

Akarsu Kavşaklarında Akım Derinliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Cihan Canıbek ORCID 0000-0001-6316-5919

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Gökçen Bombar

Kasım 2021

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **Cihan Canıbek** tarafından hazırlanan **Akarsu Kavşaklarında Akım Derinliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması** başlıklı bu çalışma tarafımızca okunmuş olup, yapılan savunma sınavı sonucunda kapsam ve nitelik açısından başarılı bulunarak jürimiz tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

ONAYLAYANLAR:

Tez Danışmanı:	Doç. Dr. Gökçen Bombar
	İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyeleri:

Doç. Dr. Ebru Eriş Ege Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Erman Ülker İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Savunma Tarihi: 30.11.2021

Yazarlık Beyanı

Ben, Cihan Canıbek, başlığı Akarsu Kavşaklarında Akım Derinliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması olan bu tezimin ve tezin içinde sunulan bilgilerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim. Ayrıca:

- Bu çalışmanın bütünü veya esası bu üniversitede Yüksek Lisans derecesi elde etmek üzere çalıştığım süre içinde gerçekleştirilmiştir.
- Daha önce bu tezin herhangi bir kısmı başka bir derece veya yeterlik almak üzere bu üniversiteye veya başka bir kuruma sunulduysa bu açık biçimde ifade edilmiştir.
- Başkalarının yayımlanmış çalışmalarına başvurduğum durumlarda bu çalışmalara açık biçimde atıfta bulundum.
- Başkalarının çalışmalarından alıntıladığımda kaynağı her zaman belirttim. Tezin bu alıntılar dışında kalan kısmı tümüyle benim kendi çalışmamdır.
- Kayda değer yardım aldığım bütün kaynaklara teşekkür ettim.
- Tezde başkalarıyla birlikte gerçekleştirilen çalışmalar varsa onların katkısını ve kendi yaptıklarımı tam olarak açıkladım.

Tarih: 30.11.2021

Akarsu Kavşaklarında Akım Derinliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması

Öz

İki veya daha fazla akarsuyun birleşerek kavşak noktası oluşturmaları, açık kanal hidroliği alanında sık karşılaşılan bir durumdur. Kavşaklar, hidrolik açıdan önemli kontrol noktalarıdır. Kavşak içinde memba ve mansap derinliklerinin bilinmesi yüzey profilinin belirlenebilmesi açısından önem arz etmektedir.

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada, mansap derinliği ve yan kollardan gelen debiler değiştirilerek farklı koşullar oluşturulmuş ve kavşak içi ve yakınındaki akım derinlikleri ölçülmüştür. Birbirine simetrik 90° açıyla birleşen yan kolların ve ana kanalın genişliği sırasıyla 1 m ve 2 m'dir. Kavşak noktasında yan kollar ile ana kanalın taban kotları eşit olacak şekilde düzenlenmiştir. Çalışmada, ana kanalda ve yan kollarda Froude sayıları 1'den küçük olup tüm deneyler nehir rejiminde olmuştur. Reynolds sayısı 2000'den büyük olduğundan tüm deneyler türbülanslı akım koşulunda gerçekleşmiştir. Yan kol ve ana kanal debileri arasındaki oran ile akımın nehir rejiminde olmasına bağlı olarak akım derinlikleri incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılmış olan deneylerde ana kanalda taban eğimi 0 ve akım derinliği kritik akım derinliğinden büyük ($h > h_c$) olup çalışmalar nehir rejiminde yapıldığından ana kanalda H2 profili gözlenmiştir.

Yan kollarda ise ve taban eğimi 0,002, kanal taban eğimi kritik eğimden küçük ($S_0 < S_c$) ve akım derinliği üniform ve kritik akım derinliğinden büyük ($h > h_0 > h_c$) olup M1 profili gözlenmiştir.

Momentum denklemi, birleşimde seçilen noktalarda uygulandığında bu noktalarda ölçülmüş olan deneysel değerlerle, momentum denkleminin uygulanmasıyla elde edilen veriler arasında uyumluluk olduğu tespit edilmiştir. Birleşimlerin membasında akım derinliklerinin eşit olduğu varsayımı doğrulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Akarsu kavşağı, akım derinliği, debi oranı

Experimental Investigation of Flow Depths at Confluences

Abstract

In the open channels it is common that the flows of two or more channels merge into a single downstream channel forming a confluence. In terms of hydraulics, confluences are important control points. In addition to this, it is very important to know upstream and downstream flow depth in a confluence in terms of determining water surface profile.

In this study which is conducted in İzmir Katip Çelebi University Hydraulics Laboratory, with different downstream flow depths and tributary channel flow rates the flow depths are measured in the vicinity of confluence. Width of tributary channels and main channel are 1 m and 2 m respectively and the angle between the tributary channels is 90°. Bed elevation of main channel and tributary channels are equal, i.e. they are concordant. The Froude numbers are less then 1, so the flow regime is subcritical at all experiments. The Reynolds number is more than 2000 which means the flow is turbulent. Depending on discharge ratios between tributary channels and main channel the flow depths are investigated.

In main channel bed slope is 0, flow depth is greater than critical flow depth $(h>h_c)$ and flow regime is subcritical so H2 profile was observed in the main channel.

In tributary channels bed slope is 0,002, bed slope is less than critical slope ($S_0 < S_c$), flow depth is greater than uniform flow depth and critical flow depth ($h > h_0 > h_c$) so M1 profile was observed in lateral channels. Flow depth in the confluence observed higher than downstream flow depth on each experiment set.

When momentum equation applied in selected points in the confluence, experimental values and values obtained from momentum equation shows well conformality. Assumption of flow depth equality on upstream of confluences was confirmed.

Keywords: Confluence, flow depth, discharge ratio

Aileme ve Tüm Sevdiklerime

Teşekkür

Bu tez çalışmasında; gerek ders aşamasında gerekse tez döneminde desteğini ve yardımını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Gökçen Bombar'a ve tez çalışmasının tüm aşamalarında desteğini esirgemeyen meslektaşım Mustafa Eyhan'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca uzun süren tez çalışması boyunca beni cesaretlendiren anneme ve kardeşime teşekkürü borç bilirim.

Bu tez çalışması 2017-T2L-FEBE-0041 No.lu "Akarsu Kavşaklarında Akım Derinliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması" isimli proje kapsamında yapılmıştır.

İçindekiler

Ya	zarlık Beyanı	ii
Öz	i	iii
Ał	stract	v
Te	şekkürvi	iii
Şe	ciller Listesi	xi
Та	ololar Listesix	vi
Kı	saltmalar Listesi xi	ix
Se	nboller Listesi x	X
1	Giriş	1
2	Teorik İnceleme	.5
	2.1 Açık Kanal Kavşakları Konusundaki Önceki Çalışmalar	8
	, , , , ,	.0
3	Deney Düzeneği, Cihazlar ve Deneysel Yöntem	.0 34
3	Deney Düzeneği, Cihazlar ve Deneysel Yöntem	.0 34 34
3	Deney Düzeneği, Cihazlar ve Deneysel Yöntem	.6 34 34
3	Deney Düzeneği, Cihazlar ve Deneysel Yöntem	.0 34 34 16
3	Deney Düzeneği, Cihazlar ve Deneysel Yöntem	.0 34 34 46 46
3	Deney Düzeneği, Cihazlar ve Deneysel Yöntem	.0 34 16 16 17
3	Deney Düzeneği, Cihazlar ve Deneysel Yöntem	.0 34 34 46 46 47 50
3	Deney Düzeneği, Cihazlar ve Deneysel Yöntem	.0 34 46 46 46 47 50 52 59

5 Sayısal Çözüm	75
5.1 Açık Kanallarda Su Yüzey Profilleri	75
5.2 Enerji Denklemi	78
5.2.1 Direkt Adım Yöntemi	79
5.2.2 Standart Adım Yöntemi	80
5.3 Momentum Denklemi	80
5.4 Sayısal Çözüm İle Deneysel Verilerin Karşılaştırılması	82
5.4.1 Momentum Denkleminin Uygulanması	82
5.4.2 Enerji Denkleminin Uygulanması	85
6 Sonuç	99
Kaynaklar	101
Ekler	104
Ek A Ölçüm Noktalarındaki Akım Derinlikleri	105
Özgeçmiş	145

Şekiller Listesi

Şekil 1.1	Akarsu kavşağı, Negro ve Solimoes nehirlerinin birleşimi, Brezilya	. 1
Şekil 1.2	Simetrik akarsu kavşağında bulunan parametreler	2
Şekil 1.3	Asimetrik akarsu kavşağı	.3
Şekil 2.1	Simetrik akarsu kavşağı, Suprasl ve Biala nehirleri - Polonya	. 6
Şekil 2.2	Asimetrik akarsu kavşağı, Thompson ve Fraser nehirleri - Canada	. 6
Şekil 2.3	Asimetrik açık kanal kavşaklarında akım karakteristiği	. 7
Şekil 2.4	Kavşaktaki akış dinamiğinin genel şematiği	. 8
Şekil 2.5	Kavşak geometrisi, ana dalga cephesi	10
Şekil 2.6	Akarsu kavşaklarındaki akım yapısı üzerine kavramsal model	12
Şekil 2.7	Akım geometrisi, kontrol hacmi ve ayrılma bölgesinin tanımlanması	
	······	13
Şekil 2.8	Dik açılı, dikdörtgen enkesitli açık kanal kavşağında akımların birleşmes	i
	·····	15
Şekil 2.9	Deney düzeneğinin plan görünümü, ölçümlerin şematik gösterimi	16
Şekil 2.10	Deney düzeneğinin şematik gösterimi	8
Şekil 2.11	Bir akarsu kavşağında akım yapısı	20
Şekil 2.12	Deney düzeneğinin plan görünümü	22
Şekil 2.13	Deney düzeneği ve kontrol hacminin şematik gösterimi	23
Şekil 2.14	4 45° açıyla birleşen rögar kavşağının tanımlanması: (a) Plan, (b) Kes	sit
		24
Şekil 2.15	Deney düzeneğinin görünümü	26
Şekil 2.16	6 Birleşen akım tipindeki kavşağın şematik gösterimi	28
Şekil 2.17	' Ele alınan birleşim bölgesinin şematiği	30
Şekil 2.18	Kavşağın memba kısımlarındaki akım derinlikleri arasındaki ilişki	
(o Tip I ve	e Tip II; + Tip III)	32

Şekil 3.1	Deney düzeneğinin plan görünümü	6
Şekil 3.2	Deney düzeneği, (a) Sağ yan kol, (b) Sol yan kol	7
Şekil 3.3	Deney düzeneğinin kavşak noktası	7
Şekil 3.4	Deney düzeneği, (a) Zemin kat planı	8
Şekil 3.4	Deney düzeneği, (b) Bodrum kat planı	9
Şekil 3.5	Zemin kat, akış şeması 4	0
Şekil 3.6	Bodrum kat, akış şeması 4	0
Şekil 3.7	Sürgülü vana (V1, V2, V3) ile kelebek vanalar (V4)4	1
Şekil 3.8	Sağ yan kol 4	2
Şekil 3.9	Sol yan kol 4	2
Şekil 3.10	Kanal mansabında bulunan çukur ve mansap kapağı 4	3
Şekil 3.11	Bodrum katta bulunan devridaim tankı4	4
Şekil 3.12	Bodrum katta bulunan su deposu4	4
Şekil 3.13	(a) Bir Nolu hat ve (b) İki Nolu hat üzerindeki kelebek vanalar 4	5
Şekil 3.14	1 No.lu santrifüj pompa, sağ yan kol 4	5
Şekil 3.15	2 No.lu santrifüj pompa, sol yan kol4	6
Şekil 3.16	1 No.lu pompanın şalteri, sağ yan kol4	6
Şekil 3.17	2 No.lu pompanın şalteri, sol yan kol4	7
Şekil 3.18	(a) Debimetre, (b) Masaüstü bilgisayar ve debimetre ölçüm ekranı 4	8
Şekil 3.19	(a) Dikdörtgen savağın plan görünümü ve kumpasın savak üzerindeki yer	i,
(b) Keski	n kenarlı dikdörtgen savak kesiti, (c) Dikdörtgen savağın yan cephede	n
görünümü	, (d) Dikdörtgen savağın 3 boyut görünümü4	9
Şekil 3.20	Dikdörtgen kesitli savağa sabitlenen kumpas4	9
Şekil 3.21	Limnimetre	1
Şekil 3.22	Düzlemsel hizalama lazeri	1
Şekil 3.23	(a) Deney düzeneği üzerindeki ölçüm noktaları	4
Şekil 3.23	(b) Yan kollar ve kavşaktaki ölçüm noktaları5	5
Şekil 3.24	Deney setinde tanımlanmış eksen takımı	6
Şekil 4.1	h_{48} ve h_{29} noktalarında ölçülen değerlerin grafiği6	3
Şekil 4.2	Deney 1, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kana	ıl
ekseninde	su yüzeyi profilleri, (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşa	k
görünümü		5

Şekil 4.3 Deney 2, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri, (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak Şekil 4.4 Deney 3, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri, (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak Şekil 4.5 Deney 4, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri, (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak Sekil 4.6 Deney 5, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri, (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak Şekil 4.7 Deney 6, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri, (c) Kavsaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavsak Şekil 4.8 Deney 7, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri, (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak Sekil 4.9 Deney 8, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri, (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak Şekil 4.10 Deney 9, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri, (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak Sekil 4.11 Deney 10, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri, (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak

Şekil 5.1	Su yüzey	vi profill	leri v	e tipleri (a) M	fild: yu	muşak	eğin	n, (b) Steep	: sert	eğim,
(c) Critic	al: kritik	eğim,	(d)	Horizontal:	yatay	eğim,	(e)	Adverse:	ters	eğim
										76
Şekil 5.2	Su yüzey	v profili			•••••	•••••				78
Şekil 5.3	Birleşim	de mom	nentu	m denklemin	in uygı	ulandığ	1 nok	talar		81

Şekil 5.4	Denklemden elde edilen h_{48} 'e karşılık gelen değerler
Şekil 5.5	Denklemden elde edilen h_{29} 'a karşılık gelen değerler
Şekil 5.6	Deney 1, farklı n değerleri için elde edilen grafikler, a) $n = 0,015$,
b) $n = 0.01$	7, c) $n = 0.02285$
Şekil 5.7	Deney 1 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri86
Şekil 5.8	Deney 2 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri86
Şekil 5.9	Deney 3 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri86
Şekil 5.10	Deney 4 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri87
Şekil 5.11	Deney 5 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri 87
Şekil 5.12	Deney 6 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri87
Şekil 5.13	Deney 7 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri88
Şekil 5.14	Deney 8 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri88
Şekil 5.15	Deney 9 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri88
Şekil 5.16	Deney 10 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri89
Şekil 5.17	Ana kanalada ölçülen ve hesaplanan su seviyelerinin karşılaştırılması,
(a) Deney	1, (b) Deney 2, (c) Deney 3, (d) Deney 4, (e) Deney 5, (f) Deney 6,
(g) Deney 7	7, (h) Deney 8, (ı) Deney 9, (i) Deney 1090
Şekil 5.18	8 Su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri
(a) Deney	1 sağ kol, (b) Deney 1 sol kol, (c) Deney 2 sağ kol, (d) Deney 2 sol
kol	
Şekil 5.19	9 Su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri
(e) Deney	3 sağ kol, (f) Deney 3 sol kol, (g) Deney 4 sağ kol, (h) Deney 4 sol kol,
(1) Deney 5	sağ kol, (i) Deney 5 sağ kol93
Şekil 5.20) Su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri
(j) Deney 6	6 sağ kol, (k) Deney 6 sol kol, (l) Deney 7 sağ kol, (m) Deney 7 sol kol,
(n) Deney 8	3 sağ kol, (o) Deney 8 sol kol94
Şekil 5.21	l Su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri
(p) Deney	9 sağ kol, (r) Deney 9 sol kol, (s) Deney 10 sağ kol, (t) Deney 10 sol
kol	

Tablolar Listesi

Tablo 3.1	Araştırma kapsamında deney setindeki değişken parametreler ve
değerleri	
Tablo 3.2	Ana kanalda ölçüm noktalarının <i>x</i> , <i>y</i> ve <i>z</i> eksenlerindeki değerleri56
Tablo 3.3	Sağ yan kolda ölçüm noktalarının <i>x, y, z ve l</i> eksenlerindeki değerleri57
Tablo 3.4	Ana kanalda y eksenine göre sağ kol tarafında ölçüm yapılan
noktaların .	x, y ve z eksenlerindeki değerleri57
Tablo 3.5	Sol yan kolda ölçüm noktlarının x , y , z ve l eksenlerindeki değerleri58
Tablo 3.6	Ana kanalda y eksenine göre sol kol tarafında ölçüm yapılan
noktaların .	x, y ve z eksenlerindeki değerleri
Tablo 4.1	Deneylerde elde edilen akım derinlikleri
Tablo 4.2	Deneylerde elde edilen ortalama kesitsel Froude sayısı ($Fr = V/\sqrt{gh}$)
değerleri	
Tablo 4.3	Deneylerde elde edilen Reynolds sayısı ($Re = V.R/v$) değerleri62
Tablo 4.4	Ana kanalda elde edilen Froude sayısı değerleri
Tablo 4.5	h_{48} ve h_{29} noktalarında ölçülen değerler
Tablo 5.1	Su yüzey profilleri tablosu77
Tablo 5.2	Momentum denklemi ve deneysel verilere ait bilgiler
Tablo 5.3	Ana kanalda deneysel çalışma ve direkt adım yöntemi arasındaki
sapmalar	
Tablo 5.4	Sağ yan kolda deneysel çalışma ve direkt adım yöntemi arasındaki

sapma	lar										98
Tablo	5.5	Sol	yan	kolda	deneysel	çalışma	ve	direkt	adım	yöntemi	arasındaki
sapma	lar										98

Tablo A.1.1	Deney 1 – Sağ yan koldaki derinlikler	.105
Tablo A.1.2	Deney 1 – Sol yan koldaki derinlikler	.106
Tablo A.1.3	Deney 1 – Ana kanaldaki derinlikler	.107
Tablo A.1.4	Deney 1 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler	.108
Tablo A.1.5	Deney 2 – Sağ yan koldaki derinlikler	.109
Tablo A.1.6	Deney 2 – Sol yan koldaki derinlikler	.110
Tablo A.1.7	Deney 2 – Ana kanaldaki derinlikler	.111
Tablo A.1.8	Deney 2 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler	.112
Tablo A.1.9	Deney 3 – Sağ yan koldaki derinlikler	.113
Tablo A.1.10	Deney 3 – Sol yan koldaki derinlikler	.114
Tablo A.1.11	Deney 3 – Ana kanaldaki derinlikler	.115
Tablo A.1.12	Deney 3 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler	.116
Tablo A.1.13	Deney 4 – Sağ yan koldaki derinlikler	.117
Tablo A.1.14	Deney 4 – Sol yan koldaki derinlikler	.118
Tablo A.1.15	Deney 4 – Ana kanaldaki derinlikler	.119
Tablo A.1.16	Deney 4 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler	.120
Tablo A.1.17	Deney 5 – Sağ yan koldaki derinlikler	.121
Tablo A.1.18	Deney 5 – Sol yan koldaki derinlikler	.122
Tablo A.1.19	Deney 5 – Ana kanaldaki derinlikler	.123
Tablo A.1.20	Deney 5 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler	.124
Tablo A.1.21	Deney 6 – Sağ yan koldaki derinlikler	.125
Tablo A.1.22	Deney 6 – Sol yan koldaki derinlikler	.126
Tablo A.1.23	Deney 6 – Ana kanaldaki derinlikler	.127
Tablo A.1.24	Deney 6 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler	.128
Tablo A.1.25	Deney 7 – Sağ yan koldaki derinlikler	.129
Tablo A.1.26	Deney 7 – Sol yan koldaki derinlikler	.130
Tablo A.1.27	Deney 7 – Ana kanaldaki derinlikler	.131
Tablo A.1.28	Deney 7 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler	.132
Tablo A.1.29	Deney 8 – Sağ yan koldaki derinlikler	.133
Tablo A.1.30	Deney 8 – Sol yan koldaki derinlikler	.134
Tablo A.1.31	Deney 8 – Ana kanaldaki derinlikler	.135
Tablo A.1.32	Deney 8 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler	.136
Tablo A.1.33	Deney 9 – Sağ yan koldaki derinlikler	137

Tablo A.1.34	Deney 9 – Sol yan koldaki derinlikler	138
Tablo A.1.35	Deney 9 – Ana kanaldaki derinlikler	139
Tablo A.1.36	Deney 9 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler	140
Tablo A.1.37	Deney 10 – Sağ yan koldaki derinlikler	141
Tablo A.1.38	Deney 10 – Sol yan koldaki derinlikler	142
Tablo A.1.39	Deney 10 – Ana kanaldaki derinlikler	143
Tablo A.1.40	Deney 10 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler	144

Kısaltmalar Listesi

DG	Mansap Kapağı
H2	Su Yüzeyi Profil Tipi
M1	Su Yüzeyi Profil Tipi
MAE	Ortalama Mutlak Hata
MSE	Ortalama Kare Hata
PC	Ana Kanal
RC	Su Dönüş Haznesi
RMSE	Kök Ortalama Kare Hata
RW	Dikdörtgen Savak
T1	Sağ Yan Kol
T2	Sol Yan Kol
V1, V2, V3	Sürgülü Vanalar
V4	Kelebek Vana

Semboller Listesi

Α	Enkesit Alanı
b_{TI}	Sağ Yan Kol Genişliği
b_{T2}	Sol Yan Kol Genişliği
b_{p-c}	Ana Kanal Genişliği
C_c	Daralma Katsayısı
C_d	Debi Katsayısı
e_j	Hatanın Büyüklüğü
Fr	Froude Sayısı
8	Yerçekimi İvmesi
h_0	Üniform Akım Derinliği
h	Akım Derinliği
h_a	Dikdörtgen Savak Su Derinliği
h_c	Kritik Akım Derinliği
${h_c}^*$	Nominal Kritik Akım Derinliği
h_K	Yük Kaybı
h_l	h Noktasında Yan Kol Akım Derinliği
h _{max}	Maksimum Akım Derinliği
h_{P-C}	Mansap Akım Derinliği
h_s	Dikdörtgen Savak Dolu Su Derinliği
h_u	h Noktasında Ana Kanal Akım Derinliği
H^*	Kritik Akım Derinliğine İlişkin Bağıl Memba Akım Derinliği
H_u	Ana Kanalda H Noktasındaki Yükseklik
H_l	Yan Kolda H Noktasındaki Yükseklik
j	Toplama Alt Sınırı
k	Veri Setinin Büyüklüğü
Ke	Enerji Kaybı Katsayısı
l	Yan Kol Ekseni
l/s	Hacimsel Debi

L	Ayrılma Bölgesinin Uzunluğu
m	Kütle
n	Manning Pürüzlülük Katsayısı
n_q	Yan Kol Debisinin Ana Kanal Memba Debisine Oranı
Ν	Kuvvet
N_h	Akım Derinlik Oranı
0	Akım Doğrultusundaki Basınç Katsayısı
p^*	Yan Kol Duvarındaki Ortalama Basınç
Р	Basınç kuvveti
p_l	Yan Koldaki Basınç Yüksekliği
p_u	Membadaki Basınç Yüksekliği
p_{p-c}	Mansaptaki Basınç Yüksekliği
P_d	AB Duvarında Akım Doğrultusunda Olan Basınç Kuvveti
P_u	CD Duvarında Akım Doğrultusunda Olan Basınç Kuvveti
q	Ana Kanal Debisinin Mansap Debisine Oran
Q_l	Yan Kol Debisi
Q_{T1}	Sağ Yan Koldan Gelen Debi
Q_{T2}	Sol Yan Koldan Gelen Debi
Q_{p-c}	Toplam Debi
Q_u	Memba Debisi
r_0	Rögar Ana Kanal Doluluk Oranı
r	Rögarda Kolların Doluluk Oranı
r_l	Rögar Yan Kol Doluluk Oranı
R	Hidrolik Yarıçap
Re	Reynolds Sayısı
R_H	Boyutsuz Derinlik Artışı
S_{0}	Taban Eğimi
S_c	Kritik Eğim
\overline{S}_{e}	İki Enerji Çizgisi Eğiminin Aritmetik Ortalaması
S_e	Enerji Çizgisi Eğimi
t	Membadaki Kapak Açıklıkları
U	Islak Çevre
V	Hız

W	Ayrılma Bölgesinin Maksimum Genişliği
X	Akım Yönünü Gösteren Eksen
у	Enkesit Ekseni
Z.	Kot
α	Birleşim Girişi İle Yan Kol Genişliği Arasındaki Açı
γ	Birim Hacim Ağırlık
Δ_E	İki Özgül Enerji Arasındaki Fark
Δ_x	Direkt Adım Mesafesi
θ	İki Kanalın Birleşim Açısı
ρ	Su Yoğunluğu
V	Kinematik Viskozite
arphi	Dalga Açısı
δ	V2 Hızıyla, Ana Kanal Ekseni Arasında Kalan Açı
μ	Daralma Katsayısı

Bölüm 1

Giriş

İki veya daha fazla akarsuyun birleşerek tek bir kanal şeklinde akmasına akarsu kavşağı denir (Şekil 1.1). Akarsu kavşakları, açık kanal hidroliği alanında sık karşılaşılan bir durum olup hidrolik açıdan önemli kontrol noktaları olarak kabul edilmektedir. Kavşak civarında akım derinliklerinin bilinmesi akarsu kavşağı civarında yapılması planlanan yapıların tasarımı açısından önem arz etmektedir.



Şekil 1.1: Akarsu kavşağı, Negro ve Solimoes nehirlerinin birleşimi, Brezilya [1]

Simetrik akarsu kavşağı örnek olarak Şekil 1.2'de verilmiştir. Simetrik akarsu kavşağında iki yan kol, ana kanal ile $\theta/2$ açısı yaparak birleşir ve her iki yan kolun ana kanal ekseniyle yaptığı açı eşit olur (Şekil 1.2). Burada Q_{T1} ve Q_{T2} yan kollardan verilen debiler, Q_{p-c} toplam debi, b_{T1} ve b_{T2} yan kolların genişliği, b_{p-c} ana kanal genişliğidir.



Şekil 1.2: Simetrik akarsu kavşağında bulunan parametreler

Asimetrik akarsu kavşaklarında yan kol ana kanala θ açısı ile bağlanır, ana kanaldan gelen akım, yan koldan gelen akımı kendi doğrultusunda saptırır ve yan koldan gelen akımın ana kanala giriş açısı δ değişir. Şekil 1.3'te verilen örnekte yan kol ana kanala 90° açı ile bağlanmıştır.



Şekil 1.3: Asimetrik akarsu kavşağı

Akarsu kavşaklarında akım derinliklerinin incelenebilmesi ve su yüzeyi profilinin belirlenebilmesi açısından fiziksel modeller ve deneyler önem taşımaktadır. Bu çalışma kaspsamında ana kanaldan ve yan kollardan gelen farklı debiler ile mansap akım derinliğinin farklı olması koşulunun, kavşak civarında oluşan akım derinliğine ve su yüzeyi profiline etkisi incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında incelenen simetrik kavşakta birbirine simetrik 90° açıyla birleşen yan kolların ve ana kanalın genişliği sırasıyla 1 m ve 2 m olarak sabit tutulmuştur. Mansaptaki akım derinliği ile yan kollardan verilen debiler değişken parametreler olmuştur. Yan kol ve ana kanal debileri arasındaki oran ile akımın nehir rejiminde olmasına bağlı olarak akım derinlikleri incelenmiştir. Deneyler sırasında kavşak civarında ve bazı önemli noktalardaki akım derinlikleri elde edilmiş ve değişen debi oranlarının akım derinliklerini nasıl etkilediği belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, simetrik akarsu kavşaklarının düzeltilmesinde, kanal yan duvarlarının yüksekliklerinin belirlenmesinde ya da kavşaklara yakın bölgelerde inşa edilecek olan hidrolik yapıların tasarımında kullanılabilecektir. Yan kollardan gelen debilerin büyüklüğüne ve mansap akım derinliğine bağlı olarak kavşakta oluşabilecek akım derinliklerinin tahmin edilmesi, kavşak civarında yapılması planlanan yapıların, olası su taşmalarından etkilenmesinin önüne geçilmesini sağlayacak olup böylelikle olası can ve mal kayıplarının önüne geçilmesi de sağlanabilecektir. Bu tez çalışmasının 2. bölümünde açık kanal kavşaklarındaki akım karakteristiği ve akım karakteristiğini etkileyen faktörler verilmiştir. Literatürde bu alanda yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

3. bölümde deney düzeneği, deneyde kullanılan cihazlar ve deneysel yöntem açıklanmıştır.

4. bölümde deneysel sonuçlar sunulmuştur.

5. bölümde çalışma kapsamında kullanılan sayısal çözümden ve su yüzeyi profillerinden bahsedilmiştir. Deneysel veriler, kavşak civarında momentum denklemi uygulandığında elde edilen verilerle kıyaslanarak birleşimin membasında akım derinliklerinin eşit olduğu varsayımı doğrulanmıştır.

6. bölümde deneylerde elde edilen sonuçlar tartışılarak değerlendirme yapılmıştır.

Bölüm 2

Teorik İnceleme

İki veya daha fazla akarsuyun birleşerek ana kanalı oluşturduğu yere akarsu kavşağı denmektedir. Akarsu kavşağı düz prizmatik olmayan doğal bir ana kanalı ve ona belirli bir kavşak açısıyla bağlanan yan kolları kapsamaktadır. Akarsu kavşaklarında ana kanal ile yan kolun birleşmesi ile toplam debi artar ve akarsu, ana kanal istikametinde yoluna devam eder. Kavşaklar simetrik yapıda olabileceği gibi asimetrik yapıda da olabilmektedir. Simetrik akarsu kavşaklarında iki yan kol birleşerek ana kanalı oluşturur ve yan kolların ana kanal ekseniyle yaptığı açı eşit olur (Şekil 2.1). Asimetrik akarsu kavşaklarında yan kol ana kanala bağlanır, ana kanaldan gelen akım, yan koldan gelen akımı kendi doğrultusunda saptırır ve yan koldan gelen akımın ana kanala giriş açısı değişir (Şekil 2.2).

Kanal ağlarında akarsu kavşaklarına sıklıkla rastlanmakta olup bu durum birleşimin tüm kollarındaki akım koşullarını etkilemektedir. Buna bağlı olarak su seviyesindeki yükselme sebebiyle oluşabilecek taşkınlar, sel baskınlarına ve ekonomik kayıplara sebep olmaktadır [2]. Kanal kavşağı oldukça yaygın bir hidrolik unsur olmasına rağmen nispeten karmaşık yapıda oluşundan ve çok sayıda parametre içermesinden dolayı bu alanda sınırlı düzeyde çalışma yapılmıştır.

Kanal kavşaklarına yaklaşmakta olan akım, nehir rejiminde olabileceği gibi sel rejiminde de olabilir. Yan kolun genişliği ana kanalın genişliğinden daha küçük olabileceği gibi ona eşit de olabilir.



Şekil 2.1: Simetrik akarsu kavşağı, Suprasl ve Biala nehirleri - Polonya [3]



Şekil 2.2: Asimetrik akarsu kavşağı, Thompson ve Fraser nehirleri - Canada [4]

Weber ve diğ. (2001) [5] açık kanal kavşaklarındaki akım özelliklerini Şekil 2.3'te gösterilidği gibi açıklamışlardır. Kavşağın hemen mansabında bir ayrılma bölgesi oluşur. Ayrılma bölgesi, ana kanaldaki akımın daralmasına sebep olur ve bu kısım daralmış bölge olarak adlandırılır. Kavşağın hemen memba köşesinde yan koldan gelen debiye bağlı olarak yerinin değiştiği gözlemlenebilen bir durgunluk noktası oluşmaktadır. İki veya daha fazla akımın birleşmesi, kayma düzlemini oluşturur. Mansaptan membaya doğru akım derinliğinin arttığı gözlemlenir. Ayrılma bölgesi, yan koldan gelen akımın yaratmış olduğu momentumun, ana kanalı kavşağın mansap köşesinden ayırması sebebiyle oluşur.



Şekil 2.3: Asimetrik açık kanal kavşaklarında akım karakteristiği [5]

Genel olarak durgunluk bölgesinde basıncın ve akım derinliğinin arttığı, akım hızlarının ve kayma gerilmelerinin azaldığı gözlenmektedir. Ana kanaldan gelen akım, yan koldan gelen akımı etkisi altına alarak kendi doğrultusunca saptırır. Kavşağın mansap kısmında ve ana kanal kenarında ayrılma bölgesi oluşur. Ayrılma bölgesi sürekli olarak kendi etrafında dönen çevrintilerden oluşmaktadır. Ayrılma bölgesinin uzunluğu ve genişliği, yan koldan gelen akımın debisine bağlı olarak değişmektedir. Taban yakınında ayrılma bölgesinin genişliği ve uzunluğu, su yüzeyine oranla azalmış olsa da varlığını korumaktadır. Ayrılma bölgesi belli bir genişlikte olduğundan, ana koldan gelen akımı bu bölgeden geçerken daralmış olur. Akımdaki daralma, bu bölgeden geçmekte olan akımın hızının artmasına sebep olur. Ana kanal ve yan koldan gelen akımın birleşmesi ile toplam debi ve hız artar [5].

2.1 Açık Kanal Kavşakları Konusundaki Önceki Çalışmalar

İlk olarak Taylor (1944) [6] memba ve mansap arasında bulunan, birleşimin membasındaki akım derinliklerinin, birleşimin mansabındaki akım derinliklerine oranı olarak tanımlanan derinlik oranları üzerine çalışmalarını yoğunlaştırarak açık kanal kavşak akımlarını ele almıştır. Bu çalışmaların sonucunda derinlik oranlarının hesabında kullanılacak bir denklem elde etmiştir. Taylor'un çalışması, açık kanal kavşaklarının tanımlamasının yapılmasına ışık tutan çalışma olarak kabul edilebilir.

Taylor'un çalışması asimetrik kavşak yapısı üzerinde gerçekleştirilmiş olup nehir rejimi akım koşulu için birleşimlerde akım derinliklerinin yükselmesi üzerine yapılmış olan ilk çalışma olarak kabul edilen bu çalışmada eşit genişlikte ve taban eğiminin sıfır olduğu karışımlar için şu varsayımlarda bulunulmuştur; (1) Sürtünme gerilmeleri ihmal edilmiştir. (2) Basınç dağılımları hidrostatiktir. (3) *AB* ve *BC* noktalarındaki su seviyeleri eşittir. (4) *BC* ve *CD* noktalarındaki basınç eşittir. (5) Tüm enkesitlerdeki hızlar üniform şekilde dağılmaktadır. Süreklilik ve momentum denklemlerinin basitleştirilerek *ABCDFGA* açık sisteminde uygulanmasıyla bahsi geçen varsayımlar da göz önünde bulundurularak denklem (2.1) elde edilmiştir [6].

$$N_{h^{3}} - N_{h}(1 + F^{2}_{3}) + 2F^{2}_{3}[N_{q^{2}}(1 + \cos\theta) - 2N_{q} + 1] = 0$$
(2.1)

Burada $N_h = h_1/h_3 = h_2/h_3$ olup *h* akım derinliğini göstermektedir. $N_q = Q_2/Q_3$ olup *Fr* Froude sayısını göstermektedir. Alt indis 1, 2 ve 3 sırasıyla *AB*, *BC ve FG* bölgelerini temsil etmektedir (Şekil 2.4) [6].



Şekil 2.4: Kavşaktaki akış dinamiğinin genel şematiği [6]

Asimetrik kanal kavşakları boyunca sel rejiminde akımı ilk analiz edenlerden birisi Bowers (1950) [7] olmuştur. Kavşak geometrisi ve giriş akımının Froude sayısına bağlı olarak, kollardan birisinde hidrolik sıçrama oluşabilir ya da oluşmayabilir. Her iki durumda da yan duvarlar, normal şartlarda olandan önemli ölçüde daha yüksek olmalıdır. Hidrolik sıçramanın olmadığı akımlar için daralmalarda oluşanlara benzer nitelikte enine dalgalar gelişmektedir.

Anwar (1955) [8] trapez kesitli asimetrik kavşak yapısında deneyler gerçekleştirmiştir. Çalışmada 22,5°, 45°, 67,5° ve 90°'lik kavşak açıları kullanılmış olup ayrılma duvarının kavşak noktasında başladığı ve kavşak içinde mansap yönüne doğru ilerledikçe genişlediği bulunmuştur. Hem plan görünümünde hem de yan görünümlerde ayrılma duvarı üçgen şeklinde olup akım doğrultusunda genişliği ve yüksekliği azalmaktadır. Bu şekilde bir ayrılma duvarı trapez kesitli kavşak için önerilmekte olup dik köşeli ve dikdörtgen enkesitli kavşaklar için gereksiz bulunmuştur.

Asimetrik kavşaklarda sel rejiminde akımla ilgili olarak Schnitter (1955) [9] tarafından bir çalışma yayımlanmıştır. Birleşim açısı θ 'nın yaklaşık sıfır olduğu ancak yan kolun S tipinde olduğu iki kanalda, mansap kolunda önemli ölçüde enine dalgaların geliştiği, eğer her iki memba kolundan farklı Froude sayılarına sahip giriş akımı sağlanırsa bu dalgaların daha da güçlenmekte olduğu görülmüştür. Yine de içteki kavşak köşesinden başlayacak şekilde bir ayrılma duvarı ekleyerek ve yüksekliği mansap kolunun yüksekliğine düşürerek dalgalanmalar pratikte giderilebilir. Schnitter ve diğ. (1955) ayrılma duvarı için herhangi bir tasarım tavsiyesi sunmamışlardır.

Behlke ve Pritchett (1966) [10] dikdörtgen ve 1:1 yan eğime sahip trapez enkesitli kanallarda, sel rejiminde asimetrik kavşak akımını analiz etmişlerdir. Ele alınan birleşim açıları $\theta = 15^{\circ}$, 30° ve 45° olup giriş akımı Froude sayıları 2 ile 7 aralığında değişkenlik göstermiştir. Kuramsal yaklaşım iki su giriş kanalının yaygın şekilde kavşakta kot farkı bulunmadığı ve akımı saptıracak herhangi bir engel ya da köprü ayağının bulunmadığı "basit kavşak" için sunulmuştur. Ana kanal düz olup sabit bir genişliğe sahiptir. Orijini A noktasında olan iki "diyagonal sıçrama" tanımlanmıştır (Şekil 2.5). A noktası yakınlarında bu sıçramalar arasındaki akım derinliklerinin eşit olduğu bulunmuştur. Analiz için, yan kolun ana kanal akımı üzerindeki etkisinin yanal

duvar sebebiyle meydana gelen bozulma ile aynı olduğu varsayımında bulunulmuştur. Benzer bir etki yan koldaki akıma atfedilmiştir. Böylece dalga açıları belirlenebilmiştir. Bunula birlikte uyumlu olan en yüksek akım derinliği h_{max} kuramsal olarak araştırılmamıştır.



Şekil 2.5: Kavşak geometrisi, ana dalga cephesi [10]

Behlke ve Pritchett (1966) tarafından yapılan çalışmaya göre yan kol karşısındaki serbest yüzeyin maksimum yüksekliği, giriş suyu akım derinliklerinin 10 ila 20 katı büyüklüğünde olabilmektedir. Kavşak sebebiyle oluşan bu önemli ölçüdeki derinlik artışı, borda yüksekliğinin değerlendirilmesi hususunda önemli hale gelmektedir. Daha da çarpıcı olarak eğer mansap kanalının yüksekliği yetersiz olursa; titreşimler, önemli ölçüde hava karışımı, basınçlı akıma geçiş ve hareketli hidrolik sıçramalar gibi olaylar sebebiyle tünel savaklarındaki ya da kapalı kanallardaki kavşaklarda önemli problemler meydana gelebilir [10].

Basit asimetrik kavşak akımları üzerinde sistematik bir çalışma Webber ve Greated (1966) [11] tarafından sunulmuştur. Webber ve Greated 30°, 60° ve 90° olan üç birleşim açısını da ekleyerek Taylor'un (1944) çalışmasını genişletmişlerdir. Hidrostatik duvar basıncı dağılımı göz önünde bulundurularak momentum denklemi vasıtasıyla kavşak boyunca oluşan kabarma etkisini tahmin etmişlerdir. Kanal yan duvarlarının etkisi de analiz edilmiştir. Kavşak açılarının 30°, 60° ve 90° olduğu küçük bir model kurulmuş olup maksimum kuyruk suyu Froude sayısı Fr = 0,6 olmuştur. Kollardan verilen debilerin oranı olan q değeri, 0,2'lik artışlarla 0 ile 1 arasında

değişiklik göstermiştir. Geniş kavşak açısı haricinde derinlik oranı ve debi oranı için yapılmış olan tahminler ve gözlemler arasındaki uyuşma tatmin edici olmuştur. Genellikle gözlemlenen h, hesaplanandan daha küçük olmuştur. Uyuşmazlık, duvar reaksiyon kuvvetinin yanlış modellenmesine atfedilmektedir. q = 1 durumu haricinde genellikle daha iyi uyumluluk oluşmasını sağlayan deneysel düzeltme faktörü önerilmiştir [11].

Milano ve Sassoli (1977) [12] dikdörtgen enkesitli asimetrik kanal kavşaklarında deneysel çalışmalar yürütmüşlerdir. Ana kanal 1,4 m genişliğinde, yan kol 0,4 m genişliğinde, birleşim açısı $\theta = 60^{\circ}$ olmuştur. İlave edilen deneylerde ana kanalın genişliği 0,8 m'ye düşürülmüştür. Kavşak boyunca akım derinliklerindeki ve enerji yüklerindeki değişimler incelenmiştir. Akım koşullarının farklı kombinasyonları test edilmişse de sonuçlar genel çıkarımlar ortaya çıkmasını sağlayamamıştır. Genelleştirilmiş bir tartışma yapılmamıştır.

Carballada ve diğ. (1981) [13] simetrik kavşaklardaki akımı tartışmışlardır. İki kanalın kavşak giriş noktalarındaki akım derinliklerinin eşit olduğu (1) ve kuyruk suyu kanalında momentum düzeltme katsayısının 1,15 olduğu (2) varsayımında bulunmuşlardır. Kavşak girişinde akım derinliklerinin eşit olduğu geleneksel yaklaşım, yapılmış olan gözlemlerle uyumluluk göstermiş, Froude sayısının etkisi önem arz etmiştir.

Best ve Reid (1984) [14] fiziksel çalışmalarında yalnızca ayrılma bölgesi üzerine odaklanmışlardır. Best ve Reid asimetrik akarsu kavşakları için bir ana kanal ve bir yan koldan oluşan deney düzeneğinde, 15° , 45° , 70° ve 90° olmak üzere dört farklı birleşim açısı için çalışmalar yürütmüşlerdir. Kanallar, dikdörtgen kesitli ve eşit genişlikte olup kanal genişlikleri 15 cm'dir. Debi, farklı debi oranlarını sağlayabilmek için her kanalda bağımsız olarak kontrol edilebilecek şekilde ayarlanmıştır. Kanal eğiminin istendiği şekilde ayarlanabilmesi maksadıyla ayarlanabilir deney platformu oluşturulmuştur. Deneylerde nehir rejiminde akım oluşturulmuş olup Froude sayıları 0,1 ile 0,3 arasında hesaplanmış ve ayrılma bölgesindeki genişlik ve uzunluğun, hem θ birleşim açısı, hem de yan kol debisinin toplam debiye oranının artması ile arttığı gözlemlenmiştir. Ayrılma bölgesinin üç boyutlu olduğuna ilişkin gözlem yapılmamıştır.

Asimetrik akarsu kavşaklarındaki akım yapısını açıklayan kavramsal model Best (1987) [15] tarafından ortaya konmuştur (Şekil 2.6). Best ve diğ. (1987) tarafından yapılan çalışmalarda, ana kanal 12 cm, yan kol 8 cm genişliklerinde olup aralarındaki açı 30° olarak ayarlanmıştır. Model 3,5 m uzunluğunda olup genişliği 30 cm, uzunluğu 10 m olan devridaim kanalına yerleştirilmiştir. Böylece akım derinliğini kontrol etmek adına kavşaktan mansaba yeterli mesafe kalmıştır.



Şekil 2.6: Akarsu kavşaklarındaki akım yapısı üzerine kavramsal model [15]

Best (1987)'in kavramsal modeli durgunluk bölgesi, akım sapma bölgesi, ayrılma bölgesi, en yüksek hız, akımın toparlanması ve kayma düzlemlerinden oluşmaktadır [15].

Durgunluk bölgesinde basınç ve akım derinliği artmakta olup akım hızı ve kayma gerilmesi azalmaktadır. Yan koldan gelen akımın, ana kanaldaki akım ile birleşmesiyle akım yönünde sapma oluşmuştur. Ayrılma bölgesinde, kavşağın mansabında ve ana kanal kenarında kendi etrafında dönen çevrintiler meydana gelmiş ve yukarı yönde düşey hızların önemli ölçüde belirginleştiği gözlenmiştir. Düşey hızlar, bir nevi su perdesi oluşturmuş ve ana kanaldaki akımın bu bölgeye girmesini engellemiş, böylece birleşim noktasının mansabındaki akımın kesiti aslında daha da daralmış ve burada daha büyük hızlara sebep olmuştur. Ana kanal ve yan koldaki debinin birleşmesi ile toplam debi ve hız artmıştır. Sağ ve sol kısımdaki akım hızlarının farklılığından kaynaklanan çevrintiler oluşmuştur. Mansaba doğru ilerledikçe akarsuyun artık yeni bir genişlikte ve debide akmaya devam ettiği görülmüştür [15].

Hager (1987)'e [16] göre ayrılma bölgesi, debi kapasitesini önemli ölçüde düşürebilmekte ve istenmeyen ölçüde çökelti birikimine neden olabilmektedir. Akımın iç davranışının kavranması için derin bir bakış açısı gerekmekte olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın amacı temel hidrolik bilgisi vasıtasıyla ayrılma geometrisinin temel özelliklerinin tahmin edilmesi olmuştur. Açık kanal birleşimlerinde ayrılma bölgesinin hem uzunluğunu hem de genişliğini hesaplamak için kullanışlı bir yaklaşım sunulmuştur. Kanalda akımı boylamasına ve yan kol yönlerinde istenen kısımlardan bölerek çalışmasını gerçekleştirmiştir

Çalışma kapsamında Q debiyi, μ daralma katsayısını, b kanal genişliğini, θ yan kol ile ana kanalın birleşim açısını, p^* yan kol duvarındaki ortalama basıncı ifade etmektedir. Memba ve yan kol basınç yükseklikleri p_u ve p_l neredeyse eşittir [16].

Şekil 2.7 deneylerin gerçekleştirildiği taş duvardan oluşan, taban eğimi sıfır ve 0,3 m genişliğe sahip dikdörtgen enkesitli ana kanal ve yan koldan oluşan deney düzeneğini göstermektedir. Debiler hem ana kanalda hem de yan kolda iyi bir debi oranı aralığı sağlayabilmek adına iki kanalda da kontrollü bir şekilde verilmiştir. n_q yan koldan gelen debinin ana kanal memba debisine oranını ifade etmektedir ($n_q = Q_l/Q_u$). Her deneyde akımlar nehir rejiminde olup Froude sayısı 0,1 ile 0,4 aralığında değişkenlik göstermiştir [16].



Şekil 2.7: Akım geometrisi, kontrol hacmi ve ayrılma bölgesinin tanımlanması [16]

Hızın ve hidrostatik basıncın neredeyse üniform olduğu akımlar için momentum teoremi denklem (2.2)'de belirtildiği şekildedir [16].

$$p_u b + \frac{Q_u^2}{gb} + p_l b \cos\theta + \frac{Q_l^2 \cos\theta}{gb} = p_{p-c} b + \frac{Q_{p-c}^2}{g\mu b} + p^* b \cos\theta$$
(2.2)
Hager (1987) çalışmasında ayrılma bölgesinin uzunluğu *L* ve maksimum genişliği *W* ile Q_l/Q_u arasındaki ilişkiyi, bir tanesi 90° olmak üzere çeşitli θ birleşim açılarında gözlemlemiştir. Çalışmada ayrılma bölgesinin hem uzunluğunun hem de genişliğinin, n_q 'nin artmasıyla artış gösterdiği belirtilmiştir [16].

Ramamurthy ve diğ. (1988) [17] yan koldan gelen akımın ana kanal ile birleşmesiyle kavsak içinde oluşan akım derinliklerindeki artışın tahmin edilebilmesi için bazı çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Ana kanal 24,8 cm genişliğinde ve 6,1 m uzunluğundadır. Yan kol 24,5 cm genişliğinde ve 1,3 m uzunluğunda olup kavşak birleşim açısı 90°'dir. Kavşak dik açılıdır. Basınçölçer (manometre), su derinliğinin 0,16 mm'lik kısmına kadar duvar basınçlarını kaydedebilmektedir. Kanallardaki debiler üçgen savak ile ölçülmüştür. Kanallardaki su seviyelerini ölçmek için limnimetre kullanılmıştır. Toplam ve statik yük 3 mm çapında pitot tüpleriyle ölçülmüştür. Ramamurthy ve diğ. yan koldaki ve ana kanaldaki akımlar için momentum denklemi uygulamışlardır. Mansapta kritik akım koşulu dikkate alınmıştır. Şekil 2.8'de dik açılı asimetrik kavşakta Q, V, Fr, b, P simgeleri sırasıyla debi, ortalama hız, Froude sayısı, yan kolların genişliği, ve basınç kuvvetini ifade etmektedir. 1, 2 ve 3 indisleri sırasıyla EF, CB ve HG düzlemlerinde akım koşullarını ifade etmektedir. V_2 yan koldan ana kanala giren akımın hızıdır. Burada δ , V_2 hızıyla ana kanal ekseni arasında kalan açıdır. P_u ve P_d , CD ve BA duvarlarındaki akım doğrultusunda olan basınç kuvvetidir. Kavşaklarda momentum denklemini yazmak için aşağıdaki varsayımlarda bulunulmuştur.

- 1. Ana kanal ve yan kol aynı dikdörtgen enkesite sahip olup yatay durumdadır.
- 2. Ana kanaldan ve yan koldan gelen Q_1 ve Q_2 akımları nehir rejimindedir.
- 3. *BC* ve *EF* düzlemlerinin girişinde akımlar neredeyse üniform olup derinlikler eşittir.
- 4. ABCD ve EFGH kontrol hacimlerinde cidardaki sürtünme ihmal edilmiştir.
- 5. *BC* ve *AD* düzlemlerinde enkesit alanı neredeyse eşittir. Bu nedenle yan koldaki akımın ortalama eksenel hızı V_2 , *AD* ve *BC* düzlemlerinde aynıdır.
- 6. *HG* bölgesinde akım $0,3 \le Q_2/Q_1$ aralığında kritiktir [17].



Şekil 2.8: Dik açılı, dikdörtgen enkesitli açık kanal kavşağında akımların birleşmesi [17]

Şekil 2.8 göz önünde bulundurularak durgunluk bölgesi, D köşesi yakınlarında oluşmakta olup, A köşesinde, akım ayrılmaktadır. Bu yüzden A köşesi yakınında akım hızı yüksek bir değere erişmektedir. Bu da su yüzeyi kotunda azalmaya neden olmaktadır. D köşesi yakınında akım hızı oldukça düşük bir değere sahipken akım derinliği yüksektir. Akım derinlikleri dikkate alındığında P_u değerinin P_d değerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Momentumun korunumu ilkesine dayanarak yan koldan ana kanala momentum transferi beklenmektedir [17].

Çalışmada $Fr_3 = 1$ ve $h_3 = h_c$ alınarak boyutsuz derinlik artışı $R_H = h_1/h_3 = h_1/h_c$ ifadesinden denklem (2.3) elde edilmiştir [17].

$$\left[\frac{h_1}{h_c}\right]^3 + (0.48q - 3) \frac{h_1}{h_c} + \frac{1 - q}{0.63 + 0.25q} = 0$$
 2.3

Şekil 2.8 dikkate alınarak *CD* duvarı boyunca basınç dağılımı hidrostatik olup *BA* duvarı boyunca yaklaşık olarak hidrostatiktir. Yan koldan gelen debi oranının artmasıyla yan kol momentum katkısının arttığı bulunmuştur. Yine momentum düzeltme katsayısı, Froude sayısı ve yan kol debisinden bağımsız olarak 1,20 civarında olmuştur [17].

Kavşak akımlarının analizinin yapılabilmesi için momentum denkleminin formülize edilmesinde, akım davranışının tahminlerini yapabilmek için yanal momentum transferinin hesaba alınması gerektiği anlaşılmıştır. Eşit genişlikte olan dikdörtgen kesitli açık kanallarda dik açı ile birleşen kavşaklar için yan kol duvarlarında oluşan basınç kuvvetlerinin ölçülmesi temeline dayanarak yan koldan ana kanala transfer olan momentumun büyüklüğü tahmin edilebilmiştir. $q = Q_2/Q_3$ olup $0,23 \le q \le 0,6$ olduğu durumda ve yan kolun mansap bölgesinde kritik akım koşulunda yanal momentum transferi, yan kolun debisiyle ve ana kanaldaki ortalama hızla doğru orantılıdır. Kavşak akımlarının doğru bir şeklide analiz edilebilmesi için yan koldan gelen momentum transferinin hesaba alınmasının gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır [17].

Hager (1989a) [18] tarafından gerçekleştirilen deneyler dikdörtgen enkesitli 50 cm genişliğindeki yatay kanalda yürütülmüştür (Şekil 2.9). Hager'in (1989a) bu çalışmasında 2 boyutlu yaklaşıma dayanarak akımın boylu boyunca sel rejiminde olduğu asimetrik açık kanal kavşakları ele alınmıştır. Çalışma, dik köşeli ve eşit genişlikte olan dikdörtgen kesitli kolları içermektedir. Yan kollar ve ana kanalın genişliği eşit olup 0,099 m'ye ayarlanmış, $\theta = 22,5^{\circ}$ ve $\theta = 45^{\circ}$ olan iki birleşim açısı dikkate alınmıştır. Mansap debileri $Q_{p-c} = 1$ l/s ila 15 l/s aralığında değişmektedir.



Şekil 2.9: Deney düzeneğinin plan görünümü, ölçümlerin şematik gösterimi [18]

Kavşağın hemen membasında iki adet dikey ve hareketli kapak, Şekil 2.9'da verilen H noktasında ana kanal ve yan kol enerji yükseklikleri H_u ve H_l 'nin kontrol edilmesini sağlamaktadır. Memba ve yan kol arasında ayrılma bulunmadığında iki yükseklik neredeyse eşit olmuştur. Kapak yuvaları, ana kanal ve yan kol memba akım derinlikleri h_u ve h_l 'yi ölçebilmek için Şekil 2.9'da verilen kavşağa olabildiğince yakın olan (h) noktasına getirilmiştir. (h) noktasındaki kapak açıklıkları, 0,50 cm $\leq t \leq 4$ cm olarak değerlendirilmiştir. Kapak akımındaki ilk gözlemler daralma katsayısının 0,63 $\leq C_c \leq$ 0,68 aralığında olduğunu göstermiştir [18]. Mansap kolunun uzunluğu 60 cm'dir. Mansapta daha ileride akım, 50 cm olan kanal genişliğince yayılmış bir şekilde devam etmektedir. Deneyler, kapaklar ile mansap kanalının son noktası arasında gerçekleştirilmiştir. İki farklı test prosedürü uygulanmıştır. Denemelerin çoğunda yalnızca enerji yükseklikleri H_u , H_l , akım derinlikleri h_u , h_l , hızlar V_u , V_l , ana dalga cephesinin açısı φ ve ana kanalda en yüksek akım derinliği h_{max} ölçülmüştür. Froude sayıları $\theta = 22,5^{\circ}$ için 2,8 < Fr < 16 aralığında, $\theta = 45^{\circ}$ için 3,3 < Fr < 8,3 aralığında olmuştur. Seçilen üç deney için, akım yüzeylerini de içermek suretiyle tümüyle 3-D hız alanı kaydedilmiştir [18].

Kullanılan araçlar limnimetre ($\pm 0,1$ mm), sonda açısı ($\pm 1^{\circ}$) ve mulinedir. (± 3 cm/s). Enkesitte hızlar, yan duvardan 1, 3, 5, 7 ve 9 cm uzaklıkta ve kanal tabanından 1, 2,5, 5 ve 7,5 cm yükseklikte kaydedilmiştir. Toplamda kavşak, her deney setinde kayıt yapılırken 70 noktadan oluşan bir ızgaraya bölünmüştür [18].

Analizler özellikle, ana dalga açısı ve birleşimdeki akım derinliği için ifadeler içermektedir. Birleşim açısının 22,5° olduğu durum için dalganın maksimum yüksekliği yan kolun karşısındaki kanalın kenarında görülmektedir. Birleşim açısının 45° olduğu durum için dalga maksimumunun yeri ve dalga oluşumun limiti baştan sona sel rejiminde akım koşulu için oluşmaktadır. Üç boyutlu akım modeli de geniş ölçüde tartışılmıştır. Eğer memba ve yan koldaki akım derinlikleri aynı seviyede ise tahminin güvenilir sonuçlar verdiği bulunmuştur. Sunulmuş olan tüm kuramsal sonuçlar tasarım açısından kolay uygulanabilirlik sağlamıştır [18].

Hager (1989b) [19] tarafından yürütülen çalışmada deneyler 0.5 m genişliğinde bir yan cephesi camdan oluşmakta olan yatay dikdörtgen bir kanalda yürütülmüştür. Bu kanalda asimetrik kavşak Şekil 2.10'da gösterildiği gibi eklenmiştir. Memba elemanı, yan tarafı istenen θ birleşim açısı ayarlanmış olan 30 cm silindirden oluşmaktadır. Mansap elemanı, ilk kısmı tamamlar niteliktedir. $\theta = 22,5^\circ$, $\theta = 45^\circ$ ve $\theta = 90^\circ$ olmak üzere 3 birleşim açısı kullanılmıştır. Her kolun genişliği b = 0,096 m'ye ayarlanmıştır. Mansap kanalının girisinde keskin kösenin korunumu için özen gösterilmiştir [19].

Mansap kolunun debileri 2 l/s ile 13 l/s aralığında değişmekte olup 90° üçgen savak ile ölçülmüştür. Memba kolu ve yan koldaki debilerin dağılımı 8 mm mikro-muline ile ölçülmüştür. İki kanal da istendiğinde dikey kapaklarla kapatılabilecek şekilde ayarlanmıştır [19].



Şekil 2.10: Deney düzeneğinin şematik gösterimi [19]

Mansapta belirli bir debi ayarlandığında, debi oranı gözenekli elemanlarla istenen q değerine değiştirilebilmiştir. Burada q değeri memba debisinin mansap debisine oranıdır. Akım derinlikleri h_u ve h_l limnimetre ölçümüyle kaydedilmiştir. Her seferde mansap kolunda kritik akım rejimi oluştuğu doğrulanmıştır [19].

Ayrılma bölgesinin genişlemesi boya kullanarak görünür hale getirilmiştir. Best ve Reid (1984)'in bulgularıyla kıyaslandığında ayrılma bölgesinin 3 boyutlu olduğu bulunmuştur. Test ekipmanlarının boyutlarının kısıtlı oluşu ve pitot tüpündeki hassasiyetin yetersizliği sebebiyle bu kısımda hız ölçümü yapılamamıştır [19].

Kanal duvarları boyunca akım derinlikleri ve orta akım derinliklerindeki hız vektörleri $Q_{p-c} = 5,9$ l/s değeri için kaydedilmiştir. Akım çizgilerinin açıları küçük açı ölçerle ölçülmüştür. Akım çizgilerinin yönleri belirlendiğinde (her enkesitte 5 adet olmak üzere) mevcut ölçer oraya yönlendirilmiş ve hızın kesin değeri belirlenmiştir [19].

Memba ve yan koldaki hızlar dıştaki duvarlar boyunca artmış olup, kalan vektörlerin yönü bu duvarlara neredeyse paraleldir. Yine de, yönlerin değiştirilmesine bağlı olarak iç duvarlar boyunca hızların önemli ölçüde düştüğü gözlenmiştir. Bu olay yalnızca q = 0 koşulu için gelişmemiş, q = 0.5 ve q = 0.75 koşulları için de önemli olmuştur [19].

Mansap kanalına giren sudaki akım çizgisi eğrilik etkisi önemli hale gelmekte, eğriliğin merkezine doğru hız artmaktadır. Mansap kısmında en yüksek hız kavşak karşısındaki duvarda oluşmaktadır [19]. Memba akım derinliğinin yan kolun memba akım derinlğine oranı bütüne neredeyse eşittir. İkinci olarak yerel maksimumun görüldüğü q = 0 koşulu haricinde, dış yan duvar boyunca akım derinliğinde azalma gözlenmiştir. Yine de yanal akım doğrultusundaki basınç kuvveti *P*'nin hesaplanması vasıtasıyla ortaya çıkarıldığı gibi akım doğrultusundaki basınç katsayısı *o*, her zaman o = 1 değerinin altında kalmaktadır. Üçüncü olarak mansap kısmının girişinde akım derinliğinde güçlü bir azalma olmaktadır. Ayrılma kabarcığındaki en düşük akım derinliği, küçük *q* değeri için daha düşüktür. Mansaba doğru daha da ilerledikçe dalga oluşumunun sonucu olarak akım derinliği yeniden artmaktadır. Dördüncü olarak kontrol hacminin yan ve sınırlarındaki akım çizgileri genellikle yan duvarlara paralel değildir. Memba giriş kısmında sapmaların daha küçük olduğu görülmektedir. q = 0 haricinde yan duvar boyunca yüzey profili sabit olarak düşmektedir. q = 0 koşulu için bölgesel maksimum (1,06 *h_u*) kavşakta oluşmaktadır [19].

Çalışmada geçiş kavşak akımında memba akım derinliği tahmin edilmiştir. Şu unsurlar bulunmuştur: (1) memba ve yan kollardaki akım derinlikleri neredeyse birbirine eşittir. (2) Eğer q > 0,85 ise, yani yan kolun debisi toplam debinin % 15'inden küçükse nehir rejiminden sel rejimine geçiş imkânsız hale gelmektedir. (3) q değerinin büyümesiyle birlikte yan kol akım çizgileri ana kanal yönüne doğru daha fazla dönüş göstermektedir. (4) Basınç katsayısı o, oldukça iyi tahmin edilebilmektedir. (5) Nominal kritik akım derinliğine ilişikin bağıl memba akım derinliği $H^*=h_u/h_c^*$ olup tahmin edildiği üzere yalnızca debilerin oranı q ve kavşak birleşim açısı θ 'dan etkilenmektedir [19].

Fujita ve Komura (1989) [20] akım içerisine boya ya da küçük parçacıklar gibi bazı katkı maddeleri ilave ederek görselleştirme tekniği ile asimetrik kavşaktaki akım yapısını tanımlamışlardır (Şekil 2.11). Tüm kollardaki akımlar, kavşak noktasındaki yüksek durgunluk basıncı sebebiyle, birleşim bölgesinin membasından itibaren üç boyutlu ayrılmaya maruz kalmaktadır. Şekil 2.11'de verilen akım çizgileri sınırınca oluşan güçlü spiral çevrintiler, kanal tabanında sediment olması durumunda tabanda oyulmalara sebep olmaktadır. Yan koldan gelen akım, ana kanal içerisinde sekonder akım oluşturmaktadır. Akım yönünün değişmesi sebebiyle merkezkaç kuvveti, sapmanın tersi yönünde dairesel yüzey akımına ve içeriden kanal tabanına doğru inen akıma neden olmaktadır. Dolayısıyla kanal içerisinde yan kolun sekonder akımına

karşı yönde dönen sekonder akım oluşmaktadır. Dolayısıyla kavşak noktasına yakın bir yerde yoğun türbülans meydana gelmekte olup, kuyruk suyu yönüne doğru genişlemektedir [20].



Şekil 2.11: Bir akarsu kavşağında akım yapısı [20]

Mamedov (1989)'un [21] asimetrik kavşakta yürütülen deneysel çalışması, ayrılma bölgesinin uzunluğu ve genişliği ile kavşak açısı, momentum oranı, yaklaşım hız oranı ve yaklaşım koşullarına bağlı bir sabit sayı arasında ilişki kurulmasını sağlamıştır. Gözlemlerle detaylı bir karşılaştırma yapılmadan, kabarmadaki yükselmenin de dâhil olduğu ilave parametreler tahmin edilmiştir.

Christodoulou (1993) [22] kanal birleşim yerlerinde hidrolik sıçrama oluşumu için gerekli koşulları teorik olarak incelemiştir. Başta Froude sayıları ve kanalların genişliklerinin oranı olmak üzere ana faktörlerin etkisi belirlenmiştir. Deneyler asimetrik kavşak açılarının 90° ve 17° olduğu, yan kol akımının nehir rejiminde olduğu ve Froude sayısının ana kanalda ($Fr_1 = 1,5 - 2,0$) zayıf oranda sel rejiminde olduğu kavşak koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları ve var olan diğer deneysel sonuçlar, kuramsal tahminlerle karşılaştırılmıştır. Yan kolun sonundaki su seviyesinin davranışı boyutsuz diyagramlarla sunulmuştur.

Christodoulou (1993)'un çalışmasında tek boyutlu momentum denklemine dayanarak, dikdörtgen enkesitli kanal birleşimlerinde hidrolik sıçrama oluşumunun başlaması için yaklaşık genel kriterler türetilmiştir. Daha önce geniş bir Froude sayısı aralığını da kapsayacak şekilde yapılmış olan çalışmalarla birlikte ana kanal akımının sel rejiminde, yan kol akımının nehir rejiminde olduğu 90° ve 17° açılarla birleşen

kavşaklar için yapılmış olan laboratuvar deneylerinin sonuçlarıyla çalışmada yapılan teorik analizler iyi bir uyumluluk göstermiştir. Ana kanal Frodue sayısı Fr_1 belirli bir değere sahip olduğunda, sıçrama olması tahmin edilen birleşen kanalların debi oranları için genellikle bir alt sınır değeri olduğu bulunmuştur. Kavşak açısının 90°'den küçük olması durumunda akım davranışı, Fr_1 değerinin yanı sıra $Fr_2^2b_1/b_2$ parametresine yani yan kol Froude sayısına ve kanalların genişlik oranına bağlıdır. Her iki parametrenin de yüksek bir değeri için debi oranına bakılmaksızın sıçrama oluşmayabilir. Elde edilen sonuçlar, kavşakların ön tasarımında, hem hidrolik sıçramadan kaçınmak, hem de hidrolik sıçramanın oluşumunu tahmin etmek için ve duvar yüksekliklerinin artırılması amacıyla kullanılabilir. Yan kol sonu yakınlarındaki akım derinliğini sunmakta olan deneysel gözlemlerin, nehir rejiminde akıma sahip yan koldaki kabarma hesaplamaları için yararlı olabileceği belirtilmiştir [22].

Gurram ve diğ. (1997) [23] kavşaktaki akım derinliklerini tahmin etmek için bir denklem türetmişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları asimetrik açık kanal kavşağı, düz prizmatik ana kanal ile ona θ açısıyla bağlanan yan kolu içermektedir (Şekil 2.12).

Şekil 2.12 modelin plan görünümünü göstermektedir. Kavşak iki kola sahip olup, memba kısmı düz ve yan kolun kavşak açısı θ'dır. Enkesitler dikdörtgen şeklinde, ana kanal 0,5 m genişliğinde iken yan kolların genişlikleri 0,3 m ve 0,5 m'dir. Yan koldan ana kanala geçişler dik köşelidir. Kavşak yatay olup taban ve arka duvarlar pürüzsüz (PVC) malzeme ile kaplanmıştır. Yanal görselliğin sağlanabilmesi için ön duvar camdan yapılmıştır. Tüm deneylerde gelen akım derinlikleri 0,1 m'ye yakındır. Kapaklar kuyruk suyu batıklığının ayarlanmasını sağlamıştır [23].

Üç kavşak açısı $\theta = 30^{\circ}$, 60° , ve 90° dikkate alınmış olup kuyruk suyu Froude sayıları 0,25, 0,50 ve 1,00'dir. Deneylerde kullanılan 5 adet debi oranı $q = Q_{u}/Q_{p-c}$ 0, 0,25, 0,50, 0,75, 1,00'dir. Çalışmada seçilen deneylerle basit kavşaktaki nehir rejimi ve geçiş akımları analiz edilmiştir. Sonuçlar, yan kol duvarlarındaki basınç kuvveti, kavşak noktasındaki akım derinliklerinin oranı, momentum düzeltme katsayıları, ayrılma bölgesinin genişlemesi ve yanal momentum katkısı gibi akım özellikleri için açıklamalar sunmuştur. Bu sonuçlar temel olarak yan kol debisinin ana kanal debisine oranı, kuyruk suyu Froude sayısı ve kavşak birleşim açısına bağlı olmaktadır. Momentum denkleminin uygulanması, kavşakta kabarma olduğunu göstermiştir [23].



Şekil 2.12: Deney düzeneğinin plan görünümü [23]

Gurram ve diğ. (1997) bir kanal kavşağındaki akım modelini tanımlamış, hidrolik modellemeye dayalı kavşak akımına ilişkin verileri genelleştirmiş ve deneysel bulgulara dayanarak sayısal çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kavşak noktası E'den mansaba doğru ayrılma bölgesinin genişlediği gözlemlenmiş ve ayrılma bölgesindeki en büyük genişleme ile kuyruk suyu kanalının enine yüzey profilleri elde edilmiştir [23].

Hsu ve diğ. (1998a) [24] asimetrik kavşakta gerçekleştirdikleri çalışmalarında memba/mansap derinlik oranlarının çözümlenmesi için kavşak değişkenlerinin sayısına bağlı olan birleşik enerji/momentum yaklaşımı tanımlamışlardır. Hsu ve diğ. memba/mansap derinlik oranlarının tahmin edilmesine ek olarak ayrılma bölgesi ve ayrılma bölgesi geçilirken ana kanalda oluşan akımın daralması üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir.

Hsu ve diğ. (1998b) [25] asimetrik kavşak birleşim açısını 30°, 45° ve 60° olarak ayarlayarak daha önce yapmış oldukları çalışmaları tekrar değerlendirmişlerdir. Şekil 2.13 deney düzeneğini ve ölçüm yapılan bölgeleri göstermektedir. Ana kanal ve yan kol sırasıyla 12 m ve 4 m uzunluğundadır. Her iki kol da 0,155 m genişliğindedir. Kavşak köşeleri keskin dönüşlü olup yatak ve yan kol duvarları sürtünme etksini

düşürmek maksadıyla plastik filmle kaplanmıştır. Debiler, açılır kapanır kapakları olan iki ayrı sabit memba tankı ile ayarlanmıştır. Akım hızı, sensör çapı 5 mm, yüksekliği 25 mm olan ALEC/ACM-250 elektromanyetik debimetre vasıtasıyla ölçülmüştür.



Şekil 2.13: Deney düzeneği ve kontrol hacminin şematik gösterimi [25]

Hsu ve diğ. (1998b)'nin çalışmalarında enerji ve momentum düzeltme katsayısı, ayrılma bölgesinin mansap kısmında hesaplanmıştır. Elde ettikleri veriler, yan koldan gelen akımın, ana kanala ortalama giriş açısını göstermiştir. Yapmış oldukları deneysel çalışmalardan elde edilen verilerle çevrinti kaybı ve sürtünme kaybını da içeren enerji kaybı katsayısı geliştirilmiştir. Denklem (2.4) bu ifadeyi göstermektedir [25].

$$\frac{dK_e}{dF_r} = \frac{1 - \frac{1}{2}F_r^2 - F_r N_h^3}{2N_h^2 (1 - \frac{1}{2}F_r^2)^2}$$
(2.4)

Burada N_h memba/mansap akım derinlik oranı, K_e enerji kaybı katyası olup Fr Froude sayısıdır. Çalışmaları, yatay bir yatak üzerinde nehir rejimindeki kavşak akımında $\theta = 30^\circ$, 45°, 60° birleşim açıları için kavşaktan membaya doğru ana kanal ve yan kol genişliklerinin iki katı kadar mesafede akım derinliklerinin neredeyse eşit olduğunu ortaya koymuştur. $\theta = 30^\circ$, 45°, 60° birleşim açılarındaki derinlik oranları için çözümsel ve deneysel veriler makul derecede uyumluluk göstermiştir. θ ya da Froude sayısındaki artış N_h değerinin artmasına neden olmaktadır. Enerji kaybı, $Fr < \sqrt{4N_h^6 + 2} - 2N_h^3$ ifadesindeki Fr değerinin artmasıyla ve aynı zamanda θ değerinin artmasıyla artış göstermiştir [25].

Guidice ve Hager (2001) [26] tarafından yürütülen çalışmanın amacı asimetrik kavşak rögarlarındaki çeşitli akım modellerinin ayrılmasını sağlamak, memba ve yan kollar için akımın ana parametrelerini saptamak ve debi kapasitesi, dalga özellikleri, sel rejiminden nehir rejimine geçiş gibi konulara ilişkin bilgileri de kapsayan tasarım yöntemi geliştirilmesini ve daha önceden analizi yapılmış olan eğimli rögarlarla karşılaştırılmasını sağlamak olmuştur.

Kullanılan model, sağ yan duvarının üst bölümü bulunmayan 0,5 m genişliğindeki dikdörtgen enkesitli bir kanal içerisine yerleştirilmiştir. Kavşak modeli boru çapı eşit ve D = 0,24 olan iki koldan, 1,5 D yüksekliğinde rögar bankı (bench) olan U şeklindeki kavşak bölgesinden ve yine D çapına sahip mansap kolundan oluşmaktadır. Yan kol L altindisi ile gösterilmekte olup memba kolu o altindisi ile gösterilmiştir. Q debiyi, h akım derinliğini, r = h/D doluluk oranını göstermektedir (Şekil 2.14) [26].



Şekil 2.14: 45° açıyla birleşen rögar kavşağının tanımlanması: (a) Plan, (b) Kesit [26]

Menfezlerde genellikle mansap kolunun çapı memba kolunun çapından daha büyük olmaktadır. Kavşağın taban eğimi, duvar sürtünmesini karşılamak için % 1'e ayarlanmıştır. Küçük açılı taban eğim düzenlemesi tasarım için belirlenmiş olup büyük taban eğim açıları daha küçük şok dalgaları üretmektedir. Rögarın bank yüksekliği genellikle boru çapına eşit olmakta olup alan kısıtlaması nedeniyle burada daha büyük seçilmiştir. Mansapta tek girişli borulardan oluşan akım düzleştirici, akımı düzeltmiştir. Bu aygıt, yaklaşan akımın hızının bağımsız şekilde değişken olmasını ve yan kolun doluluk oranının ayarlanmasını sağlamıştır [26].

Toplamda, rögardaki kavşak akımının özelliklerini analiz etmek üzere 300'den fazla deney yürütülmüştür. Temel parametreler iki kolun doluluk oranları r_0 ve r_L ve yine Froude sayıları Fr_0 ve Fr_L 'dir. Gözlemler, kavşaktaki akımın tümüyle tanımlamasının yapılmasını amaçlamış olup bu gözlemler, tümüyle sel rejimindeki bir akımdaki minimum ve maksimum koşulları, maksimum akım derinliklerini, yapının debi kapasitesini ve karma akım koşullarının tanımlanmasını kapsamaktadır. Bu akımlar ya ana kanalda sel rejiminde ya da yan kolda nehir rejiminde akımlardır, ya da bunun tam tersidir [26].

Birleşen kanalizasyonların kavşak yapılarındaki sel rejimi ve karma akımlar, detaylı deneysel gözlemler ve daha önceki deneylere dayanan hidrolik analizler kullanılarak çözümlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, bu yapılardaki akımın detaylı bir şekilde tanımlanmasına olanak sağlamıştır. İlk olarak, birbirine yaklaşan iki akımın dinamik momentum bileşenlerine dayanarak yedi farklı akım tipini gösteren bir diyagram sunulmuştur. İkinci olarak A, B ve C dalgalarının temel özellikleri, dalga maksimumu ve yerini de içerecek şekilde tanımlanmıştır. Yine, kabarma yüksekliği analiz edilmiş ve karma akım koşullarında, kavşak akım derinliği için ifadeler belirlenmiştir. Üçüncü olarak iki koldaki sel rejimi akımı için ve iki yaklaşan koldan yalnızca birinde sel rejimi akım durumu için kavşak rögar kapasitesi belirlenmiştir. Dördüncü olarak kavşak rögarındaki sel rejimi akımı, viraj rögarındaki uyumlu akımla karşılaştırılmış ve viraj rögarının önemli ölçüde daha küçük kapasiteye sahip olduğu ve tıkanmaya daha meyilli olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Çalışma, bu yüzden birleşik kanalizasyondaki yapının hidrolik tanımlamasını sağlamakta ve bu yapıların hidrolik tanımlamasını sağlamakta ve bu yapıların hidrolik

Weber ve diğ. (2001) [5] 90° açıyla birleşen asimetrik deney düzeneğinde çalışmalar yürütmüşlerdir (Şekil 2.15). Ana kanal genişliği 21,95 m olup 3,66 m uzunluğundaki yan kol ana kanala bağlanmıştır. Her iki kolun da genişliği 0,91 m'dir. Mansapta kuyruk suyu akım derinliği ayarlanabilir kapak vasıtasıyla kontrol edilmiştir. Akım derinlik ölçümleri limnimetre vasıtasıyla 1 mm hata payıyla yapılmıştır. Su yüzey haritalaması kavşak bölgesinde her biri 76,2 mm²'lik alana sahip karelerden oluşan ızgara sisteminde uygulanmıştır. Kanal yüzeyinde oluşan hız ölçümlerinin yanı sıra akım derinlikleri de incelenmiştir. SonTek marka üç bileşenli ADV akustik hızölçüm cihazıyla hız ölçümü yapılmıştır. Hız ölçümleri her ölçüm noktasında 10 Hz değerinde olup 60 saniye sürmüştür. Her akım koşulu için yaklaşık 2850 adet hız ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ele alınan akım koşulu için 1 gün boyunca akım koşulları hiç değiştirilmeden ölçüm yapılmıştır [5]. Ana kanalın memba yönündeki debinin mansaptaki toplam debiye orani q olup deneylerde 0,250, 0,417, 0,583 ve 0,75 olmak üzere dört farklı q akım koşulu için derinlik ölçümü yapılmıştır. Su yüzey haritalarında kavşağın membasından kuyruk suyuna doğru akım derinliğinde genel olarak düşme olduğu görülmüştür. Tüm akım koşulları için akım derinliğinde membadan daralmış bölgeye kadar düşme olduğu gözlenmiş, ayrılma bölgesinin sonundan itibaren akımın kanal genişliğince akmaya devam etmesiyle birlikte tekrar akım derinliğinde artış olduğu tespit edilmiştir. Ana kanal debisinin toplam debiye oranı düştükçe ayrılma bölgesinin boyutları büyümüştür. Su yüzey haritalaması daha önceden yapılan çalışmalarla uyumluluk teşkil etmiştir [5].



Şekil 2.15: Deney düzeneğinin görünümü [5]

Pandey ve Mishra (2012) [27] trapez ve dikdörtgen enkesitli asimetrik kanal kavşaklarında akım karakteristiklerinin karşılaştırılması üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında iki yan kol birleşerek bir ana kanal oluşturduğunda kavşağın mansabındaki akım derinliğinin o kanalda oluşan kabarma eğrisine ve yan kolladan gelen debilerin oranına bağlı olduğu belirtilmiştir. Çalışmalarında ana kanaldaki akım derinliklerini elde etmeyi amaçlamışlardır. Etkili faktörlerden birisi giriş ve çıkış akımlarının oranıdır.

Şekil 2.16'da gösterildiği gibi sırasıyla b_1 , b_2 ve b_3 genişliğine sahip ve 1, 2 ve 3 numaralı trapez kesitli üç kanal ele alınarak teorik bir model geliştirilmiştir. İki yan koldan gelerek ana kanalda birleşen akım, aşağıda gösterilen varsayımlar yapılarak, momentumun korunumu ve süreklilik denklemleri yardımıyla belirlenmiştir [27].

- 1. Akımlar 1, 2 ve 3 numaralı kanallarda yer almaktadır.
- 2. 1 ve 2 nolu kanalların 3 kanalının ekseniyle yapmakta olduğu açılar sırasıyla θ_1 ve θ_2 'dir.
- 3. Akım kanal duvarlarına paralel olup hız kavşağın yukarısında ve aşağısında üniform olarak dağılmaktadır.
- 4. Diğer kuvvetlere nazaran cidar sürtünmesi ihmal edilmiştir.
- 5. Kavşağın hemen membasında 1 ve 2 nolu kanallardaki akım derinlikleri eşittir [27].

Kontrol hacmini Şekil 2.16'da noktalı çizgilerle gösterildiği gibi ele alarak, kontrol hacmi sınırları, yan kollarda kavşağın membasında yan kol genişliğinin iki katı kadar mesafede ve ana kanalda kavşağın mansabında ana kanal genişliğinin üç katı kadar mesafede konumlandırılmıştır [27].



Şekil 2.16: Birleşen akım tipindeki kavşağın şematik gösterimi [27]

Burada Q_1 , Q_2 ve Q_3 debileri, A_1 , A_2 ve A_3 kontrol kesitlerinin enkesit alanını ve V_1 , V_2 ve V_3 sırasıyla 1, 2 ve 3 kollarındaki hızları göstermektedir. b_1 , b_2 ve b_3 sırasıyla 1, 2 ve 3 numaralı kolların genişlikleri olup P_1 , P_2 ve P_3 sırasıyla 1, 2 ve 3 numaralı kolların genişlikleri olup P_1 , P_2 ve P_3 sırasıyla 1, 2 ve 3 numaralı kollarda oluşan hidrostatik basınç kuvvetleridir [27].

Süreklilik denklemi (2.5) dikdörtgen kesit için aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 \tag{2.5}$$

$$Q_1 = A_1 V_1 \tag{2.6}$$

$$Q_2 = A_2 V_2 \tag{2.7}$$

$$Q_3 = A_3 V_3 \tag{2.8}$$

Pandey ve Mishra (2012) [27] tarafından yürütülen çalışmada ele alınmış olan deney düzeneğinde momentum denklemi, denklem (2.9)'da gösterildiği gibi ifade edilebilmektedir.

$$\rho \frac{Q_1^2}{b_1 h_1} \cos \theta_1 + \frac{1}{2} \gamma h_1^2 b_1 \cos \theta_1 + \rho \frac{Q_2^2}{b_2 h_2} \cos \theta_2 + \frac{1}{2} \gamma h_2^2 b_2 \cos \theta_2 = \rho \frac{Q_3^2}{b_3 h_3} + \frac{1}{2} \gamma h_3^2 b_3$$
(2.9)

Burada ρ su yoğunluğu, γ birim hacim ağırlığı, h akım derinliğidir [27].

Birleşim tipindeki bir kavşakta derinlik oranının çeşitli parametrelere bağlılığı üzerine çalışılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan deneylerde hem dikdörtgen enkesitli kanalda hem de trapez enkesitli kanalda debinin artmasına bağlı olarak derinlik oranının arttığı görülmüştür. Ana kanal boyunca aynı taban genişlğine sahip ve akım derinliğinin eşit olduğu durumda eşit debiye geçildiğinde dikdörtgen enkesitli kanalda trapez kesitli kanala göre derinlik oranında kayda değer artış olduğu gözlenmiştir. Ana kanalda aynı akım derinliğine sahip aynı akım bölgesinde eşit debiye geçildiğinde dikdörtgen enkesitli kanalda trapez kesitli kanalda trapez kesitli kanalda trapez kesitli kanalda trapez kesitli kanala göre akım derinliğinde azalma olduğu görülmüştür. Bahsedilen bu sonuçlar, aynı debiye sahip ve taban genişliğinin daha fazla olduğu kanalların, kavşaktaki akım derinlik oranının artışı üzerindeki etkisinin daha düşük olduğunu doğrulamıştır [27].

Momentumun korunumu ilkesi kullanılarak, birleşen tipte nehir rejimi kavşak akımlarında akım derinliğinin tahmin edilmesi için teorik model geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında θ_1 ve θ_2 birleşim açıları, kanalların genişlikleri, debileri gibi çeşitli parametrelerin, akım derinliklerine etkileri saptanmıştır. Tahmin edilen akım derinliklerinin deneysel verilerle örtüştüğü gözlemlenmiştir. Araştırma, geliştirilen modelin kanal enkesitinin şeklinin akım derinlikleri üzerindeki etkisinin tahmin edilebilmesini sağladığını göstermiştir. Aynı akım bölgesinde eşit debilere geçildiğinde dikdörtgen enkesitli kanallarda trapez kesitli kanallardakine nazaran akım derinliğinin bulunmasında kullanılabilecektir. Model, hidrolik yapıların tasarımında ya da kanal duvarlarında sel baskını sırasında yaşanan tehlikelerden korunmak için kullanılabilir [27].

Coelho (2015) [2] 30° ve 60° birleşim açılarına sahip olan asimetrik açık kanal kavşaklarında farklı akım koşulları için deneysel verilere dayanarak su seviyesinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. Birleşimler, Şekil 2.17'de görüldüğü üzere üç adet düz kanal bölümünü içeren düzenek arasında konumlandırılmıştır. Birleşimler ve parçalar 0,30 m genişliğinde olup 0,50 m derinliğe sahiptir. Yaklaşık olarak 10 m uzunluğunda olan ana kanal, istenildiğinde eğim verilebilen bir yapı üzerine yerleştirilmiş böylelikle iki kolda da değişebilen taban eğimleri sağlanmıştır. Eğim % 0,14'e ayarlanmıştır. Her memba kolu, pompa sistemine sahip olan bağımsız hidrolik devridaim sistemine bağlanmıştır. Her iki pompa da açıldıktan sonra kanal 1

ve kanal 2'nin membasında bulunan akım kontrol vanaları açılmış ve debiler RB 300S8 Blue-White marka akım ölçerler vasıtasıyla ölçülmüştür. Şekil 2.17'de gösterilen 1 ve 3 memba enkesitlerinde, 2 adet su altı dikey kontrol kapağı, memba yüksekliklerinin kontrol edilmesini sağlamaktadır [2].



Şekil 2.17: Ele alınan birleşim bölgesinin şematiği [2]

Çalışmada sel rejimi akımı sağlamak için kapak açılımları, 2 cm ila 3 cm aralığına ayarlanmış, nehir rejimi akımı sağlamak için kapaklar su seviyesinden daha yukarıda tutulmuştur. Kanal tabanında 1 mm genişliğinde açılmış olan deliklere yerleştirilmiş kauçuk tüplere bağlanmış olan basit U manometreler kullanılarak kanal eksenleri boyunca sekiz yerde su seviyeleri ölçülmüştür. Bu ölçümler aynı zamanda kanalların dış duvarlarında doğrudan ölçümler vasıtasıyla da incelenmiştir [2].

Çalışmada membalardaki akım oranları 4 ila 20 l/s aralığında değişkenlik göstermiştir. Akımların sınıflandırılmaları şu şekilde olmuştur: Tip I: üç kanalda da nehir rejiminde akım; Tip II: membada nehir rejiminde ya da sel rejiminde akım ve mansapta nehir rejiminde akım ve Tip III: Membada nehir rejiminde ya da sel rejiminde akım, mansapta sel rejiminde akım. Şekil 2.17'den anlaşıldığı üzere Tip I, II ve III'ün sınıflandırılmaları, kanal 1, 2 ve 3'teki akım rejimlerine dayanmakta ve 1, 3 ve 8 bölümlerindeki Froude sayıları tarafından belirlenmektedir. Bu yüzden, 1'den 9'a kadar olan testler memba kapaklarının müdahalesi olmadan yürütülmüş, 1, 3 ve 8 bölümlerinde sunulmuş olan 1,0'ın altındaki Froude sayıları Tip I olarak dikkate alınmıştır [2]. 10 ile 18 numara aralığındaki deneylerde kanalın ilgili bölümünde sel rejiminde akımlar elde etmek maksadıyla kapaklardan birisi kısmen kapatılmıştır. Yine de bu işlem, 3 nolu kanalın mansabında nehir rejiminde akımlar oluşmasıyla sonuçlanmıştır. Bu yüzden 10 ila 18 aralığındaki deneyler Tip II olarak sınıflandırılmıştır. Diğer tüm deneylerde (19'dan 36'ya kadar olan), birleşimin mansabında sel rejiminde akım yaratmak üzere bir ya da iki kapak kısmen kapatılmış ve bu akımlar Tip III olarak sınıflandırılmışlardır [2].

Şekil 2.17'de ele alınan deney düzeneğinde 2 ve 4 noktalarındaki akım derinliğinin eşit olduğu varsayımıyla; Coelho (2015)'nun bu çalışmasında momentum denklemi, denklem (2.10) şeklinde ifade edilebilmektedir [2];

$$\rho Q_1 \frac{Q_1}{b_1 h_1} + \frac{1}{2} \gamma h_1^2 b_1 + \rho Q_2 \frac{Q_2}{b_2 h_1} \cos \theta + \frac{1}{2} \gamma h_1^2 b_2 \cos \theta$$
$$= \rho Q_3 \frac{Q_3}{b_3 h_3} + \frac{1}{2} \gamma h_3^2 b_3 + \frac{1}{2} \gamma h_1^2 b_2 \sin \theta \qquad (2.10)$$

Burada ρ su yoğunluğu, Q debi, b kanal genişliği, γ birim hacim ağırlığı, θ yan kolun ana kanal ekseniyle yapmakta olduğu birleşim açısı, $h_1 = h_2$ olup birleşimin membasındaki akım derinlikleri anlamına gelmektedir [2].

Şekil 2.18, yapılan deneyler için $\theta = 30^{\circ}$ ve $\theta = 60^{\circ}$ açıyla birleşen kavşaklarda h_2 'ye karşılık gelen h_4 değerleri için düzenlenen çizelgeleri göstermektedir. Akım tipi I ve II ile uyumlu olan 1 ile 18 aralığındaki deneyler, her iki açı için de açısal katsayıların yaklaşık olarak 1,0 olduğu, h_2 'ye karşılık gelen h_4 değerlerini göstermektedir. Sel rejimi akımlarında gözlemlenen su yüzeyi dalgalanmaları tarafından olası tetiklenme ve birleşime giren çarpışmakta olan iki akımın akım eğriliği ile ilişkili olarak eğimli dalgaların gelişmesi gibi nedenlerden ötürü, Tip III testlerde daha geniş noktalara yayılma gözlemlendiği tespit edilmiştir [2].



Şekil 2.18: Kavşağın memba kısımlarındaki akım derinlikleri arasındaki ilişki (o Tip I ve Tip II; + Tip III) [2]

"Şekil 2.18'de gösterilen düz çizgilerin açısal katsayıları ve korelasyon katsayılarının verilmesiyle, Tip I ve Tip II akımlar için kavşak ve memba kolları arasındaki enkesitlerde (h₂ ve h₄) su seviyelerinin eşit olduğu varsayımı doğrulanmıştır. Kavşakların membasındaki sel rejimi akımlarının, zayıf hidrolik sıçramalar vasıtasıyla 2 ve 4 bölümlerinin membasında nehir rejiminde akımlara dönüştüğü yerlerde, 10'dan 18'e kadar olan testlerde su seviyelerinin eşit olduğunun gözlemlendiği de vurgulanmalıdır. Tip III akımlarda h₂ ile h₄ arasında uygun bir korelasyon kurabilmek mümkün olamamaktadır. Tip II akımlar, Tip I akımlara göre daha türbülanslı görünmelerine rağmen, sel rejiminde memba akımlarına yakın oluşları nedeniyle, Tip I ve Tip II akımların davranışlarındaki diğer benzerliklerin doğrulanması mümkün olmaktadır. Benzerlikler şunları içermektedir: (1) birleşimlerin membasında su seviyesinde yükselme ve (2) birleşimlerin mansabındaki üniform akımların normal derinliklerinin oluşumudur. [2]"

Coelho'nun (2015) çalışması, nehir rejiminde ve sel rejiminde mansap akımlarına sahip birleşimlerin belirgin hidrolik davranışlarını göstermiştir. Nehir rejiminde mansap akımlarına sahip olan birleşimlerde değişiklikler, su seviyelerindeki artıştan görüldüğü üzere kavşağın membasında meydana gelmiştir. $\theta = 60^{\circ}$ birleşim açısında ve mansapta ve Froude sayısının 0,7'den düşük olduğu durumda h_{max}/h_c oranı için bulunmuş olan en büyük değer 1,63 ± 0,03'tür. Sel rejiminde mansap akımına sahip olan birleşimlerde değişiklikler mansapta, eğik sabit dalgaların geliştiği yerde

meydana gelmektedir. $\theta = 60^{\circ}$ açıyla birleşim modeli ve mansap kollarında 1,4'ten küçük Froude sayısı değerleri için, h_{max}/h_c oranı için bulunmuş olan yüksek değer (0,23'lük standart sapmayla) 1,19 olmaktadır [2].

Çalışma, mansap akımı nehir rejiminde olduğunda, kavşağın membasında enkesitlerde su seviyesinin eşit olduğu varsayımının doğrulanmasına olanak sağlamıştır. İlave olarak sonuçlar, bir ya da iki memba akımının sel rejiminde olduğu durumlarda dahi, mansapta nehir rejimi akımlarına sahip olan birleşimlerde, su seviyelerindeki yükselmelerin tahmin edilebilmesi için klasik kuramsal modellerin kullanılabileceği ihtimalini ortaya koymaktadır. Ölçümlerle Taylor'un (1944) denkleminden elde edilen tahminler arasındaki en yüksek ortalama farklılık yaklaşık olarak % 6 dolayında olup Tip II akımlar için gözlenmiştir [2].

Bölüm 3

Deney Düzeneği, Cihazlar ve Deneysel Yöntem

3.1 Deney Düzeneği

Bu çalışma kapsamındaki deneyler, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğini oluşturan kısımlar 3. bölüm içerisinde açıklanmış olup deney düzeneğinin plan görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir. Sağ yan kol *T1*, sol yan kol *T2* şeklinde gösterilmiştir (Şekil 3.2). Yan kollar arasındaki açı, $\theta = 90^\circ$, yan kol ve ana kanal genişlikleri sırasıyla $b_{T1} = b_{T2} = 1$ m ve $b_{p-c} = 2$ m olup bu parametreler tüm deneylerde sabit tutulmuştur. Sağ yan koldaki debi Q_{T1} , sol yan koldaki debi Q_{T2} ve toplam debi Q_{p-c} olarak verilmiştir. Deney düzeneğinde ana kanal taban eğimi sıfır, sağ ve sol yan koldaki taban eğimleri 0,002 olup yan kollar ile ana kanal tabanı arasında kot farkı bulunmamaktadır.

Şekil üzerinde deney düzeneğine ait vanalar, su dönüş haznesi, savak ve mansap kapağı gösterilmiştir. Deney düzeneğinde *T1-T2* yan kolları, *PC* ana kanalı, *RW* dikdörtgen savağı, *V1-V2-V3* sürgülü vanaları, *V4* kelebek vanayı, *DG* mansap kapağını, *RC* dönüş haznesini ifade etmektedir (Şekil 3.1).

Yan kolların membasından sağlanan her iki akım, kavşak noktasında birleşmekte olup ana kanal boyunca toplam debi büyüklüğünde ve mansap yönünde hareketine devam etmiştir (Şekil 3.3). Deney düzeneğinde ana kanalın mansap yönü, koordinat sistemine göre x ekseninde pozitif yönü göstermektedir. Kavşak birleşim noktası, x, y ve z eksenlerinde orijin noktası olmuştur. Buna bağlı olarak kanal tabanından su yüzeyine doğru hareket, z ekseninde pozitif yönü göstermiştir. Yan kolların kavşakta birleştiği kesişim noktası, x, y ve z eksenlerinde orijin noktası olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.1: Deney düzeneğinin plan görünümü

36



Şekil 3.2: Deney düzeneği, (a) Sağ yan kol, (b) Sol yan kol



Şekil 3.3: Deney düzeneğinin kavşak noktası

Deney düzeneğinin zemin ve bodrum katlarına ait planlar sırasıyla Şekil 3.4.a ve 3.4.b'de verilmiştir.



Şekil 3.4: Deney düzeneği, (a) Zemin kat planı

38



Şekil 3.4: Deney düzeneği, (b) Bodrum kat planı

Ana kanalın bulunduğu zemin ve bodrum katlardaki deney düzeneğinin akış şeması ve hat üzerinde bulunan elemanlar sırasıyla Şekil 3.5'te ve 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Zemin kat, akış şeması



Şekil 3.6: Bodrum kat, akış şeması

Deney düzeneğinin memba kısmında 3 adet sürgülü vana ve 1 adet kelebek vana bulunmaktadır. Sağ yan kola su iletilebilmesi için 1 No.lu sürgülü vana tamamen açılmış, ana kanal membasında bulunan 2 No.lu sürgülü vana tamamen kapatılmış ve 4 No.lu kelebek vana da tamamen kapatılmıştır. Sol yan kola su iletebilmek için 4 No.lu kelebek vana tamamen kapatılmış, 3 No.lu sürgülü vana, istenen hassasiyette ayarlanarak gereken debi sağlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Sürgülü vana (V1, V2, V3) ile kelebek vanalar (V4)

Deneyler sırasında ihtiyaç duyulan su, ana kanala bağlı olan ve bodrum katta bulunan su deposu vasıtasıyla sağlanmıştır. Kanalın mansabından dökülen su, öncelikle metal yapı elemanlarıyla etrafi kapatılmış olan dönüş haznesine ulaşmakta, daha sonra metal borular vasıtasıyla bodrum katta bulunan devridaim tankına, buradan su deposuna ulaşmaktadır. Su deposuna bağlı durumdaki iki adet kelebek vana sayesinde depodan su çıkışı kontrol edilmekte, vanalara yakın olacak şekilde konumlandırılmış olan 2 adet santrifüj pompa vasıtasıyla bodrum kattan, zemin katta bulunan ana kanalın sağ ve sol yan kollarına tekrar su akışı sağlanmaktadır. Böylelikle deney setleri sırasında ihtiyaç duyulan su, devridaim yaptırılarak sağlanmış olmaktadır.

Sağ yan kolun bağlı olduğu hat üzerine yerleştirilen debimetre vasıtasıyla debi dijital olarak ölçülebilmiş ve bilgisayara yüklenmiş olan yazılım sayesinde istenen büyüklükte ayarlanabilmiştir. Sağ yan kolun genel görünümü aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Sağ yan kol

Sol yan koldan gelen debi, öncelikle dikdörtgen kesitli savağa dökülmekte, savaktan akarak sol yan kolun membasına dökülmektedir. Sol yan kol membasında suyun sakinleşmesi sağlanmıştır. Sol yan kolun genel görünümü Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9: Sol yan kol

Her iki yan koldan gelerek kanal kavşağında birleşen akım, ana kanal boyunca ilerlemekte olup kanal mansabında bulunan ve yüksekliği ayarlanabilen mansap kapağının üzerinden geçmektedir. Mansabın hemen arkasında bulunan çukur, su içerisinde çeşitli sebeplerle biriken katı maddeyi tutmakta ve devridaim sisteminin dışında kalmasını sağlamaktadır. Bu çukurun hemen arkasında yüksekliği ayarlanabilir mansap kapağı konumlandırılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Kanal mansabında bulunan çukur ve mansap kapağı

Deney düzeneğinin mansap kapağından dökülen su, öncelikle dönüş haznesine, buradan bodrum katta bulunan devridaim tankına ulaşmaktadır (Şekil 3.11). Devridaim tankından geçen su, bodrum katta bulunan Esinoks marka su deposuna ulaşmaktadır (Şekil 3.12). Su deposu, 24 m³ hacminde suyu depolayabilmektedir. Deney setleri sırasında pompaların zarar görmemesi amacıyla depo içerisinde mevcut olan anlık su yüksekliğinin, pompa seviyesinin altına düşmemesine özen gösterilmiştir.



Şekil 3.11: Bodrum katta bulunan devridaim tankı



Şekil 3.12: Bodrum katta bulunan su deposu

Depoya bağlı durumda 2 adet kelebek vana bulunmaktadır. Bu vanalardan bir tanesi sol yan kola, diğeri ise sağ yan kola gerekli olan suyun iletilmesini sağlamaktadır (Şekil 3.13). Kelebek vanaların hemen önünde onlara bağlı durumda birer pislik tutucu ve iki adet santrifüj pompa konumlandırılmıştır.



Şekil 3.13: (a) Bir No.lu hat ve (b) İki No.lu hat üzerindeki kelebek vanalar

Bodrum katta bulunan su deposunun hemen önünde konumlandırılmış olan 1 No.lu santrifüj pompa vasıtasıyla sağ yan kola gerekli büyüklükte debi sağlanmış olup 1 No.lu santrifüj pompa "MAS DAF" markadır. Devir kapasitesi 1450 devir/dakika, gücü 15 kW olup debi kapasitesi 300 m³/saattir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: 1 No.lu santrifüj pompa, sağ yan kol

2 No.lu santrifüj pompa vasıtasıyla sol yan kola gerekli olan debi sağlanmış olup 2 No.lu santrifüj pompa "Standart" markadır. Devir kapasitesi 1450 devir/dakika, gücü 15 kW olup debi kapasitesi 339 m³/saattir (Şekil 3.15). Pompadan iletilen suyun debisi, sol yan kola su akışı sağlayan sürgülü vana sayesinde ayarlanabilmiştir.



Şekil 3.15: 2 No.lu santrifüj pompa, sol yan kol

3.2 Cihazlar

3.2.1 Cihazların Özellikleri

Sağ yan kolun debisi, laboratuvar girişinde bulunan şalter vasıtasıyla kontrol edilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16: 1 No.lu pompanın şalteri, sağ yan kol

Sol yan kol şalterinin açılmasıyla 2 No.lu santrifüj pompa çalışmakta ve doğrudan sol yan kola su iletimi sağlanmaktadır (Şekil 3.17). Sol yan kol debisi, sürgülü vana vasıtasıyla ayarlanmıştır.



Şekil 3.17: 2 No.lu pompanın şalteri, sol yan kol

3.2.2 Debimetre ve Kalibrasyon

Sağ yan kola iletilen debi, Şekil 3.18.a'da görülüdüğü gibi debimetre vasıtasıyla ölçülmüş ve istenen büyüklükte ayarlanmıştır. Laboratuvarın masaüstü bilgisayarına yüklenen yazılım vasıtasıyla Hz değeri artırılıp azaltılarak istenen debiye ulaşılmıştır.

Debimetre, bodrum katta sağ yan kol hattı üzerine monte edilmiş olup bu hat üzerinden geçmekte olan suyun anlık olarak debisini ölçmektedir. Debimetreden gelen veriler, dijital olarak debimetre ölçüm ekranına yansımaktadır (Şekil 3.18.b). Debimetre Krohne markadır.



Şekil 3.18: (a) Debimetre, (b) Masaüstü bilgisayar ve debimetre ölçüm ekranı

Sol yan kol için istenen debinin ayarlanabilmesi maksadıyla sol yan kolun membasına dikdörtgen kesitli savak yerleştirilmiştir (Şekil 3.19). Savak yüksekliği, önce durgun haldeyken ölçülmüş daha sonra savak üzerinden akan suyun yüksekliği ölçülmüştür. Bu savaktan akan suyun yüksekliği h_a ile savağa gelen suyun debisi Q arasındaki ilişikiyi ortaya koyan formül olan Rehbock formülü vasıtasıyla kalibrasyon yapılmış ve debi ayarlanmıştır. Bunu yapabilmek için öncelikle savaktan akan suyun yüksekliği, Şekil 3.20'de sunulmuş olduğu gibi savağın orta noktasına sabitlenen kumpas ile ölçülmüş, istenen debinin elde edilebilmesi maksadıyla yükseklik, sürgülü vana vasıtasıyla gerektiği şekilde ayarlanmıştır. Savak genişliği B harfi ile ifade edilmiştir.



Şekil 3.19: (a) Dikdörtgen savağın plan görünümü ve kumpasın savak üzerindeki yeri, (b) Keskin kenarlı dikdörtgen savak kesiti, (c) Dikörtgen savağın yan cepheden görünümü, (d) Dikdörtgen savağın 3 boyutlu görünümü



Şekil 3.20: Dikdörtgen kesitli savağa sabitlenen kumpas
Formülde verilen h_a dikdörtgen savaktan akan su yüksekliği, h_s dikdörtgen savağın dolu su yüksekliği, *B* serbest su yüzeyi genişliği, *g* yer çekimi ivmesi, *Q* debi, c_d Rehbock formülü debi katsayısıdır [28].

Denklem (3.1) Rehbock formülünü ifade etmektedir;

$$Q = c_d \frac{2}{3} \sqrt{2gB} h_a^{3/2} \tag{3.1}$$

Bu katsayıya ait kullanılan formül,

$$c_d = 0,602 + 0,083 \ \frac{h_a}{h_s} \tag{3.2}$$

3.2.3 Limnimetre ve Lazermetre

Ana kanalın sağ ve sol yan kol duvarlarının üzerine monte edilmiş olan demir sürgüler üzerinde hareket edebilen tekerlekli limnimetre vasıtasıyla, öncelikle kanal tabanının kotu ölçülmüş, daha sonra her deney setinde istenen noktalardaki su seviyesi ölçülmüştür (Şekil 3.21). Kanal taban kotu ile su yüzeyinin yüksekliği arasındaki fark o noktada akım derinliğinin hesaplanmasını sağlamış olup böylelikle kanalın su yüzeyi profili elde edilmiştir. Aynı işlem yan kollarda da yapılmıştır. Yan kolların y ekseninde orta noktalarından ipler çekilerek kavşakta birleştirilmiştir.



Şekil 3.21: Limnimetre

Deneyde yapılan ölçümlerin doğruluğundan emin olmak için düzlemsel hizalama lazeri kullanılmıştır. Limnimetrede okunan değerlerin kontrolü lazerle yapılmıştır. Cihaz, yapılan tüm ölçümleri görebilecek olan kanal membasına yakın bir noktada konumlandırılmıştır. Cihaz, Bosch marka olup GLL 3-80 modelidir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22: Düzlemsel hizalama lazeri

3.3 Deneysel Yöntem

Bu çalışma kapsamında sabit tutulmuş olan parametreler birbirine simetrik olarak bağlanan yan kollar arasındaki açı, $\theta = 90^{\circ}$ ve yan kollar ile ana kanal genişlikleri sırasıyla, $b_{TI} = b_{T2} = 1$ m ve $b_{p-c} = 2$ m olmuştur. Yan kollardan verilen farklı debi ile farklı mansap koşullarında, farklı Froude sayılarına sahip 10 adet deney gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında mansap akım derinlikleri $h_{p-c} = 5,1$ cm ile 16,4 cm aralığında, Froude sayıları, $Fr_{p-c} = 0,07$ ile 0,35 aralığında, kavşağın kollarından gelen debilerin toplamı, $Q_{p-c}= 20$ l/s ile 60 l/s aralığında, $Q_{TI} = 10$ l/s - 40 l/s aralığında ve $Q_{T2} = 10$ l/s - 20 l/s aralığında olmuştur. Yan kol debi oranları $Q_{TI}/Q_{T2} = 1,0, 1,5$ ve 2,0'dir.

Akım derinlik ölçümleri, ana kanal ve yan kollarda hareket ettirilebilen araç üzerine yerleştirilen limnimetre ile yapılmış olup önce taban kotları ölçülmüş, daha sonra su yüzey kotları ölçülmüş, bu bilgiler, ölçüm yapılan noktalarda akım derinliklerinin bulunmasını, dolayısıyla su yüzeyi profilinin elde edilmesini sağlamıştır. Ölçümler, ana kanalda, kavşaktan itibaren mansap noktasına kadar her 50 cm'de bir, yan kollarda ise membadan kavşak noktasına kadar her 25 cm'de bir yapılmıştır. İplerin kesiştiği noktada y ekseninde 25 cm'de bir olmak üzere toplam 6 noktada ölçüm yapılmıştır. Her deney seti için toplam 70 noktada ölçüm yapılmış olmaktadır (Şekil 3.23).

Deneyler sırasında yan kollar ve ana kanal boyunca su yüzeyi profili çıkarılmış ve fotoğraflanmıştır.

Tablo 3.1'de gösterildiği gibi deneylerde her iki yan koldan farklı oranlarda verilmiş olan debilerin toplamı 20 l/s, 40 l/s, 50 l/s ve 60 l/s olmuştur (Tablo 3.1).

No	$Q_{T1}(l/s)$	$Q_{T2}\left(l/s\right)$	$Q_{p-c}(l/s)$	$V_{p-c}(m/s)$	Q_{T1}/Q_{p-c}	Q _{T2} /Q _{p-c}	Q_{T1}/Q_{T2}	Fr _{p-c}	h_{p-c} (cm)
1	20	20	40	0,26	0,50	0,50	1,00	0,30	7,65
2	20	20	40	0,15	0,50	0,50	1,00	0,13	13,55
3	20	20	40	0,12	0,50	0,50	1,00	0,10	16,40
4	30	20	50	0,31	0,60	0,40	1,50	0,34	8,20
5	30	20	50	0,19	0,60	0,40	1,50	0,17	13,10
6	30	20	50	0,16	0,60	0,40	1,50	0,13	15,25
7	40	20	60	0,33	0,67	0,33	2,00	0,35	9,15
8	10	10	20	0,19	0,50	0,50	1,00	0,28	5,10
9	10	10	20	0,14	0,50	0,50	1,00	0,16	7,30
10	10	10	20	0,08	0,50	0,50	1,00	0,07	12,45

Tablo 3.1: Araştırma kapsamında deney setindeki değişken parametreler ve değerleri



Şekil 3.23: (a) Deney düzeneği üzerindeki ölçüm noktaları

54



Şekil 3.23: (b) Yan kollar ve kavşaktaki ölçüm noktaları

55

Tablo 3.2 ana kanalda ölçüm yapılan noktaların *x*, *y ve z* eksenlerindeki değerlerini göstermektedir.

Ana Kanal											
No	<i>x</i> (m)	y (m)	<i>z</i> (cm)	No	<i>x</i> (m)	y (m)	<i>z</i> (cm)	No	<i>x</i> (m)	y (m)	<i>z</i> (cm)
1	0,020	0	55,85	10	3,105	0	55,85	19	7,605	0	55,60
2	0,355	0	55,80	11	3,605	0	55,75	20	8,105	0	55,60
3	0,605	0	55,95	12	4,105	0	55,75	21	8,605	0	55,80
4	0,707	0	55,90	13	4,605	0	55,75	22	9,105	0	55,90
5	0,855	0	55,70	14	5,105	0	55,60	23	9,605	0	55,75
6	1,105	0	55,65	15	5,605	0	55,45	24	10,105	0	55,70
7	1,605	0	55,65	16	6,105	0	55,55	25	10,605	0	55,70
8	2,105	0	55,75	17	6,605	0	55,65	26	11,105	0	55,90
9	2,605	0	55,65	18	7,105	0	55,60				

Tablo 3.2: Ana kanalda ölçüm noktalarının x, y ve z eksenlerindeki değerleri

Sağ ve sol koldaki akım derinliklerinin daha kolay anlaşılabilmesi için 4 nolu ölçüm noktası başlangıç noktası alınarak Şekil 3.24'te gösterildiği gibi her iki yan kola doğru uzanan bir *l* ekseni tanımlanmıştır.



Şekil 3.24: Deney setinde tanımlanmış eksen takımı

Tablo 3.3 sağ yan kol üzerinde ölçüm yapılan noktaların x, y, z ve l eksenlerindeki değerlerini göstermektedir.

Sağ Yan Kol (T1)										
No	<i>x</i> (m)	y (m)	<i>z</i> (cm)	<i>l</i> (m)						
64	-2,828	-3,536	56,10	4,75						
63	-2,652	-3,359	56,10	4,50						
62	-2,475	-3,182	55,90	4,25						
61	-2,298	-3,005	55,95	4,00						
60	-2,121	-2,828	55,85	3,75						
59	-1,945	-2,652	55,80	3,50						
58	-1,768	-2,475	55,70	3,25						
57	-1,591	-2,298	55,65	3,00						
56	-1,414	-2,121	55,65	2,75						
55	-1,237	-1,945	55,60	2,50						
54	-1,061	-1,768	55,65	2,25						
53	-0,884	-1,591	56,10	2,00						
52	-0,707	-1,414	55,95	1,75						
51	-0,354	-1,061	55,85	1,50						
50	-0,177	-0,884	55,90	1,25						
49	0	-0,707	56,00	1,00						
48	0,177	-0,53	56,00	0,75						
47	0,354	-0,354	55,90	0,50						
46	0,53	-0,177	55,80	0,25						

Tablo 3.3: Sağ yan kolda ölçüm noktlarının x, y, z ve l eksenlerindeki değerleri

Tablo 3.4 ana kanalda y eksenine göre sağ kol tarafında ölçüm yapılan noktaların x, y ve z eksenlerindeki değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.4: Ana kanalda y eksenine göre sağ kol tarafında ölçüm yapılan noktaların x, y ve z eksenlerindeki değerleri

Ana Kanal Sağ Taraf (y<0)									
No	<i>x</i> (m)	y (m)	<i>z</i> (cm)						
65	0,707	-0,25	55,70						
66	0,707	-0,50	55,70						
67	0,707	-0,75	55,90						

Tablo 3.5 sol yan kol üzerinde ölçüm yapılan noktaların x, y, z ve l eksenlerindeki değerlerini göstermektedir.

Sol Yan Kol (T2)										
No	<i>x</i> (m)	y (m)	<i>z</i> (cm)	<i>l</i> (m)						
45	-2,828	3,536	56,55	4,75						
44	-2,652	3,359	56,15	4,50						
43	-2,475	3,182	56,10	4,25						
42	-2,298	3,005	56,10	4,00						
41	-2,121	2,828	56,10	3,75						
40	-1,945	2,652	55,80	3,50						
39	-1,768	2,475	56,00	3,25						
38	-1,591	2,298	55,95	3,00						
37	-1,414	2,121	55,80	2,75						
36	-1,237	1,945	55,75	2,50						
35	-1,061	1,768	56,10	2,25						
34	-0,884	1,591	56,00	2,00						
33	-0,707	1,414	55,90	1,75						
32	-0,354	1,061	55,80	1,50						
31	-0,177	0,884	55,85	1,25						
30	0	0,707	55,90	1,00						
29	0,177	0,53	55,85	0,75						
28	0,354	0,354	55,85	0,50						
27	0,53	0,177	55,85	0,25						

Tablo 3.5: Sol yan kolda ölçüm noktalarının x, y, z ve l eksenlerindeki değerleri

Tablo 3.6 ana kanalda y eksenine göre sol kol tarafında ölçüm yapılan noktaların *x*, *y* ve *z* eksenlerindeki değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.6: Ana kanalda y eksenine göre sol kol tarafında ölçüm yapılan noktaların x, y ve z eksenlerindeki değerleri

Ana Kanal Sol Taraf (y>0)										
No	<i>x</i> (m)	y (m)	<i>z</i> (cm)							
68	0,707	0,25	55,85							
69	0,707	0,50	55,90							
70	0,707	0,75	55,85							

Bölüm 4

Deneysel Sonuçlar

4.1 Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerin tamamı nehir rejimindedir. Deneylerde elde edilen akım derinlikleri Tablo 4.1'de, seçilen ölçüm noktalarındaki ortalama kesitsel Froude sayısı değerleri Tablo 4.2'de, verilmiştir. Tablo 4.3'te kanal içinde seçilen noktalardaki Reynolds sayısı değerleri gösterilmiştir. Çalışmaya ait Reynolds Sayısı değerleri ve *Fr* sayısı değerleri incelendiğinde tüm deneylerde akımın türbülanslı ve nehir rejiminde olduğu görülmüştür (*Re*>2000), (Tablo 4.3). Ana kanalda elde edilen Froude sayıları Tablo 4.4'te verilmiştir.

Süreklilik denklemi ve Manning denklemi kullanılarak eşitliği sağlayan h_0 değeri deneme yanılma yöntemi ile bulunmuş olup bulunan h_0 değeri üniform akım derinliğini verir. Ana kanalda $h > h_c$ olup yan kollarda ise $h > h_o > h_c$ olmuştur.

	Sağ Yan Kol h (cm)							Ana Kanal <i>h</i> (cm)					Sol Yan Kol <i>h</i> (cm)					
Deney																		
No	64	55	53	47	h_c	h_0	1	8	16	24	h_c	h_0	28	31	36	45	h_c	h_0
1	7,30	8,25	8,00	8,30	3,44	5,17	8,75	8,05	7,95	7,70	3,44	12,33	8,35	8,25	7,95	6,65	3,44	5,17
2	12,70	14,00	13,45	14,05	3,44	5,17	14,15	13,95	13,95	13,70	3,44	12,33	14,05	13,75	13,75	12,10	3,44	5,17
3	15,55	16,85	16,40	16,85	3,44	5,17	16,65	17,05	16,95	16,70	3,44	12,33	16,75	16,75	16,55	15,00	3,44	5,17
4	8,35	9,25	8,70	8,90	4,51	6,66	9,05	8,45	8,80	8,45	3,99	14,19	9,15	8,95	9,10	7,90	3,44	5,17
5	13,00	13,70	13,30	13,25	4,51	6,66	13,65	13,45	13,60	13,35	3,99	14,19	13,50	13,65	13,65	12,35	3,44	5,17
6	14,50	15,40	15,00	15,30	4,51	6,66	15,45	15,25	15,45	15,30	3,99	14,19	15,45	15,55	15,45	13,70	3,44	5,17
7	9,20	10,40	9,80	9,90	5,46	7,99	10,70	9,45	9,70	9,40	4,51	15,93	10,30	10,15	10,25	8,80	3,44	5,17
8	5,30	5,90	5,45	5,90	2,17	3,36	6,30	5,80	5,65	5,35	2,17	8,01	5,95	5,65	5,75	4,85	2,17	3,36
9	7,25	7,75	7,30	7,60	2,17	3,36	7,85	7,75	7,75	7,60	2,17	8,01	7,90	7,65	7,80	6,70	2,17	3,36
10	12,35	13,00	12,50	12,90	2,17	3,36	12,95	12,85	13,00	12,65	2,17	8,01	12,95	12,75	12,80	11,70	2,17	3,36

Tablo 4.1: Deneylerde elde edilen akım derinlikleri

	Sağ Yan Kol Fr ₁₁			1	I	Ana K	anal <i>F</i>	'n	Sol Yan Kol Fr _{T2}					
Deney														
No	64	55	53	48	47	1	8	16	24	28	31	34	36	45
1	0,32	0,27	0,28	0,27	0,27	0,25	0,28	0,28	0,30	0,26	0,27	0,28	0,28	0,37
2	0,14	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,13	0,13	0,13	0,15
3	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,11
4	0,40	0,34	0,37	0,37	0,36	0,29	0,32	0,31	0,32	0,23	0,24	0,25	0,23	0,29
5	0,20	0,19	0,20	0,20	0,20	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13	0,15
6	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13	0,11	0,10	0,11	0,11	0,13
7	0,46	0,38	0,42	0,40	0,20	0,27	0,33	0,32	0,33	0,19	0,20	0,20	0,19	0,24
8	0,26	0,22	0,25	0,23	0,22	0,20	0,23	0,24	0,26	0,22	0,24	0,25	0,23	0,30
9	0,16	0,15	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15	0,18
10	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08

Tablo 4.2: Deneylerde elde edilen ortalama kesitsel Froude sayısı ($Fr = V/\sqrt{gh}$) değerleri

	Sağ Yan Kol (T1) Re						Ana Kanal <i>Re</i>				Sol Yan Kol (T2) Re			
No	48	49	50	51	52	53	12	26	29	30	31	32	33	34
1	16983	17041	17012	16997	17027	17071	18361	18395	16968	17012	16997	17012	17071	17041
2	15495	15519	15507	15495	15519	15604	17408	17439	15482	15519	15531	15531	15543	15592
3	14866	14844	14866	14900	14878	14911	16946	17012	14855	14844	14833	14911	14889	14911
4	25322	25258	25301	25193	25193	25301	22782	22877	16767	16781	16796	16753	16867	16867
5	23425	23425	23425	23425	23444	23462	21828	21885	15580	15568	15555	15543	15568	15592
6	22813	22778	22778	22796	22796	22848	21440	21477	15093	15139	15104	15186	15174	15186
7	33086	33114	33003	33141	33031	33114	27126	27213	16460	16474	16460	16529	16502	16529
8	8872	8888	8888	8880	8888	8928	9385	9421	8864	8888	8896	8888	8904	8936
9	8595	8595	8610	8572	8595	8640	9197	9227	8572	8595	8587	8580	8580	8595
10	7889	7883	7870	7883	7889	7921	8785	8805	7889	7896	7889	7877	7914	7933

Tablo 4.3: Deneylerde elde edilen Reynolds sayısı ($Re = V. R/\nu$) değerleri

Ölçüm							
Noktası	5	10	15	20	25	26	
Deney No	0,86	3,105	5,605	8,105	10,605	11,105	x (m)
1	0,272	0,280	0,280	0,280	0,299	0,302	
2	0,121	0,125	0,123	0,125	0,127	0,128	
3	0,090	0,092	0,090	0,093	0,095	0,096	
4	0,303	0,331	0,301	0,316	0,334	0,340	
5	0,162	0,163	0,159	0,163	0,165	0,168	
6	0,133	0,133	0,130	0,133	0,132	0,134	
7	0,303	0,338	0,312	0,322	0,338	0,346	
8	0,223	0,248	0,232	0,244	0,281	0,277	
9	0,069	0,051	0,067	0,070	0,072	0,073	
10	0,147	0,152	0,142	0,147	0,155	0,162	

Tablo 4.4: Ana kanalda elde edilen Froude sayısı değerleri

Şekil 4.1, Şekil 3.23'te gösterildiği gibi deneylerde kavşak birleşiminin membasında 48 numaralı ölçüm noktasında ölçülen akım derinlik değerleri ile 29 numaralı ölçüm noktasında ölçülen akım derinlik değerlerinin grafiğini göstermektedir. Birleşimin girişi olarak kabul edilen bu noktalardaki akım derinlikleri birbirine çok yakın değerlerde ölçülmüştür.



Şekil 4.1: h48 ve h29 noktalarında ölçülen değerlerin grafiği

Tablo 4.5, 48 numaralı ölçüm noktasında ölçülen akım derinlik değerleri ile 29 numaralı ölçüm noktasında ölçülen akım derinlik değerlerini göstermektedir.

_	48 no	29 no
Deney No	h ₁ (m)	h ₂ (m)
1	0,0845	0,0835
2	0,1390	0,1395
3	0,1670	0,1665
4	0,0865	0,0905
5	0,1340	0,1355
6	0,1510	0,1560
7	0,0985	0,1015
8	0,0580	0,0585
9	0,0760	0,0775
10	0,1275	0,1275

Tablo 4.5: h_{48} ve h_{29} noktalarında ölçülen değerler

1. deneyde yan kollardan verilen debilerin her ikisi de 20 l/s olup mansap kapağı tamamen açık konumdayken Şekil 3.23'te gösterilen 26 numaralı mansap noktasında akım derinliği 7,65 cm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.2.a incelendiğinde yan kollardaki su yüzey kotlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Şekil 4.2.b'ye göre kavşakta *y* ekseninde enkesitin sağındaki ortalama su yüzey kotu 64,07 cm olarak okunmuş olup enkesitin solundaki ortalama su yüzey kotu 63,90 cm olarak okunmuştur. Sol ve sağ kol duvarında ölçümlerin yakın değerde olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.2.c'ye göre kavşağın membasından mansaba doğru akım derinliği azalmıştır.



Şekil 4.2: Deney 1, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri, (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak görünümü

2. deneyde yan kollardan verilen debilerin her ikisi de 20 l/s olup mansap kapağı bir miktar kaldırılarak 26 numaralı mansap noktasında akım derinliği 13,55 cm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.3.a incelendiğinde yan kollardaki su yüzey kotlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Şekil 4.3.b'ye göre kavşakta y ekseninde enkesitin sağındaki ortalama su yüzey kotu 69,70 cm olup, enkesitin solundaki ortalama su yüzey kotu 69,83 cm olmuştur. Sol ve sağ kol duvarında ölçümlerin yakın değerde olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.3.c'ye göre kavşak içinde akım derinlikleri yakın olmuştur. Ana kanalda ortalama akım derinliği artmıştır.



Şekil 4.3: Deney 2, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak görünümü

3. deneyde yan kollardan verilen debilerin her ikisi de 20 l/s olup mansap kapağı bir miktar daha kaldırılarak 26 numaralı mansap noktasında akım derinliği 16,40 cm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.4.a incelendiğinde yan kollardaki su yüzey kotlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Şekil 4.4.b'ye göre kavşakta y ekseninde enkesitin sağındaki ortalama su yüzey kotu 72,68 cm olup, enkesitin solundaki ortalama su yüzey kotu 72,55 cm olmuştur. Sol ve sağ kol duvarında ise ölçümlerin yakın değerde olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.4.c'ye göre kavşakta su yüzey kotu 4 nolu ölçüm noktasına kadar artış göstermiş olup daha sonra mansaba doğru azalma eğiliminde olmuştur. Ana kanalda ortalama akım derinliği artmıştır.



Şekil 4.4: Deney 3, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak görünümü

4. deneyde sağ yan kolun debisinin 30 1/s, sol yan kolun debisinin 20 1/s olması durumunda mansap kapağı tamamen açık konumdayken 26 numaralı mansap noktasında akım derinliği 8,20 cm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.5.a incelendiğinde yan kollardaki su yüzey kotlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Şekil 4.5.b'ye göre kavşakta *y* ekseninde enkesitin sağındaki ortalama su yüzey kotu 64,48 cm olup, enkesitin solundaki ortalama su yüzey kotu 64,67 cm olmuştur. Debinin daha düşük olduğu sol kol duvarında ise akım derinliğinin arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi, debinin daha yüksek olduğu sağ koldan gelen akımı yaratmış olduğu momentumun, debisi daha düşük olan sol koldan gelen akımı sol kol duvarına doğru hafifçe saptırmış olmasıdır. Şekil 4.5.c'ye göre kavşakta su yüzey kotu membadan mansaba doğru azalma eğiliminde olmuştur.



Şekil 4.5: Deney 4, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak görünümü

5. deneyde sağ yan koldan verilen debi 30 l/s, sol yan koldan verilen debi 20 l/s olup mansap kapağı bir miktar kaldırılarak 26 numaralı mansap noktasında akım derinliği 13,10 cm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.6.a incelendiğinde yan kollardaki su yüzey kotlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Şekil 4.6.b'ye göre kavşakta *y* ekseninde enkesitin sağındaki ortalama su yüzey kotu 69,26 cm olup, enkesitin solundaki ortalama su yüzey kotu 69,21 cm olmuştur. Sol kol duvarındaki ölçüm, sağ kol duvarındaki ölçüme yakın olmuştur. Mansapta akım derinliğinin yükselmesi, sağ koldan gelen daha büyük debiye sahip akımın, kavşak içinde sol koldan gelen akım üzerindeki etkisini azaltmıştır. Şekil 4.6.c'ye göre kavşakta su yüzey kotu membadan mansaba doğru azalma eğiliminde olmuştur.



Şekil 4.6: Deney 5, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak görünümü

6. deneyde sağ yan koldan verilen debi 30 l/s, sol yan koldan verilen debi 20 l/s olup mansap kapağı bir miktar daha kaldırılarak 26 numaralı mansap noktasında akım derinliği 15,25 cm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.7.a incelendiğinde yan kollardaki su yüzey kotlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Şekil 4.7.b'ye göre kavşakta *y* ekseninde enkesitin sağındaki ortalama su yüzey kotu 70,95 cm olup, enkesitin solundaki ortalama su yüzey kotu 71,17 cm olmuştur. Sol kol duvarındaki ölçüm, sağ kol duvarındaki ölçüme yakın olmuştur. Mansapta akım derinliğinin yükselmesi, sağ koldan gelen daha büyük debiye sahip akımın, kavşak içinde sol koldan gelen akım üzerindeki etkisini azaltmıştır. Şekil 4.7.c'ye göre kavşakta su yüzey kotu membadan mansaba doğru azalma eğiliminde olmuştur.



Şekil 4.7: Deney 6, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak görünümü

Sağ yan kolun debisinin 40 l/s, sol yan kolun debisinin 20 l/s olması durumunda mansap kapağı tamamen açık iken 26 numaralı noktada akım derinliği 9,15 cm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.8.a incelendiğinde sağ koldaki su yüzey kotunun sol koldan fazla olduğu görülmektedir. Şekil 4.8.b'ye göre kavşakta *y* ekseninde enkesitin sağındaki ortalama su yüzey kotu 65,38 cm olup, enkesitin solundaki ortalama su yüzey kotu 65,87 cm olmuştur. Debinin daha düşük olduğu sol kol duvarında ise akım derinliğinin arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi, debinin daha yüksek olduğu sağ koldan gelen akımın yaratmış olduğu momentumun, debisi daha düşük olan sol koldan gelen akımı sol kol duvarına doğru nispeten kuvvetlice saptırmış olmasıdır. Şekil 4.8.c'ye göre kavşakta su yüzey kotu membadan mansaba doğru azalma eğiliminde olmuştur.



Şekil 4.8: Deney 7, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak görünümü

Her iki yan koldan gelen debilerin 10 l/s olması koşulunda mansap kapağı tamamen açık iken 26 numaralı noktada akım derinliği 5,10 cm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.9.a incelendiğinde yan kollardaki su yüzey kotlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Şekil 4.9.b'ye göre kavşakta y ekseninde enkesitin sağındaki ortalama su yüzey kotu 61,48 cm olup, enkesitin solundaki ortalama su yüzey kotu 61,53 cm olmuştur. Sol ve sağ kol duvarında ise ölçümlerin eşit değerde olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.9.c'ye göre kavşakta su yüzey kotu membadan mansaba doğru azalma eğiliminde olmuştur.



Şekil 4.9: Deney 8, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri, (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak görünümü

9. deneyde yan kollardan verilen debiler 10 l/s olup mansap kapağı bir miktar kaldırılarak 26 numaralı mansap noktasında akım derinliği 7,30 cm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.10.a incelendiğinde yan kollardaki su yüzey kotlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Şekil 4.10.b'ye göre kavşakta *y* ekseninde enkesitin sağındaki ortalama su yüzey kotu 68,80 cm olup, enkesitin solundaki ortalama su yüzey kotu 68,68 cm olmuştur. Sol ve sağ kol duvarında ise ölçümlerin yakın değerde olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.10.c'ye göre kavşakta su yüzey kotu membadan mansaba doğru azalma eğiliminde olmuştur. Mansap akım derinliğinin artmasıyla ana kanalda ortalama akım derinliği artmıştır.



Şekil 4.10: Deney 9, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak görünümü

10. deneyde yan kollardan verilen debiler 10 l/s olup mansap kapağı bir miktar daha kaldırılarak 26 numaralı mansap noktasında akım derinliği 12,45 cm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.11.a incelendiğinde yan kollardaki su yüzey kotlarının birbirine yakın olduğu görülmektedir. Şekil 4.11.b'ye göre kavşakta *y* ekseninde enkesitin sağındaki ortalama su yüzey kotu 63,40 cm olup, enkesitin solundaki ortalama su yüzey kotu 63,53 cm olmuştur. Sol ve sağ kol duvarında ise ölçümlerin yakın değerde olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.11.c'ye göre kavşakta su yüzey kotu membadan mansaba doğru azalma eğiliminde olmuştur. Mansap akım derinliğinin artmasıyla ana kanalda ortalama akım derinliği artmıştır.



Şekil 4.11: Deney 10, (a) Ana kanal, sağ ve sol yan kollar - yüzey profili, (b) Ana kanal ekseninde su yüzeyi profilleri (c) Kavşaktaki su yüzeyi profilleri, (d) Kavşak görünümü

Bölüm 5

Sayısal Çözüm

Bu bölümde deneyde kullanılan sayısal çözümden ve deney düzeneğinde seçilen noktalarda momentum denkleminin uygulanmasından bahsedilmiş olup, sayısal çözümden elde edilen veriler, deneysel verilerle kıyaslanmıştır.

5.1 Açık Kanallarda Su Yüzey Profilleri

Çengel ve Cimbala'ya [29] göre su yüzeyi profilleri, bir açık kanal akımında akım yolu boyunca elde edilecek akım derinliklerinin grafiği olarak ifade edilmektedir. Başka bir deyişle akım yolu boyunca akım derinliklerinin grafiği, akımın su yüzeyi profilini verir. Su yüzeyinin akım yolu boyunca kanal tabanından yüksekliğini gösteren bu profil kanal boyunca akım enkesitinin belirlenmesini sağladığı gibi, sıvı ağırlığı, kayma kuvveti ve atalet etkileri arasındaki dinamik dengeyi de yansıtır. Açık kanal akımlarında 12 farklı tipte su yüzeyi profili oluşmaktadır (Şekil 5.1).

Chow'a göre (1973) [30] su yüzeyi profillerinin sınıflandırması için sayı ve harften oluşan bir kod sistemi kullanılmaktadır. Burada; rakam kritik ve üniform derinliğe göre su derinliğinin bulunduğu bölgeyi, harf ise kanal taban eğiminin tipini tanımlamaktadır. Su yüzeyi profilleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Burada S_0 taban eğimi, S_c kritik eğimi ifade etmektedir. *h* akım derinliği, h_0 normal akım derinliği, h_c ise kritik akım derinliğidir.

Şekil 5.1'de gösterilen su yüzeyi profillerinden (a) Mild slope: Yumuşak eğim,(b) Steep slope: Sert eğim, (c) Critical slope: Kritik eğim, (d) Horizontal bed: Yatay eğim, (e) Adverse slope: ters eğim anlamı taşımaktadır [31].



Şekil 5.1: Su yüzeyi profilleri ve tipleri (a) Mild: yumuşak eğim, (b) Steep: sert eğim,(c) Critical: kritik eğim, (d) Horizontal: yatay eğim, (e) Adverse: ters eğim [31]

Akım yolu boyunca akım derinliğinin değişimi dh/dx veya bir noktadaki su seviyesinin zamanla değişimi dh/dt şeklinde ifade edilebilir. Şekil 5.1'de gösterilen dh/dx ifadesinin pozitif olması akım derinliğinin arttığı, dh/dx ifadesinin negatif olması ise akım derinliğinin azaldığı anlamına gelmektedir [31].

Eğim Tipi	Eğim Notasyonu	Şekil	Froude Sayısı	Rejim Tipi	Yüzey Profili Tipi
			<i>Fr</i> <1	Nehir	\mathbf{M}_1
$S_0 < S_c$	küçük eğim	5.1.a	<i>Fr</i> <1	Nehir	M_2
			<i>Fr</i> >1	Sel	M ₃
			<i>Fr</i> <1	Nehir	\mathbf{S}_1
$S_0 > S_c$	büyük eğim	5.1.b	<i>Fr</i> >1	Sel	\mathbf{S}_2
			<i>Fr</i> >1	Sel	S ₃
So=So	kritik eğim	51c	<i>Fr</i> <1	Nehir	C_1
50-50	KITTIK Uğılılı	5.1.0 -	<i>Fr</i> >1	Sel	C_2
So=0	vatav	5 1 d	<i>Fr</i> <1	Nehir	H_2
50-0	yatay	J.1.u -	<i>Fr</i> >1	Sel	H ₃
So<0	sert eğim	51e	<i>Fr</i> <1	Nehir	A_2
0/02	sert egim	5.1.0 -	<i>Fr</i> >1	Sel	A ₃

Tablo 5.1 açık kanallarda görülen yüzey profil tiplerini göstermektedir.

Tablo 5.1: Su yüzey profilleri tablosu [31]

Çengel ve Cimbala'ya göre [29] bir yüzey profili için; eğer akım derinliği hem normal derinliğin üzerinde hem de kritikse ($h > h_c$ ve $h > h_0$) 1 ile, şayet akım derinliği bu ikisi arasındaysa ($h_0 > h > h_c$) 2 ile ve eğer akım derinliği hem normal derinliğin altında hem de kritik ise ($h < h_c$ ve $h < h_0$) 3 ile gösterilir. Bu ifadelerden yola çıkılarak, herhangi bir kanal eğimi tipi için üç çeşit profil mümkündür. Fakat ters ve yatay eğime sahip kanallarda akım hiçbir zaman üniform olmadığından normal derinlik ifadesi kullanılamaz ve tip 1 akım görülmez. İlave olarak kritik eğimli kanallarda, kritik ve normal derinlikler özdeş ifade olduğundan tip 2 akım oluşmamaktadır. Bir bölgesinde eğimler pozitif eğim, iki bölgesindeki eğimler negatif eğim olarak isimlendirilir [29].

Deneylerin gerçekleştirildiği ana kanal tabanı düzdür. Tablo 5.2'deki Froude sayılarına bakıldığında tüm deneylerin nehir rejiminde gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 5.1 ve Tablo 5.1'deki su yüzeyi profilleri incelendiğinde ana kanalda tüm çalışmaların H2 profilinde olduğu görülmüştür ($S_0=0$, $h>h_c$). Bu yüzden Şekil 5.1'de gösterilen H2 profili bu çalışma kapsamında ana kanalda elde edilen değerlerle uyumlu olduğundan kare içinde gösterilmiştir. Çalışma kapsamında ana kanalda akım derinliği kavşaktan mansaba doğru azaldığından dh/dx ifadesi negatif olmuştur.

5.2 Enerji Denklemi

Seçilen dikdörtgen enkesitli bir kanalda b kanal taban genişliğini, h yüksekliği ifade etmektedir. h_K yük kaybıdır (Şekil 5.2).



Kanal tabanı

Şekil 5.2: Su yüzey profili

Aşağıda gösterilen ifadelerden A seçilen enkesitin alanı, U ıslak çevre, R hidrolik yarıçap, E özgül enerjidir.

$$A = b.h \tag{5.1}$$

$$U = b + 2h \tag{5.2}$$

$$R = \frac{A}{U} = \frac{b.h}{b+2h} \tag{5.3}$$

$$E = h + \frac{v^2}{2g} \tag{5.4}$$

İki nokta arasında enerji denklemi, denklem (5.5)'te ifade edilmiştir.

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_K$$
(5.5)

Burada; $h_k = Se \Delta x$ 'tir.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_e^{\frac{1}{2}}$$
(5.6)

$$S_e = \frac{n^2 V^2}{\frac{4}{83}}$$
(5.7)

$$\bar{s}_e = \frac{1}{2} \left(S_{e_1} + S_{e_1} \right) \tag{5.8}$$

Manning denklemi kullanılarak enerji çizgisinin eğiminin aritmetik ortalama değeri bulunmuştur. Bulunan bu değer, her iki adımın x noktaları arasındaki ilişkinin kurulabilmesini sağlamıştır. Denklem (5.9) ve denklem (5.10) bu ilişkiyi göstermektedir.

$$h_0 > h > h_c \ i \varsigma in \ \Delta x = \frac{\Delta E}{S_0 - \bar{S}_E}$$
(5.9)

$$x_2 = x_1 + \frac{E_2 - E_1}{S_0 - \bar{S}_E} \tag{5.10}$$

5.2.1 Direkt Adım Yöntemi

Direkt adım yöntemi uygulanırken sırasıyla profilin baş ve sonundaki derinlikler belirlenir, uygun görülen farklarda ara derinlikler belirlenir, denklemle seçilen derinliklerde ara mesafeler hesaplanır [31]. Deneme yanılma yöntemi ile x ara mesafeler belirlenir.

Deney sonuçları, enerji ve süreklilik denklemleriyle birleştirilerek, elde edilen değerlere bağlı olarak su ve taban yüzeyi profilleri oluşturulmuştur. Su yüzeyi profili, direkt adım yöntemiyle derinlikten mesafeye hesaplanmıştır. Bu hesapta deneme yanılma yöntemi ile *x* mesafeleri belirlenmiştir.

Hesaplamalarda sağ ve sol kollardan verilen debiler, toplam debi, kanal taban genişliği, kanal taban pürüzlülük katsayısı, alan denklem (5.1), ıslak çevre denklem

(5.2), hidrolik yarıçap denklem (5.3), enerji denklemi denklem (5.4), Manning denklemi kullanılarak x mesafeleri belirlenmiştir.

5.2.2 Standart Adım Yöntemi

Standart adım yönteminde, kanalın seçilen Δx ara mesafelerinde akım derinlikleri hesaplanır. Bu yöntem prizmatik kanallara veya prizmatik olmayan doğal akarsulara uygulanabilir. Aşağıdaki denklemde ortalama enerji çizgisi eğimi \overline{S} , enerji çizgisi eğimi $S_2 = (V_2^2 n^2 / R_2^{4/2})$ değerini de içermekte olup S_2 bilinmeyen h_2 'ye bağlıdır. Dolayısıyla aşağıdaki denklemden E_2 'nin çözümü h_2 için deneme yanılma işlemini gerektirir [31].

$$E_2 = E_1 - (S_0 - \overline{S}_e) \Delta x \tag{5.11}$$

Yöntemin uygulanışı aşağıdaki gibidir:

- a) h_2 için bir deneme değeri tahmin edilir ve $E_2 = h_2 + V_2^2/2g$ hesaplanır.
- b) h_2 deneme değeri kullanılarak $E_2 = E_1 (S_0 \overline{S})\Delta x$ denkleminden E_2 hesaplanır.
- c) Eğer, ilk iki yöntemde hesaplanan E_2 değerleri kabul edilebilir bir hassasiyet ölçüsünde eşdeğer değilse, hesaplar yeni bir h_2 ile tekrarlanır.

Çözüme Δx değerinin bulunması ile ulaşılır. Bunun için de son bulunan akım derinliği yerine konulur ve önceki adımdakine benzer işlemler tekrarlanır.

Aynı işlemler mansaptaki özgül enerji derinliğinin bilinip memba akım derinliğinin bulunmasında da uygulanır [31].

5.3 Momentum Denklemi

Birleşimin membasında akım derinliklerinin eşit olduğu varsayımı yapılarak seçilen noktalarda ve akımın toparlandığı kanal genişliğinin kavşaktan yaklaşık iki katı kadar mesafede momentum denklemi uygulanmıştır. Birleşimin mansabında seçilen noktalarda ölçülen akım derinlik değerleri momentum denkleminde yerine yazılmış olup denklemden elde edilen değerler birleşimin membasında ölçülen akım derinlikleriyle kıyaslanmıştır. Şekil 5.3, yan kolların ana kanal ile birleştiği noktalar ile birleşimin mansabında momentum denkleminin uygulandığı Şekil 3.23'te de gösterilen 48, 29 ve 12 numaralı ölçüm noktalarını göstermektedir.



Şekil 5.3: Birleşimde momentum denkleminin uygulandığı noktalar

Bu çalışma kapsamında kullanılmış olan deney düzeneğinde momentum denklemi, denklem (5.12)'deki gibi ifade edilebilmektedir.

$$\rho \frac{Q_1^2}{b_1 h_1} \cos \theta_1 + \frac{1}{2} \gamma h_1^2 b_1 \cos \theta_1 + \frac{1}{2} \gamma h_1^2 b_4 \sin \theta_1 + \rho \frac{Q_2^2}{b_2 h_2} \cos \theta_2 + \frac{1}{2} \gamma h_2^2 b_2 \cos \theta_2 + \frac{1}{2} \gamma h_2^2 b_2 \cos \theta_2 + \frac{1}{2} \gamma h_2^2 b_2 \sin \theta_2 = \rho \frac{Q_3^2}{b_3 h_3} + \frac{1}{2} \gamma h_3^2 b_3$$
(5.12)

Burada b_4 ve b_5 sağ ve sol yan kollarda duvar basıncı oluşan kesitlerin genişlikleridir. b_4 ile b_1 arasındaki ilişki $b_4=b_1 \tan \alpha_1$ olup b_5 ile b_2 arasındaki ilişki $b_5=b_2 \tan \alpha_2$ olmaktadır. h_1 ve h_2 'nin eşit olduğu varsayımında bulunulmuştur.

5.4 Sayısal Çözüm İle Deneysel Verilerin Karşılaştırılması

5.4.1 Momentum Denkleminin Uygulanması

Kavşakta her iki akımın birleşmesiyle meydana gelen karmaşık yapının düzelmeye başladığı ve akımın toparlanarak tekrar ana kanal genişliğince akmaya başladığı 12 No.lu ölçüm noktası kavşakta momentumun uygulandığı mansap noktası olarak seçilmiştir. 12 nolu ölçüm noktası aynı zamanda kavşağın başlangıç noktasından ana kanal genişliğinin yaklaşık iki katı kadar mesafede bulunmaktadır. Sol yan kolun birleşim girişinde ölçüm noktası 29 numaralı nokta olup sağ yon kolun birleşim girişinde ölçüm noktası 29 numaralı nokta olup sağ yon kolun birleşim girişinde ölçüen akım derinlik değerleri momentum denkleminde yerine yazılmış olup denklemden elde edilen değerler birleşimin membasında 48 ve 29 No.lu noktalarda ölçülen akım derinlikleriyle kıyaslanmıştır. Denklemden elde edilen değerler birleşimin membasında birleşimin membasında ölçülen akım derinlikleriyle kıyaslanmıştır. Denklemden elde edilen değerler birleşimin birleşimin membasında ölçülen akım derinlikleriyle kıyaslanmıştır. Denklemden elde edilen değerler birleşimin membasında 48 ve 29 No.lu noktalarda ölçülen akım derinlikleriyle kıyaslanmıştır. Denklemden elde edilen değerler birleşimin membasında ölçülen akım derinlikleriyle çok yakın değerde olduğu görülmüştür. Tablo 5.2 bu ilişkiyi göstermektedir. 48 ve 29 numaralı noktalarda birleşimlerin membasında akım derinliklerinin eşit olduğu varsayımı doğrulanmış olmaktadır.

Deney	Q48 (l/s)	Q29 (l/s)	Q ₁₂ (l/s)	V ₄₈ (m/s)	V ₂₉ (m/s)	<i>V</i> ₁₂ (m/s)	$A_{48}~({ m m}^2)$	$A_{29}({ m m}^2)$	$A_{12}({ m m}^2)$	<i>Fr</i> ₄₈	Fr 29	<i>Fr</i> ₁₂	<i>h</i> 48	h 29	h ₁₂	h denklem
No																
1	0,0200	0,0200	0,0400	0,2410	0,2400	0,2547	0,0830	0,0835	0,1570	0,2670	0,2650	0,2900	0,0830	0,0835	0,0785	0,0805
2	0,0200	0,0200	0,0400	0,1440	0,1430	0,1380	0,1390	0,1395	0,2750	0,1230	0,1230	0,1190	0,1390	0,1395	0,1375	0,1381
3	0,0200	0,0200	0,0400	0,1200	0,1200	0,0890	0,1660	0,1665	0,3370	0,0940	0,0940	0,0690	0,1660	0,1665	0,1685	0,1689
4	0,0300	0,0200	0,0500	0,3470	0,2210	0,2120	0,0865	0,0905	0,1730	0,3760	0,2350	0,2300	0,0865	0,0905	0,0865	0,0889
5	0,0300	0,0200	0,0500	0,2240	0,1480	0,1520	0,1340	0,1355	0,2680	0,1950	0,1280	0,1330	0,1340	0,1355	0,1340	0,1349
6	0,0300	0,0200	0,0500	0,1990	0,1280	0,1180	0,1510	0,1560	0,3090	0,1630	0,1040	0,0960	0,1510	0,1560	0,1545	0,1552
7	0,0400	0,0200	0,0600	0,4060	0,1970	0,2400	0,0985	0,1015	0,1900	0,4130	0,1970	0,2490	0,0985	0,1015	0,0950	0,0973
8	0,0100	0,0100	0,0200	0,1720	0,1710	0,1970	0,0580	0,0585	0,1100	0,2290	0,2260	0,2680	0,0580	0,0585	0,0550	0,0560
9	0,0100	0,0100	0,0200	0,1320	0,1290	0,1170	0,0760	0,0775	0,1530	0,1520	0,1480	0,1350	0,0760	0,0775	0,0765	0,0770
10	0,0100	0,0100	0,0200	0,0780	0,0780	0,1450	0,1275	0,1275	0,2540	0,0700	0,0700	0,1300	0,1275	0,1275	0,1270	0,1272

Tablo 5.2: Momentum denklemi ve deneysel verilere ait bilgiler

Şekil 5.4, Tablo 5.2'de verilen deneysel verilerden elde edilmiş olan h_{48} değerlerine karşılık gelen momentum denkleminden elde edilen değerleri göstermektedir. Momentum denkleminden elde edilen değerlerle deneysel verilerin örtüştüğü gözlemlenmiştir. Değerler birbirine çok yakın olmuştur.



Şekil 5.4: Denklemden elde edilen h_{48} 'e karşılık gelen değerler

Şekil 5.5, Tablo 5.2'de verilen deneysel verilerden elde edilmiş olan h_{29} değerlerine karşılık gelen denkleminden elde edilen değerleri göstermektedir. Momentum denkleminden elde edilen değerlerle, deneysel verilerin örtüştüğü gözlemlenmiştir. Değerler birbirine çok yakın olmuştur. Birleşimin her iki memba kolunda deneysel verilerden elde edilmiş olan değerlerle momentum denkleminin uygulanması sonucunda elde edilen değerler birbirine oldukça yakın olmuştur.



Şekil 5.5: Denklemden elde edilen h_{29} 'a karşılık gelen değerler

5.4.2 Enerji Denkleminin Uygulanması

Çalışmada, hem deneysel verilere dayanarak elde edilen su yüzeyi profilleri hem de yanında direkt adım yöntemiyle (derinlikten mesafeye) su yüzeyi profilleri oluşturulmuştur. Direkt adım yönteminde, kanalın seçilen derinliklerinde ara mesafeleri hesaplanmıştır. Deneme yanılma yöntemi ile *x* mesafeleri belirlenmiş olup su yüzeyi profilleri oluşturulmuştur [31].

Deney düzeneğinde ana kanal tabanı beton olup kanal tabanı düzdür. Yan kollarda taban eğimi 0,002 olarak bulunmuştur. Hem ana kanalda hem de yan kollarda kanal tabanındaki pürüzlülük değerinin belirlenmesi için Manning denklemi kullanılmış, deney ve direkt adım yöntemindeki grafikler farklı katsayılar için mukayese edilmiştir. Kıyaslama yapılırken n değerleri için sırasıyla 0,015, 0,017 ve 0,022 değerleri kullanılmıştır. Şekil 5.6'da gösterildiği gibi tüm grafikler incelendiğinde en uygun n değeri 0,015 olarak bulunmuştur. Örnek olarak birinci deney sunulmuştur.

Sayısal çözüm kavşakta x=2 m'ye kadar devam ettirilmiştir. Kavşağın türbülanslı yapısı sebebiyle kavşak içerisinde sayısal çözümden yararlanılamamış olup momentum denklemi uygulanmıştır. Yan kollarda 48 ve 29 nolu ölçüm noktalarından başlayarak yan kolların membalarına doğru sayısal çözüm devam ettirilmiştir. Ana kanalda sayısal çözüm ve deneysel sonuçlara ait grafikler Şekil 5.7 - Şekil 5.16'da sunulmuştur.



Şekil 5.6: Deney 1, farklı *n* değerleri için elde edilen grafikler, a) n = 0,015, b) n = 0,017, c) n = 0,022


Şekil 5.7: Deney 1 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri



Şekil 5.8: Deney 2 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri



Şekil 5.9: Deney 3 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri



Şekil 5.10: Deney 4 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri



Şekil 5.11: Deney 5 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri



Şekil 5.12: Deney 6 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri



Şekil 5.13: Deney 7 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri



Şekil 5.14: Deney 8 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri



Şekil 5.15: Deney 9 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri



Şekil 5.16: Deney 10 - su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri

Deney setlerinde ana kanalda ölçülen ve direkt adım yöntemiyle hesaplanan su seviyelerinin karşılaştırılmasına ait grafikler Şekil 5.17'de verilmiştir.



Şekil 5.17: Ana kanalada ölçülen ve hesaplanan su seviyelerinin karşılaştırılması,
(a) Deney 1, (b) Deney 2, (c) Deney 3, (d) Deney 4, (e) Deney 5, (f) Deney 6,
(g) Deney 7, (h) Deney 8, (1) Deney 9, (i) Deney 10

Çalışma sonucunda ana kanalda deneysel sonuçlar ve direkt adım yönteminde hesaplanan değerlerdeki sapma değerleri; ortalama kare hata (MSE), kök ortalama kare hata (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) değerleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

(MSE), Basitçe ortalama hata olarak adlandırılıp bir regresyon eğrisinin bir dizi noktaya ne kadar yakınlıkta olduğunu anlatır [32]. Denklem (5.13)'te ifade edilmiştir.

$$MSE = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k} e_j^2$$
 (5.13)

(RMSE), kök ortalama kare hata tahminleyicinin tahmin ettiği değerler ile gerçek değerler arasındaki uzaklığın bulunmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Tahmin hatalarının standart sapmasıdır [32]. Denklem (5.14)'te ifade edilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{MSE}$$
(5.14)

(MAE), Ortalama mutlak hata iki sürekli değişken arasındaki farkın ölçüsüdür. Her gerçek değer ile veriye en iyi uyan çizgi arasındaki ortalama dikey mesafedir [32]. Denklem (5.15)'te ifade edilmiştir.

$$MAE = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k} |e_j|$$
 (5.15)

Burada k veri setinin büyüklüğü, j toplama alt sınırı, e_j hatanın büyüklüğüdür.

Deney							
No	Q_{T1} l/s	Q_{T2} l/s	$h_{p-c}\left(\mathrm{cm} ight)$	RMSE	MAE	RMSE / h_{p-c} (%)	$\mathbf{MAE}/h_{p-c}(\%)$
1			7,65	0,12	0,09	1,60	1,18
2	20	20	13,55	0,39	0,36	2,90	2,66
3			16,40	0,42	0,38	2,58	2,31
4			8,20	0,18	0,14	2,20	1,72
5	30	20	13,10	0,25	0,22	1,90	1,67
6			15,25	0,13	0,11	0,82	0,70
7	40	20	9,15	0,20	0,17	2,19	1,85
8			5,10	0,21	0,18	4,18	3,52
9	10	10	7,30	0,33	0,30	4,46	4,10
10			12,45	0,34	0,29	2,75	2,32

Tablo 5.3: Ana kanalda deneysel çalışma ve direkt adım yöntemi arasındaki sapmalar

Şekil 5.1 ve Tablo 5.1'deki su yüzeyi profilleri incelendiğinde yan kollarda tüm çalışmaların M1 profilinde olduğu görülmüştür ($S_0 < S_c$, $h > h_o > h_c$). Bu yüzden Şekil 5.1'de gösterilen M1 profili çalışma kapsamında yan kollarda elde edilen değerlerle uyumlu olduğundan kare içine alınmıştır. Yan kollarda akım derinliği membadan kavşağa doğru arttığından dh/dx ifadesi pozitif olmuştur. Birleşim girişinden membaya doğru *l* ekseni pozitif yönü göstermekte olup yan kollarda birleşim girişinden membaya doğru çalışma yapılmıştır. Yan kollarda taban kotunun en düşük ve en yüksek değerleri arasındaki kot farkı yan kol uzunluğuna oranlanarak taban eğimi 0,002 olarak bulunmuştur. Yan kollarda elde edilen su yüzeyi ve direkt adım yöntemi verileri Şekil 5.18-5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.18: Su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri (a) Deney 1 sağ kol, (b) Deney 1 sol kol, (c) Deney 2 sağ kol, (d) Deney 2 sol kol



Şekil 5.19: Su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri (e) Deney 3 sağ kol, (f) Deney 3 sol kol, (g) Deney 4 sağ kol, (h) Deney 4 sol kol, (ı) Deney 5 sağ kol, (i) Deney 5 sağ kol



Şekil 5.20: Su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri (j) Deney 6 sağ kol, (k) Deney 6 sol kol, (l) Deney 7 sağ kol, (m) Deney 7 sol kol, (n) Deney 8 sağ kol, (o) Deney 8 sol kol



Şekil 5.21: Su yüzeyi, taban profilleri ve direkt adım yöntemi verileri (p) Deney 9 sağ kol, (r) Deney 9 sol kol, (s) Deney 10 sağ kol, (t) Deney 10 sol kol

Deney setlerinde yan kollarda ölçülen ve direkt adım yöntemiyle hesaplanan su seviyelerinin karşılaştırılmasına ait grafikler Şekil 5.22-5.23'te verilmiştir.



Şekil 5.22: Yan kollarda ölçülen ve direk adım yöntemiyle hesaplanan su seviyelerinin karşılaştırılması (a) Deney 1 sağ kol, (b) Deney 1 sol kol, (c) Deney 2 sağ kol, (d) Deney 2 sol kol, (e) Deney 3 sağ kol, (f) Deney 3 sol kol, (g) deney 4 sağ kol, (h) deney 4 sol kol, (i) Deney 5 sağ kol, (i) Deney 5 sol kol



Şekil 5.23: Yan kollarda ölçülen ve direkt adım yöntemiyle hesaplanan su seviyelerinin karşılaştırılması (j) Deney 6 sağ kol, (k) Deney 6 sol kol, (l) Deney 7 sağ kol, (m) Deney 7 sol kol, (n) Deney 8 sağ kol, (o) Deney 8 sol kol, (p) Deney 9 sağ kol, (r) Deney 9 sol kol, (s) Deney 10 sağ kol, (t) Deney 10 sol kol

Çalışma sonucunda yan kollarda deneysel sonuçlar ve direkt adım yönteminde hesaplanan değerlerdeki sapma değerleri; ortalama kare hata (MSE), kök ortalama kare hata (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) değerleri Tablo 5.4 ve Tablo 5.5'te verilmiştir.

Deney						
No	Q_{T1} l/s	$h_{p-c}(\mathrm{cm})$	RMSE	MAE	$\mathbf{RMSE}/h_{p-c}(\%)$	$\mathbf{MAE}/h_{p-c}(\%)$
1		8,30	0,25	0,15	3,00	1,80
2	20	13,90	0,39	0,24	2,78	1,71
3		16,60	0,38	0,26	2,27	1,56
4		8,65	0,52	0,44	5,97	5,13
5	30	13,40	0,28	0,22	2,09	1,63
6		15,10	0,23	0,18	1,50	1,17
7	40	9,85	0,54	0,44	5,51	4,45
8		5,80	0,17	0,13	2,88	2,29
9	10	7,60	0,17	0,18	2,24	2,30
10		12,75	0,20	0,17	1,54	1,29

Tablo 5.4: Sağ yan kolda deneysel çalışma ve direkt adım yöntemi arasındaki sapmalar

Tablo 5.5: Sol yan kolda deneysel çalışma ve direkt adım yöntemi arasındaki sapmalar

Deney						
No	Q_{T2} l/s	$h_{p-c}(\mathrm{cm})$	RMSE	MAE	\mathbf{RMSE}/h_{p-c} (%)	MAE/h_{p-c} (%)
1		8,35	0,52	0,39	6,22	4,69
2	20	13,95	0,65	0,49	4,65	3,53
3		16,65	0,55	0,36	3,29	2,16
4		9,05	0,34	0,25	3,80	2,72
5	20	13,55	0,37	0,24	2,72	1,78
6		15,60	0,64	0,45	4,08	2,91
7	20	10,15	0,35	0,21	3,40	2,05
8		5,85	0,33	0,26	5,64	4,48
9	10	7,75	0,38	0,27	4,92	3,42
10		12,75	0,36	0,26	2,82	2,03

Bölüm 6

Sonuç

İki veya daha fazla akarsuyun birleşerek tek bir kanal halinde aktığı noktalara akarsu kavşağı adı verilmekte olup hidrolik açıdan önem arz etmektedir.

Bu çalışma kapsamında, yan kollardan gelen farklı debi ve debi oranları ile farklı ana kanal mansap akım derinliklerinde yan kollar ve ana kanal boyunca akım derinlikleri ölçülmüştür. Yan kollar ile ana kanalın taban kotları eşit olacak şekilde düzenlenmiştir. Çalışmada, ana kanalda ve yan kollarda Froude sayıları 1'den küçük olup akım, her deney setinde nehir rejiminde olmuştur. Deneylerde Reynolds sayısı değeri 2000'den büyük olduğundan türbülanslı akım koşulları oluşmuştur.

Deney setlerinde her iki yan koldan gelen debilerin eşit olması koşulunda yan kollarda su yüzey kotları birbirine yakın olmuştur. Ayrıca kavşak kesişim noktasında enkesit üzerinde kanal genişliğince yapılan ölçümlere istinaden ana kanalın her iki duvarındaki akım derinliklerinin birbirine eşit olduğu gözlenmiştir. Kavşaktaki akım derinliği mansap akım derinliğinden yüksek olmuştur.

Sağ yan kolun debisinin 30 l/s, sol yan kolun debisinin 20 l/s olması durumunda yan kollarda akım derinlikleri birbirine oldukça yakın olmuştur. Ayrıca kavşak kesişim noktasında y ekseninde kanal genişliğince yapılan ölçümlere istinaden debinin daha düşük olduğu sol kol duvarında akım derinliğinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi, debinin daha yüksek olduğu sağ koldan gelen akımın yaratmış olduğu momentumun, debisi daha düşük olan sol koldan gelen akımı sol kol duvarına doğru hafifçe saptırmış olmasıdır. Mansapta akım derinliğinin artması, kavşakta debinin yüksek olduğu sağ koldan gelen akımı üzerindeki etkisini düşürmüştür.

Sağ yan kolun debisinin 40 1/s, sol yan kolun debisinin 20 1/s olması durumunda sağ yan koldaki akım derinliği sol yan koldaki akım derinliğine yakın olmuştur. Kavşak kesişim noktasında y ekseninde kanal genişliğince yapılan ölçümlere istinaden debinin düşük olduğu sol yan kol duvarında akım derinliğinin arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi, debinin daha yüksek olduğu sağ koldan gelen akımın yaratmış olduğu momentumun, debisi daha düşük olan sol koldan gelen akımı sol kol duvarına doğru nispeten daha kuvvetlice saptırmış olmasıdır.

Deneylerde ana kanalda taban eğimi 0 ve akım derinliği kritik akım derinliğinden büyük $(h>h_c)$ olup çalışmalar nehir rejiminde yapıldığından ana kanalda H2 profili gözlenmiştir. Yan kollarda ise taban eğimi 0,002, akım derinliği uniform akım derinliğinden ve kritik akım derinliğinden büyük $(h>h_o>h_c)$ ve taban eğimi kiritik eğimden küçük $(S_0<S_c)$ olup M1 profili gözlemlenmiştir. Deney düzeneğinin tabanında en uygun taban pürüzlülük katsayısı farklı mansap yükseklikleri için n = 0,015 olarak bulunmuştur. Ana kanalda kavşak birleşim noktasındaki akım derinliği her deney setinde mansap akım derinliğinden daha fazla olmuştur. Mansaptaki akım derinliğinin artması, hem ana kanalda hem de yan kollarda ortalama akım derinliğini artırmıştır.

Kavşakta seçilen noktalarda momentum denklemi uygulanmış olup birleşimin mansabında seçilen 12 No.lu noktada ölçülen akım derinlik değerleri momentum denkleminde yerine yazılmış ve denklemden elde edilen değerler birleşimin membasında 48 ve 29 No.lu noktalarda ölçülen akım derinlikleriyle kıyaslanmıştır. Denklemden elde edilen değerlerin birleşimin membasında ölçülen akım derinlikleriyle çok yakın değerde olduğu görülmüştür. Ayrıca birleşimlerin membasında akım derinliklerinin eşit olduğu varsayımı doğrulanmıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, simetrik akarsu kavşaklarının ıslah edilmesinde, kanal yan duvarlarının yüksekliklerinin ayarlanmasında ya da kavşaklara yakın bölgelerde inşa edilecek olan hidrolik yapıların tasarımında kullanılabilecektir. Yan kollardan gelen debilerin büyüklüğüne ve mansap akım derinliğine bağlı olarak kavşakta oluşabilecek su yüzey profillerinin tahmini, kavşak civarında yapılacak olan yapıların, olası su taşmalarından etkilenmesinin önüne geçilmesinin sağlanmasında fikir verebilecektir. Kavşak civarında akım derinliklerinin ve su yüzey profillerinin tahmin edilmesiyle olası can ve mal kayıplarının önüne geçilmesi de sağlanabilecektir.

100

Kaynaklar

- [1] Akarsu Kavşağı Negro ve Solimoes Nehirlerinin Birleşimi, Brezilya https://en.wikipedia.org/wiki/File:Meeting_of_waters_from_the_air_manaus_b razil.JPG 2011, Şubat.
- [2] Coelho M. M. L. P, Experimental determination of free surface levels at open channel junctions Journal of Hydraulic Research Vol. 2015, 53, No. 3.
- [3] Simetrik Akarsu Kavşağı, Suprasl ve Biala Nehirleri, Polonya https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Podlaskie_-_Choroszcz_-_Suprasl_river_and_Biala_river_confluence_-_bdg_DK65_near_Dzikie.JPG 2008, Mayıs.
- [4] Asimetrik Akarsu Kavşağı, Thompson ve Fraser Nehirleri Canada https://www.flickr.com/photos/31284484@N02/4472582561/in/photostream/ 2008, Eylül.
- [5] Weber Larry J., Eric D. Schumate ve Nicola Mawer, Experiments on flow at a 90° open channel junction J. Hydraul. Eng., 2001. 127(5): 340-350.
- [6] Taylor E. H, Flow characteristics at rectangular open-channel junctions. Trans. ASCE, 1944. 109, 893-902.
- Bowers C. E, Studies on open channel junctions. Technical Paper Nr. 6, Series
 B, (Part V of Hydraulic model srudies for Whiting Field Naval Air Station,
 Milton Florida, University of Minnesota, St. Anthony Falls Hydraulic
 Laboratory) 1950. Technical Paper No. 6, Series B.
- [8] Anwar H, Strömungsverhaltnisse bei Flussvereinigungen, PhD thesis, Technical Univ. of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany (Almanca), 1955.
- [9] Schnitter G., Müller R., Caprez V., ve Bisaz E, Modellversuche fuer Kraftwerkbauten im Wallis, ausgefuerht an der Hydraulischen Abteilung der Versuchsanstalt fuer Wasserbau und Erdbau an der ETH. Wasser-und Energiewirtschaft, 1955. 45(5-7) (Almanca).

- [10] Behlke C. E., ve Pritchett H. D, The design of supercritical channel junctions. Highway Re. Record, Nr. 123 Publication 1365 17-35. Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C. 1966.
- [11] Webber N. B., ve Greated C. A, An investigation of flow behavior at the junction of rectangular channels. Proc., Inst. Civ. Engrs., London, England, 1966. 34, 321-334.
- [12] Milano V., ve Sassoli F, Ricerca sperimentale sulle confluenze fluviali in regime permanente. L'Energia Ellettrica, Milan, Italy, 1977. 54(11), 497-508 (İtalyanca).
- [13] Carballada L., Wuach T. T., Marche C., ve Ramamurthy A. S, Modele de junction des rivieres. Proc., 19th IAHR Congr., 2(A7), 1981. 237-280.
- [14] Best J. L., ve Reid I, Seperation zone at open channel junctions. J. Hydr. Engrg., ASCE, 1984. 110(11), 1588-1594.
- [15] Best J, Flow dynamics at river confluences: Implications for sediment transport and bed morphology. Recent Development in Fluvial Sedimentology, SEPM Spec. Publ. 1987. 39, F.G. Etheridge, R.M. Flores, and M.D. Harvey, eds.
- [16] Hager H, Seperation zone at open channel junctions. J. Hydraul. Eng., 1987, 13(4): 539-543.
- [17] Ramamurthy A. S., Carballada L. B., ve Tran D. M, Combining open-channel flow at right-angeled junctions. J. Hydr. Engrg., ASCE, 1988. 114(12), 1449-1460.
- [18] Hager H, Supercritical flow in channel junctions. J. Hydraul. Eng., 1989, 115(5): 595-616.
- [19] Hager H, Transitional flow in channel junctions. J. Hydraul. Eng., 1989, 115(2): 243-259.
- [20] Fujita I., ve Komura S, Visualization of the flow at a confluence. Refined flow modelling and turbulence measurements, Tokyo, Japan, 1989. 691-698.

- [21] Mamedov A. S, Hydraulic calculation of a confluence. Hydrotechnical construction, 1989. 23(9), 553-556.
- [22] Christodoulou G. C, Incipient haydraulic jump at channel junctions. J. Hydraul. Eng., 1993, 119(3): 409-423.
- [23] Gurram S. K, Karki K. S., ve Hager W. H, Subcritical junction flow. J. Hydr. Engrg., ASCE, 1997. 123(5), 447-455.
- [24] Hsu C. C., Wu F. S., ve Lee W. J, Flow at 90° equal-width open-channel junction. J. Hydr. Engrg., ASCE, 1998a. 124(2). 186-191.
- [25] Hsu C. C., Lee W. J., ve Chang C. H, Subcritical open-channel junction flow. J. Hydr. Engrg., ASCE, 1998b. 124(8). 847-855.
- [26] Hager H., ve Guidice G, Supercritical flow in 45° junction manhole. J. Irrig. Drain Eng., 2001, 127(2): 100-108.
- [27] Pandey A., ve Mishra R, Comparison of flow characteristics at rectangular and trapezoidal channel. Journal of Physics: Conference Series 364, 012141, 2012.
- [28] Dağtekin İ., Eren H., Çelik N., Kıstak C, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı 2. Ders notları.
- [29] Çengel Y. A., Cimbala J. M, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, 2012.
- [30] Chow V. T, "Open channel hydraulics." McGraw-Hill, New York, 1973.
- [31] Kaçmaz A, Açık kanal su yüzü profil hesabının NewtonRaphson ile çözümü ve bilgisayar programı geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi 2018.
- [32] MSE, RMSE, MAE, ve diğer metrikler https://veribilimcisi.com/2017/07/14 /mse-rmse-mae-mape-metrikleri-nedir/.

Ekler

Ek A

	Sağ Yan Kol (T1)								
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
46	0,530	-0,177	0,25	55,80	64,10	8,30			
47	0,354	-0,354	0,50	55,90	64,20	8,30			
48	0,177	-0,530	0,75	56,00	64,30	8,30			
49	0,000	-0,707	1,00	56,00	64,10	8,10			
50	-0,177	-0,884	1,25	55,90	64,10	8,20			
51	-0,354	-1,061	1,50	55,85	64,10	8,25			
52	-0,707	-1,414	1,75	55,95	64,10	8,15			
53	-0,884	-1,591	2,00	56,10	64,10	8,00			
54	-1,061	-1,768	2,25	55,65	63,90	8,25			
55	-1,237	-1,945	2,50	55,60	63,85	8,25			
56	-1,414	-2,121	2,75	55,65	63,85	8,20			
57	-1,591	-2,298	3,00	55,65	63,90	8,25			
58	-1,768	-2,475	3,25	55,70	64,00	8,30			
59	-1,945	-2,652	3,50	55,80	64,00	8,20			
60	-2,121	-2,828	3,75	55,85	64,00	8,15			
61	-2,298	-3,005	4,00	55,95	63,95	8,00			
62	-2,475	-3,182	4,25	55,90	63,80	7,90			
63	-2,652	-3,359	4,50	56,10	63,75	7,65			
64	-2,828	-3,536	4,75	56,10	63,40	7,30			

Tablo A.1.1: Deney 1 – Sağ yan koldaki derinlikler

	Sol Yan Kol (T2)								
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
27	0,530	0,177	0,25	55,85	64,00	8,15			
28	0,354	0,354	0,50	55,85	64,20	8,35			
29	0,177	0,530	0,75	55,85	64,20	8,35			
30	0,000	0,707	1,00	55,90	64,10	8,20			
31	-0,177	0,884	1,25	55,85	64,10	8,25			
32	-0,354	1,061	1,50	55,80	64,00	8,20			
33	-0,707	1,414	1,75	55,90	63,90	8,00			
34	-0,884	1,591	2,00	56,00	64,10	8,10			
35	-1,061	1,768	2,25	56,10	63,80	7,70			
36	-1,237	1,945	2,50	55,75	63,70	7,95			
37	-1,414	2,121	2,75	55,80	63,70	7,90			
38	-1,591	2,298	3,00	55,95	63,80	7,85			
39	-1,768	2,475	3,25	56,00	63,90	7,90			
40	-1,945	2,642	3,50	55,80	63,90	8,10			
41	-2,121	2,828	3,75	56,10	63,90	7,80			
42	-2,298	3,005	4,00	5610	63,80	7,70			
43	-2,475	3,182	4,25	56,10	63,65	7,55			
44	-2,652	3,356	4,50	56,15	63,60	7,45			
45	-2,828	3,536	4,75	56,55	63,20	6,65			

Tablo A.1.2: Deney 1 – Sol yan koldaki derinlikler

	Ana Kanal (P-C)									
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
1	0,020	0	55,85	64,60	8,75					
2	0,355	0	55,80	64,30	8,50					
3	0,605	0	55,95	64,20	8,25					
4	0,707	0	55,90	63,95	8,05					
5	0,855	0	55,70	63,90	8,20					
6	1,105	0	55,65	63,90	8,25					
7	1,605	0	55,65	63,80	8,15					
8	2,105	0	55,75	63,80	8,05					
9	2,605	0	55,65	63,90	8,25					
10	3,105	0	55,85	63,90	8,05					
11	3,605	0	55,75	63,80	8,05					
12	4,105	0	55,75	63,60	7,85					
13	4,605	0	55,75	63,65	7,90					
14	5,105	0	55,60	63,65	8,05					
15	5,605	0	55,45	63,50	8,05					
16	6,105	0	55,55	63,50	7,95					
17	6,605	0	55,65	63,55	7,90					
18	7,105	0	55,60	63,60	8,00					
19	7,605	0	55,60	63,50	7,90					
20	8,105	0	55,60	63,65	8,05					
21	8,605	0	55,80	63,50	7,70					
22	9,105	0	55,90	63,35	7,45					
23	9,605	0	55,75	63,35	7,60					
24	10,105	0	55,70	63,40	7,70					
25	10,605	0	55,70	63,40	7,70					
26	11,105	0	55,90	63,55	7,65					

Tablo A.1.3: Deney 1 – Ana kanaldaki derinlikler

	Ana Kanal Enkesit y≤0									
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
4	0,707	0	55,90	63.95	8,05					
65	0,707	-0,25	55,70	64.10	8,40					
66	0,707	-0,5	55,70	64.05	8,35					
67	0,707	-0,75	55,90	64.05	8,15					
			Ana	Kanal Enkesit y≥0						
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
4	0,707	0	55,90	63,95	8,05					
68	0,707	0,25	55,85	63,90	8,05					
69	0,707	0,5	55,90	63,90	8,00					
70	0,707	0,75	55,85	63,90	8,05					

Tablo A.1.4: Deney 1 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler

	Sağ Yan Kol (T1)								
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
46	0,530	-0,177	0,25	55,80	69,70	13,90			
47	0,354	-0,354	0,50	55,90	69,95	14,05			
48	0,177	-0,530	0,75	56,00	69,90	13,90			
49	0,000	-0,707	1,00	56,00	69,80	13,80			
50	-0,177	-0,884	1,25	55,90	69,75	13,85			
51	-0.354	-1.061	1.50	55,85	69,75	13,90			
52	-0,707	-1.414	1.75	55,95	69,75	13,80			
53	-0.884	-1.591	2.00	56,10	69,55	13,45			
54	-1,061	-1,768	2,25	55,65	69,70	14,05			
55	-1,237	-1,945	2,50	55,60	69,60	14,00			
56	-1,414	-2,121	2,75	55,65	69,55	13,90			
57	-1,591	-2,298	3,00	55,65	69,45	13,80			
58	-1,768	-2,475	3,25	55,70	69,55	13,85			
59	-1,945	-2,652	3,50	55,80	69,55	13,75			
60	-2,121	-2,828	3,75	55,85	69,50	13,65			
61	-2,298	-3,005	4,00	55,95	69,45	13,50			
62	-2,475	-3,182	4,25	55,90	69,50	13,60			
63	-2,652	-3,359	4,50	56,10	69,15	13,05			
64	-2,828	-3,536	4.75	56,10	68,80	12,70			

Tablo A.1.5: Deney 2 – Sağ yan koldaki derinlikler

	Sol Yan Kol (T2)								
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
27	0,530	0,177	0,25	55,85	69,75	13,90			
28	0,354	0,354	0,50	55,85	69,90	14,05			
29	0,177	0,530	0,75	55,85	69,80	13,95			
30	0,000	0,707	1,00	55,90	69,70	13,80			
31	-0,177	0,884	1,25	55,85	69,60	13,75			
32	-0,354	1,061	1,50	55,80	69,65	13,85			
33	-0,707	1,414	1,75	55,90	69,60	13,70			
34	-0,884	1,591	2,00	56,00	69,50	13,50			
35	-1,061	1,768	2,25	56,10	69,60	13,50			
36	-1,237	1,945	2,50	55,75	69,50	13,75			
37	-1,414	2,121	2,75	55,80	69,40	13,60			
38	-1,591	2,298	3,00	55,95	69,30	13,35			
39	-1,768	2,475	3,25	56,00	69,40	13,40			
40	-1,945	2,642	3,50	55,80	69,40	13,60			
41	-2,121	2,828	3,75	56,10	69,35	13,25			
42	-2,298	3,005	4,00	56,10	69,35	13,25			
43	-2,475	3,182	4,25	56,10	69,35	13,25			
44	-2,652	3,356	4,50	56,15	69,00	12,85			
45	-2,828	3,536	4,75	56,55	68,65	12,10			

Tablo A.1.6: Deney 2 – Sol yan koldaki derinlikler

	Ana Kanal (P-C)									
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
1	0,020	0	55,85	70,00	14,15					
2	0,355	0	55,80	69,80	14,00					
3	0,605	0	55,95	69,75	13,80					
4	0,707	0	55,90	69,80	13,90					
5	0,855	0	55,70	69,80	14,10					
6	1,105	0	55,65	69,90	14,25					
7	1,605	0	55,65	69,90	14,25					
8	2,105	0	55,75	69,70	13,95					
9	2,605	0	55,65	69,60	13,95					
10	3,105	0	55,85	69,60	13,75					
11	3,605	0	55,75	69,55	13,80					
12	4,105	0	55,75	69,50	13,75					
13	4,605	0	55,75	69,55	13,80					
14	5,105	0	55,60	69,45	13,85					
15	5,605	0	55,45	69,40	13,95					
16	6,105	0	55,55	69,50	13,95					
17	6,605	0	55,65	69,50	13,85					
18	7,105	0	55,60	69,65	14,05					
19	7,605	0	55,60	69,50	13,90					
20	8,105	0	55,60	69,40	13,80					
21	8,605	0	55,80	69,40	13,60					
22	9,105	0	55,90	69,45	13,55					
23	9,605	0	55,75	69,65	13,90					
24	10,105	0	55,70	69,40	13,70					
25	10,605	0	55,70	69,30	13,60					
26	11,105	0	55,90	69,45	13,55					

Tablo A.1.7: Deney 2 – Ana kanaldaki derinlikler

	Ana Kanal Enkesit y≤0									
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
4	0,707	0	55,90	69,80	13,90					
65	0,707	-0,25	55,70	69,70	14,00					
66	0,707	-0,50	55,70	69,80	14,10					
67	0,707	-0,75	55,90	69,60	13,70					
			Ana	Kanal Enkesit y≥0						
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
4	0,707	0	55,90	69,80	13,90					
68	0,707	0,25	55,85	69,80	13,95					
69	0,707	0,50	55,90	70,00	14,10					
70	0,707	0,75	55,85	69,70	13,85					

Tablo A.1.8: Deney 2 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler

	Sağ Yan Kol (T1)								
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
46	0,530	-0,177	0,25	55,80	72,75	16,95			
47	0,354	-0,354	0,50	55,90	72,75	16,85			
48	0,177	-0,530	0,75	56,00	72,60	16,60			
49	0,000	-0,707	1,00	56,00	72,70	16,70			
50	-0,177	-0,884	1,25	55,90	72,50	16,60			
51	-0,354	-1,061	1,50	55,85	72,30	16,45			
52	-0,707	-1,414	1,75	55,95	72,50	16,55			
53	-0,884	-1,591	2,00	56,10	72,50	16,40			
54	-1,061	-1,768	2,25	55,65	72,45	16,80			
55	-1,237	-1,945	2,50	55,60	72,45	16,85			
56	-1,414	-2,121	2,75	55,65	72,50	16,85			
57	-1,591	-2,298	3,00	55,65	72,60	16,95			
58	-1,768	-2,475	3,25	55,70	72,55	16,85			
59	-1,945	-2,652	3,50	55,80	72,60	16,80			
60	-2,121	-2,828	3,75	55,85	72,40	16,55			
61	-2,298	-3,005	4,00	55,95	72,30	16,35			
62	-2,475	-3,182	4,25	55,90	72,30	16,40			
63	-2,652	-3,359	4,50	56,10	71,80	15,70			
64	-2.828	-3.536	4.75	56,10	71,65	15,55			

Tablo A.1.9: Deney 3 – Sağ yan koldaki derinlikler

Sol Yan Kol (T2)							
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)	
27	0,530	0,177	0,25	55,85	72,80	16,95	
28	0,354	0,354	0,50	55,85	72,60	16,75	
29	0,177	0,530	0,75	55,85	72,50	16,65	
30	0,000	0,707	1,00	55,90	72,60	16,70	
31	-0,177	0,884	1,25	55,85	72,60	16,75	
32	-0,354	1,061	1,50	55,80	72,20	16,40	
33	-0,707	1,414	1,75	55,90	72,40	16,50	
34	-0,884	1,591	2,00	56,00	72,40	16,40	
35	-1,061	1,768	2,25	56,10	72,35	16,25	
36	-1,237	1,945	2,50	55,75	72,30	16,55	
37	-1,414	2,121	2,75	55,80	72,40	16,60	
38	-1,591	2,298	3,00	55,95	72,45	16,50	
39	-1,768	2,475	3,25	56,00	72,35	16,35	
40	-1,945	2,642	3,50	55,80	72,50	16,70	
41	-2,121	2,828	3,75	56,10	72,25	16,15	
42	-2,298	3,005	4,00	56,10	72,20	16,10	
43	-2,475	3,182	4,25	56,10	72,15	16,05	
44	-2,652	3,356	4,50	56,15	71,70	15,55	
45	-2,828	3,536	4,75	56,55	71,55	15,00	

Tablo A.1.10: Deney 3 – Sol yan koldaki derinlikler

Ana Kanal (P-C)								
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
1	0,020	0	55,85	72,50	16,65			
2	0,355	0	55,80	72,70	16,90			
3	0.605	0	55.95	72,60	16,65			
4	0,707	0	55,90	72,80	16,90			
5	0,855	0	55,70	72,80	17,10			
6	1,105	0	55,65	72,60	16,95			
7	1,605	0	55,65	72,80	17,15			
8	2,105	0	55,75	72,80	17,05			
9	2,605	0	55,65	72,60	16,95			
10	3,105	0	55,85	72,80	16,95			
11	3,605	0	55,75	72,70	16,95			
12	4,105	0	55,75	72,60	16,85			
13	4,605	0	55,75	72,55	16,80			
14	5,105	0	55,60	72,50	16,90			
15	5,605	0	55,45	72,55	17,10			
16	6,105	0	55,55	72,50	16,95			
17	6,605	0	55,65	72,45	16,80			
18	7,105	0	55,60	72,50	16,90			
19	7,605	0	55,60	72,55	16,95			
20	8,105	0	55,60	72,40	16,80			
21	8,605	0	55,80	72,30	16,50			
22	9,105	0	55,90	72,40	16,50			
23	9,605	0	55,75	72,40	16,65			
24	10,105	0	55,70	72,40	16,70			
25	10,605	0	55,70	72,20	16,50			
26	11,105	0	55,90	72,30	16,40			

Tablo A.1.11: Deney 3 – Ana kanaldaki derinlikler

Ana Kanal Enkesit y≤0									
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)				
4	0,707	0	55,90	72,80	16,90				
65	0,707	-0,25	55,70	72,65	16,95				
66	0,707	-0,50	55,70	72,80	17,10				
67	0,707	-0,75	55,90	72,60	16,70				
			Ana	Kanal Enkesit y≥0					
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)				
4	0,707	0	55,90	72,80	16,90				
68	0,707	0,25	55,85	72,50	16,65				
69	0,707	0,50	55,90	72,55	16,65				
70	0,707	0,75	55,85	72,60	16,75				

Tablo A.1.12: Deney 3 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler

	Sağ Yan Kol (T1)							
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)		
46	0,530	-0,177	0,25	55,80	64,70	8,90		
47	0,354	-0,354	0,50	55,90	64,80	8,90		
48	0,177	-0,530	0,75	56,00	64,65	8,65		
49	0,000	-0,707	1,00	56,00	64,80	8,80		
50	-0,177	-0,884	1,25	55,90	64,60	8,70		
51	-0,354	-1,061	1,50	55,85	64,80	8,95		
52	-0,707	-1,414	1,75	55,95	64,90	8,95		
53	-0,884	-1,591	2,00	56,10	64,80	8,70		
54	-1,061	-1,768	2,25	55,65	64,80	9,15		
55	-1,237	-1,945	2,50	55,60	64,85	9,25		
56	-1,414	-2,121	2,75	55,65	64,80	9,15		
57	-1,591	-2,298	3,00	55,65	64,85	9,20		
58	-1,768	-2,475	3,25	55,70	64,85	9,15		
59	-1,945	-2,652	3,50	55,80	64,85	9,05		
60	-2,121	-2,828	3,75	55,85	64,75	8,90		
61	-2,298	-3,005	4,00	55,95	64,75	8,80		
62	-2,475	-3,182	4,25	55,90	64,65	8,75		
63	-2,652	-3,359	4,50	56,10	64,50	8,40		
64	-2,828	-3,536	4,75	56,10	64,45	8,35		

Tablo A.1.13: Deney 4 – Sağ yan koldaki derinlikler

	Sol Yan Kol (T2)							
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)		
27	0,530	0,177	0,25	55,85	64,80	8,95		
28	0,354	0,354	0,50	55,85	65,00	9,15		
29	0,177	0,530	0,75	55,85	64,90	9,05		
30	0,000	0,707	1,00	55,90	64,90	9,00		
31	-0,177	0,884	1,25	55,85	64,80	8,95		
32	-0,354	1,061	1,50	55,80	64,90	9,10		
33	-0,707	1,414	1,75	55,90	64,60	8,70		
34	-0,884	1,591	2,00	56,00	64,70	8,70		
35	-1,061	1,768	2,25	56,10	64,60	8,50		
36	-1,237	1,945	2,50	55,75	64,85	9,10		
37	-1,414	2,121	2,75	55,80	64,85	9,05		
38	-1,591	2,298	3,00	55,95	64,70	8,75		
39	-1,768	2,475	3,25	56,00	64,90	8,90		
40	-1,945	2,642	3,50	55,80	64,95	9,15		
41	-2,121	2,828	3,75	56,10	64,90	8,80		
42	-2,298	3,005	4,00	56,10	64,55	8,45		
43	-2,475	3,182	4,25	56,10	64,85	8,75		
44	-2,652	3,356	4,50	56,15	64,65	8,50		
45	-2,828	3,536	4,75	56,55	64,45	7,90		

Tablo A.1.14: Deney 4 – Sol yan koldaki derinlikler

	Ana Kanal (P-C)								
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)				
1	0,020	0	55,85	64,90	9,05				
2	0,355	0	55,80	64,80	9,00				
3	0,605	0	55,95	64,80	8,85				
4	0,707	0	55,90	64,80	8,90				
5	0,855	0	55,70	64,55	8,85				
6	1,105	0	55,65	64,45	8,80				
7	1,605	0	55,65	64,40	8,75				
8	2,105	0	55,75	64,20	8,45				
9	2,605	0	55,65	64,35	8,70				
10	3,105	0	55,85	64,20	8,35				
11	3,605	0	55,75	64,35	8,60				
12	4,105	0	55,75	64,40	8,65				
13	4,605	0	55,75	64,40	8,65				
14	5,105	0	55,60	64,35	8,75				
15	5,605	0	55,45	64,35	8,90				
16	6,105	0	55,55	64,35	8,80				
17	6,605	0	55,65	64,25	8,60				
18	7,105	0	55,60	64,25	8,65				
19	7,605	0	55,60	64,20	8,60				
20	8,105	0	55,60	64,20	8,60				
21	8,605	0	55,80	64,20	8,40				
22	9,105	0	55,90	64,20	8,30				
23	9,605	0	55,75	64,20	8,45				
24	10,105	0	55,70	64,15	8,45				
25	10,605	0	55,70	64,00	8,30				
26	11,105	0	55,90	64,10	8,20				

Tablo A.1.15: Deney 4 – Ana kanaldaki derinlikler

Ana Kanal Enkesit y≤0								
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
4	0,707	0	55,90	64,80	8,90			
65	0,707	-0,25	55,70	64,80	9,10			
66	0,707	-0,50	55,70	64,55	8,85			
67	0,707	-0,75	55,90	64,10	8,20			
			Ana	Kanal Enkesit y≥0				
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
4	0,707	0	55,90	64,80	8,90			
68	0,707	0,25	55,85	64,75	8,90			
69	0,707	0,50	55,90	64,70	8,80			
70	0,707	0,75	55,85	64,55	8,70			

Tablo A.1.16: Deney 4 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler

	Sağ Yan Kol (T1)								
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
46	0,530	-0,177	0,25	55,80	69,40	13,60			
47	0,354	-0,354	0,50	55,90	69,15	13,25			
48	0,177	-0,530	0,75	56,00	69,40	13,40			
49	0,000	-0,707	1,00	56,00	69,40	13,40			
50	-0,177	-0,884	1,25	55,90	69,30	13,40			
51	-0,354	-1,061	1,50	55,85	69,25	13,40			
52	-0,707	-1,414	1,75	55,95	69,30	13,35			
53	-0,884	-1,591	2,00	56,10	69,40	13,30			
54	-1,061	-1,768	2,25	55,65	69,50	13,85			
55	-1,237	-1,945	2,50	55,60	69,30	13,70			
56	-1,414	-2,121	2,75	55,65	69,40	13,75			
57	-1,591	-2,298	3,00	55,65	69,40	13,75			
58	-1,768	-2,475	3,25	55,70	69,45	13,75			
59	-1,945	-2,652	3,50	55,80	69,50	13,70			
60	-2,121	-2,828	3,75	55,85	69,55	13,70			
61	-2,298	-3,005	4,00	55,95	69,50	13,55			
62	-2,475	-3,182	4,25	55,90	69,50	13,60			
63	-2,652	-3,359	4,50	56,10	69,40	13,30			
64	-2,828	-3,536	4.75	56,10	69,10	13,00			

Tablo A.1.17: Deney 5 – Sağ yan koldaki derinlikler
	Sol Yan Kol (T2)							
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)		
27	0,530	0,177	0,25	55,85	69,40	13,55		
28	0,354	0,354	0,50	55,85	69,35	13,50		
29	0,177	0,530	0,75	55,85	69,40	13,55		
30	0,000	0,707	1,00	55,90	69,50	13,60		
31	-0,177	0,884	1,25	55,85	69,50	13,65		
32	-0,354	1,061	1,50	55,80	69,50	13,70		
33	-0,707	1,414	1,75	55,90	69,50	13,60		
34	-0,884	1,591	2,00	56,00	69,50	13,50		
35	-1,061	1,768	2,25	56,10	69,45	13,35		
36	-1,237	1,945	2,50	55,75	69,40	13,65		
37	-1,414	2,121	2,75	55,80	69,20	13,40		
38	-1,591	2,298	3,00	55,95	69,30	13,35		
39	-1,768	2,475	3,25	56,00	69,30	13,30		
40	-1,945	2,642	3,50	55,80	69,40	13,60		
41	-2,121	2,828	3,75	56,10	69,40	13,30		
42	-2,298	3,005	4,00	56,10	69,30	13,20		
43	-2,475	3,182	4,25	56,10	69,20	13,10		
44	-2,652	3,356	4,50	56,15	69,00	12,85		
45	-2,828	3,536	4,75	56,55	68,90	12,35		

Tablo A.1.18: Deney 5 – Sol yan koldaki derinlikler

	Ana Kanal (P-C)									
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
1	0,020	0	55,85	69,50	13,65					
2	0,355	0	55,80	69,65	13,85					
3	0,605	0	55,95	69,30	13,35					
4	0,707	0	55,90	69,35	13,45					
5	0,855	0	55,70	69,15	13,45					
6	1,105	0	55,65	69,15	13,50					
7	1,605	0	55,65	69,20	13,55					
8	2,105	0	55,75	69,20	13,45					
9	2,605	0	55,65	69,30	13,65					
10	3,105	0	55,85	69,25	13,40					
11	3,605	0	55,75	69,20	13,45					
12	4,105	0	55,75	69,15	13,40					
13	4,605	0	55,75	69,10	13,35					
14	5,105	0	55,60	68,95	13,35					
15	5,605	0	55,45	69,05	13,60					
16	6,105	0	55,55	69,15	13,60					
17	6,605	0	55,65	69,05	13,40					
18	7,105	0	55,60	69,00	13,40					
19	7,605	0	55,60	69,10	13,50					
20	8,105	0	55,60	69,00	13,40					
21	8,605	0	55,80	69,10	13,30					
22	9,105	0	55,90	69,00	13,10					
23	9,605	0	55,75	68,90	13,15					
24	10,105	0	55,70	69,05	13,35					
25	10,605	0	55,70	69,00	13,30					
26	11,105	0	55,90	69,00	13,10					

Tablo A.1.19: Deney 5 – Ana kanaldaki derinlikler

	Ana Kanal Enkesit y≤0									
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
4	0,707	0	55,90	69,35	13,45					
65	0,707	-0,25	55,70	69,25	13,55					
66	0,707	-0,50	55,70	69,45	13,75					
67	0,707	-0,75	55,90	69,10	13,20					
			Ana	Kanal Enkesit y≥0						
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
4	0,707	0	55,90	69,35	13,45					
68	0,707	0,25	55,85	69,35	13,50					
69	0,707	0,50	55,90	69,20	13,30					
70	0,707	0,75	55,85	69,10	13,25					

Tablo A.1.20: Deney 5 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler

	Sağ Yan Kol (T1)							
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)		
46	0,530	-0,177	0,25	55,80	71,20	15,40		
47	0,354	-0,354	0,50	55,90	71,20	15,30		
48	0,177	-0,530	0,75	56,00	71,10	15,10		
49	0,000	-0,707	1,00	56,00	71,20	15,20		
50	-0,177	-0,884	1,25	55,90	71,10	15,20		
51	-0,354	-1,061	1,50	55,85	71,00	15,15		
52	-0,707	-1,414	1,75	55,95	71,10	15,15		
53	-0,884	-1,591	2,00	56,10	71,10	15,00		
54	-1,061	-1,768	2,25	55,65	71,05	15,40		
55	-1,237	-1,945	2,50	55,60	71,00	15,40		
56	-1,414	-2,121	2,75	55,65	71,05	15,40		
57	-1,591	-2,298	3,00	55,65	70,85	15,20		
58	-1,768	-2,475	3,25	55,70	71,10	15,40		
59	-1,945	-2,652	3,50	55,80	71,10	15,30		
60	-2,121	-2,828	3,75	55,85	70,95	15,10		
61	-2,298	-3,005	4,00	55,95	71,10	15,15		
62	-2,475	-3,182	4,25	55,90	71,00	15,10		
63	-2,652	-3,359	4,50	56,10	71,00	14,90		
64	-2.828	-3.536	4.75	56,10	70,60	14,50		

Tablo A.1.21: Deney 6 – Sağ yan koldaki derinlikler

	Sol Yan Kol (T2)								
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
27	0,530	0,177	0,25	55,85	71,20	15,35			
28	0,354	0,354	0,50	55,85	71,30	15,45			
29	0,177	0,530	0,75	55,85	71,45	15,60			
30	0,000	0,707	1,00	55,90	71,30	15,40			
31	-0,177	0,884	1,25	55,85	71,40	15,55			
32	-0,354	1,061	1,50	55,80	71,00	15,20			
33	-0,707	1,414	1,75	55,90	71,15	15,25			
34	-0,884	1,591	2,00	56,00	71,20	15,20			
35	-1,061	1,768	2,25	56,10	71,15	15,05			
36	-1,237	1,945	2,50	55,75	71,20	15,45			
37	-1,414	2,121	2,75	55,80	71,20	15,40			
38	-1,591	2,298	3,00	55,95	71,25	15,30			
39	-1,768	2,475	3,25	56,00	71,30	15,30			
40	-1,945	2,642	3,50	55,80	71,30	15,50			
41	-2,121	2,828	3,75	56,10	71,25	15,15			
42	-2,298	3,005	4,00	56,10	71,00	14,90			
43	-2,475	3,182	4,25	56,10	70,90	14,80			
44	-2,652	3,356	4,50	56,15	70,65	14,50			
45	-2,828	3,536	4,75	56,55	70,25	13,70			

Tablo A.1.22: Deney 6 – Sol yan koldaki derinlikler

			А	na Kanal (P-C)	
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)
1	0,020	0	55,85	71,30	15,45
2	0,355	0	55,80	71,25	15,45
3	0,605	0	55,95	71,20	15,25
4	0,707	0	55,90	71,20	15,30
5	0,855	0	55,70	71,00	15,30
6	1,105	0	55,65	71,05	15,40
7	1,605	0	55,65	71,05	15,40
8	2,105	0	55,75	71,00	15,25
9	2,605	0	55,65	71,00	15,35
10	3,105	0	55,85	71,15	15,30
11	3,605	0	55,75	71,20	15,45
12	4,105	0	55,75	71,20	15,45
13	4,605	0	55,75	71,10	15,35
14	5,105	0	55,60	71,00	15,40
15	5,605	0	55,45	71,00	15,55
16	6,105	0	55,55	71,00	15,45
17	6,605	0	55,65	71,15	15,50
18	7,105	0	55,60	71,00	15,40
19	7,605	0	55,60	71,00	15,40
20	8,105	0	55,60	70,90	15,30
21	8,605	0	55,80	70,90	15,10
22	9,105	0	55,90	70,95	15,05
23	9,605	0	55,75	70,95	15,20
24	10,105	0	55,70	71,00	15,30
25	10,605	0	55,70	71,10	15,40
26	11,105	0	55,90	71,15	15,25

Tablo A.1.23: Deney 6 – Ana kanaldaki derinlikler

	Ana Kanal Enkesit y≤0									
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
4	0,707	0	55,90	71,20	15,30					
65	0,707	-0,25	55,70	71,00	15,30					
66	0,707	-0,50	55,70	70,90	15,20					
67	0,707	-0,75	55,90	70,95	15,05					
			Ana	Kanal Enkesit y≥0						
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
4	0,707	0	55,90	71,20	15,30					
68	0,707	0,25	55,85	71,20	15,35					
69	0,707	0,50	55,90	71,20	15,30					
70	0,707	0,75	55,85	71,10	15,25					

Tablo A.1.24: Deney 6 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler

	Sağ Yan Kol (T1)								
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
46	0,530	-0,177	0,25	55,80	65,90	10,10			
47	0,354	-0,354	0,50	55,90	65,80	9,90			
48	0,177	-0,530	0,75	56,00	65,85	9,85			
49	0,000	-0,707	1,00	56,00	65,80	9,80			
50	-0,177	-0,884	1,25	55,90	65,90	10,00			
51	-0,354	-1,061	1,50	55,85	65,60	9,75			
52	-0,707	-1,414	1,75	55,95	65,90	9,95			
53	-0,884	-1,591	2,00	56,10	65,90	9,80			
54	-1,061	-1,768	2,25	55,65	66,00	10,35			
55	-1,237	-1,945	2,50	55,60	66,00	10,40			
56	-1,414	-2,121	2,75	55,65	66,00	10,35			
57	-1,591	-2,298	3,00	55,65	66,05	10,40			
58	-1,768	-2,475	3,25	55,70	66,05	10,35			
59	-1,945	-2,652	3,50	55,80	66,05	10,25			
60	-2,121	-2,828	3,75	55,85	66,00	10,15			
61	-2,298	-3,005	4,00	55,95	66,00	10,05			
62	-2,475	-3,182	4,25	55,90	65,80	9,90			
63	-2,652	-3,359	4,50	56,10	65,65	9,55			
64	-2,828	-3,536	4,75	56,10	65,30	9,20			

Tablo A.1.25: Deney 7 – Sağ yan koldaki derinlikler

	Sol Yan Kol (T2)								
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
27	0,530	0,177	0,25	55,85	65,90	10,05			
28	0,354	0,354	0,50	55,85	66,15	10,30			
29	0,177	0,530	0,75	55,85	66,00	10,15			
30	0,000	0,707	1,00	55,90	66,00	10,10			
31	-0,177	0,884	1,25	55,85	66,00	10,15			
32	-0,354	1,061	1,50	55,80	65,70	9,90			
33	-0,707	1,414	1,75	55,90	65,90	10,00			
34	-0,884	1,591	2,00	56,00	65,90	9,90			
35	-1,061	1,768	2,25	56,10	66,00	9,90			
36	-1,237	1,945	2,50	55,75	66,00	10,25			
37	-1,414	2,121	2,75	55,80	66,00	10,20			
38	-1,591	2,298	3,00	55,95	66,00	10,05			
39	-1,768	2,475	3,25	56,00	66,00	10,00			
40	-1,945	2,642	3,50	55,80	66,00	10,20			
41	-2,121	2,828	3,75	56,10	65,95	9,85			
42	-2,298	3,005	4,00	56,10	66,00	9,90			
43	-2,475	3,182	4,25	56,10	65,90	9,80			
44	-2,652	3,356	4,50	56,15	65,90	9,75			
45	-2,828	3,536	4,75	56,55	65,35	8,80			

Tablo A.1.26: Deney 7 – Sol yan koldaki derinlikler

	Ana Kanal (P-C)									
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
1	0,020	0	55,85	66,55	10,70					
2	0,355	0	55,80	66,10	10,30					
3	0,605	0	55,95	65,90	9,95					
4	0,707	0	55,90	66,00	10,10					
5	0,855	0	55,70	65,70	10,00					
6	1,105	0	55,65	65,65	10,00					
7	1,605	0	55,65	65,40	9,75					
8	2,105	0	55,75	65,20	9,45					
9	2,605	0	55,65	65,15	9,50					
10	3,105	0	55,85	65,15	9,30					
11	3,605	0	55,75	6540	9,65					
12	4,105	0	55,75	65,25	9,50					
13	4,605	0	55,75	65,25	9,50					
14	5,105	0	55,60	65,25	9,65					
15	5,605	0	55,45	65,25	9,80					
16	6,105	0	55,55	65,25	9,70					
17	6,605	0	55,65	65,35	9,70					
18	7,105	0	55,60	65,30	9,70					
19	7,605	0	55,60	65,30	9,70					
20	8,105	0	55,60	65,20	9,60					
21	8,605	0	55,80	65,15	9,35					
22	9,105	0	55,90	65,10	9,20					
23	9,605	0	55,75	65,10	9,35					
24	10,105	0	55,70	65,10	9,40					
25	10,605	0	55,70	65,00	9,30					
26	11,105	0	55,90	65,05	9,15					

Tablo A.1.27: Deney 7 – Ana kanaldaki derinlikler

	Ana Kanal Enkesit y≤0									
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
4	0,707	0	55,90	66,00	10,10					
65	0,707	-0,25	55,70	65,70	10,00					
66	0,707	-0,50	55,70	65,30	9,60					
67	0,707	-0,75	55,90	65,15	9,25					
			Ana	Kanal Enkesit y≥0						
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
4	0,707	0	55,90	66,00	10,10					
68	0,707	0,25	55,85	65,90	10,05					
69	0,707	0,50	55,90	65,90	10,00					
70	0,707	0,75	55,85	65,80	9,95					

Tablo A.1.28: Deney 7 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler

	Sağ Yan Kol (T1)							
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)		
46	0,530	-0,177	0,25	55,80	61,70	5,90		
47	0,354	-0,354	0,50	55,90	61,80	5,90		
48	0,177	-0,530	0,75	56,00	61,80	5,80		
49	0,000	-0,707	1,00	56,00	61,70	5,70		
50	-0,177	-0,884	1,25	55,90	61,60	5,70		
51	-0,354	-1,061	1,50	55,85	61,60	5,75		
52	-0,707	-1,414	1,75	55,95	61,65	5,70		
53	-0,884	-1,591	2,00	56,10	61,55	5,45		
54	-1,061	-1,768	2,25	55,65	61,45	5,80		
55	-1,237	-1,945	2,50	55,60	61,50	5,90		
56	-1,414	-2,121	2,75	55,65	61,55	5,90		
57	-1,591	-2,298	3,00	55,65	61,55	5,90		
58	-1,768	-2,475	3,25	55,70	61,50	5,80		
59	-1,945	-2,652	3,50	55,80	61,45	5,65		
60	-2,121	-2,828	3,75	55,85	61,40	5,55		
61	-2,298	-3,005	4,00	55,95	61,40	5,45		
62	-2,475	-3,182	4,25	55,90	61,55	5.,65		
63	-2,652	-3,359	4,50	56,10	61,50	5,40		
64	-2,828	-3,536	4,75	56,10	61,40	5,30		

Tablo A.1.29: Deney 8 – Sağ yan koldaki derinlikler

	Sol Yan Kol (T2)								
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
27	0,530	0,177	0,25	55,85	61,80	5,95			
28	0,354	0,354	0,50	55,85	61,80	5,95			
29	0,177	0,530	0,75	55,85	61,70	5,85			
30	0,000	0,707	1,00	55,90	61,60	5,70			
31	-0,177	0,884	1,25	55,85	61,50	5,65			
32	-0,354	1,061	1,50	55,80	61,50	5,70			
33	-0,707	1,414	1,75	55,90	61,50	5,60			
34	-0,884	1,591	2,00	56,00	61,40	5,40			
35	-1,061	1,768	2,25	56,10	61,55	5,45			
36	-1,237	1,945	2,50	55,75	61,50	5,75			
37	-1,414	2,121	2,75	55,80	61,50	5,70			
38	-1,591	2,298	3,00	55,95	61,50	5,55			
39	-1,768	2,475	3,25	56,00	61,50	5,50			
40	-1,945	2,642	3,50	55,80	61,60	5,80			
41	-2,121	2,828	3,75	56,10	61,45	5,35			
42	-2,298	3,005	4,00	56,10	61,45	5,35			
43	-2,475	3,182	4,25	56,10	61,45	5,35			
44	-2,652	3,356	4,50	56,15	61,45	5,30			
45	-2,828	3,536	4,75	56,55	61,40	4,85			

Tablo A.1.30: Deney 8 – Sol yan koldaki derinlikler

	Ana Kanal (P-C)									
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
1	0,020	0	55,85	62,15	6,30					
2	0,355	0	55,80	61,80	6,00					
3	0,605	0	55,95	61,70	5,75					
4	0,707	0	55,90	61,65	5,75					
5	0,855	0	55,70	61,60	5,90					
6	1,105	0	55,65	61,55	5,90					
7	1,605	0	55,65	61,40	5,75					
8	2,105	0	55,75	61,55	5,80					
9	2,605	0	55,65	61,40	5,75					
10	3,105	0	55,85	61,35	5,50					
11	3,605	0	55,75	61,30	5,55					
12	4,105	0	55,75	61,25	5,50					
13	4,605	0	55,75	61,25	5,50					
14	5,105	0	55,60	61,20	5,60					
15	5,605	0	55,45	61,20	5,75					
16	6,105	0	55,55	61,20	5,65					
17	6,605	0	55,65	61,20	5,55					
18	7,105	0	55,60	61,20	5,60					
19	7,605	0	55,60	61,20	5,60					
20	8,105	0	55,60	61,15	5,55					
21	8,605	0	55,80	61,10	5,30					
22	9,105	0	55,90	61,00	5,10					
23	9,605	0	55,75	61,00	5,25					
24	10,105	0	55,70	61,05	5,35					
25	10,605	0	55,70	60,75	5,05					
26	11,105	0	55,90	61,00	5,10					

Tablo A.1.31: Deney 8 – Ana kanaldaki derinlikler

	Ana Kanal Enkesit y≤0										
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)						
4	0,707	0	55,90	61,65	5,75						
65	0,707	-0,25	55,70	61,50	5,80						
66	0,707	-0,50	55,70	61,50	5,80						
67	0,707	-0,75	55,90	61,45	5,55						
			Ana	Kanal Enkesit y≥0							
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)						
4	0,707	0	55,90	61,65	5,75						
68	0,707	0,25	55,85	61,60	5,75						
69	0,707	0,50	55,90	61,50	5,60						
70	0,707	0,75	55,85	61,50	5,65						

Tablo A.1.32: Deney 8 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler

	Sağ Yan Kol (T1)									
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)				
46	0,530	-0,177	0,25	55,80	63,60	7,80				
47	0,354	-0,354	0,50	55,90	63,50	7,60				
48	0,177	-0,530	0,75	56,00	63,60	7,60				
49	0,000	-0,707	1,00	56,00	63,60	7,60				
50	-0,177	-0,884	1,25	55,90	63,40	7,50				
51	-0,354	-1,061	1,50	55,85	63,60	7,75				
52	-0,707	-1,414	1,75	55,95	63,55	7,60				
53	-0,884	-1,591	2,00	56,10	63,40	7,30				
54	-1,061	-1,768	2,25	55,65	63,65	8,00				
55	-1,237	-1,945	2,50	55,60	63,35	7,75				
56	-1,414	-2,121	2,75	55,65	63,45	7,80				
57	-1,591	-2,298	3,00	55,65	63,55	7,90				
58	-1,768	-2,475	3,25	55,70	63,55	7,85				
59	-1,945	-2,652	3,50	55,80	63,55	7,75				
60	-2,121	-2,828	3,75	55,85	63,55	7,70				
61	-2,298	-3,005	4,00	55,95	63,45	7,50				
62	-2,475	-3,182	4,25	55,90	63,45	7,55				
63	-2,652	-3,359	4,50	56,10	63,35	7,25				
64	-2,828	-3,536	4,75	56,10	63,35	7,25				

Tablo A.1.33: Deney 9 – Sağ yan koldaki derinlikler

	Sol Yan Kol (T2)								
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
27	0,530	0,177	0,25	55,85	63,60	7,75			
28	0,354	0,354	0,50	55,85	63,75	7,90			
29	0,177	0,530	0,75	55,85	63,60	7,75			
30	0,000	0,707	1,00	55,90	63,50	7,60			
31	-0,177	0,884	1,25	55,85	63,50	7,65			
32	-0,354	1,061	1,50	55,80	63,50	7,70			
33	-0,707	1,414	1,75	55,90	63,60	7,70			
34	-0,884	1,591	2,00	56,00	63,60	7,60			
35	-1,061	1,768	2,25	56,10	63,60	7,50			
36	-1,237	1,945	2,50	55,75	63,55	7,80			
37	-1,414	2,121	2,75	55,80	63,50	7,70			
38	-1,591	2,298	3,00	55,95	63,50	7,55			
39	-1,768	2,475	3,25	56,00	63,45	7,45			
40	-1,945	2,642	3,50	55,80	63,45	7,65			
41	-2,121	2,828	3,75	56,10	63,25	7,15			
42	-2,298	3,005	4,00	56,10	63,25	7,15			
43	-2,475	3,182	4,25	56,10	63,25	7,15			
44	-2,652	3,356	4,50	56,15	63,25	7,10			
45	-2,828	3,536	4,75	56,55	63,25	6,70			

Tablo A.1.34: Deney 9 – Sol yan koldaki derinlikler

	Ana Kanal (P-C)									
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
1	0,020	0	55,85	63,70	7,85					
2	0,355	0	55,80	63,85	8,05					
3	0,605	0	55,95	63,85	7,90					
4	0,707	0	55,90	63,70	7,80					
5	0,855	0	55,70	63,50	7,80					
6	1,105	0	55,65	63,45	7,80					
7	1,605	0	55,65	63,40	7,75					
8	2,105	0	55,75	63,50	7,75					
9	2,605	0	55,65	63,40	7,75					
10	3,105	0	55,85	63,45	7,60					
11	3,605	0	55,75	63,45	7,70					
12	4,105	0	55,75	63,40	7,65					
13	4,605	0	55,75	63,40	7,65					
14	5,105	0	55,60	63,40	7,80					
15	5,605	0	55,45	63,40	7,95					
16	6,105	0	55,55	63,30	7,75					
17	6,605	0	55,65	63,40	7,75					
18	7,105	0	55,60	63,40	7,80					
19	7,605	0	55,60	63,35	7,75					
20	8,105	0	55,60	63,40	7,80					
21	8,605	0	55,80	63,40	7,60					
22	9,105	0	55,90	63,35	7,45					
23	9,605	0	55,75	63,30	7,55					
24	10,105	0	55,70	63,30	7,60					
25	10,605	0	55,70	63,20	7,50					
26	11,105	0	55,90	63,20	7,30					

Tablo A.1.35: Deney 9 – Ana kanaldaki derinlikler

	Ana Kanal Enkesit y≤0										
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)						
4	0,707	0	55,90	63,70	7,80						
65	0,707	-0,25	55,70	63,40	7,70						
66	0,707	-0,50	55,70	63,40	7,70						
67	0,707	-0,75	55,90	63,40	7,50						
			Ana	Kanal Enkesit y≥0							
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)						
4	0,707	0	55,90	63,70	7,80						
68	0,707	0,25	55,85	63,60	7,75						
69	0,707	0,50	55,90	63,50	7,60						
70	0,707	0,75	55,85	63,50	7,65						

Tablo A.1.36: Deney 9 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler

	Sağ Yan Kol (T1)									
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)				
46	0,530	-0,177	0,25	55,80	72,00	16,20				
47	0,354	-0,354	0,50	55,90	72,00	16,10				
48	0,177	-0,530	0,75	56,00	71,90	15,90				
49	0,000	-0,707	1,00	56,00	71,85	15,85				
50	-0,177	-0,884	1,25	55,90	71,60	15,70				
51	-0,354	-1,061	1,50	55,85	71,75	15,90				
52	-0,707	-1,414	1,75	55,95	80,70	24,75				
53	-0,884	-1,591	2,00	56,10	80,50	24,40				
54	-1,061	-1,768	2,25	55,65	80,70	25,05				
55	-1,237	-1,945	2,50	55,60	80,45	24,85				
56	-1,414	-2,121	2,75	55,65	80,40	24,75				
57	-1,591	-2,298	3,00	55,65	80,40	24,75				
58	-1,768	-2,475	3,25	55,70	80,35	24,65				
59	-1,945	-2,652	3,50	55,80	80,20	24,40				
60	-2,121	-2,828	3,75	55,85	80,15	24,30				
61	-2,298	-3,005	4,00	55,95	79,90	23,95				
62	-2,475	-3,182	4,25	55,90	79,80	23,90				
63	-2,652	-3,359	4,50	56,10	79,60	23,50				
64	-2,828	-3,536	4,75	56,10	79,50	23,40				

Tablo A.1.37: Deney 10 – Sağ yan koldaki derinlikler

	Sol Yan Kol (T2)								
No	x (m)	y (m)	<i>l</i> (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)			
27	0,530	0,177	0,25	55,85	68,70	12,85			
28	0,354	0,354	0,50	55,85	68,80	12,95			
29	0,177	0,530	0,75	55,85	68,60	12,75			
30	0,000	0,707	1,00	55,90	68,60	12,70			
31	-0,177	0,884	1,25	55,85	68,60	12,75			
32	-0,354	1,061	1,50	55,80	68,65	12,85			
33	-0,707	1,414	1,75	55,90	68,45	12,55			
34	-0,884	1,591	2,00	56,00	68,40	12,40			
35	-1,061	1,768	2,25	56,10	68,45	12,35			
36	-1,237	1,945	2,50	55,75	68,55	12,80			
37	-1,414	2,121	2,75	55,80	68,50	12,70			
38	-1,591	2,298	3,00	55,95	68,50	12,55			
39	-1,768	2,475	3,25	56,00	68,45	12,45			
40	-1,945	2,642	3,50	55,80	68,45	12,65			
41	-2,121	2,828	3,75	56,10	68,40	12,30			
42	-2,298	3,005	4,00	56,10	68,50	12,40			
43	-2,475	3,182	4,25	56,10	68,45	12,35			
44	-2,652	3,356	4,50	56,15	68,45	12,30			
45	-2,828	3,536	4,75	56,55	68,25	11,70			

Tablo A.1.38: Deney 10 – Sol yan koldaki derinlikler

	Ana Kanal (P-C)									
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
1	0,020	0	55,85	68,80	12,95					
2	0,355	0	55,80	68,80	13,00					
3	0,605	0	55,95	68,60	12,65					
4	0,707	0	55,90	68,65	12,75					
5	0,855	0	55,70	68,60	12,90					
6	1,105	0	55,65	68,65	13,00					
7	1,605	0	55,65	68,65	13,00					
8	2,105	0	55,75	68,60	12,85					
9	2,605	0	55,65	68,60	12,95					
10	3,105	0	55,85	68,60	12,75					
11	3,605	0	55,75	68,50	12,75					
12	4,105	0	55,75	68,45	12,70					
13	4,605	0	55,75	68,40	12,65					
14	5,105	0	55,60	68,50	12,90					
15	5,605	0	55,45	68,55	13,10					
16	6,105	0	55,55	68,55	13,00					
17	6,605	0	55,65	68,50	12,85					
18	7,105	0	55,60	68,55	12,95					
19	7,605	0	55,60	68,50	12,90					
20	8,105	0	55,60	68,35	12,75					
21	8,605	0	55,80	68,25	12,45					
22	9,105	0	55,90	68,25	12,35					
23	9,605	0	55,75	68,25	12,50					
24	10,105	0	55,70	68,35	12,65					
25	10,605	0	55,70	68,25	12,55					
26	11,105	0	55,90	68,35	12,45					

Tablo A.1.40: Deney 10 – Ana kanaldaki derinlikler

	Ana Kanal Enkesit y≤0									
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
4	0,707	0	55,90	68,65	12,75					
65	0,707	-0,25	55,70	68,60	12,90					
66	0,707	-0,50	55,70	69,00	13,30					
67	0,707	-0,75	55,90	68,80	12,90					
			Ana	Kanal Enkesit y≥0						
No	x (m)	y (m)	Taban Kotu (cm)	Su Yüzeyi Kotu (cm)	Ölçülen Akım Derinliği (cm)					
4	0,707	0	55,90	68,65	12,75					
68	0,707	0,25	55,85	68,70	12,85					
69	0,707	0,50	55,90	68,70	12,80					
70	0,707	0,75	55,85	68,65	12,80					

Tablo A.1.40: Deney 10 – Ana kanal enkesitindeki derinlikler

Özgeçmiş

Adı Soyadı: Cihan Canıbek

Eğitim:

2006–2011	Süleyman Demirel	Üniversitesi,	İnşaat Müh.	Bölümü
2015-2021	İzmir Kâtip Çelebi	Üniversitesi,	İnşaat Müh.	Bölümü

İş Deneyimi 2012 - Halen aktif olarak çalışma hayatına devam etmektedir.

1986 yılında İstanbul'un Fatih ilçesinde dünyaya geldi. İlköğrenimini İzmir'in Torbalı ilçesinde Cengiz Topel Ortaokulu'nda, liseyi Torbalı Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi'nde tamamladı. 2010 yılında Erasmus öğrenci değişim programıyla Çek Cumhuriyeti'nin Usti nad Labem Şehrinin "University of Jan Evangelista Purkyne" üniversitesinde öğrenim gördü. 2011 Yılında Süleyman Demirel Üniversitesi'nde İnşaat Mühendisliği Bölümünü tamamladı. 2012 yılından itibaren özel sektörde mühendislik alanında faaliyette bulunmaktadır. 2017 yılında şahıs şirketi açarak çeşitli kamu kurumu ihalelerine katılmıştır. C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanıdır. Kamulaştırma Bilirkişiliği ve Temel İnşaat Bilirkişiliği alanlarında aktif olarak görev yapmaktadır.

Yayınlar:

 Canıbek C., Bombar G., Cardoso A. H., Simetrik Akarsu Kavşaklarında Farklı Mansap Derinliklerinin Su Yüzeyi Profiline Etkisi. 5th International Students Science Congress, 21-22 Mayıs 2021 - İzmir, Türkiye