



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AKARSU AĞIZ BÖLGESİNDE BULUNAN SU YAPILARINA
DALGA ETKİSİ**

MERT ZÜNGÖR

DANIŞMAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ ERCAN GEMİCİ

BARTIN-2022



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

AKARSU AĞIZ BÖLGESİNDE BULUNAN SU YAPILARINA DALGA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mert ZÜNGÖR

BARTIN-2022

KABUL VE ONAY

Mert ZÜNGÖR tarafından hazırlanan “AKARSU AĞIZ BÖLGESİNDE BULUNAN SU YAPILARINA DALGA ETKİSİ” başlıklı bu çalışma, 09.05.2022 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Ercan GEMİCİ

Üye : Doç. Dr. Fatih GÖKTEPE

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA

Bu tezin kabulü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY
Enstitü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Ercan GEMİCİ danışmanlığında hazırlamış olduğum “AKARSU AĞIZ BÖLGESİNDE BULUNAN SU YAPILARINA DALGA ETKİSİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

09.05.2022

Mert ZÜNGÖR



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim sırasındaki tüm çalışmalarımda, bilgi birikimi ve tecrübesiyle beni yönlendiren ve destekleyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ercan GEMİCİ'ye ve bana bu süreçte destek olan fikirleriyle yönlendiren hocam Dr. Öğr. Üyesi Betül Tuba GEMİCİ'ye akademik çalışmalarımı yapmak için bana gerekli imkânları sağlayan Fatih Belediyesi Medrese Davutpaşa Lisansüstü Araştırma Merkezi çalışanları sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitemdeki hocalarım Doç. Dr. Fatih GÖKTEPE' ye ve Dr. Öğr. Üyesi Fatih SAKA' ya, çalışmalarına değerli fikirleriyle katkı sağladıkları için teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Eğitim hayatımda ve mesleki kariyerimde her zaman destek olan babam Salih ZÜNGÖR'e, annem Zeynep ZÜNGÖR'e, kardeşlerime, eşim Ayşe ZÜNGÖR'e ve bu süreçte yeterince vakit ayıramadığım biricik kızım Meryem Kübra'ya sonsuz şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarına 2020-FEN-CY-003 No.lu proje kapsamında kanalda dalga oluşması için gerekli olan dalga motorunun alınmasına bütçe sağlayan Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne ve proje önerisinden sonuç raporuna kadar destek sağlayan Bartın Üniversitesi Proje Teknoloji Ofisi ekibine çok teşekkür ederim.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AKARSU AĞIZ BÖLGESİNDE BULUNAN SU YAPILARINA DALGA ETKİSİ

Mert ZÜNGÖR

Bartın Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ercan GEMİCİ

Bartın-2022, sayfa: 54

Bu çalışmada kıvrımlı bir akarsuyun ağız bölgesine en kesit doğrultusunda yerleştirilen tam dairesel ve yarım dairesel kesitli batık su altı yapılarının akıma etkileri incelenmiştir. Su altı yapısı etrafında hız ve basınç dağılımları belirlenerek dalga ve nehir akışının yapıya etkileri araştırılmıştır. Yapının memba ve mansap tarafından etkileyen maksimum etkiler belirlenmiştir. Olayın modellenmesinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı kullanılmıştır. Programın doğrulaması oluşturulan fiziksel kanalda hız ve seviye ölçümleri ile yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dalga, Dalga kanalı, Akarsu ağızı, Kıvrımlı akarsu, Akış hızı

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

WAVE EFFECT ON WATER STRUCTURES IN RIVER MOUTH REGION

Mert ZÜNGÖR

Bartın University

Graduate School

Department of Civil Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Ercan GEMİCİ

Bartın-2022, pp: 54

In this study, the effects of submerged underwater structures with full circular and semicircular cross-sections placed in the mouth of a curved stream in the cross-section direction were investigated. The effects of wave and river flow on the structure were investigated by determining the velocity and pressure distributions around the underwater structure. The maximum effects on the upstream and downstream side of the building were determined. Computational fluid dynamics program was used to model the event. The verification of the program was made with speed and level measurements in the created physical channel.

Keywords: Wave, Wavechannel, Streammouth, Meandering Channel, Flowvelocity

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1.GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
3. DALGALAR	8
3.1 Temel Hidrodinamik Denklemler	10
3.1.1 Süreklilik Denklemi	10
3.1.2 Çevrintili Akım	11
3.1.3 Çevrintisiz Akım	11
3.2 Lineer Dalga Teorisi	12
4. BATIK CİSİMLERİN HİDRODİNAMİĞİ	13
4.1 Hidrodinamik Kuvvetlerin Hesabı.....	13
4.1.1. Sürüklenme Kuvveti	13
5. MATERYAL VE METOT	16
5.1 Deney Düzenegi.....	16
5.2 Flow-3D'nin Özellikleri	17
5.3 Flow-3D Modelinin Kurulumu	19
5.3.1. Programa giriş ve Yeni Simülasyon Ekleme.....	19
5.3.2.Fiziki Koşullar	20
5.3.3.Akışkanları Tanımlama.....	22
5.3.4.Deney Düzenegini Oluşturma.....	22
6.BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	24
6.1. Deney Koşulu 1	25
6.2. Deney Koşulu 2	27

6.3. Deney Koşulu 3	29
6.4. Deney Koşulu 4	31
6.5. Deney Koşulu 5	33
6.6. Deney Koşulu 6	35
6.7. Deney Koşulu 7	37
6.8. Deney Koşulu 8	39
6.9. Deney Sistemlerinde Farklı Hızlara Göre Sürüklenme Kuvveti.....	42
6.10. Köprü Konumu Seçimi.....	43
7.SONUÇLAR.....	49
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
No	No
2.1: Deney düzeneğinin şematik gösterimi, Liang vd.(2015) -----	4
2.2: Deney düzeneğinin şematik gösterimi, Schmitt(2013) -----	5
2.3: Deney düzeneğinin şematik gösterimi, Bihs vd. (2016) -----	5
2.4: Deney düzeneğinin şematik gösterimi, Baudry vd. (2015)-----	6
2.5: Deney düzeneğinin şematik gösterimi, Anbarsooz vd. (2012)-----	6
2.6: HAD yazılımı deney similasyonu.Gemici vd. (2022)-----	7
3.1: Yayılan dalganın karakteristikleri -----	8
3.2: (a) Tepede akım ayrılması (b) Türbülans çevrintileri (c) Logaritmik rüzgâr profili -----	9
3.3: Dalga tipleri-----	10
3.4: Lineer dalga-----	12
4.1: Kanal içindeki taneciğe tesir eden kaldırma ve sürüklenme kuvveti -----	13
4.2: Silindir etrafında türbülanslı akım -----	14
4.3: Re sayısına göre sürüklenme katsayısı -----	15
5.1: Kıvrımlı kanal -----	16
5.2: Redüktör ve dalga paneli -----	17
5.3: Flow-3D başlangıç ara yüzü -----	19
5.4: Model kurulumu- genel sekmesi ara yüzü -----	20
5.5: Gravity and non-inertial reference frame sekmesinin ara yüzü -----	20
5.6: Viscosity and turbulence ara yüzü -----	21
5.7: Moving and simple deforming objects ara yüzü-----	21
5.8: Fluids sekmesinin ara yüzü -----	22
5.9: Flow-3D ile deney düzeneğinin kurma -----	22
5.10: Hareketli obje tanımlama -----	23
6.1: Deney düzeneğinin sistematik gösterimi -----	24
6.2: Su yüzeyleri ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$)(a) $t=0.57s$ (b) $t=1.27s$ (c) $t=2.00s$ -----	25
6.3: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=7 L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$) -----	25
6.4: Batık eşğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=2.0s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$) -----	26

6.5: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=2.0s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$) -----	26
6.6: Su yüzeyleri ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$) (a) $t=0.6s$ (b) $t=1.13s$ (c) $t=1.7s$ -----	27
6.7: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$) -----	27
6.8: Batık eşğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=0.6s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$) -----	28
6.9: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=0.6s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$) -----	28
6.10: Su yüzeyleri ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$)(a) $t=0.6s$ (b) $t=0.97s$ (c) $t=1.37s$ ----	29
6.11: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$)-----	29
6.12: Batık eşğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=0.6s$) ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$) -----	30
6.13: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=0.6s$) ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$)-----	30
6.14: Su yüzeyleri ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$)(a) $t=0.23s$ (b) $t=0.6s$ (c) $t=0.97s$ -----	31
6.15: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$) -----	31
6.16: Batık eşğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=0.23s$) ($Q=12L^3/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$) -----	32
6.17: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=0.23s$) ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$) -----	32
6.18: Su yüzeyleri ($Q=7L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=7cm$)(a) $t=0.4s$ (b) $t=0.9s$ (c) $t=1.43s$ -----	33
6.19: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=7L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=7cm$)-----	33
6.20: Batık eşğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=0.4s$) ($Q=7L^3/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=7cm$) -----	34
6.21: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=0.4s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=7cm$)-----	34
6.22: Su yüzeyleri ($Q=7L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=12cm$)(a) $t=0.3s$ (b) $t=0.63s$ (c) $t=0.97s$ ----	35
6.23: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=7L/s$, $v_p=0.411m/s$,	

U=12cm) -----	35
6.24: Batık eşiğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=0.3s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=12cm$) -----	36
6.25: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=0.3s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=12cm$) -----	36
6.26: Su yüzeyleri ($Q=12L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=12cm$)(a) $t=0.17s$ (b) $t=0.57s$ (c) $t=0.97s$ -----	37
6.27: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=12L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=12cm$) -----	37
6.28: Batık eşiğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=0.17s$) ($Q=12L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=12cm$) -----	38
6.29: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=0.17s$) ($Q=12L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=12cm$) -----	38
6.30: Su yüzeyleri ($Q=7L/s$, $v_p=0.611m/s$, $U=12cm$)(a) $t=0.5s$ (b) $t=0.8s$ (c) $t=1.13s$ -----	39
6.31: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=7L/s$, $v_p=0.611m/s$, $U=12cm$) -----	39
6.32: Batık eşiğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=0.5s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.611m/s$, $U=12cm$) -----	40
6.33: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=0.5s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.611m/s$, $U=12cm$) -----	40
6.34: Köprü ayağı yerleşimi-----	43
6.35: Köprü ayağının görünümü-----	43
6.36: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$) (a) eşikli b) eşiksiz -----	44
6.37: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$) (a) eşikli b) eşiksiz -----	45
6.38: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$) (a) eşikli b) eşiksiz -----	45
6.39: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$) (a) eşikli b) eşiksiz -----	46
6.40: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=7L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=7cm$) (a) eşikli b) eşiksiz -----	46
6.41: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=7L/s$,	

$v_p=0.411\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$) (a) eşikli b) eşiksiz -----	47
6.42: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=12\text{L/s}$, $v_p=0.411\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$) (a) eşikli b) eşiksiz -----	47
6.43: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.611\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$) (a) eşikli b) eşiksiz -----	48



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
6.1: Maksimum özgöl enerjiler ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.235\text{m/s}$, $U=7\text{cm}$)	26
6.2: Maksimum özgöl enerjiler ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.235\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$)	28
6.3: Maksimum özgöl enerjiler ($Q=12\text{L/s}$, $v_p=0.235\text{m/s}$, $U=7\text{cm}$)	30
6.4: Maksimum özgöl enerjiler ($Q=12\text{L/s}$, $v_p=0.235\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$)	32
6.5: Maksimum özgöl enerjiler ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.411\text{m/s}$, $U=7\text{cm}$)	34
6.6: Maksimum özgöl enerjiler ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.411\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$)	36
6.7: Maksimum özgöl enerjiler ($Q=12\text{L/s}$, $v_p=0.411\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$)	38
6.8: Maksimum özgöl enerjiler ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.611\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$)	40
6.9: Deney Sistemlerinde Dalga Yüksekliği (H) ve Periyot Değerleri (T).....	41
6.10: Eşğin ön ve arkasında hidrolik enerji değişimi	41
6.11: Eşğin ön ve arkasında hidrolik enerji değişimi	42
6.12: Deney Sistemlerinde Sürüklenme Kuvveti	42
6.13: Köprü ayağının önünde maksimum türbülans kinetik enerjiler ve türbülans şiddetleri ($x=0.85\text{m}$ ve $y=0.262\text{m}$)	48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Akım Doğrultusundaki Cismin En Kesit Alanı
C_d	Sürüklenme Katsayısı
C_L	Kaldırma Katsayısı
d	Su Derinliği
E	Özgül Enerji
E_{max}	Maksimum Özgül Enerji
F_d	Sürüklenme Kuvveti
L	Dalga Boyu
Q	Debi
Re	Reynolds Sayısı
S	Dalga Yüksekliği
t	Zaman
U	Kanalın Tahliye Noktasındaki Kapağı Yüksekliği
v_o	Silindire Çapmadan Önceki Akım Hızı
v_p	Panel Hızı
x	Noktanın Yatay Koordinatları
z	Noktanın Düşey Koordinatları
ΔE	Özgül Enerji Değişimi
ρ	Akışkanın Özgül Kütlesi

KISALTMALAR

ADV	: AcousticDopplerVelocimeter (Akustik Doppler Hızölçer)
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
KC	: Keulegan-Carpenter sayısı
PIV	: Particle Image Velocimetry (Parça görüntü hızı)
SWASH	: Simulated Wave to Shore
VOF	: Volume of Fluid (Akışkan Hacmi)
WEC	: Wave Energy Converter (Dalga Enerjisi Dönüştürücü)

1.GİRİŞ

Akarsuların denize döküldüğü ağız bölgesindeki yapılar, günlük meteorolojik değişimlerin dahi etkisiyle nehir akımı ve deniz dalgalarının farklı tesirlerine maruz kalmaktadır. Buralarda yapılan yapılar genellikle nehrin iki kıyısı arasında ulaşımı sağlayan yapılardır. Bu yapılar genellikle nehir veya kanal içerisinden geçen dairesel veya yarı dairesel kesitli, içme suyu - kanalizasyon isale hatları, petrol – doğalgaz boru hatları, tüp geçitler olabileceği gibi dalganın iç bölgelere girişini engelleyecek eşik gibi yapılar da olabilir. Ayrıca ağız bölgesinde bulunan köprü ayakları da aynı şekilde nehir akımı ve deniz dalgası etkilerine maruz kalmaktadır. Ağız bölgesine yakın su yapıları özellikle ekstrem hava durumlarına bağlı olarak gelişen taşkınlar veya fırtınalar sonucunda hasar görebilmekte, yıkılabilmekte veya işlevini yerine getirememektedir. Bu yapılardan faydalanamayan insanlar maddi veya manevi olarak etkilenebilmekte, ciddi altyapı problemleri oluşabilmekte veya yeniden yapım ya da onarım maliyetleri ortaya çıkabilmektedir.

Akarsu ağız bölgelerine birlikte etkiyen dalga, nehir akımı, akıntı, rüzgâr vb. gibi birçok parametre nedeniyle akımın yapısı aşırı karmaşık bir hal almaktadır. Bu parametrelerin sürekli değişen büyüklüklerde ve birleşik etkisine maruz kalan bölge su yapılarının, maruz kaldığı kuvvetlerin iyi bir şekilde tahmin edilmesi gerekir. Ancak teorik tahmin, doğrusal olmayan matematiksel denklemler kümesine dayandığı için yüksek doğruluklu tahmin yapmak oldukça zordur. Denklemlerin ihtiyaç duyduğu katsayıların yalnızca teorik bir yaklaşım dikkate alınarak elde edilmesi de bazen imkânsız olabilir. Bu nedenle teorik denklemlerden elde edilen sonuçların doğruluğunun ölçekli fiziksel modellerle teyit edilmesi zorunluluk haline gelmektedir.

Akarsu içerisinde batmış olarak bulunan yapılar etrafında akım çizgisinde değişimler, çevrıntiler, ikincil akım hareketleri gibi akım özellikleri nehrin seviye ve debisinin değişmesi ile sürekli olarak farklı bir biçime dönüşür. Ağız bölgesinde ise akım yönünün tersine doğrultuda etkiyen dalga etkisi nehir akımının özelliklerine etkiyen bir başka parametre olarak değerlendirilmelidir. Bu şekilde su altı yapısına etkiyen kuvvetler ile hem memba hem de mansap tarafında akım özelliklerinin belirlenmesi ile yapının faydalı ömrü gerçeğe yakın tahmin edilecektir.

Prizmatik açık kanal içerisinde üniform akım durumunda akım çizgilerinin düzgün formu kanal tabanında engeller olması durumunda sapmaya uğrar. Bunun sonucunda taban yapısı etrafında hız ve basınç dağılımları da değişikliğe uğrar. Hız ve basınç değişimleri sonucunda sınır tabakasından ayrılmalar meydana gelir. Sınır tabakasından ayrılmalar farklı şekil ve büyüklüklerde çevrinti ve ikincil akımları oluşturur. Ayrıca çevrinti ve ikincil akım etkileri hareketli tabanlı sistemlerde yatağı oyarak sedimentin taşınmasına neden olmaktadır. Engelin oturduğu zeminde oluşan yatak oyulmaları sonucunda akarsu tabanındaki yapının stabilitesi bozularak hasar oluşumu başlar (Üç, 1979).

Nehir akımının etkin olduğu durumlarda akımın tersi doğrultusunda hız bileşeni yok kabul edilebilir. Nehrin tabanında engel olması durumunda engelin hız üzerinde etkilerinin hissedildiği bir bölge mevcuttur. Bu bölge art iz bölgesi olarak adlandırılır. Nehir akımlarında art iz bölgesi sadece engelin mansap tarafında oluşur. Dalga akımının da mevcut olması durumunda art iz bölgesi hem memba hem de mansap tarafında oluşur. Hareketli tabanlı yataklarda art iz bölgesi boyunca yumuşak eğimli oyulma çukurları meydana gelmektedir. Art iz şekli ve etki mesafesinin belirlenmesinde genellikle Keulegan-Carpenter (KC) sayısı kullanılır. Yörüngesel hızın yatay bileşeni ve dalga periyodu ile doğru, boru çapı ile ters orantılı olan KC sayısının küçük değerlerinde art-iz bölgesi oluşmadığı ifade edilmektedir (Sumer ve Fredsoe,1996). Farklı engel şekil ve çapları için farklı akım ve dalga karakteristikleri koşullarında art iz özelliklerinin belirlenmesi gerekliliktir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

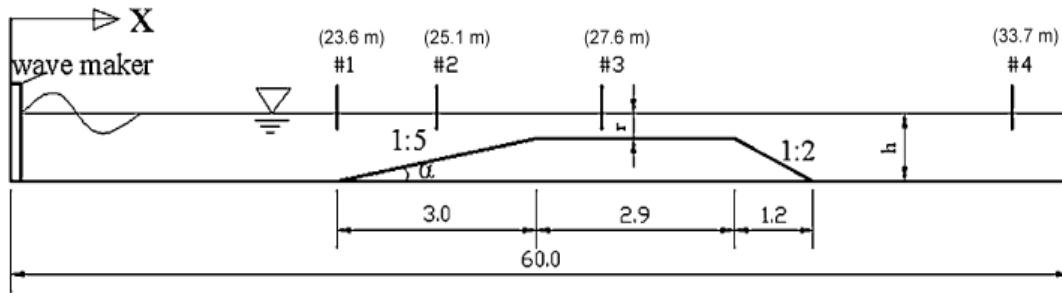
Dalga oluşumu (Ursell vd.,1960; Spinneken ve Swan, 2009; Schaffer, 1996; Zhao vd., 2010; Wu vd., 2014), dalga yansıması (Nallayarasu vd., 1995) ve dalgalar ile kanal eğimi arasındaki etkileşim (Dong vd., 2009) gibi dalga kanallarını kullanarak dalga karakteristiklerini araştıran literatürde farklı çalışmalar bulunmaktadır.

Lei vd. (1999) tarafından düz bir plaka üzerindeki farklı sınır tabakası kalınlıklarında, pürüzsüz dairesel bir silindire gelen hidrodinamik kuvvetleri ve vorteks kopmaları irdelenmiştir. Choi ve Lee (2000), düz bir plaka üzerine yerleştirdikleri eliptik silindir etrafındaki akım özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Price vd. (2002) tarafından düz bir duvar yakınındaki dairesel silindir etrafındaki akım, akım görüntüleme, parça görüntü hızı (PIV) ve kızgın-tel anemometresi teknikleri kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Hatipoğlu ve Avcı (2003), düzenli bir akıntı durumunda kanal tabanı üzerinde veya kanal tabanına yarı gömülü halde bulunan bir silindir etrafındaki akımı araştırmışlardır. Straatman ve Martinuzzi (2004), geçirimsiz bir duvar yakınındaki kare prizma üzerinde, vorteks kopması oluşumuna sınır tabakasının etkisini bulabilmek amacıyla teorik bir çalışma yapmıştır. Kusumawinahyu vd. (2006), tam ve dağılımlı su dalgası denklemlerine dayalı olarak leneer dalga oluşturuu teorisi geliştirilmiştir. Deneyler de hem tek hem de tek kanatlı dalga yapıcılar kullanmıştır. Carevic vd. (2013), dalgalar dalgakıran üzerinde yayıldığında, dalgakıranın temsili dalga periyotlarındaki değişiklikler üzerine etkilerini deneysel olarak incelemiştir.

Wang ve Li (2018), orta ve derin seviyeli dairesel yay şekline sahip bir kanal koşullarında, panel tipi dalga üretici ile çeşitli durumlar için farklı simülasyonlar oluşturmuştur. Simülasyonları düz dalga tanklarının sayısal sonuçları ve dalga üretici teorisinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırarak doğrulamıştır. Zamana göre serbest su yüzü yüksekliği değerlerinin analitik ve nümerik hesaplamaları arasında fark oldukça düşüktür. Sonuçlar, Ursell vd. (1960) tarafından geliştirilen dalga üretici teorisinin hem tabanı düz hem de tabanı dairesel yay şeklinde olan kanallarda kullanılabileceğini göstermiştir. Dairesel yay tabanlı tanklar ile düz tabanlı tanklar arasında oluşan küçük farklılığın nedeninin de daire yayının doğrusal olmayan etkileri olarak açıklanmıştır. Daire yayının yarıçapının görece olarak fazla olması ile düz kanal ile olan farklılık da ihmal edilebilir.

Hayakawa vd, (1999), batık bir dalgakıran etrafındaki dalga alanlarını sayısal olarak iki ve üç boyutlu olarak simüle etmek için SOLA-SURF yöntemini kullanmıştır. Laboratuvar deneyleri uzunluğu 15m ve genişliği 0.6m olan dikdörtgen kesitli bir dalga tankına batık dalga kıran yerleştirilerek yapılmıştır. Laboratuvar tankının üç boyutlu hesaplanması için deneysel sonuçlar ile sayısal modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Sınır şartlarında duvarlarda kayma var ve yok alınarak simülasyonlar oluşturulmuştur. Laboratuvar tankının üç boyutlu hesaplaması için yan duvar sınır koşulunun, viskoz olmayan (kayma meydana gelen) olması durumu daha uygun görülmüştür. SOLA-SURF yöntemi ile batık dalgakıran üzerinde üç boyutlu dalga alanının sayısal simülasyonunun yapılabileceği ifade edilmiştir.

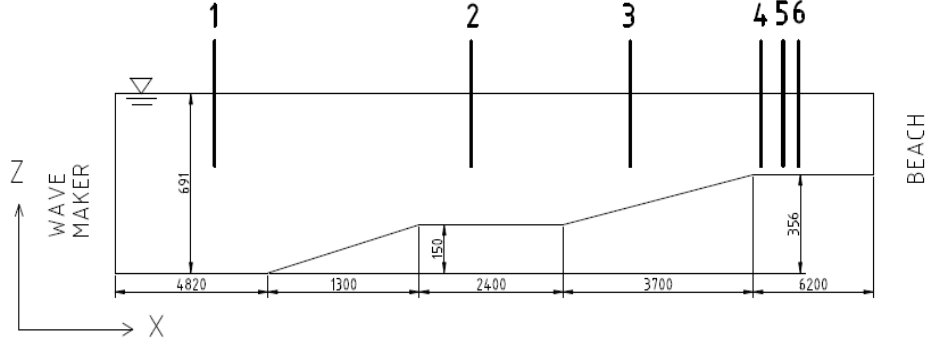
Liang vd. (2015), çalışmalarında, trapez kesitli özdeş sıralı iki batık dalgakıranlar üzerindeki dalga iletimini simüle etmek için hidrostatik olmayan bir dalga modeli olan SWASH (Simulated Waves to Shore) modelini kullanmıştır. Sayısal sonuçlar, fiziksel modelin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, SWASH modelinin çift batık dalgakıranlar üzerinden dalga iletimini tahmin edilebileceğini göstermiştir. Göreceli dalgakıran aralığının (S/L_0), karmaşık topografya altında, güçlü akım ve dalga etkileşiminin neden olduğu artan enerji yayılımı yoluyla dalga enerjisi yayılımını ve iletimini etkileyebilmektedir. Batık dalgakıranlardan dalga üreticiye yakın olanın üzerinde çok fazla türbülans kinetik enerjisi olduğu ve ikinci dalgakıranın tepesinde de bariz bir türbülans etkisi olduğu gözlenmiştir.



Şekil 0.1: Deney düzeneğinin şematik gösterimi, Liang vd.(2015)

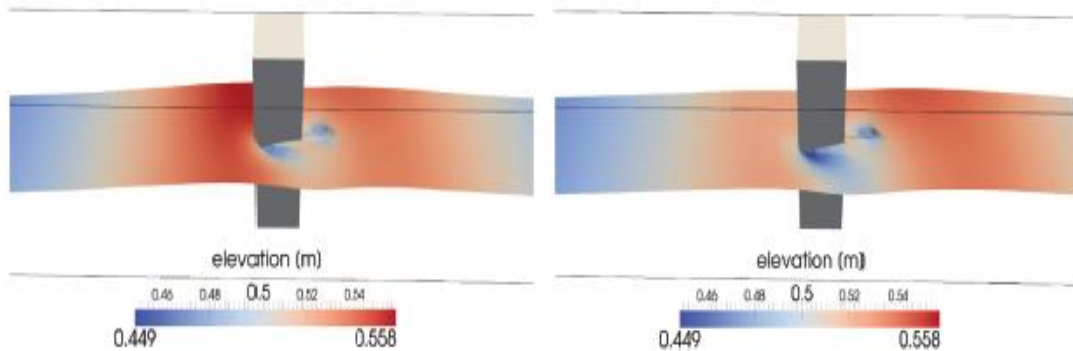
Schmitt (2013), açık kaynak kodlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı olan OpenFOAM ortamında deniz tabanına alttan menteşeli dikdörtgen kesitli panel yerleştirilerek, sonuçların matematiksel metotla sonuçları kıyaslayıp doğruladı. Daha sonra dalga enerjisini dönüştürmek için panelin şekillerini değiştirilerek gözlem yapmıştır. Kaya ve Şentürk (2018), düşey, düzlemsel ve rijit bir bariyerin, sabit genlik ve frekansa sahip su dalgaları ile etkileşimini araştırmıştır. OpenFOAM modüllerini kullanarak problemin sayısal çözümünü yapmışlardır. Farklı dalga frekansları için elde edilen simülasyon bulguları, hem analitik çözümle hem de

literatürde yer alan deneysel sonuçlarla oldukça yakın olduğu görülmüştür. OpenFOAM ortamında geliştirmiş birbirine karışmayan akışkanların çok fazlı sistemler için geliştirmiş akışkan hacmi yöntemine (VOF) dayalı bir çözücü olan wave2Foam adlı çözücü ile yüksek mertebeden dalga teorilerine dayalı dalga oluşturma özelliklerinin bulunduğu, bu HAD yazılımlarının laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirilen deneysel yöntemleri bütünleyici araçlar olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.



Şekil 0.2: Deney düzeneğinin şematik gösterimi, Schmitt(2013)

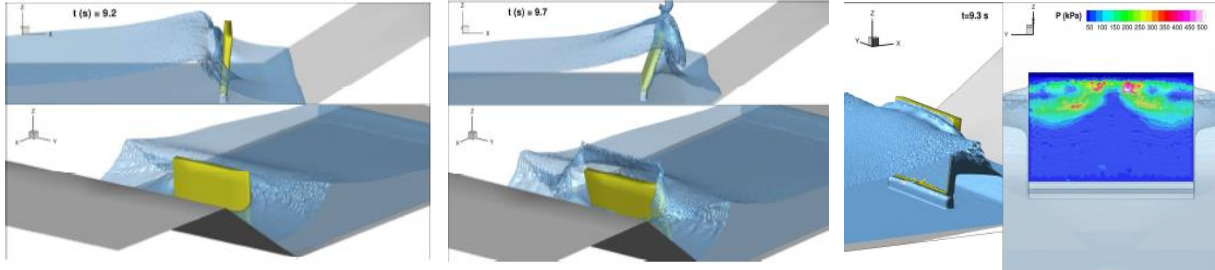
Bihs vd. (2016), çalışmalarında sıkıştırılmaz Navier-Stokes denklemlerini çözerek dalga yayılımı ve dalga hidrodinamiğinin hesaplanması için yeni bir üç boyutlu sayısal dalga tankı geliştirmiştir. Serbest yüzey, dalga kırılması gibi karmaşık olayların simülasyonuna izin veren, iki fazlı bir akış yaklaşımına dayalı bir seviye seti yöntemi esas alınarak modellenmiştir. Sayısal modelin performansı, dikdörtgen bir ayak ile dalga çukuru olmayan dalga etkileşimi, dikey bir silindir üzerindeki dalga kuvvetleri, batık bir çubuk üzerinde dalga yayılımı ve eğimli bir yatakta kırılan dalga koşulları için doğrulanmıştır. Model, deneysel olarak kaydedilen serbest yüzey seviyeleri ve hız verileriyle karşılaştırıldığında, sonuçlar oldukça olumlu bulunmuştur.



Şekil 0.3: Deney düzeneğinin şematik gösterimi, Bihs vd. (2016)

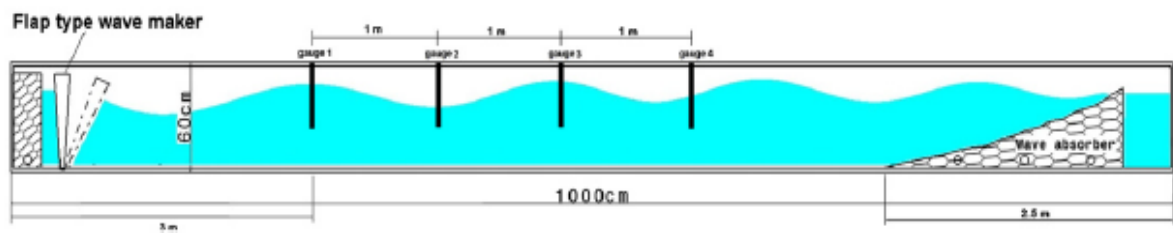
Baudry vd. (2015), kıyı bölgelerinde ve limanlarda deniz enerjileri projesinin dalga enerjisi dönüştürücülerinin (WEC) setler gibi kıyı yapılarıyla birleştirilmesinin fizibilitesini ve

uygunluğunu incelemiştir. Bir dalgakıranın önüne yerleştirilmiş kısmen batık bir kanattan oluşan alttan monteli bir yunuslama cihazının çalışması için potansiyel bir kodun ve bir SPH-Flow kodu birlikte kullanmışlar ve elde edilen simülasyon verilerinin gerçeğe uyumluluğu gözlemlenmiştir.



Şekil 0.4: Deney düzeneğinin şematik gösterimi, Baudry vd. (2015)

Özbulut vd. (2019), alttan menteşeli düzensiz dalga yapıcı panellerle sayısal düzeltme işlemleriyle birlikte parçacık tabanlı SPH algoritmasını kullanmış ve sonuçların dalga özellikleri ve dalga enerji yoğunlukları arasından teorik sonuçla oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Elongovan vd. (2008), çalışmasında viskoz dalga tankını simüle etmek için kararsız üç boyutlu Reynolds ortalama Navier-Stokes Denklemini çözmek için Ansys CFX kullanmıştır. Anbarsooz vd. (2012), hep piston tipi hem de kanat tipi dalga yapıcılar çalışmış sonuçları kıyaslamak için Ansys CFX kullanmış ve küçük dalga yüksekli dalgalarda sonuçlar uyumlu olsada büyük dalga yükseklikli dalgalarda sayısal ve deneysel dalga boyları analitik çözümünden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



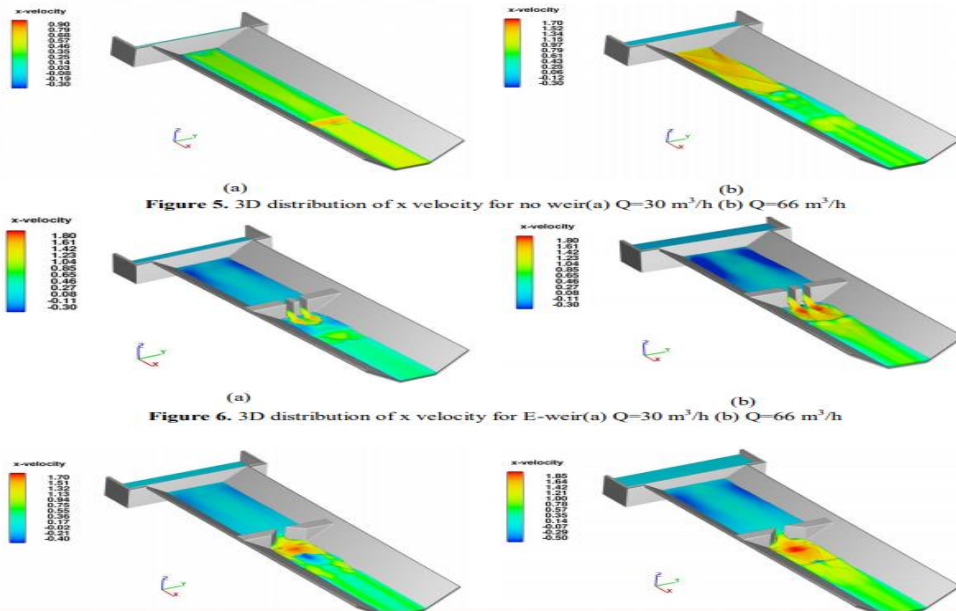
Şekil 0.5: Deney düzeneğinin şematik gösterimi, Anbarsooz vd. (2012)

Finnegan ve Goggins (2012), (WEC) tasarımı amacıyla dönüştürücünün sayısal modellemesini araştırmıştır. Bu amaçla, sonlu derinlik durumu için hem doğrusal derin su dalgalarının hem de doğrusal dalgaların sayısal simülasyonu, bu tasarım aşamasına yardımcı olmak için HAD kullanılarak araştırılmıştır. HAD yazılımı olarak ticari sonlu hacim programı ANSYS CFX kullanılmıştır. Modelin doğrulaması iki şekilde yapılmıştır. Oluşturulan model dalga üretme teorisi ile karşılaştırılmış ve dalganın su partikül hızı ile yüksekliği lineer dalga teorisi ile

kıyaslanmıştır. Derin su dalgaları için lineer dalga teorisi ile ANSYS CFX model sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu ifade edilmiştir. Proyogo ve Wiryanto (2013), düzleştirilmiş parçacık yöntemi kullanarak kanat tipi dalga yapıcı ile su dalgaları üretir ve düzleştirilmiş parçacık yönteminin dalga oluşturucu teorisi ve lineer dalga teorisi ile iyi bir uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

HAD yazılımlarını kullanarak sayısal bir dalga tankında dalga karakterlerini hesaplayan başka çalışmalar da bulunmaktadır (Jacobsen vd., 2012; Higuera vd, 2013) gibi. Bu çalışmalarda, HAD modeli, parça parça ortalama ara yüzey yenilemesi yapılması VOF yöntemini kullanarak su yüzeyini belirlemektedir (Weller, 2008).

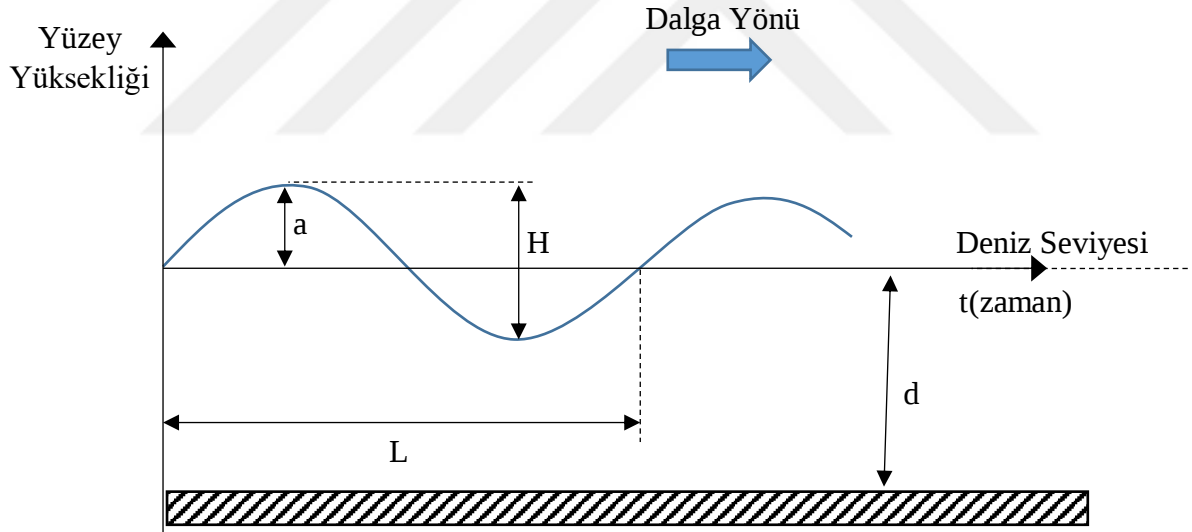
Gemici vd. (2022), açık kanalda yaptığı çalışmada savak ve kapağı birlikte kullanarak sadece kapak kullanıldığında oluşabilecek hidrolik sıçrama sebebiyle batık veya yarı batık yapılara etki eden kuvveti azaltmıştır. Bu çalışmada HAD yazılımı olan Flow-3D kullanılmış ve deneysel olarak hesaplanamaması zor olan noktaların ölçümleri yapılmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 0.6: HAD yazılımı deney similasyonu. Gemici vd. (2022)

3. DALGALAR

Deniz veya okyanus dalgalarının büyüklüğü ve davranışının bilinmesi, liman, kıyı ve yapılarla ilgili planlama, tasarım, inşaat ve işletme dâhil olmak üzere deniz veya okyanustaki hemen hemen tüm faaliyetler için temel bir ön koşuldur. Dalgaların büyük bir çoğunluğu rüzgâr etkisiyle oluşur. Rüzgârın hareketiyle deniz yüzeyinde bir basınç oluşur. Basınç su yüzeyin hareketlenip yer değiştirmesini sağlar ve yerçekiminin etkisiyle deniz sakin denge konumuna geri döner. Bu şekilde ortaya çıkan dalgalara rüzgâr kaynaklı yerçekimi dalgaları denir. Bir dalganın yüksekliği (H), tepesi ve çukuru arasındaki dikey mesafedir. Dalganın periyodu, salınımının bir döngüsünü tamamlaması için geçen süredir. Dalganın yatay uzunluğuna (aynı özelliğe sahip herhangi iki nokta arasındaki mesafe) ise dalga boyu (L) denir. Şekil 3-1’de parametreleri görülen H birkaç cm’den 30 m’ye kadar değişirken, karşılık gelen dalga periyodundaki (T) varyasyon 3 saniye ile yaklaşık 25 saniye arasındadır. L birkaç metreden bir kilometreye kadar değişebilir. Burada a , dalganın genliği ve d , su derinliğidir (Deo, 2013).

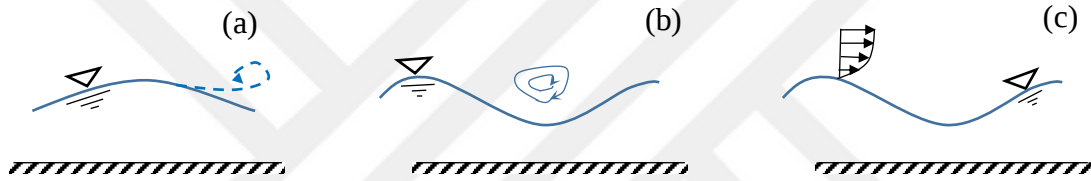


Şekil 3.1: Yayılan dalganın karakteristikleri

Genel atmosfer sirkülasyonu ekvator ile kutuplar arasındaki sıcaklık farkını ortaya çıkarır. Dünyanın dönüşü nedeniyle batı-doğu yönlü bir hava akımı oluşur. Dönen dünya üzerindeki sıcaklıklar sürekli değişir ve bunun sonucunda atmosferik basınçta da değişiklikler meydana gelir. Ekvatorda sıcaktan dolayı bir alçak basınç kuşağı, kutuplarda ise soğuktan dolayı yüksek basınç merkezleri bulunur. Bu basınç gradyanlarının ürettiği rüzgâr, farklı yerlerde ve farklı zamanlarda farklı enerjilerle eser. Rüzgârla ilişkili olarak yüksek enerjiler, deniz yüzeyine normal yönünde etki ederek basınç ve teğet uygulanarak kayma şeklinde sakin suya aktarılır.

Aşırı dalga olayları sırasında hava-deniz etkileşimi yoluyla yüzey dalgaları ile momentum ve enerji transferi de güçlü bir şekilde artmaktadır. (Dutton, 2002; Kharif vd., 2008; Zou ve Chen, 2017).

Geçmişte gibi birçok araştırmacı rüzgâr enerjisi aktarım sürecini, iz boyunca basınç gradyanını (Şekil 3.2.a), atmosferdeki türbülans çevrintilerinin rezonansını (Şekil 3.2.b), kesme kuvvetlerine dayalı logaritmik rüzgâr profilini (Şekil 3.2.c) ve farklı dalga bileşenleri arasındaki rezonans etkileşimleri gibi faktörleri açıklamaya çalışmıştır (Hasegawa vd, 2004; Jeffery, 1973; Deo, 2013). Dalgaların oluşumu ve büyümesi, rüzgârın basıncından, hızından, aynı yönde ve sabit hızda esen rüzgârın su yüzeylerinde oluşturduğu dalga alanlarından, rüzgârın süresinden ve suyun derinliğinden etkilenir.

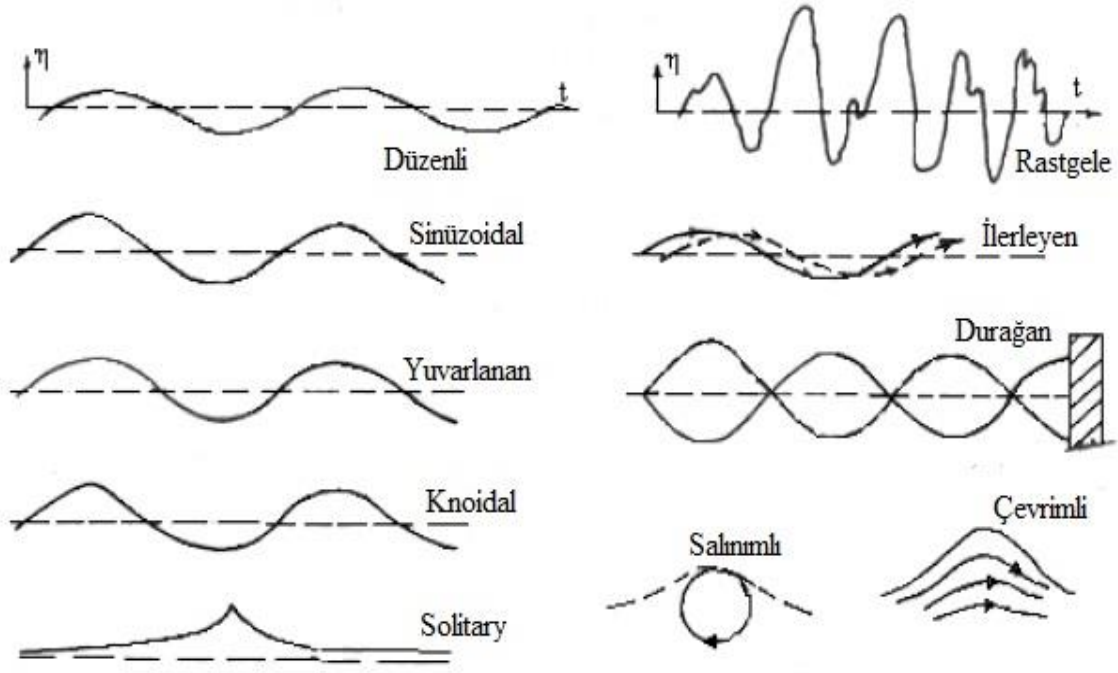


Şekil 0.2: (a) Tepede akım ayrılması (b) Türbülans çevrintileri (c) Logaritmik rüzgâr profili

Dalganın ilk aşamalarında yüksek frekanslı ve kısa uzunlukta dalgalar oluşur. Bunlar, kararsız olduklarından, enerjileri kırar ve beslerler, böylece daha sonra gelişen daha düşük frekanslı dalgalara enerji aktarırlar. Süreç tam gelişmiş dalga oluşana kadar devam eder. Dalga yüksekliği ve periyodu arttıkça, dalgalar daha hızlı hareket etmeye başlar ve artan dalga hızı, üreten rüzgârın hızıyla eşleştğinde rüzgâr enerjisi aktarımı ve dolayısıyla dalgaların büyümesi durur (Brebba ve Walker, 1979).

Oluştuktan sonra dalgalar farklı yönlerde hareket eder ve enerjileri hava veya su türbülansı, taban sürtünmesi gibi faktörler nedeniyle kayba uğrar. Ayrıca açısal dağılım nedeniyle daha geniş alanlara yayılmasından dolayı kendi üretim alanlarından çıktıklarında dalgaların yüksekliğinde azalma olmasına neden olur.

Dalga formunun tekrarına bağlı olarak dalgalar, aynı dalga formu uzayda ve zamanda tekrar ediyorsa düzenli, tekrarlamıyorsa düzensiz veya rastgele olabilir. Doğada bulunan gerçek dalgalar temelde rastgeledir; ancak analitik basitlik adına, çoğu zaman düzenli oldukları varsayılır. Farklı dalga türleri Şekil 3.3’de gösterilmiştir (Deo, 2013).



Şekil 0.3: Dalga tipleri

3.1 Temel Hidrodinamik Denklemler

3.1.1 Süreklilik Denklemi

Kütle merkezi (x, y, z) olan bir akışkan elemanı düşünelim. (u, v, w) sırasıyla x, y, z eksenleri boyunca (x, y, z) 'deki akışkanın hız bileşenleri olsun. Kütlenin korunumu ilkesine göre, Δt süresi içinde, elemana x, y, z yönlerinden giren akışkanın net kütlesi, elemanın kütlesindeki artışla aynı olmalıdır. Bu düşünceden yola çıkarak ve küçük artışları göstermek için (1.1) denklemindeki Taylor serisinden yararlanarak aşağıda (1.2)'de verilen süreklilik denklemi elde edilebilir (Streeter ve Wylie, 1986).

$$f(x + \Delta x) = f(x) + \frac{\partial f(x)}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} \Delta x^2 + \dots \quad (1.1)$$

x değişkeninin herhangi bir $f(x)$ fonksiyonu için Taylor serisi,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1.2)$$

3.1.2 Çevrintili Akım

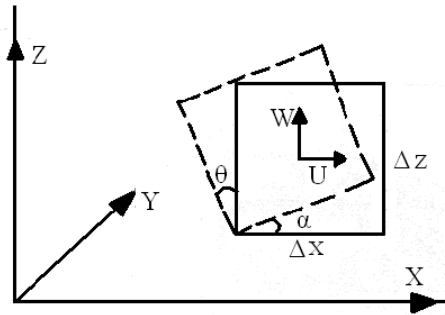
Basit bir 2 boyutlu durum için Şekil 3.4'te gösterildiği gibi kütle merkezindeki kesme kuvvetleri tarafından üretilen moment nedeniyle bir sıvı elemanı zaman içinde bir dönüşe maruz kalabilir. Sırasıyla x, y, z eksenleri etrafındaki bu tür dönüşler,

$$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad (1.3)$$

$$\omega_y = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1.4)$$

$$\omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (1.5)$$

ile ifade edilir. Dönme genellikle, koordinat eksenleri boyunca bileşenleri sırasıyla $(-2\omega_x, 2\omega_y$ ve $-2\omega_z)$ olan çevrinti vektörleri cinsinden ölçülür (Doe, 2013).



Şekil 0.4: Açısal dönme

3.1.3 Çevrintisiz Akım

Akışkan elemanının x, y ve z eksenlerinden herhangi biri etrafındaki net dönmenin sıfır olduğunu varsayarsak, birçok karmaşık akışkan problemi izlenebilir hale gelir. Yani,

$$\omega_x = \omega_y = \omega_z = 0 \quad (1.6)$$

Böyle bir akışa çevrintisiz akım denir ve çevrinti sıfırdır. Dönme, akışkan elemanına teğet etki eden kayma kuvvetlerinin momenti tarafından üretilebildiğinden, viskoz olmayan veya

sürtünmesiz akışkan (kayma kuvvetlerinin yokluğu anlamına gelir) akışı çevrintisiz hale getirecektir (Deo, 2013).

3.2 Lineer Dalga Teorisi

Lineer dalga teorisi için gerekli parametreler Şekil 2’de verilmiştir. Hız potansiyelinin (ϕ) konuma (x, y) ve zamana (t) bağlı olduğu varsayılır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\phi(x, y, z) = X(x) Z(z) T(t) = XZT \quad (1.7)$$

Burada, X, Z, T sırasıyla x, z ve t'nin başlangıçta bilinmeyen fonksiyonlarıdır ve birbirinden bağımsız oldukları kabul edilir. Bu bilinmeyen fonksiyonlar (ϕ) ile aşağıdaki denklem ile belirlenebilir (Ippen, 1966),

$$\phi = \frac{gH \cosh(k(d+z))}{2\omega \cosh(kd)} \sin(kx - \omega t) \quad (1.8)$$

Burada;

$$k = \text{dalga sayısı} = \frac{2\pi}{L},$$

L = Dalga boyu,

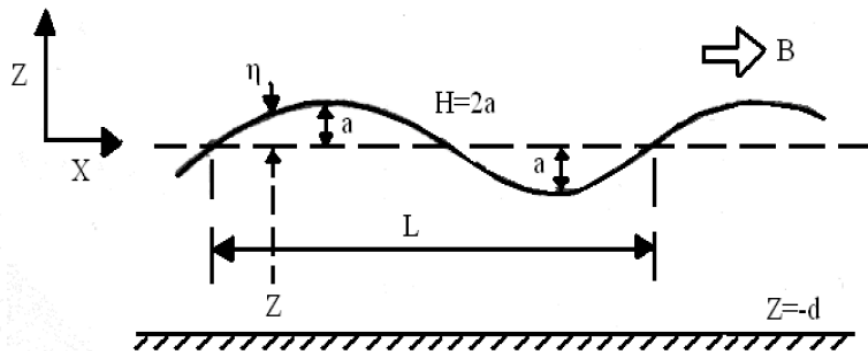
z = Noktanın düşey koordinatı

d = Su derinliği

x = Noktanın yatay koordinatı

t = O andaki zaman

H = Dalga Yüksekliği (2a)



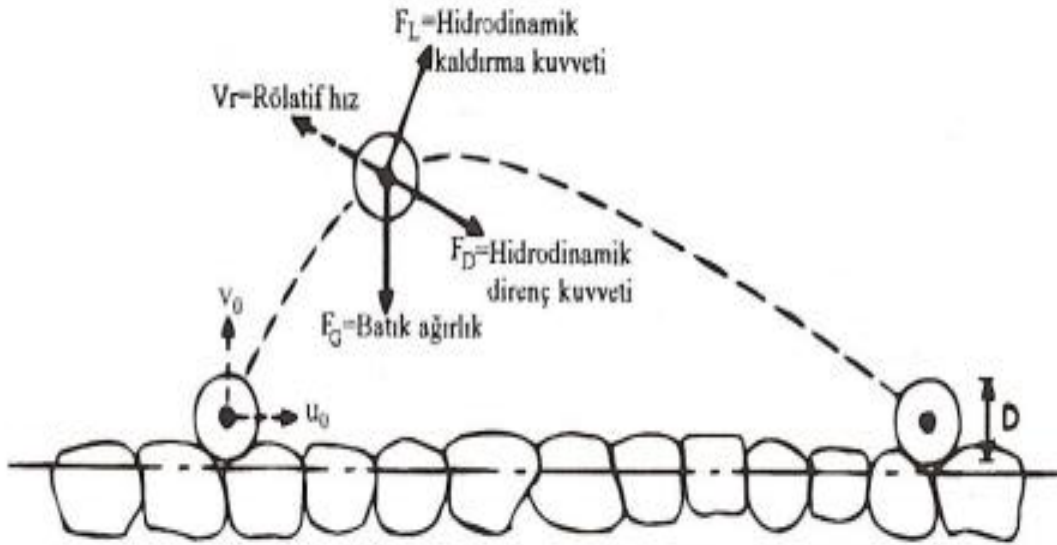
Şekil 0.4: Lineer dalga

4. BATIK CİSİMLERİN HİDRODİNAMİĞİ

4.1 Hidrodinamik Kuvvetlerin Hesabı

Bir cismi bir akışkanın akım alanı içerisine yerleştirdiğinizde, cisim ile akışkanın arasında rölatif bir hareket varsa, akışkan bu cisme kuvvet uygular. Yani cisim duruyor veya akışkandan daha hızlı ve daha yavaşsa akışkanla arasında rölatif bir hareket vardır.

Akışkanın duran cisme veya cismin hareketi doğrultusunda tesir ettirdiği kuvvet sürüklenme kuvveti olarak isimlendirilir. Bir kanal içinde bulunan taneciğe tesir eden kuvvet Şekil 4.1' de verilmiştir. Şekildeki taneciğin durağan veya akımla aynı yöne ama akımdan daha yavaş olduğu düşünüldüğünde;



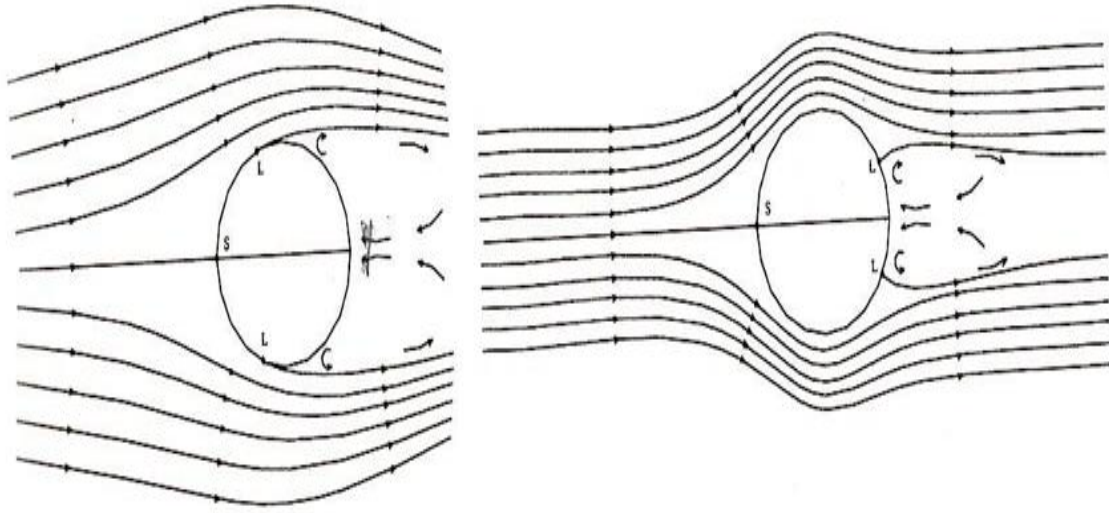
Şekil 10: Kanal içindeki taneciğe tesir eden kaldırma ve sürüklenme kuvveti

akışkanın tanecik üzerindeki yaptığı kuvvetlerin tam olarak belirlenmesi bugüne kadar mümkün olmamıştır ancak deneysel olarak belirlenmesi belirlenen sürüklenme (C_D) ve kaldırma (C_L) katsayılarının verilmesi yoluyla bu kuvvetler hesaplanabilir. (Yüksel, 2012)

4.1.1. Sürüklenme Kuvveti

Cisme tesir eden sürüklenme kuvveti sürtünme ve basınç bileşenlerine sahiptir. Sürtünme bileşeni cisim yüzeyine paralel olarak etti eder ve basınç bileşeni ise cisim yüzeyine normal

doğrultuda etti etmektedir. Akım alanı laminar, türbülanslı veya geçiş rejiminde olabileceği için, bu kuvvetler Reynolds (Re) sayısı ile karakterize edilebilen akımın tipine bağlı olacaktır. C_D değeri Re sayısının fonksiyonudur. Farklı Re sayılarında silindir etrafındaki akım Şekil 4.2’de verilmiştir (Yüksel, 2012).



Şekil 6: Silindir etrafında türbülanslı akım

Durgunluk sırasında doğru olan bir akım çizgisi üzerinde Bernoulli Denklemi uygulanırsa

$$\frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + z_0 = \frac{v_s^2}{2g} + \frac{p_s}{\gamma} + z_s \quad (4.1)$$

doğrusal olduğu için $z_0 = z_s$ akışkan durgun hale geldiği içinde $v_s = 0$ olacağında

$$p_s - p_0 = 1/2 \rho v_0^2 \quad (4.2)$$

elde edilir. (4.2) denklemi Şekil 4.2’deki s noktası üzerinde ilave bir basınç kuvveti mevcuttur. Bu ifade esas alındığında sürtünme kuvveti (F_D) (4.3)’teki gibi ifade edilebilir.

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho v_0^2 A \quad (4.3)$$

C_D = Sürüklenme katsayısı

v_0 = Silindire yaklaşan akımın silindire çarpmadan önceki hızı (m/sn)

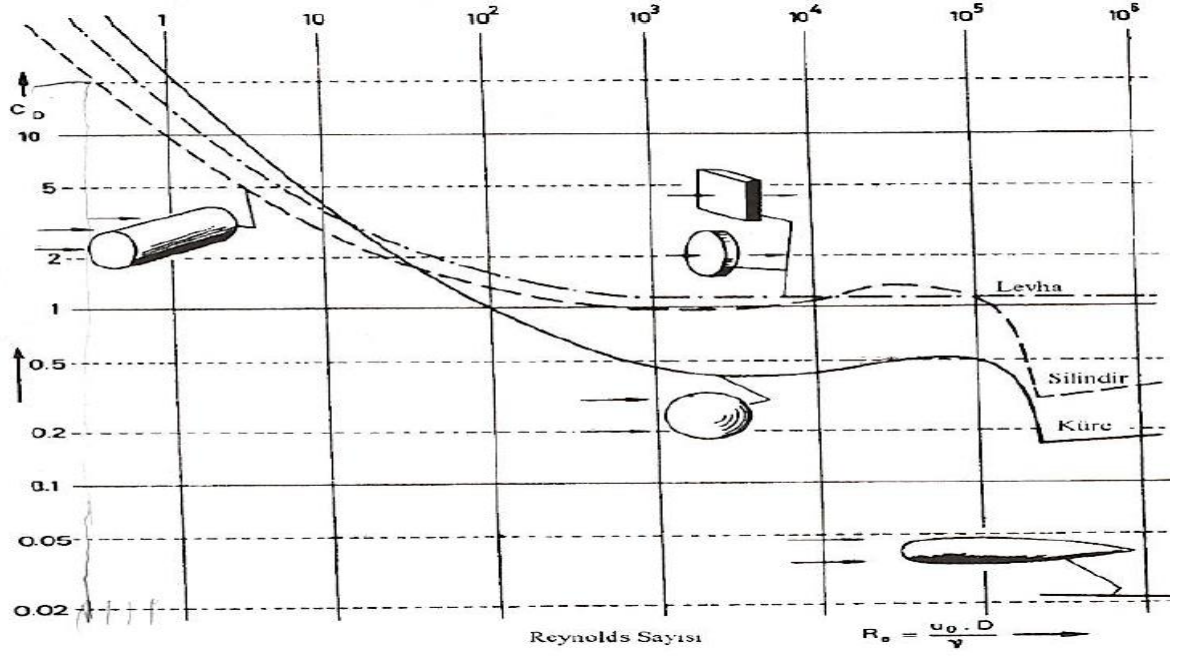
A = Akım doğrultusundaki cismin en kesit alanı (m^2)

ρ = Akışkanın özgül kütlesi (kg/m^3)

C_D katsayısı akışkanın içindeki cismin yüzey pürüzlüğüne, cismin şekline, Re sayısı ile karakterize edilen akımın rejimine bağlıdır. Re sayısı

$$Re = \frac{v_o D}{\mu} * \rho \quad (4.5)$$

ile ifade edilir. Bu ifadede D akım doğrultusuna normal olan cismin en küçük boyutudur. Re sayısı ile C_D değeri arasındaki ilişkiyi levha, silindir, küre için Şekil 4.3'deki gibidir.



Şekil 7: Re sayısına göre sürüklenme katsayısı

5. MATERYAL VE METOT

5.1 Deney Düzeneği

Deneyler, Bartın Üniversitesi Hidrodinamik Laboratuvarında bulunan açık kanal düzeneği içerisinde yapılmıştır. Ana depo, ara depo, kıvrımlı kanal ve toplama kanalı şeklinde su sürekli devridaim yapmaktadır. Kıvrımlı kanalın uzunluğu 3m ve genişliği 0.3m'dir. Ana ve ara depolar arasına su pompa ile sağlanmaktadır. Pompanın girişindeki boru üzerinde bulunan ultrasonik ve elektromanyetik debi ölçerler ile kanala verilen debi kontrol altında tutulmaktadır.

Kıvrımlı kanalın mansabında 2m uzunluğunda ve 0.5m genişliğinde kanal dikdörtgen kesitle devam etmektedir. Dalga üretmesi amacıyla kıvrımlı kanalın 0.9m mansabında bir panel bulunmaktadır. Panel redüktör aracılığıyla akım yönünde ve akım yönünün tersinde hareket ederek dalga üretebilmektedir. Redüktörün devir ayarı sürücü yardımıyla değiştirilerek dalga karakteristikleri değiştirilebilmektedir.



Şekil 5.1: Kıvrımlı kanal

Bu çalışmada panelin hareket etmesini sağlayan mil uzunluğu ve panelin mafsallandığı konum, panelin akımın geldiği yöne doğru 25°, akımın çıktığı yöne doğru 10° açı yapacak şekilde ayarlanmıştır. Sürücü yardımıyla panelin açısal hızı 0.245, 0.411 ve 0.611 m/s olarak değiştirilmiş ve farklı dalgalar oluşturulmuştur.



Şekil 5.2: Redüktör ve dalga paneli

5.2 Flow-3D'nin Özellikleri

Akışkan hareketi doğrusal olmayan, süreksiz, ikinci dereceden diferansiyel denklemlerle tanımlanır. Bu ikinci dereceden diferansiyel denklemleri çözebilmek için akışkan hareket denklemleri kullanılmalıdır. Bu yöntemleri geliştirme bilimine HAD denir. Bu denklemlerin sayısal çözümü, çeşitli terimlerin cebirsel ifadelerle yaklaştırılmasını içerir. Ortaya çıkan denklemler orijinal probleme yaklaşık bir çözüm vermek için çözülür. Bu işlem simülasyon olarak adlandırılır.

Flow-3D, genel amaçlı bir HAD yazılımıdır. Çok ölçekli, fiziksel akış problemlerine geçici, üç boyutlu çözümler elde etmek için akışkanların hareket denklemlerini çözmek amacıyla özel olarak geliştirilmiş sayısal teknikler kullanır. Bir dizi fiziksel ve sayısal seçenek, kullanıcıların Flow-3D'yi çok çeşitli sıvı akışı ve ısı transferi problemlerinin uygulamalarına olanak tanır.

Tipik olarak, sayısal bir model, bir hesaplama ağı veya ızgara ile başlar ve birbirine bağlı eleman veya hücrelerden oluşur. Bu hücreler, fiziksel alanı, her bir hacimle ilişkili birkaç düğüm ile küçük hacimlere böler. Düğümler, basınç, sıcaklık ve hız gibi bilinmeyenlerin değerlerini depolamak için kullanılır. Ağ (mesh), orijinal fiziksel alanın yerini alan sayısal alandır. Mesh, ayrık konumlarda akış parametrelerinin tanımlanması, sınır koşullarının belirlenmesi ve tabii ki akışkan hareketi denklemlerinin sayısal yaklaşımlarının geliştirilmesi için araçlar sağlar. Flow-3D yaklaşımı, akış alanını bazen tuğla (brick) elemanlar olarak adlandırılan dikdörtgen hücrelerden oluşan bir ızgaraya bölmektir.

Bir hesaplama ağı, fiziksel alanı etkili bir şekilde parçalara ayırır. Her akışkan parametresi, ayrı noktalarda bir dizi değerle ağ içinde temsil edilir. Gerçek fiziksel parametreler uzayda sürekli olarak değiştiğinden, düğümler arasında mesafenin küçük olduğu bir ağ, gerçekliği, kaba olandan daha iyi temsil eder. Buradan sayısal yaklaşımın temel bir özelliğine ulaşırız: geçerli herhangi bir sayısal yaklaşım, ızgara aralığı azaldıkça orijinal denklemlere yaklaşır. Bir yaklaşım bu koşulu karşılamıyorsa, o zaman hatalar vardır ve eğer sınırların kabul etmediği kadar büyükse bu hatalar yanlış kabul edilmelidir.

Aynı fiziksel alan için ızgara aralığını azaltmak veya ağı iyileştirmek, daha fazla eleman ve düğüm ile sonuçlanır ve bu nedenle sayısal modelin boyutunu artırır. Ancak, akışkan akışı ve ısı transferinin fiziksel gerçekliğinin yanı sıra, simülasyon mühendislerini makul bir ağ boyutu seçmeye zorlayan tasarım döngüleri, bilgisayar donanımı ve sonuçları elde etmede gerekli olan süre gerçekliği de diğer parametrelerdir. Bu kısıtlamaları aşmak ve kullanıcı tarafından doğru çözümler elde etmek arasında bir dengeye varmak, HAD modeli geliştirmek kadar önemlidir.

Dikdörtgen ızgaraları, düzenli veya yapılandırılmış yapıları nedeniyle oluşturmak ve saklanması çok kolaydır. Düzgün olmayan bir ızgara aralığı, karmaşık akış alanlarını birbirine bağlarken esneklik sağlar. Hesaplama hücreleri, üç indis kullanılarak ardışık bir şekilde numaralandırılır: x yönünde i, y yönünde j ve z yönünde k. Bu şekilde, üç boyutlu bir ağdaki her hücre, fiziksel uzaydaki bir noktanın koordinatlarına benzer şekilde benzersiz bir adres (i, j, k) ile tanımlanabilir.

Yapılandırılmış dikdörtgen ızgaralar, sayısal yöntemler geliştirmenin göreceli kolaylığı, şeffaflığı ile sayısal çözümlerin doğruluğu ve kararlılığı gibi faydalar sağlar. Sonlu fark ve sonlu hacim yöntemlerine dayanan en eski sayısal algoritmalar, orijinal olarak bu tür ağlar üzerinde geliştirilmiştir. Bu da Flow-3D'deki sayısal yaklaşımın temelini oluşturmaktadır. Sonlu farklar yöntemi, Taylor açılımının özelliklerine ve türev tanımının doğrudan uygulanmasına dayanır. Diferansiyel denklemlere sayısal çözümler elde etmek için uygulanan yöntemlerin ilk uygulamasının 1768 yılında Euler tarafından geliştirildiği kabul edilir. Sonlu hacim yöntemi, akışkan hareketi için korunum yasalarının integral biçiminden doğrudan türetilir ve bu nedenle, doğal olarak korunum özelliklerine sahiptir (FLOW-3D 2008).

Flow-3D'nin genel akışkan denklemlerinin farklı sınırlayıcı koşulları için çeşitli alt çözücüler bulunmaktadır. Örneğin, bir çözücü sıkıştırılabilir akışkanlar içindir, diğeri ise tamamen

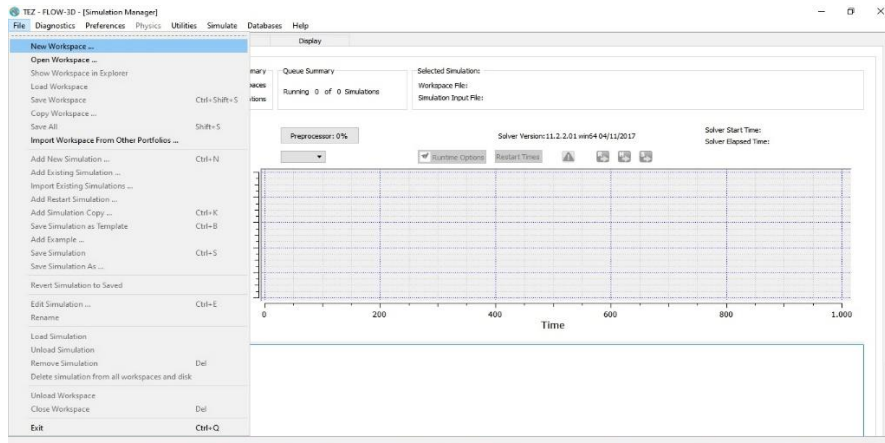
sıkıştırılamaz akış durumları için kullanılır. Sıkışmaz akış için sıvı yoğunluğu ve enerjisi sabit kabul edilebilir ve hesaplanmasına gerek yoktur. Ek olarak, tek akışkan ve iki akışkan modu da bulunmaktadır. Serbest yüzeyli akım olarak planlanan düzeneğimiz, tek akışkan ve sıkıştırılamaz moduna dâhil edilebilir. Bu işlem modları, hareket denklemlerini yöneten farklı seçeneklere karşılık gelmektedir.

Flow-3D ile yapılan birçok simülasyon serbest yüzeye sahiptir. Herhangi bir hesaplama ortamında serbest yüzeyleri modellemek zordur. Çünkü yoğunluk, hız, basınç gibi akış parametreleri ve malzeme özellikleri burada bir süreksizlik yaşar. Flow-3D'de, sıvıya bitişik gazın eylemsizliği ihmal edilir ve gazın kapladığı hacim, yalnızca düzgün basınç ve sıcaklık ile temsil edilen, kütlesi olmayan boş bir alanla değiştirilir. Serbest yüzey, sıvının dış sınırlarından biri halini alır. Serbest yüzey dinamiklerinin doğru bir şekilde yakalanması için serbest yüzeydeki sınır koşullarının uygun tanımlanması önemlidir. Bu amaçla Flow-3D Akışkan Hacmi (VOF) yöntemini kullanmaktadır. Çözüm, akışkan fonksiyonunun hacminin tanımı, VOF taşıma denklemini çözme yöntemi ve serbest yüzeyde sınır koşullarının belirlenmesi şeklinde üç ana bileşenden oluşur (FLOW-3D, 2008).

5.3 Flow-3D Modelinin Kurulumu

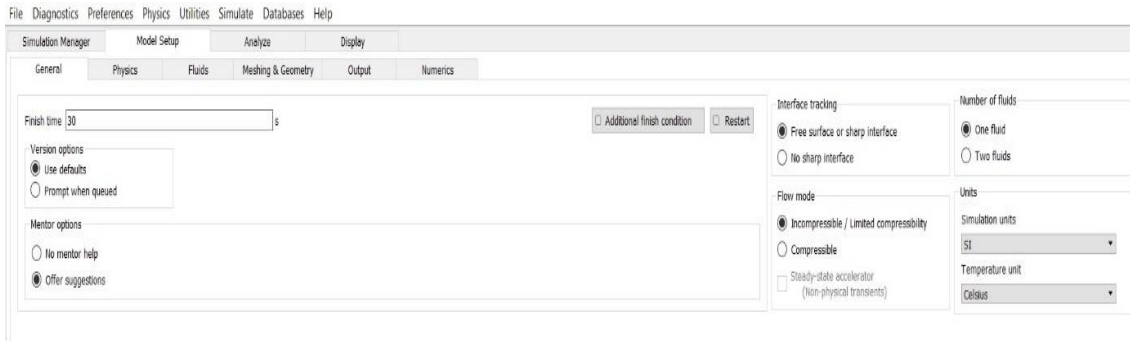
5.3.1. Programa giriş ve Yeni Simülasyon Ekleme

Model kurulumu File sekmesinden simülasyon ekle sekmesi ile simülasyona isim verilmesi ile başlar (Şekil 5.3). Modelin oluşturulmasında akışkanın zamanla hareket ederek denge konumuna ulaşmış olması istenir.



Şekil 5.3: Flow-3D başlangıç ara yüzü

Model Setup menüsünden modelin çalışma zamanı, akışın modu, etkileşim yüzeyinin şekli, akışkan sayısı ve birim sistemi seçilir (Şekil 5.4).



Şekil 4: Model kurulumu- genel sekmesi ara yüzü

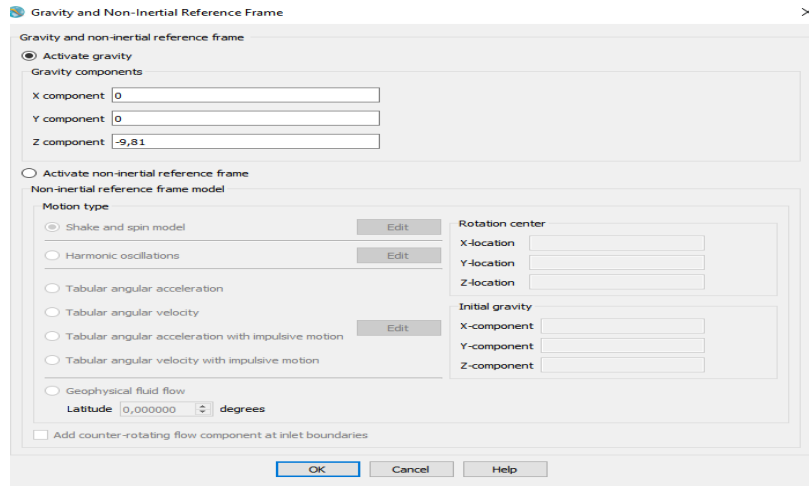
Bu çalışmada yüzey şekli serbest, akım türü sıkışmaz ve birim sistemi olarak SI kullanılmıştır. Simülasyonun süresi deneme yanılma yoluyla her model için ayrı ayrı belirlenmiştir.

5.3.2. Fiziki Koşullar

Physics sekmesi altından fiziksel modelin şekline göre aktif edeceğimiz alt modlar seçilir.

5.3.2.1. Yer çekimi ivmesi tanımlama

Yer çekimi ivmesini Z yönünde -9.81 m/s^2 girilir (Şekil 5.5).

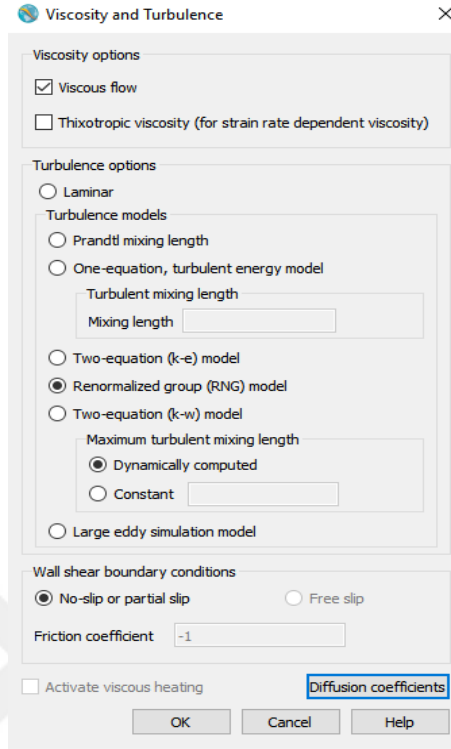


Şekil 5: Gravity and non-inertial reference frame sekmesinin ara yüzü

5.3.2.2. Yer Çekimi İvmesi Tanımlama

Viskoz akış için türbülans kapama modellerinden çalışmaya en uygun olan önceki tecrübeler ve deneme yoluyla seçilir. Bu çalışmada viskoz akış sekmesini aktif edip türbülans

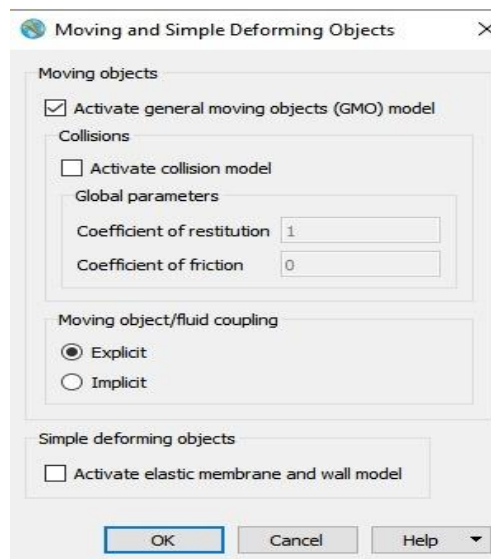
opsiyonlarında da yeniden normalleştirilmiş grup (Renormalized group, RNG) modeli seçildi (Şekil 5.6).



Şekil 6: Viscosity and turbulence ara yüzü

5.3.2.3.Hareketli Obje Tanımlama

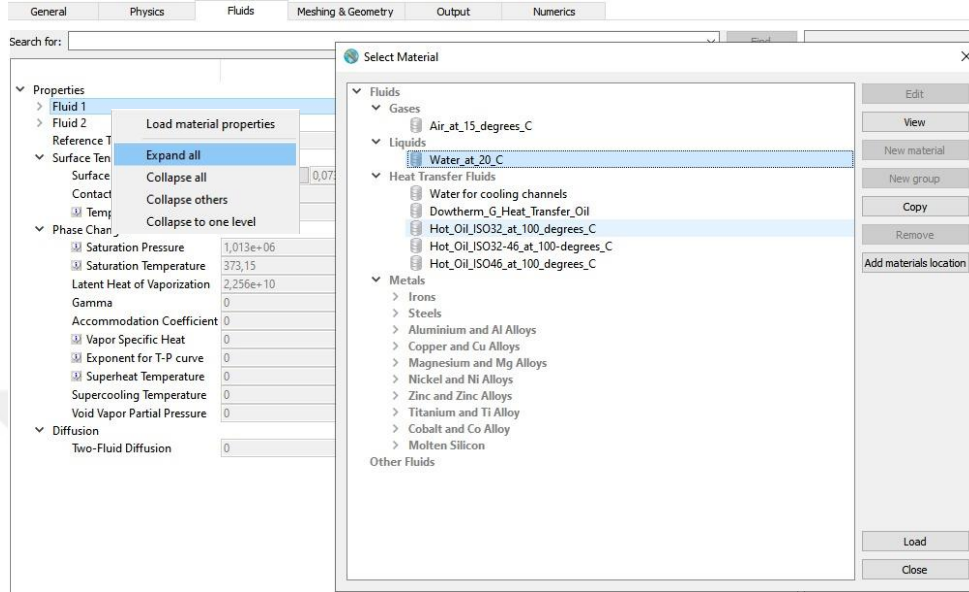
Dalgayı oluşturacak olan hareketli bir panel olduğu için Moving objects aktif edilir (Şekil 5.7).



Şekil 7: Moving and simple deforming objects ara yüzü

5.3.3. Akışkanları Tanımlama

Fluids sekmesi altından akışkan özellikleri tanımlanır veya program üzerinde tanımlı akışkanlardan biri yüklenir (Şekil 5.8).



Şekil 8: Fluids sekmesinin ara yüzü

5.3.4. Deney Düzenekini Oluşturma

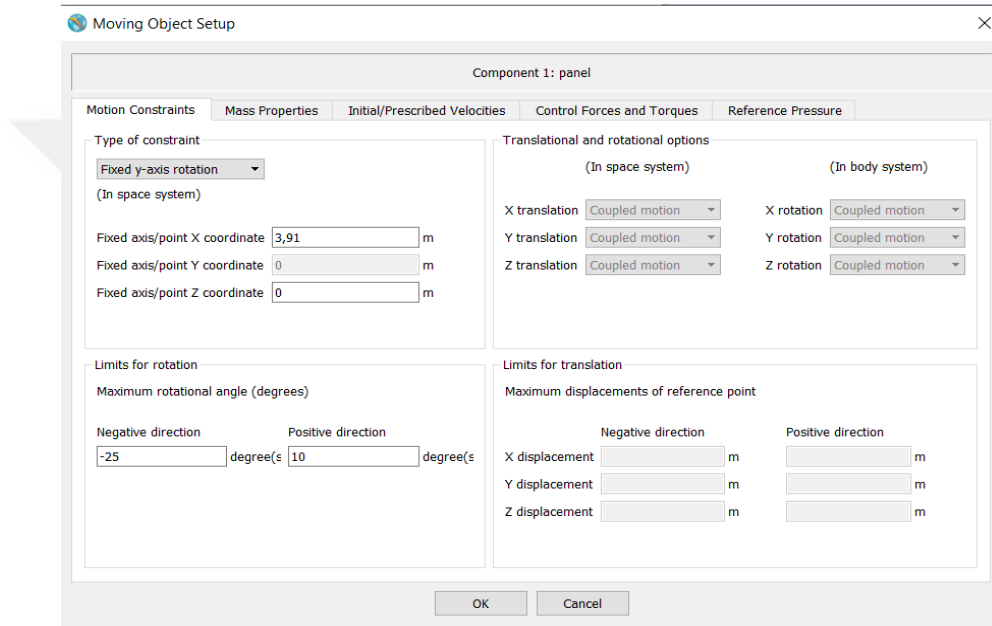
Meshing & Geometry sekmesi en önemli menüdür. Burada akışkan yatağının geometrisi oluşturulur veya STL uzantılı olarak yüklenir. Karmaşık olmayan geometrilerin program üzerinden yapılması mümkündür. Ancak bu çalışmada kıvrımlı bir kanal yer aldığı için katı model çiziminde Salome Platform adlı açık kodlu bir yazılım kullanılıp STL uzantıyla Flow-3D programında devam edilmiştir(Şekil 5.9).



Şekil 9: Flow-3D ile deney düzeneğinin kurma

Mesh kutucuğu ile açılan menüden mesh alanı belirlenir. Burada her bir ızgaranın köşe uzunlukları veya toplam ızgara sayısı belirlenir. Izgara sayısının fazla olması modelin gerçek durumu temsil edebilmesine yardımcı olsa da mesh hücre sayının çok olması simülasyonun tamamlanması için günlerce beklenmesine neden olabilir. Flow-3D'nin avantajlarından biri de

FAVOR uygulaması sayesinde yazılım koşturulmadan önce katı sınırların kalitesinin görülebilmelidir. Bu sayede özellikle oval kenarlar veya ince levhaların ortaya çıkması için mesh ızgara sayısının artırılması veya meshin belli bölgelerde sıklaştırılması sağlanır. Dalga hareketi oluşturulması için gerçek fiziksel olay modele tanımlanmalıdır. Hareketli obje kurulumu sekmesinden (Şekil 5.10) hareketli nesnenin hareket eksenini, negatif ve pozitif doğrultuda hareket sınırları, hareketli objenin yoğunluğu, hareketin akış dolayısıyla mı yoksa farklı bir kaynak dolayısıyla mı hareket ettiği tanımlanır. Burada hareketli objenin zaman göre açısal hızları tanımlanmıştır.

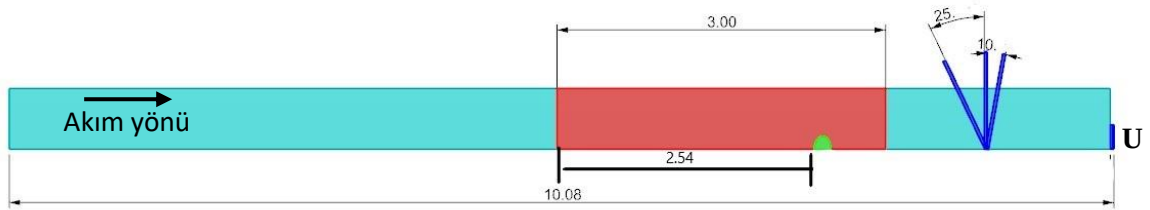


Şekil 10 Hareketli obje tanımlama

Output sekmesinden simülasyonun hangi zaman aralığında kesitler sunacağı girilebilmektedir. Ayrıca analiz sonucunda istenen parametreler burada belirlenmelidir. Analiz menüsünden istenen değişkenlere ait sonuçlar tek, iki, üç boyutlu veya yazı dosyası şeklinde görüntülenir.

6. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Deneyssel olarak dalga yükseklikleri laboratuvarında zamana göre ölçülmüştür. Kamera kaydı ile alınan görüntüler 1/30 saniye zaman aralıklarıyla oynatılarak dalga yükseklikleri, genlik ve periyotları doğrulanmıştır. HAD yazılımına fiziksel kanalın sınır şartları tanımlanmıştır. HAD yazılımı kanalı küçük ızgaralara bölerek sonlu elemanlar biçiminde problemi sayısal olarak çözmektedir. Öncelikle fiziksel olarak yapılan ölçümler ile HAD yazılımının doğrulanması yapılmıştır. Burada ızgara sayısının belirlenmesi oldukça önemlidir. 2 farklı debi (Q), 2 farklı kanal kapağı yüksekliği (U), 3 farklı panel hızı (v_p) kullanılarak deneyler yapılmış ve modeller oluşturulmuştur. Modellerin doğrulanması sonrası kıvrımlı kanalın 2.55 - 2.7m konumu arasına yerleştirilen 15 cm çaplı yarı dairesel eşğin önünde (dalga paneline bakan taraf) ve arkasında basınçlar belirlenmiştir. Dalga etkisiyle akımın geldiği yönde ilerleyen dalga hızı ve basıncın dolayısıyla özgül enerjinin yerleştirilen eşik yardımıyla azaltılması hedeflenmiştir.



Şekil 11 Deney düzeneğinin sistematik gösterimi

Burada Özgül Enerji (E), Eşitlik 1.9 ile hesaplanmaktadır.

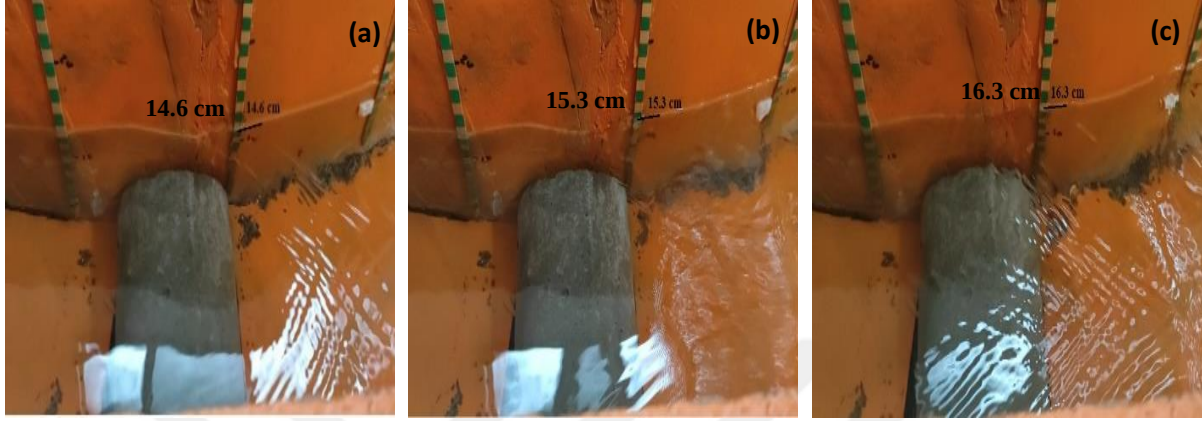
$$E = h + \frac{v^2}{g} \quad (1.9)$$

Eşğin ön ($x=2.7m$) ve arkası ($x=2.54m$) arasında enerji değişimi (ΔE) Eşitlik 1.10 ile hesaplanmıştır.

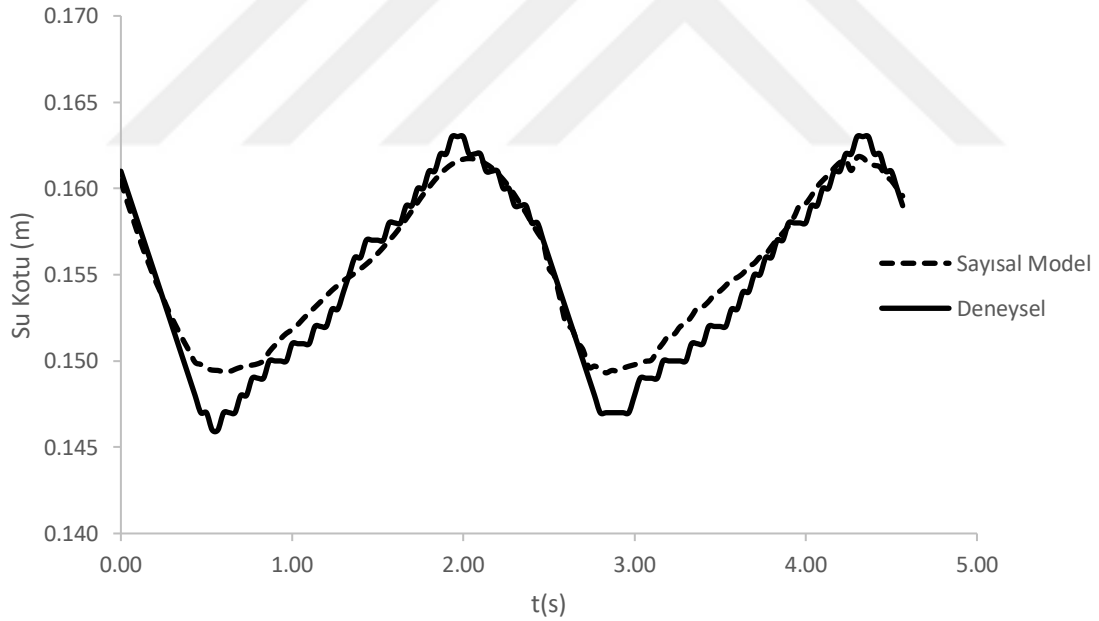
$$\Delta E = \frac{E_{x=2.54} - E_{x=2.7}}{E_{x=2.54}} \times 100 \quad (1.10)$$

6.1. Deney Koşulu 1

1. deneyde debi 7 L/s, hız 0.235m/s, kanalın çıkış noktasındaki kapak yüksekliği 7 cm olarak alındı. Su yüzeyleri Şekil 6.2' deki gibidir.

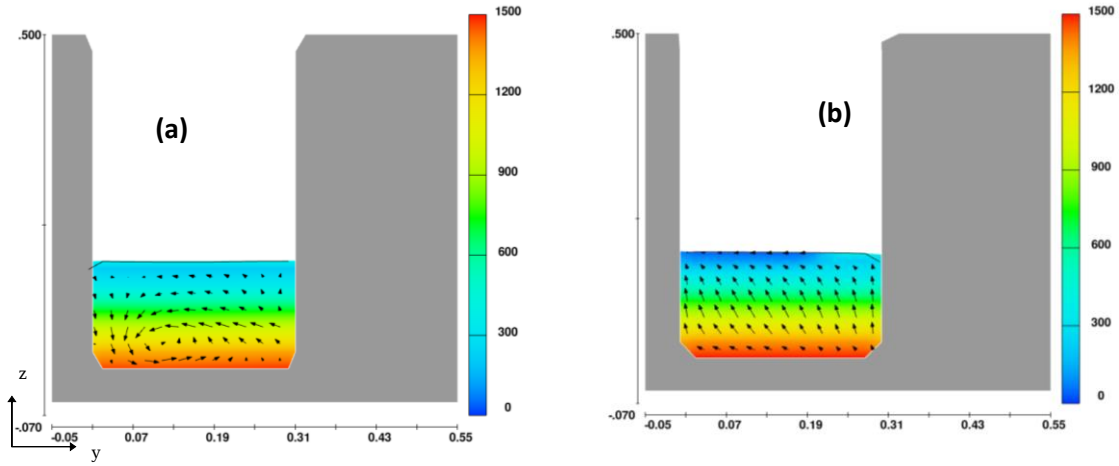


Şekil 6.12: Su yüzeyleri ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.235\text{m/s}$, $U=7\text{cm}$)(a) $t=0.57\text{s}$ (b) $t=1.27\text{s}$ (c) $t=2.00\text{s}$



Şekil 6.13: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=7\text{ L/s}$, $v_p=0.235\text{m/s}$, $U=7\text{cm}$)

Şekil 6.3'te debinin 7 L/s, panel hızı 0.235 m/s ve kanalın su tahliye noktasında su birikmesini sağlayan kapak yüksekliği 7 cm olduğu durumda; deneysel modelin su kotları ve sayısal modelin vermiş olduğu su kotları verilmektedir. Su kotunun yüksek olduğu yerlerde deneysel modelle sayısal modelin kotları örtüşürken su kotunun düşük olduğu yerlerde 4 mm sapma görülmektedir.



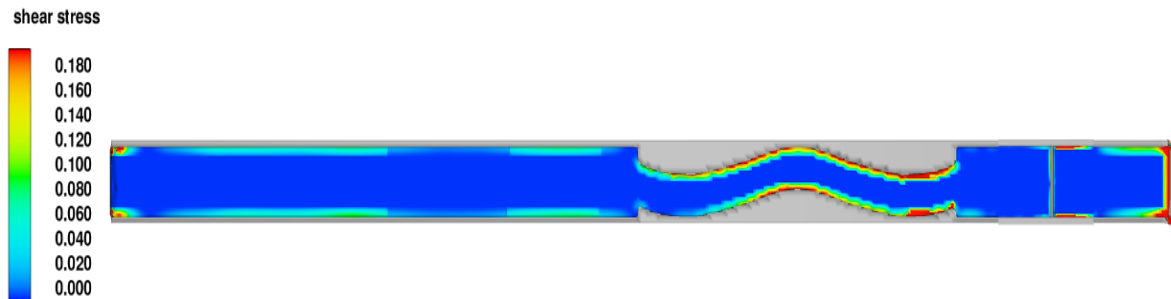
Şekil 6.14: Batık eşiğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=2.0s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$)

Şekil 6.4'te ki basınç dağılımına baktığımızda eşiğin 2.7 m konumunda (b) kanal tabanındaki basınç 2.54 m'dekinden (a) daha fazla basınç vardır. Yine eşiğin önünde (a) hız kontürleri sol tarafa doğruyken eşikten hemen sonra (b) sol üst tarafa doğru olduğu gözlenmiştir.

Tablo 6.1: Maksimum özgül enerjiler ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$)

Konum	t (s)	E_{mak} (m)
x=2.70m	2.0	0.1647
x=2.54m	2.0	0.1646
x=-2.50m	2.37	0.1650

1. deney koşundaki maksimum özgül enerji değerleri Tablo 6.1 'de verilmiştir.

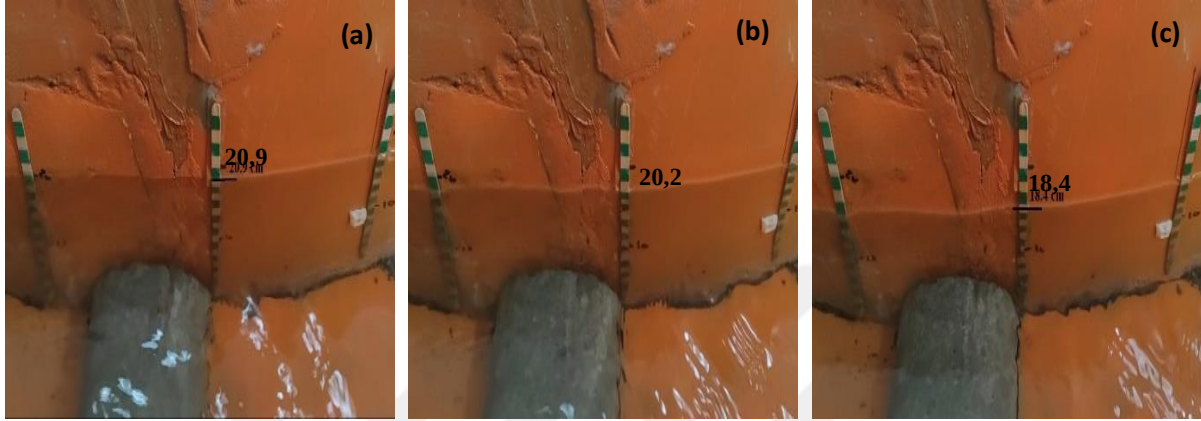


Şekil 6.15: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=2.0s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$)

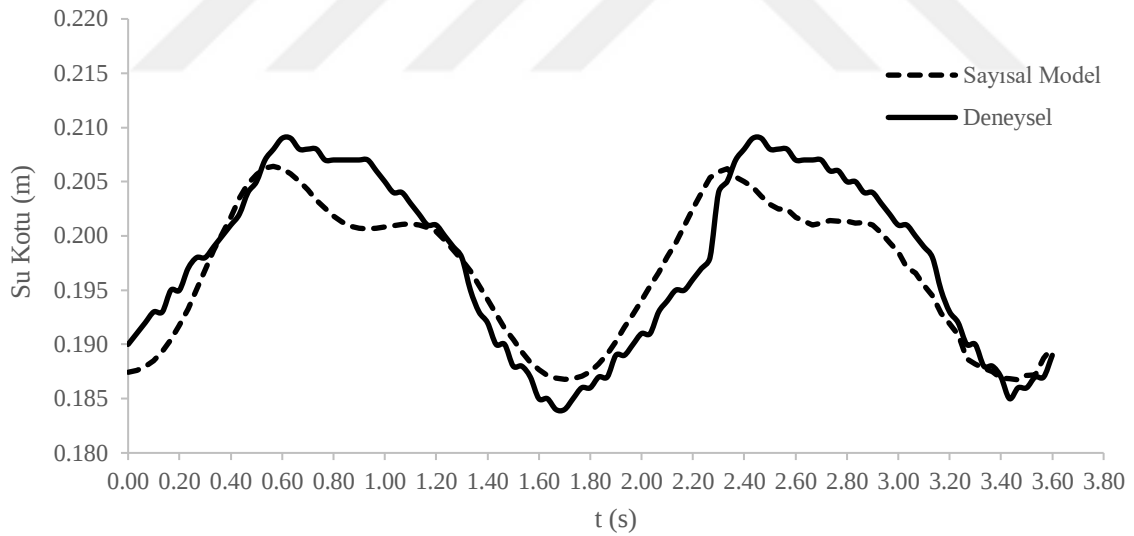
1. deney koşullarındaki kayma gerilmesini incelediğimizde kıvrımlı kanal kesitlerinde ve çıkış kapağında kayma gerilmesinin olduğunu görüyoruz.

6.2. Deney Koşulu 2

2. deneyde debi 7 L/s, hız 0.235m/s, kanalın çıkış noktasındaki kapak yüksekliği 12 cm olarak alındı. Su yüzeyleri Şekil 6.6' deki gibidir

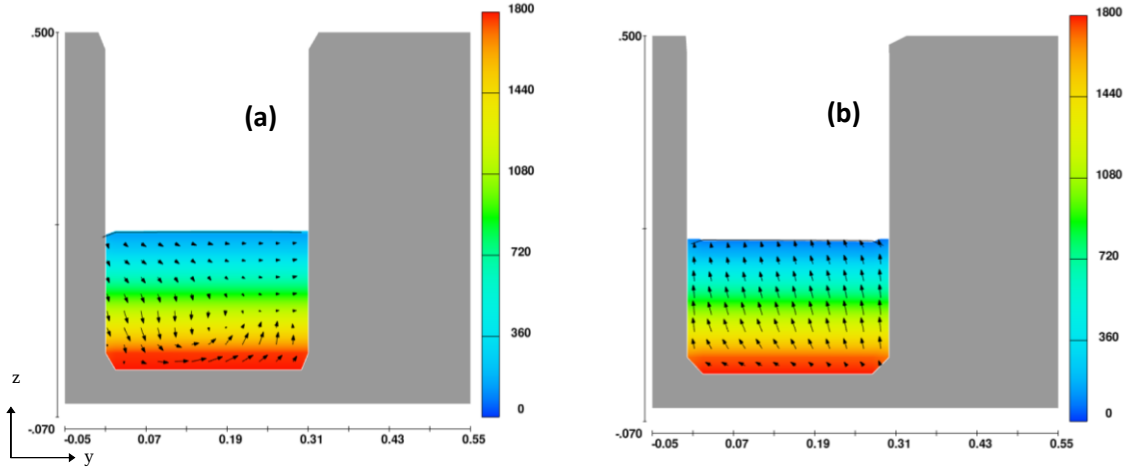


Şekil 6.16: Su yüzeyleri ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.235\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$) (a) $t=0.6\text{s}$ (b) $t=1.13\text{s}$ (c) $t=1.7\text{s}$



Şekil 6.17: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.235\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$)

2. deney koşullarında su kotları Şekil 6.7'deki gibidir. Sayısal model ile deneysel modelin davranışı zamansal olarak örtüşmekle birlikte maksimum sapmanın olduğu 0,9 ve 2,6 saniyelerde sapma miktarı 7mm geçmemektedir.



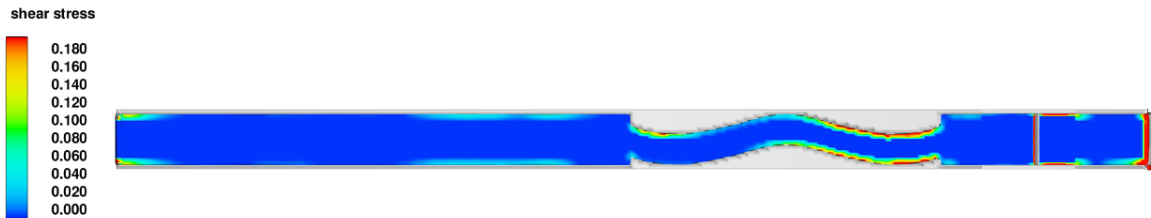
Şekil 6.18: Batık eşğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=0.6s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$)

Debinin 7 L/s, panel hızının 0,235 m/s ve tahliye kapak yüksekliği 12 cm olduğunda eşğin ön kısmındaki (a) basıncın daha fazla olduğunu görüyoruz. Bu deney sisteminde hız kontürleri eşğin ön kısmında tabanın ortasında ve soldan sağ üste doğru yönelmişken eşik sonrasında sol üst tarafa doğru eğilimlidir.

Tablo 6.2: Maksimum özgül enerjiler ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$)

Konum	t (s)	E_{mak} (m)
x=2.70m	0.6	0.2084
x=2.54m	0.6	0.1993
x=-2.50m	1.93	0.2086

Tablo 6.2’de 2. deney düzeneğinin maksimum özgül enerji değerleri verilmiştir.

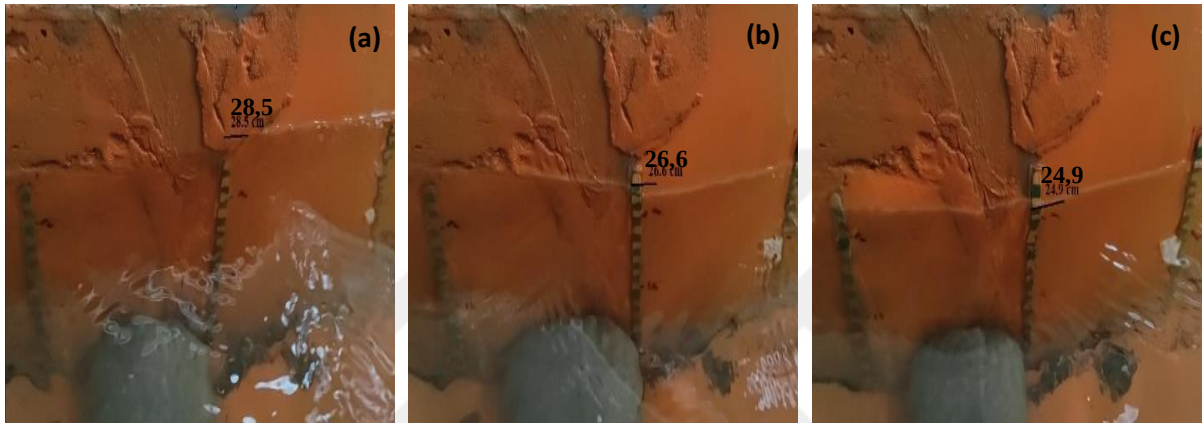


Şekil 6.19: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=0.6s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$)

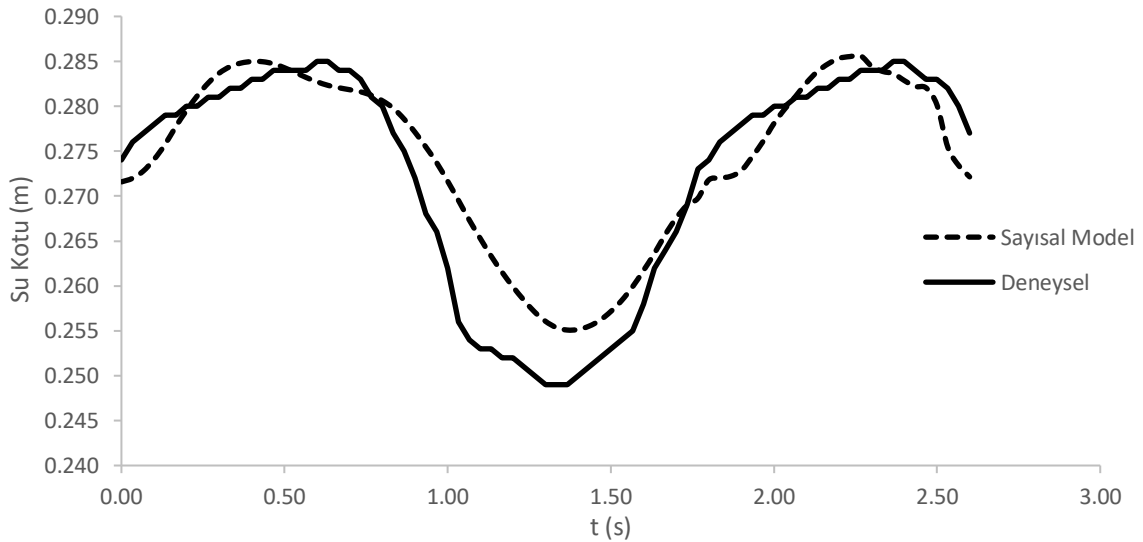
Deney sistemindeki kayma gerilmeleri Şekil 6.9’da görüldüğü gibi eşğin çevresi panel ve çıkış kapasının etrafında görülmektedir.

6.3. Deney Koşulu 3

3. deneyde debi 12 L/s, hız 0.235m/s, kanalın çıkış noktasındaki kapak yüksekliği 7 cm olarak alındı. Su yüzeyleri Şekil 6.10’daki gibidir.



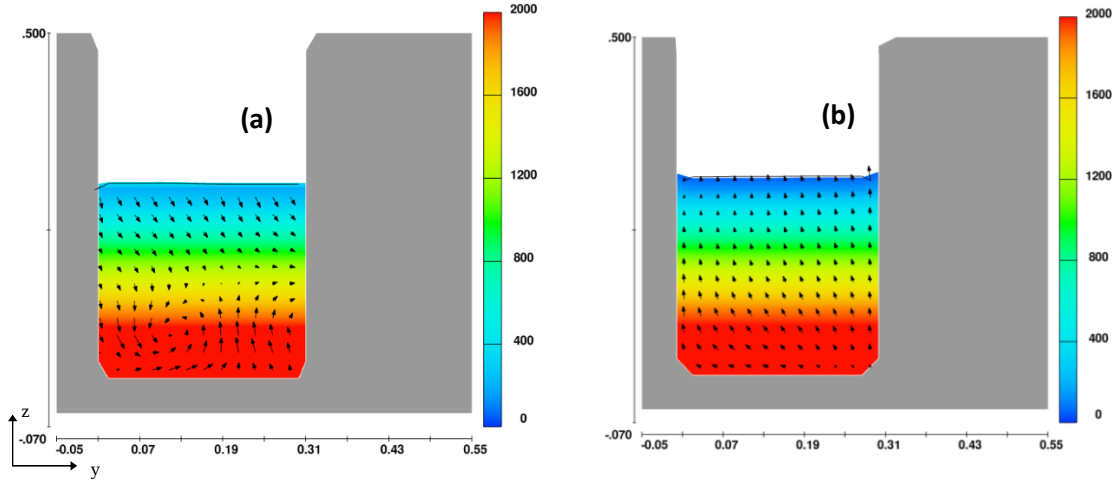
Şekil 6.20: Su yüzeyleri ($Q=12\text{L/s}$, $v_p=0.235\text{m/s}$, $U=7\text{cm}$)(a) $t=0.6\text{s}$ (b) $t=0.97\text{s}$ (c) $t=1.37\text{s}$



Şekil 6.21: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=12\text{L/s}$, $v_p=0.235\text{m/s}$, $U=7\text{cm}$)

Debinin 12 L/s, panel hızının 0,235 m/s ve çıkış kapasının 7 cm olduğu düzeneğin su kotlarını (Şekil 6.1) incelediğimizde deneysel model veriler ve sayısal modelin verileri zamana karşı

davranış olarak örtüşmekte ancak su kotunun düşük olduğu yerlerde 1 cm civarında sapma görülmektedir.



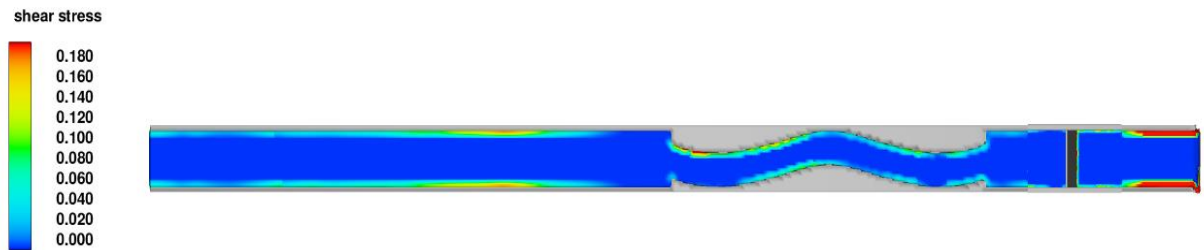
Şekil 6.22: Batık eşiğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=0.6s$) ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$)

Şekil 6.12'deki basınç dağılımı incelendiğinde eşik önünde hız kontürlerinin yine sol alt köşeye, eşikten sonrada sol üst köşeye eğilimli olduğunu görüyoruz.

Tablo 6.3: Maksimum özgül enerjiler ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$)

Konum	t (s)	E_{mak} (m)
x=2.70m	0.6	0.2844
x=2.50m	0.6	0.2920
x=-2.54m	0.133	0.2744

Tablo 6.3'te 3. Deney düzeneğinin maksimum özgül enerjileri verilmiştir.

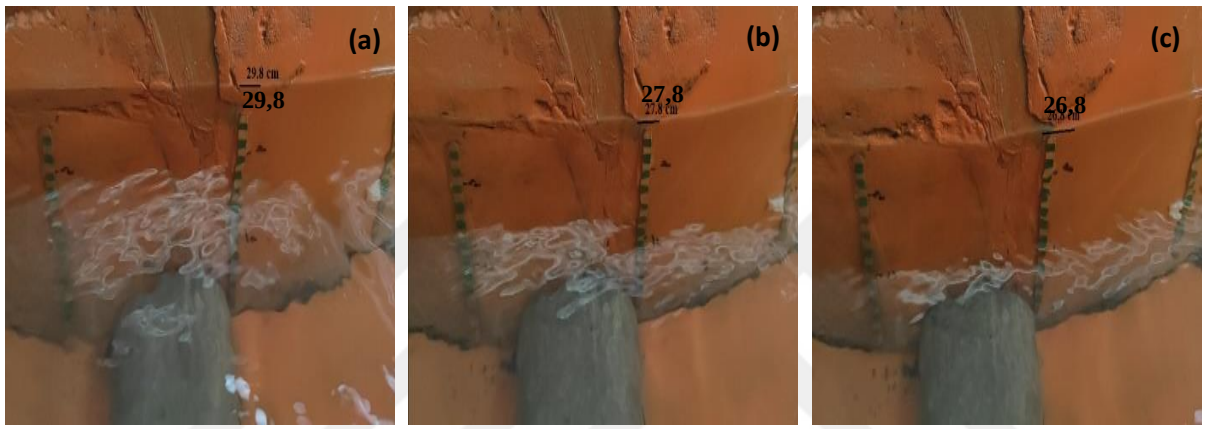


Şekil 6.23: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=0.6s$) ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$)

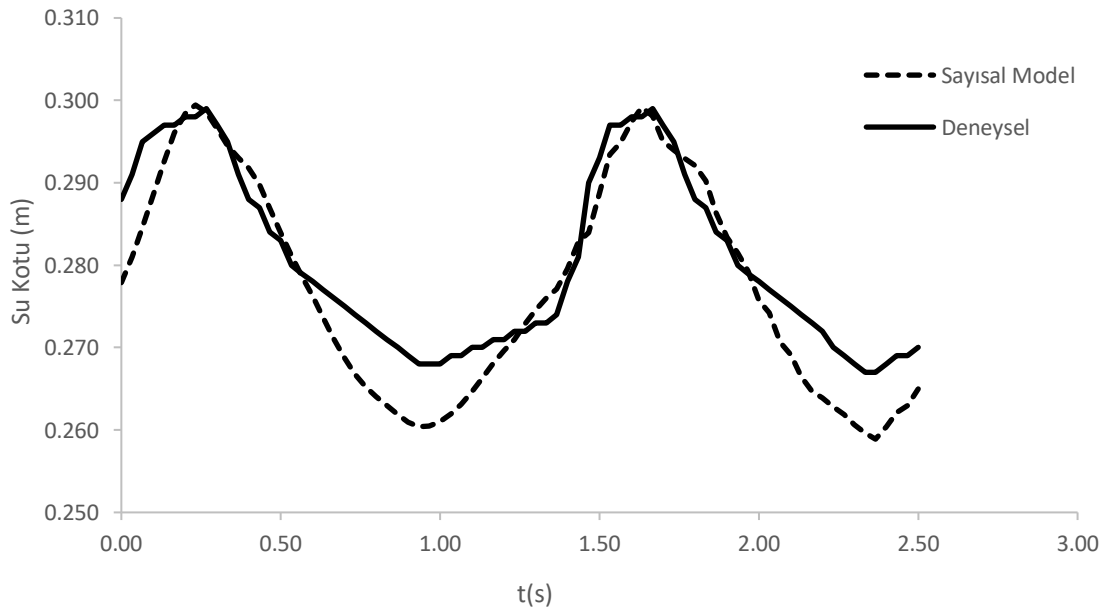
3. deneyde yani debinin 12L/s, panel hızının 0,235 ve çıkış kapağı yüksekliğinin 7cm olduğu durumda panelin arka tarafında çıkış kapağının biriktirdiği suyun kanalın kenarlarında kayma gerilmesinin oluştuğunu saptanıyor. Kanalın kıvrımlı kısmının giriş kısmında ve kanalın ilk 5m’lik düz kısmında da çıkış noktasına göre azda olsa kayma gerilmesinin olduğu görülüyor.

6.4. Deney Koşulu 4

4. deneyde debi 12 L/s, hız 0.235m/s, kanalın çıkış noktasındaki kapak yüksekliği 12 cm olarak alındı. Su yüzeyleri Şekil 6.14’ daki gibidir.

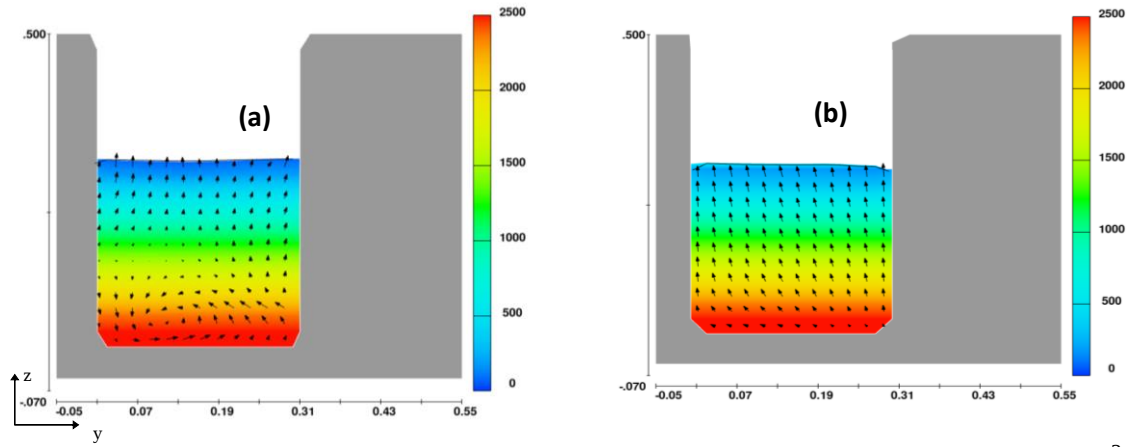


Şekil 6.24: Su yüzeyleri ($Q=12\text{L/s}$, $v_p=0.235\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$)(a) $t=0.23\text{s}$ (b) $t=0.6\text{s}$ (c) $t=0.97\text{s}$



Şekil 6.25: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=12\text{L/s}$, $v_p=0.235\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$)

4. deney düzeneğinin su kotunun gösterildiği Şekil 6.15'te görüyoruz ki sayısal model ve deneysel model arasında yine bir uyum var ancak su kotunun düşük olduğu yerlerde yaklaşık olarak 1 cm sapma görülmüştür.

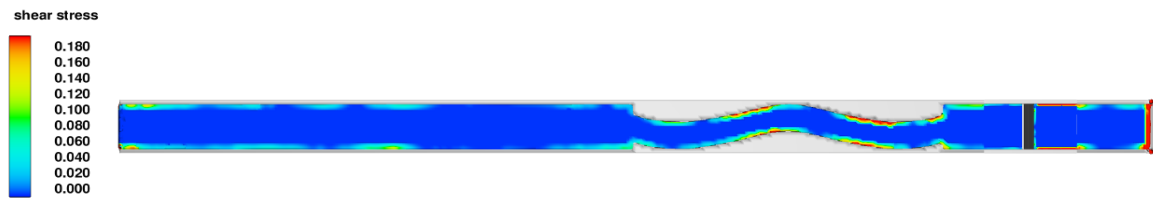


Şekil 6.26: Batık eşik (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=0.23s$) ($Q=12L^3/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$)

Şekil 6.16'da verilen 4. deney düzeneğinin basınç dağılımı verilmiştir. Basınç dağılımdaki hız kontürleri daha önceki düzeneklerdeki gibi eşikten önce sol alt tarafa doğruyken eşikten son hız kontürleri sağ üst köşeye doğru eğilim göstermektedir.

Tablo 6.4: Maksimum özgül enerjiler ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$)

Konum	t (s)	E_{mak} (m)
x=2.70m	0.23	0.3003
x=2.54m	0.23	0.2870
x=-2.50m	0.80	0.2603

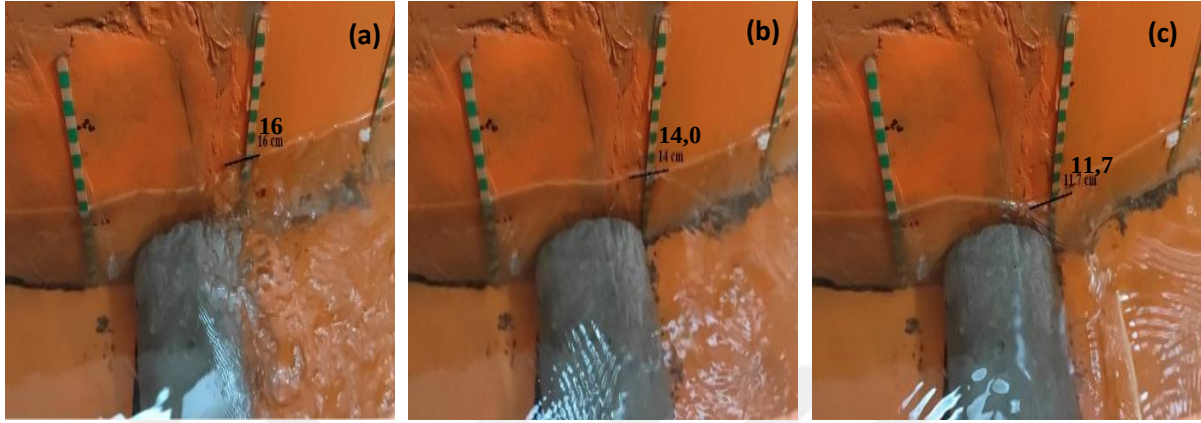


Şekil 6.27: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=0.23s$) ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$)

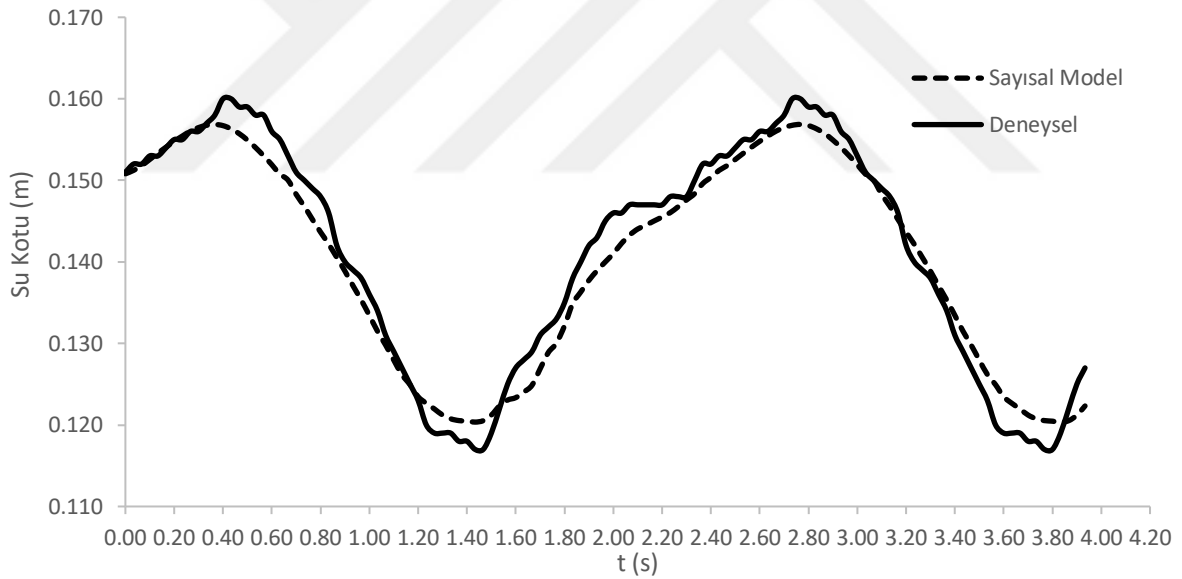
4. deney düzeneğinde kanalın kıvrımlı kısmı, eşikten önce ve sonra, panelin arka tarafı ve çıkış kapağında kayma gerilmesinin olduğu görülmektedir(Şekil 6.17).

6.5. Deney Koşulu 5

5. deneyde debi 7 L/s, hız 0.411 m/s, kanalın çıkış noktasındaki kapak yüksekliği 7 cm olarak alındı. Su yüzeyleri Şekil 6.18’ daki gibidir.

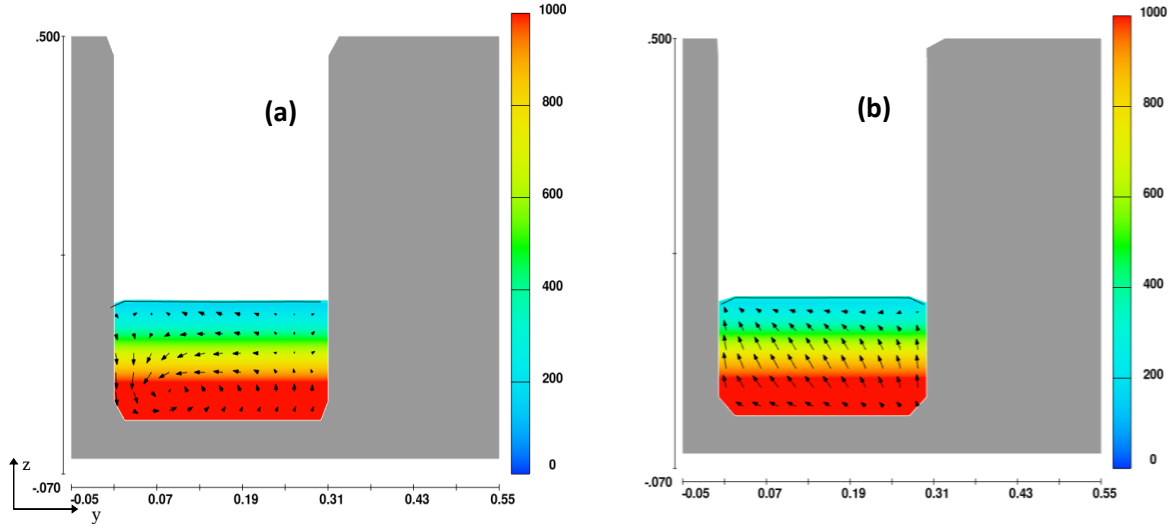


Şekil 6.28: Su yüzeyleri ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.411\text{m/s}$, $U=7\text{cm}$)(a) $t=0.4\text{s}$ (b) $t=0.9\text{s}$ (c) $t=1.43\text{s}$



Şekil 6.29: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.411\text{m/s}$, $U=7\text{cm}$)

Debinin 7L/s, panel hızının 0,411m/s ve çıkış kapağının 7 cm olduğu düzenekte su kotunun (Şekil 6.19) sayısal ve deneysel modellerde 3 mm sapmayla birlikte zamana karşı aynı davranışı göstermiştir.



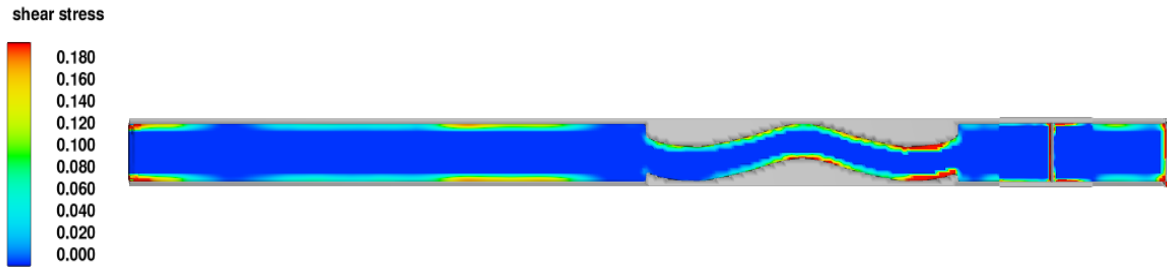
Şekil 6.30: Batık eşğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=0.4s$) ($Q=7L^3/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=7cm$)

Bu deney düzeneğinde de basınç dağılımında hız kontürleri eşikten önce sol alt taraftayken eşikten sonra sol üst köşeye eğilimlidir.

Tablo 6.5: Maksimum özgül enerjiler ($Q=7L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=7cm$)

Konum	t (s)	E_{mak} (m)
x=2.70m	0.4	0.1603
x=2.54m	0.4	0.1597
x=-2.50m	0.93	0.1503

Tablo 6.5 'te 5. deney düzeneği için maksimum özgül enerjiler verilmiştir.

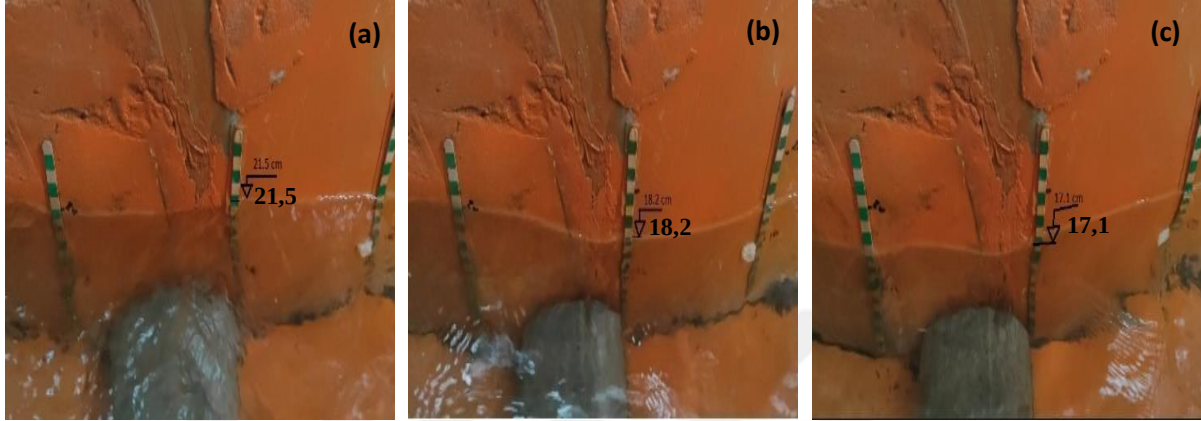


Şekil 6.31: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=0.4s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=7cm$)

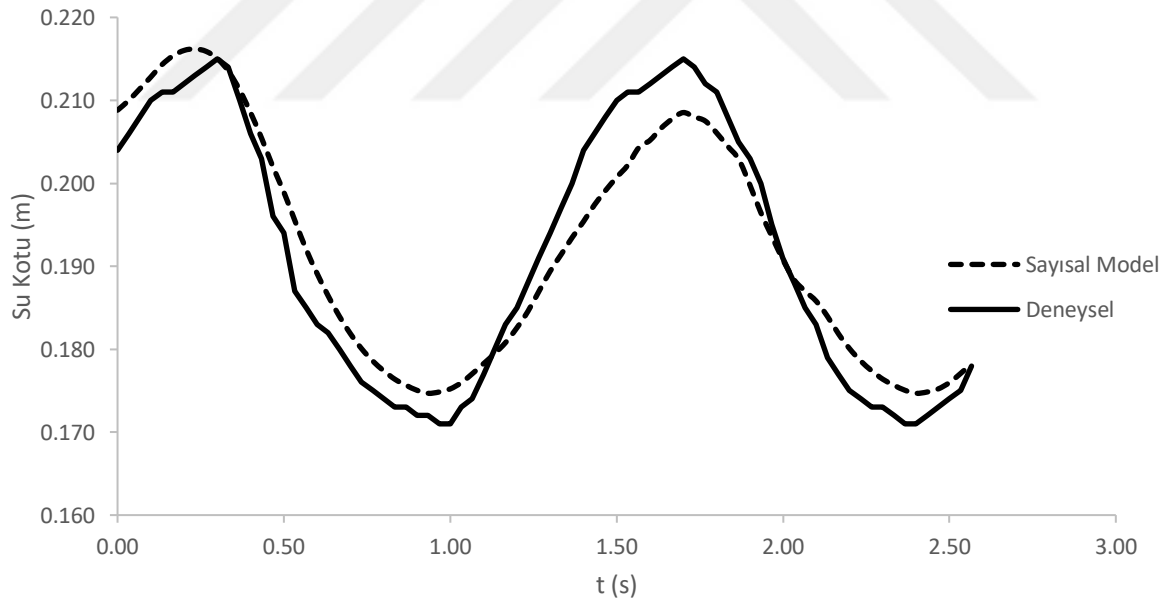
5. deney düzeneğinde genellikle eşik etrafında dalga panelinde ve çıkış kapağında kayma gerilmesi görülmektedir.

6.6. Deney Koşulu 6

6. deneyde debi 7 L/s, hız 0.411 m/s, kanalın çıkış noktasındaki kapak yüksekliği 12 cm olarak alındı. Su yüzeyleri Şekil 6.22’ deki gibidir.

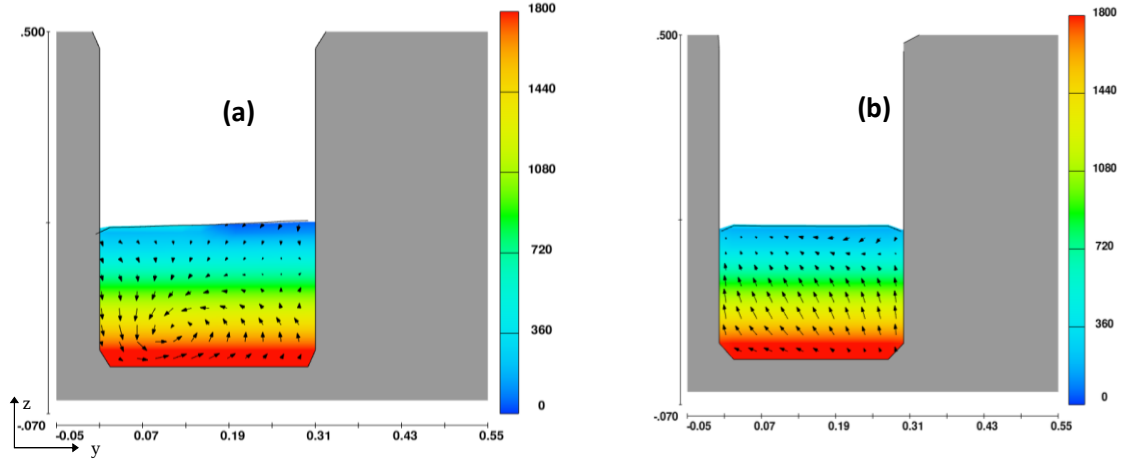


Şekil 6.32: Su yüzeyleri ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.411\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$)(a) $t=0.3\text{s}$ (b) $t=0.63\text{s}$ (c) $t=0.97\text{s}$



Şekil 6.33: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.411\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$)

6. sayısal ve deneysel modellerimizde su kotlarında (Şekil 6.23) ortalama olarak 5 mm civarında sapma vardır. Dalga davranışları genel olarak uyumludur.



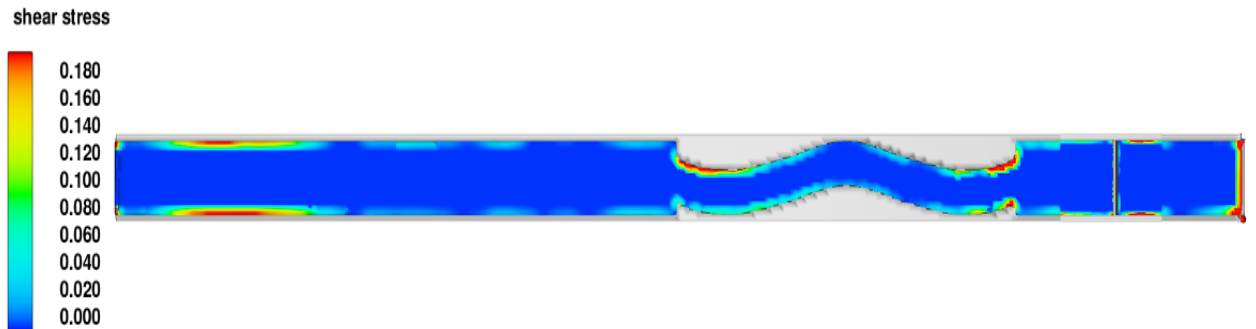
Şekil 6.34: Batık eşiğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=0.3s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=12cm$)

Hız kontürleri eşiğin önünde sol alt köşeye doğru ve eşikten sonra sol üst köşeye doğru eğilimlidir. Eşiğin önünde basınç daha fazla olduğu gözlemlenmiştir(Şekil 6.24).

Tablo 6.6: Maksimum özgül enerjiler ($Q=7L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=12cm$)

Konum	t (s)	$E_{mak}(m)$
x=2.70m	0.3	0.2159
x=2.54m	0.3	0.2087
x=-2.50m	1.17	0.2258

6. deney düzeneğinin maksimum özgül enerjileri Tablo6.6'daki gibidir.



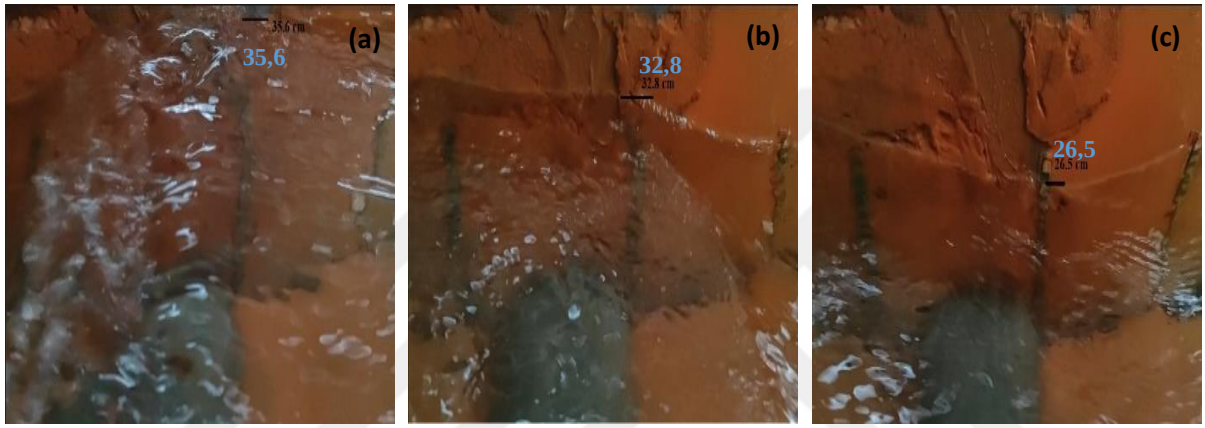
Şekil 6.35: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=0.3s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.411m/s$,

$$U=12\text{cm})$$

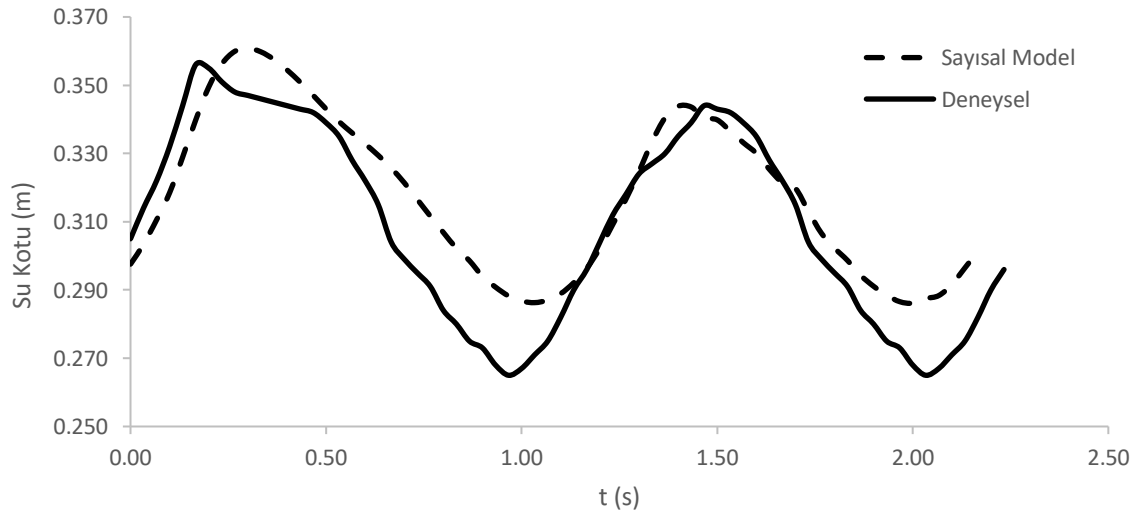
6. deney düzeneğinde kanalın başlangıç kısmında kıvrımlı kanalın başında ve sonunda ve çıkış kapağında kayma gerilmesi olduğu görülmektedir.

6.7. Deney Koşulu 7

6. deneyde debi 12 L/s, hız 0.411 m/s, kanalın çıkış noktasındaki kapak yüksekliği 12 cm olarak alındı. Su yüzeyleri Şekil 6.26' daki gibidir.

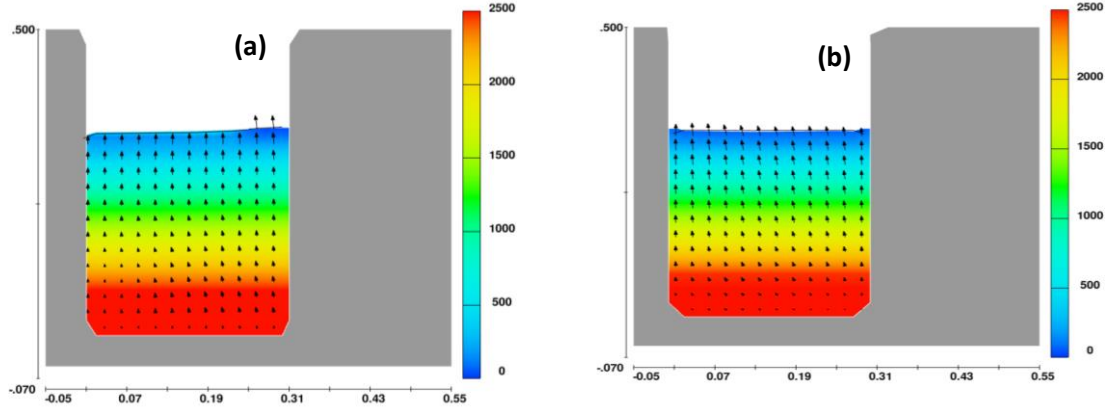


Şekil 6.36: Su yüzeyleri ($Q=12\text{L/s}$, $v_p=0.411\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$)(a) $t=0.17\text{s}$ (b) $t=0.57\text{s}$ (c) $t=0.97\text{s}$



Şekil 6.37: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=12\text{L/s}$, $v_p=0.411\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$)

Şekil 6.27’de 7. deney düzeneğinin su kotları verilmiştir. Dalga davranışı aynı olsada su düşük su kotlarında yaklaşık olarak 2cm sapma vardır.

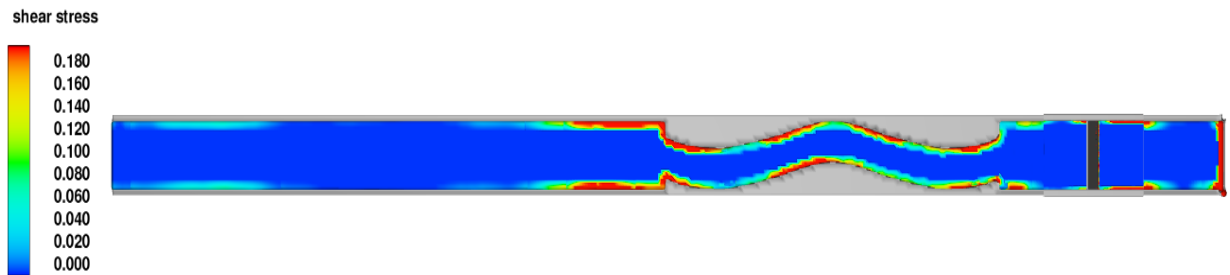


Şekil 6.38: Batık eşiğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=0.17s$) ($Q=12L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=12cm$)

Debinin 12 L/s panel hızının 0,411 m/s ve çıkış kapağı yüksekliğinin 12 cm olduğu düzenekte basınç dağılımındaki hız kontürleri (Şekil6.28) hem eşiğin önünde hem de eşiğin arkasında sol yukarıya doğru eğilimlidirler. Tablo 6.7’de 7. deney düzeneğinin maksimum özgül enerjisi verilmiştir.

Tablo 6.7: Maksimum özgül enerjiler ($Q=12L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=12cm$)

Konum	t (s)	E_{mak} (m)
x=2.70m	0.17	0.3401
x=2.54m	0.17	0.3215
x=-2.50m	1.40	0.3260

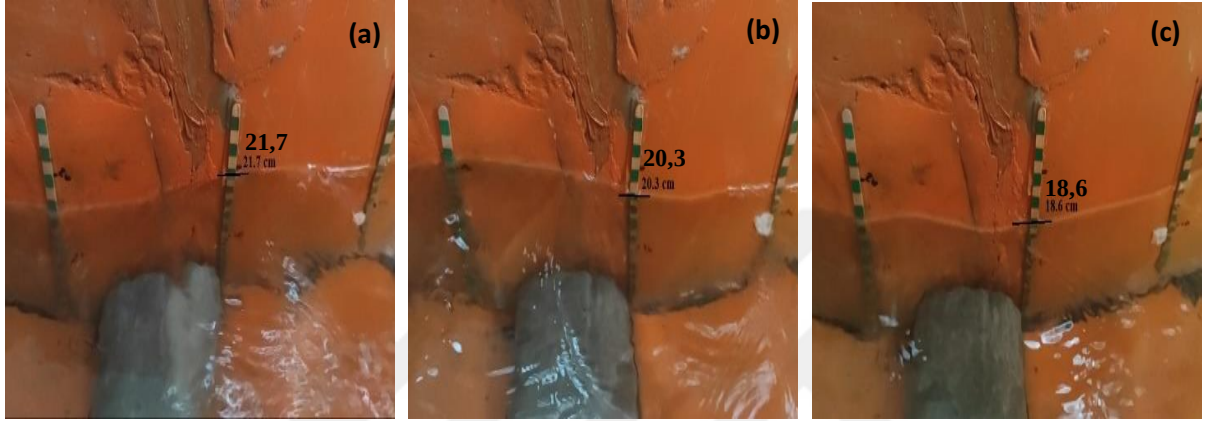


Şekil 6.39: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=0.17s$) ($Q=12L/s$, $v_p=0.411m/s$, $U=12cm$)

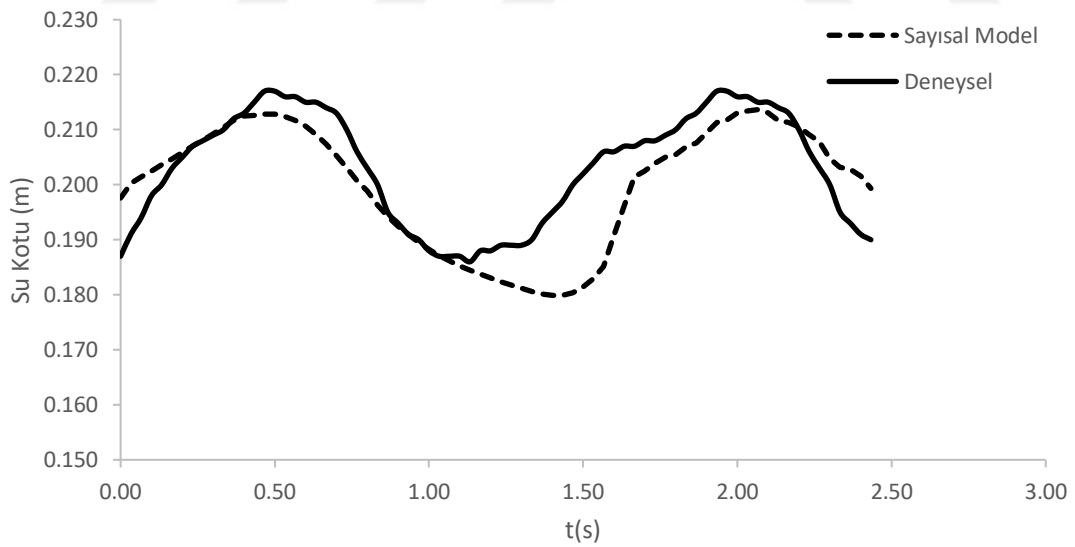
Kıvrımlı kanala girmeden ve kıvrımlı kanalın hemen hemen tamamında, çıkış kapağında kayma gerilmesi görünür (Şekil6.29).

6.8. Deney Koşulu 8

8. deneyde debi 7 L/s, hız 0.611 m/s, kanalın çıkış noktasındaki kapak yüksekliği 12 cm olarak alındı. Su yüzeyleri Şekil 6.30'daki gibidir.

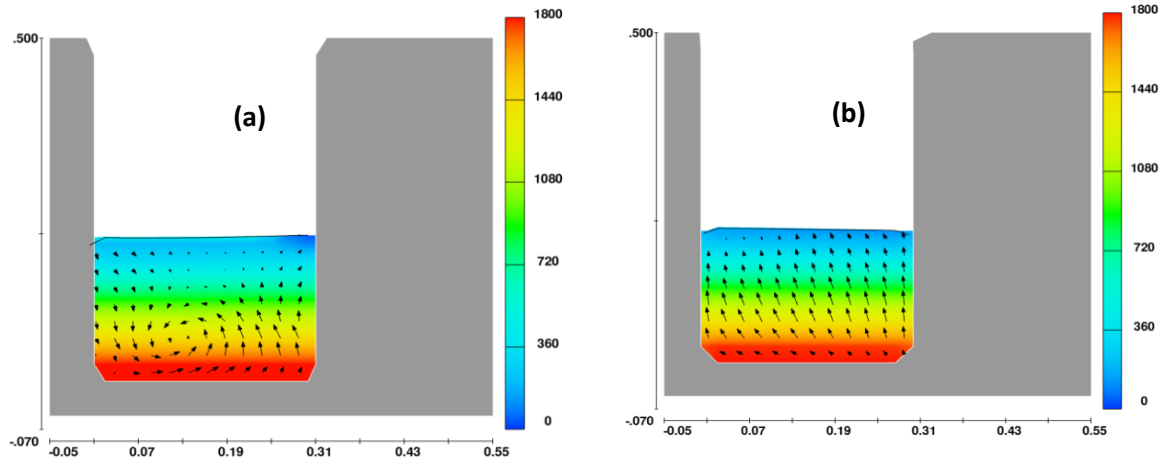


Şekil 6.40: Su yüzeyleri ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.611\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$)(a) $t=0.5\text{s}$ (b) $t=0.8\text{s}$ (c) $t=1.13\text{s}$



Şekil 6.41: Batık eşik mansabında ($y=0.261$) su yükseklikleri ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.611\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$)

Panel hızının 0,611 m/s debinin 7 ve çıkış kapak yüksekliğinin 12 olduğu durumda davranışsal olarak 0,3sn civarında, su kotu olarakta yaklaşık 8mm sapma olduğu gözlemlenmektedir.

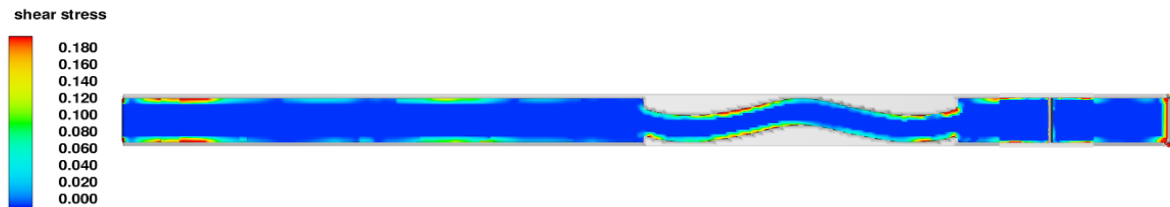


Şekil 6.42: Batık eşiğin (a) ön ve (b) arkasında basınç (Pa) dağılımı ($t=0.5s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.611m/s$, $U=12cm$)

Son deney düzeneğimizde basınç dağılımı üzerindeki hız kontürleri eşikten önce sol alt köşe yakın bir noktada sola doğru dönme hareketi yapıyor. Eşikten sonra işe sol üst köşeye doğru bir eğilim olduğu görünüyor(Şekil 6.32).

Tablo 6.8: Maksimum özgül enerjiler ($Q=7L/s$, $tv_p=0.611m/s$, $U=12cm$)

Konum	t (s)	E_{mak} (m)
x=2.70m	0.5	0.2142
x=2.54m	0.5	0.2063
x=-2.50m	0.47	0.2187



Şekil 6.43: Kanal içerisinde kayma gerilmesi dağılımı ($t=0.5s$) ($Q=7L/s$, $v_p=0.611m/s$, $U=12cm$)

Son deney düzeğinde de kayma gerilmesi genellikle kıvrımlı kanal ve çıkış kapağının üzerinde görülmektedir.

Tablo 6.9: Deney sistemlerinde dalga yüksekliği (H) ve periyot değerleri (T)

Q (L/s)	v_p (m/s)	U (cm)	H (cm)	T(s)
7,00	0,235	7,00	1,70	2,35
7,00	0,235	12,00	2,50	1,81
12,00	0,235	7,00	3,60	1,78
12,00	0,235	12,00	3,00	1,39
7,00	0,411	7,00	4,20	2,31
7,00	0,411	12,00	4,40	1,39
12,00	0,411	12,00	9,10	1,29
7,00	0,611	12,00	3,10	1,45

Tablo 6.9 da sabit hızda farklı debilerde ve aynı ve farklı kapak yüksekliklerinde oluşan enerji kayıpları verilmiştir. Bu verilere göre kanal tahliye kapağının yüksekliği arttıkça enerji kaybının da arttığını görebiliyoruz.

Tablo 6.10: Eşiğin ön ve arkasında hidrolik enerji değişimi

Q (L/s)	v_p (m/s)	U (cm)	Konum (m)	t(s)	E_{max} (m)	ΔE (%)
7	0,235	7	2,7	2	0,1647	
7	0,235	7	2,54	2	0,1646	-0,06
7	0,235	7	-2,5	2,37	0,1650	
12	0,235	7	2,7	0,6	0,2844	
12	0,235	7	2,54	0,6	0,2920	2,60
12	0,235	7	-2,5	0,133	0,2744	
7	0,235	12	2,7	0,6	0,2084	
7	0,235	12	2,54	0,6	0,1993	-4,57
7	0,235	12	-2,5	1,93	0,2086	
12	0,235	12	2,7	0,23	0,3003	
12	0,235	12	2,5	0,23	0,2870	-4,63
12	0,235	12	-2,54	0,8	0,2603	

Tablo 6.10 da sabit debi ve sabit kapak yüksekliğinde hız artışının da enerji kaybında etkili olduğunu görüyoruz.

Tablo 6.11: Eşiğin ön ve arkasında hidrolik enerji değişimi

Q (L/s)	v_p (m/s)	U (cm)	Konum (m)	t (s)	E_{max} (m)	ΔE (%)
7	0,411	12	2,7	0,3	0,2159	
7	0,411	12	2,5	0,3	0,2087	-3,45
7	0,411	12	-2,54	1,17	0,2258	
7	0,611	12	2,7	0,5	0,2142	
7	0,611	12	2,5	0,5	0,2063	-3,83
7	0,611	12	-2,54	0,47	0,2187	

6.9. Deney Sistemlerinde Farklı Hızlara Göre Sürüklenme Kuvveti

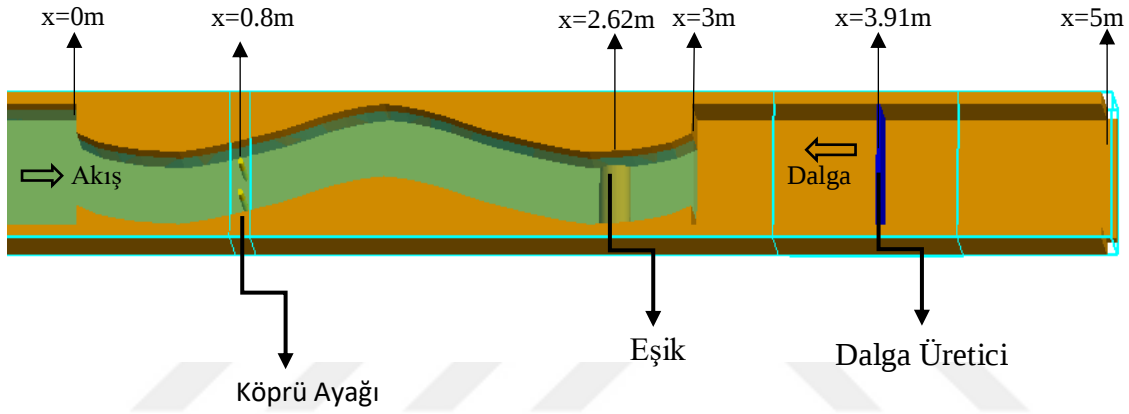
Tablo 6.12: Deney sistemlerinde sürüklenme kuvveti

Konum(m)	Q (m/s)	v_p (m/s)	U (cm)	Eşik Çapı (D) (m)	μ (kg/m ² s)	ρ (kg/m ³)	Re	C_d	A (m ²)	F_d (N)
2,7	7	0,467	7	0,15	0,00089	1000	78707,865	1,2	0,066	8,633
2,54	7	0,320	7	0,15	0,00089	1000	53932,584	1,2	0,066	4,053
2,7	7	0,310	12	0,15	0,00089	1000	52247,191	1,2	0,066	3,804
2,54	7	0,307	12	0,15	0,00089	1000	51741,573	1,2	0,066	3,731
2,7	12	0,251	7	0,15	0,00089	1000	42303,371	1,2	0,066	2,494
2,54	12	0,216	7	0,15	0,00089	1000	36404,494	1,2	0,066	1,847
2,7	12	0,282	12	0,15	0,00089	1000	47528,090	1,2	0,066	3,148
2,54	12	0,258	12	0,15	0,00089	1000	43483,146	1,2	0,066	2,635
2,7	7	0,564	7	0,15	0,00089	1000	95056,180	1,2	0,066	12,592
2,54	7	0,277	7	0,15	0,00089	1000	46685,393	1,2	0,066	3,037
2,7	7	0,302	12	0,15	0,00089	1000	50898,876	1,2	0,066	3,610
2,54	7	0,271	12	0,15	0,00089	1000	45674,157	1,2	0,066	2,907
2,7	12	0,252	7	0,15	0,00089	1000	42471,910	1,2	0,066	2,514
2,54	12	0,292	7	0,15	0,00089	1000	49213,483	1,2	0,066	3,375
2,7	7	0,362	12	0,15	0,00089	1000	61011,236	1,2	0,066	5,187
2,54	7	0,640	12	0,15	0,00089	1000	107865,169	1,2	0,066	16,214

Deney sisteminde 2.54 m noktası akım yönünde eşiğin başladığı nokta, 2.7 m ise dalga yapıcı panelin yaptığı dalganın yönündeki eşiğin başladığı noktadır (Tablo 6.12). Tablo 6.12’de C_d değeri Şekil 3.4’teki grafikten yaklaşık olarak alınmıştır.

6.10. Köprü Konumu Seçimi

Kayma gerilmesi dağılımları incelendiğinde eşik dolayısıyla kıvrımın memba kısmında kalan ilk bölümünde ($x \approx 0.8$ m) dalga etkisinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca kayma gerilmesinin akış yönüne göre sol şevde sağ şevde daha az olduğu belirlenmiştir. Hız, basınç, enerji ve kayma gerilmeleri bakımından köprü ayaklarının $x=0.8$ m, en optimum konum olduğu sonucuna varılmaktadır. Ayrıca bu konuma dalga dolayısıyla oluşan türbülansın etkisinin olmadığı görülmüştür. Köprü ayakları 2.6 cm çapında dairesel borudan oluşturulmuştur. Köprü ayakları arasında mesafe 10.1 cm ve köprü ayağı ile kanal duvarı arasında mesafe 7.35 cm'dir.



Şekil 6.44: Köprü ayağı yerleşimi



Şekil 6.45: Köprü ayağının görünümü

Türbülans oldukça karmaşık yapıya sahiptir. Türbülans hızları x , y ve z yönleri için u' , v' ve w' sembolleriyle gösterilir. u anlık hız bileşeni için çalkantı hızı Eşitlik 11 ile bulunur.

$$u' = u - \bar{u} \quad (11)$$

Burada u' , u ve $\bar{u}$ sırasıyla çalkantı hızı, o an ki hız ve zamansal ortalama hızdır. y ve z yönlerinde de aynı şekilde çalkantı hızları yazılabilir. Ortalama zaman aralığında ortalama kare farkı varyans olarak adlandırılır ve Eşitlik 12 ile ifade edilir.

$$s^2 = \overline{u'^2} \quad (12)$$

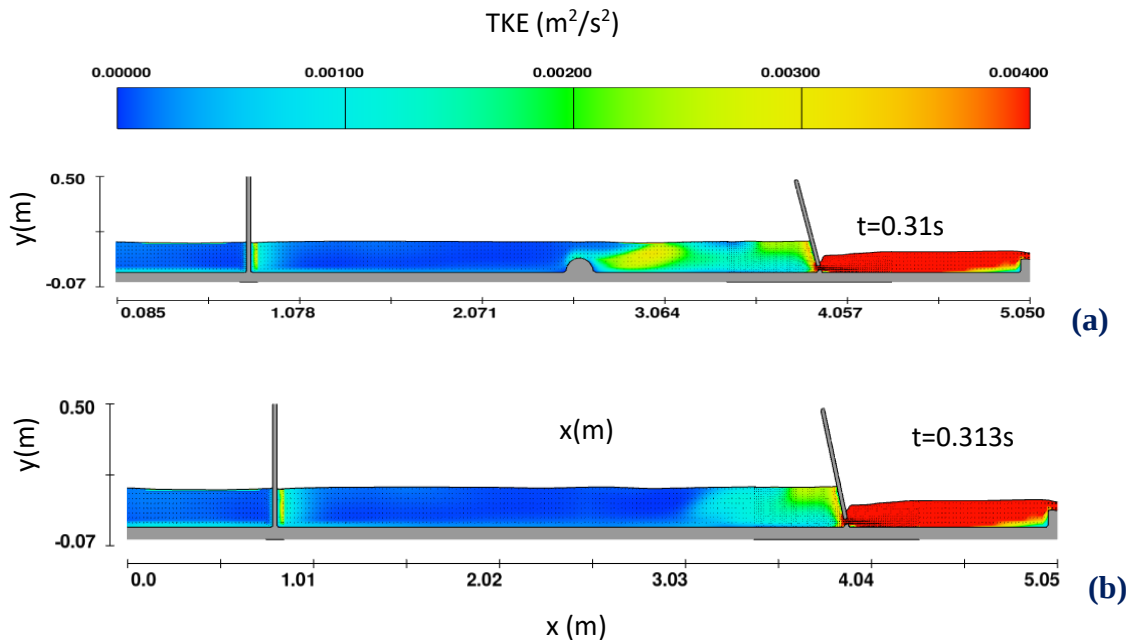
Varyansın kareköküne türbülans şiddeti denir. x yönünde türbülans şiddeti Eşitlik 13 ile hesaplanır.

$$TI_x = \sqrt{\overline{u'^2}} \quad (13)$$

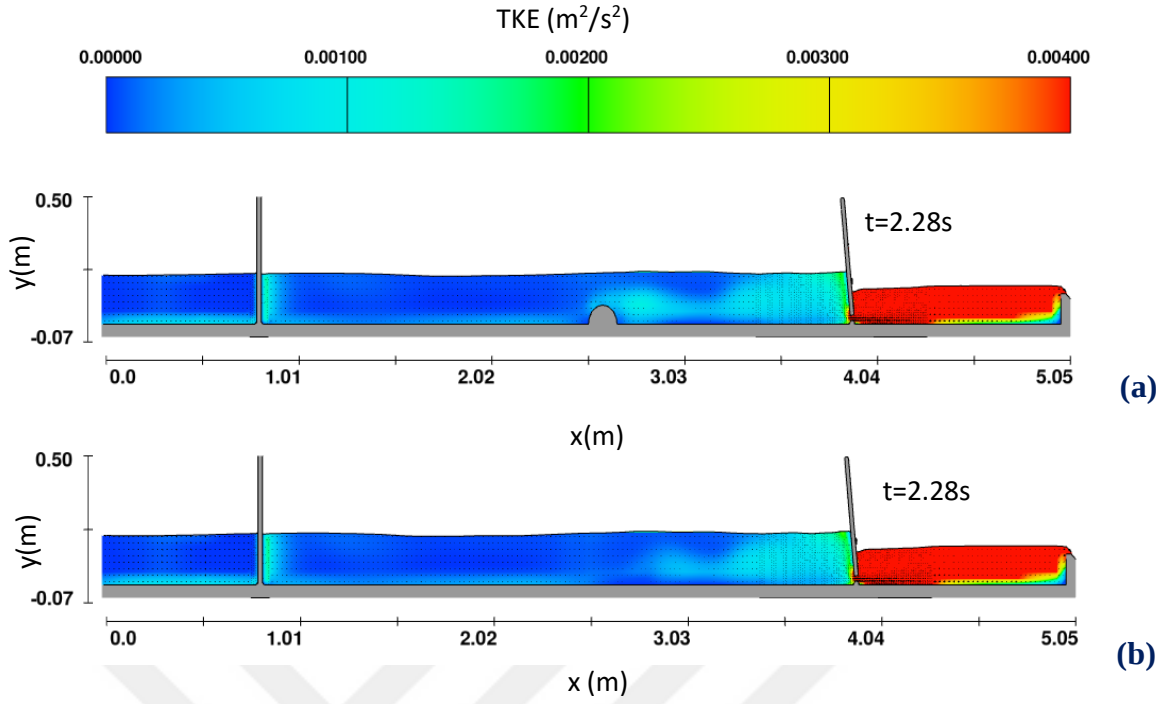
Birim kütle başına türbülans kinetik enerjisi (TKE) Eşitlik 14 kullanılarak bulunur.

$$TKE = \frac{1}{2} \left[\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2} \right] \quad (14)$$

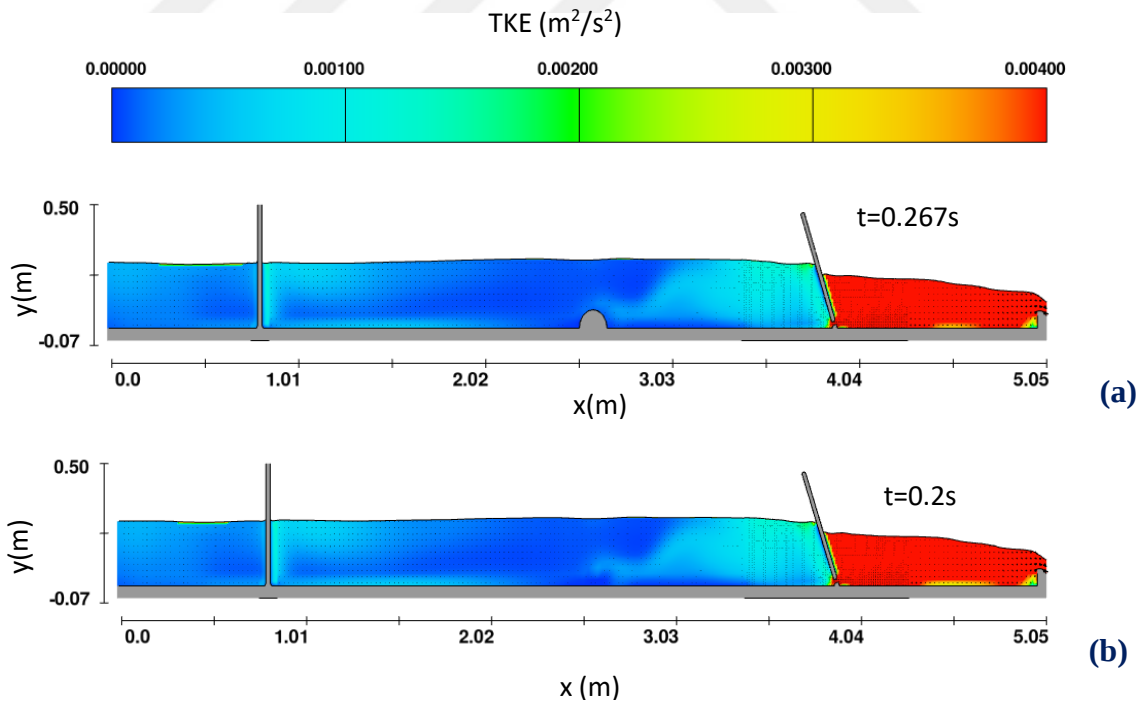
Farklı su seviyeleri, debi ve dalga hızı koşullarında köprü ayaklarının etrafında oluşan maksimum türbülans kinetik enerji dağılımları aşağıda verilmiştir.



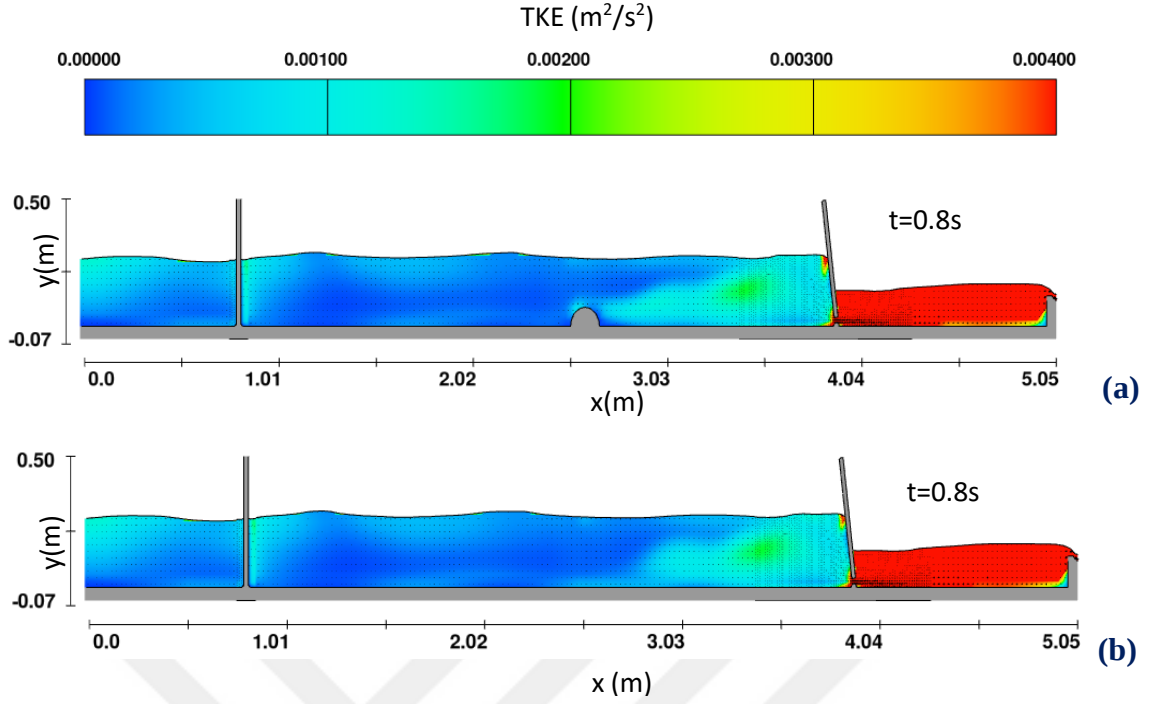
Şekil 6.46: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$) (a) eşikli b) eşiksiz



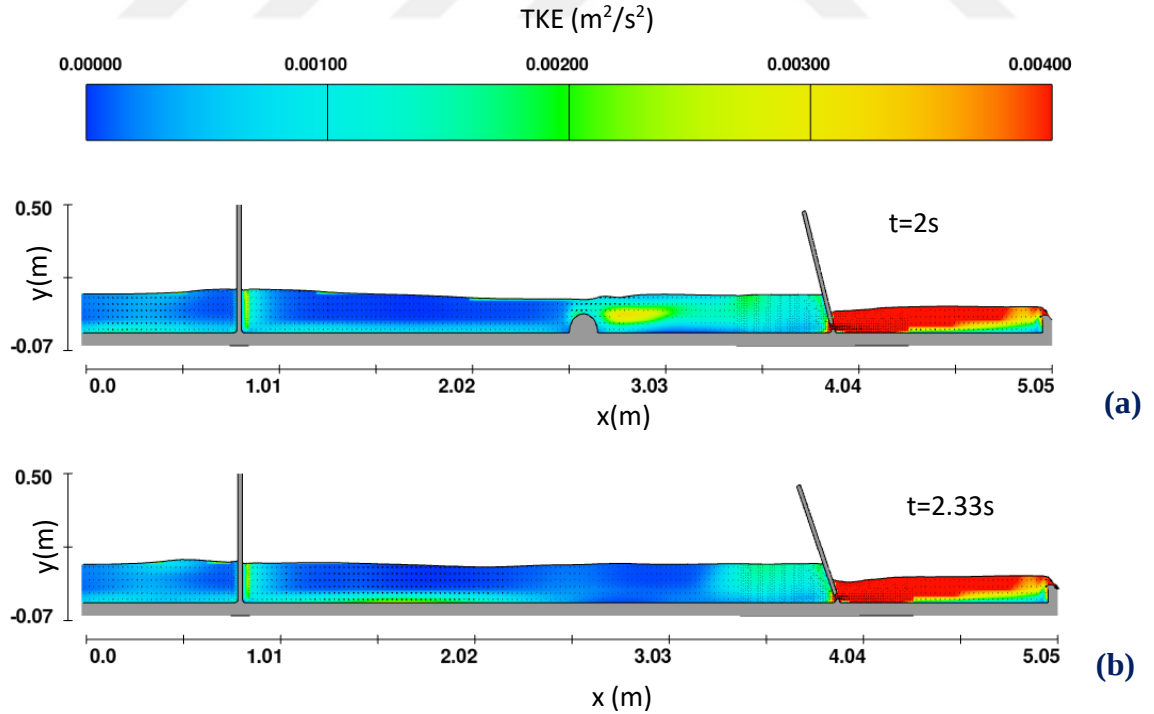
Şekil 6.47: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=7L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=12cm$) (a) eşikli b) eşiksiz



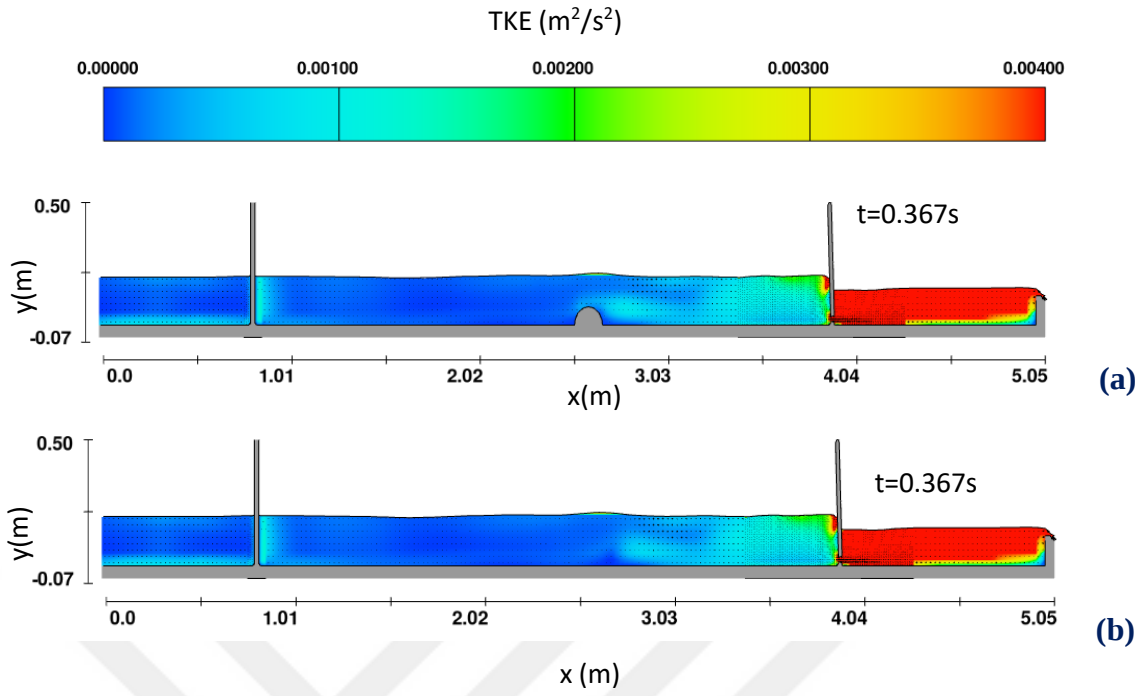
Şekil 6.48: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=12L/s$, $v_p=0.235m/s$, $U=7cm$) (a) eşikli b) eşiksiz



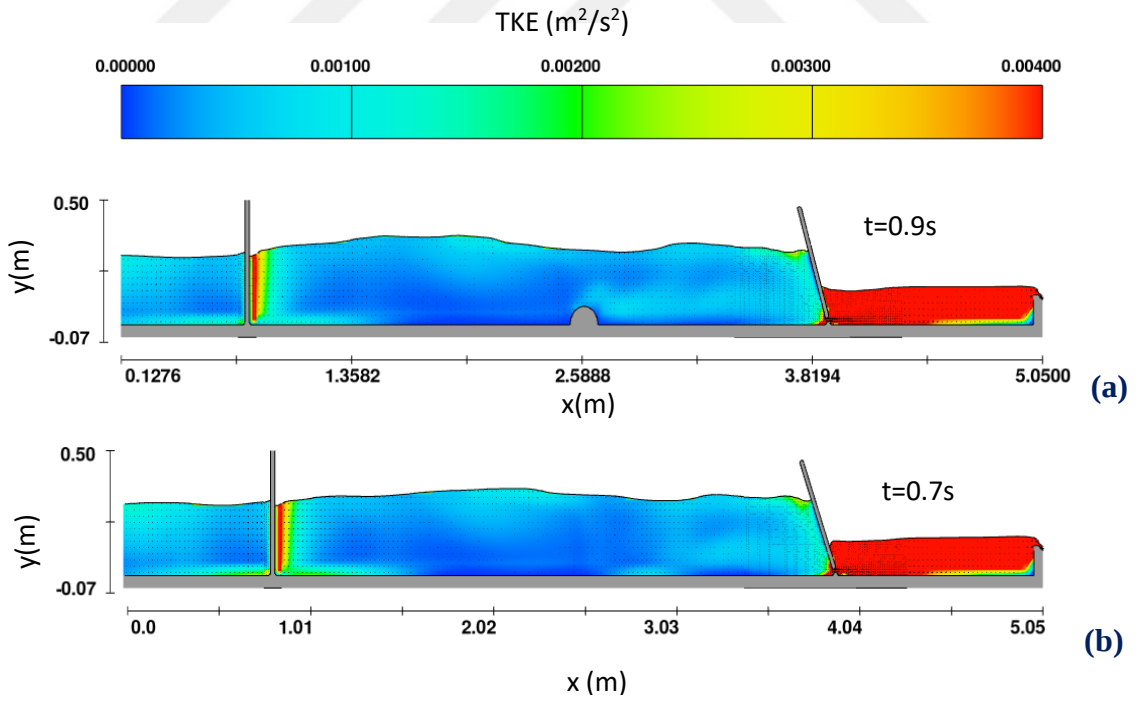
Şekil 6.49: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=12\text{L/s}$, $v_p=0.235\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$) (a) eşikli b) eşiksiz



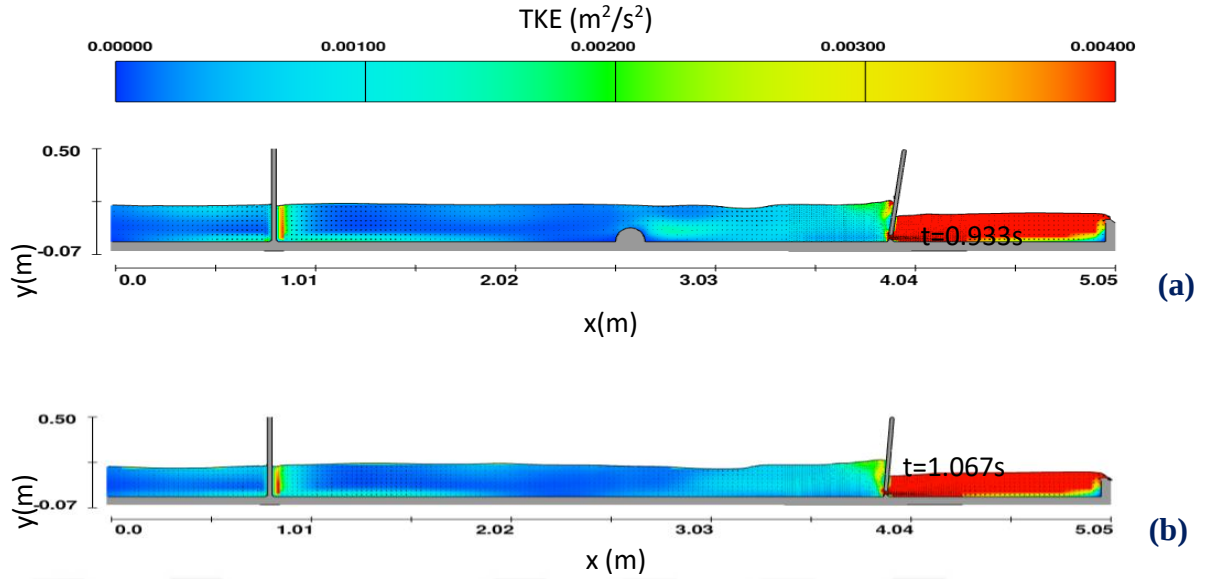
Şekil 6.50: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.411\text{m/s}$, $U=7\text{cm}$) (a) eşikli b) eşiksiz



Şekil 6.51: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=7\text{L/s}$, $v_p=0.411\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$) (a) eşikli b) eşiksiz



Şekil 6.52: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=12\text{L/s}$, $v_p=0.411\text{m/s}$, $U=12\text{cm}$) (a) eşikli b) eşiksiz



Şekil 6.53: Köprü ayağı etrafında maksimum türbülans enerjisi dağılımı ($Q=7L/s$, $v_p=0.611m/s$, $U=12cm$) (a) eşikli b) eşiksiz

Türbülans enerjisi (TKE) dağılım grafiklerine göre tabanda eşik bulunan durumlarda eşik ile köprü ayağı arasında kalan tabana yakın bölümde su ve dalga hızının azalması nedeniyle maksimum türbülans enerjisinin azaldığı görülmüştür. Dalga panel hızının artmasına paralel olarak dalga şiddetinin artması ve genişliğin azalmasıyla eşik olmayan durumda köprü ayağının önünde ve ayak tabanından ($x=0.8m$) kıvrımlı kanalın ortalarını geçecek kadar ($x=1.6 \approx 1.9m$) türbülans etkisinin olduğu Şekil 6.43' görülmektedir. Aşağıda tablo olarak köprü ayağının yerleştiği $x=0.8m$ konumunun hemen önünde $x=0.85m$ ve türbülans etkisinin daha fazla olduğu akış yönüne göre sol şeve yakın köprü ayağının olduğu $y=0.262m$ konumu için değişen koşullar altında maksimum türbülans kinetik enerjileri (TKE) ve türbülans şiddetleri (TI) tabloda verilmiştir.

Tablo 6.13: Köprü ayağının önünde maksimum türbülans kinetik enerjiler ve türbülans şiddetleri ($x=0.85m$ ve $y=0.262m$)

Q (L/s)	H (cm)	V_p (m/s)	TKE (m^2/s^2)		TI (m/s)	
			Eşikli	Eşiksiz	Eşikli	Eşiksiz
7	7	0.235	0.00142	0.00151	30.12	30.84
7	12	0.235	0.00106	0.00113	31.63	32.60
12	7	0.235	0.00094	0.00093	22.31	22.66
12	12	0.235	0.00122	0.00124	30.78	31.16
7	7	0.411	0.00159	0.00190	29.23	30.83
7	12	0.411	0.00086	0.00086	25.31	25.34
12	12	0.411	0.00597	0.00554	62.34	58.37
7	12	0.611	0.00261	0.00324	38.41	44.01

7. SONUÇLAR

Dalga etkisiyle akarsu ağız bölgesinde bulunan yapılara etkiyen basınç kuvvetlerinin etkidiği, kıvrımlı kanalın şevlerinde yüksek kayma gerilmeleri olduğu dalga girişiminin kanal içerisinde önemli mesafe alarak ilerlediği görülmüştür. Özellikle dalga periyodunun kısa, genliğin fazla olduğu durumlarda kanal tabanına akarsu şev ve taban koruyucu olarak eşiklerin kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca akarsu ağız bölgesinde yer alan köprü ayakları gibi yapıların mansabına yapılan eşiklerle dalga enerjisinin hızla azaltılabileceği görülmektedir.

Kanal şev ve tabanının zarar görebilirliğinin belirlenmesinde kullanılan kayma gerilmeleri grafikleri çizilerek eşik yapısının kayma gerilmelerinin azaltılmasında da etkili olmaktadır. Özellikle dalga enerjisinin kıvrımın memba tarafında kalan bölümüne ulaşana kadar enerjisinin azaltıldığı söylenebilir. Enerjide azalmayla beraber bu bölgede kayma gerilmelerinin de azaldığı gözlenmektedir. Akışın kıvrımlı kanala girdiği ilk bölümde türbülanslar ve akış hızının yüksek olması dolayısıyla kıvrımlı kanalı karşıdan karşıya geçecek bir köprü yapısının en optimum bölge olan kıvrımlı kanalın ilk çeyreği sonuna kurulabileceği belirlenmiştir.

Kıvrımlı kanalın iç kıyısında kayma gerilmesinin kıvrımlı kanalın ağızına yapılan eşiklerle önemli düzeyde azaltılabildiği görülmektedir. Basınç dağılımı grafikleri üzerinde hız vektörleri, su yüksekliklerinin düşük panel hızı dolayısıyla dalga hızının yüksek olduğu durumlarda eşik önünde sol bölümde çevrintilerin olduğu görülmektedir.

Hesaplamalı akışkanlar mekaniği yazılımıyla deneysel ölçümlerin uyumu, kıvrımlı kanal ağızlarında akış – dalga etkileşimi problemlerinde sonlu elemanlar HAD çözümlerinin tasarım öncesi zaman ve ekonomi açısından faydalı olacağı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Anbarsooz, M., Passandideh-Frad, M. & Moghiman, M.,(2012), Fully nonlinear viscous wave generation in numerical wave tanks. *Ocean Engineering*, 59(2013), 73-85.
- Baudry, V., Marrone, S., Babarit, A., Tauze, D.L. & Clement, A.H.,(2015) Power Matrix Assessment and Extreme Loads estimation on a flap type wave energy converter in front of a dike. In *European Wave and Tidal Energy Conference (EWTEC)* at Nantes, France.
- Bihs, H., Kamath, A., Chella, M. A., Aggarwal, A., & Arntsen, Ø. A. (2016). A new level set numerical wave tank with improved density interpolation for complex wave hydrodynamics. *Computers & Fluids*, 140, 191-208.
- Brebbia, C. A., & Walker, S. (1979). Dynamic Analysis of Offshore Structures . London. *British: Butterworth & Co.(Publishers) Ltd.*
- Carevic, D., Loncar, G., Prsic, M., 2013. Wave parameters after smooth submerged breakwater. *Coastal Engineering*. 79, 32-41.
- Choi, J.H. ve Lee, S., J., (2000). Ground Effect of FLOW Around on Elliptic Cyliner in a Turbulent Boundary Layer, *Journal of Fluids and Structures*, 14:697-709.
- Deo M C (2013), <http://www.civil.iitb.ac.in/~mcdeo/waves.html>, Waves and Structures
- Dong, G., Ma, X., Perlin, M., Ma, Y., Yu, B., & Wang, G. (2009). Experimental study of long wave generation on sloping bottoms. *Coastal Engineering*, 56(1), 82-89.
- Dutton, J. A. (2002). The ceaseless wind: An introduction to the theory of atmospheric motion. Courier Corporation.
- Elangovan, M. & Lal, A., (2008), CFD simulation and validation of flap type wave-maker, Indian Register of Shipping, Mumbai, India
- Finnegan, W., & Goggins, J. (2012), Numerical simulation of linear water waves and wave–structure interaction. *Ocean Engineering*, 43, 23-31.
- FLOE-3D,(2008) user manuel (Version 9.3). Flow Science Inc.
- Gemici, E., Kocaman, N., Vural, T., Züngör, M., (2022) Experimental and Numerical Analysis of Energy Dissipation with Sluice Gate and Weirs in Trapezoidal Channel. *Osmaniye Korkut Ata University Journal of the Institute of Science and Technology*, 5:156-169.
- Gode, A., Sahu, A. K., Chhabra, R. P. (2011), Two-dimensional steady flow over a semi-circular cylinder: drag coefficient and Nusselt number, *In Int J Adv Eng Sci Appl Math (March–December)* 3(1–4):44–59

- Hasegawa, H., Fujimoto, M., Phan, T. D., Reme, H., Balogh, A., Dunlop, M. W., ... & TanDokoro, R. (2004). Transport of solar wind into Earth's magnetosphere through rolled-up Kelvin–Helmholtz vortices. *In Nature*, 430(7001), 755-758.
- Hatipoğlu, F. ve Avcı, İ., 2003. Flow Around a Partly Buried Cylinder in a Steady Current, *In Ocean Engineering*, 30:239-249.
- Hayakawa, N., Hosoyamada, T., Yoshida, S., & Tsujimoto, G. (1999). Numerical simulation of wave fields around the submerged breakwater with SOLA-SURF method. *In Coastal Engineering 1998* (pp. 843-852).
- Higuera, P., Lara, J. L., & Losada, I. J. (2013). Realistic wave generation and active wave absorption for Navier–Stokes models: Application to OpenFOAM®. *In Coastal Engineering*, 71, 102-118.
- Ippen A.T. , (1966), Estuary and Coastline Hydrodynamics. *McGraw-Hill Inc. New York*. pp 744
- Jacobsen, N. G., Fuhrman, D. R., & Fredsøe, J. (2012). A wave generation toolbox for the open-source CFD library: OpenFoam®. *In International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 70(9), 1073-1088.
- Jeffery, P. G. (1973). Large-scale experiments on the spreading of oil at sea and its disappearance by natural factors. *In International Oil Spill Conference* (Vol. 1973, No. 1, pp. 469-474). American Petroleum Institute.
- Kaya, E. ve Şentürk, U. (2018) Kısmen Batık Bir Bariyerin Su Dalgaları ile Etkileşiminin Açık Kaynaklı Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ile İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 133-146.
- Kharif, C., Giovanangeli, J. P., Touboul, J., Grare, L., & Pelinovsky, E. (2008). Influence of wind on extreme wave events: experimental and numerical approaches. *In Journal of Fluid Mechanics*, 594, 209-247.
- Kusumawinahyu, W.M., Karjanto N. & Klopman, G., (2006), Lineer theory for single and double flap wavemaker. *In Journal of the Indonesian Mathematical Society*. 12(1) 41-57
- Lei, C., Cheng, L. ve Kavanagh, K., 1999. Re-Examination of The Effect of a Plane Boundary on Force and Vortex Shedding of a Circular Cylinder, *In Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 80:263-286.
- Liang, B., Wu, G., Liu, F., Fan, H., & Li, H. (2015). Numerical study of wave transmission over double submerged breakwaters using non-hydrostatic wave model. *In Oceanologia*, 57(4), 308-317.
- Nallayarasu, S., Fatt, C. H., & Shankar, N. J. (1995). Estimation of incident and reflected waves in regular wave experiments. *In Ocean Engineering*, 22(1), 77-86.

- Prayogo, R.D. & Wiryanto, L.H., (2013), Numerical simulation of linear water waves using Smoothed Particle Hydrodynamics, *In Proceeding South East Asian Conference on Mathematics and its Application*, Indonesia ISBN 978-979-96152-8-2.
- Price, S.J., Sumner, D., Smith, J.G., Leong, K. ve Paidoussis, M.P., 2002. Flow Visualization Around a Circular Cylinder Near to a Plane Wall, *In Journal of Fluids and Structures*, 16:175-191.
- Ramezanzadeh, S., Özbülüt M. & Yıldız, M., (2019), Simulation of Irregular Wave Motion Using a Flap-Type Wavemaker, *In VIII International Conference on Computational Methods in Marine Engineering*, pp 783-794
- Schäffer, H. A. (1996). Second-order wavemaker theory for irregular waves. *In Ocean Engineering*, 23(1), 47-88.
- Schmitt, Pal. (2013). Investigation of the near flow field of bottom hinged flap type wave energy converters, *PhD Thesis*, Queens University, School of Planning, Architecture and Civil Engineering, pp 185.
- Spinneken, J., & Swan, C. (2009). Second-order wave maker theory using force-feedback control. Part I: A new theory for regular wave generation. *In Ocean Engineering*, 36(8), 539-548.
- Straatman, A.G. ve Martinuzzi, R.J., 2004. An Examination of The Effect Boundary Layer Thickness on Vortex Shedding from Square Cylinder Near a Wall, *In Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91:1023-1037.
- Streeter, V.L. and Wylie, E.B. (1986). "Fluid Mechanics", *Prentice Hall*.
- Sumer, B. M., & Fredsøe, J. (1996). *Scour around pipelines in combined waves and current* (No. CONF-9606279-). American Society of Mechanical Engineers, New York, NY (United States).
- Ursell, F., Dean, R. G., & Yu, Y. S. (1960). Forced small-amplitude water waves: a comparison of theory and experiment. *In Journal of Fluid Mechanics*, 7(1), 33-52.
- Üç, S. (1979). Akarsu Kıvrımlarındaki Köprü Ayakları Etrafında Oluşan Yerel Oyulmalar. *Doçentlik Tezi, İ. DMMA, İstanbul*.
- Wang, Q., & Li, M. (2018, July). Wave generation by flap-type wavemaker in circle arc numerical wave tanks. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 170, No. 2, p. 022021). IOP Publishing.
- Weller, H. G. (2008). A new approach to VOF-based interface capturing methods for incompressible and compressible flow. *In OpenCFD Ltd., Report TR/HGW*, 4, 35.
- Wu, N. J., Tsay, T. K., & Chen, Y. Y. (2014). Generation of stable solitary waves by a piston-type wave maker. *In Wave Motion*, 51(2), 240-255.

- Zhao, X. Z., Hu, C. H., & Sun, Z. C. (2010). Numerical simulation of extreme wave generation using VOF method. *In Journal of hydrodynamics, ser. B*, 22(4), 466-477.
- Zou, Q., & Chen, H. (2017). Wind and current effects on extreme wave formation and breaking. *In Journal of Physical Oceanography*, 47(7), 1817-1841.



