalarında tortu birikmesi ve kapaklar arkalarında su üzerinde yüzen malzemeleri birikmesi gibi problemlerin üstesinden gelmek için birleşik savak ve kapak kullanımını önermişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada silindirik savak ve kapak yapısının deşarj katsayısını tahmin etmek için parçacık sürüsü optimizasyon tekniği ile eğitilmiş

grup veri işleme yöntemi (GMDH) kullanılmıştır. Hazırlanan GMDH modelinin performansları, yine bu amaçla geliştirilen çok katmanlı algılayıcı sinir ağı (MLPNN) ve destek vektör makinesi (SVM) ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, geliştirilen tüm modellerin uygun performansa sahip olduğunu göstermiştir ancak; SVM modelinin biraz daha doğru sonuçlar gösterdiği gözlemlenmiştir. GMDH modelinin elde edilen yapısı incelendiğinde, memba Froude sayısının ve kapak açılma yüksekliğinin silindirik savak kapak yapısının çapına oranının, deşarj katsayısı üzerinde en etkili parametreler olduğu görülmüştür.

Parsaie vd. [64] savak ve kapaktan dolayı oluşan problemleri aşmak için birleşik savak ve kapak yapısı önerilmişlerdir. Bu çalışmada, yapay sinir ağı (ANN), destek vektör makinesi (SVM) ve uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS) kullanılarak birleşik savak ve kapak yapısının deşarj katsayısının tahmin edilmesi ele alınmıştır. Duyarlılık analizi sonuçları, y_1/a ve d/a 'nın deşarj katsayısını tahmin etmek için en önemli parametreler olduğunu göstermektedir. Duyarlılık analizi sonuçları, ANN'nin SVM ve ANFIS'e kıyasla en hassas model olduğunu göstermiştir.

Jalil [66] savak üstü ve kapak altı akımın yani birleşik akımın, kanallarda süspansiyon malzemelerinin birikmesi sorununu çözebileceğini belirtmiştir. Araştırmacı kapağın yarı silindirik şekil olmasının, yapının performansına yansıyan akım çizgilerinin eğriliğini azalttığını söylemiştir. Bu şeklin nasıl performans gösterdiğini incelemek için deneysel ve sayısal simülasyon yapılmıştır. Araştırmacı, bu yapının sayısal simülasyonu için FLOW-3D paket programını ve RNG k-ε türbülans modelini kullanarak modellemiştir. Bu çalışmanın sınırları içerisinde, savak ve kapak için sırasıyla deşarj katsayısını tahmin etmek için iki matematiksel model, ayrıca savaktan kapağa göreli deşarjı tahmin etmek için bir model ve boyutsuz toplam deşarj için bir matematiksel model önerilmiştir. Elde edilen simülasyon çıktıları kapak çapı ve kapak açıklığı azaldıkça yapıdan uzakta bulunan ayırma bölgesinin daha da uzaklaştığını, ayrıca ayırma bölümlerinin de gelen deşarj ile ilgili olduğunu göstermektedir. Ayırma bölgesinin bulunduğu konumdaki yüksekliği, akım debisinde bir artış olduğunda daha düşük olma eğilimindedir ve iki akım kısmı eşit olduğunda toplam derinliğin yarısında bulunduğu ifade etmiştir. Bu sistemdeki savak üstündeki akımın, geleneksel savaktan en az %33 daha iyi bir performans gösterdiğini, kapak altı akımın ise aynı akım derinliğinde serbest bir şekilde akan akımın %70 ila %90'ndan daha az olduğu belirtmiştir. Savak için deşarj katsayısı 0.60 ile 1.15 arasında, kapak için ise 0.60 ile 0.77 arasında değişmektedir. Araştırmacı, birleşik savak ve kapak yapısı için deneysel ve sayısal analizlere dayalı aşağıdaki eşitlikleri önermiştir.

$$\frac{Q_w}{Q_g} = 0.371 + 0.582 \left(\frac{h}{a} \right) - 0.082 \left(\frac{y_1}{a} \right) + 2.514 \left(\frac{h}{d+a} \right) - 3.735 \left(\frac{h}{y_1} \right) \quad (3.60)$$

$$\frac{Q_t}{ba\sqrt{2ga}} = -1.441 + 1.576\left(\frac{h}{a}\right) + 0.046\left(\frac{y_1}{a}\right) + 2.802\left(\frac{y_1}{d+a}\right) - 8.134\left(\frac{h}{y_1}\right) \quad (3.61)$$

Nouri ve Hemmati [43] yaptıkları çalışmada kalın kenarlı birleşik savak ve kapakları incelemiştir. Bu çalışmada birleşik savak ve kapak yapısının debi katsayısı üzerinde aşağıdaki değişkenlerin etkilerini araştırmışlardır. Bunlar; (1) savak genişliğinin toplam yapının genişliğine oranı (b_w/B), (2) savak yüksekliğinin yapının kret yüksekliğine oranı (z/p), (3) kapak genişliğinin toplam yapı genişliğine oranı (b_g/B), kapak açıklık yüksekliğinin kret yüksekliğine oranı (a/p) (4) savak üzerindeki yükün yapının arkasındaki toplam yüke oranı (h_1/y_1). Bu çalışmada, etkili parametreler değiştirilerek doksan altı adet sayısal model analiz edilmiştir. Sayısal sonuçlar, deneysel verilerle karşılaştırılarak sayısal modelin kalibrasyonu ve doğrulaması yapılmıştır. Bu parametrelerin etkisi incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Yanal büzülme, viskoz kuvvet ve yüzey gerilimindeki azalma nedeniyle h_1/b_t oranını yükselterek, bileşik savakta debi katsayısının arttığı bulunmuştur.
2. b_g/B ve a/p 'nin artırılması sonucu duvar temasını arttığı görülmüş ve bu oranlar kapak boyutlarını arttırdığından debi katsayısını azaldığı bulunmuştur. Yukarıda belirtilen direnç (kapak ölçülerinden kaynaklanan) ile b_g/B ve a/p oranlarındaki artış nedeniyle ve $h_1/y_1 \leq 0.4$ olması durumunda, birleşik savak ve kapak yapısının akımı başka bir engelle karşılaşarak (savak duvarı ile çarpışmadan kaynaklanan) ve dolayısıyla debi katsayısının azalmasının eğiminde bir artışa neden olduğu belirlenmiştir.
3. Birleşik yapıda savak basit bir savak gibi davrandıysa, b_w/B oranındaki bir artış türbülansı ve savak uzunluğunun artmasından dolayı debi katsayısının eğimini azalttığı tespit edilmiştir.
4. CNN, MLP, RNN ve MNN gibi yapay zeka modelleri ile regresyon ilişkisinin karşılaştırılması, MNN modelinin en iyi sonuçları verdiğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, bu model kesinlikle birleşik savak ve kapak yapısının debi katsayısını hesaplamak için kullanılabileceğini göstermiştir.

Altan-Sakarya vd. [42] çalışmalarında Problem 1 olarak tanımlanan keskin kenarlı savaklar ve Problem 2 olarak tanımlanan birleşik savak ve kapak sistemleri olmak üzere iki farklı yapının modellemesini sayısal olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Sayısal simülasyonlar, Reynolds ortalama Navier-Stokes (RANS) denklemleri ve Flow-3D yazılımı kullanılarak sonlu hacim formülasyonu ile çözülmüştür. Ayrıca sayısal modelleme kullanılarak, deneysel çalışmalarda elde edilmesi kolay olmayan birleşik sistemdeki savak ve kapak deşarj katsayıları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Araştırmacılar, birleşik sistemin toplam deşarjı, bireysel savak ve kapak formülasyonlarının toplamı ile hesaplanamayacağını özellikle vurgulamışlardır. Savak ve kapakların debi katsayı değerleri, bireysel sistemlerin deneysel değerlerinden farklı ve daha büyük olduğunu belirtmişlerdir. Savak sistemi kapak ile birleştirildiğinde, azalan ölü hız bölgesi ve artan memba hız yüksekliğinin etkilerinin debi artışında önemli olduğu gösterilmiştir. Sonuç olarak, hidrolik

problemler içeren akım ölçüm yapılarının karmaşık akım problemleri için bir araç olan HAD simülasyonları ile analiz edilip çözülebileceği bir kez daha gösterilmiştir.

Bugüne kadar birleşik savak ve kapak yapıları ile ilgili yapılan çalışmalarda önden alıslı akım dikkate alınmıştır. Yukarıda birleşik savak ve kapak yapıları için verilen literatürde yapılan bütün çalışmaların önden alıslı akımlar için yapıldığı yanal akımın dikkate alınmadığı bilinmelidir. Literatür incelendiğinde açık kanallarda yanal akımlarda birleşik savak ve kapak yapısının su alma yapısı olarak kullanılmasıyla ilgili bir bilgi çalışma eksikliği bulunmaktadır. Ancak Ghodsian vd. [70] yaptıkları çalışmada birleşik savak ve kapak yapısını kıvrımlı bir kanalda kullanarak yanal akımlarda birleşik akımı incelemeye başlamıştır.

Ghodsian vd. [70] yaptıkları çalışmada kıvrımlı kanallarda birleşik bir savak ve kapak yapısını yanal bir akımda kullanmışlardır. Araştırmacılar, yanal akımlarda kullanılan birleşik savak ve kapak yapısının debi katsayısını belirlemek için 288 adet deney yaparak deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Deneyler, farklı debiler ve akım derinlikleri için dikdörtgen şeklinde U-şekilli bir kanalda (0.60m genişlik ve 0.70 m yükseklik) yapılmıştır. Araştırmacılar, memba Froude sayısı F_1 , kapak üstü ile kret arasındaki düşey mesafenin kapak açıklığına oranı d/a , memba akım derinliğinin kapak açıklığına oranı y_1/a ve kıvrım eğriligi açısının α nehir rejimi akım koşullarında debi katsayısı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada, yanal akımlarda birleşik savak ve kapak kullanımının, ana kanalda bir ters akıma, iki ayırma bölgesine ve bir durgunluk bölgesine yol açtığı bulunmuştur. Durgunluk bölgesinin konumu ve kapsamı, memba Froude sayısına ve yan kanala geçen deşarjı bağlıdır. Memba Froude sayısını artırarak ve yan kanal geçen deşarjı azaltarak, durgunluk bölgesinin kapsamı ve ters akımın azaldığı bulunmuştur. Ayrıca memba Froude sayısını artırarak ayırma bölgesi iç kısma doğru kaydığını dile getirmiştir. Yanal akımlarda birleşik savak kapak yapısı için özgül enerjinin yapı boyunca sabit kaldığı belirtilmiştir. Araştırmacılar, yanal birleşik savak ve kapak yapısının debi katsayısının F_1 ve d/a 'nın azalan bir fonksiyonu olduğu bulmuşlardır. Ayrıca, y_1/a değeri arttıkça deşarj katsayısının arttığı yani y_1/a 'nın da artan bir fonksiyonu olduğu tespit edilmiştir. Yan birleşik yapının kanal dirseği boyunca yerini değiştirerek, deşarj katsayısının yukarı yönde azaldığı $\alpha = 90^\circ$ 'de minimum bir değere ulaştığı ve aşağı yönde arttığı belirlenmiştir. $\alpha < 90^\circ$ ve $\alpha > 90^\circ$ için deşarj katsayısının maksimum değeri sırasıyla $\alpha = 53^\circ$ ve $\alpha = 115^\circ$ 'de gerçekleşir. 180° 'lik bir kanal dirseği boyunca farklı bölümlerde bulunan yandan alıslı birleşik savak ve kapak yapısının debi katsayısını kritik altı akım koşullarında tahmin etmek için denklem sunulmuştur. Araştırmacılar bu çalışmadan elde edilen sonuçların $53 \leq \alpha \leq 115^\circ$, $0.12 < F_1 < 0.63$, $1.9 \leq y_1/a \leq 6.9$, $0.75 \leq d/a \leq 2.0$ ve $b/B = 0.616$ ile sınırlı olduğunu vurgulamıştır. Araştırmacılar birleşik akımı analiz ederken yapının debisini $Q_c = Q_g + Q_w$ almıştır.

$$Q_c = C_{dg}ab_g\sqrt{2gy_1} + \frac{2}{3}C_{dw}b_w\sqrt{2g}(y_1 - p)^{\frac{3}{2}} \quad (3.62)$$

Birleşik savak ve kapak yapısı için debi katsayısı çekilirse ve $p=d+a$ alınırsa

$$C_d = \frac{Q_c}{ab_g\sqrt{2gy_1} + \frac{2}{3}b_w\sqrt{2g}(y_1 - d - a)^{\frac{3}{2}}} \quad (3.63)$$

Araştırmacılar elde edilen debi katsayısının aşağıdaki eşitliğin bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir.

$$\Phi(C_d, y_1, g, V_1, b, B, R, S_0, \Psi, \alpha, a, d) = 0 \quad (3.64)$$

burada R =kıvrım yarıçapı, Ψ =yan kanalın ana kanala göre açısıdır. Araştırmacılar yaptıkları boyut analizi sonucu aşağıdaki eşitliği elde etmişlerdir.

$$C_d = \left(F_1, \frac{y_1}{a}, \frac{d}{a}, \frac{b}{B}, \frac{R}{B}, S_0, \Psi, \alpha \right) \quad (3.65)$$

Yazarlar etkisiz ve önemsiz değişkenleri ihmal ederek debi katsayısı için nihai eşitliği elde etmişlerdir.

$$C_d = \left(F_1, \frac{y_1}{a}, \frac{d}{a}, \alpha \right) \quad (3.66)$$

Araştırmacılar kıvrımlar kanallar için yan birleşik savak ve kapak yapısının debi katsayısını tahmin etmek için aşağıdaki eşitliği önermişlerdir. Tablo 3.4'te araştırmacıların önerdiği eşitlikte kullanılan ampirik katsayılar verilmiştir. Tablo 3.5'te ise araştırmacıların çalıştığı deney koşulları verilmiştir.

$$C_d = \left(k_1 \frac{y_1}{a} - k_2 \frac{d}{a} \right)^{k_3} (1 - k_4 F_1^{k_5})^{k_6} \quad (3.67)$$

Tablo 3.4. Araştırmacıların önerdiği eşitlikte kullanılan ampirik katsayılar [70]

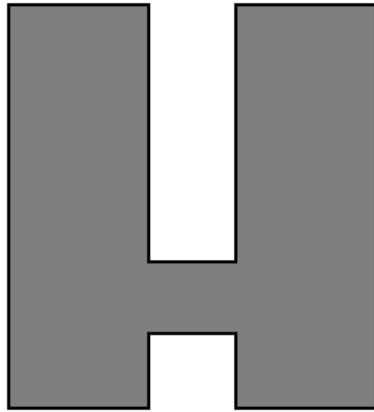
α (°)	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
53	0.0163	0.89	0.166	0.094	0.092	4.76
65	0.0406	0.85	0.123	0.162	-0.021	3.89
90	0.0442	0.78	0.204	0.162	-0.039	3.79
115	0.0361	0.71	0.088	0.151	0.017	3.85

Tablo 3.5. Araştırmacıların alıştığı deney koşullar [70]

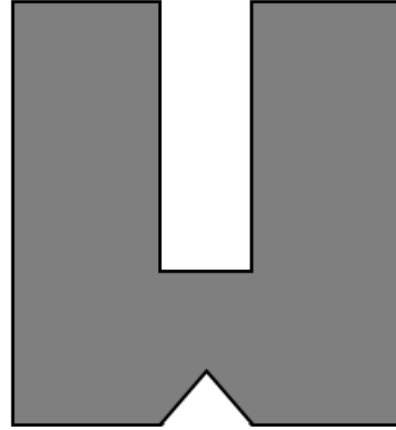
Q_1 (m ³ /s)	b (m)	B (m)	α (°)	F_1	y_1/a	d/a
0.007-0.039	0.37	0.60	53-115	0.12-0.63	1.9-6.9	0.75-2.00

4. MATERYAL VE METOT

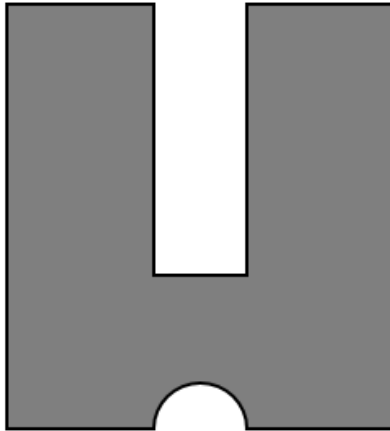
Bu çalışma kapsamında; yanal akımlarda savak üstünden akan akım, kapak altı akımı ve birleştirilmiş savak ve kapak akımı deneysel olarak araştırılmıştır. Ayrıca birleştirilmiş savak ve kapak akımı hem deneysel hem de sayısal olarak araştırılmıştır. Bu çalışmayı yürütmek için (Şekil 4.1)'de verilen yapılar imal edilmiştir. Bu bölümde deneylerde kullanılan savaklar, kapaklar ve birleşik savak ve kapaklar ile ilgili bilgiler ayrı ayrı verilmiştir. Her bir yapı için ayrı ayrı boyut analizleri yapılmıştır. Bu bölümde deney sistemi ve deneysel çalışmanın özelliklerinden bahsedilmiştir. Deneysel çalışmada göz önüne alınan boyutsuz parametreler her bir yapı için boyut analizi yardımıyla belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarında bulunan doğrusal bir kanalda yan savak, yan kapak ve birleşik savak ve kapaklar için bir dizi deneyler yürütülmüştür (Şekil 4.1). Deney setlerine ait plan, kesit ve görünüşler Şekil 4.11'de verilmiştir



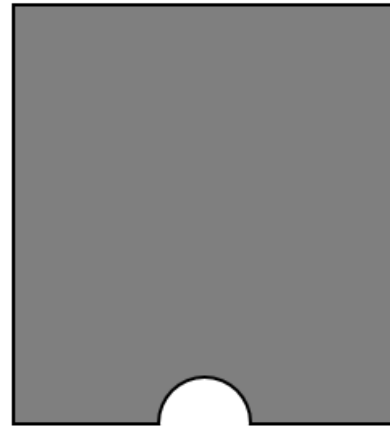
(a)



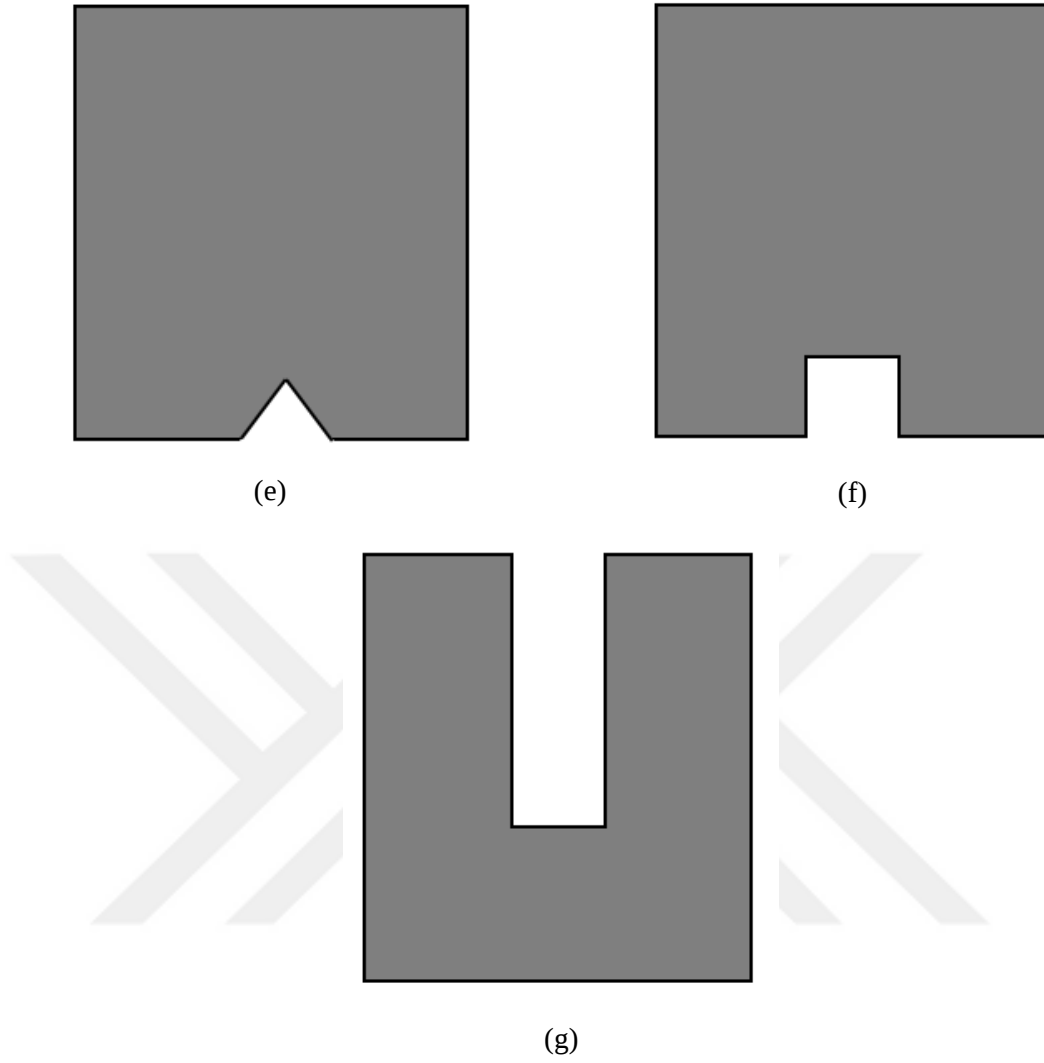
(b)



(c)



(d)



Şekil 4.1. Bu çalışma kapsamında test edilen birleşik savak ve kapak, yan savak ve kapak modelleri: (a) birleşik dikdörtgen savak ve kapak, (b) birleşik dikdörtgen savak ve üçgen kapak, (c) birleşik dikdörtgen savak ve yarım dairesel kapak, (d) yarım dairesel kapak, (e) üçgen kapak, (f) dikdörtgen kapak, (g) dikdörtgen savak

4.1. Deney Kanalı

Bu çalışmayı yürütmek için, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında mevcut deney sistemi kullanılmıştır. Mevcut deney düzeneği, bir ana kanal ve bir adet toplama kanalından oluşmaktadır. Ana kanal 0.40 m genişliğinde, 0.50 m yüksekliğinde ve 12 m uzunluğundadır. Toplama kanalı 0.40 m genişliğinde, 0.40 m yüksekliğindedir ve 6 m uzunluğundadır. Hem ana kanal hem de toplama kanalı sonunda 90° keskin kenarlı üçgen savaklar bulunmaktadır. Yan savakların yerleştirileceği kısımların karşısındaki toplama kanalı genişliği, 1.20 m boyunda trapez şeklinde inşa edilmiştir. Bu şekilde, yan kanala savaklanan suyun serbest olarak savaklanması ve meydana gelen akımın etkilenmemesi temin edilmiştir.

Ana kanalın tüm yan duvarları, cam ve pleksiglas malzemeden inşa edilmiştir. Toplama kanalı ve ana kanalı birbirinden ayıran kısım ise sac malzemeden yapılmıştır. Deney düzeneği, püskürtme boya ile boyanmıştır. Ana kanal ve toplama kanalı gerekli yerlerinde sakınleştiriciler yerleştirilmiştir. Deneyler sırasında mevcut sakınleştiriciler yeterli gelmediğinde, su yüzüne paralel 6 mm'lik demirden küçük karelere sahip bir sakınleştirici imal edilmiş gerektiğinde kullanılmıştır. Bu şekilde dijital limnimetre ile alınan okumalar oldukça hassas olmuştur. Deney kanalı sırasıyla, aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan deney düzeneği Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Deneysel çalışmada kullanılan deney düzeneği

4.1.1. Su Temin Borusu ve Debimetre

Su temin borusunun çapı 10 inçtir (~25 cm). Ana su temin borusundan yaklaşık 46 L/s debi pompa yardımıyla alınabilmektedir. Deney düzeneğinin mevcut su temin sisteminde, bir adet su tankı ve bir adet dinlendirme havuzu vardır.

Deney düzeneğinde suyu tanktan alıp ana kanalda akması için yaklaşık 10 m uzunluğunda 10 inç (25 cm)'lik esnek ve basınca dayanıklı bir boru iletim borusu olarak kullanılmıştır. Suyun besleme hattın da bir adet küresel vana, bir adet elektromanyetik debimetre ve bir adet pompa bulunmaktadır. Deney süresince su tankında bulunan su alma ağzı ile suyu alıp ana kanala vermek

için 11 kW'lık pompa kullanılmıştır (Şekil 4.3). Pompa ile basılan su ana kanaldan önce ana kanala birleşik bir dinlenme havuzunda dinlendirilerek ana kanaldan cazibeli bir şekilde akışa geçip tekrar su tankına gelmesiyle ilave su ihtiyacı olmaksızın suyun dolaşımı sağlanmıştır. Şekil 4.3'te deneysel çalışmada kullanılan besleme hattı ve pompa verilmiştir.



Şekil 4.3. Deneysel çalışmada kullanılan besleme hattı ve pompa

4.1.2. Deney Kanalını Besleyen Tank ve Dinlendirme Havuzu

Ana kanalı besleyen su önce tank ve sonrasında dinlendirme havuzuna gelerek sakinleştikten sonra ana kanalda cazibeli ve serbest akım koşulları altında akmaktadır. Su tankı 2.00x2.00x1.0 m ebatlarında inşa edilmiş ve suyun tahliyesi için tankın tabanında tahliye borusu yapılmıştır. Tahliye borusunu çıkış kanalına götürmek için 10 m uzunluğunda bir boru kullanılmıştır. Bu bölmede pompanın suyu alabilmesi için su alma ağzı yapılmış ve su besleme hattı buraya bağlanmıştır. Bunların dışında bölmenin tabanında gerektiğinde suyun boşaltılması için bir tahliye borusu mevcuttur. Şekil 4.4 (a, b)'de deneysel çalışmada kullanılan tank ve dinlendirme havuzu verilmiştir.



(a) Tank



(b) Dinlendirme havuzu

Şekil 4.4. (a-b) Deneysel çalışmada kullanılan tank ve dinlendirme havuzu

4.1.3. Yaklaşım Kanalı ve Doğrusal Çıkış Kanalı

Yaklaşım kanalı, 1.20 m geçiş kanalı (planda trapez) ve 6 m uzunluğunda ve 0.40x0.40 m enkesitli doğrusal ana kanaldan oluşmaktadır. Doğrusal çıkış kanalı, 2 m uzunluğundadır. Toplama kanalı sonuna, 90° keskin kenarlı bir üçgen savak yerleştirilmiştir. Bu kısımda, bir adet sakınleştirici mevcuttur. Doğrusal kanalın, ana kanal sonunda mafsallı seviye ayar kapağı yerleştirilmiştir. Bu kapakların boyutları, 0.40x0.50 m'dir. Sakınleştirici olarak, eleklerden yararlanılmıştır. Debi ölçümü elektromanyetik debimetre ile yapıldığından, üçgen savak sadece karşılaştırma için ilk aşamalarda kullanılmıştır. Şekil 4.5'te deneysel çalışmada kullanılan yaklaşım kanalı ve doğrusal çıkış kanalı verilmiştir.



Şekil 4.5. Deneyel çalışmada kullanılan yaklaşım kanalı ve doğrusal çıkış kanalı

4.1.4. Yan Ayırma Duvarı

Ana kanal dış duvarı, kullanılacak olan savak veya kapakların yerleştirildiği kısım 3 mm'lik sac malzemeden imal edilmiştir. Üst kısmı kutu profille tutturulmuştur. Kullanılacak olan savak veya savak çalışılacaksa, o kapak çıkartılmakta ve yerine çalışılacak yan savak yerleştirilmektedir. Şekil 4.6'da yan ayırma duvarı verilmiştir.



Şekil 4.6. Yan ayırma duvarı

Şekil 4.7'de deneyel çalışmadan test edilen akım tipleri verilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.7. (a-d) Deneysel çalışmada kullanılan akım tipleri (a) savak üstü akım, (b) kapak altı akımı (c, d) birleşik akım

4.1.5. Toplama Kanalı

Yan savaklardan savaklanan su, toplama kanalı ile uzaklaştırılmaktadır. 0.40x040 m enkesitinde olan bu toplama kanalı 6 m doğrusal çıkış kanalından ibarettir. Toplama kanalının sonunda 0.40 m genişlikli ve 0.20 m kret yüksekliğine sahip 90° keskin kenarlı bir üçgen savak yerleştirilerek savaklanan debi miktarları hesaplanmıştır. Savaklanan debi miktarlarının hesaplamak için, üçgen savağın 40 cm gerisinde bir elektronik limnimetre (± 0.01 mm hassasiyetli)

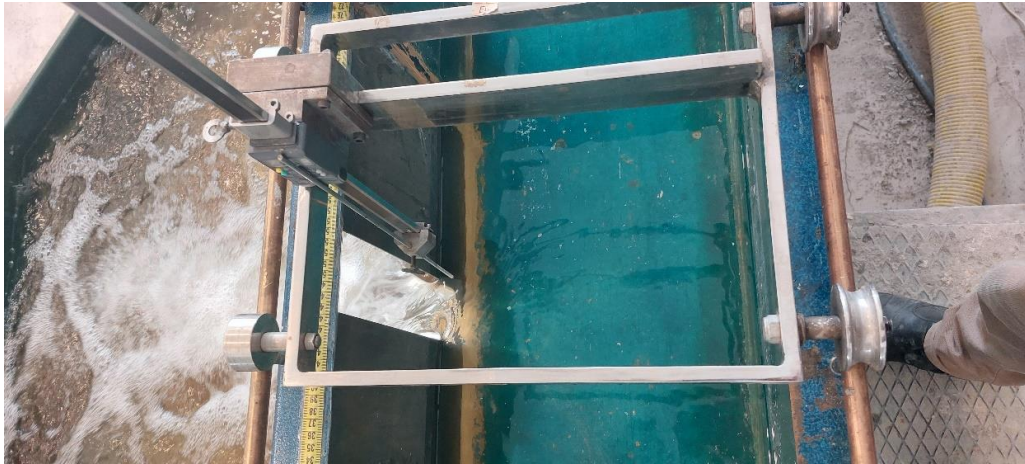
sabit olarak yerleştirilerek üçgen savak üzerinden geçen nap yükseklikleri ölçülmüştür. Şekil 4.8’de deneysel çalışmada kullanılan toplama kanalı verilmiştir.



Şekil 4.8. Deneysel çalışmada kullanılan toplama kanalı

4.1.6. Hareketli Seviye Ölçüm Arabası

Ana kanal üzerindeki seviye ölçümleri, raylar üzerinde hareket eden arabaya monte edilmiş Mututoyo elektronik limnimetre (± 0.01 mm hassasiyetli) ile yapılmıştır. Araba, doğrusal kanalda rahatlıkla hareket edecek şekilde tasarlanmıştır. Böylece hem x hem de y doğrultusunda okumalar alınabilmektedir. (Şekil 4.9). Şekil 4.10’da yürütülen deneysel çalışmadan bazı resimler verilmiştir.



Şekil 4.9. Hareketli seviye ölçüm arabası



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

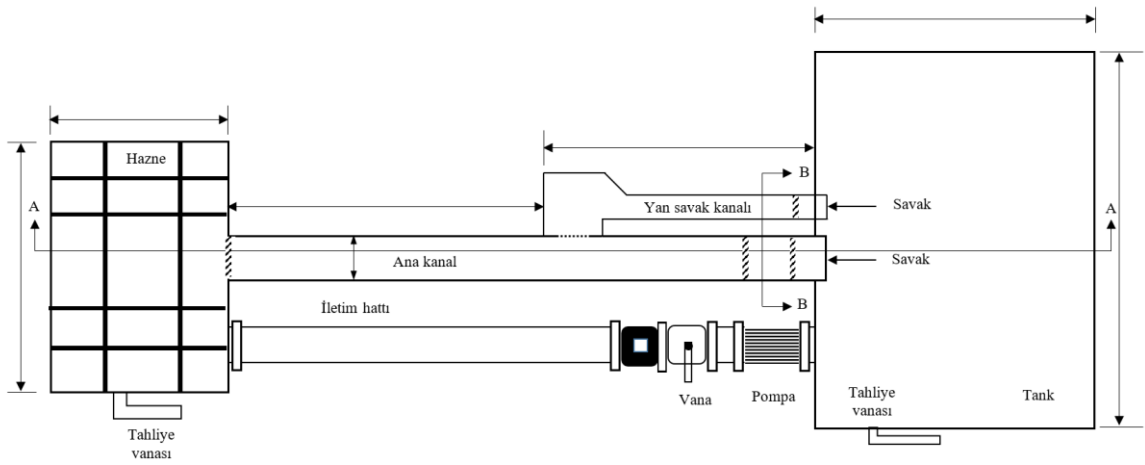


(f)

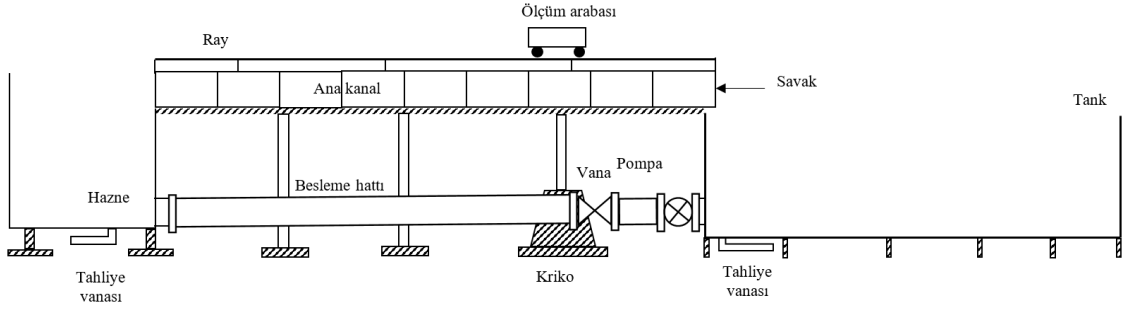


(g)

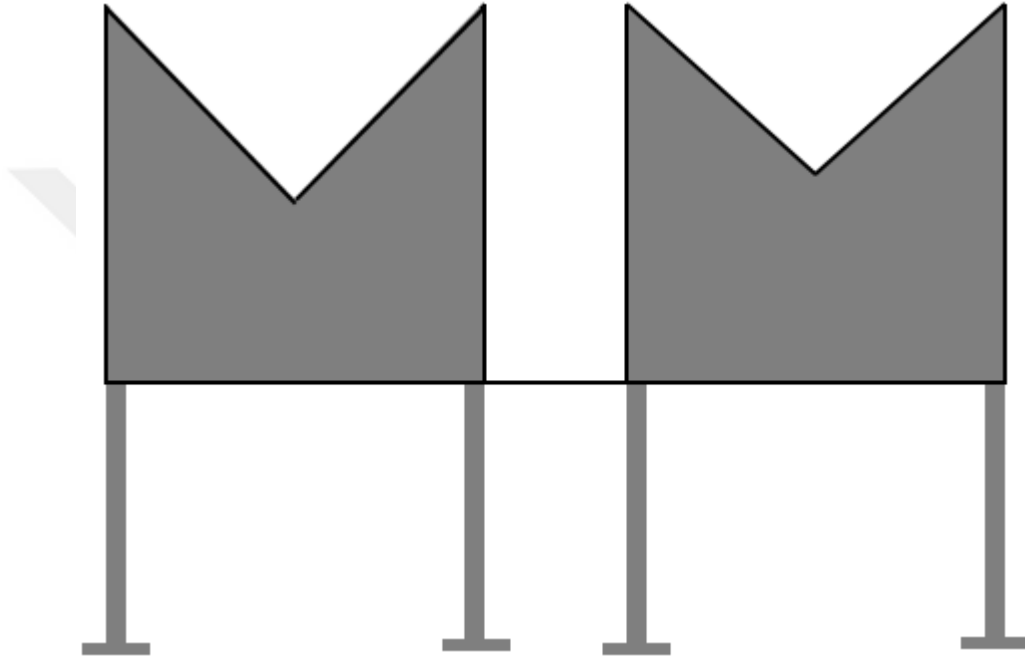
Şekil 4.10. (a-g) Deneyler sırasında alınan görüntüler



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.11. (a-c) Deneysel çalışmada kullanılan deney düzeneği: (a) plan, (b) A-A kesiti, (c) B-B kesiti

4.2. Ana Kanal Debisinin Ölçülmesi

Ana kanala verilen suyun miktarı elektromanyetik bir debimetre (Krohne marka) kullanılarak ölçülmüştür. (Şekil 4.12). Ana kanala verilen debiler “L/s” cinsinden ölçülmüştür. Debimetre ayarlarında birim seçimi tercihe bağlıdır. Ölçülen debiler doğrusal çıkış kanalı ve toplama kanalı sonunda bulunan 90° ince kenarlı üçgen savaklar yardımıyla karşılaştırılarak doğrulama yapılmıştır. Şekil 4.13’te deneysel çalışmada test edilen debileri ayarlayan küresel vana verilmiştir.



Şekil 4.12. Ana kanal debisini ölçen elektromanyetik debimetre



Şekil 4.13. Ana kanal debisinin ayarlandığı debimetrenin ön kısmındaki vana

4.3. Yanal Akımı Etkileyen Parametrelerin Belirlenmesi

Dikdörtgen en kesitli doğrusal bir kanalda, yandan alışı olarak kullanılan yapılardan geçen akıma etki eden birçok parametre vardır. Bu değişkenler, yan savaklar yan kapaklar ve birleşik yan savak ve kapaklar için ayrı ayrı verilmiştir.

4.3.1. Yan Savaklar

Yan savakları etkileyen değişkenler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Yanal akımlarda yan savak akımını etkileyen parametreler

DEĞİŞKENLER	SİMGE	BİRİM (SI)	BOYUT
1) Ana kanala ait değişkenler			
a) Kanal taban eğimi	S_0	-	

Tablo 4.1 (devamı)

b) Kanal genişliği	B	m	L
c) Kanal yüksekliği	H	m	L
2) Akım ilgili değişkenler			
a) Ana kanal giriş debisi	Q_1	m ³ /s	L ³ T ⁻¹
b) Ana kanal çıkış debisi	Q_2	m ³ /s	L ³ T ⁻¹
c) Yan savak debisi	Q_w	m ³ /s	L ³ T ⁻¹
d) Akım derinliği	y_1	m	L
e) Nap yüksekliği	h	m	L
f) Memba kesitindeki hız	V_1	m/s	LT ⁻¹
g) Ana kanaldaki akımın sapma açısı	φ	°	
3) Akışkana ait değişkenler			
a) Suyun dinamik viskozitesi	μ	kg/m s	ML ⁻¹ T ⁻¹
b) Suyun kinematik viskozitesi	ν	m ² /s	L ² T ⁻¹
c) Yüzeysel Gerilme	σ	kg/s ²	MT ⁻²
d) Yerçekimi İvmesi	g	m/s ²	LT ⁻²
4) Savaklara ait değişkenler			
a) Kret yüksekliği	p	m	L
b) Savak açıklığı	b_w	m	L

Yan Savakların Boyut Analizi

Yanal akımlarda dikdörtgen yan savakların debi katsayısı (C_{dw}) Tablo 4.1'deki değişkenlere bağlı bir fonksiyon olmaktadır. Dikdörtgen yan savakların debi katsayısı (C_{dw}) ve onu etkileyen değişkenler arasındaki fonksiyonel bağıntı şu şekilde yazılabilir.

$$C_{dw} = f(b_w, p, V_1, y_1, B, \rho, \mu, \sigma, g, S_0, \varphi) \quad (4.1)$$

burada; p = kret yüksekliğini, V_1 = memba kesitindeki akım hızını (m/s), b_w = savak genişliğini, B = ana kanalın genişliğini, S_0 = ana kanalın taban eğimini, y_1 = memba akım derinliğini, φ = akım çizgilerinin sapma açısını, μ = dinamik viskoziteyi, σ = yüzey gerilimini, g = yerçekimi ivmesini, ρ = akışkanın özgül kütleini ifade etmektedir.

φ değeri üzerinde; kanal genişliği, akım derinliği ve F_1 sayısı etkilidir. Dolayısıyla, Subramanya ve Awasthy [51] tarafından önerildiği gibi, sayılan değişkenler dikkate alındığından, φ boyut analizinde ihmal edilmiştir (Eşitlik 4.2). Eşitlik yeniden düzenlenirse;

$$C_{dw} = f(b_w, p, V_1, y_1, B, \rho, \mu, \sigma, g, S_0) \quad (4.2)$$

Buckingham Π teoremi ile boyut analizi yapılmış yer çekimi ivmesi g , birim hacim kütlesi ρ ve memba akım derinliği y_1 tekrarlayan değişkenler olarak seçilmiştir. Burada değişken sayısı $n=11$

ve temel boyut sayısı $m=3$ olduğundan $n-m=11-3=8$ tane boyutsuz parametrenin belirlenmesi gerekmektedir. Elde edilen 8 değişken aşağıda sunulmuştur.

$$C_{dw} = f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7) \quad (4.3)$$

ρ , g ve y_1 tekrarlayan değişken olarak seçilirse;

$$\Pi_1 = \rho^{x_1} g^{y_1} y_1^{z_1} b_w$$

$$M^0 = 1 x_1 + 0 y_1 + 0 z_1 + 0 = 0$$

$$L^0 = -3 x_1 + 1 y_1 + 1 z_1 + 1 = 0$$

$$T^0 = 0 x_1 - 2 y_1 + 0 z_1 + 0 = 0$$

Buradan,

$$x_1 = 0, y_1 = 0, z_1 = -1$$

$$\Pi_1 = \rho^0 g^0 y_1^{-1} b_w = \frac{b_w}{y_1}$$

$$\Pi_2 = \frac{p}{y_1}$$

$$\Pi_3 = \frac{B}{y_1}$$

$$\Pi_4 = \rho^{x_4} g^{y_4} y_1^{z_4} \mu$$

$$M^0 = 1 x_4 + 0 y_4 + 0 z_4 + 1 = 0$$

$$L^0 = -3 x_4 + 1 y_4 + 1 z_4 - 1 = 0$$

$$T^0 = 0 x_4 - 2 y_4 + 0 z_4 - 1 = 0$$

Buradan,

$$x_4 = -1, y_4 = -\frac{1}{2}, z_4 = -\frac{3}{2}$$

$$\Pi_4 = \rho^{-1} g^{-1/2} y_1^{-3/2} \mu = \frac{\mu}{\sqrt{g} y_1^{1.5} \rho} = \frac{\nu}{\sqrt{g} y_1^{1.5}}$$

$$\Pi_5 = \rho^{x_5} g^{y_5} y_1^{z_5} V_1$$

$$M^0 = 1 x_5 + 0 y_5 + 0 z_5 + 0 = 0$$

$$L^0 = -3 x_5 + 1 y_5 + 1 z_5 + 1 = 0$$

$$T^0 = 0 x_5 - 2 y_5 + 0 z_5 - 1 = 0$$

Buradan,

$$x_5 = 0, y_5 = -\frac{1}{2}, z_5 = -\frac{1}{2}$$

$$\Pi_5 = \rho^0 g^{-1/2} y_1^{-1/2} V_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}}$$

$$\begin{aligned}
\Pi_6 &= \rho^{x_6} g^{y_6} y_1^{z_6} S_0 \\
M^0 &= 1 x_6 + 0 y_6 + 0 z_6 + 0 = 0 \\
L^0 &= -3 x_6 + 1 y_6 + 1 z_6 + 0 = 0 \\
T^0 &= 0 x_6 - 2 y_6 + 0 z_6 + 0 = 0
\end{aligned}$$

Buradan,

$$\begin{aligned}
x_6 &= 0, y_6 = 0, z_6 = 0 \\
\Pi_6 &= \rho^0 g^0 y_1^0 S_0 = S_0 \\
\Pi_7 &= \rho^{x_7} g^{y_7} y_1^{z_7} \sigma \\
M^0 &= 1 x_7 + 0 y_7 + 0 z_7 + 1 = 0 \\
L^0 &= -3 x_7 + 1 y_7 + 1 z_7 + 0 = 0 \\
T^0 &= 0 x_7 - 2 y_7 + 0 z_7 - 2 = 0
\end{aligned}$$

Buradan,

$$\begin{aligned}
x_7 &= -1, y_7 = -1, z_7 = -2 \\
\Pi_7 &= \rho^{-1} g^{-1} y_1^{-2} \sigma = \frac{\sigma}{\rho g y_1^2} \\
\Pi_1 &= \frac{b_w}{y_1}, \Pi_2 = \frac{p}{y_1}, \Pi_3 = \frac{B}{y_1}, \Pi_4 = \frac{\mu}{\rho \sqrt{g} y_1^3}, \Pi_5 = \frac{V_1}{\sqrt{g} y_1}, \Pi_6 = S_0, \Pi_7 = \frac{\sigma}{\rho g y_1^2} \\
Re &= \frac{\Pi_5}{\Pi_4} = \frac{\rho V_1 y_1}{\mu} \\
F_1 &= \frac{V_1}{\sqrt{g} y_1} = \Pi_5 \\
We &= \frac{\sigma}{\rho g y_1^2} = \Pi_7 \\
\frac{\Pi_1}{\Pi_3} &= b_w/B
\end{aligned}$$

Yanal akımda dikdörtgen savağın debi katsayısı boyutsal analiz sonucunda elde edilen boyutsuz parametreler aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$C_{dw} = f \left(\frac{b_w}{y_1}, \frac{p}{y_1}, \frac{b_w}{B}, F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g} y_1}, Re = \frac{\rho V_1 y_1}{\mu}, We = \frac{\sigma}{\rho g y_1^2}, S_0 \right) \quad (4.4)$$

burada F_1 , Re ve We , yan savakların memba Froude sayısı, Reynolds sayısı ve Weber sayısıdır. En küçük nap yükü değeri, Novak ve Cabelka [71] tarafından önerilmiş olan 30 mm alınmış bu nedenle yüzey geriliminin etkisi ihmal edilmiş, deneyde kullanılan her model için kanalın taban eğimi sabit olduğundan S_0 etkisi ihmal edilmiştir [5]. Deneyler türbülanslı akım koşullarında viskoz kuvvetlerin etkisi ağırlık kuvvetlerine kıyasla önemsiz olup [50] Re ihmal edilmiştir. Gerekli düzenlemeler yapılırsa Eşitlik (4.5) elde edilir.

$$C_{dw} = f\left(\frac{b_w}{y_1}, \frac{p}{y_1}, \frac{b_w}{B}, F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}}\right) \quad (4.5)$$

Mevcut çalışmada dikdörtgen yan savaklarda debi katsayısını elde etmek için De Marchi, Domínguez ve Schmidt yaklaşımları kullanılmıştır.

4.3.2. Yan Kapaklar

Yan kapakları etkileyen değişkenler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Yanal akımlarda kapak altı akımını etkileyen parametreler

DEĞİŞKENLER	SİMGE	BİRİM (SI)	BOYUT
1) Ana kanala ait değişkenler			
a) Kanal taban eğimi	S_0	-	
b) Kanal genişliği	B	m	L
c) Kanal yüksekliği	H	m	L
2) Akım ilgili değişkenler			
a) Ana kanal giriş debisi	Q_1	m ³ /s	L ³ T ⁻¹
b) Ana kanal çıkış debisi	Q_2	m ³ /s	L ³ T ⁻¹
c) Yan kapak debisi	Q_g	m ³ /s	L ³ T ⁻¹
d) Akım derinliği	y_1	m	L
e) Memba kesitindeki hız	V_1	m/s	LT ⁻¹
f) Ana kanaldaki akımın sapma açısı	φ	°	
3) Akışkana ait değişkenler			
a) Suyun dinamik viskozitesi	μ	kg/ms	ML ⁻¹ T ⁻¹
b) Suyun kinematik viskozitesi	ν	m ² /s	L ² T ⁻¹
c) Yüzeysel Gerilme	σ	kg/s ²	MT ⁻²
d) Yerçekimi İvmesi	g	m/s ²	LT ⁻²
4) Kapaklara ait değişkenler			
a) Kapak yüksekliği	a	m	L
b) Kapak açıklığı	b_g	m	L

Yanal akımlarda dikdörtgen yan kapakların debi katsayısı (C_{dg}) Tablo 4.2’deki değişkenlere bağlı bir fonksiyon olmaktadır. Dikdörtgen yan kapakların debi katsayısı (C_{dg}) ve onu etkileyen değişkenler arasındaki fonksiyonel bağıntı şu şekilde yazılabilir.

$$C_{dg} = f(b_g, a, V_1, y_1, B, \rho, \mu, \sigma, g, S_0, \varphi) \quad (4.6)$$

burada, a = kapak yüksekliğini b_g =kapak genişliğini, V_1 =memba kesitindeki akım hızını (m/s), B =ana kanalın genişliğini, S_0 =ana kanalın taban eğimini, y_1 =memba akım derinliğini, φ =akım çizgilerinin sapma açısını, μ = dinamik viskoziteyi, σ =yüzey gerilimini, g =yerçekimi ivmesini, ρ =akışkanın özgül kütleini ifade etmektedir.

φ değeri üzerinde; kanal genişliği, akım derinliği ve F_1 sayısı etkilidir. Dolayısıyla, Subramanya ve Awasthy [51] tarafından önerildiği gibi, sayılan değişkenler dikkate alındığından, φ boyut analizinde ihmal edilmiştir (Eşitlik 4.7). Eşitlik yeniden düzenlenirse;

$$C_{dg} = f(b_g, a, V_1, y_1, B, \rho, \mu, \sigma, g, S_0) \quad (4.7)$$

Buckingham Π teoremi ile boyut analizi yapılmış, yer çekimi ivmesi g , birim hacim kütlesi ρ ve memba akım derinliği y_1 tekrarlayan değişkenler olarak seçilmiştir. Burada değişken sayısı $n=11$ ve temel boyut sayısı $m=3$ olduğundan $n-m=11-3=8$ tane boyutsuz parametrenin belirlenmesi gerekmektedir. Elde edilen 8 değişken aşağıda sunulmuştur.

$$C_{dg} = f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7) \quad (4.8)$$

ρ, g ve y_1 tekrarlayan değişken olarak seçilirse;

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \rho^{x_1} g^{y_1} y_1^{z_1} b_g \\ M^0 &= 1 x_1 + 0 y_1 + 0 z_1 + 0 = 0 \\ L^0 &= -3 x_1 + 1 y_1 + 1 z_1 + 1 = 0 \\ T^0 &= 0 x_1 - 2 y_1 + 0 z_1 + 0 = 0 \end{aligned}$$

Buradan,

$$x_1 = 0, y_1 = 0, z_1 = -1$$

$$\Pi_1 = \rho^0 g^0 y_1^{-1} b_w = \frac{b_g}{y_1}$$

$$\Pi_2 = \frac{a}{y_1}$$

$$\Pi_3 = \frac{B}{y_1}$$

$$\Pi_4 = \rho^{x_4} g^{y_4} y_1^{z_4} \mu$$

$$M^0 = 1 x_4 + 0 y_4 + 0 z_4 + 1 = 0$$

$$L^0 = -3 x_4 + 1 y_4 + 1 z_4 - 1 = 0$$

$$T^0 = 0 x_4 - 2 y_4 + 0 z_4 - 1 = 0$$

Buradan,

$$x_4 = -1, y_4 = -\frac{1}{2}, z_4 = -\frac{3}{2}$$

$$\Pi_4 = \rho^{-1} g^{-1/2} y_1^{-3/2} \mu = \frac{\mu}{\sqrt{g} y_1^{1.5} \rho} = \frac{v}{\sqrt{g} y_1^{1.5}}$$

$$\Pi_5 = \rho^{x_5} g^{y_5} y_1^{z_5} V_1$$

$$\begin{aligned}
M^0 &= 1 x_5 + 0 y_5 + 0 z_5 + 0 = 0 \\
L^0 &= -3 x_5 + 1 y_5 + 1 z_5 + 1 = 0 \\
T^0 &= 0 x_5 - 2 y_5 + 0 z_5 - 1 = 0
\end{aligned}$$

Buradan,

$$\begin{aligned}
x_5 &= 0, y_5 = -\frac{1}{2}, z_5 = -\frac{1}{2} \\
\Pi_5 &= \rho^0 g^{-1/2} y_1^{-1/2} V_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Pi_6 &= \rho^{x_6} g^{y_6} y_1^{z_6} S_0 \\
M^0 &= 1 x_6 + 0 y_6 + 0 z_6 + 0 = 0 \\
L^0 &= -3 x_6 + 1 y_6 + 1 z_6 + 0 = 0 \\
T^0 &= 0 x_6 - 2 y_6 + 0 z_6 + 0 = 0
\end{aligned}$$

Buradan,

$$\begin{aligned}
x_6 &= 0, y_6 = 0, z_6 = 0 \\
\Pi_6 &= \rho^0 g^0 y_1^0 S_0 = S_0 \\
\Pi_7 &= \rho^{x_7} g^{y_7} y_1^{z_7} \sigma \\
M^0 &= 1 x_7 + 0 y_7 + 0 z_7 + 1 = 0 \\
L^0 &= -3 x_7 + 1 y_7 + 1 z_7 + 0 = 0 \\
T^0 &= 0 x_7 - 2 y_7 + 0 z_7 - 2 = 0
\end{aligned}$$

Buradan,

$$\begin{aligned}
x_7 &= -1, y_7 = -1, z_7 = -2 \\
\Pi_7 &= \rho^{-1} g^{-1} y_1^{-2} \sigma = \frac{\sigma}{\rho g y_1^2}
\end{aligned}$$

$$\Pi_1 = \frac{b_w}{y_1}, \Pi_2 = \frac{p}{y_1}, \Pi_3 = \frac{B}{y_1}, \Pi_4 = \frac{\mu}{\rho \sqrt{g y_1^3}}, \Pi_5 = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}}, \Pi_6 = S_0, \Pi_7 = \frac{\sigma}{\rho g y_1^2}$$

$$\text{Re} = \frac{\Pi_5}{\Pi_4} = \frac{\rho V_1 y_1}{\mu}$$

$$\text{F}_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}} = \Pi_5$$

$$\text{We} = \frac{\sigma}{\rho g y_1^2} = \Pi_7$$

$$\frac{\Pi_1}{\Pi_3} = b_g/B$$

Yanal akımda dikdörtgen kapağın debi katsayısı boyutsal analiz sonucunda elde edilen boyutsuz parametreler aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$C_{dg} = f\left(\frac{b_g}{y_1}, \frac{a}{y_1}, \frac{b_g}{B}, F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}}, Re = \frac{\rho V_1 y_1}{\mu}, We = \frac{\sigma}{\rho g y_1^2}, S_0\right) \quad (4.9)$$

burada F_1 , Re ve We , yan kapakların memba Froude sayısı, Reynolds sayısı ve Weber sayısıdır. Deneylerde kullanılan her model için kanalın taban eğimi sabit olduğundan ($S_0=0.1$) olduğundan ihmal edilmiştir [5]. Aynı şekilde, yanal akımlarda kapak altındaki akım üzerindeki sınırlı etkisi nedeniyle Re ve We sayıları ihmal edilmiştir [72]. İhmal edilen değişkenler çıkarılırsa yanal akımlarda yan kapağın deşarj katsayısını etkileyen parametreler aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C_{dg} = f\left(\frac{b_g}{y_1}, \frac{a}{y_1}, \frac{b_g}{B}, F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}}\right) \quad (4.10)$$

Yan kapaklarda debi katsayısını elde etmek için De Marchi yaklaşımı kullanılmıştır.

4.3.3. Yan Birleşik Savak-Kapak Yapısı

Birleşik savak ve kapak yapısının deşarjı, Q_c 'nin deşarj kapasitesi [32,34,70,35,37,39,40,42–44,64]

$$Q_c = Q_g + Q_w \quad (4.11)$$

burada Q_g , kapak debisidir. (m^3/s); Q_w ise savaktaki deşarjdır (m^3/s).

Eşitlik (4.12), yanal akımlarda kullanılan kapak altı akımının [24,25] deşarj denklemidir. Ancak, Eşitlik (4.13) Domínguez yaklaşımı için savak deşarj denklemidir [3,15,22]

$$Q_g = C_{dg} a b_g \sqrt{2 g y_1} \quad (4.12)$$

$$Q_w = \frac{4}{15} C_{dw} b_w \sqrt{2 g} \left(\frac{h_2^{2.5} - h_1^{2.5}}{h_2 - h_1} \right) \quad (4.13)$$

Eşitlik (4.12) ve (4.13) Eşitlik (4.14)'teki yerlerine konulursa:

$$Q_c = C_{dg} a b_g \sqrt{2 g y_1} + \frac{4}{15} C_{dw} b_w \sqrt{2 g} \left(\frac{h_2^{2.5} - h_1^{2.5}}{h_2 - h_1} \right) \quad (4.14)$$

Birleşik savak ve savak yapılarında birleşik deşarj, karşıdan alıslı akımlar için literatürde mevcut denklemler kullanılarak ayrı ayrı tahmin edilebilir. Ancak Altan-Sakarya ve Kokpınar [32] ve Negm vd. [39], geleneksel savak deşarj katsayısının kullanılmasının, akım deşarjının

hesaplanmasında kabul edilemez hatalara yol açtığını bulmuştur. Ayrıca Salehi ve Azimi [35], savakların üzerindeki ve kapakların altındaki akım arasında etkileşimlerin meydana geldiğini belirtmişlerdir. Nap etkileşimi, birleşik savak ve kapak yapılarında aşırı enerji kayıplarına neden olur. Sonuç olarak, birleşik savak ve kapak yapılarından ölçülen deşarj, savak ve kapaklar için geleneksel denklemler kullanılarak ayrı ayrı hesaplanan deşarjın üst üste bindirilmesinden farklı olabilir.

Yukarıda bahsedildiği gibi, bir birleşik yan ve savak yapısı, Şekil 4.1'de gösterildiği gibi bir yan savak ve bir yan kapaktan oluşan bir kombinasyondur. Birleşik bir yan savak ve kapak yapısının deşarjı Q_c , Eşitlik (4.14)'te verilmiştir. Birleşik yan savak ve kapak yapısının etkileşim faktörü, IF [35,39] ile gösterilirse, o zaman:

$$IF = \frac{Q_c}{ab_g \sqrt{2gy_1} + \left(\frac{4}{15}\right) b_w \sqrt{2g} \left(\frac{h_2^{2.5} - h_1^{2.5}}{h_2 - h_1}\right)} = \frac{Q_m}{Q_e} \quad (4.15)$$

burada Q_e , birleşik savak-kapak yapısından geçen tahmini deşarjdır (teorik deşarj, C_d 'siz).

Yanal akımlarda birleşik savak ve kapak akımının akım özelliklerini daha iyi irdelemek için üç farklı boyut analizi yapılacaktır.

Birleşik yan savak ve kapakları etkileyen değişkenler Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Yanal akımlarda birleşik savak ve kapak akımını etkileyen parametreler

DEĞİŞKENLER	SİMGE	BİRİM (SI)	BOYUT
1) Ana kanala ait değişkenler			
a) Kanal taban eğimi	S_0	-	
b) Kanal genişliği	B	m	L
c) Kanal yüksekliği	H	m	L
2) Akım ilgili değişkenler			
a) Ana kanal giriş debisi	Q_1	m ³ /s	L ³ T ⁻¹
b) Ana kanal çıkış debisi	Q_2	m ³ /s	L ³ T ⁻¹
c) Yan birleşik savak ve kapak debisi	Q_c	m ³ /s	L ³ T ⁻¹
d) Akım derinliği	y_1	m	L
e) Nap yüksekliği	h	m	L
f) Memba kesitindeki hız	V_1	m/s	LT ⁻¹
g) Ana kanaldaki akımın sapma açısı	φ	°	
3) Akışkana ait değişkenler			
a) Suyun dinamik viskozitesi	μ	kg/ms	ML ⁻¹ T ⁻¹
b) Suyun kinematik viskozitesi	ν	m ² /s	L ² T ⁻¹
c) Yüzeysel Gerilme	σ	kg/s ²	MT ⁻²
d) Yerçekimi İvmesi	g	m/s ²	LT ⁻²
4) Savak ve kapaklara ait değişkenler			
a) Kapak yüksekliği	a	m	L
b) Kapak açıklığı	b_g	m	L
c) Kret yüksekliği	p	m	L

Tablo 4.3 (devamı)

a) Savak açıklığı	b_w	m	L
b) Savak kreti ile kapak üstü arasındaki mesafe	d	m	L

Boyut analizi**Etki faktörü (IF)**

Etki faktörü, Negm vd. [39] tarafından savak üzerinden ve kapak altından ölçülen (birleşik) deşarjın toplam tahmini birleşik deşarja oranı olarak sunulmuştur.

Salehi ve Azimi [35] savakların üzerindeki ve savak kapaklarının altındaki akım arasında etkileşimlerin gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Nap etkileşimi, birleşik savak ve kapak yapılarında aşırı enerji kayıplarına neden olur. Sonuç olarak, birleşik savak ve kapak yapılarından ölçülen deşarj, birleşik savak ve kapak için ayrı ayrı olarak tahmin edilen deşarjın toplamından farklı olabilir. Birleşik akımla ilgili literatür incelendiğinde sadece birleşik savak ve kapaktan geçen akım (teorik deşarj, yani C_d 'siz) dikkate alınmıştır. Birleşik savak ve kapak yapısının doğrulamasını en üst düzeye çıkarmak için, bu çalışmada literatürden farklı olarak aynı geometriye sahip savaklar ve kapaklar için deneyler yapılarak deşarj katsayıları da elde edilmiştir. Çalışmada savakların deşarj katsayısının elde edilmesinde Domínguez yaklaşımı kullanılırken, kapaklarının deşarj katsayısının elde edilmesinde De Marchi yaklaşımı kullanılmıştır. Aynı geometriye sahip hem savak hem de kapak yapısı için elde edilen deşarj katsayıları kullanılarak bu yapılar için tahmini debiler elde edilmiştir. Elde edilen bu debilerden yola çıkarak birleşik savak ve kapak yapısının debisinin hesaplanması için bir denklem önerilmiştir.

Birleşik yan savak ve kapak yapısının deşarjı, Tablo 4.3'te verilen diğer on 13 bağımsız değişkenin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\Phi(\text{IF}, B, b_g, b_w, y_1, a, d, \rho, g, \mu, \sigma, S_0, V_1) = 0 \quad (4.16)$$

Tekrarlayan değişkenler olarak ρ , y_1 , and V_1 seçilirse:

$$\Phi(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9, \Pi_{10}) = 0 \quad (4.17)$$

$$\Pi_1 = \text{IF}, \Pi_2 = \frac{b_w}{y_1}, \Pi_3 = \frac{b_g}{y_1}, \Pi_4 = \frac{B}{y_1}, \Pi_5 = \frac{a}{y_1}, \Pi_6 = \frac{d}{y_1}, \Pi_7 = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}}, \Pi_8 = \frac{\mu}{\rho \sqrt{g y_1^3}}, \Pi_9 = \frac{\sigma}{\rho g y_1^2},$$

$$\Pi_{10} = S_0$$

Savak ve kapak yapısı uzunluğu birbirine eşit olduğundan ($b_g = b_w = b$), çalışmada bunlardan biri (b (m)) dikkate alınmıştır. Bazı Π grupları, hidrolikte yaygın olarak kullanılan boyutsuz değişkenleri çıkarmak için birleştirilmiştir.

$$\begin{aligned}
\Pi_1 &= IF \\
\Pi_2 &= \frac{b}{y_1} \\
\Pi_{2-4} &= \frac{\Pi_2}{\Pi_4} = \frac{b}{B} \\
\Pi_5 &= \frac{a}{y_1} \\
\Pi_{5-6} &= \frac{\Pi_6}{\Pi_5} = \frac{d}{a} \\
\Pi_7 &= \frac{V_1}{\sqrt{g} y_1} = F_1 \\
\Pi_{7-8} &= \frac{\Pi_7}{\Pi_8} = Re \\
\Pi_{7-9} &= \frac{\Pi_7^2}{\Pi_9} = We \\
\Pi_{10} &= S_0
\end{aligned}$$

Boyut analizi sonucunda aşağıdaki boyutsuz değişkenler elde edilmiştir.

$$\Pi_1 = f_1(\Pi_2, \Pi_{2-4}, \Pi_5, \Pi_{5-6}, \Pi_7, \Pi_{7-8}, \Pi_{7-9}, \Pi_{10}) \quad (4.18)$$

Boyutsuz gruplar Eşitlik (4.18) 'de yerlerine yazılırsa boyut analize dayalı olarak birleşik yan savak ve kapak yapısı için aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir:

$$IF = f\left(\frac{b}{y_1}, \frac{b}{B}, \frac{a}{y_1}, \frac{d}{a}, F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g} y_1}, Re = \frac{\rho V_1 y_1}{\mu}, We = \frac{\rho y_1 V_1^2}{\sigma}, S_0\right) \quad (4.19)$$

Viskozite ve yüzey geriliminin ($Re > 200000$ ve $We > 40$) [39] ve ana kanalın eğiminin (S_0) etkisi ihmal edilebilir [5]. Aşağıdaki boyutsuz fonksiyonel ilişki Buckingham Π -teoremine göre türetilir.

$$IF = f\left(\frac{b}{B}, \frac{b}{y_1}, \frac{a}{y_1}, \frac{d}{a}, F_1\right) \quad (4.20)$$

Ek olarak, birleşik yan savak ve kapak yapısının deşarj verimi ($\frac{Q_c}{Q_t} = \eta$) mansap koşulları için yukarıda verilen on üç bağımsız değişkenin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir [17,59]:

$$\Phi(Q_c/Q_t, B, b_g, b_w, y_2, a, d, \rho, g, \mu, \sigma, S_0, V_2) = 0 \quad (4.21)$$

y_2 is mansap akım derinliği (m), V_2 is mansap kesitinde akım hızı (m/s) temsil etmektedir.

Tekrarlayan değişkenler ρ , y_2 , and V_2 seçilirse:

$$\Phi(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9, \Pi_{10}) = 0 \quad (4.22)$$

$$\Pi_1 = \eta, \Pi_2 = \frac{b_w}{y_2}, \Pi_3 = \frac{b_g}{y_2}, \Pi_4 = \frac{B}{y_2}, \Pi_5 = \frac{a}{y_2}, \Pi_6 = \frac{d}{y_2}, \Pi_7 = \frac{V_2}{\sqrt{g y_2}}, \Pi_8 = \frac{\mu}{\rho \sqrt{g y_2^3}}, \Pi_9 = \frac{\sigma}{\rho g y_2^2},$$

$$\Pi_{10} = S_0$$

Savak ve kapak uzunluğu birbirine eşit olduğundan ($b_g=b_w=b$), çalışmada bunlardan biri (b (m)) dikkate alınmıştır. Bazı Π grupları, hidrolikte yaygın olarak kullanılan boyutsuz değişkenleri çıkarmak için birleştirilmiştir.

$$\Pi_1 = \eta$$

$$\Pi_2 = \frac{b}{y_2}$$

$$\Pi_{2-4} = \frac{\Pi_2}{\Pi_4} = \frac{b}{B}$$

$$\Pi_5 = \frac{a}{y_2}$$

$$\Pi_{5-6} = \frac{\Pi_6}{\Pi_5} = \frac{d}{a}$$

$$\Pi_7 = \frac{V_2}{\sqrt{g y_2}} = F_2$$

$$\Pi_{7-8} = \frac{\Pi_7}{\Pi_8} = Re$$

$$\Pi_{7-9} = \frac{\Pi_7^2}{\Pi_9} = We$$

$$\Pi_{10} = S_0$$

Yukarıda elde edilen boyutsuz değişkenler yerlerine yazılırsa;

$$\Pi_1 = f_1(\Pi_2, \Pi_{2-4}, \Pi_5, \Pi_{5-6}, \Pi_7, \Pi_{7-8}, \Pi_{7-9}, \Pi_{10}) \quad (4.23)$$

Boyutsuz gruplar Eşitlik (4.23)'te yazılırsa boyutsal analize dayalı olarak birleşik yan savak ve kapak yapısı için aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir:

$$\eta = f\left(\frac{b}{y_2}, \frac{b}{B}, \frac{a}{y_2}, \frac{d}{a}, F_2 = \frac{V_2}{\sqrt{gy_2}}, Re = \frac{\rho V_2 y_2}{\mu}, We = \frac{\rho y_2 V_2^2}{\sigma}, S_0\right) \quad (4.24)$$

Viskozite ve yüzey geriliminin ($Re > 200000$ ve $We > 40$) [39] ve ana kanalın eğiminin (S_0) etkisi ihmal edilebilir [5]. Aşağıdaki boyutsuz fonksiyonel ilişki Buckingham Π -teoremine göre türetilir.

$$\eta = f\left(\frac{b}{B}, \frac{b}{y_2}, \frac{a}{y_2}, \frac{d}{a}, F_2\right) \quad (4.25)$$

Düz kanallarda kenar dikdörtgen savak ve kapak yapıları için literatür tarafından önerilen deşarj katsayısı denklemleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Tablo 3.1’de görüldüğü gibi denklemlerin tamamında memba Froude sayısı dikkate alınmıştır.

Ayrıca, birleşik çalışan yan savak ve akımını etkileyen parametreler Eşitlik (4.26)’da sunulmuştur.

$$\Phi(Q_c, a, b, B, h, d, S_0, y_1, \varphi, \mu, \sigma, g, \rho) = 0 \quad (4.26)$$

burada, Q_c birleşik çalışan birleşik savağın debisi, a kapak açıklığını b ($b_w = b_g = b$) savak ve kapak genişliğini, B ana kanalın genişliğini, h savak üzerinden akan nap yükünü, d savağın kret yüksekliği ile kapak üst kotu arasındaki mesafeyi, S_0 ana kanalın taban eğimini, y_1 birleşik savağın memba kısmında bulunan eksendeki akım derinliğini, φ akım çizgilerinin sapma açısını, μ dinamik viskoziteyi, σ yüzey gerilimini, g yerçekimi ivmesini, ρ ise akışkanın özgül kütleini ifade etmektedir.

φ değeri üzerinde; kanal genişliği, akım derinliği ve F_1 sayısı etkilidir. Dolayısıyla, Subramanya ve Awasthy [51] tarafından önerildiği gibi, sayılan değişkenler dikkate alındığından, φ boyut analizinde ihmal edilmiştir (Eşitlik 4.27). Eşitlik yeniden düzenlenirse;

$$\Phi(Q_c, a, b, B, h, d, S_0, y_1, \mu, \sigma, g, \rho) = 0 \quad (4.27)$$

Buckingham Π teoremi ile boyut analizi yapılmış, yer çekimi ivmesi g , birim hacim kütlesi ρ ve kapak açıklığı a tekrarlayan değişkenler olarak seçilmiştir. Burada değişken sayısı $n=12$ ve temel boyut sayısı $m=3$ olduğundan $n-m=12-3=9$ tane boyutsuz parametrenin belirlenmesi gerekmektedir. Elde edilen 9 adet aşağıda sunulmuştur.

$$\Pi_1 = \rho^{x_1} g^{y_1} a^{z_1} Q_c$$

$$M^0 = 1 x_1 + 0 y_1 + 0 z_1 + 0 = 0$$

$$L^0 = -3 x_1 + 1 y_1 + 1 z_1 + 3 = 0$$

$$T^0 = 0 x_1 - 2 y_1 + 0 z_1 - 1 = 0$$

Buradan,

$$x_1 = 0, y_1 = -\frac{5}{2}, z_1 = -\frac{1}{2}$$

$$\Pi_1 = \rho^0 g^{-1/2} a^{-5/2} Q_c = \frac{Q_c}{\sqrt{g} a^{2.5}}$$

$$\Pi_2 = \rho^{x_2} g^{y_2} a^{z_2} \mu$$

$$M^0 = 1 x_2 + 0 y_2 + 0 z_2 + 1 = 0$$

$$L^0 = -3 x_2 + 1 y_2 + 1 z_2 - 1 = 0$$

$$T^0 = 0 x_2 - 2 y_2 + 0 z_2 - 1 = 0$$

Buradan,

$$x_2 = -1, y_2 = -\frac{1}{2}, z_2 = -\frac{3}{2}$$

$$\Pi_2 = \rho^{-1} g^{-1/2} a^{-3/2} \mu = \frac{\mu}{\sqrt{g} a^{1.5} \rho} = \frac{\nu}{\sqrt{g} a^{1.5}}$$

$$\Pi_3 = \rho^{x_3} g^{y_3} a^{z_3} b$$

$$M^0 = 1 x_3 + 0 y_3 + 0 z_3 + 0 = 0$$

$$L^0 = -3 x_3 + 1 y_3 + 1 z_3 + 1 = 0$$

$$T^0 = 0 x_3 - 2 y_3 + 0 z_3 + 0 = 0$$

Buradan,

$$x_3 = 0, y_3 = 0, z_3 = -1$$

$$\Pi_3 = \rho^0 g^0 a^{-1} b = \frac{b}{a}$$

$$\Pi_4 = \frac{B}{a}$$

$$\Pi_5 = \frac{y_1}{a}$$

$$\Pi_6 = \frac{h}{a}$$

$$\Pi_7 = \frac{d}{a}$$

$$\Pi_8 = \rho^{x_8} g^{y_8} a^{z_8} S_0$$

$$M^0 = 1 x_8 + 0 y_8 + 0 z_8 + 0 = 0$$

$$L^0 = -3 x_8 + 1 y_8 + 1 z_8 + 0 = 0$$

$$T^0 = 0 x_8 - 2 y_8 + 0 z_8 + 0 = 0$$

Buradan,

$$x_8 = 0, y_8 = 0, z_8 = 0$$

$$\begin{aligned}
\Pi_8 &= \rho^0 g^0 a^0 S_0 = S_0 \\
\Pi_9 &= \rho^{x_9} g^{y_9} a^{z_9} \sigma \\
M^0 &= 1 x_9 + 0 y_9 + 0 z_9 + 1 = 0 \\
L^0 &= -3 x_9 + 1 y_9 + 1 z_9 + 0 = 0 \\
T^0 &= 0 x_9 - 2 y_9 + 0 z_9 - 2 = 0
\end{aligned}$$

Buradan,

$$\begin{aligned}
x_9 &= -1, y_9 = -1, z_9 = -2 \\
\Pi_9 &= \rho^{-1} g^{-1} a^{-2} \sigma = \frac{\sigma}{\rho g a^2}
\end{aligned}$$

$Q = V_1 B y_1$ yazılırsa,

$$\begin{aligned}
F_1 &= \frac{\Pi_1}{\Pi_4 \Pi_5} \\
Re &= \frac{\Pi_1}{\Pi_2 \Pi_6} \\
We &= \frac{\Pi_1^2}{\Pi_9 \Pi_4^2} \\
\frac{\Pi_3}{\Pi_4} &= b/B \\
\frac{\Pi_3}{\Pi_6} &= b/h \\
q_t &= \frac{\Pi_1}{\Pi_3} = \frac{Q_c/b}{\sqrt{g} a^{1.5}}
\end{aligned}$$

$$\Phi \left(\frac{Q_c}{b}, \frac{y_1}{a}, \frac{b}{B}, \frac{b}{a}, \frac{h}{b}, \frac{d}{a}, Re, F_1, We, S_o \right) = 0 \quad (4.28)$$

En küçük nap yükü değeri, Novak ve Cabelka [71] tarafından önerilmiş olan 3 cm alınmış bu nedenle yüzey geriliminin etkisi ihmal edilmiştir. Deneylerde kullanılan her model için kanalın taban eğimi sabit olduğundan S_o etkisi ihmal edilmiş [5,65], deneyler türbülanslı akım koşullarında viskoz kuvvetlerin etkisi ağırlık kuvvetlerine kıyasla önemsiz olup [50,65], Re ihmal edilmiştir. Gerekli düzenlemeler yapılırsa Eşitlik (4.29) elde edilir.

$$\Phi \left(\frac{Q_c}{b}, \frac{y_1}{a}, \frac{b}{B}, \frac{b}{a}, \frac{h}{b}, \frac{d}{a}, F_1 \right) = 0 \quad (4.29)$$

Eşitlik (4.29) düzenlenirse;

$$\frac{Q_c}{\sqrt{g} \frac{b}{a^{1.5}}} = f_1 \left(\frac{y_1}{a}, \frac{b}{B}, \frac{b}{a}, \frac{h}{b}, \frac{d}{a}, F_1 \right) \quad (4.30)$$

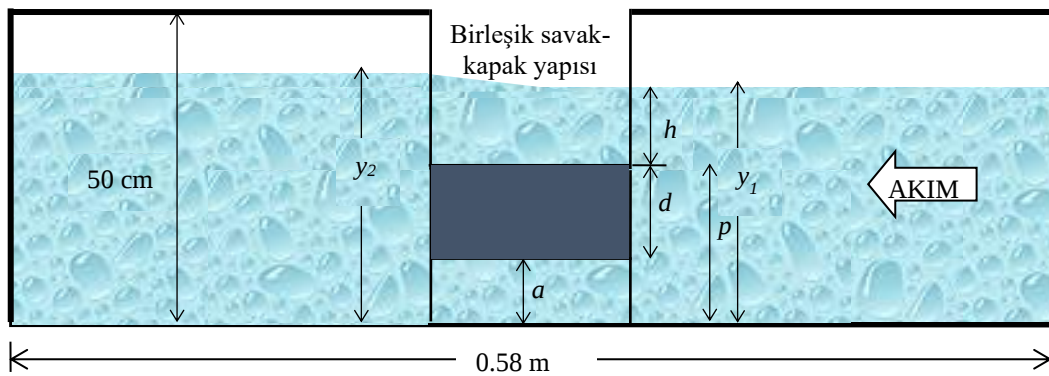
y_1/a ve h/b akımı etkileyen hidrolik parametreler b/B , b/a , d/a akımı etkileyen geometrik parametrelerdir. Geometrik parametrelerden b/B daralma oranı d/a ise engelleme oranı olarak isimlendirilecektir.

4.4. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada kullanılan deney seti; 0.40 m genişliğe sahip bir düz kanal olup, kanal uzunluğu 11 m, düz kanalında onunda bir mafsallı kapak ve mafsallı kapaktan sonra 3 m uzunluğunda bir kanal daha vardır. Ayrıca 0.40 m genişlik 0.40 m yüksekliğe sahip bir toplama kanalı da ana kanala monte edilmiştir (Şekil 4.11).

Ana kanalın ve toplama kanalının taban eğimi %0.10'dır. Deneyler, yan savaklar, yan kapaklar ve birleşik çalışan savak ve kapak yapıları için dikdörtgen enkesitli doğrusal kanalda ayrı ayrı yapılmıştır. Deneyler kararlı akım şartlarında, serbest savaklanma hali için nehir rejimi altında gerçekleştirilmiştir. Yan savak nap kalınlığı (savak yükü) olarak, yan savak membasında ana kanal eksenindeki su derinliğine göre elde edilen nap kalınlığı dikkate alınmıştır. Yüzey gerilme etkileri Novakve Cabelka [71]'e göre 3 cm'den büyük alınması gerektiğini belirttikleri için mevcut çalışmada bütün nap yükleri 3 cm'den büyük alınarak yüzey gerilme etkileri ihmal edilmiştir.

Ana kanalın memba kısmına ve toplama kanalının sonuna doğru elekler yerleştirilerek kararlı akım şartlarını (yani zamanla değişmeyen akım) sağlanmıştır. Bunun amacı, yan savak, kapak ve birleşik yan savak ve kapak üzerinde alınan ölçümlerin doğru ve hassa olmasını temin etmektir (Şekil 4.3). Bu deneysel çalışma, doğrusal bir kanalda yerleştirilen yan savak, kapak ve birleşik çalışan savak ve kapaklar için gerçekleştirilmiştir. Deney sisteminin plan ve kesit görünümleri Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Şekil 4.14'te deneysel çalışmanın uygulama düzeneği verilmiştir.



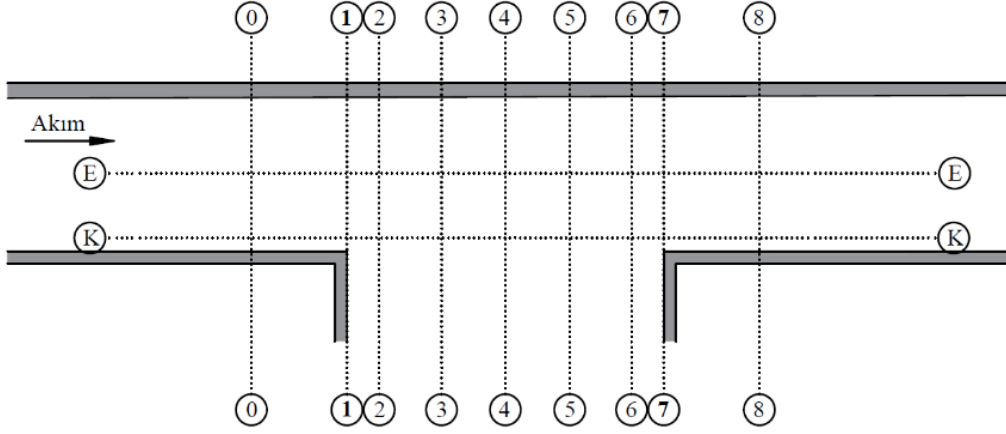
Şekil 4.14. Deney sistemi uygulama düzeneği

Dikdörtgen yan savak, yan kapak modelleri (üçgen, yarım daire ve dikdörtgen) ve birleşik savak ve kapak (dikdörtgen savak ve kapak, dikdörtgen savak ve üçgen kapak ve dikdörtgen savak ve yarım daire kapak) modelleri üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.4'te deneylerin gerçekleştirildiği fiziksel, hidrolik koşulların değerleri ve değişim aralıkları sunulmuştur. Yanal akımlar için kullanılan modellerde memba Froude sayısının deşarj kapasitesine ve akım karakteristiklerine etkisini incelemek amacı ile $0.044 < F_1 < 0.98$ aralığında değerler ile çalışılmıştır. Deneylerde, yan savaklar için 18 model, yan kapaklar için 11 model, birleşik çalışan savak ve kapak için 33 model olmak üzere toplam 62 model kullanılmış (Şekil 4.1) olup ona göre imal edilmiştir. Dikdörtgen yan savaklar 6, 9 ve 12 cm yüksekli modellenecek 198, kapaklar için 155 ve birleşik yan savak ve kapak yapısı için 417 olmak üzere toplam 770 deney gerçekleştirilmiştir. Ayrıca birleşik savak ve kapak modelleri deneysel koşulları kullanılarak bu modellerin sayısal modellemesi yapılmıştır.

Tablo 4.4. Deneylerin gerçekleştirildiği fiziksel ve hidrolik koşulların değerleri ve değişim aralıkları

	Değişkenler	Sınır Değerleri
Ana kanal	Ana kanalın genişliği, b (m)	0.40
	Ana kanalın yüksekliği, z (m)	0.50
	Ana kanalın taban eğimi, S_0	0.001
Yan savak	Savak açıklığı, b_w (m)	0.04-0.16
	Savak yüksekliği, p (m)	0.06-0.09-0.12
	Kanala giren debi, Q_1 (m ³ /s)	0.010- 0.046
	Memba Froude sayısı, F_1	0.042-0.98
	Nap yükü, h_1 (m)	0.03-0.09
	Yan savak debisi, Q_w (m ³ /s)	0.000372-0.0126
	Akım derinliği, y_1 (m)	0.1265-0.341
Yan kapak	Kapak genişliği, b_g (m)	0.04-0.16
	Kapak açıklığı, a (m)	0.02-0.04
	Kanala giren debi, Q_1 (m ³ /s)	0.0031-0.0409
	Memba Froude sayısı, F_1	0.07-0.98
	Akım derinliği, y_1 (m)	0.05-0.225
	Yan kapak debisi, Q_g (m ³ /s)	0.00032-0.0081
	Savak ve kapak genişliği (m)	0.04-0.16
Yan birleşik savak ve kapak	Kret yüksekliği, p (m)	0.06-0.09-0.12
	Kanala giren debi, Q_1 (m ³ /s)	0.0095-0.046
	Memba Froude sayısı, F_1	0.06-0.93
	Nap yükü, h_1 (m)	0.034-0.266
	Kret ile kapak üst noktası arasındaki düşey mesafe, d (m)	0.02-0.10
	Kapak açıklığı, a (m)	0.02-0.03-0.04
	Birleşik savak ve kapak debisi, Q_c	0.0013-0.0189
	Akım derinliği, y_1	0.101-0.357

Sisteme giren su miktarını kontrol eden küresel vana ve ana kanalın sonunda bulunan mafsallı kapak yardımı ile istenen memba Froude sayıları ve akım yükseklikleri (y_1) elde edilmiştir. Nehir rejiminde gerçekleştirilen deneyler esnasında ölçümler alınmadan önce akımın kararlı akım koşullarına ulaşması beklenmiştir. Şekil 4.15'te deneysel çalışmada ölçüm alınan noktalar verilmiştir.



Şekil 4.15. Ölçüm noktalarının planda gösterimi

Her deneyde, Şekil 4.15'te görüldüğü gibi eksende 3 adet (E1, E4, E7) kıyıda (K1, K4, K7)'de 3 adet olmak üzere toplam 6 noktada ölçüm yapılmıştır. Ayrıca, her seride Şekil 4.10'da görüldüğü gibi eksende 10 veya 12 kıyıda da aynı sayıda olmak üzere toplam 20 veya 24 noktada ölçüm yapılmıştır. Yanal akımlarda birleşik savak ve kapak elemanlarının akıma etkisini değerlendirebilmek amacı ile akım derinliği; memba, savak ortası mansap kısmında bulunan akım derinlikleri ölçülmüştür (E1, E4, E7). Yan savak nap yükü, h_1 , (savak kreti üzerindeki piyezometrik yükseklik) olarak, yan savak memba kısmında ana kanal ekseninde (E1) ölçülen su derinliğine göre elde edilen nap kalınlığı dikkate alınmıştır. Ana kanal ve yan savak üzerinde ölçümler tamamlandıktan sonra toplama kanalı sonundaki üçgen savağın öncesinde su derinliği ölçülerek deney tamamlanmıştır.

5. SAYISAL MODEL

5.1. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler ve sağladığı kolaylıklar sayesinde gelişen yazılım programları birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Akışkan ve ısı transferi ile ilgili olan ürünlerin analizlerinin yapılmasına ve performansının sınanmasında kullanılan Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (*Computational Fluid Dynamics-CFD*) yazılımları hidrolik mühendisliğine ait birçok problemin çözümünde kullanılmaktadır. Bu programlar kullanılarak, süreklilik, momentum ve enerji verilerine ulaşılmakta ve hız, basınç, sıcaklık ve benzeri birçok hidrolik parametreyi aynı anda değerlendirebildiğinden oldukça hızlı sonuçlar alınmaktadır. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği için yazılmış programları kullanacak kişinin, programın çözdüğü denklemler ve akışkanlar dinamiği teorisi hakkında bilgi sahibi olması gerekir. Programın girdileri ve çözüm yöntemleri ne kadar doğru belirlenirse elde edilen sonuçlar da o denli gerçeğe yakın olacaktır. Takip edilecek işlemlerde, önce akış hacminin sonlu hacimlere bölünmesi sağlanarak çözüm ağı oluşturulmaktadır. Çözüm ağının kalitesi, sonuçların doğruluğunu etkilemektedir [59]. Çözüm ağının boyutları küçüldükçe daha hassas ve gerçeğe yakın sonuçlar elde edilirken ancak işlem süreci artmaktadır. Sonrasında dikkate alınan akım bölgesinin sınır koşulları belirlenmekte, akım koşulları ve özelliklerini tanımlayan parametrelerin sayısal değerleri girilmektedir. Sonuç olarak çözüm yöntemi, türbülans modeli ve yakınsama kriterine karar verilmesiyle analize başlanır.

Sayısal analiz yöntemleri, deneysel modellerle ile karşılaştırıldığında hem zamandan hem de maliyetten tasarruf sağlamaktadır. HAD yazılımlarının çoğu, uygun alanlara kolaylıkla uygulanabilecek hazır türbülans modellerine sahiptir. Ancak türbülanslı akım modelini tam manasıyla gerçeğe yakın olarak çözememektedir. HAD yazılımları sayesinde birçok geometrik modeli birçok sınır şartlarına ve tasarım seçeneklerine göre kolayca tasarlamak mümkündür. Bu yazılımlar sayesinde uygun görülen ölçekteki prototip için analizler yürütülebildiğinden ölçek etkisine tabi değildir. Sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar kurulan denklemler, parametreler ve sınır şartlarının doğruluğu ölçüsünde doğru sonuçlar verdiği bilinmelidir. Sayısal modellemede başlangıç ve sınır şartları problemin çözümünün doğruluğu için oldukça önemlidir ve model elde edilen sonuçların doğruluğu çözüm ağının hassaslığına bağlıdır. Ancak modellemede çözüm ağının hassaslık derecesi artması çözüm süresinin de orantılı olarak artması demektir. Akışkan ile yüzey arasındaki hız değişimlerinin tahmininde hala sınırlamaların olması, elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla ya da sayısal modelle karşılaştırılma imkânı olmadığı zamanlarda önemli ölçüde öne çıkmaktadır [73].

Geliştirilebilir analiz gücü sayesinde HAD yazılımları deney modellerine bir alternatiftir. Ancak bu yazılımların doğruluğunun ispat edilebilmesi için fiziksel modellerle ya da prototiplerle

kalibrasyon yapılması gerekmektedir [73]. Sayısal analiz yöntemleri, standart mühendislik hesaplarının geometrinin karmaşıklığından dolayı pratik olmadığı zamanlarda, fiziksel deneylerin pahalı olması durumunda, deney düzeneğinden elde edilecek sonuçlardan daha fazla sonuç gerektiği durumlarda ve fiziksel deneylerin mümkün olmadığı durumlarda alternatif bir çözüm şeklidir. Ancak, sayısal analizi yapılacak konu hakkında daha önce elde edilmiş bir deneysel çalışma ile sayısal analiz verilerinin doğruluğu denetlenmelidir [74].

5.1.1. Akışkan Akımının Temel Denklemleri

Süreklilik Denklemi

Üç boyutlu, sıkışmaz akışkanlar için kullanılan süreklilik denklemi (5.1)'de belirtildiği

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (5.1)$$

şeklindedir. Burada u ; x yönündeki hız, v ; y yönündeki hız ve w ; z yönündeki hızdır. Türbülanslı akışkanlarda $u = \bar{u} + u'$ yazılarak;

$$\frac{\partial}{\partial x}(\bar{u} + u') + \frac{\partial}{\partial y}(\bar{v} + v') + \frac{\partial}{\partial z}(\bar{w} + w') = 0 \quad (5.2)$$

burada $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$; x, y , ve z yönündeki zamana bağlı ortalama hızları, u', v', w' ise türbülans çalkantı hızlarıdır. Buradan zamana bağlı ortalama süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (5.3)$$

şeklinde yazılabilir.

5.1.2. Navier Stokes Denklemleri

x, y ve z koordinat takımında Eşitlik (5.4 - 5.7)'de üç boyutlu bir akım için sıkıştırılmaz akışkanın hareketini tanımlayan Navier-Stokes denklemleri verilmiştir.

x yönünde;

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + X + v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (5.4)$$

y yönünde;

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + Y + v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (5.5)$$

z yönünde;

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + Z + v \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (5.6)$$

Bu eşitlikler Eşitlik (5.7)'te ise vektörel formda verilmiştir.

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \text{grad } \vec{V} = -\frac{1}{\rho} \text{grad } P + \vec{f} + \nu \nabla^2 \vec{V} \quad (5.7)$$

burada P basınç (N/m^2), ν ise kinematik viskozite (m^2/s) ρ ise akışkanın özgül kütesidir (kg/m^3). X , Y ve Z ilgili eksenlerdeki kütle ivmeyi göstermektedir (m/s^2). Düşey eksen (z eksen) yerçekimi ivmesi etki ettiğinden $Z=9.81 \text{ m/s}^2$ olarak alınırken diğer eksenlerde düşey yük olmadığından bu değerlerin denkleme etkisi olmamaktadır.

5.1.3. Türbülans Denklemleri

Türbülans Kayma Gerilmesi

Türbülans kayma gerilmesi;

$$\bar{\tau} = -\rho \overline{u'v'} \quad (5.8)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir. Bu denklemlerde $\overline{u^i v^i}$ ifadesi türbülans çalkantı hızlarının çarpımının ortalamasını ifade etmektedir. Viskozite nedeniyle tabakalarda oluşan sürtünme kuvvetinin de hesaba katılmasıyla toplam kayma gerilmesi;

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} + (-\rho \overline{u^i v^i}) \quad (5.9)$$

burada, μ dinamik viskoziteyi ifade etmektedir [21]

Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) Denklemleri

Navier-Stokes denklemlerinde u yerine $(\bar{u} + u')$; v yerine $(\bar{v} + v')$; w yerine $(\bar{w} + w')$ yazılarak türbülanslı akımlarda x, y, z doğrultusundaki hareket denklemleri (5.10-5.12) elde edilir. x yönünde;

$$\begin{aligned} \rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} \right) \\ = \rho X - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \mu \nabla^2 \bar{u} + \frac{\partial}{\partial x} (-\rho \overline{u' u'}) + \frac{\partial}{\partial y} (-\rho \overline{u' v'}) \\ + \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{u' w'}) \end{aligned} \quad (5.10)$$

y yönünde;

$$\begin{aligned} \rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} \right) \\ = \rho Y - \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \mu \nabla^2 \bar{v} + \frac{\partial}{\partial x} (-\rho \overline{v' u'}) + \frac{\partial}{\partial y} (-\rho \overline{v' v'}) + \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{v' w'}) \end{aligned} \quad (5.11)$$

z yönünde;

$$\begin{aligned}
\rho \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial t} \right) \\
= \rho Z - \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \mu \nabla^2 \bar{w} + \frac{\partial}{\partial x} (-\rho \overline{w'u'}) + \frac{\partial}{\partial y} (-\rho \overline{w'v'}) \\
+ \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{w'w'})
\end{aligned} \tag{5.12}$$

Bu denklemlerin türbülans çalkantı bileşenlerine ise Reynolds gerilmeleri ya da Eddy Gerilmeleri denmektedir. İkinci dereceden $T^{(e)}$ tensörüne ait dokuz adet eddy gerilmeleri aşağıdaki şekilde tarif edilmiştir.

$$T^{(e)} = \begin{bmatrix} \sigma_{(xx)}^{(e)} & \tau_{xy}^{(e)} & \tau_{xz}^{(e)} \\ \tau_{yx}^{(e)} & \sigma_{(yy)}^{(e)} & \tau_{yz}^{(e)} \\ \tau_{zx}^{(e)} & \tau_{zy}^{(e)} & \sigma_{(zz)}^{(e)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\overline{\rho u'^2} & -\overline{\rho u'v'} & -\overline{\rho u'w'} \\ -\overline{\rho u'v'} & -\overline{\rho v'^2} & -\overline{\rho v'w'} \\ -\overline{\rho u'w'} & -\overline{\rho v'w'} & -\overline{\rho w'^2} \end{bmatrix} \tag{5.13}$$

burada $\sigma^{(e)}$ ve $\tau^{(e)}$ sırasıyla eddy normal ve eddy kayma gerilmelerini temsil etmektedir. Reynolds denklemlerini vektör-tensör formda yazılırsa;

$$\rho \frac{d\vec{V}}{dt} = \rho \bar{f} - \nabla \bar{p} + \mu \nabla^2 \vec{V} + [\nabla T^{(e)}] \tag{5.14}$$

elde edilir [21].

5.1.4. Türbülanslı Akımlarda Kapama Problemi ve Çözüm Yöntemleri

Türbülans, Navier-Stokes denklemlerinin genel bir çözümü olmasına rağmen bu denklemler türbülanslı akımlar için çok uygun çözümler değildir. Üç adet hareket denklemi ve bir adet süreklilik denklemi, toplamda dört adet denklem olmasının yanında, on adet bilinmeyen vardır. Bilinmeyenlerin altısını Reynolds gerilmeleri oluştururken geriye kalan dört bilinmeyen $\bar{p}$, $\bar{u}$, $\bar{v}$, $\bar{w}$ değerleridir. Bu durum türbülanslı akışların teoride açıklanmasının güçlüklerindendir ve buna “kapama problemi” denmektedir [21]. Kapama probleminin giderilmesi amacıyla birçok türbülans modeli geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında yaygın olarak kullanılan modeller arasında Doğrudan Sayısal Çözüm (*Direct Numerical Simulation- DNS*), Reynolds Ortalama Navier-Stokes (*Reynolds*

Averaged Navier-Stokes-RANS) ve Büyük Eddy Simulasyonu (*Large Eddy Simulation-LES*) sayılabilir. Herhangi bir türbülans yöntemi kullanmadan akım üzerinde dinamik olarak etkin olan büyük ve küçük çevrintiler çözülerek Navier-Stokes denklemleri ile sayısal çözümler elde edilebilmektedir. Bu sebeple herhangi bir türbülans modeli içermeyen DNS yaklaşımı kapama probleminin çözümü için kullanılabilmektedir. Ancak, DNS yöntemi ile yapılan çözümler yüksek hıza ve depolama alanına sahip bilgisayarlar gerektirdiğinden, kullanım alanı az türbülanslı (küçük Reynolds sayılı) akımlar ile sınırlı kalmıştır [75,76]

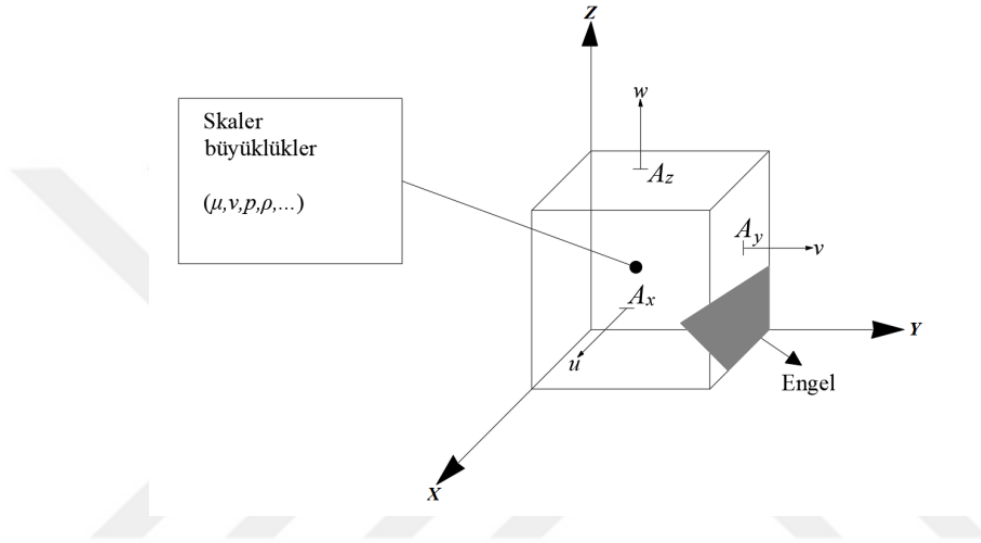
RANS denklemleri özellikle viskoz etkilerin önemsiz olduğu yüksek Reynolds hızlarına sahip ya da karmaşık geometriye sahip türbülanslı akımlarda sıkça kullanılmaktadır. Bu denklemlerdeki temel prensip, akıma ait parametrelerin ortalama ve çalkantı bileşenlerine ayrılarak zaman ortalamalarının alınmasıdır. Sonuç denklemleri sadece ortalama değerler için çözülür ve Reynolds gerilmeleri değerlerinde laminar akımdan farklı olarak çalkantı bileşenlerinin ortalamasını da kapsamaktadır. Elde edilen bu Reynolds gerilmeleri kapama probleminin çözümü için modellenmektedir [21]. DNS, bütün çalkantıların çözüldüğü ve model gerektirmeyen bir yöntemdir. RANS ise bütün çalkantıların modellendiği bir yaklaşım olmasıyla beraber LES ise DNS ile RANS arasında bir konumda bulunan çözüm yöntemidir. LES metodu sadece türbülansın ortalama etkileri hakkında değil, aynı zamanda dalgalanmaların büyüklüğü hakkında da bilgi vermektedir [77]. Çalışma metodu olarak akım alanını iki temel bölgeye ayırır. Birincisi, sınır şartlarının doğrudan etkilediği ve akım ile doğrudan etkileşim içinde olan türbülansın açık çözümüdür. İkincisi ise sadece diğer türbülans elemanları ile etkileşim içinde olan küçük çaptaki türbülansın modellenmesidir.

5.2. Kullanılan HAD Yazılımı (Flow-3D)

Flow-3D, *Flow Science Inc.* tarafından, akışkanların dinamik hareketlerini sayısal olarak inceleyen ve birçok bilim dalı (işlem mühendisliği, havacılık ve uzay, hidrolik mühendisliği, çevre, deniz bilimleri, vd.) için geliştirilmiş bir yazılımdır. Flow-3D, akışkanın dinamik hareketinin hesabını sayısal olarak çözümleyen ve birçok alanda kullanılabilecek şekilde tasarlanmış bir yazılımdır. Bu yazılım en genel haldeki enerji, süreklilik ve momentum temel kanunlarına dayalı olacak şekilde geliştirildiğinden neredeyse tüm akışkanlar mekaniği problemlerine uygulanabilmektedir. Bu yazılım ile akışkanların 3 boyutlu ve 2 boyutlu hareketlerini, akışkanların akımını ifade eden Navier-Stokes ve süreklilik denklemleri ile türbülanslı akımlarda çeşitli türbülans kapama denklemleri kullanılarak analiz edebilir. [78,79].

Flow-3D yazılımı, Reynolds Ortalamalı Navier Stokes (RANS) ve süreklilik denklemlerinin çözümünde sonlu hacimler yöntemini kullanmaktadır. Flow-3D yazılımında sonlu hacim yönteminin geliştirilmiş bir versiyonu olan ve serbest yüzey akışlarının son derece hassas bir şekilde modellenmesini sağlayan TruVOF kullanılmaktadır [78,80]. Bu yazılımda hesaplamalar,

dikdörtgen geometrili üniform hücrelerden oluşan çözüm ağlarında yürütülmektedir. Bu yapıdaki bir ağ başlangıçta bir sorun veya kısıtlama gibi gözükse de kolay üretimi, daha az miktarda hafızaya ihtiyaç duyması ve VOF ile FAVOR gibi iki kullanışlı yöntemin kullanılması nedenleriyle bu çözüm ağı tipinin kullanımı bir avantaj oluşturmaktadır [79]. Çözüm ağlarında bulunan kontrol hacmi olarak da ifade edilen hücrelerin her birinin merkezinde akışkana ait yoğunluk, basınç, viskozite gibi skaler büyüklükler yer alırken, hücre yüzeylerinde ise sadece hızlar (u, v, w) hesaba katılmaktadır (Şekil 5.1). [78]



Şekil 5.1. Bir çözüm hücresine etkiyen değişkenler [78]

5.3. FAVOR (*Fractional area/volume obstacle resapantion*) ve VOF (*Volume of Fluid*) Yöntemi

Bir hidrolik problemin sayısal olarak modellenmesinde çözüm bulunması gereken iki temel unsur vardır. Bunlardan birisi problemde serbest su seviyesinin belirlenmesi, diğeri ise mevcut katı sınırların yazılıma tanıtılmasıdır. Flow-3D yazılımında bu problemler VOF(*Volume of Fluid*) ve FAVOR (*Fractional area/volume obstacle resapantion*) yöntemleri ile çözülmektedir [59].

Flow-3D yazılımında, problem geometrisi diğer yazılımların aksine, bazı hücrelerin kapatılmasıyla elde edilmektedir. FAVOR olarak adlandırılan bu yöntemde, kontrol hacminde bulunan bir engelin kontrol hacminin ne kadarını kapladığı ve bu engelin kontrol hacminin her bir yüzeyinde ne kadar alan kapattığı hesaplanarak elde edilen bu iki değer oranlanır. Bu metot aslında problemde bulunan engelleri tanımlamak için kullanılan bir boşluk tekniğidir. Çözüm hücresi tamamen boş ise bu değer 1, tamamen engel ile dolu ise bu değer 0 olur. Eğer bir hücre kısmen engel ile dolu ise bu değer engelin hücrede kapladığı hacme bağlı olarak 0 ile 1 arasında bir değer alır. Bu yöntem sayesinde karmaşık geometrili modeller kaba çözüm ağları ile modellenirse bile çözüm hassasiyeti sağlanmaktadır [78].

Flow-3D yazılımında, su-hava arakesitine sahip serbest yüzeylerin belirlenmesinde ise akışkan hacmi (VOF) yöntemi kullanılmaktadır. VOF yöntemi ile çözüm hücrelerinin boş, tamamen veya kısmen akışkan ile dolu olması durumları belirlenir. Örneğin, hücre tamamen akışkanla dolu ise 1 değerini almakta, tamamen boş ise 0 değerini almakta ve kısmen dolu ise akışkanın hücrede kapladığı hacimce yüzdeye göre 0 ile 1 arasında değer alacaktır. Serbest yüzey eğer eğimli ise bu hücredeki yüzeyin eğimini ve hücrenin yerini belirleyebilmek amacıyla ilgili hücreyi çevreleyen hücreleri dikkate alan bir algoritma kullanılmaktadır. Serbest yüzey, VOF yöntemi ile üç aşamada incelenmektedir. İlk olarak serbest yüzeyin yeri tespit edilir. Ardından bu serbest yüzey, su ve hava arasında keskin bir ara yüzey olarak belirlenir. Son olarak bu ara yüzeye sınır şartları uygulanır. Ara yüzey üzerinde sıfır kayma gerilmesi ve sabit basınç koşulları sınır şartları olarak uygulanır [78].

5.4. Türbülans Modelleri

Türbülans, akımı stabilize etmek için yeterli viskoz kuvvetler olmadığında meydana gelen, akışkanların karasız ve düzensiz hareketidir. Yüksek Reynolds sayılarında, akımda oluşan doğal kararsızlıklar sönümlenmez ve çeşitli boyutlarda girdapların oluşumuyla kendilerini gösterirler. Doğadaki birçok akım türbülanslıdır, bu nedenle türbülansın sayısal akım modellemelerinde de göz ardı edilmesi mümkün değildir. İdeal olarak, kütle ve momentum korunum denklemleri ile türbülanslı dalgalanmaların tamamı simüle edilebilir olsa da bu durum, sayısal modellemede kullanılan ağ çözünürlüğünün bu tür ayrıntıları yakalamak için yeterli olması durumunda mümkündür. Ancak, bilgisayar belleği ve işlem süresi sınırlamaları nedeniyle yüksek çözünürlükte modelleme genellikle mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, türbülansın ortalama akım özellikleri üzerindeki etkilerini tanımlayan basitleştirilmiş modellemeler kullanılmaktadır [77].

Flow-3D yazılımında 6 adet türbülans modeli bulunmaktadır. Bu modeller;

- Tek denklemlili (k) türbülans enerji modeli
- Büyük Eddy Simülasyonu (LES) modeli
- Renormalized Group (RNG) modeli
- İki denklemlili ($k-\varepsilon$ ve $k-\omega$) modelleri
- Prandtl karışım uzunluğu modeli

şeklinde sıralanabilir [77].

Prandtl karıştırma uzunluğu modeli, üç boyutlu türbülans etkilerini tanımlamaya yönelik olarak geliştirilen ilk modellerden biridir. En basit modeldir ve günümüzde yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Tek denklemlili (k) türbülans enerji modeli zaman ortalamalı türbülans kinetik enerjiyi (k) hesaplar ve tüm konumlarda türbülanslı karıştırma uzunluğunun ($TLEN$ -Turbulent Mixing Length)

bilinmesini gerektirir. TLEN genellikle önceden bilinmediğinden, bu model karmaşık yapıya sahip akımları modellemek için uygun değildir [81].

İki denklemlili $k-\varepsilon$ modeli, türbülanslı kinetik enerji (k) ve sönümlene oranını (ε) hesaplayan ve dinamik olarak TLEN'i bulan bir modeldir. Bu modelin birçok farklı akımda kullanımı uygun bulunmuştur [82,83]. Renormalized Group (RNG) modeli ise iki denklemlili $k-\varepsilon$ modelinin geliştirilmiş bir versiyonudur ve çoğunlukla endüstriyel problemlerde kullanılması önerilmektedir [81,84,85].

İki denklemlili $k-\omega$ modelinde [86–88] ikinci değişken ε olarak değil, $\omega \equiv \varepsilon/k$ olarak tanımlanır [81,86–89].

LES modeli, ortalama türbülanslı kinetik enerjiyi temsil etmek için skaler değer kullanmak yerine türbülanslı dalgalanmaların birçoğunu doğrudan çözerek türbülanslı akımlar hakkında kapsamlı veriler elde etmektedir. İki denklemlili modellere ($k-\varepsilon$ ve $k-\omega$) oranla çok daha kaliteli çözüm ağırları ve yüksek bilgisayar donanımı gerektirir [81].

Bu tez kapsamında literatürde yaygın olarak kullanılan $k-\varepsilon$, $k-\omega$, RNG ve LES türbülans modelleri kullanılmıştır.

5.4.1. Tek Denklemlili (k) Türbülans Enerji Modeli

Tek denklemlili türbülans modeli, akımdaki türbülanslı hız dalgalanmalarıyla ilişkili spesifik kinetik enerji (türbülanslı kinetik enerji) için bir taşıma denkleminde oluşur.

$$k = \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \quad (5.15)$$

burada, u' , v' , w' türbülanslı çalkantılardan kaynaklı akım hızının x , y , z bileşenleridir. Türbülans yoğunluğu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$I = \sqrt{\frac{k}{\bar{K}}} \quad (5.16)$$

burada $\bar{K}$, etki alanındaki kütle ortalamalı ortalama kinetik enerjidir.

Bu modelde türbülanslı kinetik enerji (k) için taşıma denklemi, türbülanslı kinetik enerjinin taşınımı ve difüzyonunu, kesme ve kaldırma kuvveti etkilerinden kaynaklanan türbülanslı kinetik enerjinin üretimini, türbülanslı girdaplar içindeki viskoz kayıplardan kaynaklanan difüzyonu ve sönümlenmeyi içerir. Kaldırma kuvveti oluşumu yalnızca akımda üniform olmayan yoğunlukta bir

akışkan varsa meydana gelir ve yerçekimi ile atalet dışı ivmelerin etkilerini içerir. Taşıma denklemi:

$$\frac{\partial k}{\partial T} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial k}{\partial x} + v A_y \frac{\partial k}{\partial y} + w A_z \frac{\partial k}{\partial z} \right\} = P_T + G_T + Diff_k - \varepsilon \quad (5.17)$$

burada, V_F , A_x , A_y ve A_z FAVOR'un fonksiyonlarıdır, k türbülansın kinetik enerjisi olup, P_T ise türbülans kinetik enerjisinin oluşumunu ifade etmektedir.

$$P_T = C_{SPRO} \left\{ \frac{\mu}{\rho V_F} \right\} \left\{ \begin{aligned} & 2A_x \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + 2A_y \left(R \frac{\partial v}{\partial y} + \xi \frac{u}{x} \right)^2 + 2A_z \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 + \\ & \left(\frac{\partial v}{\partial x} + R \frac{\partial u}{\partial y} - \xi \frac{v}{x} \right) \left[A_x \frac{\partial y}{\partial x} + A_y \left(R \frac{\partial u}{\partial y} - \xi \frac{v}{x} \right) \right] + \\ & \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \left(A_z \frac{\partial u}{\partial z} + A_x \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + R \frac{\partial w}{\partial x} \right) \left(A_z \frac{\partial v}{\partial z} + A_y R \frac{\partial w}{\partial x} \right) \end{aligned} \right\} \quad (5.18)$$

burada, C_{SPRO} varsayılan değeri 1 olan bir türbülans parametresi olup, R ve ξ silindirik koordinat sistemi ile ilgili parametrelerdir.

Kaldırma kuvveti oluşumunu ifade eden denklem ise aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$G_T = -CRHO \left(\frac{\mu}{\rho^3} \right) \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} \frac{\partial P}{\partial x} + R^2 \frac{\partial \rho}{\partial y} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial \rho}{\partial z} \frac{\partial P}{\partial z} \right) \quad (5.19)$$

burada, μ moleküler dinamik viskoziteyi, ρ akışkan yoğunluğunu, P basıncı ifade eder. Başka bir türbülans parametresi olan $CRHO$ 'nun varsayılan değeri 0'dır. Fakat termal su yüzeyinde bulunan akışkan problemleri için yaklaşık değeri 2.5'tur.

Difüzyon terimi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$Diff_k = \frac{1}{V_F} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(u_k A_x \frac{\partial k}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(u_k A_y R \frac{\partial k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(u_k A_z \frac{\partial k}{\partial z} \right) + \xi \frac{u_k A_x k}{x} \right] \quad (5.20)$$

burada, u_k k 'nın difüzyon katsayısıdır ve türbülans viskozitesinin yerel değerine göre hesaplanır. Kullanıcı tarafından belirlenen RMTKE parametresi, viskozite katsayısıdır ve türbülans katsayısını belirlemede kullanılır (Varsayılan değeri 1'dir.).

Tek denklemlili modelde türbülanslı enerjinin sönümle oranı ε , türbülanslı kinetik enerji k ile ifade edilmektedir.

$$\varepsilon = CNU^{3/4} \frac{k^{3/2}}{TLEN} \quad (5.21)$$

burada, CNU varsayılan değeri 0.09 olan bir parametredir. Flow-3D $TLEN$ değerini varsayılan olarak, en küçük etki alanı boyutunun %7'si olarak seçer. Fard ve Boyaghchi [90] tarafından ise bu değer yerine $TLEN$ değerinin hidrolik çapın %7'si olmasını önermektedirler.

5.4.2. İki Denklemlilik k - ε Türbülans Modeli

Tek denklemlilik (k) türbülans enerji modeline göre daha karmaşık bir yapıya sahip olan ve birçok akım türünde yaygın bir şekilde kullanılan k - ε modeli, türbülanslı kinetik enerji k ve enerji sönümlenme oranı ε için kullanılan iki taşıma denkleminde oluşur [77,82,83].

Bu modelde türbülanslı kinetik enerjinin sönümlenme oranı (ε) için taşıma denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \varepsilon}{\partial T} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + v A_y \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + w A_z \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right\} \\ & = \frac{CDIS1 \cdot \varepsilon}{k} (P_T + CDIS3 \cdot G_T) + Diff_{\varepsilon} - CDIS2 \frac{\varepsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (5.22)$$

burada, $CDIS1$, $CDIS2$ ve $CDIS3$ boyutsuz ve kullanıcı tarafından ayarlanabilen parametrelerdir ve k - ε modeli için sırasıyla 1.44, 1.92 ve 0.20 değerlerine sahiptirler. Akım alanının büyük kısmında, bu modelde Eşitlik. (5.21), Eşitlik (5.22)'nin yerine kullanılır ve böylece etki alanı boyunca kullanıcı tarafından belirlenen bir $TLEN$ değerine olan ihtiyacı azaltır [77].

Difüzyon sönümlenme ($Diff_{\varepsilon}$) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$Diff_{\varepsilon} = \frac{1}{V_F} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(u_{\varepsilon} A_x \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + R \frac{\partial}{\partial y} \left(u_{\varepsilon} A_y \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(u_{\varepsilon} A_z \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + \xi \frac{u_{\varepsilon} A_x \varepsilon}{x} \right] \quad (5.23)$$

5.4.3. RNG Türbülans Modeli

RNG türbülans modelinde, iki denklemlilik k - ε modelindeki denklemlere benzer denklemler kullanılmaktadır. Ancak standart k - ε modelinde ampirik olarak bulunan denklem sabitleri, RNG modelinde açıkça türetilmiştir. Genel olarak, RNG modeli k - ε modeline kıyasla daha geniş uygulama alanına sahiptir. Özellikle, RNG modelinin düşük yoğunluklu türbülanslı akımları daha doğru bir şekilde tanımladığı bilinmektedir. Ayrıca, RMTKE, $CDIS1$ ve CNU 'nun varsayılan değerleri k - ε modelinde kullanılanlardan farklıdır; bu değerler sırasıyla 1.39, 1.42 ve 0.085'tir. $CDIS2$ türbülanslı kinetik enerji (k) ve türbülans oluşumu (P_T) terimlerinden hesaplanmaktadır [77].

Tüm türbülans modellerinde, kinematik türbülans viskozitesi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\nu_T = CNU \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5.24)$$

burada ν_T , türbülanslı kinematik viskozitedir.

Hem iki denklemlili k - ε hem de RNG modellerinin sayısal zorluğu, ε değerini minimum bir değerde sınırlamaya gerek duymalarıdır. Eşitlik (5.22) sıfıra yakın ε değerler oluşturabilir ve fiziksel olarak k 'nın bu gibi durumlarda da sıfıra yaklaşması gerekse de sayısal nedenlerden dolayı bunu yapamayabilir ve Eşitlik (5.24) 'de fiziksel olarak mümkün olmayacak derecede büyük ν_T değerlerine neden olabilir. Bu probleme çözüm üretebilmek için, ε değeri, Eşitlik (5.25) ile sınırlandırılmıştır [77].

$$\varepsilon_{min} = CNU^{3/4} \frac{k^{3/2}}{TLEN} \quad (5.25)$$

burada, TLEN değeri, kullanıcı tarafından tanımlanabilir veya otomatik olarak sınırlandırılır [77].

5.4.4. k - ω Türbülans Modeli

Belirli akış koşullarında, özellikle duvar sınırlarına yakın jetler ve çevrıntiler gibi akım yönünde basınç gradyanlarına sahip akımları modellemede k - ε veya RNG modellerine kıyasla daha başarılıdır. $\omega \equiv \varepsilon/k$ değişkeni 1/zaman boyutundadır. k - ω aşağıdaki Eşitlikler (Eşitlik 5.26-36) ile ifade edilebilir [77,87,89].

$$\frac{\partial k}{\partial T} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial k}{\partial x} + vA_y \frac{\partial k}{\partial y} + wA_z \frac{\partial k}{\partial z} \right\} = P_T + G_T + Diff_T - \beta^* k \omega \quad (5.26)$$

Burada:

$$\beta^* = \beta_0^* f_{\beta^*} \quad (5.27)$$

Eşitlik 3.20'de $\beta_0^* = 0.09$ dur ve

$$x_k \leq 0 \text{ ise } f_{\beta^*} = 1 \text{ ve } x_k > 0 \text{ ise } f_{\beta^*} = \frac{1 + 680x_k^2}{1 + 400x_k^2} \quad (5.28)$$

burada,

$$x_k \equiv \frac{1}{\omega^3} \left\{ \frac{\partial k}{\partial x} \frac{\partial \omega_T}{\partial x} + \frac{\partial k}{\partial y} \frac{\partial \omega_T}{\partial y} + \frac{\partial k}{\partial z} \frac{\partial \omega_T}{\partial z} \right\} \quad (5.29)$$

Difüzyon terimi için RMTKE 1/2'dir.

ω için taşınım denklemi Eşitlik (5.30) ile ifade edilebilir

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \omega_T}{\partial T} + \frac{1}{V_F} \left\{ u A_x \frac{\partial \omega_T}{\partial x} + v A_y \frac{\partial \omega_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial \omega_T}{\partial z} \right\} \\ & = \alpha \frac{\omega_T}{k_T} (P_T + \text{CDIS3. } G_T + \text{Diff}_\omega - \beta \omega_T^2) \end{aligned} \quad (5.30)$$

burada, $\alpha=13/25$, RMDKTE=1/2 ve

$$\beta = \beta_0 f_\beta \quad (5.31)$$

burada, $\beta_0=9/125$ 'dir ve

$$f_\beta = \frac{1 + 70x_w}{1 + 80x_w} \quad (5.32)$$

burada,

$$x_w \equiv \left| \frac{\Omega_{ij} \Omega_{jk} S_{ki}}{(\beta_0^* \omega)^3} \right| \quad (5.33)$$

burada, Ω_{ij} ve S_{ij} sırasıyla ortalama dönüş ve ortalama deformasyon hızı tensörleridir ve kaldırma kuvveti terimi Eşitlik (5.19) ile aynıdır. k - ω türbülans modelinde, $\varepsilon = \beta^* \omega k$ ve $v_T = k/\omega$ olarak ifade edilir [77].

Türbülans modellerinin temel amacı, türbülanslı dalgalanmaların ortalama akış miktarları üzerindeki etkisini tahmin etmeyi sağlayan bir mekanizma oluşturmaktır. Bu genellikle ortalama kütle, momentum ve enerji aktarımı denklemlerinde ek difüzyon terimlerinin kullanılmasıyla sağlanmaktadır. Türbülans momentumun difüzyonunu arttırdığından, viskoziteyi azımsanmayacak derecede artırmaktadır. Eşitlik (5.34)'te ifade edildiği gibi denklemlerde kullanılan dinamik

viskozite katsayısının, moleküler ve türbülanslı viskozitelerin toplamı olduğu varsayılmaktadır [77].

$$\mu = \rho(\nu + \nu_T) \quad (5.34)$$

5.4.5. LES Türbülans Modeli

Bu modelin temel fikri, hesaplamalı ağ kullanılarak çözülebilen tüm türbülanslı akım yapılarının doğrudan hesaplanması ve çözümlenemeyecek kadar küçük olanların ise yaklaşık olarak (modellenecek, tahmin edilerek) hesaplanması gerektiğidir [77,91]. LES modelini kullanırken, modelin doğası gereği üç boyutlu ve zamana bağlı olduğuna dikkat edilmelidir. Ayrıca, dalgalanmalar başlatılmalı ve/veya giriş sınırlarında tanımlanmalıdır. LES modeli diğer modellere kıyasla daha ince çözüm ağları ve dolayısıyla daha yüksek CPU kullanımı gerektirmektedir ancak LES modelinde Reynolds ortalamasına dayalı modellere oranla daha kapsamlı sonuçlar elde edilmektedir. Örneğin, büyük yapıların etrafındaki türbülanslı akımı hesaplamak için LES modeli kullanıldığında, yalnızca ortalama rüzgar gerilmeleri değil, aynı zamanda türbülanslı akımla ilişkili kuvvet dalgalanmalarının büyüklüğü ve standart sapması da elde edilebilir.

Smagorinsky [91] uzunluk ölçeği için, bir çözüm ağı hücresinin boyutlarının geometrik ortalamasını kullanır,

$$L = (\delta_x \delta_y \delta_z)^{1/3} \quad (5.35)$$

ve hız dalgalanmalarını, ortalama kayma gerilmesinin L katı büyüklüğünde ölçeklendirir. Bu nicelikler, LES kinematik girdap viskozitesinde birleştirilir,

$$\nu_T = (cL)^2 \sqrt{2e_{ij}2e_{ij}} \quad (5.36)$$

burada, c 0.1 ila 0.2 aralığında bir değere sahip olan Smagorinsky katsayısıdır ve e_{ij} , deformasyon hızı tensör bileşenlerini belirtir. Elde edilen bu kinematik girdap viskozitesi, türbülans taşıma modellerinde olduğu gibi (5.34) Flow-3D’de kullanılan dinamik viskoziteye dahil edilmiştir [77,79].

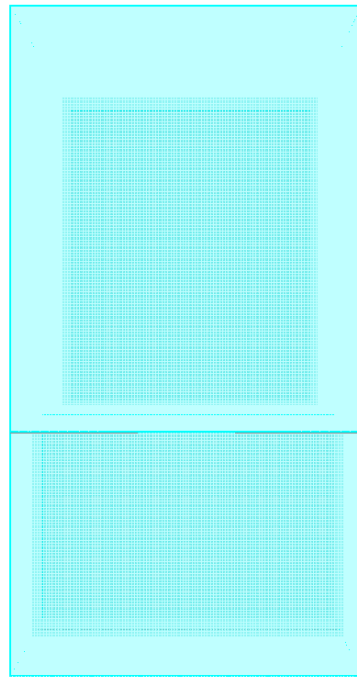
$$\mu = \rho(\nu + \nu_T) \quad (5.37)$$

5.5. Sayısal Model

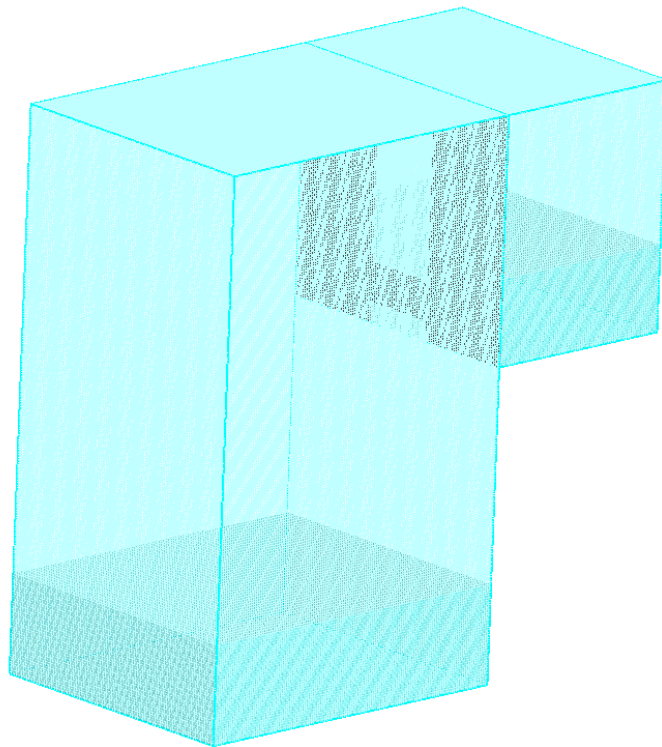
Birleşik yan savak ve kapak yapısı için yapılan deneysel çalışmaların sayısal analizleri yürütülmüştür. Analizlerin modellenmesi, gerçekleştirildiği koşullar ve program çıktılarına bu bölümde yer verilmiştir. Birleşik yan savak ve kapak modelleri farklı türbülans yöntemleri denenerek en uygun türbülans yöntemi ve çözüm süresi belirlenmiş sonrasında seçilen k- ϵ türbülans modeli ile diğer modellere ait analizler gerçekleştirilmiştir.

5.6. Çözüm Ağı

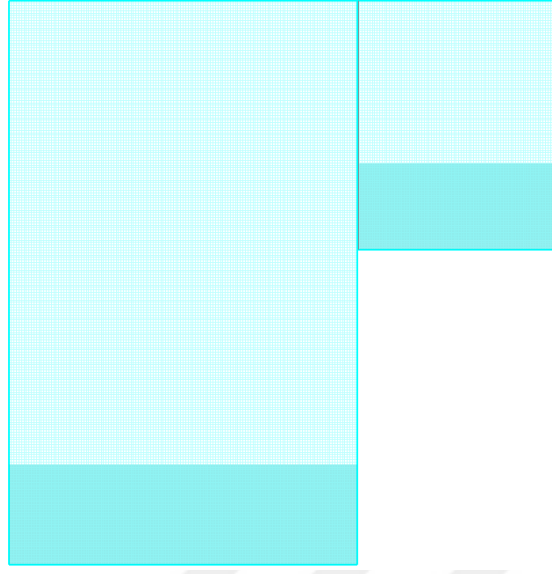
Mevcut çalışmada çözüm ağı boyutlarının seçimi analiz süresini aşırı ve gereksiz uzatmayacak ve geometriyi doğru yansıtabilecek şekilde deneme-yanılma yoluyla seçilmiştir. Birleşik yan savak ve kapak modellerinin çözülebilmesi için toplamda 3 adet blok kullanılmıştır. Bu kadar blok kullanılmasının sebebi; birleşik yan savak ve kapak akımını görebilmek adına savak üzerindeki ve kapak altındaki akım üzerindeki blokların boyutlarının küçük olması ve bu boyutlardaki blokların bütün modele uygulanması çözüm süresini gereksiz yere uzatacaktır. Bu sebeple geometrinin olduğu 1 numaralı bloklarda 5 mm boyutlarında hücreler kullanılırken diğer bloklarda 2.5 mm boyutlarında çözüm ağı bloklar oluşturulmuştur (Şekil 5.2). Ayrıca savak üzerindeki duvarlar oldukça ince olduğundan bu bölgelere ekstra çözüm ağı yüzeyi tanımlanarak sadece bu bölgelerde daha hassas okumalar yapılmıştır. Şekil 5.2’de çözüm ağının geometriyi yeterli ölçülerde gösterdiği, belirlenen çözüm ağı boyutlarının uygun olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 5.2’de yer alan birleşik yan savak ve kapak modelinin sayısal modellemede kaydedilen görüntüsü Şekil 5.2’de görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.3’te sayısal modelin görünümü verilmiştir.



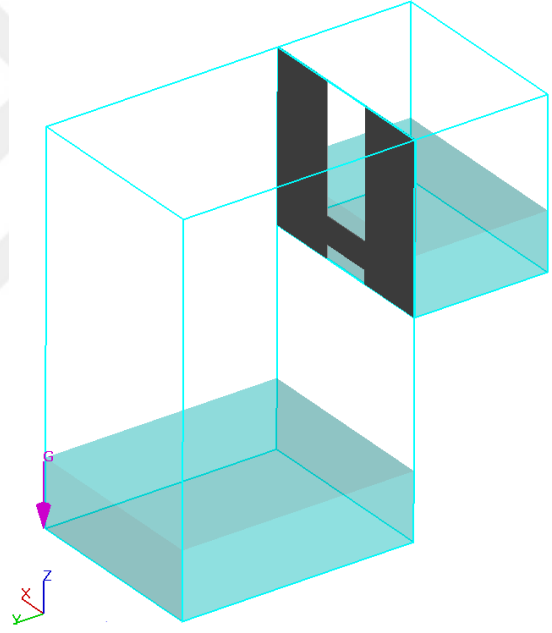
(a)



(b)

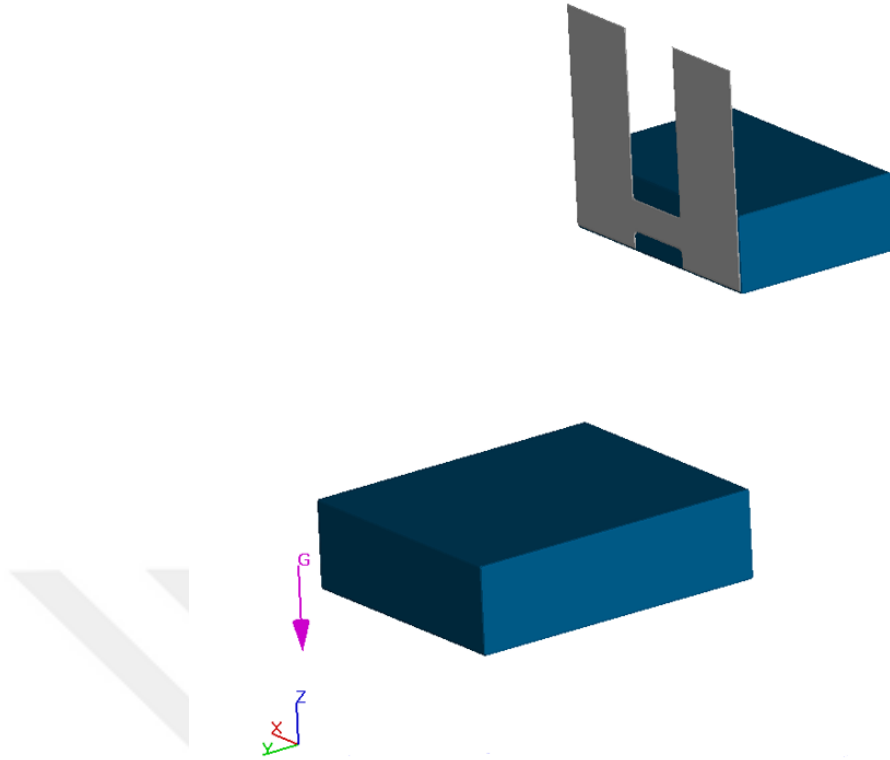


(c)



(d)

Şekil 5.2. (a-d) Birleşik yan savak ve kapak yapısı çözüm ağı

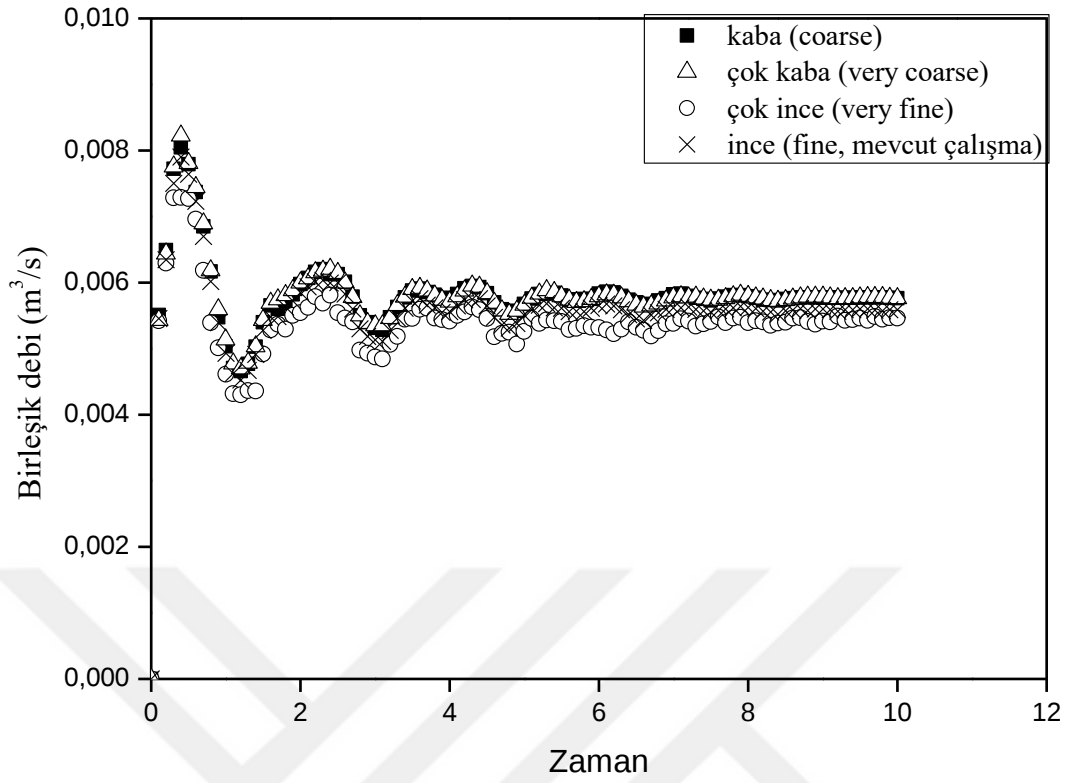


Şekil 5.3. (a-b) Birleşik yan savak ve kapak yapısının görünümü

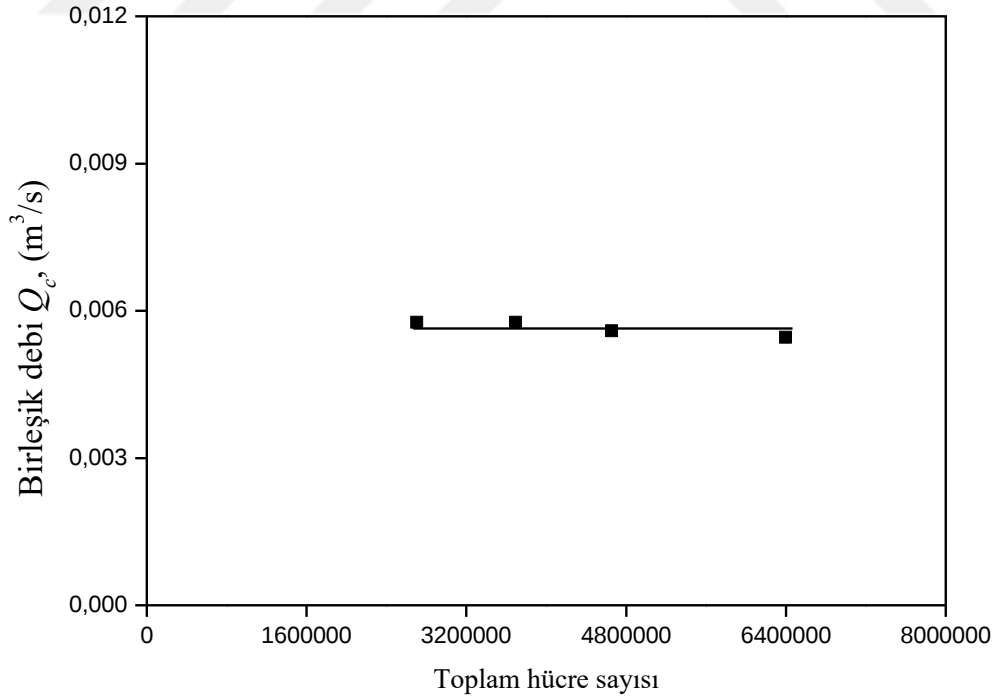
Tablo 5.1’de, sayısal modellemede oluşturulan blokların verdiği sonuçların doğruluğunu test etmek amacıyla, 3 adet bloğun hücre boyutları küçültülerek analizler tekrar edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında deşarj edilen debi miktarının neredeyse değişmediği, dolayısı ile mevcut çalışmada belirlenen boyutların yeterli olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 5.4). Nihai olarak kullanılacak çözüm ağlarına ait hücre sayıları ve boyutları Tablo 5.1’de gösterilmiştir. Şekil 5.5’te savaklanan birleşik akımın hücre sayısına göre değişimi verilmiştir.

Tablo 5.1. Çözüm ağlarına ait hücre sayıları ve boyutları

Tip	Blok 1	Blok 2	Blok 3	Toplam	Savaklanan debi miktarı (m ³ /s)
Çok kaba (Very coarse)	539417	2133612	32231	2705260	0.005763
Kaba (Coarse)	746325	2907190	39775	3693290	0.005766
İnce (Fine)	939600	3670240	46400	4656240	0.005589
Çok ince (Very fine)	1288710	5051124	57276	6397110	0.05462



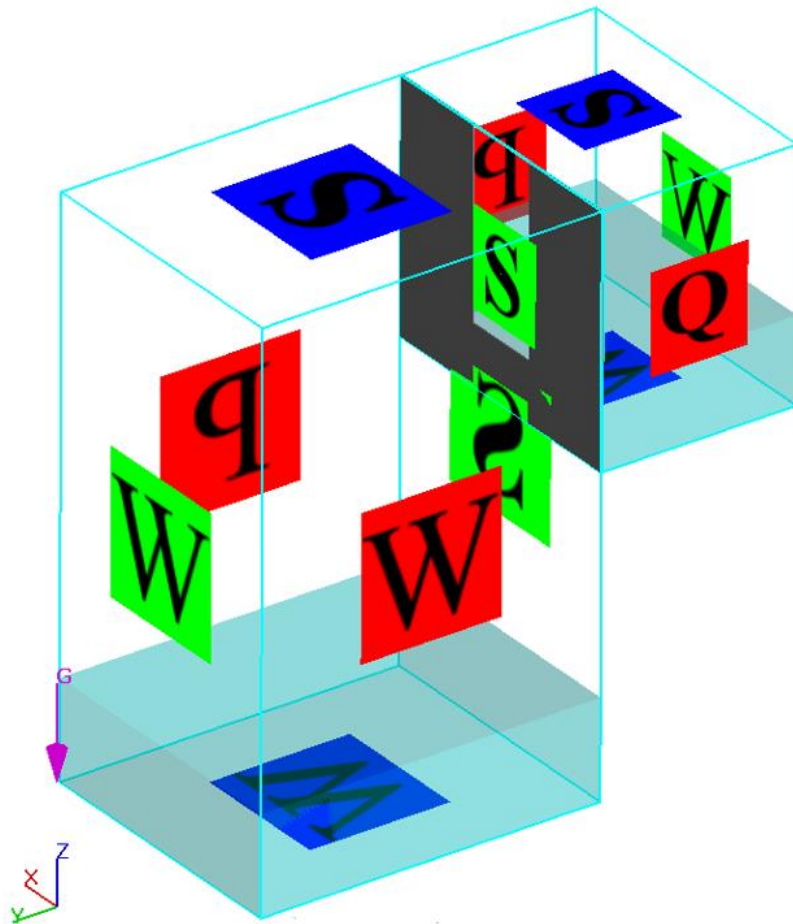
Şekil 5.4. Savaklanan debi miktarının farklı mesh boyutları için zamana bağlı değişimi



Şekil 5.5. Savaklanan debi miktarının hücre sayısına bağlı değişimi

5.7. Sınır Şartları

Sayısal çalışma ile deneysel çalışma arasında benzeşimi sağlamak amacı ile doğru sınır şartlarını belirlemek oldukça önemlidir. Akıma ait debi, akım derinliği ve hız gibi parametreler sınır şartları ile tanımlanmaktadır. Şekil 5.6’da birleşik yan savak ve kapak kullanılarak gerçekleştirilen analizlere ait sınır koşulları gösterilmiştir. Ana kanalın memba kısmı olan x_{min} sınır koşuluna debi şartı (Q) tanımlanarak kanala giren akım koşulları belirlenmiştir. Ana kanalın x_{maks} sınırına sabit bir su yüksekliği (P) tanımlanarak, kanalın x pozitif (+) yönünde aynı akım derinliğinin sürdürülmesi sağlanmıştır. Tüm blokların; z_{min} sınırları, ana kanalın y_{min} ve yan savak açıklığı hariç y_{maks} sınırları, duvar (W) olarak tanımlanmıştır. Yan savağın yer aldığı toplama kanalının y_{maks} , x_{min} , z_{min} duvar (W), toplama kanalının x_{maks} sınırı, sabit bir su yüksekliği (P) tanımlanarak, kanalın x pozitif (+) yönünde aynı akım derinliğinin sürdürülmesi sağlanmıştır. Ayrıca blokların komşu yüzeyleri arasında fiziksel koşulların aynı şekilde devamını ifade eden simetri (S) sınır şartı seçilmiştir. Tüm birleşik yan savak ve kapak modellerinde sınır şartları aynı şekilde kullanılmıştır.



Şekil 5.6. Birleşik yan savak ve kapak yapısını için yapılan analizlere ait sınır koşulları

5.8. Türbülans Modeli

Farklı birleşik yan savak ve kapak modelleri ve farklı akım koşulları için 33 adet nümerik analiz yapılmıştır. Sayısal analizden elde edilen akım karakteristikleri deneysel çalışmalar ile doğrulanmıştır. Üç farklı türbülans yöntemi kullanılarak yürütülen analizler neticesinde uygun olan türbülans yöntemine karar verilmiştir. Farklı türbülans modellerinin sonuca etkisini incelemek amacıyla Farklı birleşik yan savak ve kapak modelleri için RNG, $k-\epsilon$, LES ve $k-\omega$ türbülans modelleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.7’de ve Tablo 5.2’te gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde türbülans modelinin sonuçlara çok fazla bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Bağlı hata oranları dikkate alındığında ise en az hata oranı ile $k-\epsilon$ ve RNG türbülans modellerinde gözlemlenmiştir. RNG modeli kullanılarak elde edilen sonuçların bağlı hata oranı $k-\epsilon$ modeliyle neredeyse aynıdır. Sonuç olarak yapılan analizler sonucu bu çalışmada $k-\epsilon$ türbülans modelinin kullanılması uygun görülmüştür.

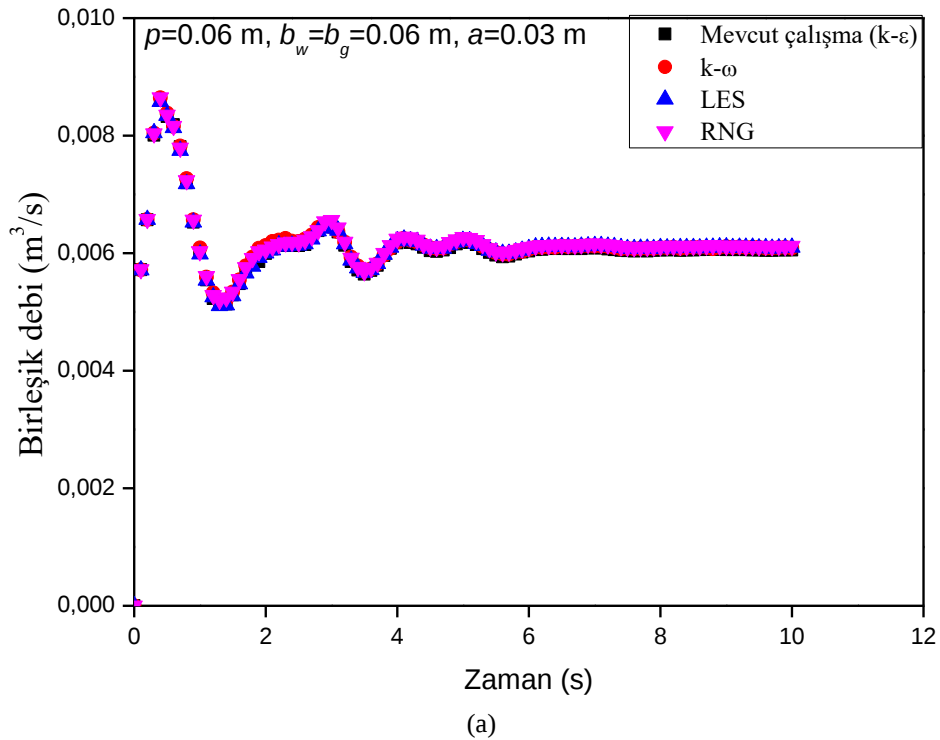
Tablo 5.2. Farklı birleşik yan savak ve kapak modelleri için deneysel ve sayısal analiz sonuçları

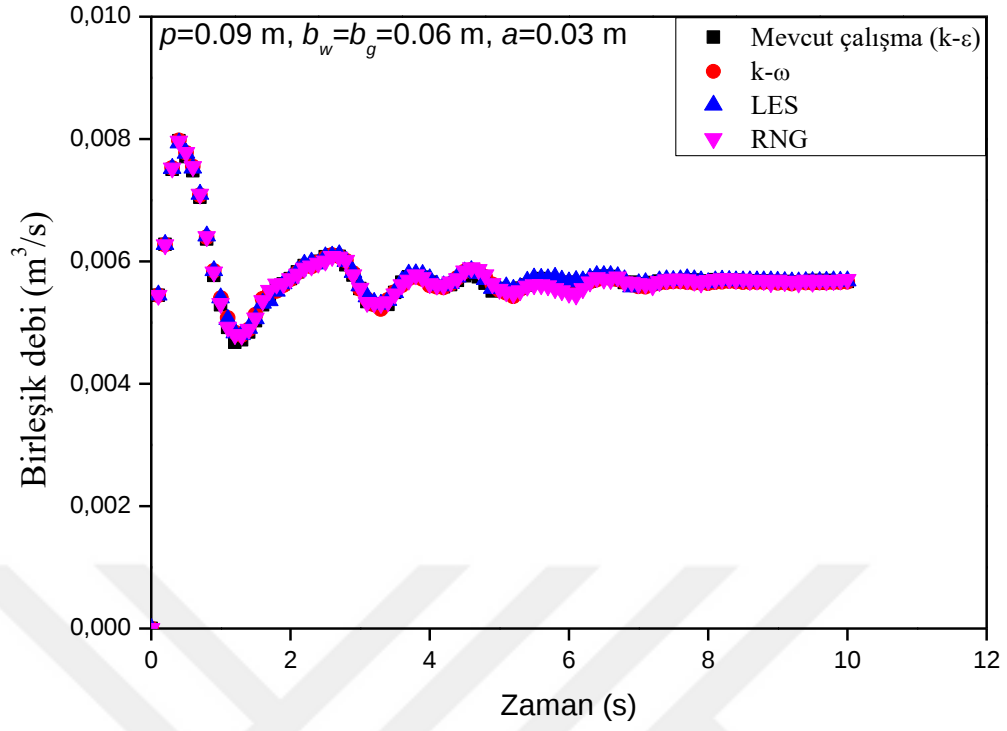
Tip	F_1	Q_1 (L/s)	Q_2 (L/s)	Q_c (L/s)	y_1 (m)	y_2 (m)	F_1	Q_2 (L/s)	Q_c (L/s)	y_1 (m)	y_2 (m)	RE (%) Q_c
6-3-6- $k-\epsilon$	0.322	27.15	21.25	5.9	0.1653	0.1668	0.3032	21.148	6.054	0.16459	0.16539	-2.61
6-3-6-LES	0.322	27.15	21.25	5.9	0.1653	0.1668	0.3032	21.11	6.097	0.1646	0.1654	-3.34
6-3-6- $k-\omega$	0.322	27.15	21.25	5.9	0.1653	0.1668	0.3032	21.128	6.088	0.16458	0.1654	-3.19
6-3-6-RNG	0.322	27.15	21.25	5.9	0.1653	0.1668	0.3031	21.097	6.1204	0.16457	0.16535	-3.74
9-3-6- $k-\epsilon$	0.28	27.9	22.28	5.62	0.18514	0.18749	0.2604	22.151	5.67	0.18571	0.18633	-0.89
9-3-6-LES	0.28	27.9	22.28	5.62	0.18514	0.18749	0.2604	22.156	5.68	0.18572	0.1863	-1.07
9-3-6- $k-\omega$	0.28	27.9	22.28	5.62	0.18514	0.18749	0.2605	22.2	5.664	0.18575	0.18634	-0.78
9-3-6-RNG	0.28	27.9	22.28	5.62	0.18514	0.18749	0.2603	22.176	5.705	0.18583	0.18634	-1.51
12-4-8- $k-\epsilon$	0.277	30.7	23.47	7.23	0.19864	0.19968	0.2562	23.179	7.547	0.19972	0.20068	-4.38
12-4-8-LES	0.277	30.7	23.47	7.23	0.19864	0.19968	0.2561	23.125	7.568	19970	0.20067	-4.67
12-4-8- $k-\omega$	0.277	30.7	23.47	7.23	0.19864	0.19968	0.2561	23.145	7.555	0.19973	0.20074	-4.50
12-4-8-RNG	0.277	30.7	23.47	7.23	0.19864	0.19968	0.2561	23.092	7.627	0.19968	0.20065	-5.49
12-2-6- $k-\epsilon$	0.238	31.6	26.36	5.24	0.22385	0.22447	0.2252	26.068	5.589	0.22401	0.224604	-6.66
12-2-6-RNG	0.238	31.6	26.36	5.24	0.22385	0.22447	0.2253	26.345	5.357	0.22423	0.224704	-2.23
12-3-9- $k-\epsilon$	0.244	29.5	21.51	7.99	0.21018	0.21303	0.2255	21.049	8.589	0.21117	0.21214	-3.50
12-3-9-RNG	0.244	29.5	21.51	7.99	0.21018	0.21303	0.2255	21.03	8.487	0.21113	0.21222	-6.22

Tablo 5.3. (Devamı)

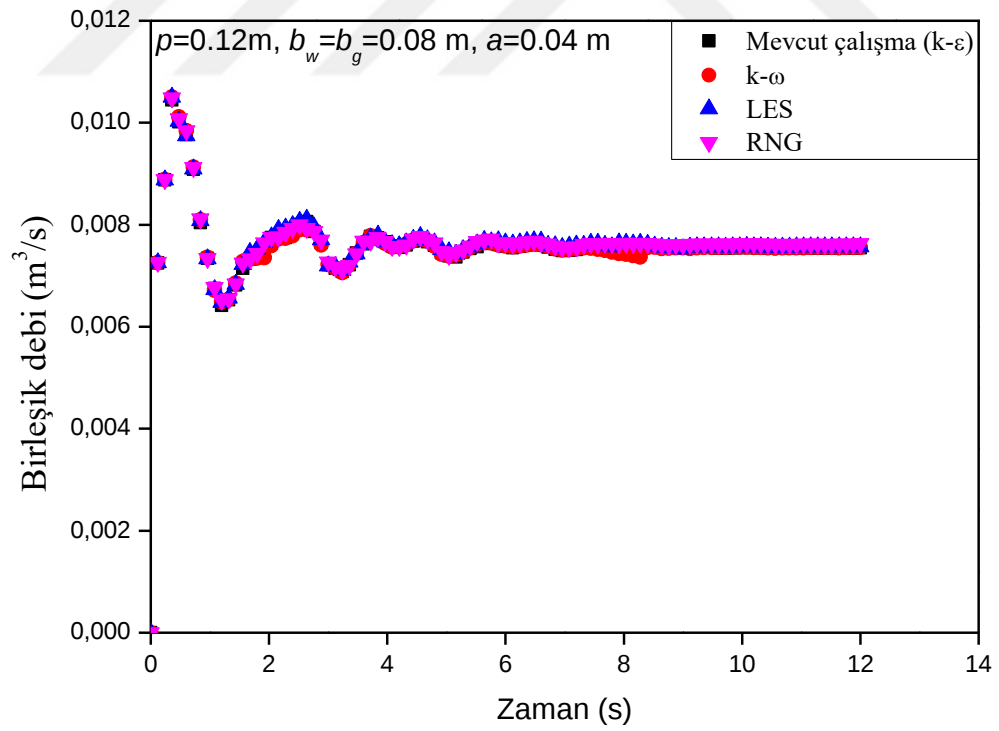
12-4-12- k- ϵ	0.286	30.1	20.18	9.93	0.19181	0.19454	0.2663	19.565	10.599	0.19144	0.19334	-6.74
12-4-12- RNG	0.286	30.1	20.18	9.93	0.19181	0.19454	0.2663	19.527	10.561	0.191378	0.19333	-6.35
9-2-8- k- ϵ	0.32	30.55	24.77	5.78	0.1797	0.18249	0.3035	24.544	5.99	0.17948	0.18035	-3.63
9-2-8- RNG	0.32	30.55	24.77	5.78	0.1797	0.18249	0.3036	24.545	6.005	0.17946	0.18034	-3.89
6-3-12- k- ϵ	0.36	30.6	18.93	11.67	0.1663	0.16988	0.3387	18.442	12.165	0.164784	0.16893	-4.24
6-3-12- RNG	0.36	30.6	18.93	11.67	0.1663	0.16988	0.3368	18.575	12.13	0.165344	0.16888	-3.94
9-4-16- k- ϵ	0.389	31.4	18.97	12.43	0.1608	0.164	0.3747	18.486	12.955	0.158013	0.162684	-4.22
9-4-16- RNG	0.389	31.4	18.97	12.43	0.1608	0.164	0.3745	18.564	12.847	0.15805	0.1626	-3.35

Şekil 5.7 (a, c)'de verilen, deşarj edilen debi miktarı ile zaman arasındaki ilişkiyi gösteren farklı çözüm ağları için verilmiştir. Grafikler incelendiği zaman, 10. saniyede Q_c değerinin hemen hemen sabit olduğu, 5. saniyeden itibaren de nihai değere oldukça yaklaşmış olduğu görülmektedir. Birleşik yan savak ve kapak modellenirken çözüm ağı boyutları küçültülmüş bu nedenle çok uzun analiz süreleri ile karşılaşmıştır. Akım karalı hale gelene kadar çözüm adımları artırılarak, iterasyon sayısı ve dolayısı ile süre azaltılmıştır. Kararlı akım koşulları elde edildikten sonra daha hassas sonuçlar edinmek amacı ile adım sayısı artırılmıştır.





(b)

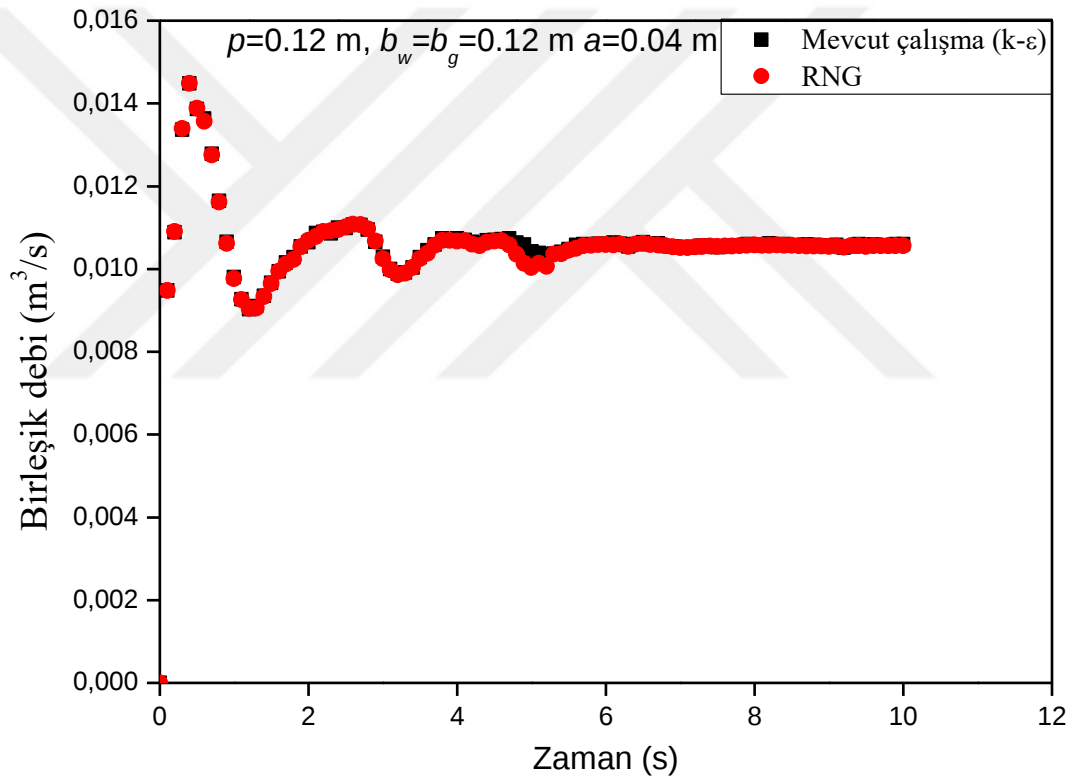


(c)

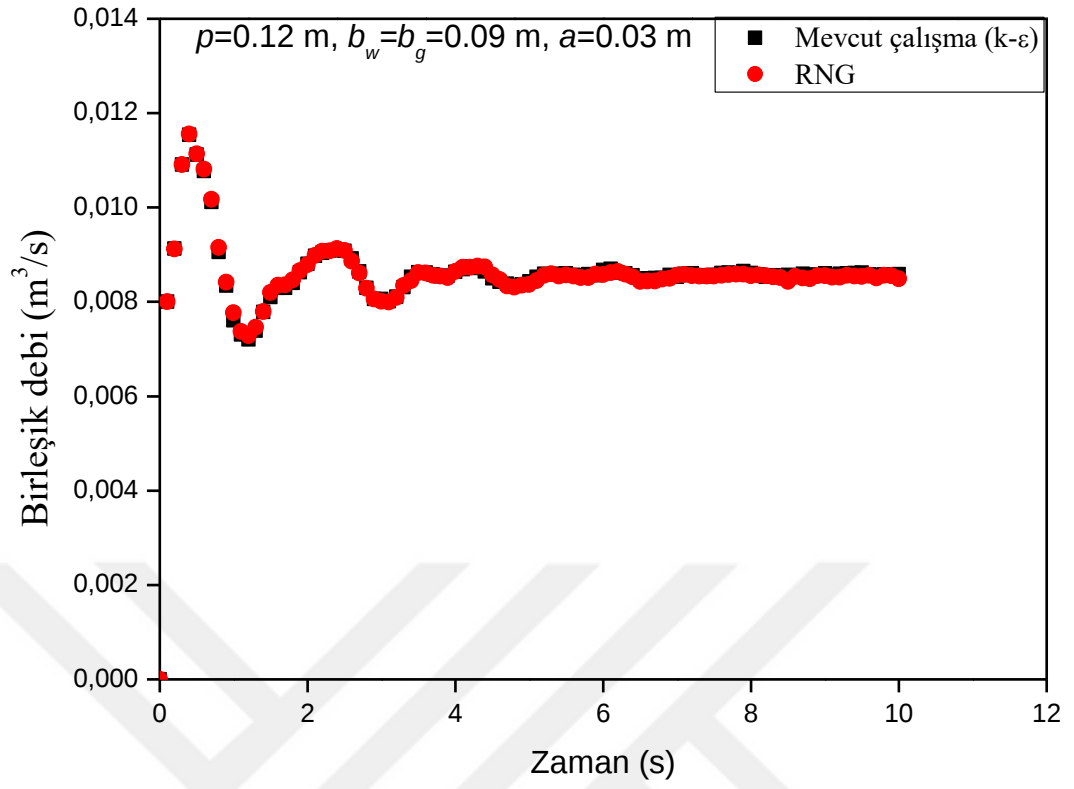
Şekil 5.7. (a-c) Farklı birleşik yan savak ve kapak modelleri için RNG, $k-\epsilon$, LES ve $k-\omega$ türbülans modelleri ile elde edilen sonuçlar

Sayısal analiz sonuçları, Tablo 5.3'te sayısal analizlerin doğrulandığı deneylere ait bilgiler ile sunulmuş olup, debi katsayısı ve deşarj verimi üzerinde etkili parametrelere ilişkin detaylı yorum ve açıklamalara Bulgular ve Tartışma bölümünde verilmiştir.

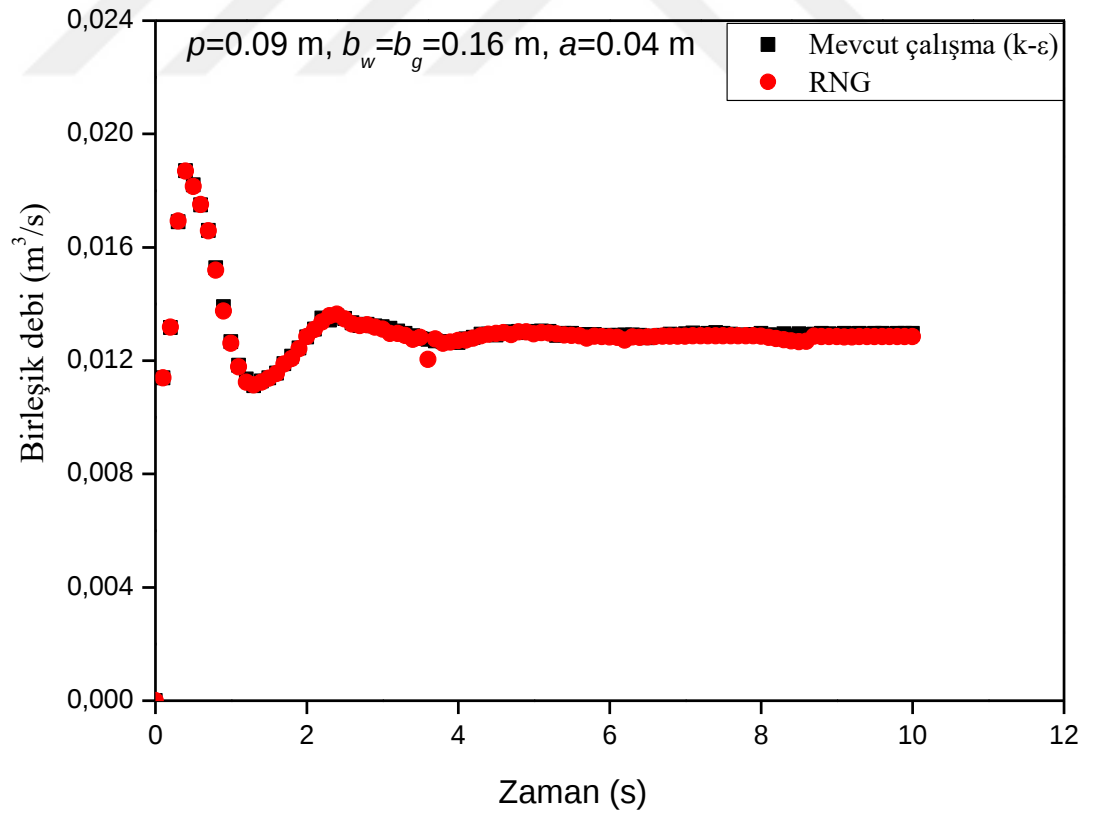
Şekil 5.8 (a, e)'de deşarj edilen debi miktarı ile zaman arasındaki ilişki farklı türbülans yöntemleri için verilmiştir. Grafikler incelendiği zaman, 10. saniyede Q_c değerinin hemen hemen sabit olduğu, 5. saniyeden itibaren de nihai değere oldukça yaklaşmış olduğu görülmektedir. Birleşik yan savak ve kapak modellenirken çözüm ağı boyutları küçültülmüş bu nedenle çok uzun analiz süreleri ile karşılaşmıştır. Akım karalı hale gelene kadar çözüm adımları artırılarak, iterasyon sayısı ve dolayısı ile süre azaltılmıştır. Kararlı akım koşulları elde edildikten sonra daha hassas sonuçlar edinmek amacı ile adım sayısı artırılmıştır.



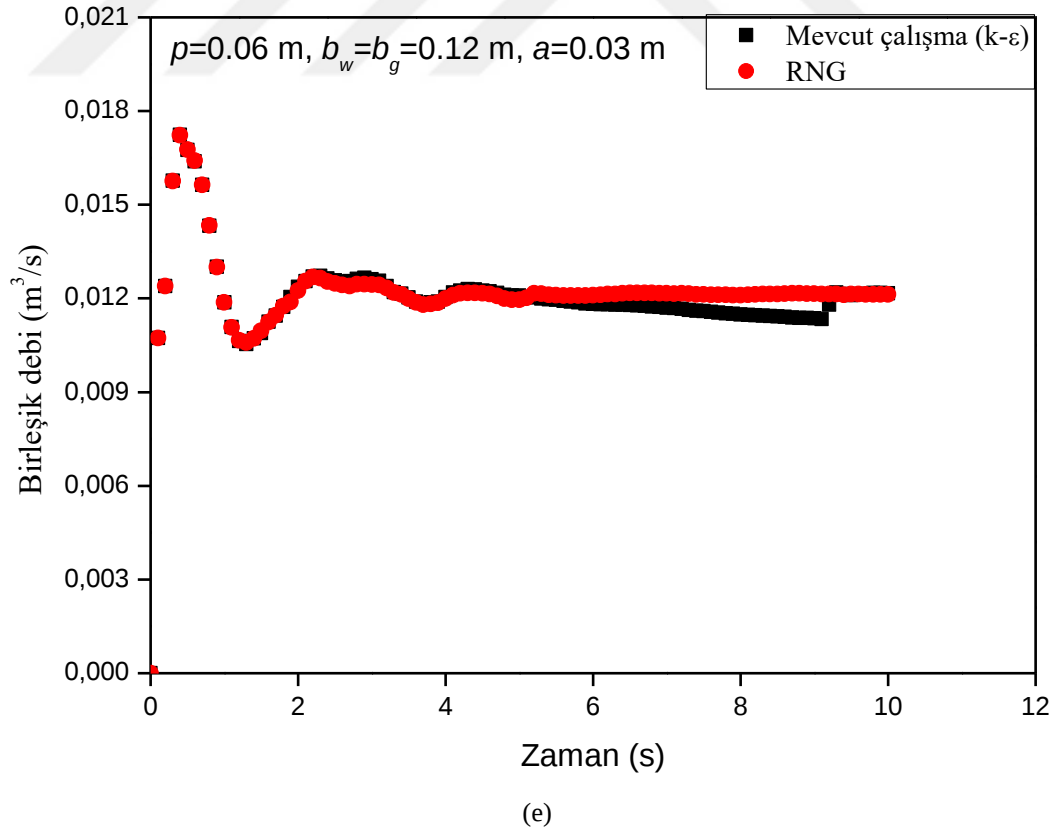
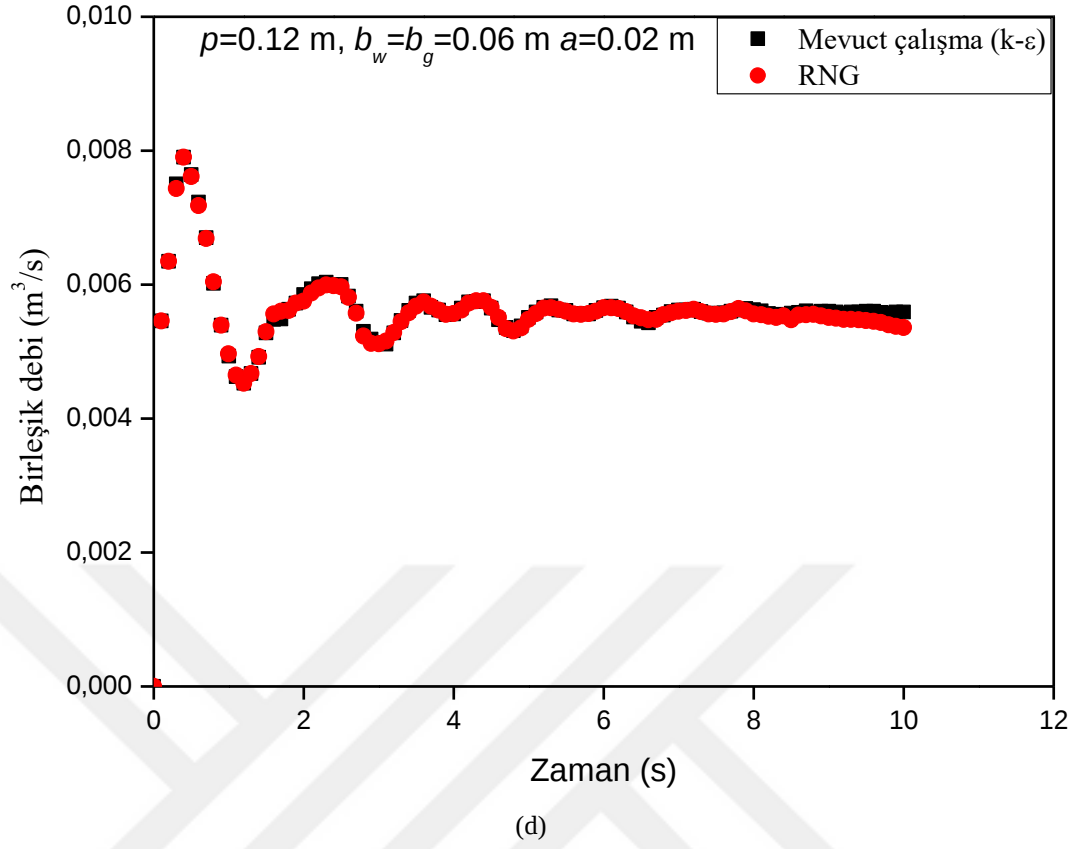
(a)



(b)



(c)



Şekil 5.8. (a-e) Farklı birleşik yan savak ve kapak modelleri için RNG ve $k-\varepsilon$ türbülans modelleri ile elde deşarj debisinin zamana bağlı değişimi

Tablo 5.4. Mevcut çalışmada deneysel ve sayısal analiz sonuçlar

Tip	p (m)	a (m)	b_g (m)	b_w (m)	RE (%)
6-2-4	0.06	0.02	0.04	0.04	-2.91822
9-2-4	0.09	0.02	0.04	0.04	-3.00000
12-2-4	0.12	0.02	0.04	0.04	1.17188
6-3-6	0.06	0.03	0.06	0.06	-2.61017
9-3-6	0.09	0.03	0.06	0.06	-0.88968
12-3-6	0.12	0.03	0.06	0.06	1.24183
6-4-8	0.06	0.04	0.08	0.08	-4.29293
9-4-8	0.09	0.04	0.08	0.08	-2.72727
12-4-8	0.12	0.04	0.08	0.08	-4.38451
6-2-6	0.06	0.02	0.06	0.06	-0.23355
9-2-6	0.09	0.02	0.06	0.06	-5.65836
12-2-6	0.12	0.02	0.06	0.06	-6.66031
6-3-9	0.06	0.03	0.09	0.09	2.058824
9-3-9	0.09	0.03	0.09	0.09	-6.64459
12-3-9	0.12	0.03	0.09	0.09	-3.49687
6-4-12	0.06	0.04	0.12	0.12	2.784223
9-4-12	0.09	0.04	0.12	0.12	-4.20989
12-4-12	0.12	0.04	0.12	0.12	-6.73716
6-2-8	0.06	0.02	0.08	0.08	0.626305
9-2-8	0.09	0.02	0.08	0.08	-3.63322
12-2-8	0.12	0.02	0.08	0.08	-7.36111
6-3-12	0.06	0.03	0.12	0.12	-4.24165
9-3-12	0.09	0.03	0.12	0.12	-3.33839
12-3-12	0.12	0.03	0.12	0.12	-7.06306
6-4-16	0.06	0.04	0.16	0.16	6.209470
9-4-16	0.09	0.04	0.16	0.16	-4.22375
12-4-16	0.12	0.04	0.16	0.16	-5.91320
6-4-8, üçgen	0.06	0.04	0.08	0.08	-6.25000
9-4-8, üçgen	0.09	0.04	0.08	0.08	-6.36598
12-4-8, üçgen	0.12	0.04	0.08	0.08	-7.03704
6-4-8, daire	0.06	0.04	0.08	0.08	-0.08016
9-4-8, daire	0.09	0.04	0.08	0.08	-4.08269
12-4-8, daire	0.12	0.04	0.08	0.08	-3.64322

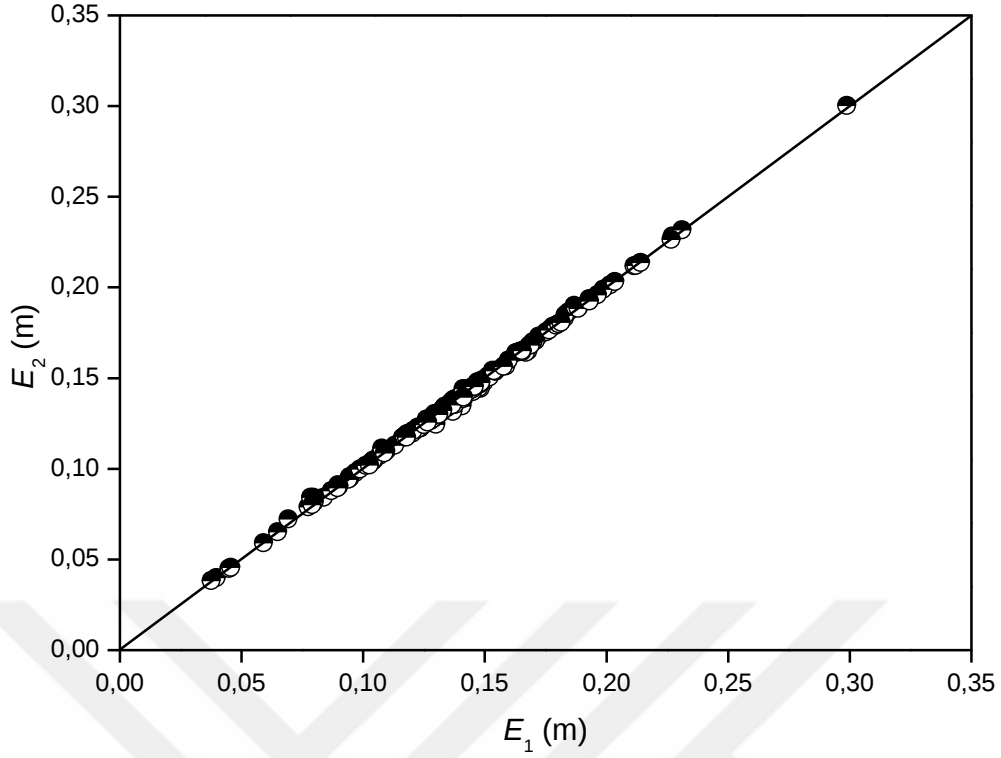
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında doğrusal bir kanalda nehir rejiminde yanal akımlar için farklı geometrilere sahip birleşik çalışan savak-kapak, savak ve kapak yapıları serbest akım koşulları ve kritik altı akım şartları altında ayrı ayrı deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca, her yapı için boyut analizi yapılarak farklı akım koşulları için savak ve kapak debi katsayıları ve birleşik akım karakteristikleri, su yüzü profilleri ve verimlilik incelenmiştir. Deneysel çalışmanın yanısıra, birleşik çalışan savak ve kapak yapısı için farklı akım koşullarında gerçekleştirilen sayısal analizlere ait sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Mevcut çalışmada elde edilen sonuçlar savak, kapak ve birleşik çalışan savak ve kapak yapısı için ayrı ayrı verilmiştir.

6.1. Yan Kapaklar

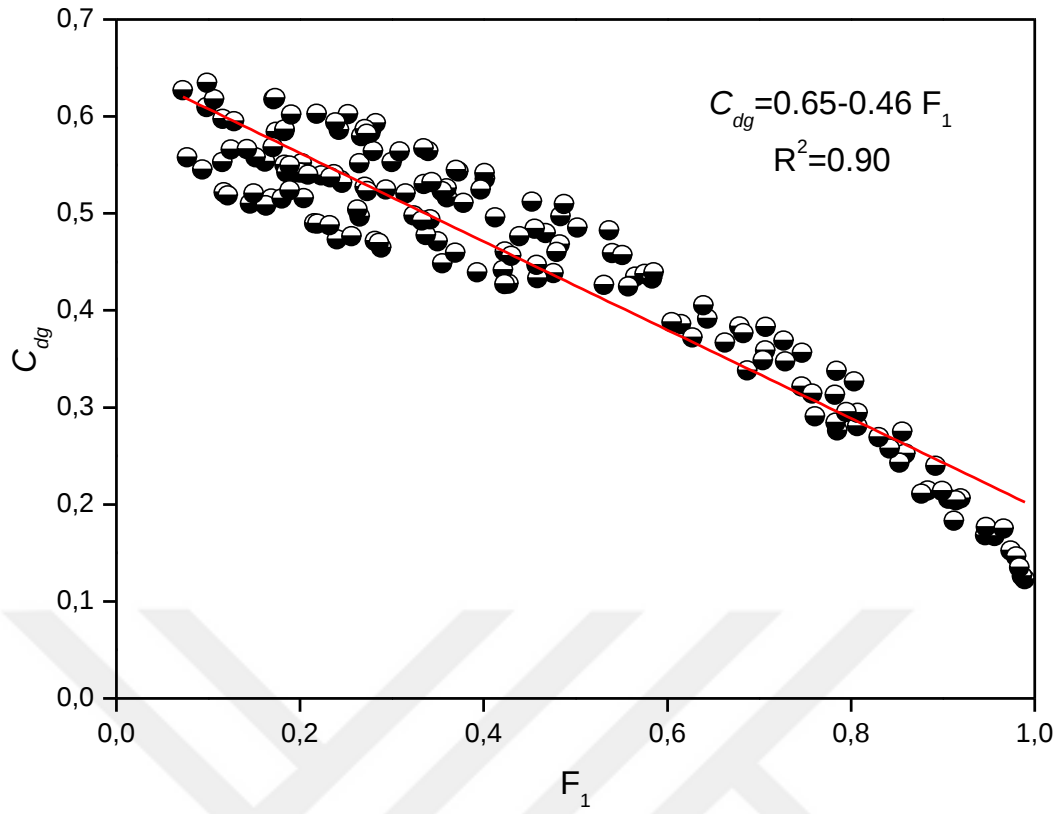
Mevcut çalışmada birleşik akımı daha iyi analiz edebilmek için aynı kapak açıklığına sahip yanal kapaklar detaylı bir şekilde incelenerek kapak debi katsayısı ve akım karakteristikleri incelenmiştir. Yanal kapaklar için debi katsayısı elde edilirken literatürde mevcut olan De Marchi yaklaşımı kullanılmıştır. Mevcut çalışmada yanal kapaklar $0 < F_1 < 1$ ve $0.10 \leq b_g/B \leq 0.40$ koşulları altında incelenmiştir.

Şekil 6.1’de doğrusal bir kanalda nehir rejiminde kapak altı akımında meydana gelen memba ve mansap özgül enerji değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde memba ve mansaptaki özgül enerjinin neredeyse bir birine eşit olduğu ve birbirleriyle mükemmel bir şekilde eşleştiği görülmektedir ($E_1 \cong E_2$). Dolayısıyla kapak debi katsayısı elde edilirken kullanılan De Marchi yaklaşımının kabulü olan ana kanal boyunca özgül enerji sabittir kabulünün doğru olduğu gözlemlenmektedir. Sonuç olarak memba ve mansaptaki özgül enerjinin neredeyse bir birine eşit olması De Marchi yaklaşımının yanal kapaklar için güvenli bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir ($E_1 \cong E_2$).



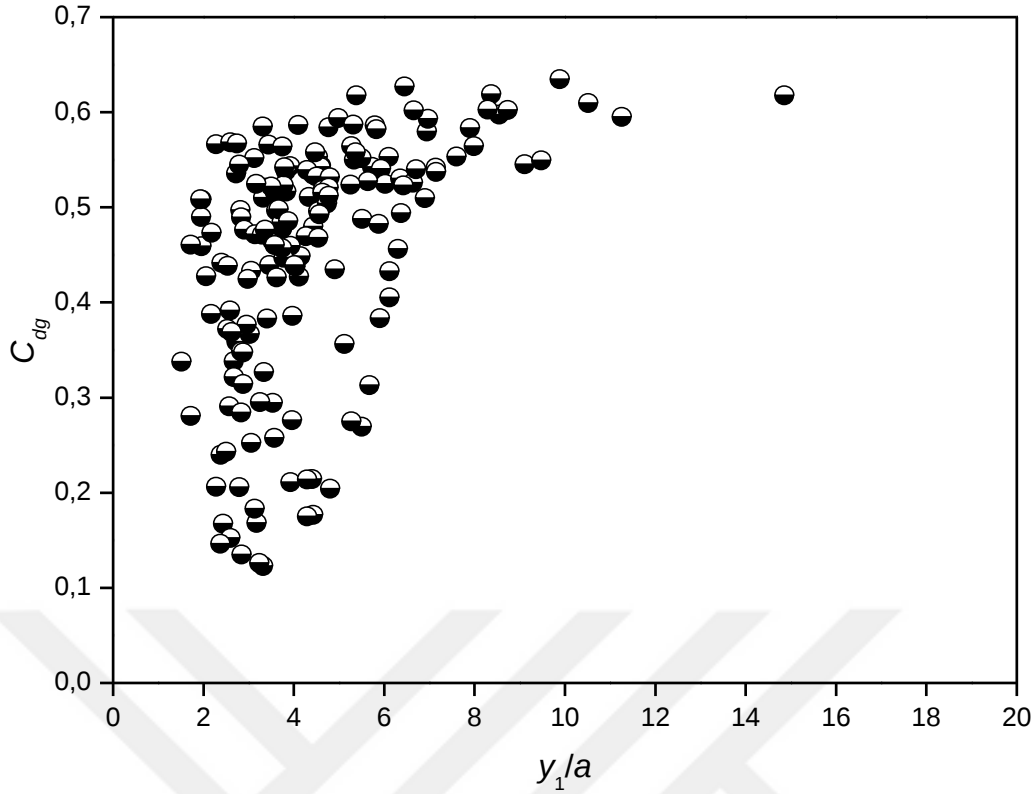
Şekil 6.1. Yanal kapaklar için memba ve mansaptaki özgül enerji değişimleri

Şekil 6.2’de farklı geometriler için yanal kapak debi katsayısının memba Froude sayısı ile değişimi verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere memba Froude sayısının artmasıyla kapak debi katsayısı azalmaktadır. Başka bir deyişle C_{dg} ile memba Froude sayısı arasındaki değişim $y = a x + b$ fonksiyonu şeklinde olmaktadır. Her ne kadar $y = a x + b$ eşitliğindeki a ve b katsayıları farklı geometriler için değişiklik gösterse de bütün durumlarda, a katsayısı negatif değerler almakta ve dolayısı ile C_{dg} , memba Froude sayısının azalan bir fonksiyonu olarak davranmaktadır. Sonuç olarak, akım hızının azalması veya akım derinliğinin artması C_{dg} değerini artırmaktadır. Kapak arkasındaki su yüksekliğinin artması sonucu kapak altından geçen akımın hızını artmakta dolayısıyla deşarj edilen su miktarı daha fazla olmaktadır. Aynı zamanda kapak arkasındaki su derinliğinin azalmasıyla savaklanan su miktarı azalmakta ve memba Froude sayısının artmasıyla kapak altı akımın jet yörüngesinde sapmalar oluşmaya başlamaktadır.



Şekil 6.2. Yanal kapak debi katsayısının memba Froude sayısı ile değişimi

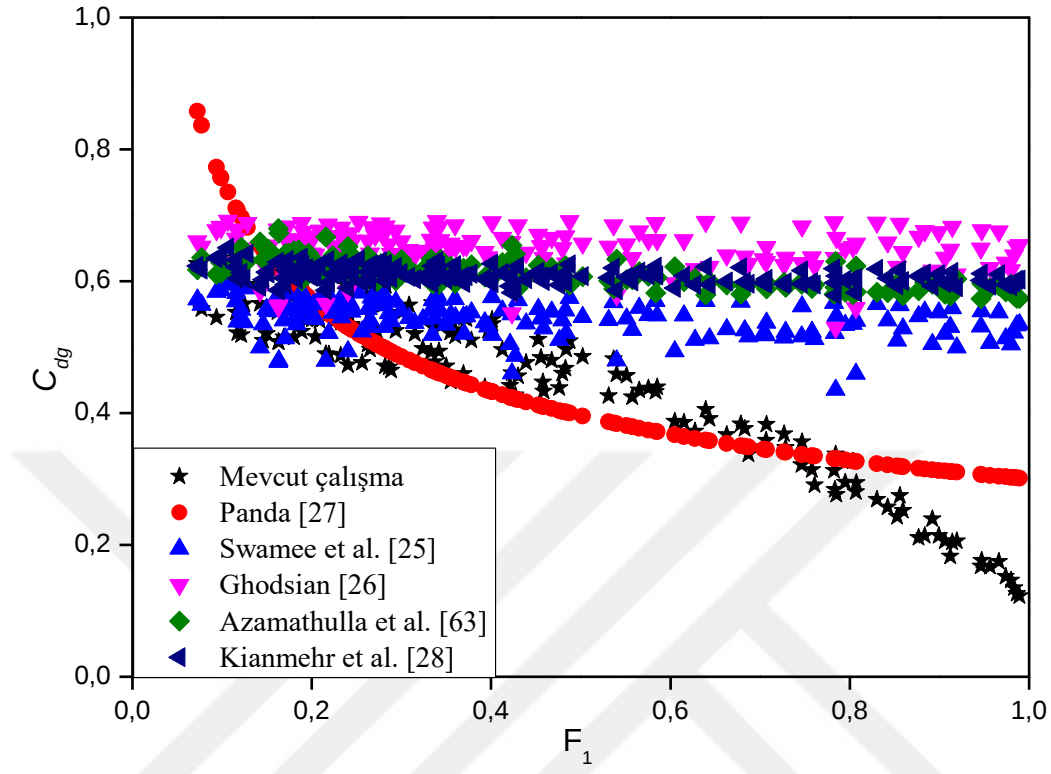
Şekil 6.3'te farklı geometri ve hidrolik koşullar için yan al kapak debi katsayısının y_1/a ile değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde büyük y_1/a değerlerinde büyük debi katsayıları elde edildiği görülmektedir. Memba akım derinliğinin artmasıyla kapak arkasındaki toplam yük artmakta dolayısıyla kapak altı akımdan deşarj olan akımın hızı artmaktadır. Büyük y_1/a değerlerinde daha fazla akım deşarj olmakla birlikte debi katsayısı da artmaktadır.



Şekil 6.3. Yanal kapak debi katsayısının y_1/a ile değişimi

Şekil 6.4'te mevcut çalışmada elde edilen debi katsayısı ile literatürde araştırmacılar tarafından önerilen eşitliklerden elde edilen debi katsayılarının karşılaştırılması verilmiştir. Mevcut çalışma Swamee vd. [25], Panda [27], Ghodsian [26], Azamathulla vd. [62] ve Kianmehr vd. [63]'nin çalışmalarıyla karşılaştırılmıştır. Kianmehr vd. [63] tarafından yapılan çalışmada yanıl kapak debi katsayısı $0.056 \leq F_1 \leq 0.32$ koşulları altında incelenmiştir. Aynı şekilde Panda [27] yaptığı çalışma neticesinde önerdiği eşitliğin $0.06 < F_1 < 0.40$ koşulları için geçerli olduğunu dile getirmiştir. Panda [27], Ghodsian [26] yanıl kapak debi katsayısını elde ederken mevcut çalışmada da kullanılan De Marchi yaklaşımını kullanmışlardır. Azamathulla vd. [62] ise Ghodsian [26]'nın deneysel çalışmada elde ettiği verileri yapay zekâ yöntemleri uygulayarak yanıl kapaklar için bir debi katsayısı eşitliği önermişlerdir. Dikkat etmek gerekir ki literatür incelendiğinde yapılan çalışmalarda boyut analizi sonucu çıkan b_g/y_1 ve b_g/B boyutsuz parametrelerinin önerilen eşitliklerde dikkate alınmadığı veya deneylerde tek bir kapak genişliğinin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada literatürden farklı olarak farklı kapak genişlikleri kullanılarak b_g/y_1 and b_g/B boyutsuz parametrelerinin yanıl kapak debi katsayısına etkisi de incelenmiştir. Mevcut çalışmada, farklı b_g/y_1 (0.15-1.75) and b_g/B (0.10-0.40) aralıkları için deneyler yürütülmüştür. Grafik incelendiğinde debi katsayısının literatürle uyumlu olarak memba Froude sayısının artmasıyla azaldığı görülmektedir. Mevcut çalışmanın özellikle küçük Froude sayılarında literatürle tam uyumlu olduğu ancak Froude sayısının artmasıyla literatürden farklı olarak değişim trendinde farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu değişim trendinin farklı olması, mevcut çalışmada

b_g/y_1 ve b_g/B boyutsuz parametrelerinin dikkate alınmasının bir sonucu olabilir ya da büyük b_g/B değerlerinde meydana gelen sekonder akımın etkisi olabilir.



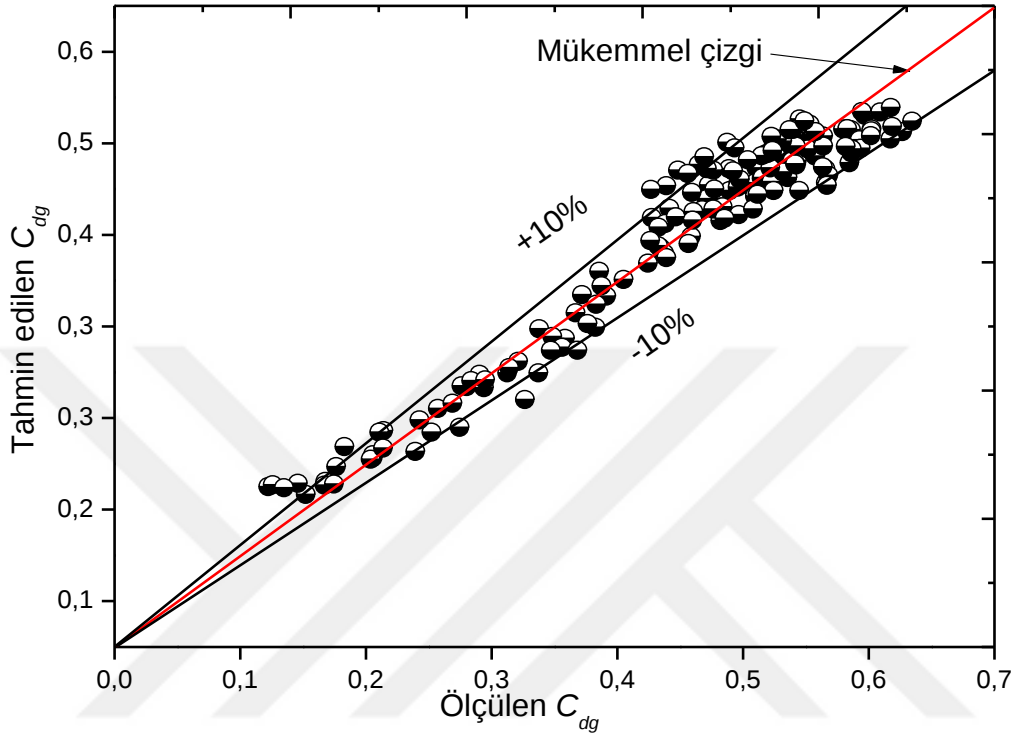
Şekil 6.4. Mevcut çalışmada elde edilen yanıl kapak debi katsayısının literatür ile karşılaştırılması

Mevcut çalışmada, yanıl kapak için yapılan boyut analizi neticesinde etkili olan parametreler dikkate alınarak deneysel çalışmadan elde edilen verileri kullanarak en küçük kareler yöntemi ile serbest akım koşulları ve nehir rejiminde doğrusal bir kanalda yanıl kapakların debi katsayısını tahmin etmek için aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir. Mevcut çalışmada elde edilen eşitliğin belirginlik katsayısı değeri oldukça yüksektir ($R^2=0.95$). Dolayısıyla önerilen eşitliğin serbest akım, nehir rejimi ve $0 < F_1 < 1$ and $0.10 \leq b_g/B \leq 0.40$ koşulları altında yanıl kapaklar için debi katsayısı tahmin etmede kullanılmasının güvenli olduğu söylenebilir.

$$C_{dg} = \left(\frac{1 + 0.95 (F_1)^{3.61} \left(\frac{b_g}{y_1} \right)^{-0.27}}{0.75 - 0.28 \left(\frac{a}{y_1} \right)^{0.75} \left(\frac{b_g}{B} \right)^{0.485}} \right)^{-1.74} \quad (6.1)$$

Şekil 6.5'te deneysel çalışmada elde edilen debi katsayısı değerleri ile önerilen eşitlikten elde edilen debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Grafik incelendiğinde verilerin uyumlu bir şekilde saçıldığı daha doğrusu mükemmel çizgiyi takip ettiği ve verilerin neredeyse $\pm 10\%$ 'luk hata

çizgisi dışına çıkmadığı görülmektedir. Dolayısıyla hem ölçülen hem de tahmin edilen debi katsayısı değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Yukarıda ifade edildiği gibi mevcut çalışmada elde edilen veriler ve boyut analizi sonucu önerilen eşitlik debi katsayı tahmininde güvenli bir şekilde kullanılabilir.



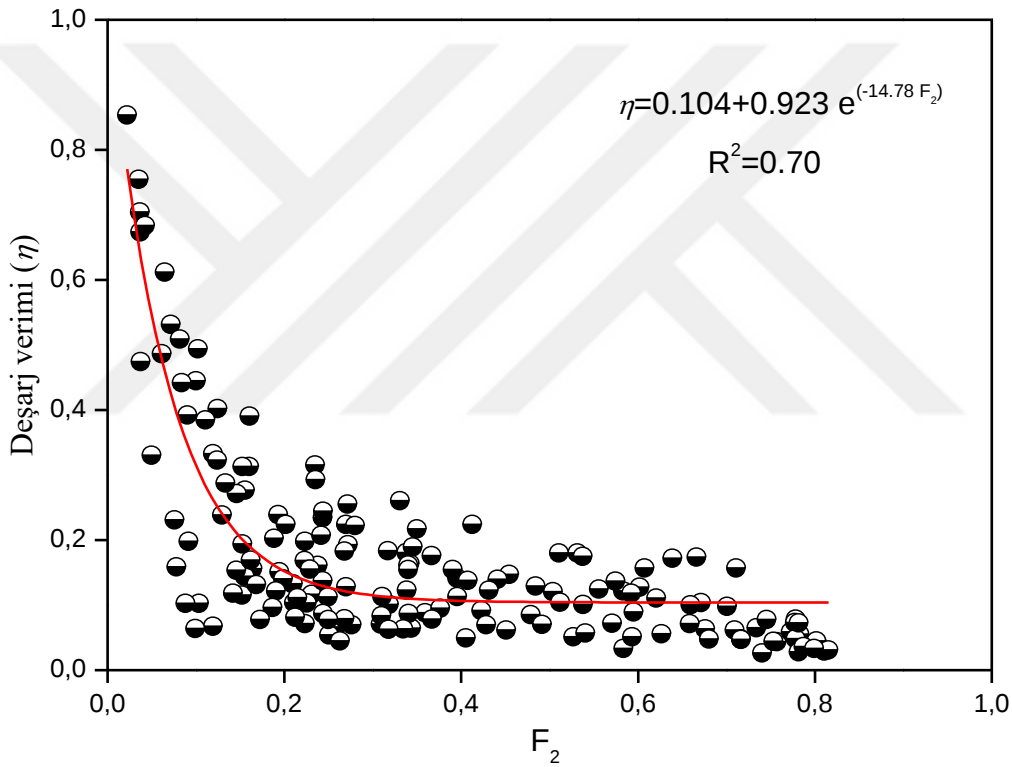
Şekil 6.5. Ölçülen ve tahmin edilen C_{dg} değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 6.1’de literatürde yan kapaklar ile ilgili çalışmaların gerçekleştirildiği deney koşulları verilmiştir.

Tablo 6.1. Literatürde yan kapaklarla ilgili çalışmalarda çalışılan deney şartları

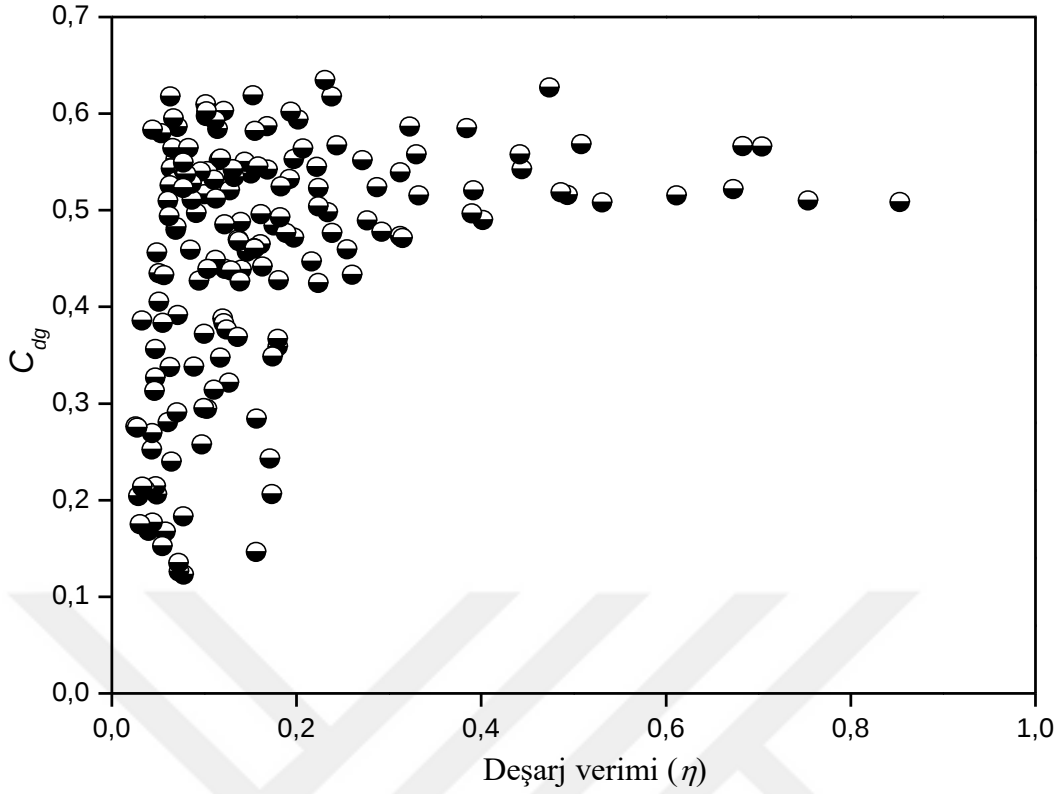
b_g/B	a (m)	y_1 (m)	F_1 (-)	Q_g (m ³ /s)	Q_I (m ³ /s)	Çalışma adı
0.60	0.02-0.07	0.13-0.57	0.056-0.32	0.011-0.081	0.065-0.154	Kianmehr vd. [63]
0.60 0.83 1.00	0.01-0.08	0.30-0.75	0.05-0.40	0.005-0.097	0.016-0.129	Panda [27]
1.00	0.01-0.10	0.07-0.37	0.105-0.948	0.003-0.090	0.010-0.097	Swamee vd. [25]
1.00	0.01-0.10	0.05-0.78	0.02-0.94	0.005-0.099	0.01-0.098	Ghodsian [26]
0.10-0.40	0.02-0.04	0.05-0.22	0.09-0.98	0.0002-0.0081	0.0034-0.0041	Mevcut çalışma

Deşarj verimi (η), yan kapak altından deşarj edilen akımın Q_g ’nın ana kanala giren Q_1 debisine oranı şeklinde ifade edilmektedir. Şekil 6.6’da yanal kapakların verimliliği ile mansap Froude sayısının değişimi verilmiştir ($Q_g/Q_1=\eta$). Maranzoni vd. [17] ve Kılıç [59] yılında yaptıkları çalışmada savaktan geçen debiyi toplam debiye bölerek yan savak yapısının verimliliğini hesaplamışlardır. Araştırmacılar, elde ettikleri verimliliği literatürden farklı olarak mansap Froude sayısı ile karşılaştırmışlardır. Benzer şekilde mevcut çalışmada elde edilen yanal kapakların verimliliği, mansap Froude sayısı ile karşılaştırılmıştır. Şekil 6.6’dan görüldüğü üzere mansap Froude sayısının artmasıyla yanal kapakların deşarj veriminin düştüğü görülmektedir. Küçük Froude sayılarında verimlilik en yüksek değerlerini almaktadır. Bu çalışmada, Maranzoni vd. [17] ve Kılıç [59]’ın elde ettikleri bulgulara benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 6.6. Verimlilik ile mansap Froude sayısının değişimi

Şekil 6.7’de yanal kapakların debi katsayısı ile verimliliğin değişimi verilmiştir. Yukarıda ifade edildiği gibi, Maranzoni vd. [17] ve Kılıç [59] yaptıkları çalışmada savaktan geçen debiyi toplam debiye bölerek yan savak yapısının verimliliğini hesaplamışlardır. Araştırmacılar, elde ettikleri verimliliği literatürden farklı olarak mansap Froude sayısı ile karşılaştırmışlardır. Şekil 6.7’den anlaşıldığı üzere verimliliğin artmasıyla debi katsayısı değerlerinin arttığı görülmektedir. Mevcut çalışmada, küçük verimlilik değerlerinde küçük debi katsayı değerleri elde edilmiştir.

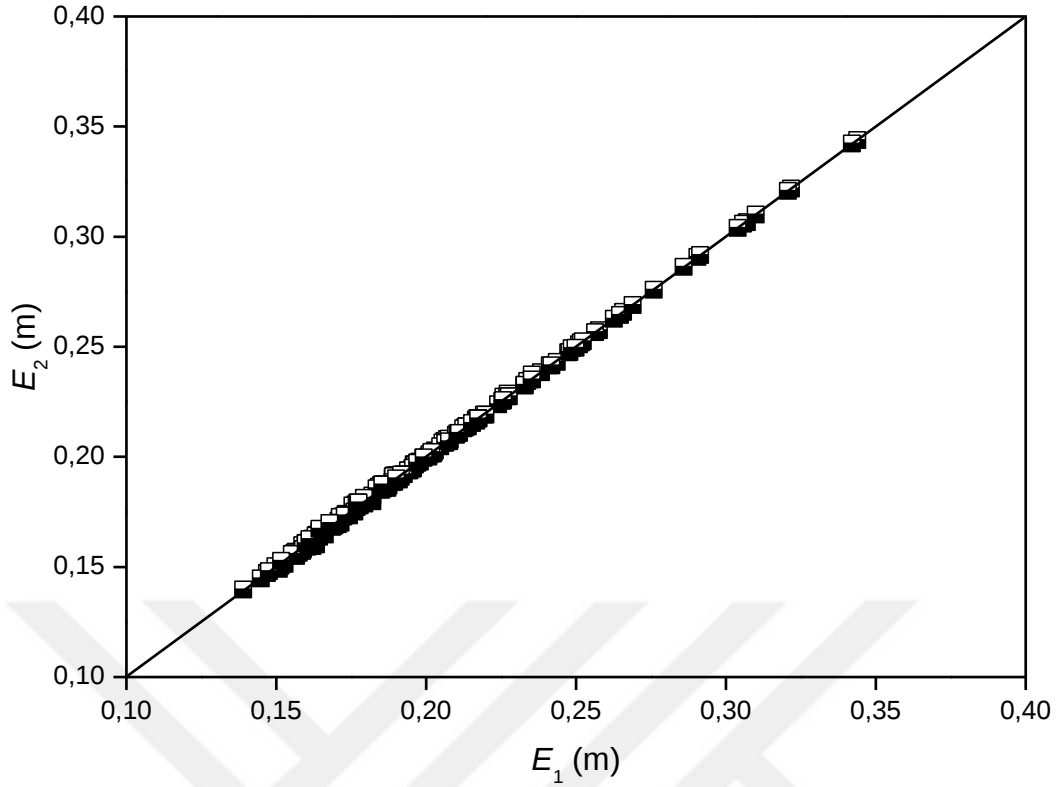


Şekil 6.7. Debi katsayısının verimlilik ile değişimi

6.2. Yan Savaklar

Mevcut çalışmada birleşik akımı daha iyi analiz edebilmek için aynı savak açıklığı ve kret yüksekliğine sahip yan savaklar da detaylı bir şekilde incelenerek kapak debi katsayısı ve akım karakteristikleri incelenmiştir. Yanal savaklar için debi katsayısı elde edilirken literatürde mevcut olan De Marchi, Schmidt ve Domínguez yaklaşımları kullanılmıştır. Mevcut çalışmada yan savaklar $0 < F_1 < 1$ ve $0.10 \leq b_g/B \leq 0.40$ koşulları altında incelenmiştir.

Şekil 6.8’de doğrusal bir kanalda nehir rejiminde savak üstü akımında meydana gelen memba ve mansaptaki özgül enerji değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde memba ve mansaptaki özgül enerjinin neredeyse bir birine eşit olduğu ve birbirleriyle mükemmel bir şekilde eşleştiği görülmektedir ($E_1 \cong E_2$). Dolayısıyla kapak debi katsayısı elde edilirken kullanılan De Marchi ve Domínguez yaklaşımlarının kabulü olan ana kanal boyunca özgül enerji sabittir kabulünün doğru olduğu gözlemlenmektedir. Sonuç olarak memba ve mansaptaki özgül enerjinin neredeyse bir birine eşit olması De Marchi ve Domínguez yaklaşımlarının yan savaklar için güvenli bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir ($E_1 \cong E_2$).

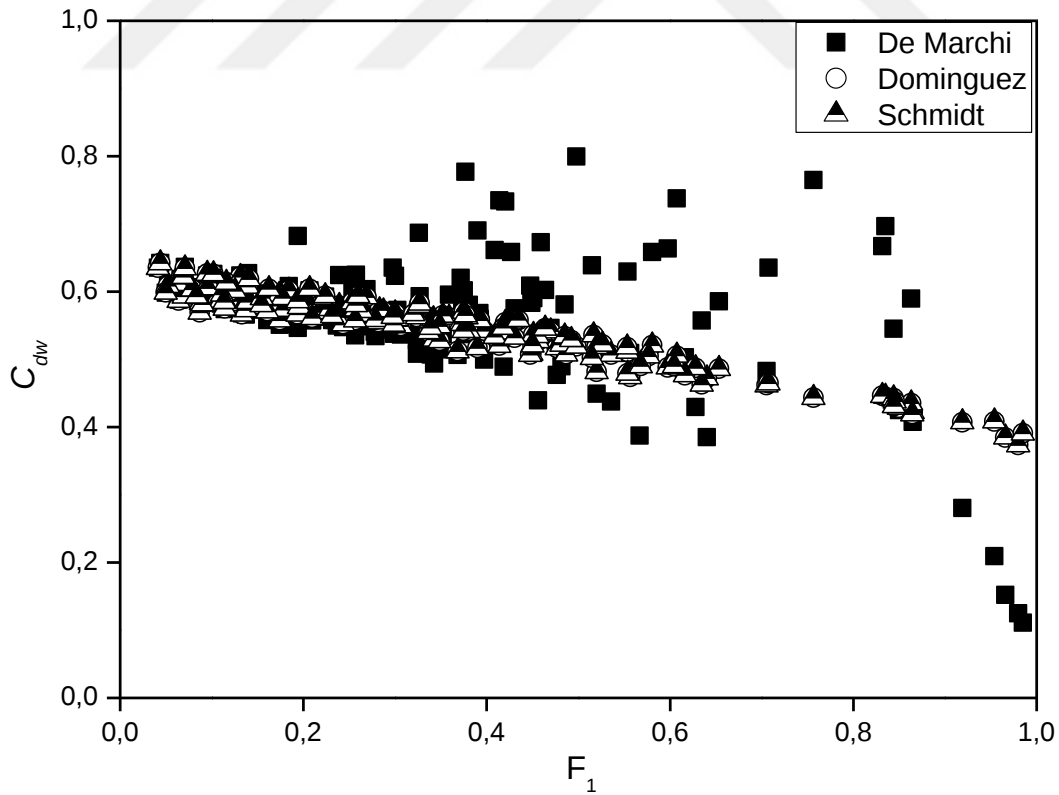


Şekil 6.8. Yan savaklar için memba ve mansaptaki özgül enerji değişimleri

Şekil 6.9’da farklı geometriler için yan savak debi katsayısının memba Froude sayısı ile değişimi verilmiştir. Yan savaklar için debi katsayısı elde edilirken literatürde mevcut olan De Marchi, Schmidt ve Domínguez yaklaşımları kullanılmıştır. Şekil 6.9’dan da görüldüğü gibi üzere memba Froude sayısının artmasıyla savak debi katsayısı azalmaktadır. Başka bir deyişle C_{dw} ile memba Froude sayısı arasındaki değişim $y = a x + b$ fonksiyonu şeklinde olmaktadır. Her ne kadar $y = a x + b$ eşitliğindeki a ve b katsayıları farklı geometriler için değişiklik gösterse de bütün durumlarda, a katsayısı negatif değerler almakta ve dolayısı ile C_{dw} , memba Froude sayısının azalan bir fonksiyonu olarak davranmaktadır. Sonuç olarak, akım hızının azalması veya akım derinliğinin artması C_{dw} değerini artırmaktadır. Savak arkasındaki su derinliğinin artması sonucu savak üstünden yani kret üstünden geçen nap yüksekliği artmakta dolayısıyla deşarj edilen su miktarı daha fazla olmaktadır. Aynı zamanda savak üstünden akan suyun napının azalmasıyla savaklanan su miktarı azalmakta ve memba Froude sayısının artmasıyla da savak üstü akımın jet yörüngesinde sapmalar oluşmaya başlamaktadır. Şekil 6.9 incelendiğinde De Marchi yaklaşımına göre elde edilen debi katsayılarının dağınık bir şekilde saçıldığı ancak Domínguez ve Schmidt yaklaşımlarıyla elde edilen debi katsayıları değerlerinin düzgün ve birbirleriyle trend oluşturacak şekilde saçıldığı görülmektedir. Domínguez ve Schmidt yaklaşımlarıyla elde edilen debi katsayısı değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla birleşik akım için akım karakteristikleri elde edebilmek için Domínguez yaklaşımı kullanılmıştır.

Yan savaklar konusunda yapılan çalışmalarda yaygın şekilde kullanılan De Marchi yaklaşımı[2] yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte Schmidt [4] ve Domínguez [3] yaklaşımları ile ilgili kısıtlı çalışmalar vardır. Bu yaklaşımlar kullanılarak hesaplanmış olan C_{dw} değerlerinin memba Froude sayısına (F_1) bağlı olarak değişimleri Şekil 6.9’da verilmiştir. Schmidt yaklaşımı ilk kez Emiroglu ve İkinciogullari [18,22] tarafından farklı tepe açlarına sahip üçgen labirent yan savakların deneysel olarak incelenmesiyle elde edilmiş verilere uygulanmıştır. Domínguez [3] yaklaşımı Bagheri vd. [15] tarafından dikdörtgen yan savak için kullanılmıştır. Ayrıca Emiroğlu ve İkinciogulları [18,22] da bu yaklaşımı çalışmalarında kullanmışlardır.

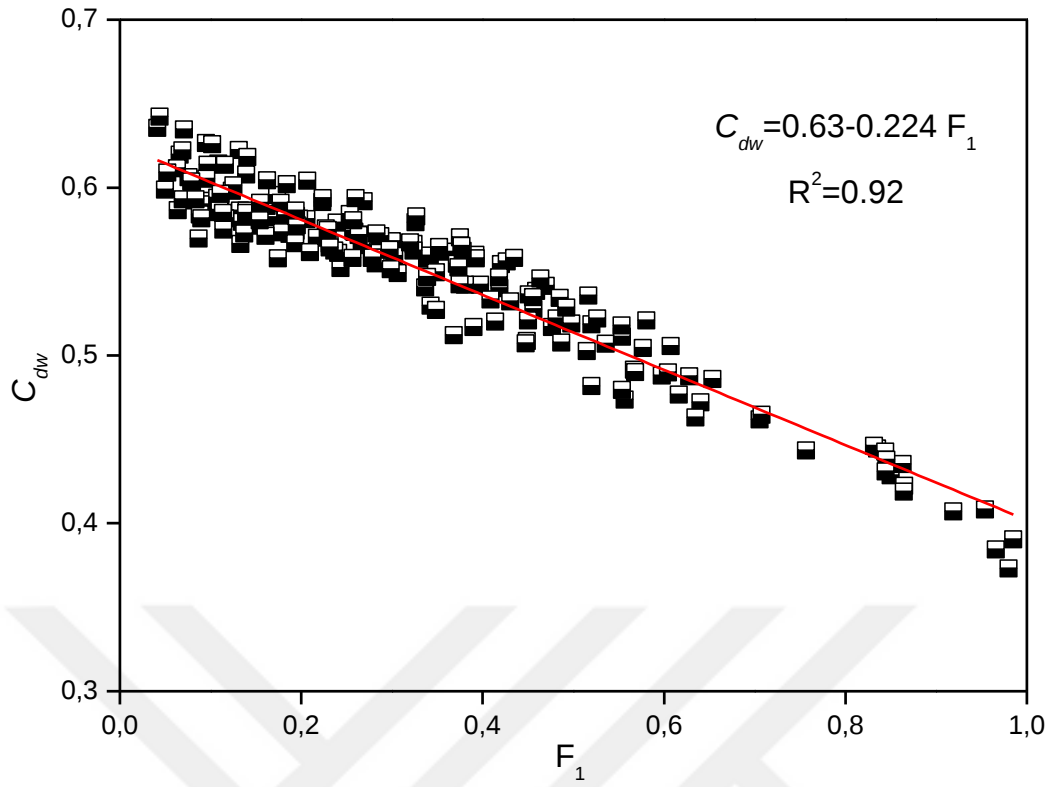
Schmidt ve Domínguez yöntemlerini kendi arasında %100’e yakın bir uyum görülmekte iken De Marchi ile büyük F_1 sayılarında kısmen uyumlu olmasına karşın, küçük F_1 değerlerinde uyumsuz sonuçlara ulaşılmıştır. Küçük F_1 değerlerinde görülen bu fark, geometrik parametrelerin debi katsayısına katkısını yansıtmada De Marchi yönteminin yeterli olmadığını düşündürmektedir. Şekil 6.9’da görüldüğü üzere bütün yaklaşımlarda neredeyse debi katsayısının değişimi ile memba Froude arasında aynı sonuçlar elde edilmiştir. De Marchi ile elde edilen sonuçların diğer iki yöntem sonuçlarından uzaklaşması hali, bu durumu teyit etmektedir. Emiroglu ve İkinciogullari [18], Schmidt Yaklaşımının çok iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Hem Bagheri vd. [15] hem de Emiroglu ve İkinciogullari [18] bu yaklaşımın yan savakların debi katsayısını belirlemek için iyi bir yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 6.9. Yan savak debi katsayısının farklı yaklaşımlara göre memba Froude sayısı ile değişimi

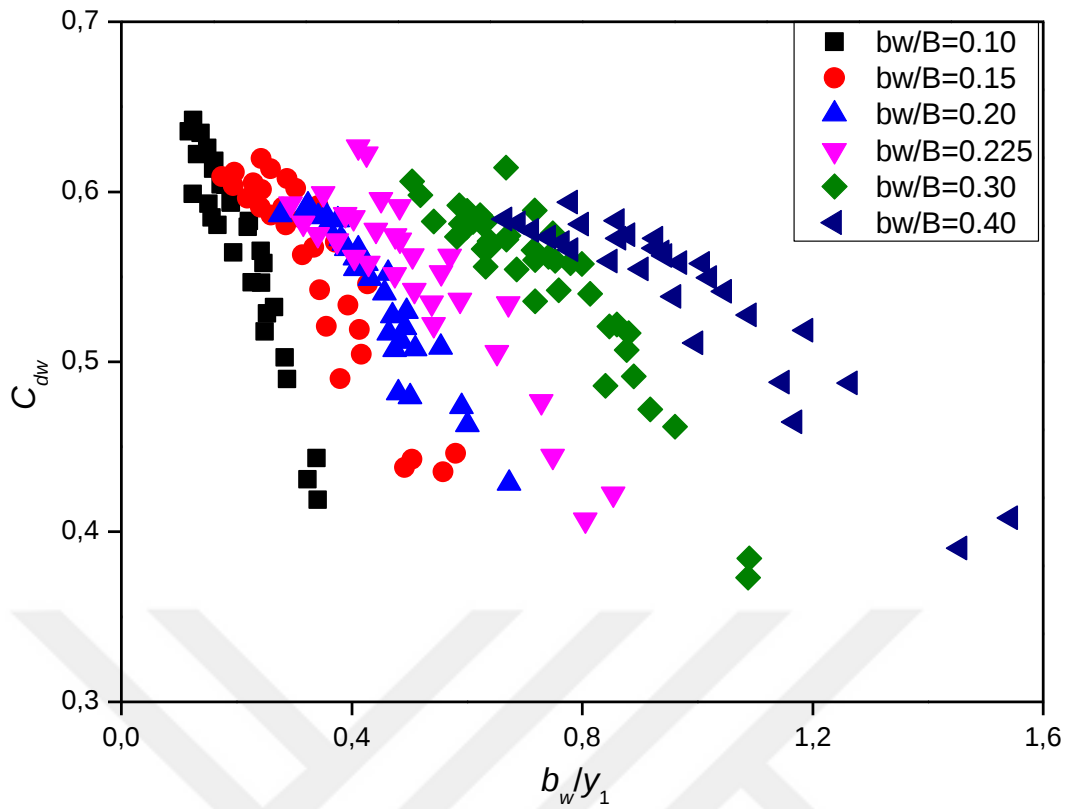
Şekil 6.10'da farklı geometriler için yan savak debi katsayısının memba Froude sayısı ile değişimi verilmiştir. Yan savaklar için debi katsayısı elde edilirken literatürde mevcut olan Domínguez yaklaşımı kullanılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi yan savak debi katsayısı (C_{dw}), memba Froude sayısının ($F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$) azalan bir fonksiyonu olduğu dolayısıyla memba Froude sayısı attıkça memba Froude sayısının azaldığı görülmektedir. Memba Froude sayısı $F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$ ana kanaldaki savağın memba kesitindeki hızın (V_1) artmasıyla veya akım derinliğindeki (y_1) azalma nedeniyle artar [34]. Şekil 6.10'dan da görüldüğü gibi üzere memba Froude sayısının artmasıyla savak debi katsayısı azalmaktadır. Başka bir deyişle C_{dw} ile memba Froude sayısı arasındaki değişim $y = a x + b$ fonksiyonu şeklinde olmaktadır. Her ne kadar $y = a x + b$ eşitliğindeki a ve b katsayıları farklı geometriler için değişiklik gösterse de bütün durumlarda, a katsayısı negatif değerler almakta ve dolayısı ile C_{dw} , memba Froude sayısının azalan bir fonksiyonu olarak davranmaktadır. Sonuç olarak, akım hızının azalması veya akım derinliğinin artması C_{dw} değerini artırmaktadır.

Şekil 6.10 incelendiği zaman düşük memba Froude değerlerinde daha yüksek C_{dw} değerleri elde edildiği görülmektedir. Bununla beraber artan Froude değerleri ile azalma gözlemlenmektedir. Memba Froude değerlerindeki artış ile debi katsayısı değerinde azalan bir hızla bir düşüş gözlemlenmektedir. Mevcut çalışmadan elde edilen yan savak debi katsayısı değerleri ile F_1 'in değişim trendi, geçmişten yapılan düz [5,11] ve kıvrımlı kanallarda [13,70] yanal akımları ilgili yapılan çalışmaların sonuçlarıyla uyumludur. Ayrıca, Ghodsian vd. [70]'nın çalışmasına benzer şekilde, daha küçük ters akım bölgeleri ve daha büyük ayırma bölgelerinin küçük memba Froude sayılarında meydana geldiği gözlemlenmiştir [70]. Böylece, düşük Froude sayılarında birleşik yan ve savak ve kapak yapısından daha fazla akım deşarj edilmiş olmaktadır.



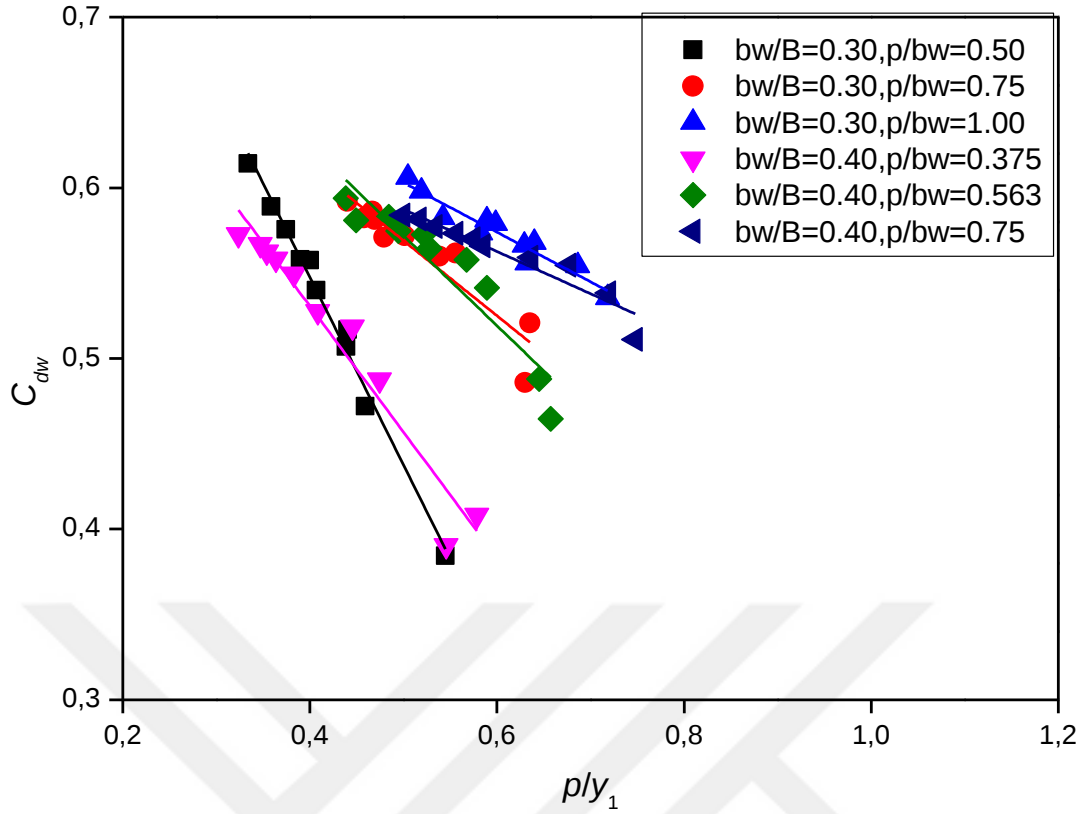
Şekil 6.10. Yan savak debi katsayısının (C_{dw}) ile memba Froude sayısı (F_1) ile değişimi

Şekil 6.11’de yan savak debi katsayısı ile b_w/y_1 arasındaki değişim verilmiştir. Şekil 6.11 incelendiğinde b_w/B değerinin artması ile debi katsayısının ile b_w/y_1 arasındaki değişimin artmakta olduğu görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi b_w/B oranı artıkça C_{dw} ile b_w/y_1 arasındaki trendi eğimi artmakta dolayısıyla debi katsayısının arttığı söylenebilir.



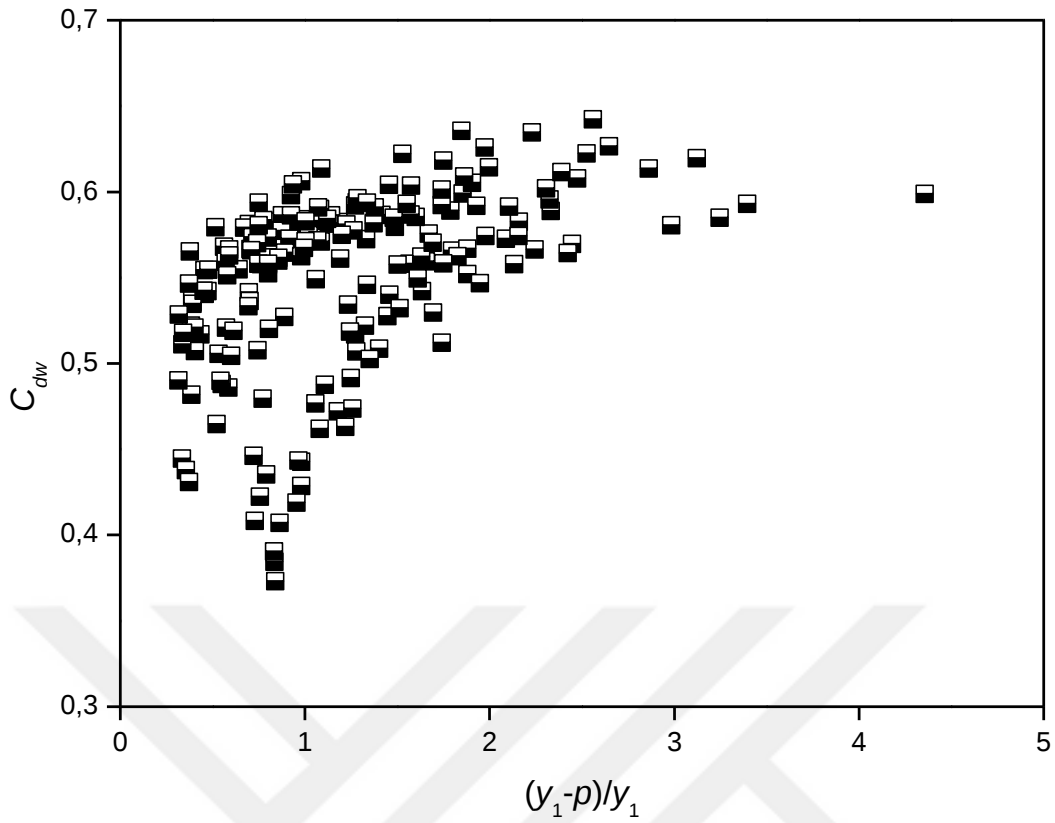
Şekil 6.11. Yan savak debi katsayısının (C_{dw}) farklı b_w/B oranları için ile b_w/y_1 ile değişimi

Şekil 6.12’de yan savak debi katsayısı ile p/y_1 arasındaki değişim verilmiştir. Şekil 6.12 incelendiğinde b_w/B değerinin artması ile debi katsayısının ile p/y_1 arasındaki değişim trendinin eğiminin artmakta olduğu görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi aynı b_w/B oranları için p/b_w değerleri artıkça debi katsayısı değerlerinin arttığı dolayısıyla deşarj kapasitesinin arttığı söylenebilir. Bütün yan savak modellerine ait sonuçlarda C_{dw} , p/y_1 değerinin bir azalan fonksiyonu ($y=a+b.x$) olarak ifade edilebilmektedir. Test edilen her farklı yan savak modeli için a ve b değerleri değişmekle beraber, b daima negatiftir. Bu nedenle C_{dw} , p/y_1 değerinin azalan bir fonksiyonu olarak davranmaktadır. Sabit bir kret yüksekliği için akım hızının, nap yükünün veya her ikisinin artması ile debi katsayısı azalmaktadır.



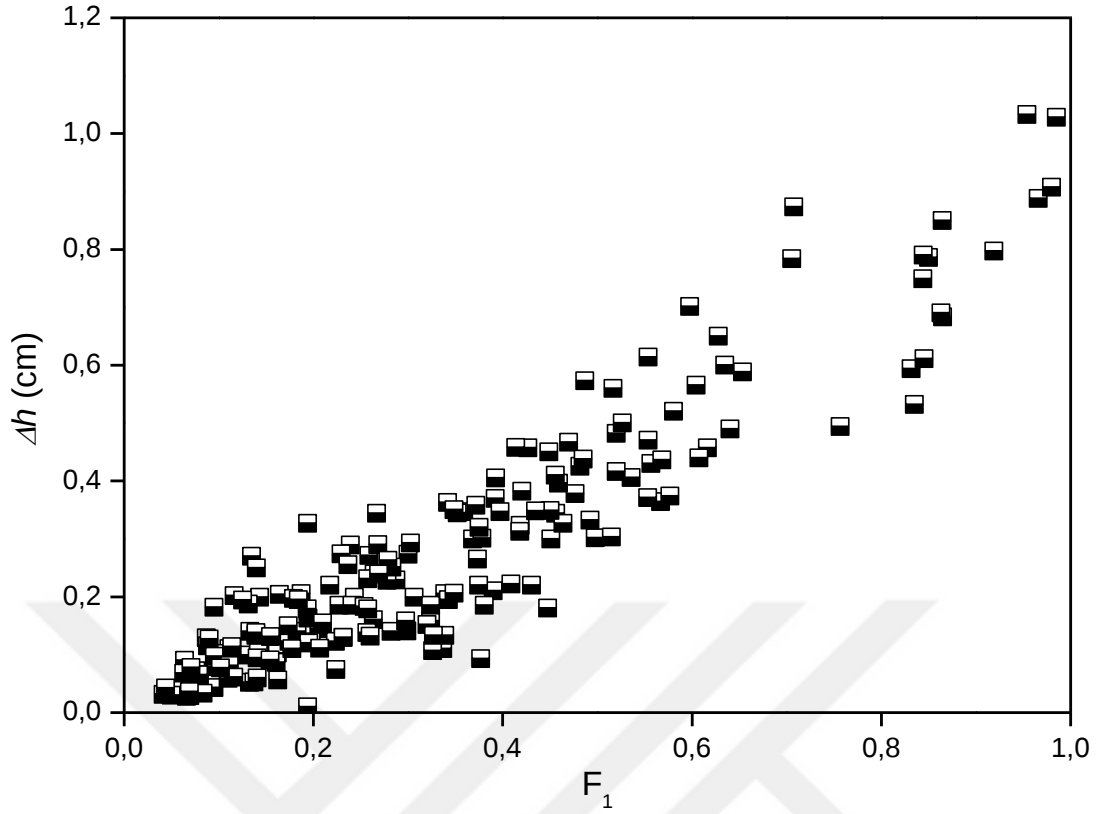
Şekil 6.12. Yan savak debi katsayısının p/y_1 ile değişimi

Şekil 6.13'te yan savak debi katsayısı ile $(y_1-p)/p$ arasındaki değişim verilmiştir. Geçmişte yan savaklar için çalışmalarda nap yükünün debi katsayısına etkisi birçok çalışmada vurgulanmıştır. Tablo 3.1'de araştırmacıların klasik dikdörtgen yan savak debi katsayısı için önermiş oldukları eşitliklerde, nap yükünün artmasıyla C_{dw} değerinin azalacağı anlaşılmaktadır [5,8,11,48]. Literatüre uygun olarak, debi katsayısının $(y_1-p)/p$ değerinin azalan bir fonksiyonu ($y=a+b.x$) olduğu görülmektedir. h_1/p artı (+) yönünde C_{dw} değerinin değişim hızı azalmaktadır. Nap yükü $3 \text{ cm} < h_1 < 26 \text{ cm}$ arasında olup buna bağlı olarak elde edilen h_1/p değerleri en çok 4.35'e kadar elde edilmiştir. Şekil 6.13 incelendiğinde, sabit bir kret yüksekliğinde nap yükünün artması ile test edilen bütün savak tiplerinde debi katsayısının azaldığı görülmüştür. $(y_1-p)/p$ 'nin küçük değerlerinde daha büyük debi katsayısı değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6.13. Yan savak debi katsayısının $(y_1 - p)/y_1$ ile değişimi

Yanal akımda dikdörtgen yan savak kullanılması durumunda memba ve mansap yükleri arasındaki nap farkının memba Froude sayısı ile değişimi Şekil 6.14’te verilmiştir. Memba Froude sayısının artmasıyla dalgalanmaların olduğu gözlemlenmiş dolayısıyla memba ve mansap akım derinlikleri arasında belirgin farklar meydana gelmiştir. Şekil incelendiğinde bu durum belirgin bir şekilde gözlemlenecektir.

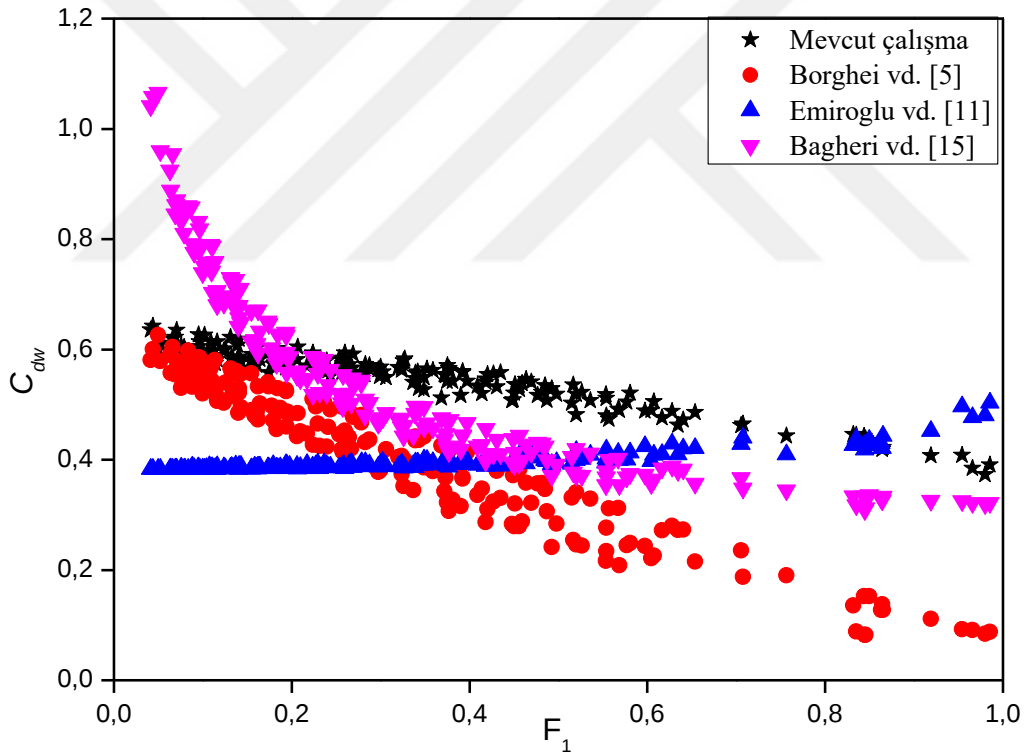


Şekil 6.14. Memba ve mansap nap kalınlığı farkının (Δh) memba Froude sayısı (F_1) ile değişimi

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen farklı geometrilere sahip yan savak modellerinin deney sonuçları, literatürde yan savaklarla ilgili çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Subramanya ve Awasthy [51], Hager [7] ve Borghei vd. [5], Emiroglu vd. [11] ve Bagheri vd. [15] tarafından doğrusal kanalda dikdörtgen savak yanal akımı ile alakalı yürütülen çalışmalar sonucunda debi katsayısı C_{dw} için ampirik formüller önermişlerdir. Araştırmacıların sunmuş olduğu eşitlikler (Tablo 3.1) ile debi katsayısı C_{dw} hesaplanarak, mevcut çalışmanın verileri ile karşılaştırılmıştır. Memba Froude sayısı değerinin artması ile dikdörtgen yan savakların debi katsayısı birbirlerine benzer biçimde azalmaktadır. Mevcut çalışmadan elde edilen yan savak debi katsayısı ile F_1 'in değişim trendi, geçmişte yapılan düz [5,11] ve kıvrımlı kanallarda [13,70] yanal akımları ilgili yapılan çalışmaların sonuçlarıyla uyumludur. Ayrıca, Ghodsian vd. [70]'nın çalışmasına benzer şekilde, daha küçük ters akım bölgeleri ve daha büyük ayırma bölgelerinin küçük memba Froude sayılarında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Böylece, düşük Froude sayılarında birleşik yan ve savak ve kapak yapısından daha fazla akım deşarj edilmiş olmaktadır. Sonuç olarak, Şekil 6.15'te gösterildiği gibi F_1 'in artmasıyla debi katsayısı değerleri (C_{dw}) azalır. Mevcut çalışmada yan savak debi katsayısının boyut analizi sonucunda birçok boyutsuz parametrenin (yani, (i.e., b_w/B , b_w/y_L , p/y_L ve F_1) bir fonksiyonu olduğu göz ardı edilmemelidir (bkz. Eşitlik (4.5)).

Literatür tarafından önerilen denklemlerden ölçülen ve tahmin edilen C_{dw} değerlerinin karşılaştırılması Şekil 6.15'te verilmiştir. Şekil 6.15'te görüldüğü gibi, memba Froude sayısı azaldıkça

deşarj kapasitesi artar. Diğer bir deyişle, F_1 azaldıkça yan savak Q_w 'nindeşarjı artar. Dikdörtgen yan savaklarınındeşarj katsayı değerleri Borghei vd. [5], Emiroglu et al. [11] ve Bagheri vd. [15] çalışmalarıyla Mevcut çalışmada debi katsayısı değerleri elde edilirken Domínguez yaklaşımı kullanılmıştır. Ancak Borghei vd. [5] De Marchi yaklaşımını, Emiroglu vd. [11] ise Poleni eşitliğini kullanmışlardır. Bagheri vd. [15] ise Domínguez yaklaşımını kullanmıştır. Şekilde görüldüğü gibi literatürle karşılaştırılan mevcut çalışma özellikle yüksek Froude sayılarında literatürden farklı bir şekilde saçılmaktadır. Bu farklı saçılmalar deneylerin gerçekleştirildiği deney koşulları veya yaklaşım metotlarından kaynaklanmış olabilir. Yine de mevcut çalışma, Borghei vd. [5] ile uyumludur. Özellikle sekonder akımın şiddeti, yanal akımda savaklanan debinin debi katsayısını önemli ölçüde değiştirmektedir. Kıvrımlı kanallarda kıvrımdan dolayı meydana gelen sekonder akım, yanal akım sebebiyle ana kanalda meydana gelen sekonder akımın şiddetlenmesine sebep olmaktadır [52]. Emiroğlu vd. [92] çalışmalarında kıvrımdan kaynaklanan sekonder akım nedeniyle doğrusal kanala göre daha büyük debi katsayısı değerleri elde edilmiştir.



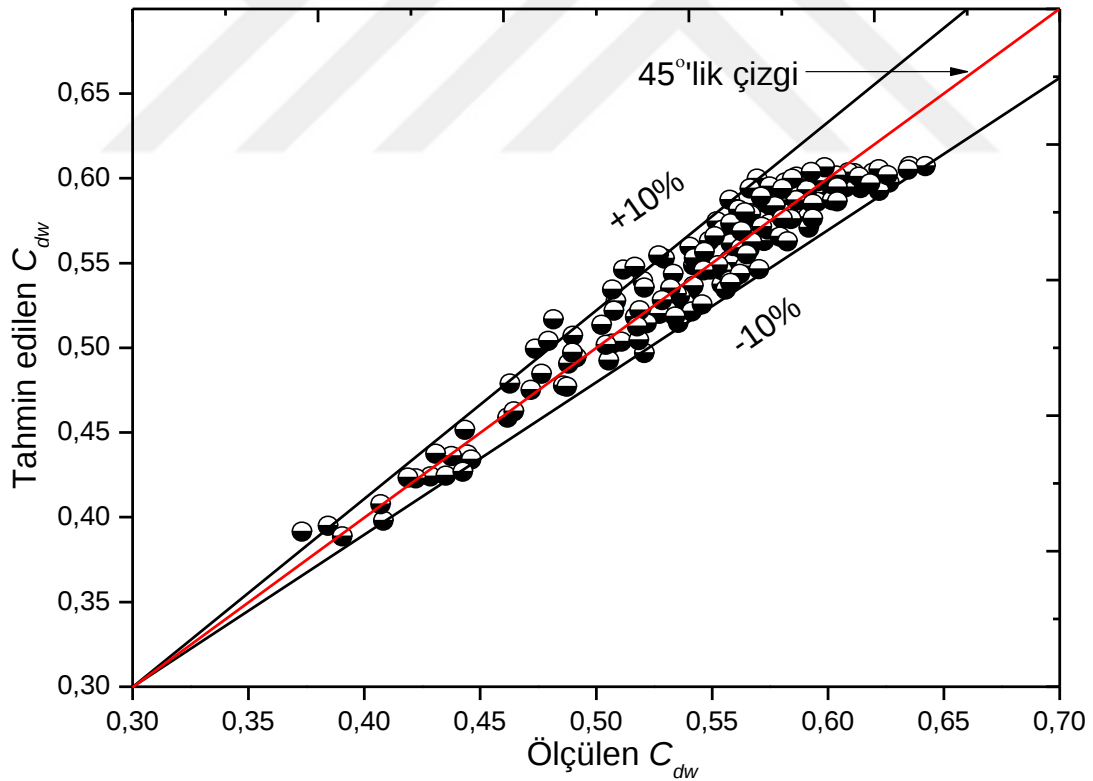
Şekil 6.15. Yan savak debi katsayısının (C_{dw}) memba Froude sayısı (F_1) ile değişiminin literatürle karşılaştırılması

Mevcut çalışmada, yanal savak için yapılan boyut analizi neticesinde etkili olan parametreler dikkate alınarak deneysel çalışmadan elde edilen verileri kullanarak en küçük kareler yöntemi ile serbest akım koşulları ve nehir rejiminde doğrusal bir kanalda yan savakların debi katsayısını tahmin etmek için aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir. Mevcut çalışmada elde edilen eşitliğin belirginlik katsayısı değeri

oldukça yüksektir ($R^2=0.93$). Dolayısıyla önerilen eşitliğin serbest akım, nehir rejimi ve $0 < F_1 < 1$ and $0.10 \leq b_w/B \leq 0.40$ koşulları altında yan savaklar için debi katsayısı tahmin etmede kullanılmasının güvenli olduğu söylenebilir.

$$C_{dw} = \left(\frac{1 + 0.46F_1^{1.7} \left(\frac{p}{y_1} \right)^{-0.20}}{0.64 - 0.04 \left(\frac{b_w}{y_1} \right)^{-0.26} \left(\frac{b_w}{B} \right)^{0.794}} \right)^{-1.07} \quad (6.2)$$

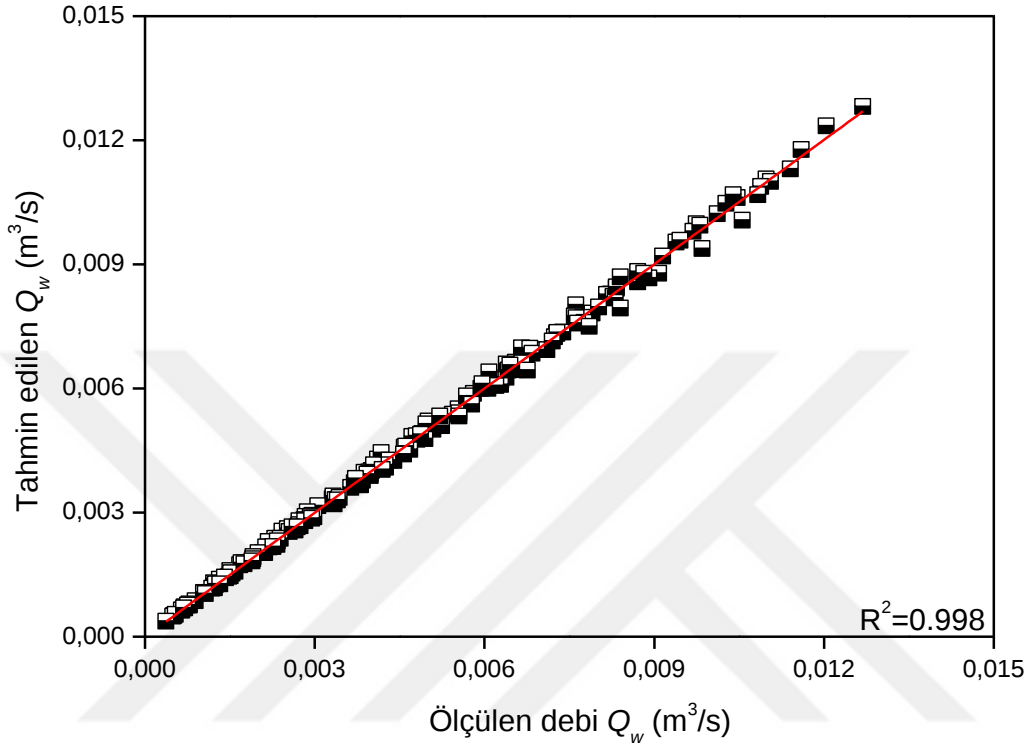
Şekil 6.16’da deneysel çalışmada elde edilen debi katsayısı değerleri ile önerilen eşitlikten elde edilen debi katsayısı değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Grafik incelendiğinde verilerin uyumlu bir şekilde saçıldığı daha doğrusu mükemmel çizgiyi takip ettiği ve verilerin neredeyse $\pm\%10$ ’luk hata çizgisi dışına çıkmadığı görülmektedir. Dolayısıyla hem ölçülen hem de tahmin edilen debi katsayısı değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Yukarıda ifade edildiği gibi mevcut çalışmada elde edilen veriler ve boyut analizi sonucu önerilen eşitlik debi katsayısı tahmininde güvenli bir şekilde kullanılabilir.



Şekil 6.16. Ölçülen ve tahmin edilen yan savak debi katsayısı (C_{dw}) değerlerinin karşılaştırılması

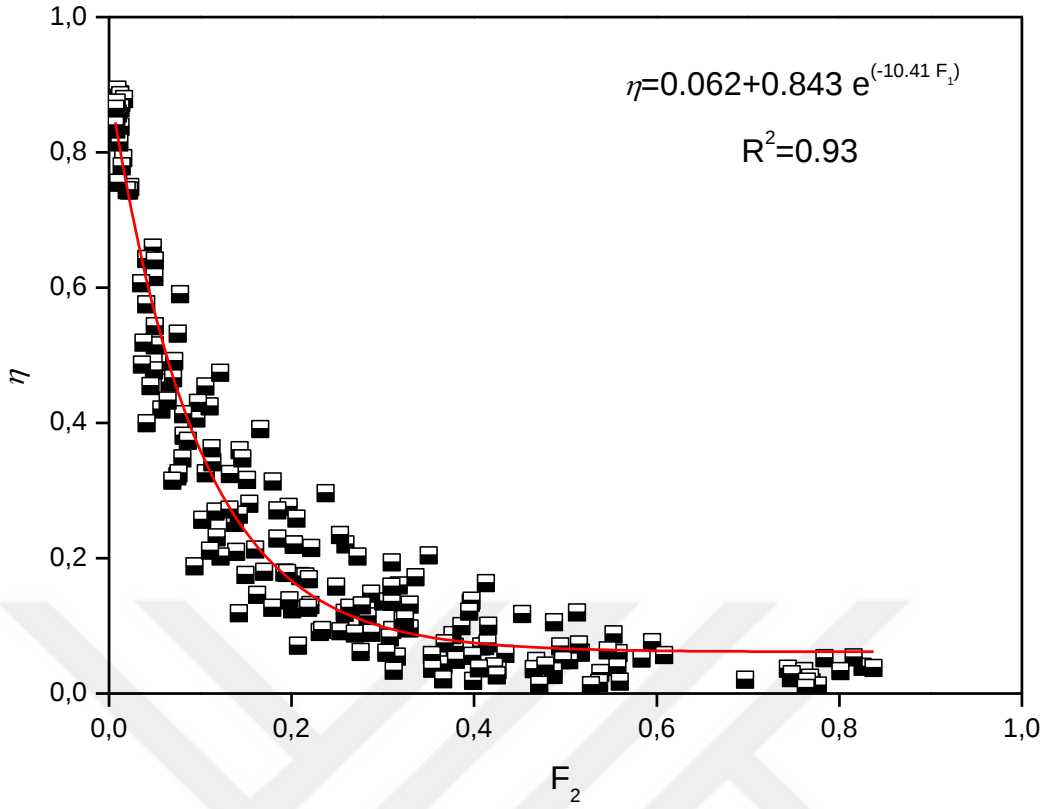
Şekil 6.17’de deneysel çalışmada elde edilen yan savak debi değerleri ile önerilen eşitlikten elde edilen debi değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Grafik incelendiğinde verilerin uyumlu bir şekilde

saçıldığı görülmektedir. Dolayısıyla hem ölçülen hem de tahmin edilen yan savak debi değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Sonuç olarak aşağıdaki grafiğe göre yan savak debi katsayısı tayini için önerilen eşitliğin yan savak debisini tahmin etmede güvenli bir şekilde kullanılabileceği söylenebilir.



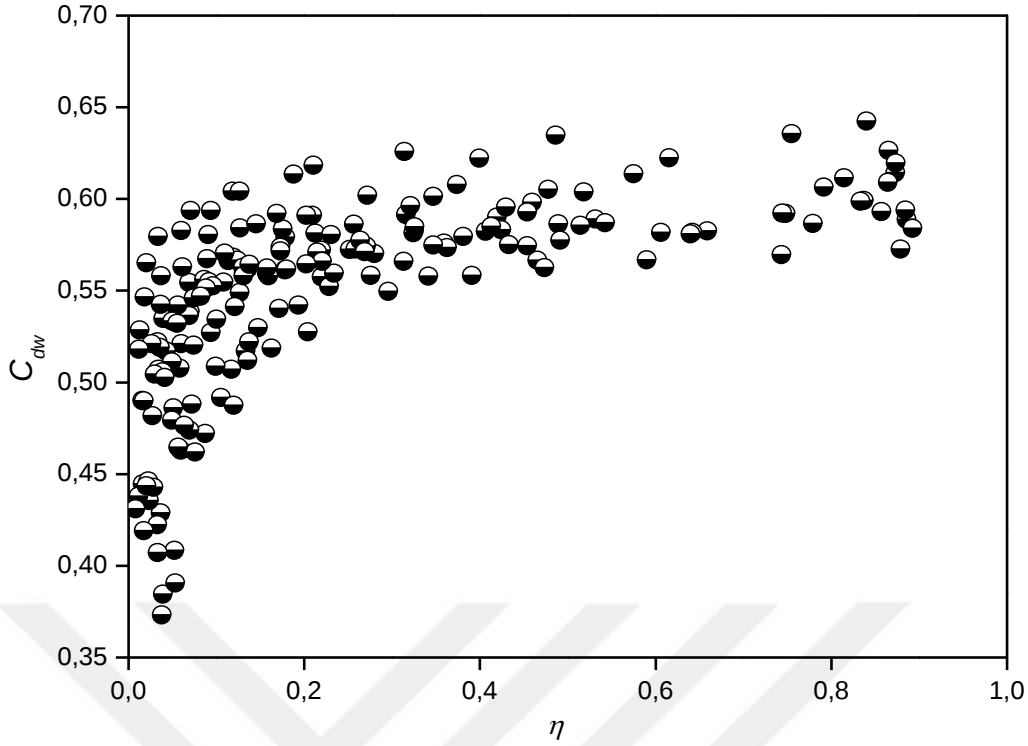
Şekil 6.17. Ölçülen ve tahmin edilen yan savak debi (Q_w) değerlerinin karşılaştırılması

Yukarıda ifade edildiği gibi deşarj verimi (η), yapının savakladığı debi Q_w 'nin ana kanala giren Q_1 debisine oranı şeklinde ifade edilmektedir. Yan savak yapısının deşarj veriminin (η) mansap Froude sayısı (F_2) ile değişimi farklı geometri ve akım koşulları için Şekil 6.18'de verilmiştir. Daha önceden ifade edildiği gibi Maranzoni vd. [17] ve Kılıç [59], deşarj veriminin değişimini araştırmak için mansap sınır koşullarını kullanmış ve mansap Froude sayısı değerleri arttıkça deşarj veriminin (η) azaldığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Şekil 6.18'de gösterildiği gibi mansap Froude sayısının artmasıyla yan savak akımının deşarj veriminin azaldığı görülmektedir. Mevcut çalışmada elde edilen bulgularda göre küçük mansap Froude sayıları değerlerinde daha büyük deşarj verim değerleri elde edilmiştir. Bu durum yukarıda ifade edildiği gibi yan kapaklar için de aynı şekilde gözlemlenmiştir.



Şekil 6.18. Yan savak deşarj verimi (η) ile mansap Froude sayısının (F_2) değişimi

Şekil 6.19’da η ’ya bağlı olarak C_{dw} ’nin değişimi incelenmiş, C_{dw} , η ’nın ikinci derece kuvvet fonksiyonu olarak, $y = a + b \cdot x^c$ şeklinde ifade edilebilmektedir. Bütün durumlar için c katsayısı pozitif olup, C_{dw} , η ’nın artan fonksiyonudur. η ’nın artmasıyla fonksiyonun eğimi artmaktadır. Deşarj veriminin büyük değerlerinde C_{dw} ’nin değişim oranı artmaktadır. Deney sonuçları incelendiği zaman büyük η değerlerinin küçük Fr sayılarında gerçekleştiği görülmektedir. Froude sayısı arttıkça η azalmaktadır.



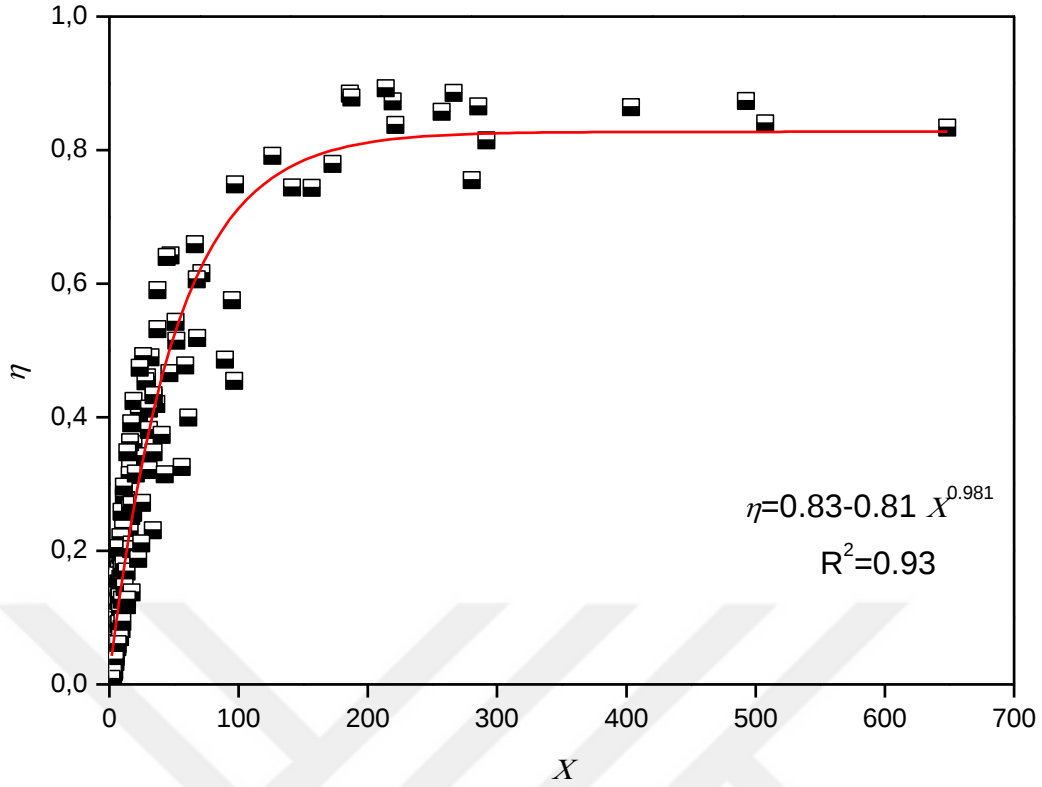
Şekil 6.19. Yan savak deşarj verimi (η) ile debi katsayısının (C_{dw}) değişimi

Deşarj verimi η 'nın 0.93'in üzerinde korelasyon katsayısına sahip $\eta = a \cdot \chi^b$ şeklinde fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Şekil 6.20'de $p=0.12$ m için χ değerine bağlı olarak yan savak debisinin veriminin değişimi verilmiştir. Sabit bir p değeri için, F_2 değerlerindeki artışla beraber η değerlerinin azalma göstereceği anlaşılmaktadır. Benzer şekilde F_2 değeri sabit olması halinde p/y_2 değerindeki artışla η değerleri azalmaktadır. Maranzoni vd. [17] önermiş oldukları Eşitlik 6.3'te açıklanan χ değerine bağlı olarak deşarj veriminin değişimi incelenmiştir.

$$\chi = \left(\frac{1}{Fr_2} \right) / \left(\frac{p}{y_2} \right) \quad (6.3)$$

burada y_2 savağın mansap ucunda ölçülen akım derinliğini, Fr_2 ise y_2 ile hesaplanan mansap Froude sayısını ifade etmektedir.

Tablo 6.2'de literatürdeki dikdörtgen yan savak çalışmalarında test edilen deney şartları verilmiştir.



Şekil 6.20. $p=0.12$ m için X değerine bağlı olarak yan savak debisinin veriminin değişimi

Tablo 6.2. Literatürde dikdörtgen yan savak çalışmalarında test edilen deney şartları

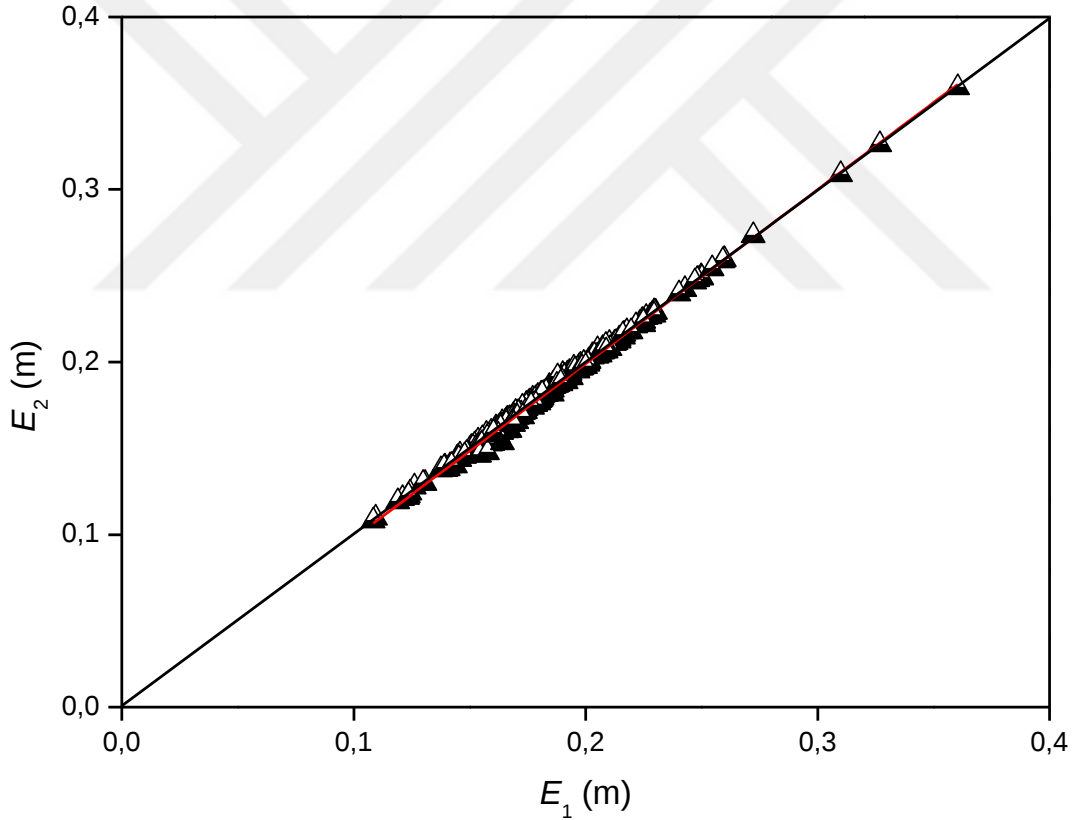
B (m)	p (m)	b_w (m)	F_1 (-)	Q_1 (m ³ /s)	Boyutsuz parametreler	Yazarlar
0.248-0.61	0.08-0.51		0.02-4.3		F_1	Subramanya vd. [51]
0.30	0.12-0.20	0.50-1.0	0.23-0.41	0.0055-0.0194	F_1	Hager [7]
0.25	0.06-0.12	0.10-0.20	0.40-0.90	0.01-0.014	$F_1, p/y_1$	Singh vd. [48]
0.30	0.01-0.19	0.20-0.70	0.10-0.90	0.35-0.100	$F_1, b_w/B, p/y_1$	Borghei vd. [5]
0.50	0.12-0.20	0.15-1.50	0.08-0.92	0.01-0.150	$F_1, b_w/B, p/y_1, b_w/y_1$	Emiroglu vd. [11]
0.40	0.05-0.15	0.20-0.60	0.08-0.91	0.0012-0.0295	$F_1, b_w/B, h_1/b_w, h_1/p$	Bagheri vd. [15]
0.29	0.063-0.20	0.20	0.02-0.94	7.146-41.898	$F_1, p/b_w, y_1/b_w, B/b_w$	Shariq vd. [16]
0.40	0.06-0.12	0.04-0.16	0.044-0.985	0.010-0.045	$F_1, b_w/B, p/y_1, b_w/y_1$	Mevcut çalışma

6.3. Birleşik Çalışan Savak ve Kapak (Birleşik Akım)

Mevcut çalışmada birleşik akımı daha iyi analiz edebilmek için savak ve kapaklarda kullanılan geometriler kullanılarak yanıl akımlarda birleşik çalışan savak ve kapaklar detaylı bir şekilde

incelenerek akım karakteristikleri incelenmiştir. Yanal akımlarda yan savak ve kapak için debi katsayısı elde edilirken literatürde mevcut olan De Marchi, Schmidt ve Domínguez yaklaşımları kullanılmıştır. Mevcut çalışmada birleşik akım $0 < F_1 < 1$, $0.10 \leq b/B \leq 0.40$ ve $0.50 \leq d/a \leq 5$ koşulları altında incelenmiştir.

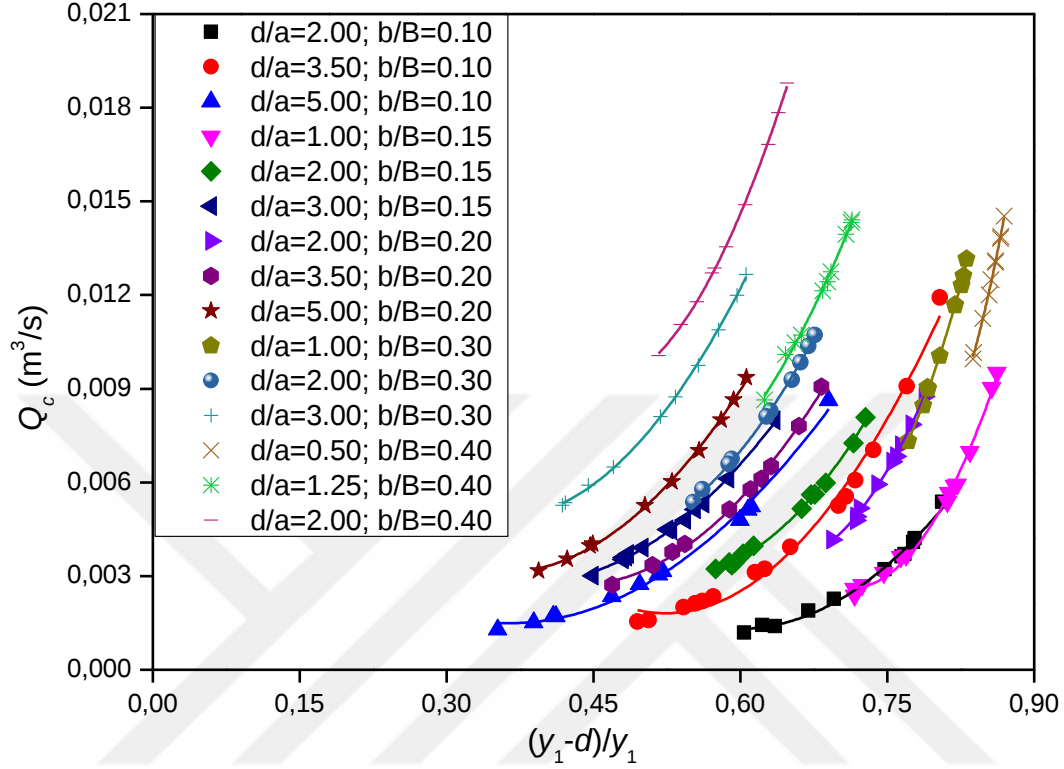
Şekil 6.21’de doğrusal bir kanalda nehir rejiminde birleşik akımda meydana gelen memba ve mansaptaki özgül enerji değişimi verilmiştir ($E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$, $E_2 = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$). Grafik incelendiğinde memba ve mansaptaki özgül enerjinin neredeyse bir birine eşit olduğu ve birbirleriyle mükemmel bir şekilde eşleştiği görülmektedir ($E_1 \cong E_2$). Dolayısıyla yan savak ve kapak debi katsayıları elde edilirken kullanılan De Marchi ve Domínguez yaklaşımlarının kabulü olan ana kanal boyunca özgül enerji sabittir kabulünün doğru olduğu gözlemlenmektedir. Sonuç olarak memba ve mansaptaki özgül enerjinin neredeyse bir birine eşit olması De Marchi ve Domínguez yaklaşımlarının birleşik akım karakteristikleri incelemek için güvenli bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir ($E_1 \cong E_2$).



Şekil 6.21. Birleşik yan savak ve kapak yapısının memba ve mansap özgül enerji değişimi

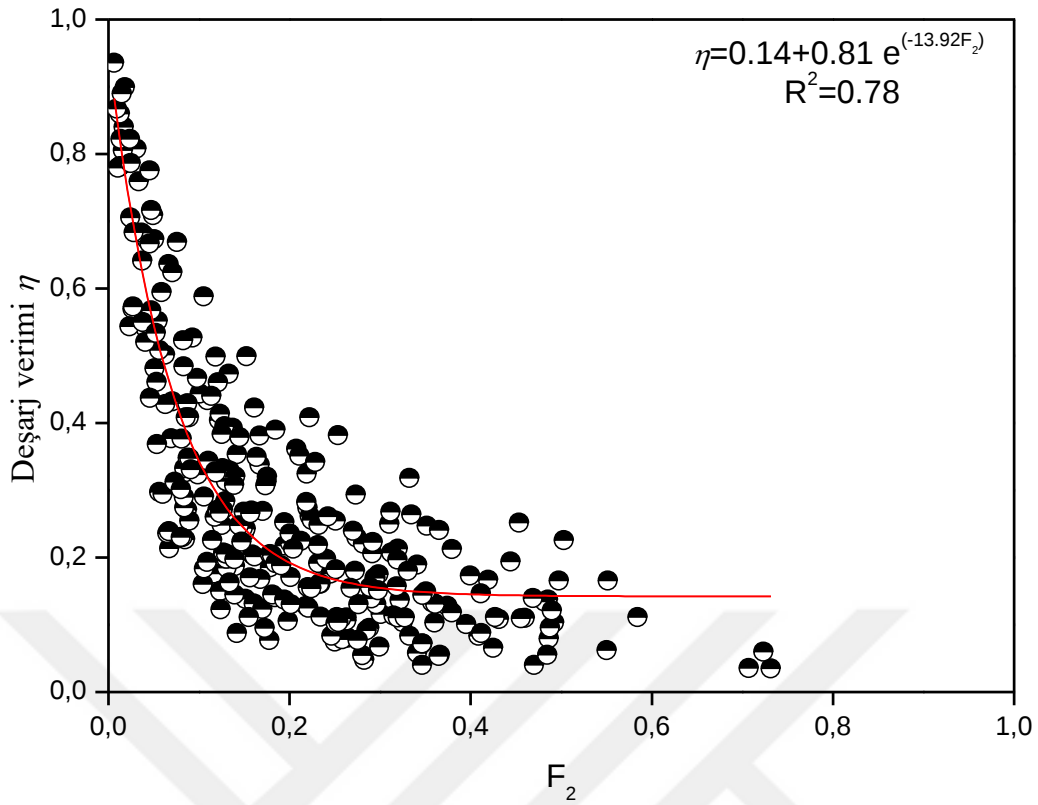
Birleşik savak ve kapak yapısının deşarjı Q_c 'nin $((y_1-d)/y_1)$ ile değişim farklı b/B , b/y_1 , d/a ve F_1 değerleri için Şekil 6.22'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi $((y_1-d)/y_1)$ değerleri arttıkça deşarj kapasitesini arttığı görülmektedir. Diğer bir deyişle, $((y_1-d)/y_1)$ değeri arttıkça birleşik yan savak ve kapak debisi artar. Ayrıca bu şekilde birleşik savak ve kapak akımı için yapılan boyut analizi sonucu elde

edilen b/B ve d/a parametrelerinin birleşik akım üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 6.22’de gösterildiği gibi, b/B ve d/a parametrelerinin birleşik yan savak ve kapak yapısının deşarjı üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir.



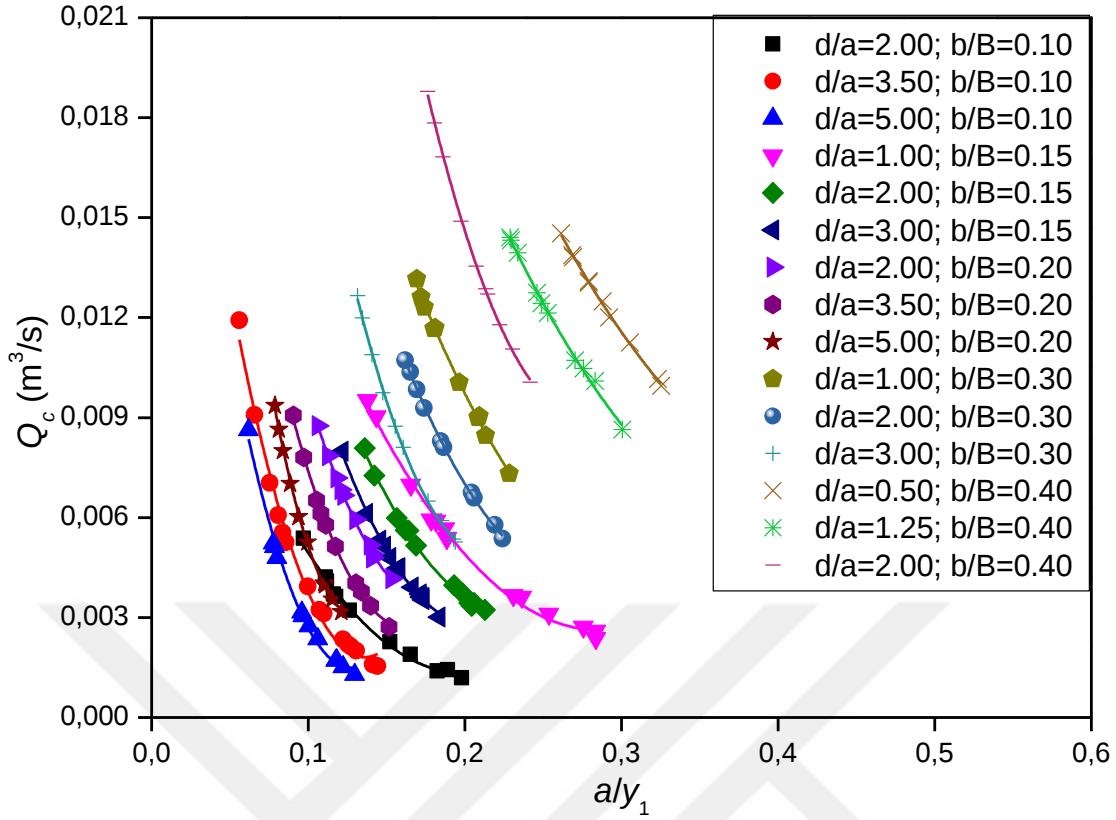
Şekil 6.22. Birleşik yan savak ve kapak debisinin $(y_1-d)/y_1$ ile değişimi

Birleşik savak ve kapak yapısının deşarj veriminin (η) mansap Froude sayısı (F_2) ile değişimi farklı b/B , d/a ve b/y_2 değerleri için Şekil 6.23’te verilmiştir. Daha önceden ifade edildiği gibi Maranzoni vd. [17] ve Kılıç [59], deşarj veriminin değişimini araştırmak için mansap sınır koşullarını kullanmış ve mansap Froude sayısı değerleri arttıkça deşarj veriminin (η) azaldığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Şekil 6.23’te gösterildiği gibi mansap Froude sayısının artmasıyla birleşik akımın deşarj veriminin azaldığı görülmektedir. Mevcut çalışmada elde edilen bulgulara göre küçük mansap Froude sayıları değerlerinde daha büyük deşarj verim değerleri elde edilmiştir. Bu durum yukarıda ifade edildiği gibi hem yan kapaklar hem savaklar için de aynı şekilde gözlemlenmiştir.



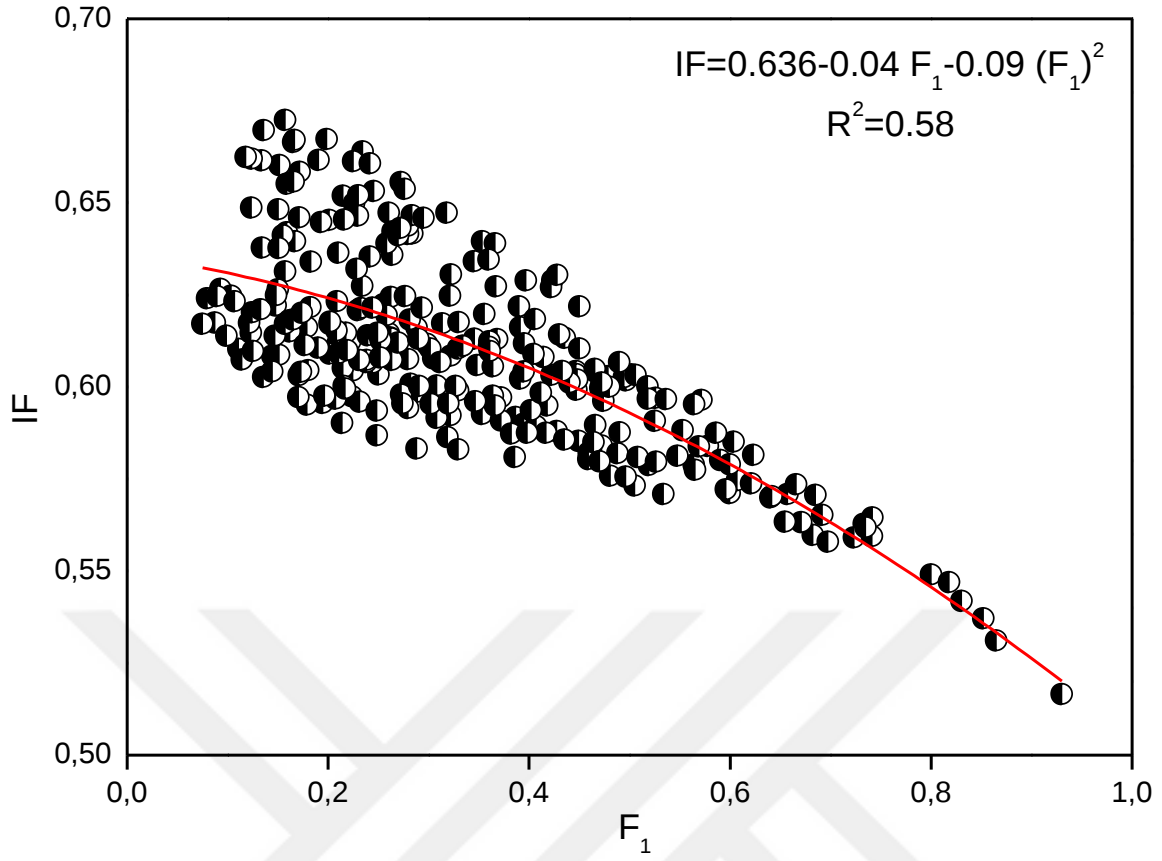
Şekil 6.23. Birleşik yan savak ve kapak yapısının deşarj verimi ile mansap Froude sayısının değişimi

Birleşik akım debisi Q_c ile a/y_1 arasındaki değişim farklı b/B , b/y_1 ve d/a değerleri için Şekil 6.24'te verilmiştir. Şekil analiz edildiğinde birleşik yan savak ve kapak yapısının deşarj kapasitesinin a/y_1 'in azalmasıyla arttığı açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca aşağıda görüldüğü gibi, b/B and d/a parametrelerinin Q_c ile a/y_1 arasındaki değişim arasında üzerindeki etkisini göstermektedir. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre, küçük d/a değerleri için a/y_1 ile deşarj kapasitesinin değişimi, aynı b/B değerleri için büyük d/a değerlerinden daha büyüktür. Ayrıca, aynı d/a değerleri için b/B 'nin artmasıyla birleşik yan savak ve kapak yapısının (Q_c) deşarj kapasitesi de artar. Sonuç olarak, Şekil 6.24'te görüldüğü gibi birleşik yan savak ve kapağın deşarj kapasitesi üzerinde b/B ve d/a değerlerinin çok etkili olduğu söylenebilir.



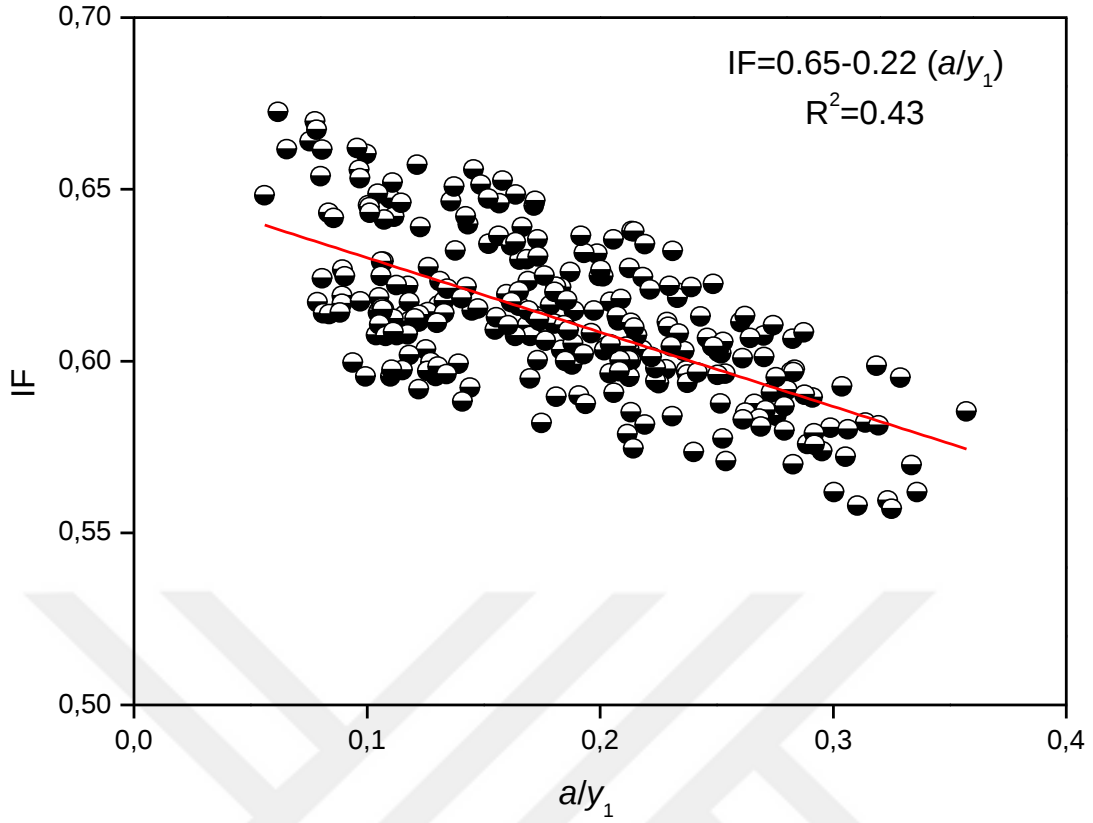
Şekil 6.24. Birleşik yan savak ve kapak deşarjının a/y_1 ile değişimi

Birleşik yan savak ve kapak yapısının etki faktörü IF ile memba Froude sayısı (F_1) arasındaki değişim b/B , d/a and b/y_1 'in farklı değerleri için Şekil 6.25'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi etkileşim faktörünün (IF), memba Froude sayısının ($F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$) azalan bir fonksiyonu olduğu dolayısıyla memba Froude sayısı arttıkça etkileşim faktörü IF azaldığı görülmektedir. Memba Froude sayısı ($F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}$) ana kanaldaki savağın memba kesitindeki hızın (V_1) artmasıyla veya akım derinliğindeki (y_1) azalma nedeniyle artar [70]. Mevcut çalışmadan elde edilen etkileşim faktörü ile F_1 'in değişim trendi, geçmişten yapılan düz [5,11] ve kıvrımlı kanallarda [13,70] yanal akımları ilgili yapılan çalışmaların sonuçlarıyla uyumludur. Ayrıca, Ghodsian vd. [70]'nın çalışmasına benzer şekilde, daha küçük ters akım bölgeleri ve daha büyük ayırma bölgelerinin küçük memba Froude sayılarında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Böylece, düşük Froude sayılarında birleşik yan ve savak ve kapak yapısından daha fazla akım deşarj edilmiş olmaktadır. Sonuç olarak, Şekil 6.25'te gösterildiği gibi F_1 'in artmasıyla etkileşim faktörü (IF) azalır. Mevcut çalışmada etkileşim faktörünün boyut analizi sonucunda birçok boyutsuz parametrenin (yani, (i.e., b/B , b/y_1 , a/y_1 , d/a , ve F_1) bir fonksiyonu olduğu göz ardı edilmemelidir (bkz. Eşitlik (4.20)).



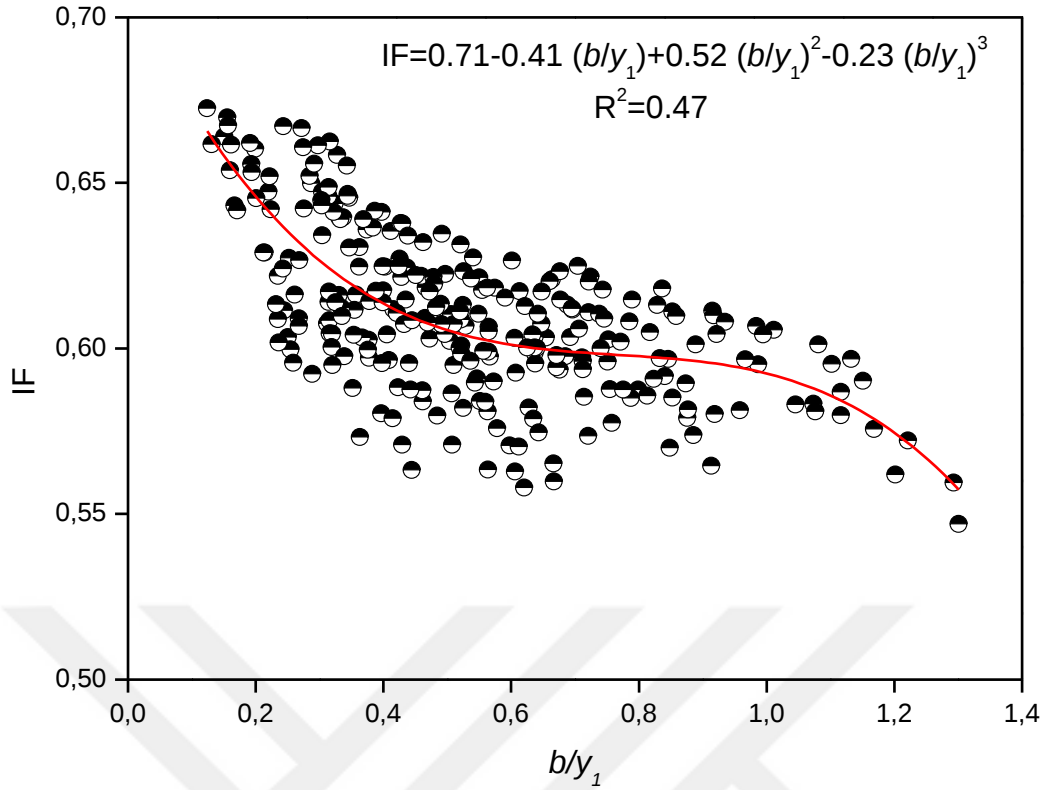
Şekil 6.25. Etkileşim faktörü (IF) ile memba Froude sayısının (F₁) değişimi

Etkileşim faktörünün (IF) a/y_1 ile değişimi, farklı b/B , b/y_1 , d/a and F_1 'in farklı değerleri için Şekil 6.26'da verilmiştir. Şekil 6.26'da görüldüğü üzere yukarıda belirtildiği gibi, IF, Eşitlik (4.20)'de verildiği gibi birçok boyutsuz parametrenin bir fonksiyonudur. Dolayısıyla, bu değişim saçılmalar oluşturmuştur. Yine de Şekil 6.26'da görüldüğü gibi, birleşik yan savak ve kapak yapısının etkileşim faktörünün (IF) a/y_1 'in azalmasıyla arttığı ifade edilebilir.



Şekil 6.26. Etkileşim faktörü (IF) ile a/y_1 'in değişimi

Etkileşim faktörünün (IF) b/y_1 ile değişimi, farklı b/B , b/y_1 , d/a and F_1 'in farklı değerleri için Şekil 6.27'de verilmiştir. Şekil 6.27'de görüldüğü üzere yukarıda belirtildiği gibi, IF, Eşitlik (4.20)'de verildiği gibi birçok boyutsuz parametrenin bir fonksiyonudur. Grafikte saçılmalar olmasına rağmen, Şekil 6.27'de görüldüğü gibi, birleşik yan savak ve kapak yapısının etkileşim faktörünün (IF) b/y_1 'in artmasıyla azaldığı söylenebilir.



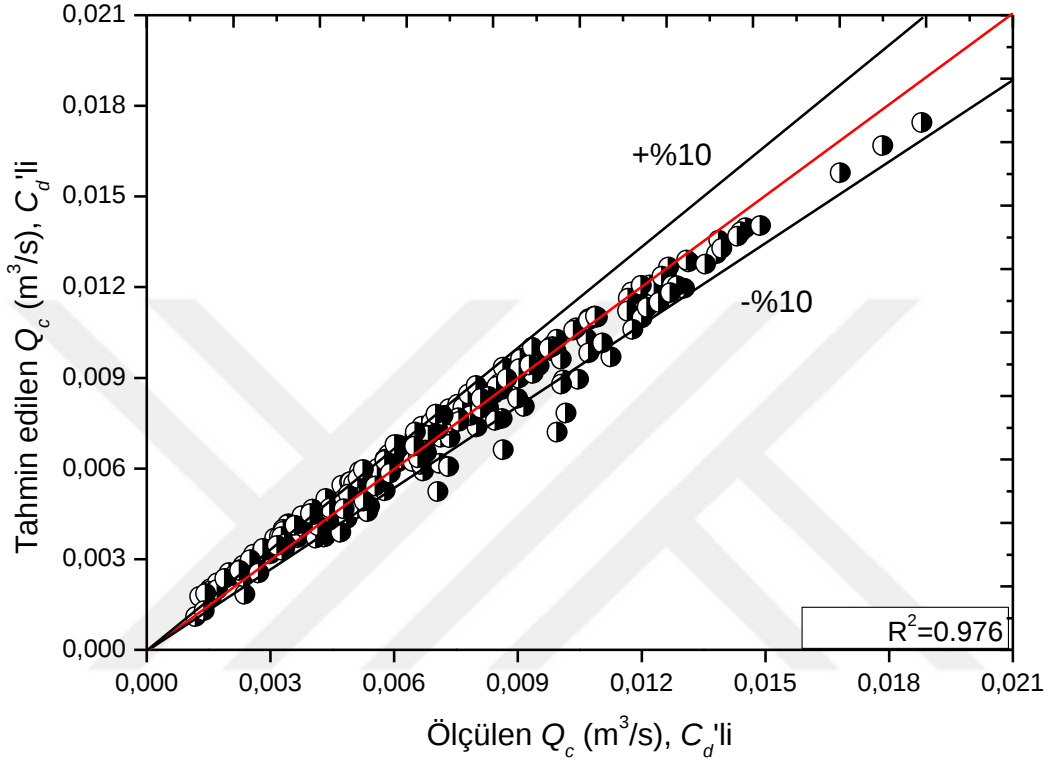
Şekil 6.27. Etkileşim faktörü (IF) ile b/y_1 'in değişimi

Daha önceden belirtildiği gibi, literatürde, geleneksel savak ve kapak yapılarının debi eşitliklerinin kullanılmasıyla, birleşik savak ve kapak yapısının debi hesaplanmasının yapılamayacağı ve bu yöntemin birleşik savak ve kapak yapısının debi hesaplanmasında kabul edilemez hatalara yol açtığını belirtilmiştir. Bu nedenle, deneysel sonuçlara dayalı olarak, farklı yöntemler kullanılarak birleştirilmiş yan savak ve kapak yapısının deşarjı için iki farklı denklem önerilmiştir. Eşitlik (6.4) birleşik yan savak ve savak yapısının (deneylerden elde edilen C_d 'ler kullanılarak) pratik deşarjından elde edilmiştir. Ancak, Eşitlik (6.5) birleşik yan savak ve savak yapısının (C_d 'siz) teorik deşarjından elde edilmiştir. Doğrusal bir kanalda birleşik yan savak ve kapak yapısının deşarjını tahmin etmek için Eşitlik (6.4) önerilmiştir. Bu tahmin edilen deşarj değerleri, ölçülen deşarj değerleri ile karşılaştırılmıştır. $0 < F_1 < 1$ and $0.10 \leq b/B \leq 0.40$ and $0.50 \leq d/a \leq 5$ için geçerli olan Eşitlik (6.4) birleşik yan savak ve kapak yapılarının boyut analizine dayalı olarak ve en küçük kareler hata yöntemi kullanılarak elde edilmiştir ($R^2=0.97$).

$$Q_c = 0.63 \left(C_{dg} a b_g \sqrt{2g y_1} + \frac{4}{15} C_{dw} b_w \sqrt{2g} \left(\frac{h_2^{2.5} - h_1^{2.5}}{h_2 - h_1} \right) \right)^{0.88} \quad (6.4)$$

Şekil 6.28'de deneysel çalışmada elde edilen birleşik yan savak ve kapak debi değerleri ile önerilen eşitlikten (Eşitlik 6.4) elde edilen debi değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Grafik

incelendiğinde verilerin uyumlu bir şekilde saçıldığı görülmektedir. Dolayısıyla hem ölçülen hem de tahmin edilen birleşik yan savak ve kapak debi değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Aşağıdaki saçılma diyagramında verilerin ± 10 hata çizgisinin dışında saçılmadığı görülmektedir. Sonuç olarak aşağıdaki grafiğe göre yan birleşik deşarjı için önerilen eşitliğin birleşik yan savak ve kapak debisini tahmin etmede güvenli bir şekilde kullanılabileceği söylenebilir ($R^2=0.97$).



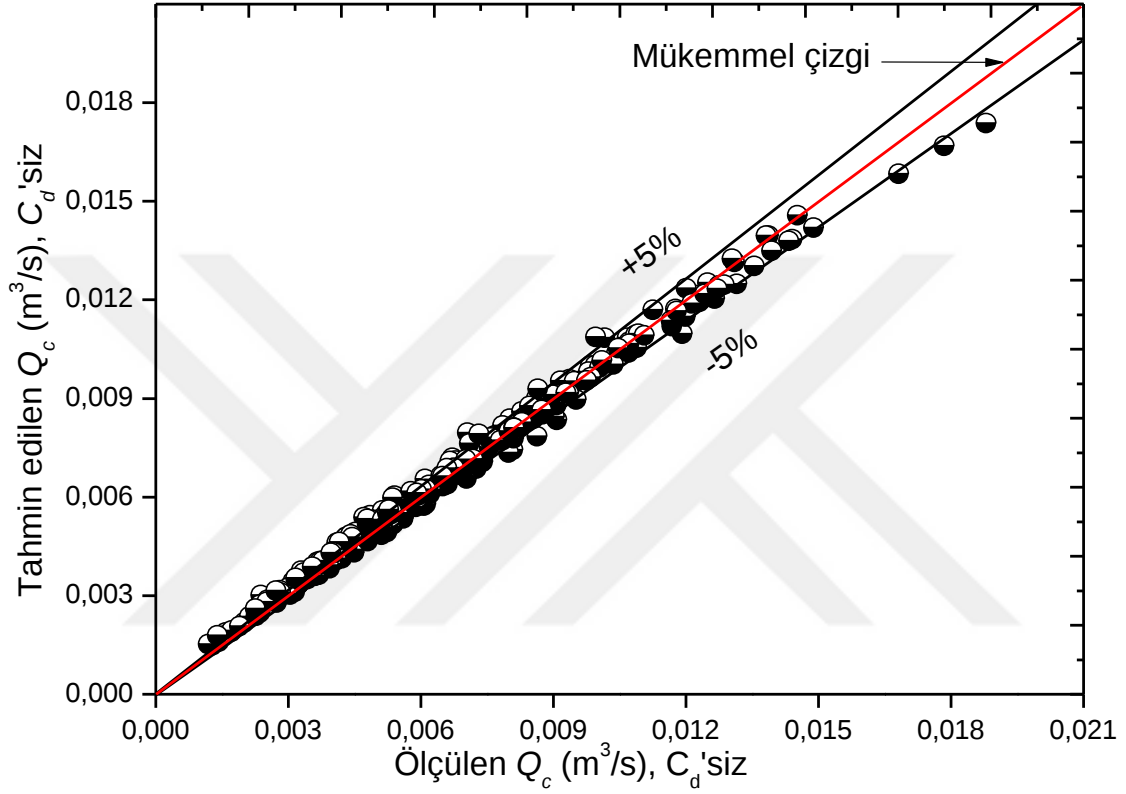
Şekil 6.28. Ölçülen ve tahmin edilen (Eşitlik 6.4) birleşik yan savak ve kapak debilerinin karşılaştırılması

Ayrıca mevcut çalışmada elde edilen bulgular kullanılarak birleşik yan savak ve kapak yapısının deşarj kapasitesinin tayininde hidrolik tasarımcılar için basit kolay ve pratik bir denklem önerilmiştir (eşitlik 6.5). Bu eşitlik tamamen teorik debi formülleri yani debi katsayıları kullanılmadan elde edilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi elde edilen eşitliğin ne kadar güvenli olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu eşitlik $0 < F_1 < 1$ and $0.10 \leq b/B \leq 0.40$ and $0.50 \leq d/a \leq 5$ koşulları altında birleşik yan savak ve kapak yapılarının en küçük kareler hata yöntemi kullanılarak elde edilmiştir ($R^2=0.99$).

$$Q_c = 0.46 \left(ab_g \sqrt{2gy_1} + \frac{4}{15} b_w \sqrt{2g} \left(\frac{h_2^{2.5} - h_1^{2.5}}{h_2 - h_1} \right) \right)^{0.935} \quad (6.5)$$

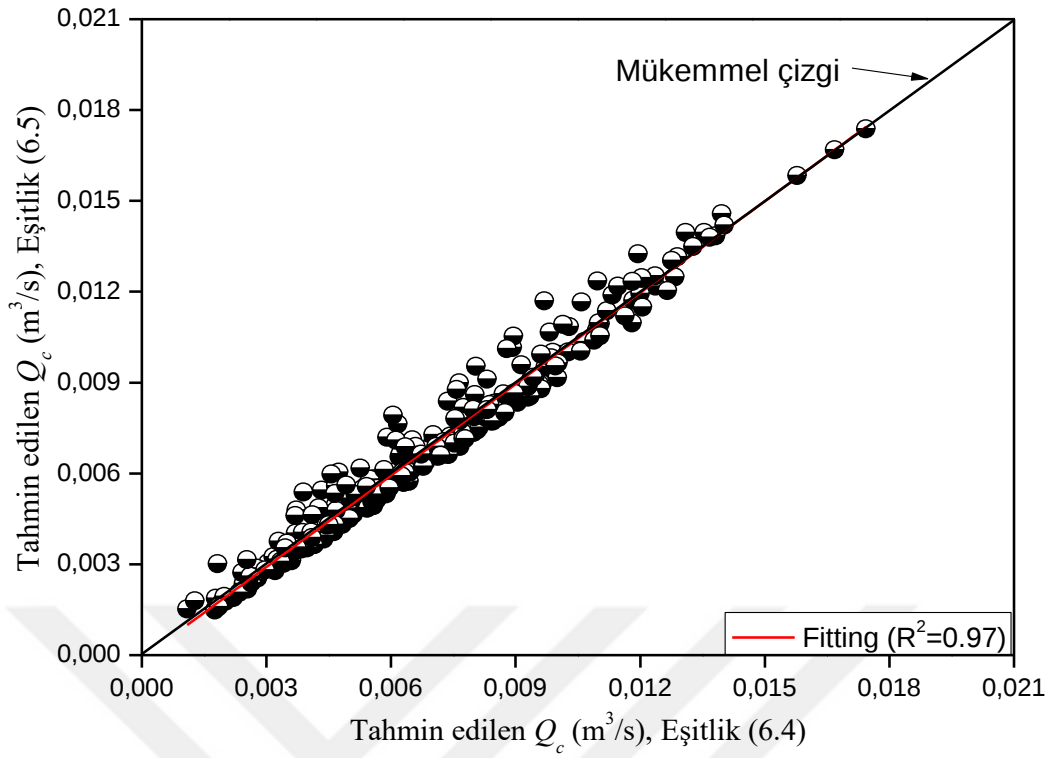
Şekil 6.29'da deneysel çalışmada elde edilen birleşik yan savak ve kapak debi değerleri ile önerilen eşitlikten (Eşitlik 6.5) elde edilen debi değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Grafik

incelendiğinde verilerin uyumlu bir şekilde saçıldığı görülmektedir. Dolayısıyla hem ölçülen hem de tahmin edilen birleşik yan savak ve kapak debi değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Aşağıdaki saçılma diyagramında verilerin ± 5 hata çizgisinin dışına saçılmadığı görülmektedir. Sonuç olarak yan birleşik deşarjı için önerilen eşitliğin birleşik yan savak ve kapak debisini tahmin etmede güvenli bir şekilde kullanılabileceği söylenebilir ($R^2=0.99$).



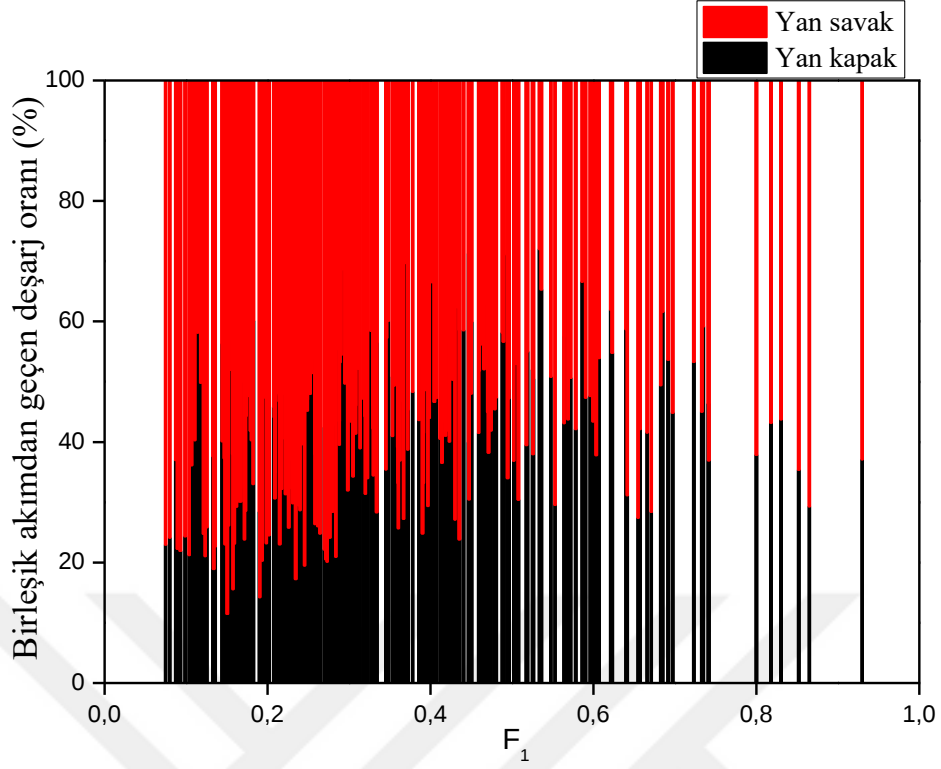
Şekil 6.29. Ölçülen ve tahmin edilen (Eşitlik 6.5) birleşik yan savak ve kapak debilerinin karşılaştırılması

Şekil 6.30'da teorik (C_d 'siz) ve pratik debi (C_d 'li) eşitlikleri kullanılarak elde edilen eşitliklerin karşılaştırılması verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi deneysel çalışma ve boyut analizi kullanılarak elde edilen bu eşitliklerden edilen değerlerin birbirleriyle ne kadar uyumlu görülmektedir. Dolayısıyla mevcut çalışmadan elde edilen her iki eşitlik de hidrolik mühendisliğinde birleşik yan savak ve kapak yapıların debi tayininde güvenli bir şekilde kullanılabileceği söylenebilir ($R^2=0.97$).



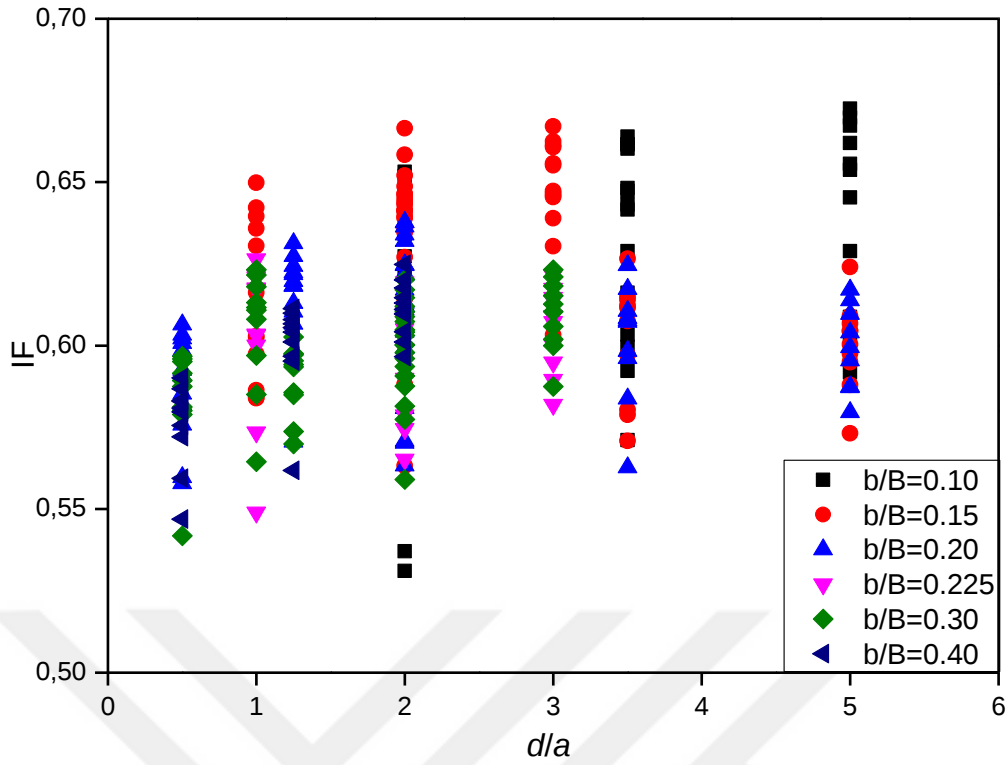
Şekil 6.30. Birleşik yan savak ve kapak debisi için önerilen eşitliklerden elde edilen verilerin karşılaştırılması

Şekil 6.31’de birleşik akım durumunda birleşik savak ve kapak yapısında savak ve kapağa ait deşarj oranının memba Froude sayısı ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi küçük memba Froude sayılarında birleşik savak ve kapak yapısındaki deşarjın büyük bir kısmı savak üstü akım olarak geçmektedir. Ayrıca bu çalışmada kapak debisinin birleşik savak ve kapak debisi üzerinde sınırlı etkisi olduğu ve özellikle küçük Froude sayılarında savak üstü akımın baskın olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle küçük Froude sayıları ve küçük d ($d=p-a$) değerlerinde savak jeti kapak jeti ile temas ederek kapak jetinin enerjisini kırdığı görülmüştür. Ayrıca, büyük d değerleri ve Froude sayılarında savak ve kapak jetleri arasında temas meydana gelmemiştir.



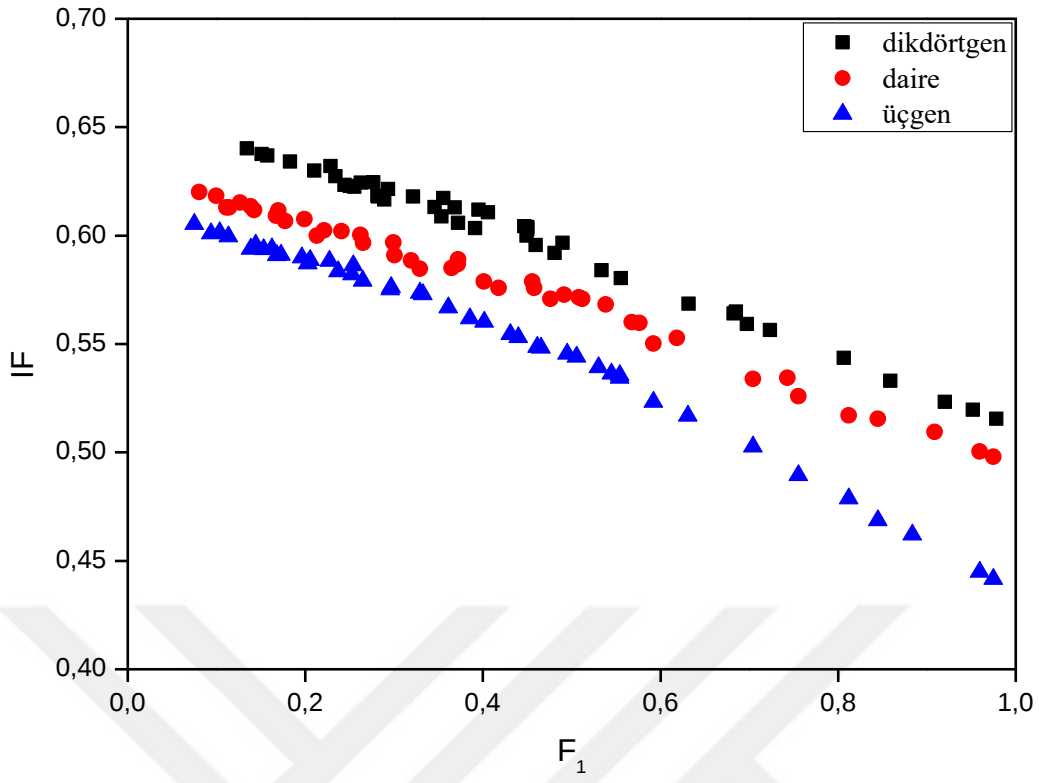
Şekil 6.31. Birleşik savak ve kapak yapısında yapılardan geçen deşarj oranları

Şekil 6.32’de etkileşim faktörünün (IF) d/a ile değişimi, farklı b/B , b/y_1 and F_1 değerleri için verilmiştir. Bu şekil, boyut analizi sonucu elde edilen b/B and d/a parametrelerinin etkileşim faktörü üzerindeki etkisini göstermektedir. Grafikten görüldüğü gibi b/B ve d/a parametrelerinin etkileşim faktörü (IF) üzerindeki etkisi çok önemlidir. Yukarıda bahsedildiği gibi, büyük b/B oranlarında sekonder akımın yoğunluğu daha da artmaktadır. Şekil 6.32’de gösterildiği gibi, aynı b/B değerleri için d/a değerlerinin artmasıyla etkileşim faktörü (IF) azalmaktadır. Küçük d değerleri dolaylı olarak küçük tepe yüksekliklerini ifade ettiğinden, aynı koşullar altında küçük d/a değerleri için birleşik savak ve kapak yapısından daha fazla debi deşarj edilir.



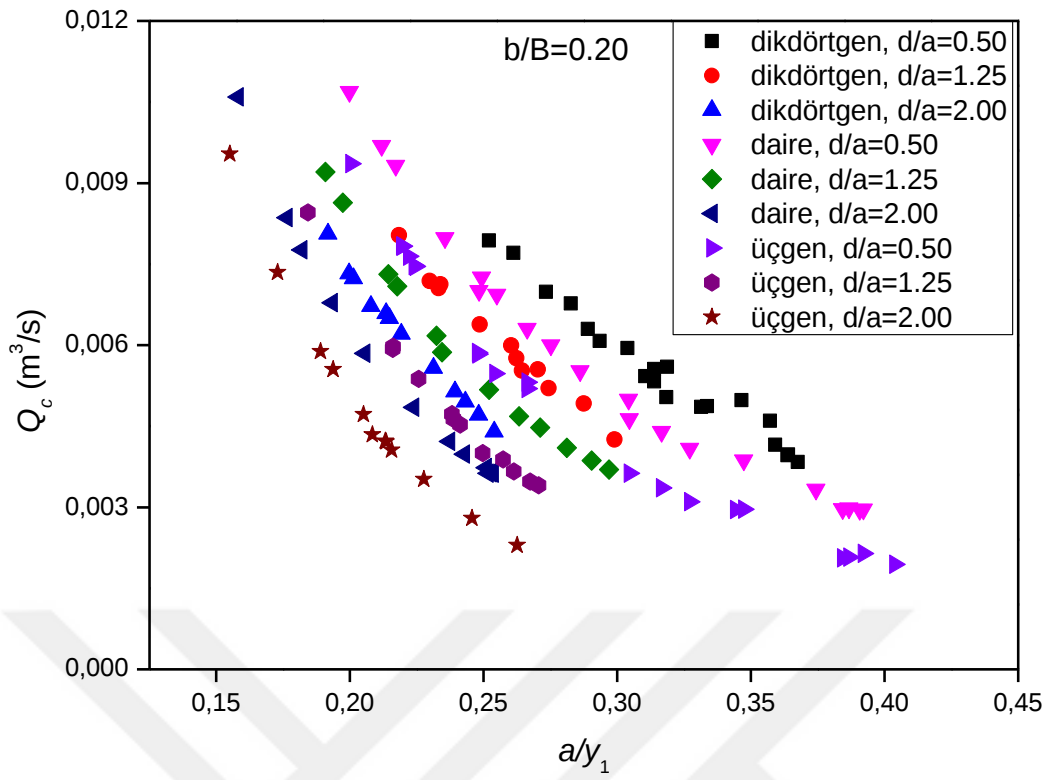
Şekil 6.32. Etkileşim faktörü (IF) ile d/a 'nın değişimi

Şekil 6.33'te farklı birleşik savak ve kapak tiplerinden oluşan birleşik akım için farklı d/a , b/y_1 and F_1 değerleri için farklı kapak tipi kullanılması durumunda etkileşim faktörü ile memba Froude sayısının değişimi verilmiştir. Mevcut çalışmada birleşik savak ve kapaktaki savak yapısı, sürekli dikdörtgen kesit seçilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi birleşik savak ve kapak yapısında kapak tipinin dikdörtgen, üçgen veya daire olması etkileşim faktörü üzerinde oldukça etkilidir. Birleşik akımda farklı kombinasyondan oluşan birleşik savak ve kapak yapısı için en büyük IF değerleri sırasıyla dikdörtgen, daire ve üçgen kapak kombinasyonları için elde edilmiştir. Dolayısıyla birleşik akımda kapağın dikdörtgen kesit seçilmesiyle en büyük deşarj kapasiteleri elde edilmiştir. Daha sonra en büyük deşarj kapasiteleri sırasıyla daire ve üçgen kapak olması durumu için elde edilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi savak ve kapak tipi ne olursa olsun etkileşim faktörü memba Froude sayısının bir azalan fonksiyonu olduğu görülmektedir. Kısaca memba Froude sayısının artmasıyla bütün kombinasyonlar için etkileşim faktörünün azaldığı tespit edilmiştir.



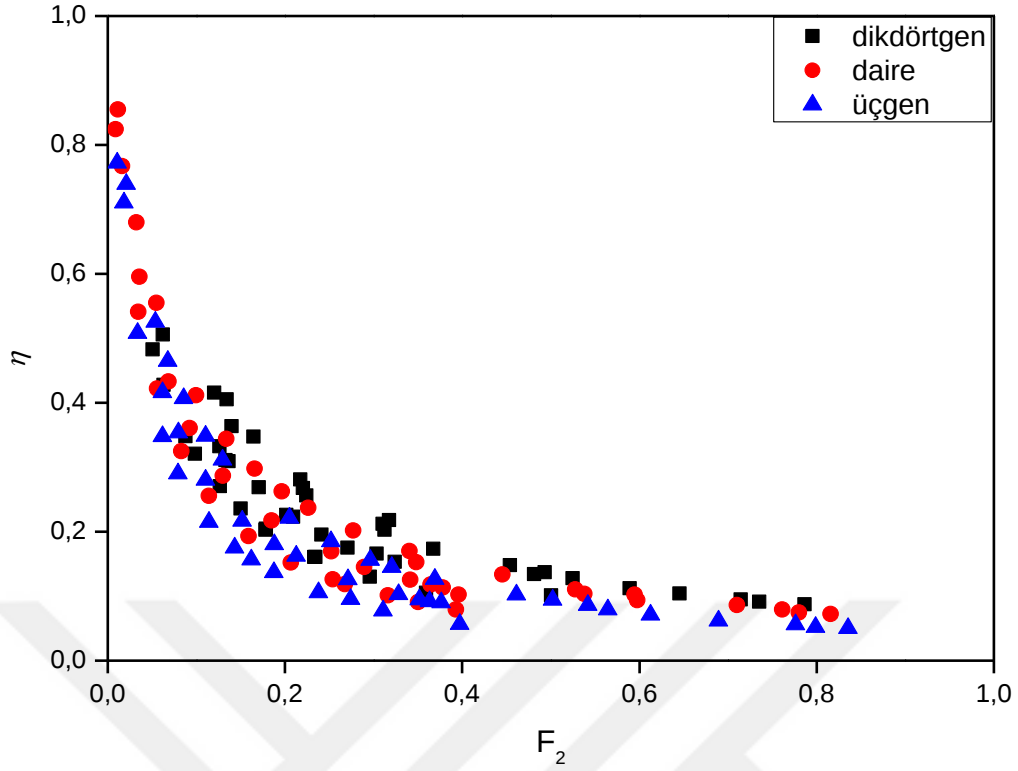
Şekil 6.33. Farklı kombinasyonlardan oluşan birleşik akımın etkileşim faktörü (IF) ile memba Froude sayısı (F_1) değişimi

Şekil 6.34'te farklı birleşik savak ve kapak tiplerinden oluşan birleşik akım için farklı d/a , b/y_1 and F_1 değerleri için farklı kapak tipi kullanılması durumunda birleşik akım debisi ile a/y_1 'nin değişimi verilmiştir.



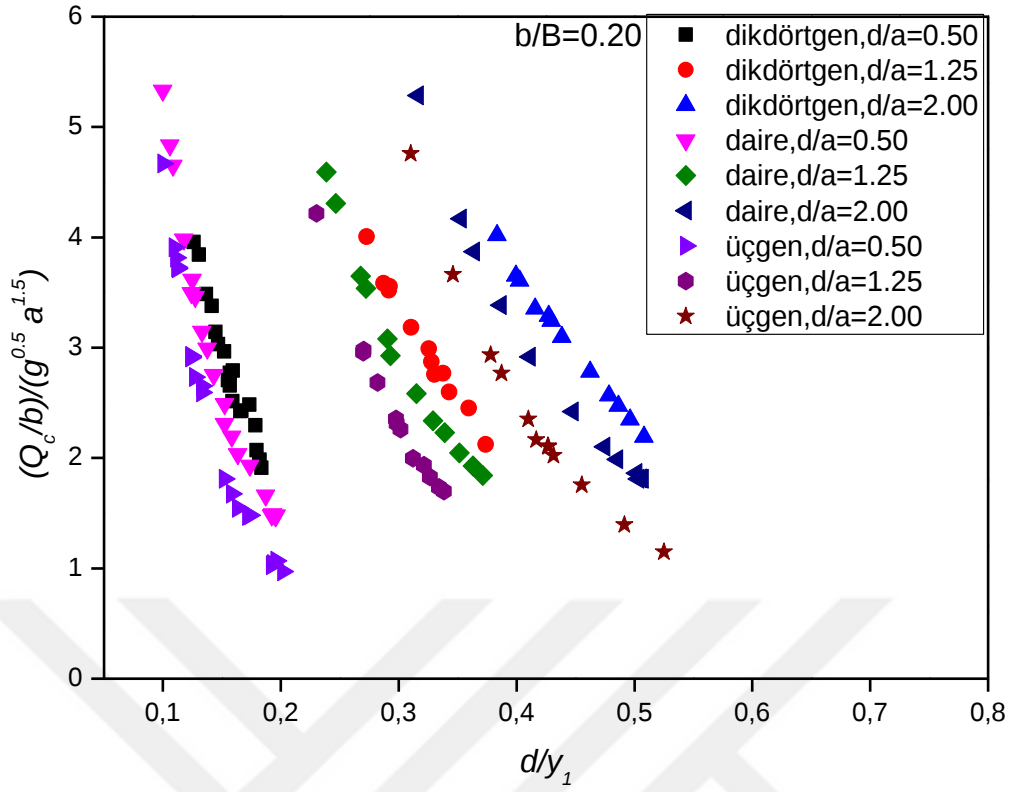
Şekil 6.34. Farklı kombinasyonlardan oluşan birleşik akımın debisi ile a/y_1 'in değişimi

Şekil 6.35'te farklı birleşik savak ve kapak tiplerinden oluşan birleşik akım için farklı d/a ve b/y_2 değerleri için farklı kapak tipi kullanılması durumunda birleşik akımın deşarj verimleri ile mansap Froude sayısı F_2 'nin değişimi verilmiştir. Yukarıda ifade edildiği gibi deşarj verimi mansap Froude sayısının artmasıyla azalmaktadır. Bu durum bütün modellerde meydana gelmiştir.



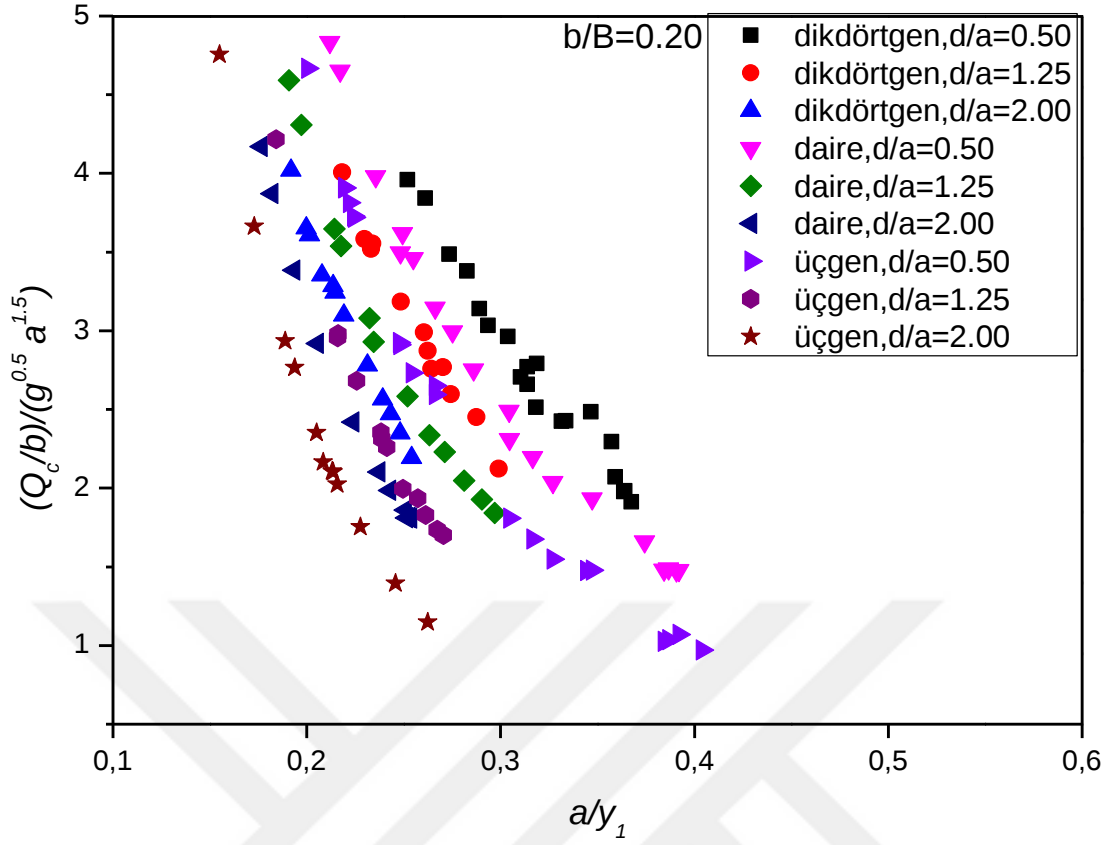
Şekil 6.35. Farklı kombinasyonlardan oluşan birleşik akımın deşarj verimi ile mansap Froude sayısı (F_2) değişimi

Şekil 6.36’da farklı birleşik savak ve kapak tiplerinden oluşan birleşik akım için farklı d/a ve b/y_1 ve F_1 değerleri için farklı kapak tipi kullanılması durumunda $\frac{Q_c}{g^{0.5}a^{1.5}}$ parametresi ile d/y_1 ’nin değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde boyutsuz kombine debi değeri üzerinde kapağın tipinin etkili olduğu görülmektedir. d/a değerinin artmasıyla q_t ile d/y_1 değişimi arasında eğim değişmektedir. En büyük boyutsuz kombine değerleri savak ve kapağın dikdörtgen kesit olan modellerde elde edilmiştir. Yani H-Savaklarında en büyük boyutsuz kombine değerleri elde edilmiştir. Boyutsuz kombine değerleri en küçük değerlerini savak kesitinin dikdörtgen kapak kesitinin üçgen olan modellerinde elde edilmiştir. Yukarıda ifade edildiği gibi aynı durum etkileşim faktöründe de elde edilmiştir.



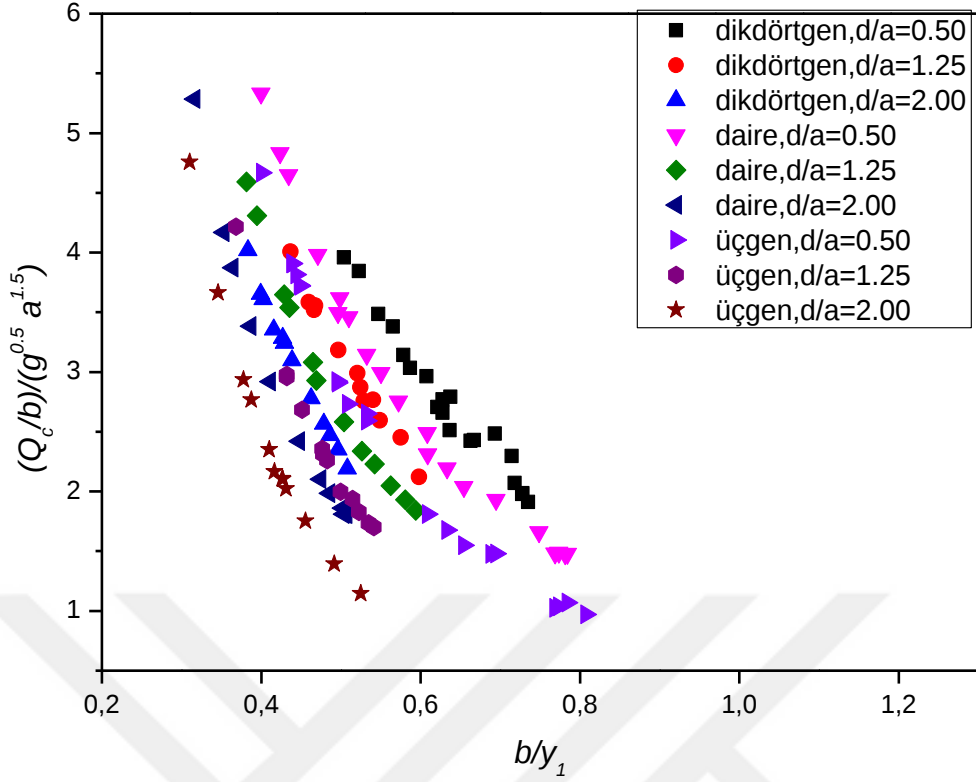
Şekil 6.36. q_t parametresi ile d/y_1 'nin değişimi

Şekil 6.37'de farklı birleşik savak ve kapak tiplerinden oluşan birleşik akım için farklı d/a ve b/y_1 ve F_1 değerleri için farklı kapak tipi kullanılması durumunda $\frac{Q_c}{g^{0.5} a^{1.5}}$ parametresi ile a/y_1 'nin değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde boyutsuz kombine debi değeri üzerinde kapağın tipinin etkili olduğu görülmektedir. d/a değerinin azalmasıyla q_t ile a/y_1 değişimi arasında eğim değişmektedir.



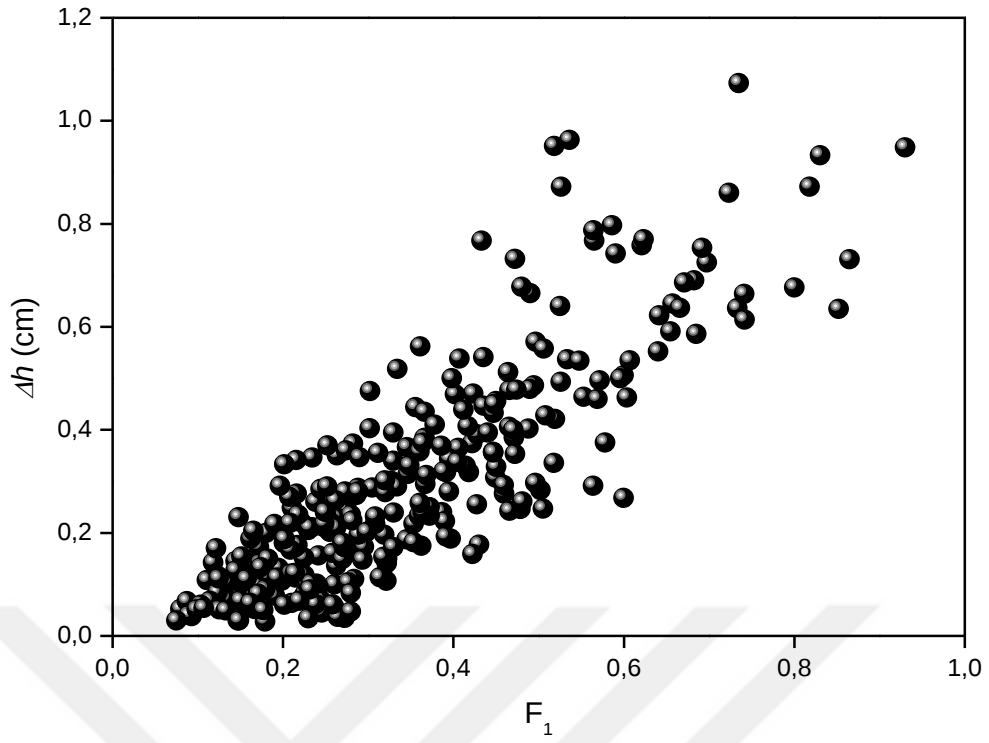
Şekil 6.37. Farklı kombinasyonlar oluşan birleşik akımın q_t paramatresi ile a/y_1 'nin değişimi

Şekil 6.38'de farklı birleşik savak ve kapak tiplerinden oluşan birleşik akım için farklı d/a ve b/y_1 ve F_1 değerleri için farklı kapak tipi kullanılması durumunda $\frac{Q_c}{g^{0.5} a^{1.5}}$ parametresi ile b/y_1 'nin değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde boyutsuz kombine debi değeri üzerinde kapağın tipinin etkili olduğu görülmektedir. d/a değerinin azalmasıyla q_t ile b/y_1 değişimi arasında eğim değişmektedir.



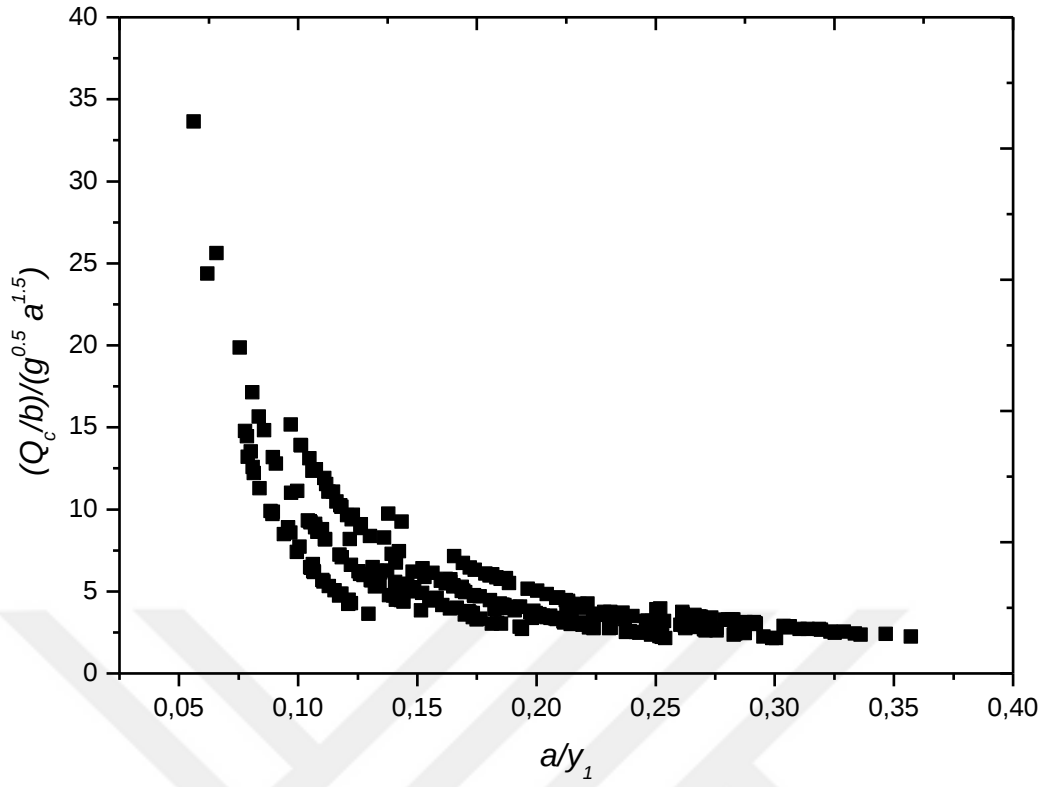
Şekil 6.38. Farklı kombinasyonlarda oluşan birleşik akımın q_t parametresi ile b/y_1 'nin değişimi

Birleşik akımda memba ve mansap akım derinlikleri arasındaki farkın memba Froude sayısı ile değişimi Şekil 6.39'da verilmiştir. Memba Froude sayısının artmasıyla dalgalanmaların oluştuğu gözlemlenmiş dolayısıyla memba ve mansap akım derinlikleri arasında belirgin farklar meydana gelmiştir. Şekil incelendiğinde bu durum belirgin bir şekilde gözlemlenecektir.



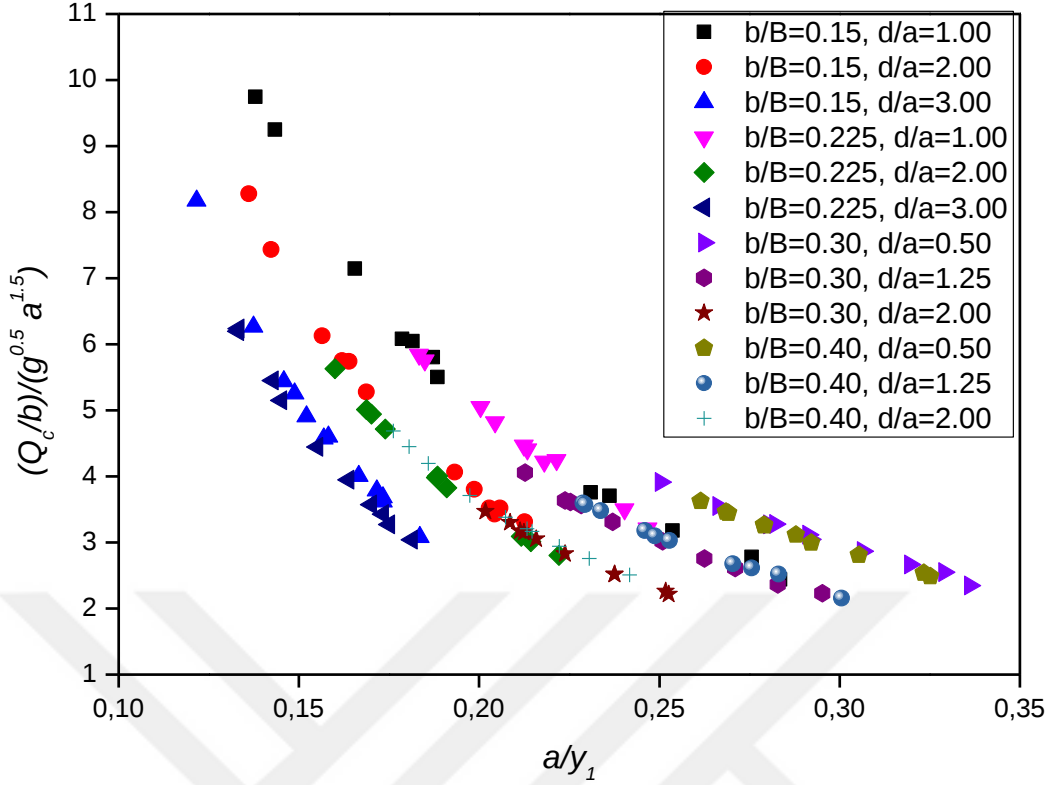
Şekil 6.39. Memba ve mansap nap yükleri arasındaki farkın memba Froude sayısı ile değişimi

Şekil 6.40'ta farklı d/a ve b/y_1 ve F_1 değerleri için dikdörtgen birleşik savak ve kapağın $\frac{Q_c}{g^{0.5}a^{1.5}}$ parametresi ile a/y_1 'nin değişimi verilmiştir. Şekil 6.40-41 incelendiğinde boyutsuz kombine değeri üzerinde b/B ve d/a değişkenlerinin ne kadar etkili olduğu görülmektedir.



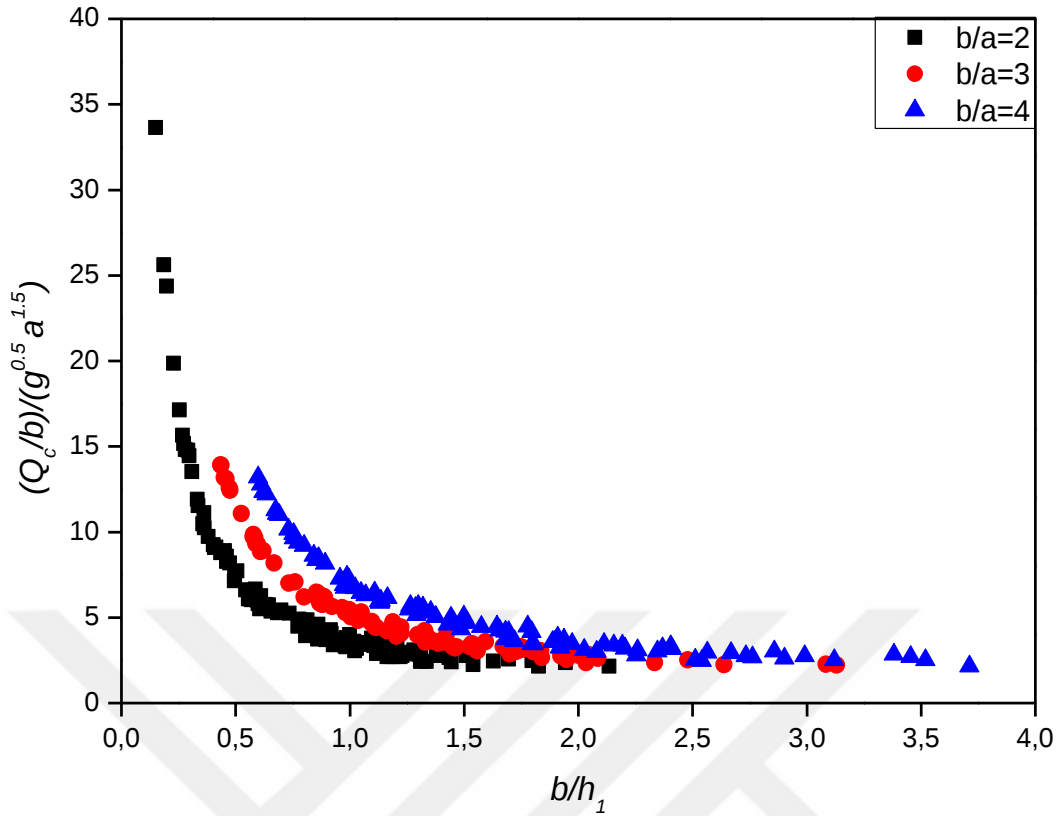
Şekil 6.40. Birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) q_t parametresi ile a/y_1 'nin değişimi

Şekil 6.41'de farklı d/a ve b/B ve F_1 değerleri için dikdörtgen birleşik savak ve kapağın $\frac{Q_c}{g^{0.5} a^{1.5}}$ parametresi ile a/y_1 'nin değişimi verilmiştir. Boyutsuz kombine değeri ile a/y_1 arasında değişim arasında en küçük değerlerini $d/a=0.50$ için elde edilmiştir.



Şekil 6.41. Farklı b/B ve d/a oranları için birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) q_t parametresi ile a/y_1 'nin değişimi

Şekil 6.42'de farklı d/a ve b/y_1 , b/B ve F_1 değerleri için dikdörtgen birleşik savak ve kapağın $\frac{Q_c}{b} \frac{1}{g^{0.5} a^{1.5}}$ parametresi ile b/h_1 'nin değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde b/a değerinin q_t üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir. Ancak belli bir noktadan sonra ($b/h_1=2$) q_t ve b/h_1 arasındaki değişim üzerinde aynı etkiyi oluşturmaktadır.

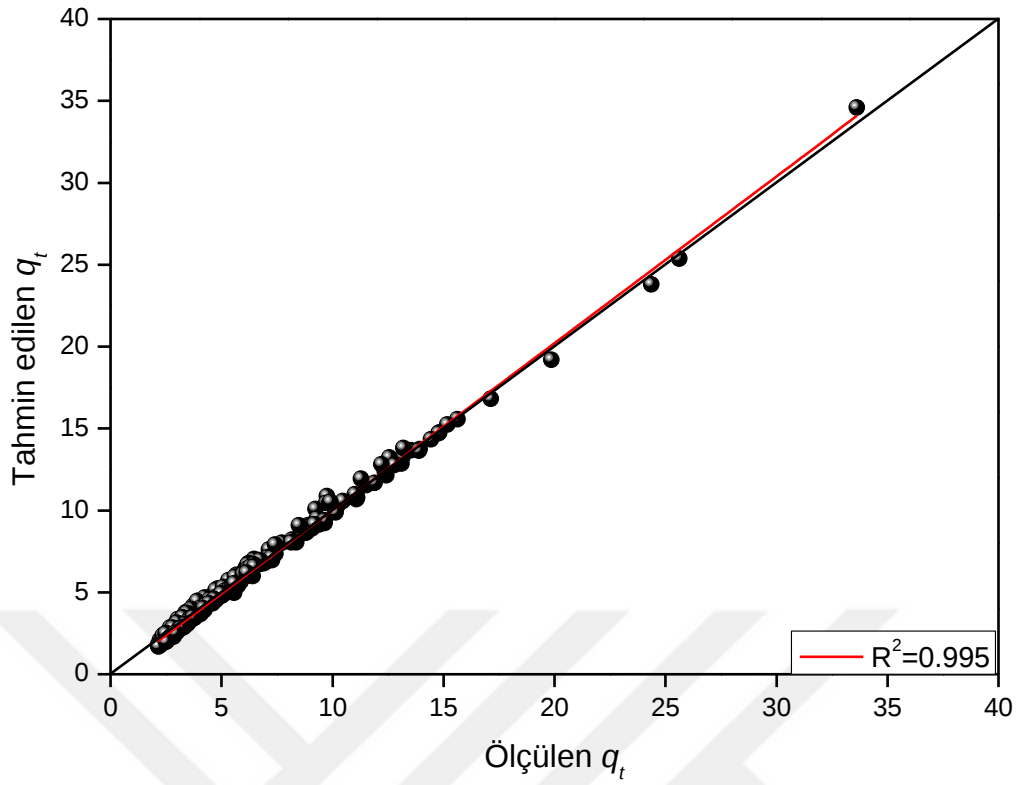


Şekil 6.42. Farklı b/a oranları için birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) q_t parametresi ile b/y_1 'nin değişimi

Mevcut çalışmada elde edilen bulgular ve boyut analizi sonu elde edilen boyutsuz parametreler kullanılarak birleşik yan savak ve kapak yapısının deşarj kapasitesinin tayininde yani $\frac{Q_c}{g^{0.5} a^{1.5}}$ parametresinin tahmininde hidrolik tasarımcılar için yeni bir denklem önerilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi elde edilen eşitliğin ne kadar güvenli olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu eşitlik $0 < F_1 < 1$ and $0.10 \leq b/B \leq 0.40$ and $0.50 \leq d/a \leq 5$ koşulları altında birleşik yan savak ve kapak yapılarının en küçük kareler hata yöntemi kullanılarak elde edilmiştir ($R^2=0.995$).

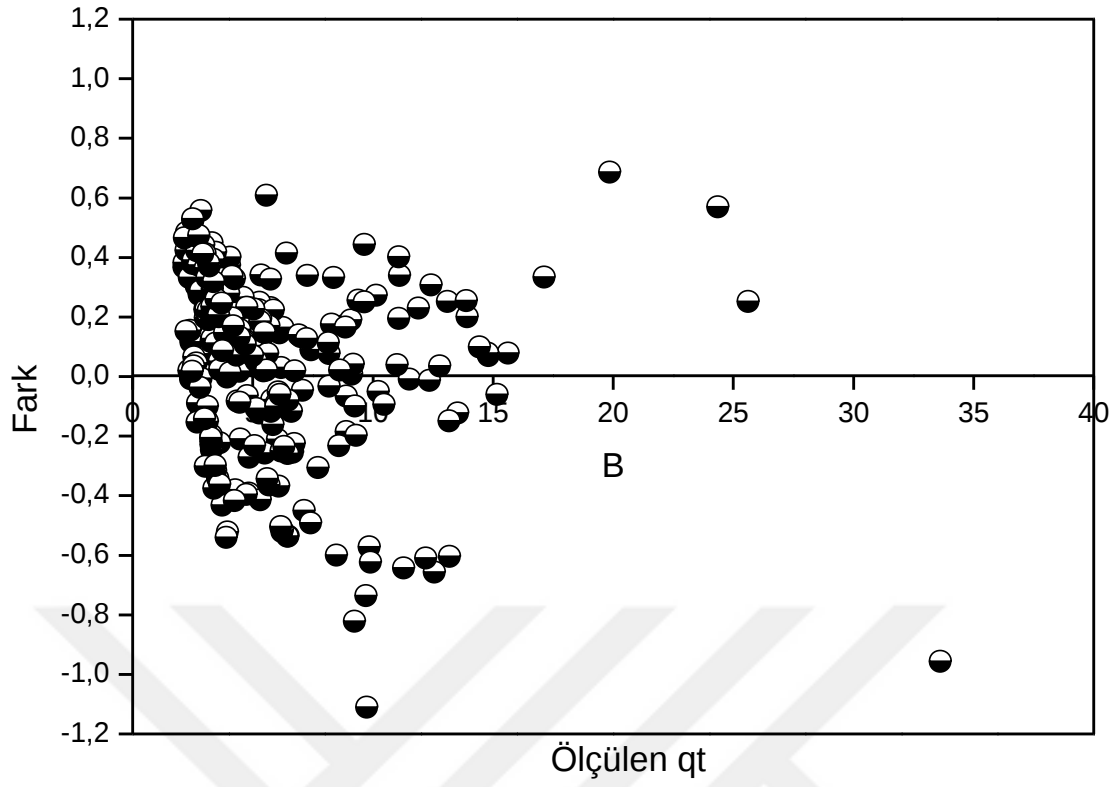
$$q_t = 0.55 F_1^{-0.11} \left(\frac{a}{y_1} \right)^{-1.28} \left(\frac{b}{h_1} \right)^{-0.49} \left(\frac{b}{a} \right)^{0.30} \left(\frac{d}{a} \right)^{-0.32} \left(\frac{b}{B} \right)^{0.13125} \quad (6.6)$$

Şekil 6.43'te farklı d/a ve b/y_1 , b/B ve F_1 değerleri için dikdörtgen birleşik savak ve kapağın $\frac{Q_c}{g^{0.5} a^{1.5}}$ parametresinin tahmini ve ölçülen değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Grafik incelendiğinde saçılmaların uyumlu olduğu yani ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında çok iyi korelasyon olduğu ve dolayısıyla eşitliğin ne kadar güvenli olduğu açık bir şekilde görülmektedir ($R^2=0.995$).



Şekil 6.43 Birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) q_t parametresi ölçülen ve tahmin edilen değerlerinin karşılaştırması

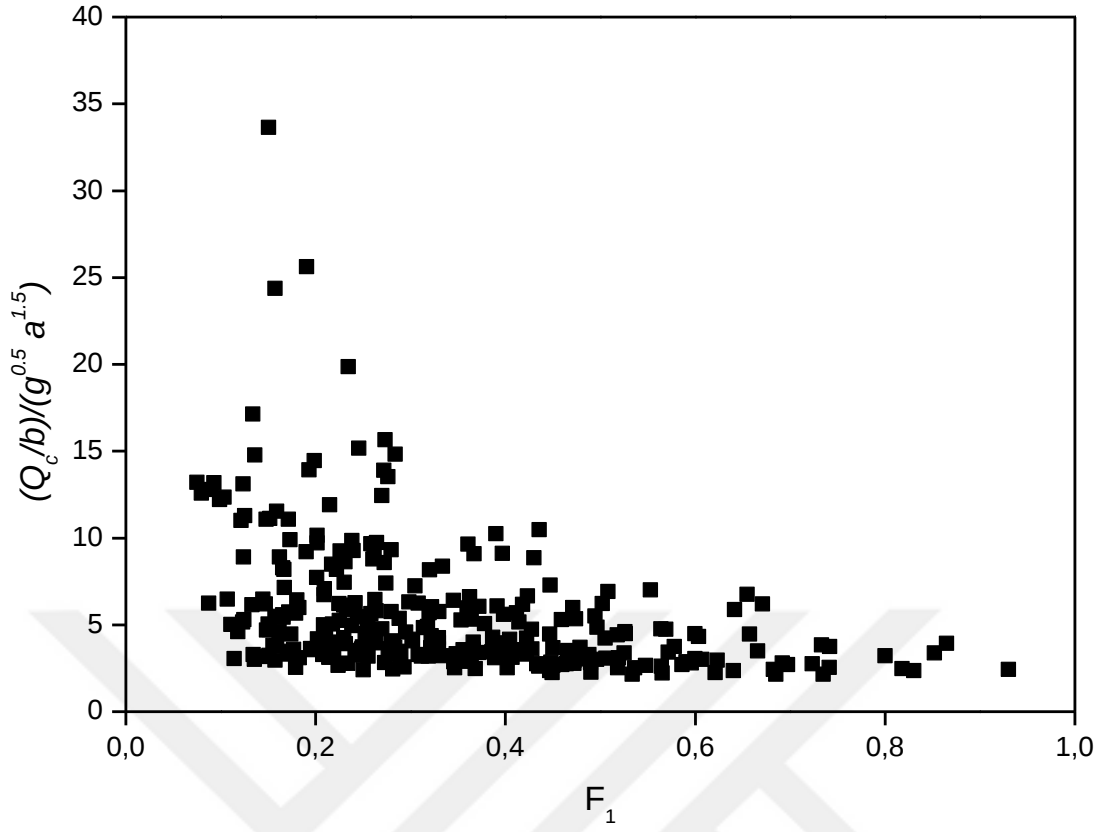
Şekil 6.44'te farklı d/a ve b/y_1 , b/B ve F_1 değerleri için dikdörtgen birleşik savak ve kapağın $\frac{Q_c}{g^{0.5}a^{1.5}}$ parametresinin ölçülen değerleri ile artık farkların değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkların çok az olduğu görülmektedir.



Şekil 6.44. Birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) ölçülen q_t parametresinin değerleri ile artık değerlerinin değişimi

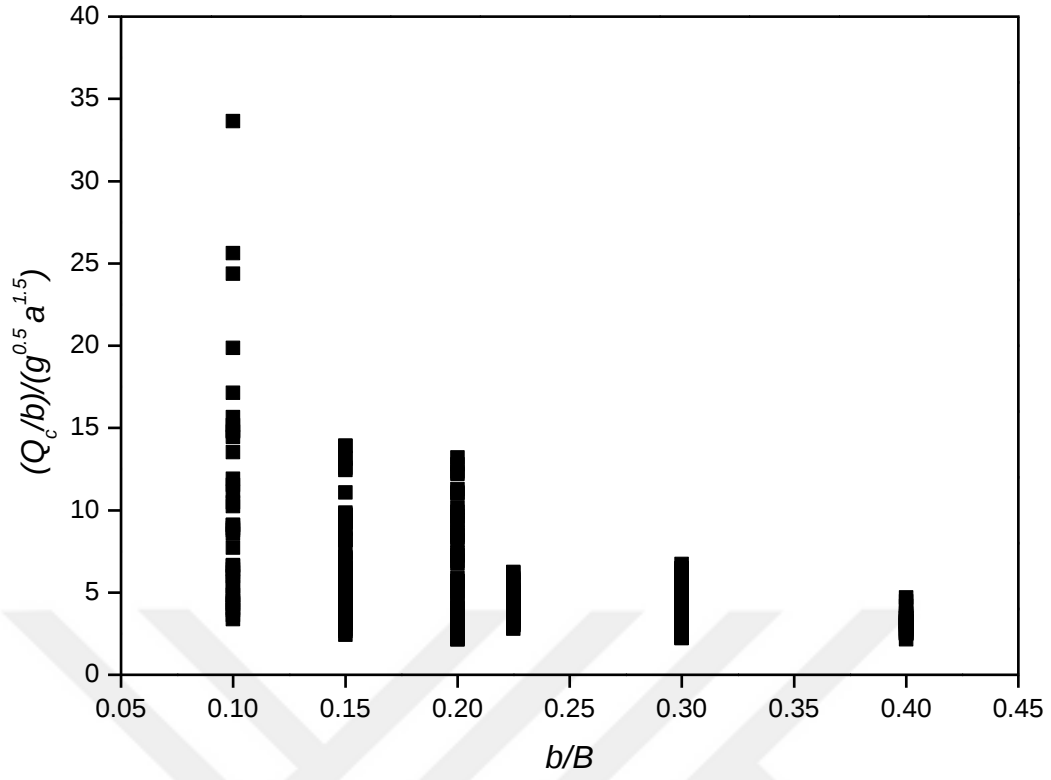
Şekil 6.45'te farklı d/a ve b/y_1 , b/B ve F_1 değerleri için dikdörtgen birleşik savak ve kapağın

$\frac{Q_c}{g^{0.5} a^{1.5}}$ parametresi ile F_1 'nin değişimi verilmiştir.



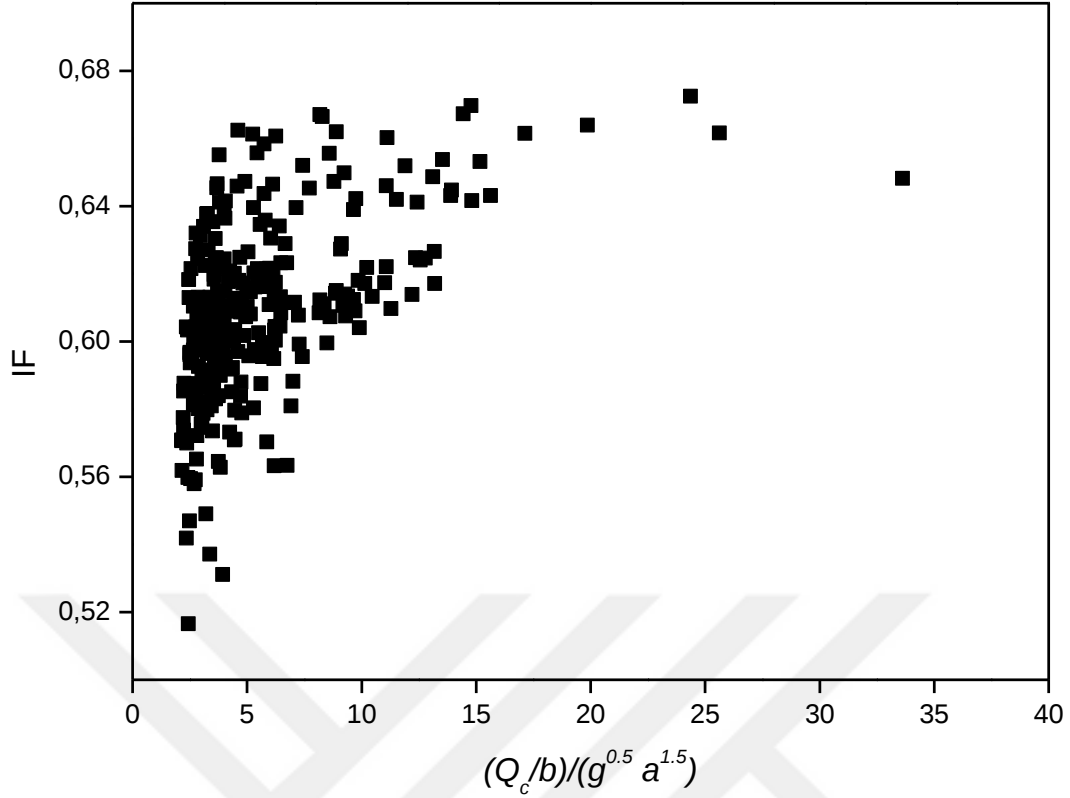
Şekil 6.45. Birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) q_t paramatresi ile F_1 'nin değişimi

Şekil 6.46'da farklı d/a ve b/y_1 ve F_1 değerleri için dikdörtgen birleşik savak ve kapağın $\frac{Q_c}{g^{0.5} a^{1.5}}$ parametresi ile b/B 'nin değişimi verilmiştir.



Şekil 6.46. Birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) q_t paramatresi ile b/B 'nin değişimi

Şekil 6.47'de farklı d/a ve b/y_1 ve F_1 değerleri için dikdörtgen birleşik savak ve kapağın $\frac{Q_c}{g^{0.5} a^{1.5}}$ parametresi ile etkileşim faktörünün değişimi verilmiştir.

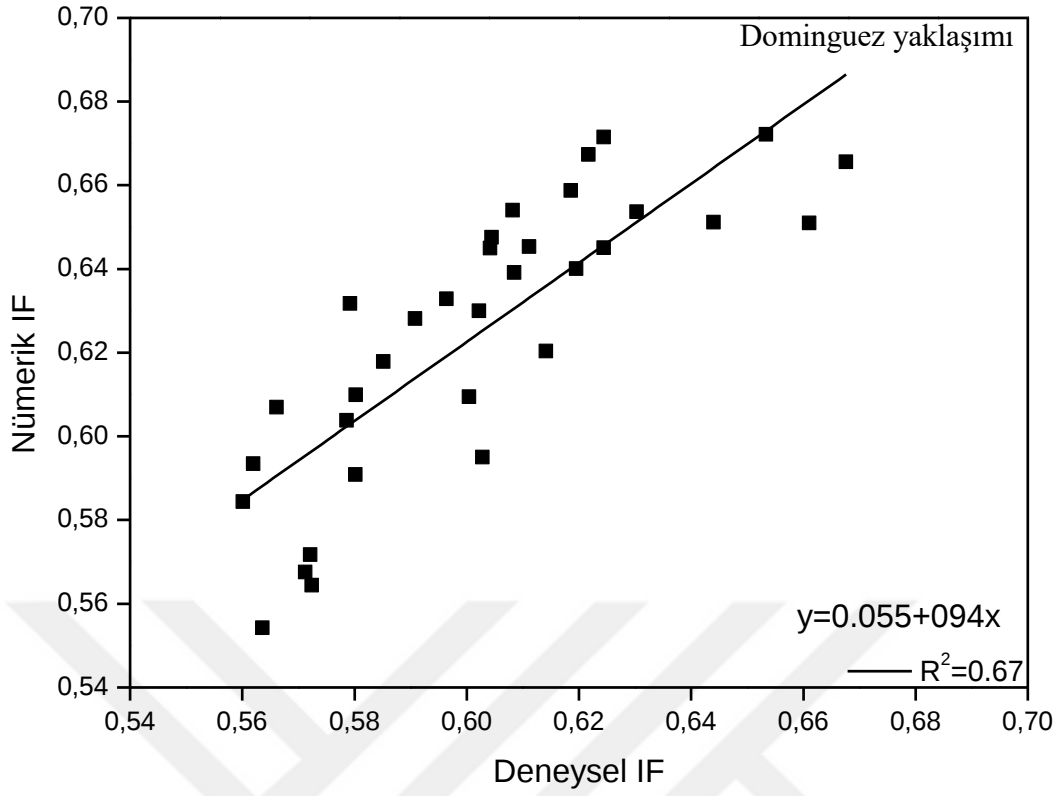


Şekil 6.47. Birleşik yan savak ve kapak yapısında savak ve kapak kesitinin dikdörtgen kesit olması durumunda (H-savak) etkileşim faktörü ile q_t parametresinin değişimi

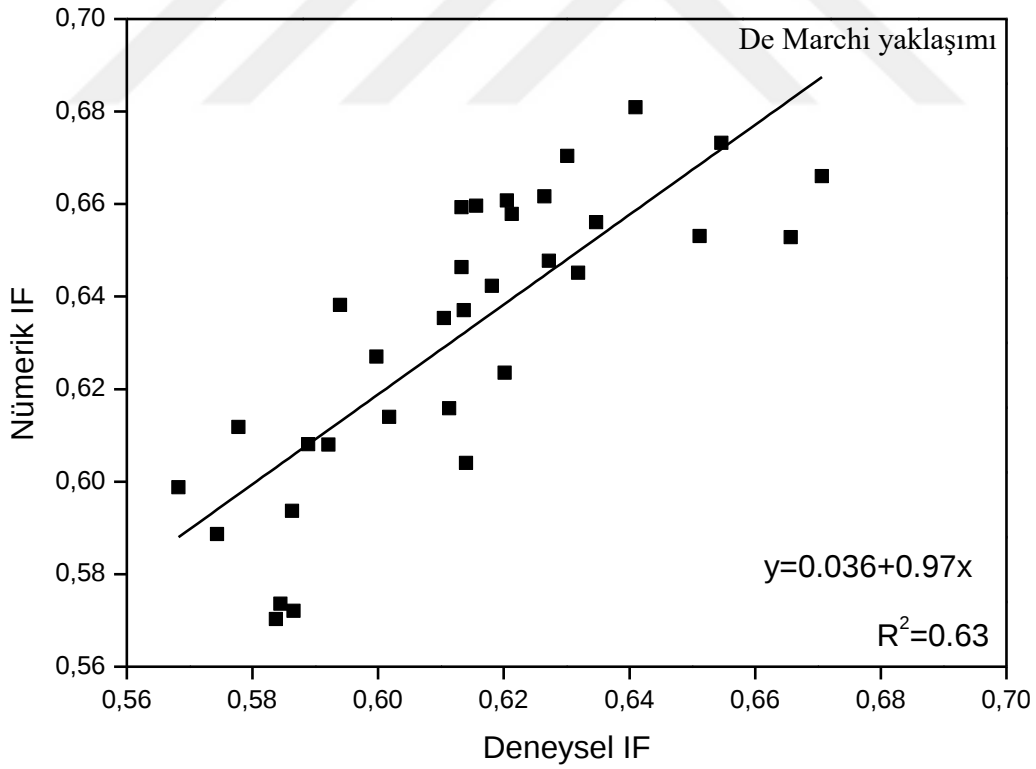
6.4. DeneySEL ve Sayısal Çalışmadan Elde edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Şekil 6.48’de farklı kombinasyonlar için birleşik savak ve kapak yapısının deneysel ve nümerik çalışmadan elde edilen etkileşim faktörünün karşılaştırılması verilmiştir. Mevcut çalışmada hem savak üstü akım için hem Domínguez hem de De Marchi yönteminde kullanılan debi eşitlikleri kullanılmıştır. Ancak kapak altı akımı için geleneksel kapak debisi eşitliği kullanılmıştır. Şekil 6.48 incelendiğinde birleşik yan savak ve kapak yapısının etkileşim faktörünün elde edilmesinde Domínguez debi eşitliğinin kullanılması daha uygun sonuçlar vermiştir. Ancak aradaki değişiklik miktarı çok azdır.

Şekil 6.48-6.54 arasında deneysel modelden elde edilen bulgular ile sayısal modelden elde edilen bulguların karşılaştırılması verilmiştir. Şekiller incelendiğinde deneysel ve sayısal model sonuçlarının birbirleriyle çok uyumlu olduğu dolayısıyla yapılan çalışmanın güvenli sonuçlar verdiği söylenebilir. Tablo 6.3’te deneysel ve sayısal model arasında istatistik açıdan değerlendirmeleri verilmiştir. Tablo incelendiğinde RMSE, APE, MAE, SI VE BIAS değerleri sırasıyla 0.00033, 0.000268, 4.115, 0.052 ve -0.000193 olduğu görülmektedir. Tablodaki istatistik anlamlara göre deneysel ve sayısal sonuçlar arasında çok iyi bir korelasyon olduğu görülmektedir.



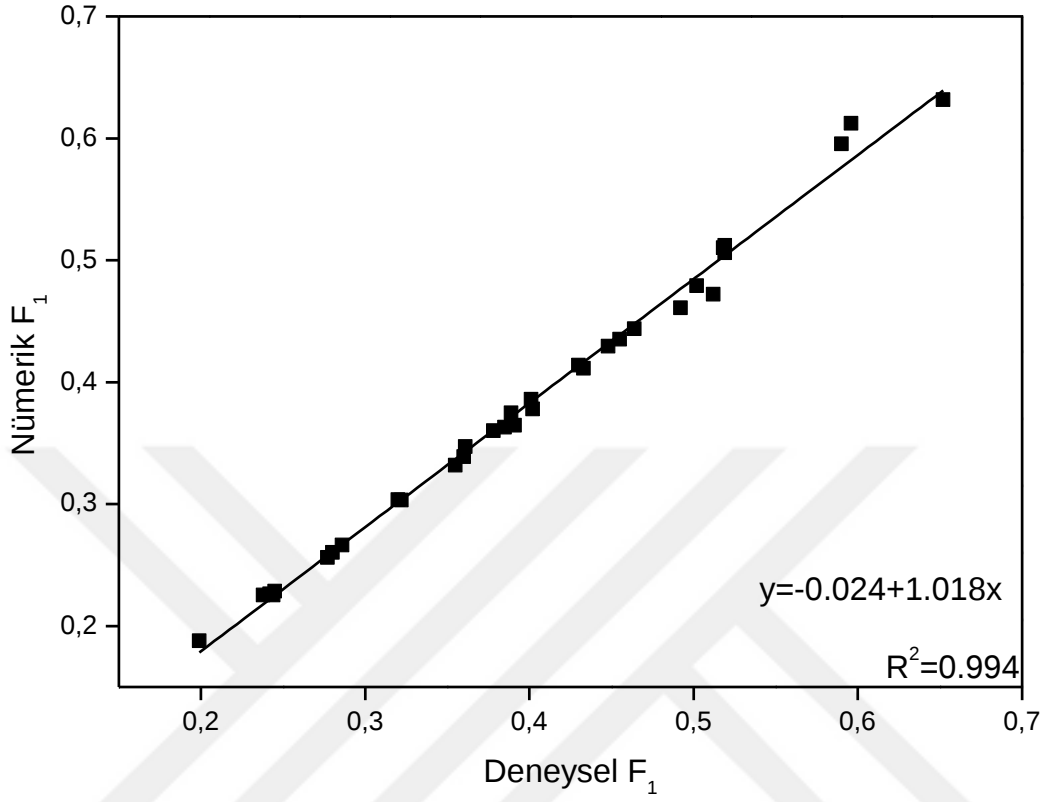
(a)



(b)

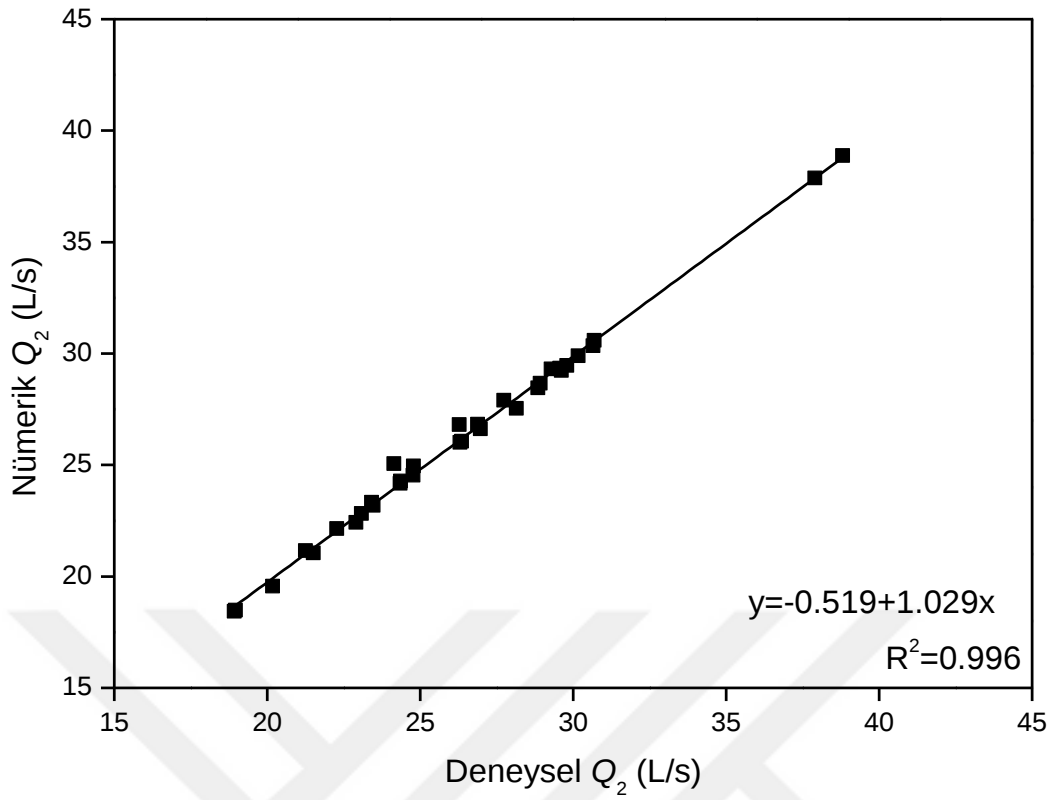
Şekil 6.48. (a-b) Deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen etkileşim faktörünün karşılaştırılması: (a) Domínguez yaklaşımı, (b) De Marchi yaklaşımı

Şekil 6.49’da farklı kombinasyonlar için birleşik savak ve kapak yapısının deneysel ve nümerik çalışmadan elde edilen memba Froude sayılarının karşılaştırılması verilmiştir.



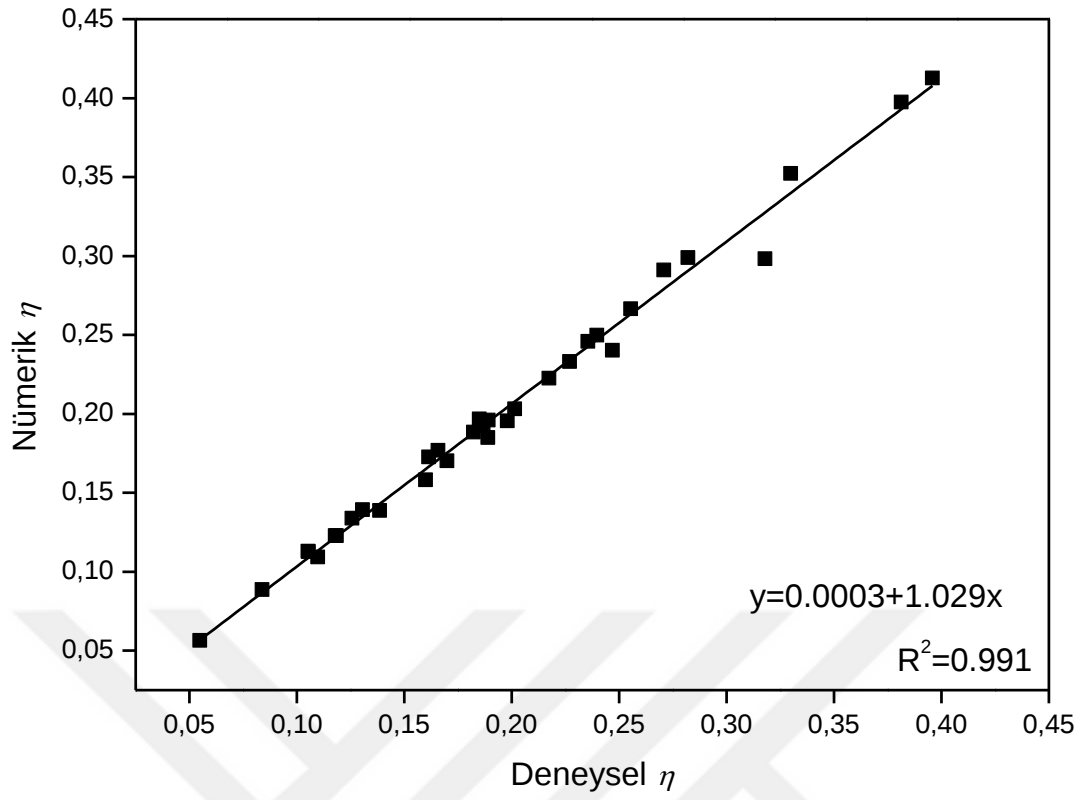
Şekil 6.49. Deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen memba Froude sayılarının karşılaştırılması

Şekil 6.50’de farklı kombinasyonlar için birleşik savak ve kapak yapısının deneysel ve nümerik çalışmadan elde edilen mansap debilerinin karşılaştırılması verilmiştir.



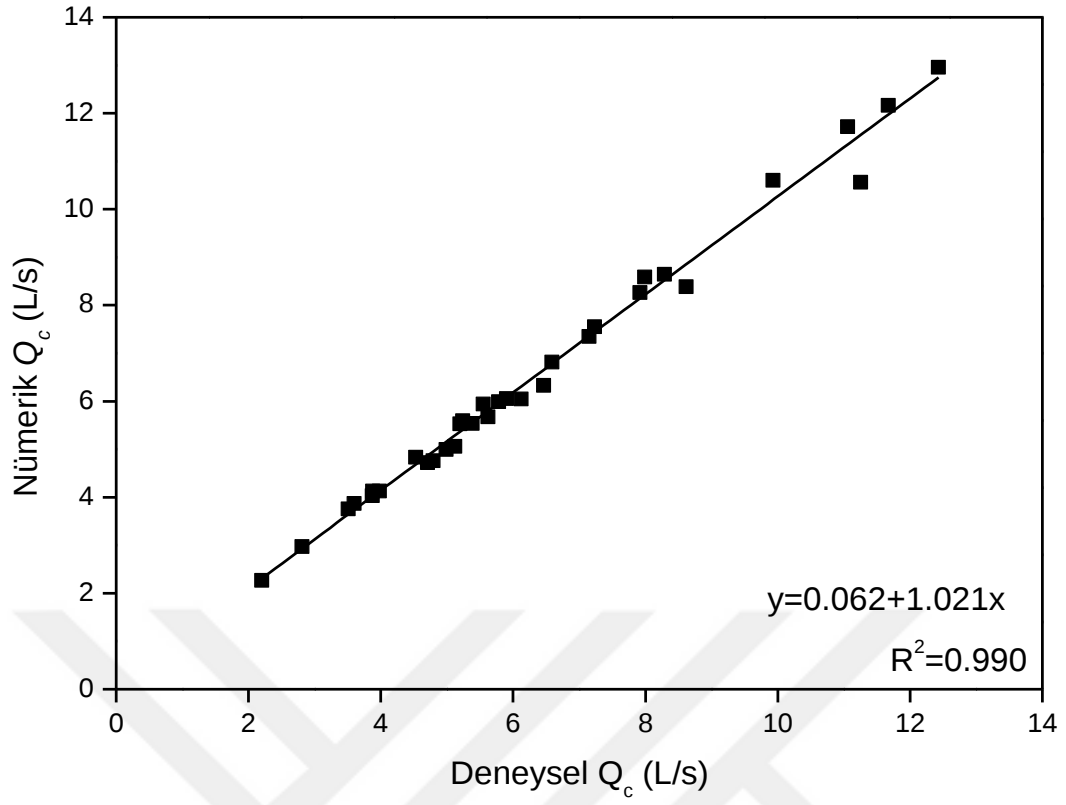
Şekil 6.50. Deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen mansap debilerinin karşılaştırılması

Şekil 6.51’de farklı kombinasyonlar için birleşik savak ve kapak yapısının deneysel ve nümerik çalışmadan elde edilen deşarj verimlerinin karşılaştırılması verilmiştir.



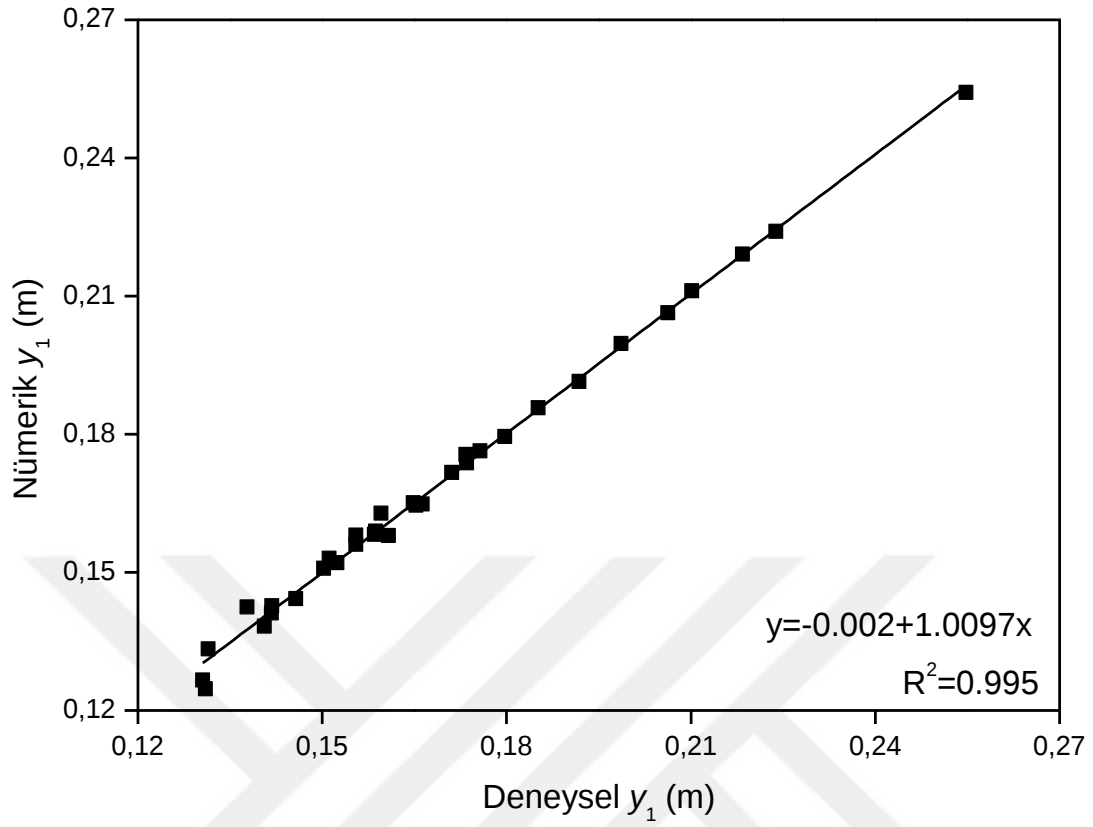
Şekil 6.51. Deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen deşarj verimlerinin karşılaştırılması

Şekil 6.52’de farklı kombinasyonlar için birleşik savak ve kapak yapısının deneysel ve nümerik çalışmadan elde edilen deşarj kapasitelerinin karşılaştırılması verilmiştir.



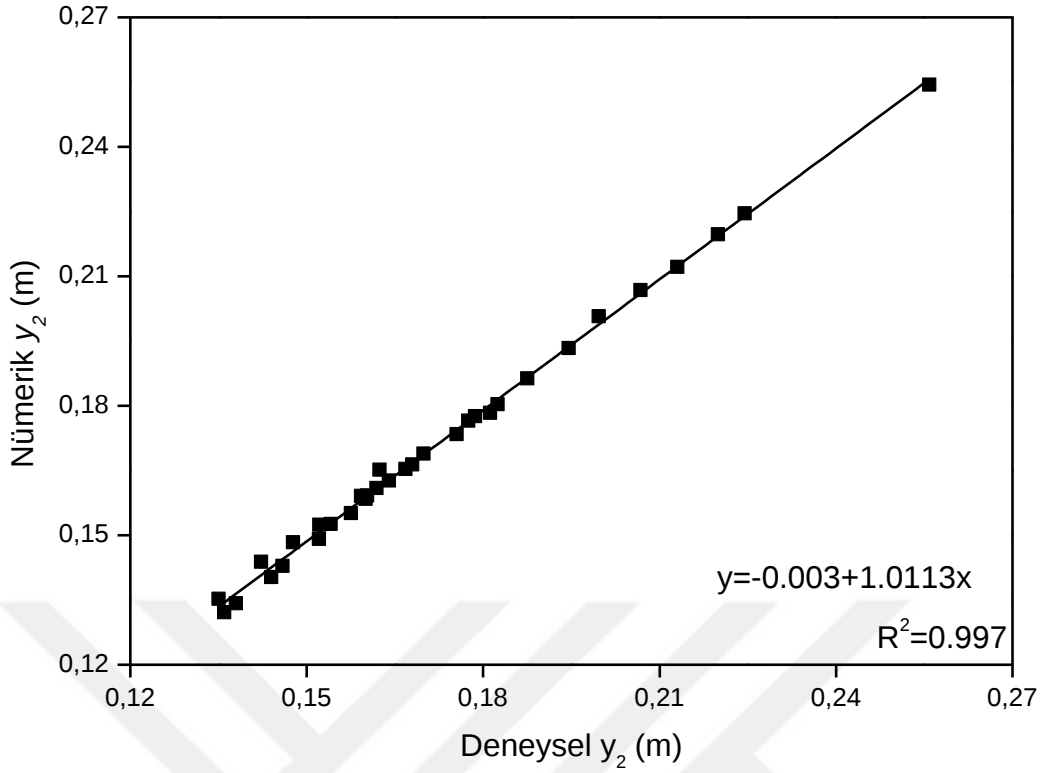
Şekil 6.52. Deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen deşarj kapasitelerinin karşılaştırılması

Şekil 6.53'te farklı kombinasyonlar için birleşik savak ve kapak yapısının deneysel ve nümerik çalışmadan elde edilen memba akım derinliklerinin karşılaştırılması verilmiştir.



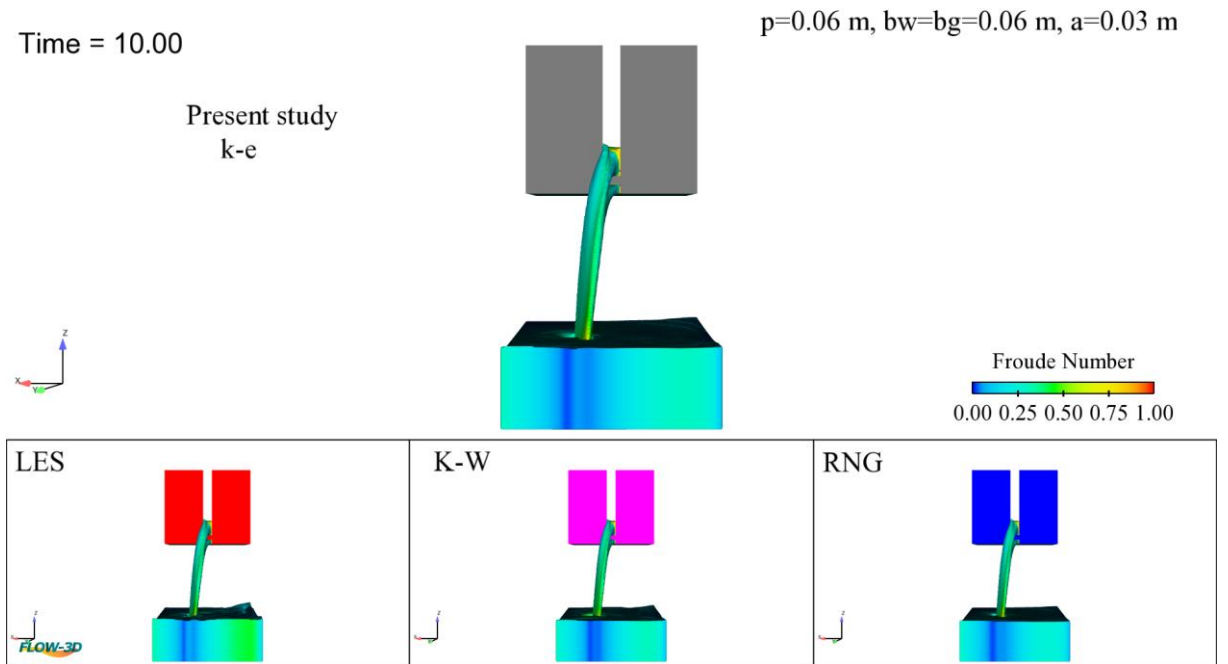
Şekil 6.53. Deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen memba akım derinliklerinin karşılaştırılması

Şekil 6.54’te farklı kombinasyonlar için birleşik savak ve kapak yapısının deneysel ve nümerik çalışmadan elde edilen mansap akım derinliklerinin karşılaştırılması verilmiştir.

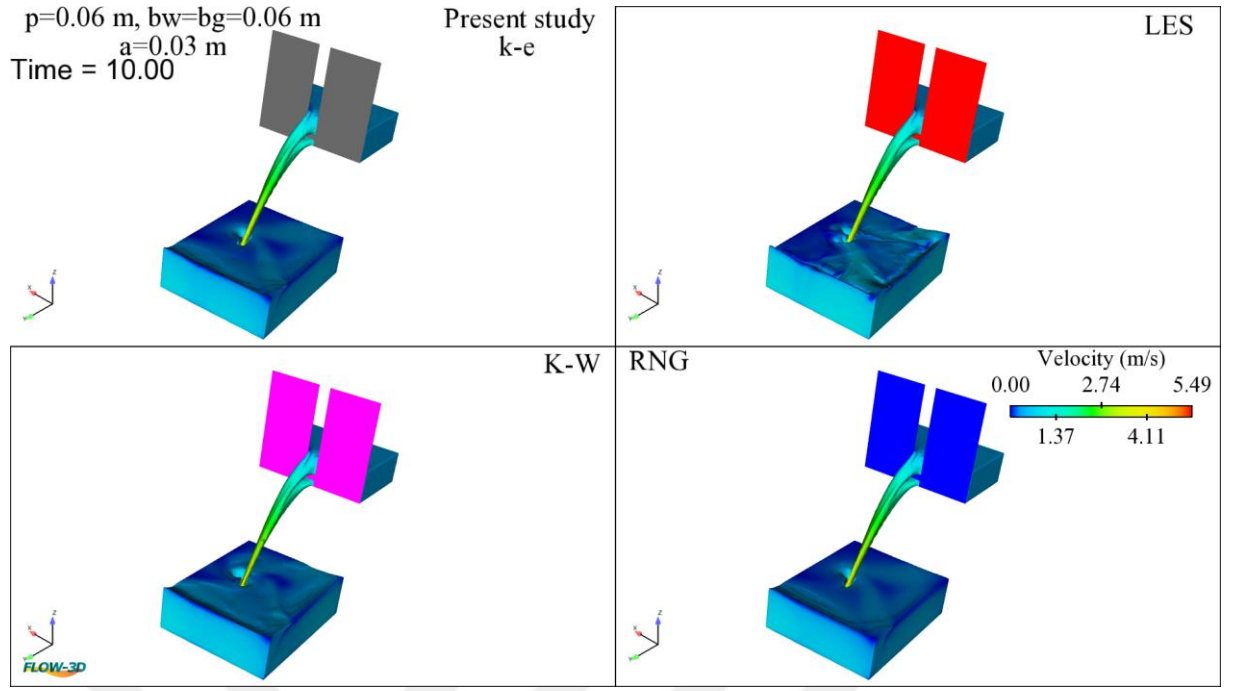


Şekil 6.54. Deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen mansap akım derinliklerinin karşılaştırılması

Sayısal çalışmada farklı birleşik savak-kapak modelleri için farklı türbülans yöntemlerinden elde edilen hız dağılımları Şekil 6.55'te verilmiştir.



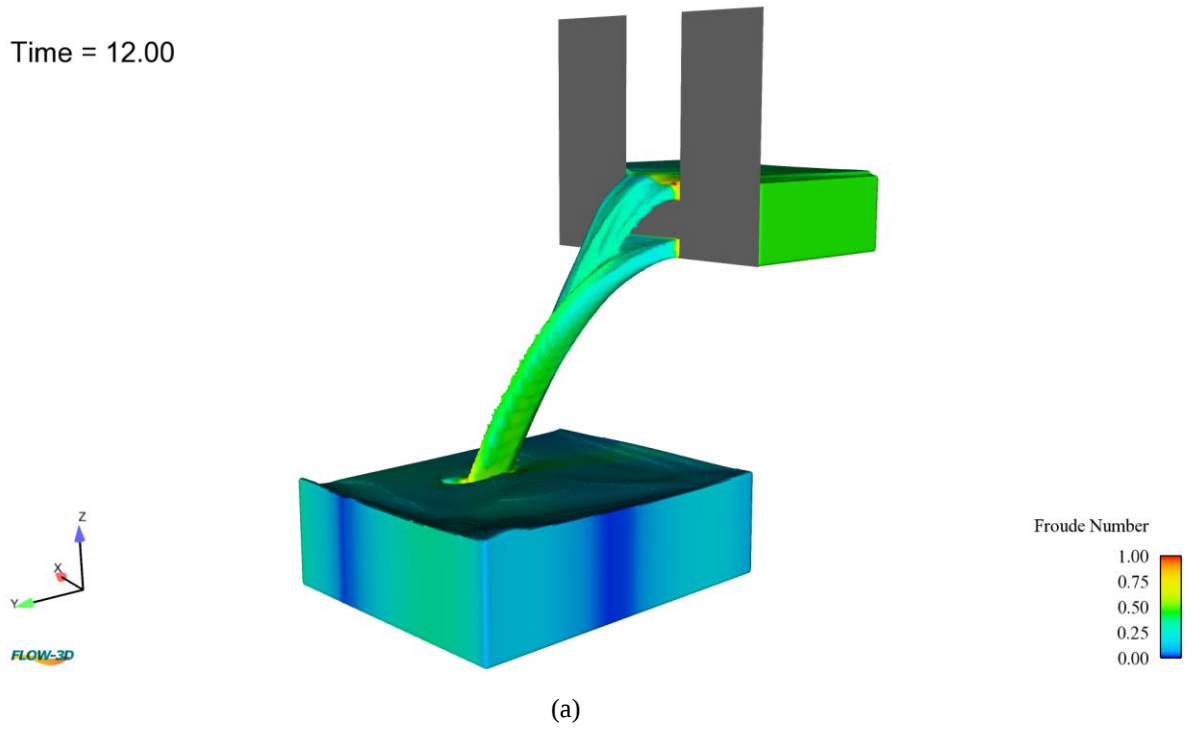
(a)



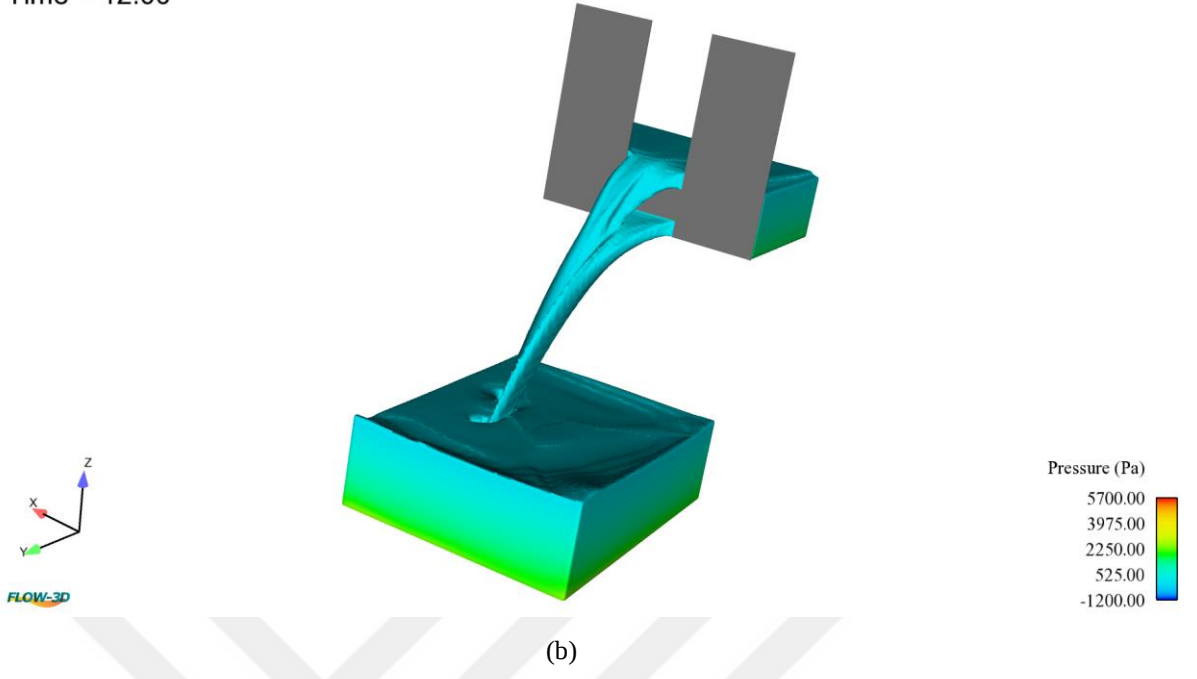
(b)

Şekil 6.55 (a-b) Sayısal çalışmada farklı türbülans yöntemleri için hız dağılımı

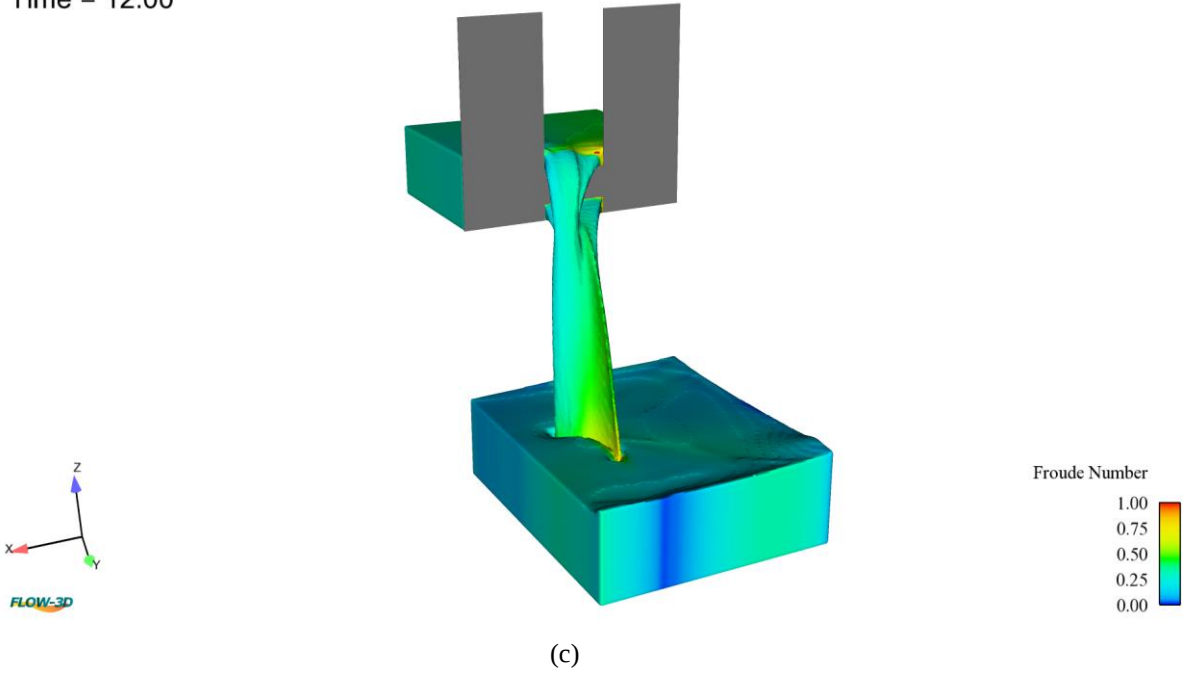
Sayısal çalışmada farklı birleşik savak-kapak modelleri için Froude sayısının değişimi Şekil 6.56'da verilmiştir.



Time = 12.00



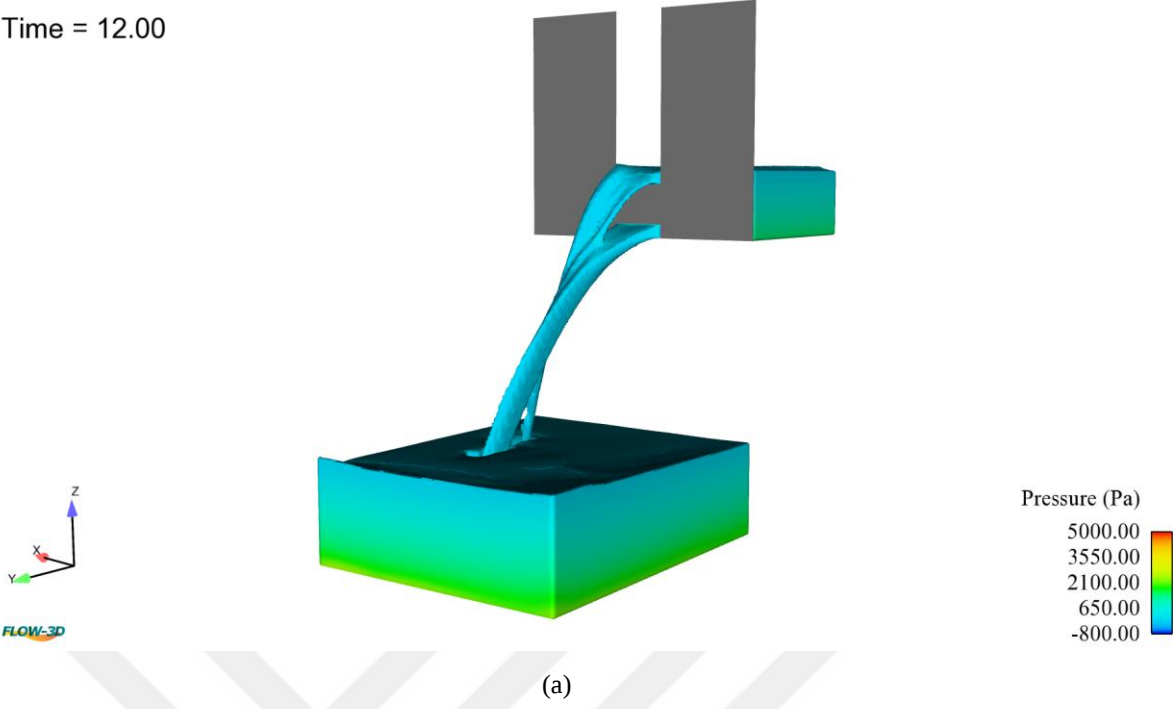
Time = 12.00



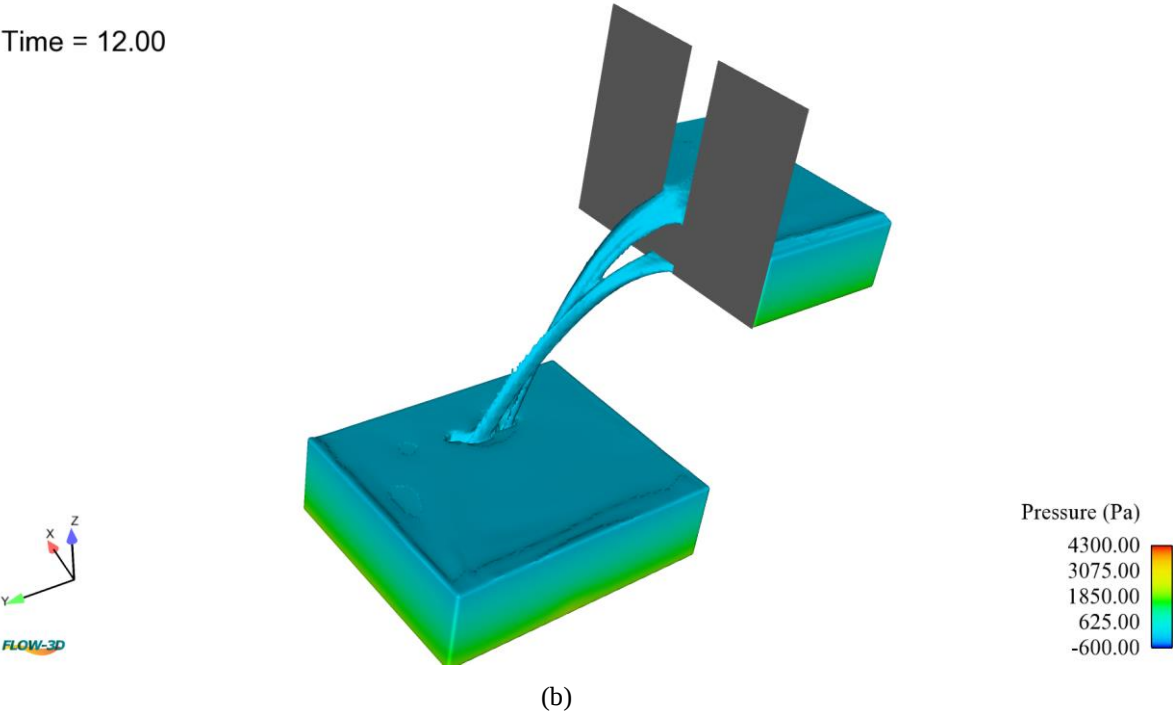
Şekil 6.56 (a-b) Sayısal çalışmada farklı birleşik savak-kapak modelleri için Froude sayısının değişimi

Sayısal çalışmada farklı birleşik savak-kapak model geometrileri için basınç dağılımı Şekil 6.57’de verilmiştir.

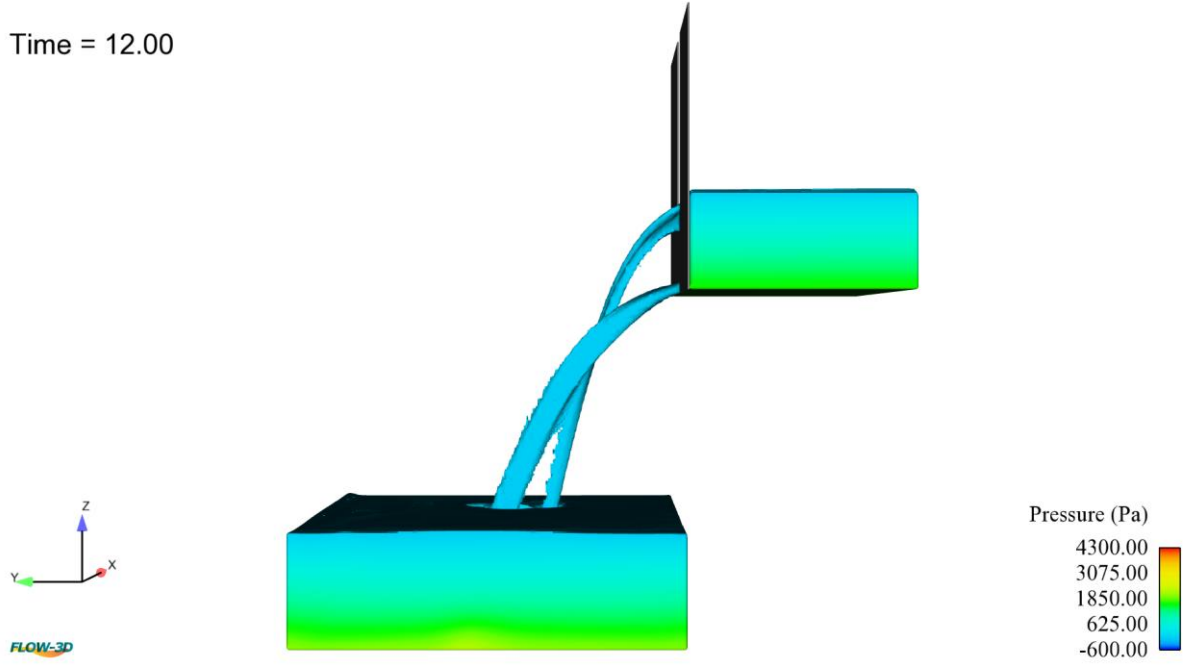
Time = 12.00



Time = 12.00



Time = 12.00



(c)

Şekil 6.57 (a-c) Sayısal çalışmada farklı birleşik savak-kapak model geometrileri için basınç dağılımı

Deneysel çalışmada farklı birleşik savak-kapak modelleri için jet yörüngesinin değişimi Şekil 6.58’de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

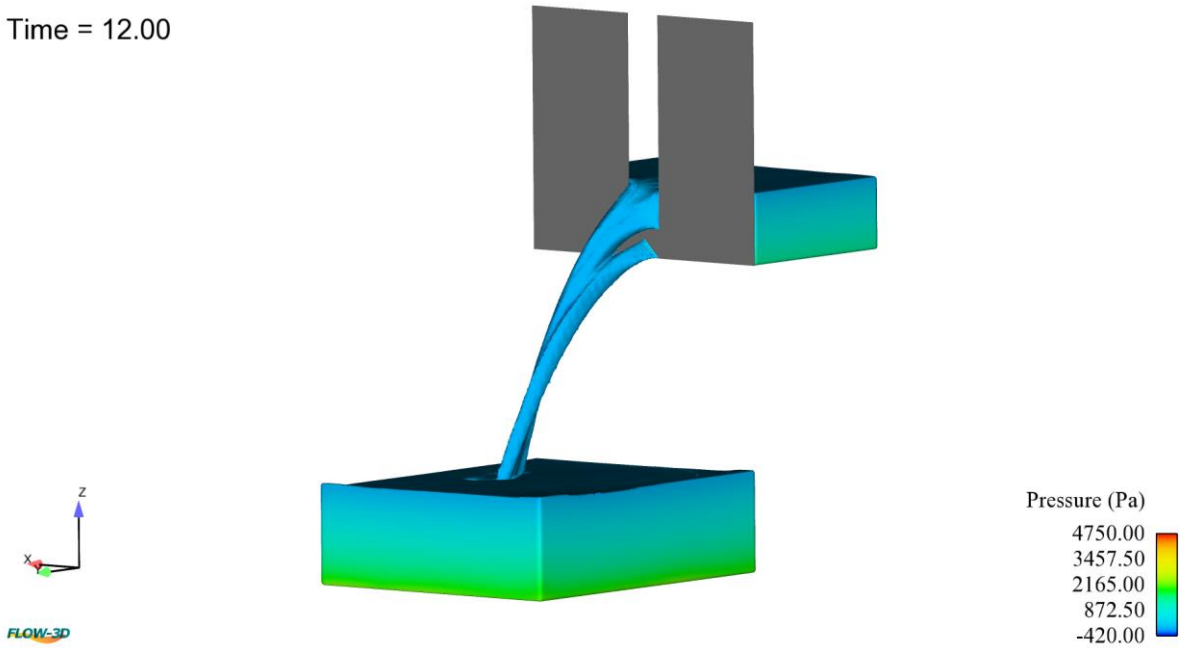


(d)

Şekil 6.58 (a-d) Deneysel çalışmada farklı birleşik savak-kapak modelleri için jet yörüngelerinin değişimi

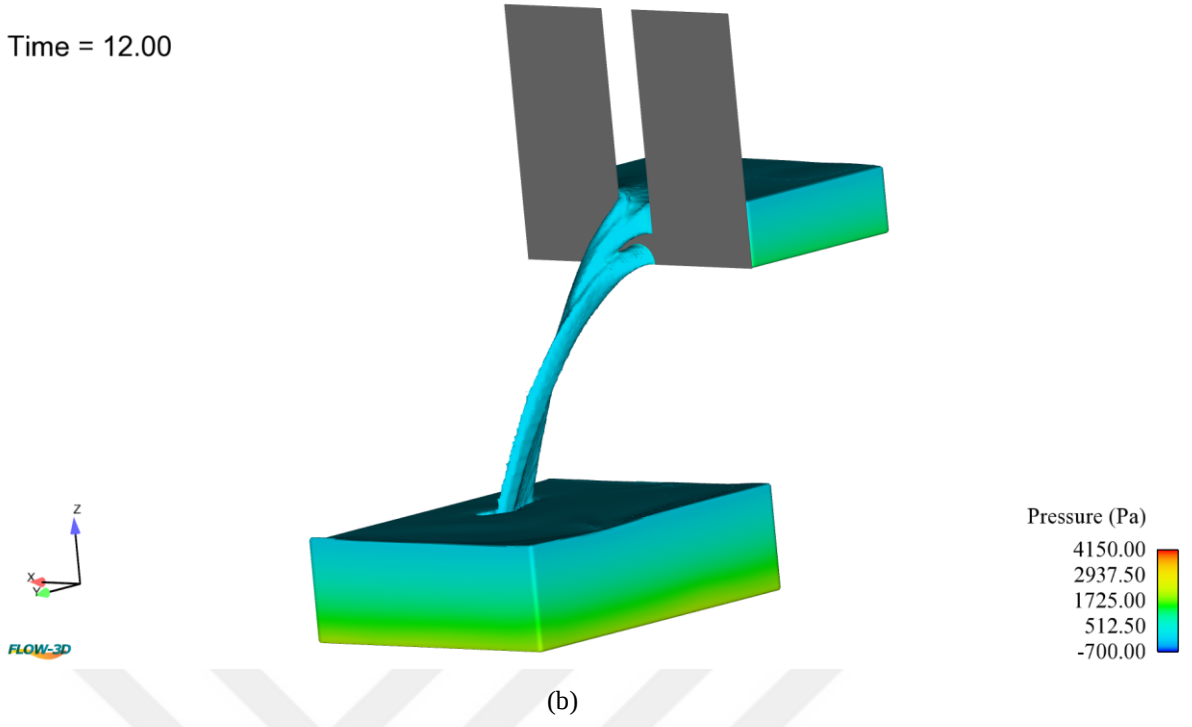
Sayısal çalışmada farklı birleşik savak-kapak modelleri için basınç dağılımı Şekil 6.59'da verilmiştir.

Time = 12.00

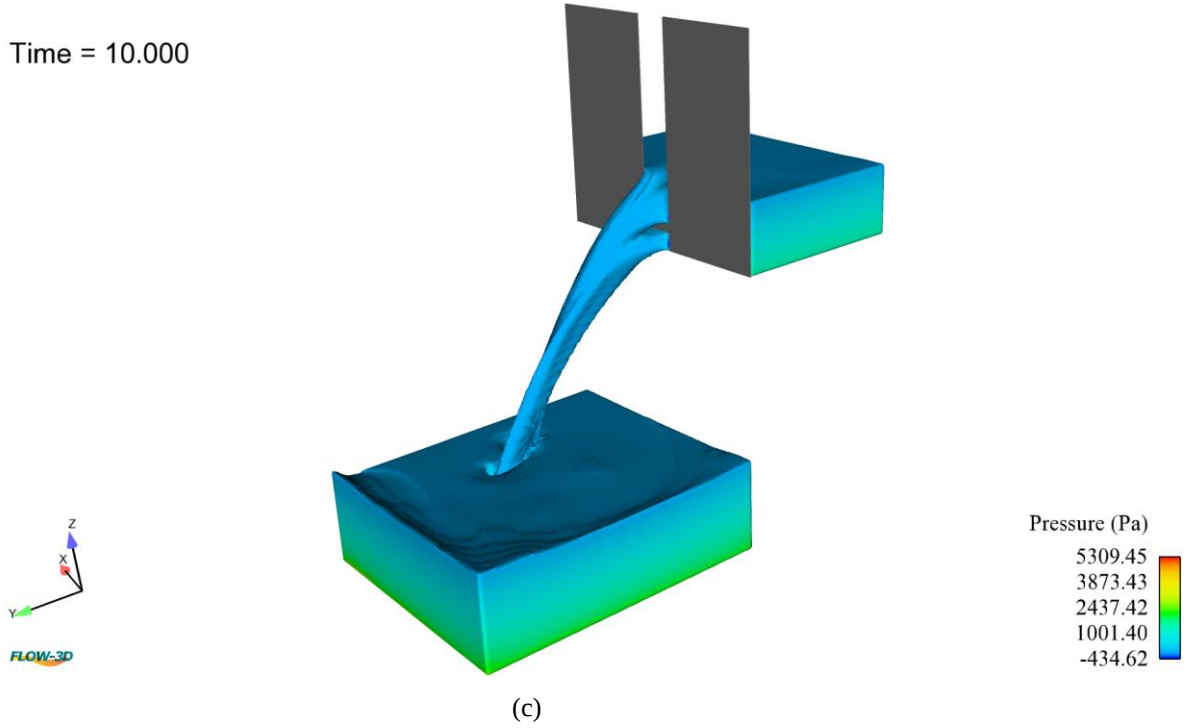


(a)

Time = 12.00



Time = 10.000



Şekil 6.59 (a-c) Sayısal çalışmada farklı birleşik savak-kapak modelleri için basınç dağılımı

Tablo 6.3'te deneysel ve sayısal çalışmada elde edilen sonuçlar verilmiştir. Tablo 6.3 incelendiğinde bütün birleşik yan savak ve kapak modellerinde deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen tüm değişkenlerin birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 6.3. Mevcut çalışmada deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar

Deneysel									Nümerik						
Tip	p (m)	a (m)	b_g (m)	b_w (m)	F_1	Q_1 (L/s)	Q_2 (L/s)	Q_c (L/s)	y_1 (m)	y_2 (m)	F_1	Q_1 (L/s)	Q_c (L/s)	y_1 (m)	y_2 (m)
6-2-4	0.06	0.02	0.04	0.04	0.245	28.8	23.42	5.38	0.20628	0.20678	0.2285	28.8	5.537	0.20637	0.206774
9-2-4	0.09	0.02	0.04	0.04	0.502	40.1	37.9	2.2	0.15957	0.1624	0.479	40.1	2.266	0.16283	0.1652
12-2-4	0.12	0.02	0.04	0.04	0.199	32	26.88	5.12	0.2548	0.25587	0.1878	32	5.06	0.25426	0.25441
6-3-6	0.06	0.03	0.06	0.06	0.322	27.15	21.25	5.9	0.1653	0.1668	0.3032	27.2	6.054	0.16459	0.16539
9-3-6	0.09	0.03	0.06	0.06	0.28	27.9	22.28	5.62	0.18514	0.18749	0.2604	27.9	5.67	0.18571	0.18633
12-3-6	0.12	0.03	0.06	0.06	0.242	30.9	24.78	6.12	0.21838	0.21994	0.2264	30.9	6.044	0.21909	0.21971
6-4-8	0.06	0.04	0.08	0.08	0.391	31	23.08	7.92	0.15871	0.16189	0.3646	31	8.26	0.15892	0.16091
9-4-8	0.09	0.04	0.08	0.08	0.355	31.5	24.35	7.15	0.17107	0.17551	0.3318	31.5	7.345	0.17166	0.17344
12-4-8	0.12	0.04	0.08	0.08	0.277	30.7	23.47	7.23	0.19864	0.19968	0.2562	30.7	7.547	0.19972	0.20068
6-2-6	0.06	0.02	0.06	0.06	0.43	34	29.29	4.71	0.15852	0.16029	0.4138	34	4.721	0.15826	0.15918
9-2-6	0.09	0.02	0.06	0.06	0.455	33.5	30.69	2.81	0.15115	0.15408	0.4352	33.5	2.969	0.15303	0.15257
12-2-6	0.12	0.02	0.06	0.06	0.238	31.6	26.36	5.24	0.22385	0.22447	0.2252	31.6	5.589	0.22401	0.224604
6-3-9	0.06	0.03	0.09	0.09	0.518	34.2	27.74	6.46	0.14061	0.14397	0.5103	34.2	6.327	0.13833	0.14025
9-3-9	0.09	0.03	0.09	0.09	0.519	34.7	30.17	4.53	0.14171	0.14592	0.5062	34.7	4.831	0.141174	0.14288
12-3-9	0.12	0.03	0.09	0.09	0.244	29.5	21.51	7.99	0.21018	0.21303	0.2255	29.5	8.589	0.21117	0.21214
6-4-12	0.06	0.04	0.12	0.12	0.59	34.9	26.28	8.62	0.13056	0.13798	0.5955	34.9	8.38	0.12656	0.13419
9-4-12	0.09	0.04	0.12	0.12	0.464	34.6	26.31	8.29	0.15239	0.15751	0.4438	34.6	8.639	0.15212	0.15515
12-4-12	0.12	0.04	0.12	0.12	0.286	30.1	20.18	9.93	0.19181	0.19454	0.2663	30.1	10.599	0.19144	0.19334
6-2-8	0.06	0.02	0.08	0.08	0.652	43.6	38.81	4.79	0.1418	0.14771	0.6315	43.6	4.76	0.14273	0.14835
9-2-8	0.09	0.02	0.08	0.08	0.32	30.55	24.77	5.78	0.1797	0.18249	0.30354	30.55	5.99	0.17948	0.18035
12-2-8	0.12	0.02	0.08	0.08	0.378	34.2	30.65	3.6	0.1734	0.1775	0.3603	34.2	3.865	0.1756	0.17656
6-3-12	0.06	0.03	0.12	0.12	0.36	30.6	18.93	11.67	0.1663	0.16988	0.3387	30.6	12.165	0.164784	0.16893
9-3-12	0.09	0.03	0.12	0.12	0.519	36.15	29.56	6.59	0.1457	0.1521	0.5122	36.15	6.81	0.14427	0.14913
12-3-12	0.12	0.03	0.12	0.12	0.448	34.4	28.85	5.55	0.1555	0.16	0.4293	34.4	5.942	0.15607	0.15845
6-4-16	0.06	0.04	0.16	0.16	0.596	35.4	24.143	11.257	0.131	0.136	0.6124	35.4	10.558	0.124694	0.13211
9-4-16	0.09	0.04	0.16	0.16	0.389	31.4	18.97	12.43	0.1608	0.164	0.3747	31.4	12.955	0.158013	0.162684
12-4-16	0.12	0.04	0.16	0.16	0.433	39.2	28.14	11.06	0.1735	0.18117	0.4114	39.2	11.714	0.17375	0.17837

Tablo 6.3 (devamı)

6-4-8, üçgen	0.06	0.04	0.08	0.08	0.385	28.1	22.9	5.2	0.15024	0.15215	0.363	28.1	5.525	0.1509	0.15243
9-4-8, üçgen	0.09	0.04	0.08	0.08	0.402	30.85	26.97	3.88	0.1555	0.15927	0.378	30.85	4.127	0.15805	0.15914
12-4-8, üçgen	0.12	0.04	0.08	0.08	0.361	33.3	29.79	3.51	0.17569	0.17865	0.347	33.3	3.757	0.1764	0.17757
6-4-8, daire	0.06	0.04	0.08	0.08	0.492	29.35	24.36	4.99	0.13145	0.135	0.461	29.35	4.994	0.13334	0.13524
9-4-8, daire	0.09	0.04	0.08	0.08	0.512	32.8	28.93	3.87	0.13776	0.14227	0.472	32.8	4.028	0.14247	0.14385
12-4-8, daire	0.12	0.04	0.08	0.08	0.401	33.6	29.62	3.98	0.16479	0.16795	0.386	33.6	4.125	0.16507	0.16635

6.5. Önerilen Denklemlerin Doğrulanması

Mevcut çalışmada önerilen eşitliklerin doğruluklarını değerlendirmek için ortalama karekök hataları (RMSE), ortalama bağıl hata yüzdesi (APE), rölatif (bağıl hata) yüzdesi (RE), ortalama mutlak hatalar (MAE), dağılım indeksi (SI), BIAS ve belirginlik katsayısı (R^2) değerleri kullanılmıştır. R^2 , bir regresyon modeli tarafından açıklanan kareler toplamının ve ortalama etrafındaki "toplam" kareler toplamının oranı olarak tanımlanır. Modelin tahmin yetenekleri hakkında farklı bilgi türleri RMSE ve MAE aracılığıyla ölçülür. RMSE, ölçülen ve tahmin edilen değerler ile ilgili uyumu ölçerken, MAE, ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki perspektifini ölçer. SI, parametre için beklenen hata yüzdesini verir. BIAS modelleme sonucunda tahmin edilen veriler ile gerçek veriler arasındaki uzaklığı yansıtan değerdir. RMSE, SI, MAE, APE ve BIAS şu şekilde tanımlanır:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Ölçülen}_i - \text{Tahmin edilen}_i)^2} \quad (6.7)$$

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{x}} \quad (6.8)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\text{Ölçülen}_i - \text{Tahmin edilen}_i| \quad (6.9)$$

$$APE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\text{Ölçülen}_i - \text{Tahmin edilen}_i}{\text{Ölçülen}_i} \right| \quad (6.10)$$

$$RE = \left(\frac{\text{Ölçülen}_i - \text{Tahmin edilen}_i}{\text{Ölçülen}_i} \right) 100 \quad (6.11)$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{Ölçülen}_i - \text{Tahmin edilen}_i) \quad (6.12)$$

burada N toplam deney sayısıdır. i deney numarası ve $\bar{x}$ ise deneyde ölçülen değerlerin ortalamasıdır.

Bu çalışmada deneysel çalışmada elde edilen bütün eşitlikler istatistik açısından değerlendirilmiş olup bu eşitliklere ait RMSE, MAE, APE, RE, SI, and R^2 değerlerinin hepsi Tablo 6.4'te verilmiştir. İstatistik açıdan değerlendirilen eşitlikler, deneysel çalışmadan elde edilen veriler ile tahmin edilen değerler arasında ne kadar yüksek bir uyum olduğunu göstermektedir. Ayrıca deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen birleşik debi verilerinin istatistiksel anlamları Tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.4. Önerilen eşitliklerin istatistik değerleri

Yan savak tipi	RMSE	MAE	APE (%)	SI	BIAS	R ²	Eşitlik numarası
Savak	0.0138	0.0111	2.020	0.0250	0.00009200	0.93	Eşitlik (6.2)
Kapak	0.029	0.023	5.706	0.065	-0.00007609	0.95	Eşitlik (6.1)
Birleşik yan savak ve kapak (C _d 'li)	0.0005	0.0004	7.576	0.0815	-0.00006238	0.97	Eşitlik (6.4))
Birleşik yan savak ve kapak (C _d 'siz)	0.0003	0.0002	4.534	0.0472	-0.00004076	0.99	Eşitlik (6.5)
Birleşik yan savak ve kapak (q _t)	0.3019	0.2471	5.838	0.0534	0.06726704	0.99	Eşitlik (6.6)

Tablo 6.5. Deneysel ve sayısal model arasındaki istatistiksel değerler

RMSE	MAE	APE (%)	SI	BIAS	R ²
0.00032973	0.000268	4.115	0.05197	-0.000193	0.9902

7. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında yanal akımlarda birleşik çalışan savak-kapak yapılarının akım karakteristikleri serbest akım koşulları, nehir rejimi ve doğrusal bir kanal için, Fırat Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı'nda yürütülen deneyler ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanılarak yapılan nümerik analizler ile detaylı bir şekilde incelenmiştir. Mevcut çalışma kapsamında birleşik savak-kapak yapısından deşarj olan akımı daha iyi analiz etmek için birleşik akım dışında kapak altı ve savak üstü akımlar da ayrı ayrı olarak deneysel olarak incelenmiştir. HAD analizi kullanılarak yapılan nümerik analizler, sadece birleşik çalışan savak ve kapak akımı için gerçekleştirilmiştir. Aynı geometrik ve akım koşullarına sahip birleşik çalışan savak ve kapak modelleri, önceden yürütülen deneylerden elde edilen deney verileri referans alınarak sayısal model oluşturulmuş ve doğrulanmıştır.

Bu tez çalışmada HAD analizi; çözüm süresi-sonuçların hassasiyeti bakımından, optimize edilmiş, çözüm ağı boyutları ve türbülans modeli belirlenerek gerçekleştirilmiştir. Literatürde yaygın şekilde kullanılan $k-\varepsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır. Yürütülen deneyler ve analizler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Birleşik yan savak-kapak, yan savak ve kapakta, akım derinliğinin yapı boyunca arttığı, Froude sayısı ve ana kanaldaki debi miktarı arttıkça savağın memba ve mansap uçları arasındaki akım derinliği farkının artmakta olduğu ve yapı boyunca su yüzünde dalgalanmalar oluştuğu,
- Birleşik yan savak ve kapak yapısının deşarj kapasitesinin yan kapak ve savağa göre fazla olduğu dolayısıyla, memba ve mansapta akım derinlikleri arasında daha fazla farkın meydana geldiği,
- Memba Froude sayısının artmasıyla bütün birleşik yan savak ve kapakta etkileşim faktörünün, yan savak ve kapak tiplerinde ise debi katsayılarının azaldığı,
- Deşarj veriminin $\eta = Q_s/Q_1$ mansap Froude sayısının artmasıyla azaldığı bu azalmanın bütün yan savak, kapak ve birleşik yan savak ve kapaklarda tiplerinde meydana geldiği,
- Yan savak için Schmidt ve Domínguez yöntemleri ile elde edilen sonuçların uyumlu olduğu, De Marchi ile Schmidt ve Domínguez yaklaşımlarının sonuçlarının, büyük F_1 sayılarında yakın olmasına karşın, Froude değerinin azalması ile sonuçların uyumunun azalmakta olduğu,
- Yan kapaklar için literatürle uyumlu olarak De Marchi yaklaşımı ile debi katsayıları elde edilebileceği,
- Birleşik akımda kapak altı ve savak üstü akımlarının küçük Froude sayılarında birbirleriyle temas ettiği dolayısıyla savak jetinin kapak altı akımının enerjisini kırdığı,

- Birleşik yan savak ve kapak modellerinde savak kreti ile kapak üst noktası arasındaki düşey mesafesi (d) ve memba Froude sayısının artmasıyla kapak altı ve savak üstü akımlarının birbirleriyle temas etmediği
- Sayısal analizlerde birleşik yan savak ve kapaktan deşarj edilen debi miktarının 10 saniye sürenin sonunda nihai değere ulaştığı,
- Birleşik yan savak ve kapak modellerinde savak ve kapak kesitinin dikdörtgen olan modellerde üçgen ve yarım dairesel kapak olan modellere göre daha fazla deşarj kapasitesinin olduğu ve yarım dairesel kapak olan modellerde ise üçgen kapak olan modellere göre daha yüksek deşarj elde edildiği,
- Sayısal ve deney sonuçlarının, APE, RMSE ve SI değerleri sırasıyla %4.11, %0.3 ve %0.1 olup, deney ve sayısal bulguların birbiriyle uyumlu olduğu,
- Birleşik yan savak ve kapak yapıları, klasik dikdörtgen yan savak ve üçgen, yarım dairesel ve dikdörtgen kapaklarla karşılaştırıldığında, birleşik yan savak ve kapak etkileşim faktörünün daha büyük değerler sunduğu,
- Birleşik yan savak ve kapak deşarj kapasitesinin klasik yan savak ve kapaklara oranla üstünlüğü,
- Mevcut çalışmanın sonuçları yan savak ve kapak literatürü ile uyumlu olduğu
- De Marchi yaklaşımının birleşik savak-kapak yapılarına uygulanabileceği deneysel ve sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlara göre bulunmuştur.

ÖNERİLER

Henüz yandan alışı akımlar için yeni olan birleşik yan savak ve kapak yapısının hidrolik karakteristiklerinin anlaşılması için, üzerinde yoğunlaşılması gerekmekte olup, yürütülen çalışma neticesinde elde edilen bulgular ışığında belirlenen öneriler şöyle sıralanabilir:

- Geometrik parametrelerin deşarj kapasitesi üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- Farklı kıvrım açılarına sahip kıvrımlı kanallarda söz konusu yapı test edilebilir.
- Birleşik yan savak ve kapak yapısından geçen akımın toplama kanalında oluşturduğu yerel oyulmalar incelenebilir.
- Birleşik yan savak-kapak akımı için batıklık durumu incelenebilir.



KAYNAKLAR

- [1] M. Berkün, Su Yapıları, Birsen Yayın Evi, İstanbul, 2007.
- [2] G. De Marchi, Essay on the performance of lateral weirs, *L' Energia Elettrica*, 11 (1934) 849-860.
- [3] F. Domínguez, Hidráulica, Editorial Universitaria, Santiago, 1935.
- [4] M. Schmidt, Zur Frage Des Abflusses Uber Streichwehre, *Techaniv Berlin-Charlottenbury*, Mitteilung, 41(1954) 1-68.
- [5] S.M. Borghei, M.R. Jalili, M. Ghodsian, Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, 125 (1999) 1051–1056.
- [6] S. Ranga Raju, KG., Prasad, B., Gupta, Side weir in rectangular channels, *Journal of Hydraulics Division*, 105 (1979) 547–554.
- [7] W.H. Hager, Lateral outflow over side weirs, *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 113 (1987) 491–504.
- [8] P.K. Swamee, Santosh, K. Pathak, M. Mohan, S.K. Agrawal, M.S. Alp, Subcritical Flow over Rectangular Side Weir, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120 (1994) 212–217.
- [9] M.E. Emiroglu, N. Kaya, H. Agaccioglu, Discharge Capacity of Labyrinth Side Weir Located on a Straight Channel, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136 (2010) 37–46. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000112](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000112).
- [10] M.E. Emiroglu, N. Kaya, Discharge Coefficient for Trapezoidal Labyrinth Side Weir in Subcritical Flow, *Water Resources Management*, 25 (2011) 1037–1058. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9740-7>.
- [11] M.E. Emiroglu, H. Agaccioglu, N. Kaya, Discharging capacity of rectangular side weirs in straight open channels, *Flow Measurement and Instrumentation*, 22 (2011) 319–330. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2011.04.003>.
- [12] N. Kaya, M.E. Emiroglu, H. Agaccioglu, Discharge coefficient of a semi-elliptical side weir in subcritical flow, *Flow Measurement and Instrumentation*, 22 (2011) 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2010.11.002>.
- [13] H. Agaccioglu, M.E. Emiroglu, N. Kaya, Discharge coefficient of side weirs in curved channels, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management*, 165 (2012) 339–352. <https://doi.org/10.1680/wama.11.00007>.
- [14] M. Emin Emiroglu, M. Cihan Aydin, N. Kaya, Discharge Characteristics of a Trapezoidal Labyrinth Side Weir with One and Two Cycles in Subcritical Flow, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140 (2014) 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000709](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000709).
- [15] S. Bagheri, A.R. Kabiri-Samani, M. Heidarpour, Discharge coefficient of rectangular sharp-crested side weirs Part II: Domínguez's method, *Flow Measurement and Instrumentation*, 35 (2014) 116–121. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2013.10.006>.
- [16] A. Shariq, A. Hussain, M.A. Ansari, Lateral flow through the sharp crested side rectangular weirs in open channels, *Flow Measurement and Instrumentation*, 59 (2018) 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2017.11.007>.
- [17] A. Maranzoni, M. Pilotti, M. Tomirotti, Experimental and Numerical Analysis of Side Weir Flows in a Converging Channel, *Journal of Hydraulic Engineering*, 143 (2017) 04017009. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0001296](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001296).
- [18] M.E. Emiroglu, E. Ikinciogullari, Determination of discharge capacity of rectangular side weirs using Schmidt approach, *Flow Measurement and Instrumentation*, 50 (2016) 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2016.06.021>.
- [19] M.C. Aydin, M.E. Emiroglu, Determination of capacity of labyrinth side weir by CFD, *Flow Measurement and Instrumentation*, 29 (2013) 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2012.09.008>.

- [20] V.T. Chow, Open-channel hydraulics. International student edition, McGraw-Hill, Tokyo, 1959.
- [21] Y. Yalçın, Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik, Beta Basım, Kırklareli, 2000.
- [22] E. İkinciogulları, Yan Savak Deşarj Kapasitesinin Schmidt Yaklaşımı ile Belirlenmesi, YL Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, 2015.
- [23] T. Özbek, Açık Kanal Akımlarının Hidroliği ve Hidrolik Yapılar, Teknik Yayınevi, Ankara, 2009.
- [24] C.S.P. Ojha, D. Subbaiah, Analysis of Flow through Lateral Slot, Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 123 (1997) 402–405. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(1997\)123:5\(402\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(1997)123:5(402)).
- [25] P.K. Swamee, S.K. Pathak, M.S. Ali, Analysis of Rectangular Side Sluice Gate, Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 119 (1993) 1026–1035. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(1993\)119:6\(1026\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(1993)119:6(1026)).
- [26] M. Ghodsian, Flow through Side Sluice Gate, Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 129 (2003) 458–463. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2003\)129:6\(458\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2003)129:6(458)).
- [27] S. Panda, Characteristics of side sluice flow, Msc Thesis, University of Roorkee, 1981.
- [28] F.H. Ahmed, Characteristics of Discharge of Combined Flow Through Sluice Gate and Over Weirs, Journal of Engineering and Technology, Iraq. 3 (1985) 49–65.
- [29] A.A. Alhamid, D. Husain, A.A.M. Negm, Discharge equation for simultaneous flow over rectangular weirs and below inverted triangular weirs, Arab Gulf Journal of Scientific Research. 14 (1996) 595–607.
- [30] A.M. Negm, Experimental Investigation on Simultaneous Flow Through Combined Box Culverts and Over Contracted Broad-Crested Weirs, in: Advances in Hydro-Science and –Engineering, Proc. of 5th Int. Conf. on Hydro-Science and –Engineering, Warsaw, 2002.
- [31] A.A. Alhamid, A.A.M. Negm, A.M. Al-Brahim, Discharge Equation for Proposed Self-cleaning Device, Journal of King Saud University - Engineering Sciences. 9 (1997) 13–23. [https://doi.org/10.1016/S1018-3639\(18\)30664-0](https://doi.org/10.1016/S1018-3639(18)30664-0).
- [32] A.B. Altan-Sakarya, M.A. Kökpınar, Computation of discharge for simultaneous flow over weirs and below gates (H-weirs), Flow Measurement and Instrumentation. 29 (2013) 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2012.09.007>.
- [33] A. Severi, M. Masoudian, E. Kordi, K. Roettcher, Discharge coefficient of combined-free over-under flow on a cylindrical weir-gate, ISH Journal of Hydraulic Engineering. 21 (2015) 42–52. <https://doi.org/10.1080/09715010.2014.939503>.
- [34] V. Ferro, Simultaneous Flow over and under a Gate, Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 126 (2000) 190–193. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2001\)127:5\(325\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2001)127:5(325)).
- [35] S. Salehi, A.H. Azimi, Discharge Characteristics of Weir-Orifice and Weir-Gate Structures, Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 145 (2019) 04019025. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0001421](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0001421).
- [36] H. Arvanaghi, G. Mahtabi, Hydraulic characteristics of rectangular combined sharp-crest weir-gate, Advances in Environmental Biology. 8 (2014) 32–38.
- [37] A.M. Negm, Modeling of submerged simultaneous flow through combined weirs and gates devices, in: Advances in Hydro-Science and –Engineering, Proc. of 5th Int. Conf. on Hydro-Science and –Engineering, Warsaw, 2002. <http://kfki.baw.de/fileadmin/conferences/ICHE/2002-Warsaw/ARTICLES/PDF/15D.pdf>.
- [38] A. Severi, M. Masoudian, E. Kordi, K. Roettcher, Discharge coefficient of combined-free over-under flow on a cylindrical weir-gate, ISH Journal of Hydraulic Engineering. (2014) 1–11. <https://doi.org/10.1080/09715010.2014.939503>.
- [39] A.A.M. Negm, A.M. Al-Brahim, A.A. Alhamid, Combined-free flow over weirs and below gates, Journal of Hydraulic Research. 40 (2002) 359–365. <https://doi.org/10.1080/00221680209499950>.
- [40] A.B. Özyaydın, Vehbi, Kökpınar, M. Ali, Altan-Sakarya, Birleşik Çalışan Savak ve Kapaklarda Debi Ölçümü, in: II. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, İzmir, 2005.

- [41] A.A. Alhamid, Analysis and formulation of flow through combined V-notch-gate-device, *Journal of Hydraulic Research*. 37 (1999) 697–705. <https://doi.org/10.1080/00221689909498524>.
- [42] A.B. Altan-Sakarya, M.A. Kokpinar, A. Duru, Numerical modelling of contracted sharp-crested weirs and combined weir and gate systems, *Irrigation and Drainage*. (2020) 1–11. <https://doi.org/10.1002/ird.2468>.
- [43] M. Nouri, M. Hemmati, Discharge coefficient in the combined weir-gate structure, *Flow Measurement and Instrumentation*. 75 (2020) 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2020.101780>.
- [44] J.M. Samani, M. Mazaheri, Combined Flow over Weir and under Gate, *Journal of Hydraulic Engineering*. 135 (2009) 224–227. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(2009\)135:3\(224\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(2009)135:3(224)).
- [45] A. Parsaie, H.M. Azamathulla, A.H. Haghiabi, Prediction of discharge coefficient of cylindrical weir-gate using GMDH-PSO, *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 24 (2018) 116–123. <https://doi.org/10.1080/09715010.2017.1372226>.
- [46] A. Parsaie, A.H. Haghiabi, M. Saneie, H. Torabi, Predication of discharge coefficient of cylindrical weir-gate using adaptive neuro fuzzy inference systems (ANFIS), *Frontiers of Structural and Civil Engineering*. 11 (2017) 111–122. <https://doi.org/10.1007/s11709-016-0354-x>.
- [47] S. Bagheri, A.R. Kabiri-Samani, M. Heidarpour, Discharge coefficient of rectangular sharp-crested side weirs, Part I: Traditional weir equation, *Flow Measurement and Instrumentation*. 35 (2014) 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2013.11.005>.
- [48] R. Singh, D. Manivannan, T. Satyanarayana, Discharge Coefficient of Rectangular Side Weirs, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 120 (1994) 814–819.
- [49] S. Bagheri, M. Heidarpour, Characteristics of Flow over Rectangular Sharp-Crested Side Weirs, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 138 (2012) 541–547. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000433](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000433).
- [50] F.M. Henderson, *Open channel flow*, 1966.
- [51] S. Subramanya, K. ve Awasthy, Spatially Varied Flow over Side Weirs, *Journal of Hydraulics Division*. 98 (1972) 1–10.
- [52] A.M.M. El-Khashab, *Hydraulic of Flow Over Side Weirs*, University of Southampton, 1975.
- [53] A. Nandesamoorthy, T. ve Thomson, Discussion of Spatially Varied Flow Over Side Weir, *Journal of Hydraulic Engineering*. 98 (1972) 2234–2235.
- [54] L. Yu-Tech, Discussion of spatially varied flow over side weir, *Journal Hydraulic Engineering*. 98 (1972) 2046–2048.
- [55] A.K. Ura M., Kita Y., Akiyama J., Moriyama H., Jha, Discharge Coefficient of Oblique Side-Weirs, *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering*. 19 (2001) 85–96.
- [56] S.M. Borghei, M.A. Nekooie, H. Sadeghian, M.R.J. Ghazizadeh, A. Parvaneh, J. Yang, A. Javaheri, A. Kabiri-Samani, Triangular labyrinth side weirs with one and two cycles, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management*. 166 (2013) 27–42. <https://doi.org/10.1680/jwama.15.00032>.
- [57] S.M. Borghei, A. Parvaneh, Discharge characteristics of a modified oblique side weir in subcritical flow, *Flow Measurement and Instrumentation*. 22 (2011) 370–376. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2011.04.009>.
- [58] M.E. Emiroglu, M. Gogus, M. Tunc, K. Islamoglu, Effects of Antivortex Structures Installed on Trapezoidal Labyrinth Side Weirs on Discharge Capacity and Scouring, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 143 (2017) 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0001158](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0001158).
- [59] Z. Kılıç, Piyano Tuşu Yan Savakların Hidrolik Karakteristiklerinin Sayısal ve Deneysel Analizi, *Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi*, 2020.
- [60] M.A. Gill, Flow through side slots, *Journal of Environmental Engineering*. 113 (1987) 1047–1057.
- [61] M. Esmailzadeh, M. Heidarpour, S.S. Eslamian, Flow Characteristics of a Sharp-Crested Side Sluice Gate, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 141 (2015) 06014007.

[https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000852](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000852).

- [62] H.M. Azamathulla, Z. Ahmad, A. Ab. Ghani, Computation Of Discharge Through Side Sluice Gate Using Gene-Expression Programming, *Irrigation and Drainage*. 62 (2013) 115–119. <https://doi.org/10.1002/ird.1698>.
- [63] S.R.K. and M.R. H. Kianmehr, Analysis of Sharp-Crested Rectangular Side Sluice Gates in Sub-Critical Flow Regimes, Based on Spatial Variable Flow Theory and Sluice Gate Discharge Equation, *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*. 20 (2020) 17–38. <https://doi.org/10.22092/irdser.2019.124471.1366>.
- [64] H.M. Azamathulla, S. Emamgholizadeh, A. Parsaie, A.H. Haghiabi, Prediction of discharge coefficient of combined weir-gate using ANN, ANFIS and SVM, *International Journal of Hydrology Science and Technology*. 9 (2019) 412–430. <https://doi.org/10.1504/ijhst.2019.10024040>.
- [65] M.H. Askeroğlu, Trapez Savakların Üstünden ve Kapakların Altından Olan Kombine Akımlar, Gazi Üniversitesi, 2006.
- [66] S.A. Jalil, Simulation Analysis of Combined Flow over and under Semi-Cylindrical Structure, *Journal of University of Babylon for Engineering Sciences*. 27 (2019) 39–49. <https://doi.org/10.29196/jubes.v27i2.2291>.
- [67] A. Duru, Numerical Modelling of Contracted Sharp Crested Weirs, Middle East Technical University, 2014.
- [68] S.I. Khassaf, M. Habeeb, Experimental Investigation for Flow Through Combined Trapezoidal Weir and Rectangular Gate, *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 5 (2014) 809–814.
- [69] A. Parsaie, Abbas ve Haghiabi, Mathematical expression for discharge coefficient of Weir-Gate using soft computing techniques, *Journal of Applied Water Engineering and Research*. 9 (2021) 175–183.
- [70] M. Ghodsian, F. Feyzollahi, M. Ghodsian, Flow through side-combined structure in a channel bend under subcritical flow regime, *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 00 (2020) 1–9. <https://doi.org/10.1080/09715010.2020.1861487>.
- [71] J. Novák, P. ve Cabelka, Models in hydraulic engineering; physical principles and design applications., Pitman Advanced Publishing Program, 1981.
- [72] G.L. Hussain, A., Ahmad, Z., Asawa, Discharge characteristics of sharp-crested circular side orifices in open channels, *Flow Measurement and Instrumentation*. 21 (2010) 418–424.
- [73] J. Calitz, Analysis of the Hydrodynamics of rectangular plunging Jets and the subsequent scouring in broken-up rock beds, Stellenbosch University, 2016.
- [74] E. İkinioğulları, Serbest Düşülü Savakların Mansabında Oluşan Yerel Oyulmanın Analizi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, 2019.
- [75] W.C. Reynolds, The Potential and Limitations of Direct and Large Eddy Simulations, Lecture notes in physics, 1990.
- [76] E. Flohr, P. ve Balaras, Large Eddy Simulation of a Turbulent Boundary Layer, Belgium, 1995.
- [77] Flow-3D User Manual, Flow Science Inc., 2022.
- [78] S. Kocaman, Baraj Yıkılması Probleminin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [79] R. Ghasemlouunia, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliğinde FLOW-3D, Nobel Yayınevi, Ankara, 2021.
- [80] E. Usta, Numerical Investigation of Hydraulic Characteristics of Laleli Dam Spillway and Comparison with Physical Model Study, M.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Civil Engineering Department, 2014.
- [81] <https://www.flow3d.com/modeling-capabilities/turbulence>, (Erişim:18.07.2022)
- [82] F.H. Harlow, P.I. Nakayama, Turbulence-Transport-Equations, *The Physics of Fluid*. 10 (1967)

2323–2332.

- [83] W. Rodi, Turbulence models and their application in hydraulics: a state of the art review, in: International Association for Hydraulic Research (IAHR), Delft, The Netherlands., 1980.
- [84] V. Yakhot, S.A. Orszag, Renormalization-Group-Analysis-of-Turbulence. I.-Basic-Theory, Journal of Scientific Computing. 1 (1986) 3–51.
- [85] V. Yakhot, L.M. Smith, The renormalization group, the ϵ -expansion and derivation of turbulence models, Journal of Scientific Computing. (1992) 35–61.
- [86] D.C. Wilcox, Reassessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models, AIAA Journal. 26 (1988) 1299–1310. <https://doi.org/10.2514/3.10041>.
- [87] D.C. Wilcox, Turbulence Modeling for CFD, 2nd ed., DCW Industries, La Canada, California, 1998.
- [88] D.C. Wilcox, Formulation of the k - ω turbulence model revisited, AIAA Journal. 46 (2008) 2823–2838. <https://doi.org/10.2514/1.36541>.
- [89] A.N. Kolmogorov, Equations of turbulent motion in an incompressible fluid, Izvestia Academy of Sciences, USSR; Physics. 6 (1942) 56–58.
- [90] M.H. Shojaei Fard, F.A. Boyaghchi, Studies on the influence of various blade outlet angles in a centrifugal pump when handling viscous fluids, American Journal of Applied Sciences. 4 (2007) 718–724. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2007.718.724>.
- [91] J. Smagorinsky, General Circulation Experiments with the Primitive Equations, Monthly Weather Review. 91 (1963) 99–164. <https://doi.org/10.1126/science.12.306.731-a>.
- [92] M. Emiroglu, M.E., Kaya, N., Ozturk, Investigation of Labyrinth Side Weir Flow and Scouring at the Lateral Intake Region in a Curved Channel, The Scientific and Technological Research Council of Turkey, Engineering Science Research Grant Group, Project, 104M394. (2007).

ÖZGEÇMİŞ

Veysi KARTAL

[illegible]

AKADEMİK FAALİYETLER

Makaleler:

1. Kartal, V., & Emiroglu, M. E. (2021). Local scour due to water jet from a nozzle with plates. *Acta Geophysica*, 69(1), 95-112
2. Kartal, V., & Emiroğlu, M. E. (2021) Su Jetlerinde Oyulmanın Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi. *Su Kaynakları*, 6(1), 15-29.
3. Kartal, V., & Emiroglu, M. E. (2022). Experimental study of scour morphology from plunging water jets. *Water Supply*, 22(5), 5410-5433.
4. Kartal, V., & Emiroglu, M. E. (2022). Experimental analysis of combined side weir-gate located on a straight channel. *Flow Measurement and Instrumentation*, 88(C), 102250, <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2022.102250> (yayın şartı)

Bildiriler:

1. Kartal, V., & Emiroglu, M. E. (2019) Experimental investigation of scour geometry formed due to water jets, ICEARCH, Trabzon
2. Kartal, V., & Emiroglu, M. E. (2022) Simultaneous lateral flow over weirs and under gates (H-weirs), 14th International Conference on Hydrosience & Engineering May 26-27, 2022 Izmir-Turkey.