

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KESİT DARALMASININ SOLİTER DALGALARA
OLAN ETKİSİNİN VE SINIR TABAKASININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Taylan BAĞCI

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı

ARALIK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KESİT DARALMASININ SOLİTER DALGALARA
OLAN ETKİSİNİN VE SINIR TABAKASININ
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Taylan BAĞCI
(517072003)**

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI

ARALIK 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 517072003 numaralı Doktora Öğrencisi Taylan BAĞCI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KESİT DARALMASININ SOLİTER DALGALARA OLAN ETKİSİNİN VE SINIR TABAKASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. M. Emin SAVCI**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hakan AKYILDIZ

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet DOĞAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet ÖZGER

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **06 Ekim 2015**

Savunma Tarihi : **04 Aralık 2015**

Eşime,

ÖNSÖZ

Elinizde tutmuş olduğunuz bu tez zorlu, uzun ve meşakkatli geçen bir sürecin ardından bir son ürün olarak ortaya çıkmıştır. Bu süreci sağlıklı bir şekilde sonlandırmak çeşitli destekler ile mümkün olmuştur. Bu desteklerin başında ise tabii ki ailemin ve eşimin karşılıksız ve sınırsız desteği gelmektedir. Bu desteklere paha biçilemez ve hakkı ödenemez. Aynı şekilde hakkı ödenemeyecek biçimde hem akademik hem de insani boyutta sınırsız desteklerini benden esirgemeyen, bu yolda beraberce yürüdüğümüz tez danışmanım Sayın Prof. Dr. M. Sedat Kabdaşlı'ya sonsuz teşekkürlerimi iletmem gerekmektedir. Ayrıca tez boyunca değerli katkıları ve yardımları için tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. M. Emin Savcı ve Sayın Prof. Dr. Hakan Akyıldız'a da müteşekkirim. Böyle zorlu bir süreç boyunca hem dostlarım hem de iş arkadaşlarım Doç. Dr. V.Ş. Özgür Kırca, Doç. Dr. Oral Yağcı, Öğr. Gör. Dr. Nilay Elginöz Kanat ve Dr. Bilge Baş'a verdikleri destekler için sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışmam sırasında yapmış olduğum deneylerimde desteklerini benden esirgemeyen Tek. Mevlüt Uluçınar'a da müteşekkirim.

Haziran 2015

Taylan Bağcı
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Dalga Teorileri	3
2.1.1 Küçük genlikli dalga teorisi	3
2.1.2 Lineer olmayan dalga teorileri	4
2.1.2.1 Stokes dalga teorisi	5
2.1.2.2 Knoidal dalga teorisi	6
2.1.2.3 Soliter dalga teorisi	7
2.2 Deneysel Çalışmalar	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1 Deney Kanalı.....	21
3.1.1 Kanal tabanı ve kanalın daraltılması	23
3.2 Ölçüm Aletleri.....	24
3.2.1 Seviye ölçümleri	24
3.2.2 Hız ölçümleri.....	26
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	29
4.1 Deney Düzenegi	29
4.2 Deney Yöntemi	32
4.3 Deney Planı	34
4.4 Verilerin Değerlendirilmesi.....	35
5. DEĞERLENDİRMELER	41
5.1 Su yüzü Profili.....	42
5.2 Yer Değiştirme	43
5.3 Hız Verisi ve Türbülans	46
5.4 Kayma Gerilmeleri	52
5.5 Daralmanın Etkisi.....	54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR	65
EKLER.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	89

KISALTMALAR

LDN	: Çukur Öncül N-Dalgası (Leading Depression N-wave)
LEN	: Tepe Öncül N-Dalgası (Leading Elevation N-wave)
SSS	: Sakin Su Seviyesi
TKE	: Türbülans Kinetik Enerjisi

SEMBOLLER

a	: Su Parçacığı Hareketinin Genliği
A₁, A₂	: Genlik
C	: Dalga İlerleme Hızı
cn	: Eliptik Kosinüs Fonksiyonu
d	: Su Derinliği
E	: Dalga Toplam Enerjisi
g	: Yerçekimi İvmesi
H	: Dalga Yüksekliği
K(k)	: Birinci Tür Tam Eliptik İntegral
k	: Dalga Sayısı
km	: Eliptik İntegral Modları
N_r	: Rastgele Seçilmiş Deney Sayısı
Δp	: Basınç Farkı
p₀	: Dalga Dikliği Parametresi
Re	: Reynolds Sayısı
T	: Dalga Periyodu
t	: Zaman
t₁, t₂	: Faz Farkı
u	: Yatay Hız Bileşeni
u'	: Yatay Çalkantı Bileşeni
ū	: Ortalama Yatay Hız Bileşeni
u_{max}	: Maksimum Yatay Hız
U₀	: Su Yüzü Maksimum Yatay Hız
v	: Yanal Hız Bileşeni
v'	: Yanal Çalkantı Bileşeni
v̄	: Ortalama Yanal Hız Bileşeni
w	: Düşey Hız Bileşeni
w'	: Düşey Çalkantı Bileşeni
w̄	: Ortalama Düşey Hız Bileşeni
y_s	: Su Yüzeyinin Tabandan Yüksekliği
y_t	: Taban İle Dalga Tepesi Arasındaki Mesafe
α	: Dalga Yüksekliği Düzeltme Parametresi
η	: Su Yüzü Profili
μ	: Dinamik Viskozite
ν	: Kinematik Viskozite
ρ	: Suyun Özgül Kütlesi
τ	: Toplam Kayma Gerilmesi
τ_t	: Türbülans Kayma Gerilmesi
τ_v	: Viskoz Kayma Gerilmesi
ω	: Açısal Frekans
Ω, Ω₁, Ω₂	: Açısal Frekans

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Deney planı.....	34
Çizelge 5.1 : Daralma etkisi.....	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Denklelere ait notasyonlar (Sorensen, 2006).	4
Şekil 2.2 : Dalga Prifilleri (U.S. Army Corps of Engineers, 2008).	5
Şekil 2.3 : Soliter dalga için koordinat sistemi.	8
Şekil 2.4 : M ve N fonksiyonları (U.S. Army Corps of Engineers, 2008).	10
Şekil 2.5 : Tipik bir LDN dalgası (Düz çizgi: Tadepalli ve Synolakis (1994), noktalı çizgi: deney verisi).	11
Şekil 2.6 : Tipik bir LEN dalgası (Düz çizgi: TadepalliveSynolakis (1994), noktalı çizgi: deney verisi).	12
Şekil 2.7 : Madsen ve Schaffer'in analitik ve numerik olarak elde ettiği yakın kıyı tsunami su yüzü profili (düz çizgi: analitik çözüm; noktalı çizgi: numerik çözüm) (Madsen ve Schaffer, 2010).	13
Şekil 3.1 : Deney kanalı.	21
Şekil 3.2 : Dalga üretici palet.	22
Şekil 3.3 : Regülatör, yağlayıcı sistem ve el kumandası.	22
Şekil 3.4 : Üzerinde ölçüm yapılan metal plaka.	23
Şekil 3.5 : Kanal içerisinde yapılan kesit daraltması. (a) Üstten görünüş, (b) Kanal içerisinden görünüş.	24
Şekil 3.6 : Seviye ölçer.	25
Şekil 3.7 : Voltmetre (dalga monitörü).	25
Şekil 3.8 : ADV ölçüm alanı (NortekUSA, 2013).	26
Şekil 4.1 : Kanal içerisine kurulan deney düzeneğine ait boy kesit görünümü.	30
Şekil 4.2 : Ölçüm yapılan nokta ve hız ve seviye ölçerlerin yerleşimi.	31
Şekil 4.3 : Kanal plan görünümünde daraltma açıları ve ölçüm noktaları.	32
Şekil 4.4 : Bir deneye ait örnek bir kalibrasyon eğrisi ve denklemi.	33
Şekil 4.5 : Üretilen N-dalgası.	33
Şekil 4.6 : Hesap programına algoritma (ait akış şeması).	36
Şekil 4.7 : Salınımlı dalgada periyod ve tipik bir çukur öncül N-dalgası'nda tanımlanan yarım periyod.	37
Şekil 4.8 : 3 farklı deneye ait su yüzü profilleri.	38
Şekil 5.1 : Rastgele seçilmiş deney sayısına (N_r) göre ortalama (a) dalga yüksekliği (H) ve (b) dalga periyodu (T).	41
Şekil 5.2 : Tipik bir LDN dalgası (Düz çizgi: Madsen ve Schaffer (2010), noktalı çizgi: grup ortalaması ile elde edilen deney verisi).	42
Şekil 5.3 : Grup ortalaması sonucu elde edilen N-dalgası su yüzü profili.	43
Şekil 5.4 : Taban yakınında su partiküllerinin zamanla yer değiştirmesi (x) ve su yüzü profili (η).	44
Şekil 5.5 : Su partiküllerinin maksimum ve minimum yer değiştirmeleri arasındaki farkın (Δx) derinlikle değişimi.	45
Şekil 5.6 : Salınımlı dalgalar için pürüzsüz tabanda akım özelliklerinin Reynolds sayısı ile değişimi (Jensen vd., 1989). Kırmızı renkli nokta bu çalışmaya ait deney verisidir.	46
Şekil 5.7 : Deney No:110'a ait hız-zaman grafiği. Tabandan yükseklik $z=1.4$ cm. ..	47

Şekil 5.8 : Grup ortalaması sonucu elde edilen suyu yüzü profili-zaman ve tabandan $z=1.4$ cm yükseklikte ortalama yatay hız (\bar{u})-zaman grafiği.	47
Şekil 5.9 : Derinlik boyunca hız verilerinin zaman ile değişimini videolaştıran programa ait akış şeması (algoritma).	49
Şekil 5.10 : N-dalgası su yüzü profili üzerinde çeşitli ölçüm parametrelerin zamanla değişiminin grafik olarak elde edildiği zaman noktaları.	49
Şekil 5.11 : Histerik etkiler. (a) Su yüzü profili (b) Su yüzü profilinin kesitsel ortalama yatay hız ile değişimi.	51
Şekil 5.12 : Permanan olamayan akımda derinlik debi ilişkisi (Song ve Graf, 1996).	51
Şekil 5.13 : Su yüzü profili ve kayma gerilmelerinin zamanla değişimi.	53
Şekil 5.14 : Su yüzü profili ve kayma gerilmelerinin zamanla değişimi.	54
Şekil 5.15 : D1 ölçüm noktasında yapılan su yüzü profillerinin daraltılmamış kesit ile karşılaştırılması.	55
Şekil 5.16 : 5° daraltılmış kesitle D1 ve D2 ölçüm noktalarında yapılan su yüzü profili ölçümlerinin karşılaştırılması.	55
Şekil 5.17 : 10° daraltılmış kesitle D1 ve D2 ölçüm noktalarında yapılan su yüzü profili ölçümlerinin karşılaştırılması.	56
Şekil 5.18 : 15° daraltılmış kesitle D1 ve D2 ölçüm noktalarında yapılan su yüzü profili ölçümlerinin karşılaştırılması.	57
Şekil 5.19 : Daralmadan dolayı D1 ve D2 ölçüm noktalarındaki dalga yüksekliği (H) farkları.	58
Şekil 5.20 : (a) Su yüzü profili (b) D1 ölçüm noktası ile daraltma yapılmayan kesitte elde edilen histerik eğrilerin karşılaştırılması.	59
Şekil 5.21 : (a) Su yüzü profili (b) D2 ölçüm noktası ile daraltma yapılmayan kesitte elde edilen histerik eğrilerin karşılaştırılması.	59
Şekil B.1 : $t/T=-0.25$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.	73
Şekil B.2 : $t/T=0$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.	73
Şekil B.3 : $t/T=0.125$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.	74
Şekil B.4 : $t/T=0.25$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.	74
Şekil B.5 : $t/T=0.375$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.	75
Şekil B.6 : $t/T=0.4375$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.	75
Şekil B.7 : $t/T=0.50$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.	76
Şekil B.8 : $t/T=0.5625$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.	76
Şekil B.9 : $t/T=0.625$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.	77
Şekil B.10 : $t/T=0.75$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.	77
Şekil B.11 : $t/T=1$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.	78
Şekil C.1 : $t/T=-0.25$ anında çalkantı bileşenleri (w , v , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.	79
Şekil C.2 : $t/T=0$ anında çalkantı bileşenleri (w , v , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.	79
Şekil C.3 : $t/T=0.125$ anında çalkantı bileşenleri (w , v , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.	80
Şekil C.4 : $t/T=0.25$ anında çalkantı bileşenleri (w , v , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.	80
Şekil C.5 : $t/T=0.375$ anında çalkantı bileşenleri (w , v , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.	81
Şekil C.6 : $t/T=0.4375$ anında çalkantı bileşenleri (w , v , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.	81

Şekil C.7 : $t/T=0.5$ anında çalkantı bileşenleri (u , v , w) ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.	82
Şekil C.8 : $t/T=0.5625$ anında çalkantı bileşenleri (u , v , w) ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.	82
Şekil C.9 : $t/T=0.625$ anında çalkantı bileşenleri (u , v , w) ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.	83
Şekil C.10 : $t/T=0.75$ anında çalkantı bileşenleri (u , v , w) ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.	83
Şekil C.11 : $t/T=1$ anında çalkantı bileşenleri (u , v , w) ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.	84
Şekil D.1 : $t/T=-0.25$ ve $t/T=0$ anlarında türbülans kayma gerilmesi değişimi.	85
Şekil D.2 : $t/T=0.125$ ve $t/T=0.25$ anlarında türbülans kayma gerilmesi değişimi. .	85
Şekil D.3 : $t/T=0.375$ ve $t/T=0.4375$ anlarında türbülans kayma gerilmesi değişimi.	86
Şekil D.4 : $t/T=0.5$ ve $t/T=0.5625$ anlarında türbülans kayma gerilmesi değişimi. .	86
Şekil D.5 : $t/T=0.625$ ve $t/T=0.75$ anlarında türbülans kayma gerilmesi değişimi. .	87
Şekil D.6 : $t/T=1$ anında türbülans kayma gerilmesi değişimi.	87

KESİT DARALMASININ SOLİTER DALGALARA OLAN ETKİSİNİN VE SINIR TABAKASININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Doğada çok sık gözlenemeyen ve dolayısıyla da araştırmacıların üzerinde pek fazla inceleme yapma şansı bulamadıkları ve bir çeşit soliter dalga olan N-Dalga'sı bu tez kapsamında deneysel olarak laboratuvarında üretilmiş ve incelenmiştir. Özellikle deniz tabanında gerçekleşen heyelanlar ve depremler nedeniyle oluşan tsunamiler bu çeşit tekil dalgalar oluşturmaktadır. Bu nedenle tekil dalgaların incelenmesi büyük felaketler yaratan tsunami gibi afetleri daha iyi anlamamız açısından önem arz etmektedir.

Bilim insanları tsunami gibi tekil dalgaları incelemeye başladıkları ilk yıllarda, bu tip dalgaların tek bir dalga tepesinden oluşan soliter dalga tipinde olduğuna kanaat getirmişlerdir. Bu minvalde soliter dalga üzerine çalışmalara ağırlık verilmiş çeşitli teorik yaklaşımlar irdelenerek sayısal ve fiziksel modeller gerçekleştirilmiştir. Mamafih tsunamilerin önceden öngörülememesi ve pek yaygın olmayan görsel kayıt ekipmanlarından dolayı gerçek bir tsunami dalgasının benzeştirilmesi ile ilgili olarak sağlam temelli ve net çalışmalar ortaya konamamıştır. Dijital teknolojiye hızlı gelişmeler sayesinde uzaktan algılama çalışmaları yaygınlaşmış, fotoğraf ve kamera teknolojileri gelişerek bir çok bireyin sahip olabileceği duruma gelmiştir. Böylelikle ilk modern bilimin başlangıcı sayılan gözlem yeteneğimiz tsunamiler konusunda da gelişmemize fırsat sunmuştur. 1990'lı yılların sonlarına doğru tsunami dalgasının sadece bir tepeye sahip olmadığı ve ayrıca bir de çukurun eşlik ettiği bir dalga olduğu anlaşıldı. Şeklinin N harfine benzerliğinden ötürü de N-Dalgası olarak isimlendirildi. Ayrıca N-dalgası için dalga tepesinin dalga çukurundan önce geldiği durum için "Leading Elevation N-wave (LEN)" ve dalga çukurunun dalga tepesinden önce geldiği durum için "Leading Depression N-wave (LDN)" tanımları yapılmıştır. Bu ilk gözlemleri takip eden yıllarda araştırmacılar, çeşitli teoriler ve sayısal modeller geliştirmişler. Fakat gerek gerçek bir tsunamiye ait kayıt olamaması gerekse de laboratuvarlarda bu tip dalgayı üretmeye müsait dalga üreticilerinin bulunmamasından dolayı teorilerini ve sayısal modellerinin doğruluğunu onaylamakta sıkıntılar yaşamışlardır. 2004 yılına geldiğimizde 26 Aralık günü Hint Okyanusu'nda meydana gelen ve Sumatra Depremi olarak da adlandırılan deniz altı depremi sırasında büyük bir tsunami meydana gelmiştir. Toplam 14 ülkeden 230000 insanın hayatını kaybettiği bu afet sırasında tesadüfen o bölgede bulunan "Mercator" isimli Belçika bandıralı bir yat bu tsunamiye ait bir su seviyesi değişimi kaydı almayı başardı. Bu tarihten sonrada N-Dalgasına ait teoriler gözden geçirildi, yenilendi ve daha sağlam temellere oturtuldu. Güncel çalışmalara göre artık N-Dalgası biri pozitif diğeri negatif genliğe sahip ve aralarında faz farkı bulunan iki adet soliter dalganın süperpozisyon hali olarak tanımlanmaktadır. Halen emekleme aşamasında bulunan araştırmalarda N-Dalgası fiziksel olarak laboratuvarlarda yeni yeni oluşturulmaya başlanmış olup bu konu ile ilgili çok kısıtlı sayıda çalışma mevcuttur.

Sadece İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrolik Laboratuvar'ı bünyesinde bulunan ve burada geliştirilen özel bir piston mekanizması sayesinde 23.5m x 1.0m x 0.5m boyutlarındaki dalga kanalında N-dalgası üretilebilmektedir. Bu çalışma kapsamında ise N-dalgasının fiziksel özelliklerini ortaya koymak amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. Böylelikle bu konudaki literatürde bulunan boşluk doldurulmaya çalışılmıştır. Bu minvalde iki ana başlık altında çalışmalar yürütülmüştür. İlk olarak N-dalgasına ait ortalama akım hızı, türbülans ve taban kayma gerilmesi gibi akım özelliklerini incelemek maksadıyla taban sınır tabakasında ölçümler yapılmıştır. Daha sonrasında ise haliç, boğaz, koy gibi morfolojik kıyı şekillerinin etkilerini daha iyi anlayabilmek açısından basitleştirilmiş bir kanal daraltma işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle N-dalgasının fiziksel özelliklerinin kanal daralması ile nasıl değiştiği ortaya konulmuştur.

N-dalgasının, doğası gereği permanan ve periyodik olmamasından ötürü fiziksel karakteristiklerinin ortaya konması amacıyla grup ortalaması (ensemble average) yöntemi benimsenmiştir. Bu yöntem permanan olmayan akımların incelenmesinde kullanılan bir yöntemdir (Sumer v.d., 2010). Bu minvalde N-dalgası 40 defa üretilmiş ve eş zamanlı olarak taban yakınında 35 noktada hız profili ve su yüzü değişimi ölçümleri yürütülmüştür. Bunlara ek olarak yine aynı dalgaya ait serbest yüzey akım hızının belirlenmesi amacıyla farklı derinliklerde yine hız profili ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Açık denizde oluşan tsunamiler kıyılara yaklaştıkça kıyı morfolojisinden etkilenmektedirler. Özellikle boğaz, nehir gibi morfolojik yapılarda ilerleyişinin araştırılması bakımından ikincil bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu düzeneğe de kanal sırasıyla 5°, 10° ve 15° tedrici olarak daraltılmıştır. Yine bu durumlarda da 2 noktada hız profili ve su yüzü değişimleri kaydedilmiştir.

Toplam 70 adet gerçekleştirilen deneyler daha sonra Matlab programı ile oluşturulan kodlarla analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda hız profilleri, kayma gerilmesi, türbülans özellikleri gibi akım özellikleri ortaya konulmuştur. Bu minvalde grafiklerin yanı sıra akımın zamanla değişimini gösteren videolar da Ekler kısmında CD-ROM olarak sunulmuştur. Ayrıca daralmanın etkisi ve su yüzü değişimleri de bu çalışma kapsamında irdelenmiştir.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EFFECTS OF SECTION NARROWING ON SOLITARY WAVES AND BOUNDARY LAYER

SUMMARY

N-Waves, which are a type of solitary waves, do not occur in the nature frequently so that the researchers can not examine them easily. Solitary waves, particularly N-Waves, are of particular importance in geosciences due especially to tsunamis generated by sea bottom landslides and earthquakes. Investigation of solitary waves is crucial in understanding natural phenomenon such as non-linear waves in nearshore regions or catastrophic disasters like tsunamis which has devastating effects.

In the early years of solitary wave investigations, scientists decided that tsunami waves can be represented by a solitary wave (i.e. with only one crest). This decision led to deeper research on solitary waves, substantial amount of theoretical approaches followed by numerical and physical modelling studies. However due to unpredictability of tsunamis and lack of widespread visual recording devices, clear and well founded studies were not achieved in simulation of a real tsunami wave.

Due to the recent dramatic advancement in digital technology, remote sensing techniques became widespread and also video and photo capturing technologies improved so advanced that each individual can have a camera of their own. Therefore, observation, our most basic scientific tool, gave us the ability to improve our knowledge on tsunamis. At the end of 90s, a trough accompanied by a crest was discovered in tsunami waves. The geometrical similarity of this wave and Latin letter "N" ended up with the name N-Wave. Additionally, two new definitions were made for N-Waves; if the crest is followed by a trough, 'Leading Elevation N-wave (LEN)' and if the trough is followed by a crest, 'Leading Depression N-wave (LDN)'. In the following years researchers developed different theories and numerical models, but due to lack of real world tsunami records and lack of tsunami type wave generators in laboratories, they had problems in verification of their theories and models in an accurate extent.

In 26th of December 2004, a devastating tsunami formed during Sumatra Earthquake in Indian Ocean. During this disaster more than 230000 people from 14 countries lost their lives and incidentally a Belgium boat called 'Mercator' was able to take a record of water level variation during this tsunami. After this recording N-Wave theories were reconsidered, renewed and better established. According to the up-to-date studies, N-Waves have been considered as the independent superposition of two solitary waves in different phases; one has positive and the other has negative amplitude. This new studies are still in the beginning level with rare publications and N-Waves are being generated in laboratories just recently.

In this context, an experimental setup was designed the laboratory flume of Istanbul Technical University Hydraulics laboratory such that a typical N-Wave was generated and investigated experimentally in the frame of this PhD thesis. Hydraulic

Laboratory of Istanbul Technical University has a unique N-Wave generator with a special vertically-oriented piston mechanism in a wave flume with dimensions 23.5m x 1.0m x 0.5m. Previously a number of researchers investigated run-up characteristics of this kind of waves in this flume. Also, effects of coastal forests on tsunami run-up and coastal erosion, behaviour of rubble-mound and caisson type breakwaters under tsunami waves were investigated in this flume.

In this experimental study, geometrical and kinematical properties of N-Waves were investigated to fill the gap in the literature. Accordingly, studies were conducted under two main chapters. Firstly, boundary layer measurements on the flume bottom were performed for better understanding of N-wave generated near-bed flow properties such as time-averaged velocity, turbulence and bed shear stresses. Afterwards as the second chapter, a simplified flume narrowing section was manufactured for better understanding the effects of coastal morphology (such as estuaries, straits, bays etc.) on the progression of N-waves. Therefore, changes in physical properties of investigated N-wave due to narrowing were presented.

Furthermore, water elevation time series and velocity measurements were obtained. Resistant type probes were used for water elevation measurements. For this system two resistant type wave probes, one 8 channel HR Wallingford wave monitor and a four channel National Instruments NI-9215 A/D converter were used. Also one channel of the A/D converter was assigned for synchronization between water level measurements and velocity measurements. In other words, synchronization output of the velocity profiler was connected to one channel of the A/D converter in order to ensure simultaneous data recording.

Velocity measurements were performed by using the 3D acoustic velocity profiler (Vectorino) manufactured by Nortek AS. This new generation profiler can measure simultaneously three component of the instantaneous velocity in 35 points over a vertical range of 3.5cm, with intervals of 1mm. Moreover, this profiler can perform with a sampling rate up to the 100Hz. During the measurements, this device sends short sound impulses to the flow and listens with receivers placed on its four arm. Consecutively, it compares transmitted and received frequencies of sound and calculates velocity of the flow by using the Doppler effect theory. This real time and simultaneous velocity data was recorded by using a program provided by the manufacturer of the instrument. This type of velocimeters are widely used in coastal and hydraulic applications and proved their reliability through the years.

For generating controlled conditions, a metal sheet with dimensions of 2m (length) x 1m (width) x 0.004m (thickness) was deployed at bottom of the flume in the measurement section. Also this metal sheet was painted to assure a smooth surface. All velocity measurements were performed over the same point on this metal sheet during this study. Thus, surface roughness (corresponding to hydraulically smooth conditions) was kept constant during the experiments. Furthermore, two measurement points were used at section narrowed experiments. To ensure identical bottom roughness properties in consecutive narrowing configurations, side panels used for section narrowing were slid instead of sliding measurement probes.

Since N-Waves are unsteady and non-periodic by their nature, time-averaging techniques cannot be used to calculate the mean flow parameters. Therefore, ensemble averaging method was used during the investigation of its physical properties. In this context the identical N-Wave was generated for 40 times in successive experiments and velocity profiles close to the bottom and water elevation

time series were measured simultaneously. Additionally, velocity profiles at different vertical ranges from the flume bottom were measured in order to determine free stream velocity for the same N-Wave. These measurements were analysed numerically by the Matlab software tool and results were presented in this thesis. In the light of the findings, the results of water surface profile were matched with N-wave equation with a high positive correlation. Thus, it can be said that produced wave in the context of this study is a typical N-wave. Afterwards free stream velocity, time-average velocity profiles, turbulent fluctuations and wave Reynolds number values were calculated. In the light of the findings, it was concluded that flow was in transitional state from laminar to turbulent regime at the phase of maximum free stream velocity. Also, flow was dominated by the horizontal velocity component (u) and the vertical velocity component (w) was very small. The results further show that the turbulent intensity and turbulent kinetic energy were also dominated by the horizontal component. Besides, turbulence was produced within the boundary layer close to bed and dissipated towards to upper levels. Moreover, it can be said that there is a net longitudinal mass transport in the flow field beneath N-waves. Also, a phase shift between water elevation time series and mean horizontal velocity was not observed, as expected in the case of solitary wave.

Additionally, the relationship between free stream velocity and water elevation time series was investigated. It is found that velocities at rising curve of the N-wave were lower than the falling curve. This result is in contradiction with flood wave (gradually varied flow case), another type of unsteady flow.

Furthermore, bottom shear stresses were obtained during the experiments. Total bottom shear stress consists of two parts which are viscous shear stress and turbulent shear stress. It was revealed that turbulent stress component was more dominant than the viscous stress counterpart, when the free stream velocity was at its maximum. Furthermore, fluctuations at the shear stress are important because of formation of vortices and turbulent coherent structures. Hence, fluctuation of the shear stress was also presented in this study.

Tsunamis, first generated at offshore, are extensively affected by the coastal morphologies as they approach the shoreline. To investigate N-Waves reaching estuaries and river mouths, the second chapter of the experimental set-up was established. In this set-up, the width of the flume was reduced gradually with 5, 10 and 15 degree angles by means of a 2cm thick water-resistant plywood panels. Velocity profiles and water level variations were also measured for these 3 configurations. These measurements were made at two sections which were at the entrance of narrowed section and middle of the that section. In these measurement a significant phase shift was observed at the tail section of the N-wave. Also wave height and period differences were obtained and presented herein.

Additionally, velocity differences were studied between narrowed section and un-narrowed section experiments. In this case, free stream velocities at narrowed section experiments were approximately 50% less than the un-narrowed velocities. This is an expected result for a general wave.

Experimental measurements, for 70 experiments in total, were analysed in Matlab environment with codes written especially for this purpose. Flow properties like velocity profiles, shear stresses, turbulence properties were produces as results of these analyses. Graphs and videos of the results were given in Appendices. Since the process is highly unsteady, animation videos presenting the time-varying velocity

and turbulence measurements are very indicative in terms of the characteristics of N-Wave boundary layers. Additionally, the effect of narrowing and water level variations were also included in the aforementioned visual material.

1. GİRİŞ

Deniz ortamında en çok karşılaşılan dalgalar dalga tepesine ve çukuruna sahip olan salınımlı dalgalardır. Doğada bu tip dalgalara çok rastlanıldığından mühendislik yapılarının tasarımında bu tip dalgalar dikkate alınmaktadır. Bundan dolayıdır ki bu tip dalgaların davranışları yıllar içerisinde bilimadamları tarafından sıkça çalışılmış ve de bu dalgalara özgü tasarım kriterleri geliştirilmiştir.

Doğada pek sık olmasa da deniz zemininde meydana gelen toprak kaymaları ve depremlerin oluşturduğu tsunami dalgaları, sadece bir dalga tepesi ve çukuru bulunan uzun dalgalar meydana getirmektedir. Bu tip dalgalara literatürde, biri pozitif biri de negatif genlikli soliter dalganın süperpozesinden oluşan N-dalgası denmektedir (Madsen, 2010). Bu dalganın en önemli özelliği salınımlı olmaması ve dolayısıyla bir periyodunun bulunmamasıdır. Salınımlı olmamasından dolayı da su parçacıklarının ileri geri hareketleri yerine ileriye doğru net bir su kütlesi taşınımı mevcuttur (U.S. Army Corps of Engineers, 2008).

Ayrıca kıyı yakınlarındaki, kırılma bölgesindeki dalgalar da soliter dalga yaklaşımına büyük oranda uymaktadır (Munk, 1949). Soliter dalga profiline sahip dalgalara doğada çok sık rastlanmadığı için bilim insanları bu konu üzerine çok fazla eğilmemişlerdir. Yapılan çalışmalar ise ağırlıklı olarak teorik düzeydedir. Son yıllarda yapılan deneysel çalışmalar ise genellikle sınır tabakasına yoğunlaşmıştır. Çeşitli araştırmacılar soliter dalga altında hız profillerinin değişimini incelemektedirler.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez kapsamında soliter dalganın bir çeşidi olan N-dalgasının deniz batimetrisinden ve kıyı topoğrafyasından nasıl etkilendiği incelenmiştir. Bu kapsam doğrultusunda İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan 23.5 metre uzunluğunda, 1 metre genişliğinde ve 0.5 metre derinliğindeki soliter dalga kanalında deneysel bir çalışmanın yürütülmüştür. Bu

deneyler sırasında seçilen bir adet N-dalgası 40 defa test edilmiş ve eş zamanlı veriler alınarak bu dalgaya ait fiziksel özellikler ortaya konulmuştur. Bu deneylere ek olarak 3 ayrı daralma açısı ile kanal daraltılmış ve bu etki sonucu değişen N-dalgasına ait fiziksel özellikler irdelenmiştir. Deneyler sırasında seviye, hız ve taban direnci verileri elde edilmiş ve bu veriler işlenerek yorumlanmıştır. Elde edilen veriler daha sonraki N-dalgası sayısal modellemelerinde doğrulama ve kalibrasyon amacı ile kullanılabilir. Böylelikle daha geniş alanların bilgisayar ortamında daha doğru bir şekilde modellenmesine ve ilgilenilen problemin daha sağlıklı anlaşılmasına katkıda bulunacaktır. Bunun yanında yapılan deneylerde deney kanalının daraltılması ile de N-dalganın kıyı morfolojisinden nasıl etkilendiğine dair fiziksel sonuçlar elde edilmiştir. Böylelikle N-dalgasının nehir ağızları, haliçler veya boğaz geçişleri gibi topografik oluşumlarda nasıl bir değişikliğe maruz kaldığı ile ilgili altyapı oluşturacak bilgiler sunulmuştur.

Tez kapsamında yapılan çalışma ile Literatürde ilk kez N-dalgasına ait fiziksel özellikler deneysel olarak ortaya konmuştur. Bu bağlamda yapılan çalışmayla N-dalgasına ait su yüzü profili deney verisi literatürdeki denklemler ile karşılaştırılmış ve bu iki veri arasında yüksek bir doğrusal korelasyon elde edilmiştir. Ayrıca yine literatürde ilk kez bir N-dalgasına ait taban kayma gerilmesi bu çalışma ile sunulmuştur. Bunlara ek olarak daralan bir kesitte N-dalgasının davranışı da ortaya konmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

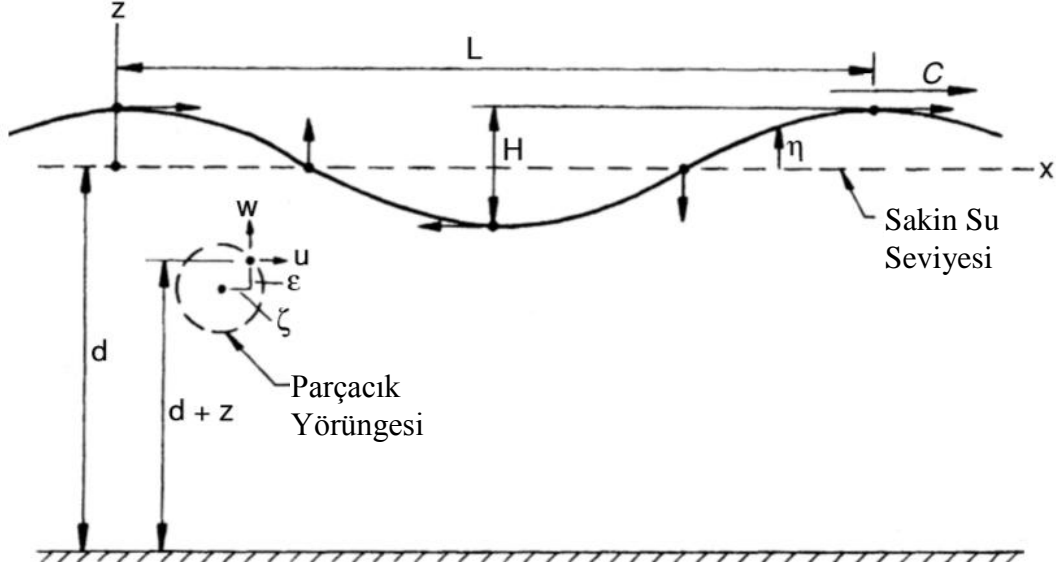
Bu bölümde öncelikle başlıca dalga teorileri incelenmiş ardından N-dalgası ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar ile ilgili ayrıntılı bir literatür özeti verilmiştir. Bu amaçla ilk olarak dalga teorileri ele alınmıştır. Sırasıyla küçük genlikli, stokes, knoidal dalga teorileri hakkında literatür bilgileri sunulmuştur. Ayrıca N-dalgası, iki adet soliter dalganın süperpozisyonu olmasından dolayı knoidal dalga teorisinin özel bir durumu olan soliter dalga teorisi ile ilgili de çalışmalar sunulmuştur. Daha sonra ise N-dalgası ile ilgili yapılmış çalışmalara yer verilmiştir. Bunlara ek olarak konu ile ilgili deneysel çalışmalarda bu kısımda incelenmiştir.

2.1 Dalga Teorileri

Dalgaları ifade etmek için pek çok teori geliştirilmiştir. En yaygın yaklaşım, hareket ve süreklilik denklemlerinin ideal akışkan için modifiye edilmesi ve uygun sınır koşullarının kullanılmasıdır. Bunun sonucunda Stokes Dalga Teorisi elde edilmiş olur (Kamphuis, 2000). Dalga yüksekliğinin dalga boyu ve su derinliği gibi uzunluklara göre çok küçük olduğu kabulü yapılırsa ilk olarak Airy (1845) tarafından tartışmaya başlanan Küçük Genlikli Dalga Teorisi elde edilir (Kamphuis, 2000). Pratikliği nedeniyle mühendislik uygulamalarında sıkça kullanılan Küçük Genlikli Dalga Teorisi'nin yanısıra lineer olmayan Stokes, Knoidal ve Soliter dalga teorileri de aşağıda açıklanmıştır.

2.1.1 Küçük genlikli dalga teorisi

Küçük genlikli dalga teorisi adıyla da anılan lineer dalga teorisi, su derinliğinin dalga boyuna oranının $1/2$ 'den büyük olduğu derin sularda ve bu oranın $1/2$ ile $1/20$ arasında olduğu geçiş bölgesinde kullanılmaktadır. Bu teoride akışkan ideal kabul edilmektedir. Bu teoriye ait denklemler ve denklemlerde kullanılan notasyonun şekli aşağıda verilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Denklelere ait notasyonlar (Sorensen, 2006).

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) \quad (2.1)$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{\omega}{k} = \frac{gt}{2\pi} \tanh kd = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh kd} \quad (2.2)$$

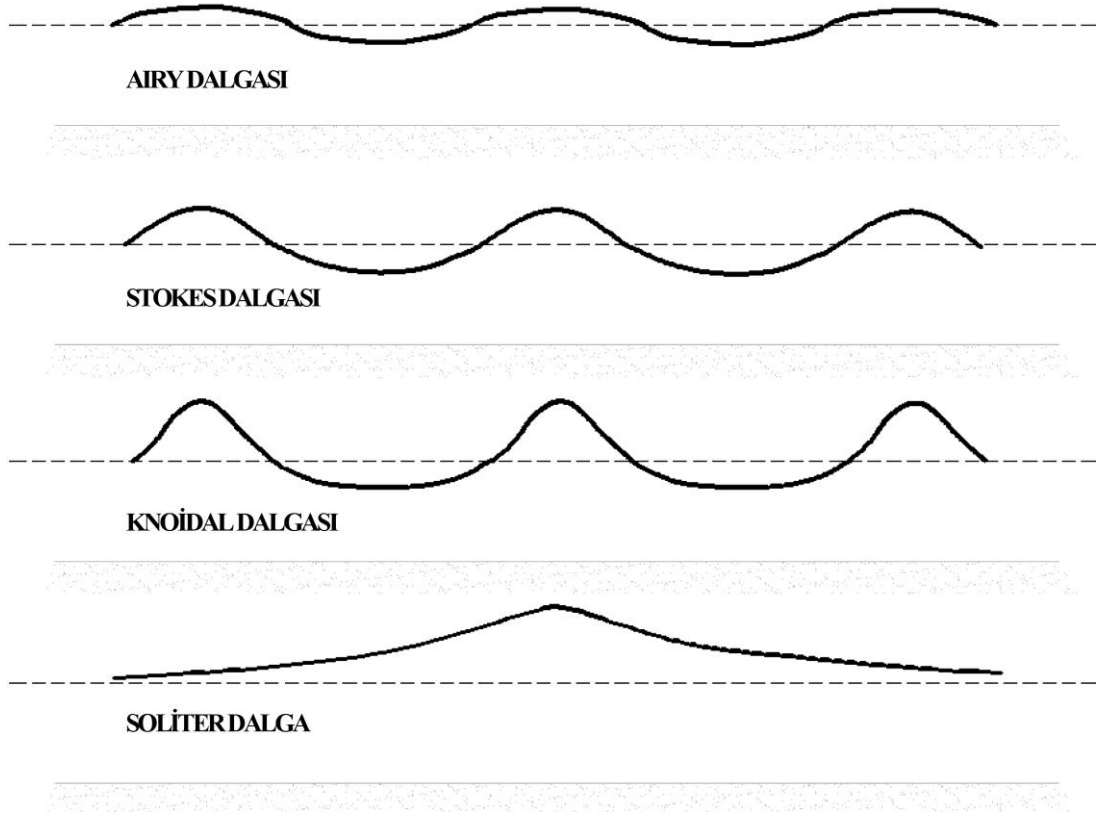
$$L = CT = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kd \quad (2.3)$$

$$u = \frac{\pi H \cosh k(z + d)}{T \sinh kd} \cos(kx - \omega t) \quad (2.4)$$

$$w = \frac{\pi H \sinh k(z + d)}{T \sinh kd} \sin(kx - \omega t) \quad (2.5)$$

2.1.2 Lineer olmayan dalga teorileri

Lineer olmayan dalga teorilerinden derin su dalgaları için kullanılan Stokes teorisi ve sığ su dalgaları için kullanılan Knoidal ve Soliter dalga teorileri kullanışlı analitik teorilerdir (Sorensen, 2006). Bu dalgalara ait profiller Airy dalgası ile birlikte Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 : Dalga Prifilleri (U.S. Army Corps of Engineers, 2008).

2.1.2.1 Stokes dalga teorisi

Stokes (1847), Küçük Genlikli Dalga Teorisi'ni ikinci mertebeden çözümlerini ortaya koyacak bir teori ortaya koymuştur. Bu teori, H/d oranının küçük olduğu derin sularda ve geçiş bölgelerinde geçerlidir (Sorensen, 2006). Bu teorinin 2. mertebe çözümü sonucunda elde edilen su yüzü profili denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) + \frac{\pi H}{8} \left(\frac{H}{L}\right) \frac{\cosh kd(2 + \cosh 2kd)}{(\sinh kd)^3} \cos 2(kx - \omega t) \quad (2.6)$$

Dalga ilerleme hızı, 2. mertebe Stokes dalgalarında Küçük Genlikli Dalga Teorisindeki dalga ilerleme hızı ile aynı denklemle verilmektedir, fakat 3. mertebe Stokes dalgalarında dalga ilerleme hızı aşağıdaki denklemle verilmektedir.

$$C^2 = \frac{g}{k} \tanh kd \left[1 + \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 \left(\frac{9 + 8 (\cosh kd)^4 - 8 (\cosh kd)^2}{8 (\sinh kd)^4} \right) \right] \quad (2.7)$$

Stokes 2.mertebe denklemlerinde yatay (u) ve düşey (w) partikül hızları aşağıdaki denklemlerle verilmektedir.

$$u = \frac{\pi H \cosh k(d+z)}{T \sinh kd} \cos(kx - \omega t) + \frac{3(\pi H)^2 \cosh 2k(d+z)}{4TL (\sinh kd)^4} \cos 2(kx - \omega t) \quad (2.8)$$

$$w = \frac{\pi H \sinh k(d+z)}{T \sinh kd} \sin(kx - \omega t) + \frac{3(\pi H)^2 \sinh 2k(d+z)}{4TL (\sinh kd)^4} \sin 2(kx - \omega t) \quad (2.9)$$

2.1.2.2 Knoidal dalga teorisi

Dalgalar açık denizden kıyıya doğru yaklaşır geçiş bölgesi ve sığ suya doğru ilerledikçe Stokes teorisinin kullanılabilirliği azalır, sığ sularda knoidal dalga teorisi ve çok sığ sularda soliter dalga teorisi en çok kullanılan analitik teorilerdir (Sorensen, 2006).

Knoidal dalga teorisi Korteweg ve de Vries (1895) tarafından geliştirilen denklemlere dayanır. Korteweg ve de Vries (1895) “knoidal” ismini verdikleri permanan, sonlu genlikli bir dalga teorisi ortaya koymuşlardır (Fenton, 1972). Knoidal teorisinin derin sudaki limiti Küçük Genlikli Dalga Teorisi ve sığ sudaki limiti soliter dalga teorisidir (Sorensen, 2006). Knoidal dalga teorisinin en çok kullanılan versiyonu, öncüllerinin çalışmalarını sentezleyen ve sonuçları mümkün olduğunca pratik bir şekilde veren Wiegel’in (1960) versiyonudur (Sorensen, 2006). Wiegel (1960, 1964) mühendislik uygulamalarında kullanılması amacıyla bu denklemleri grafikleştirmiştir (U.S. Army Corps of Engineers, 2008). Ayrıca su yüzeyinin tabandan yüksekliği, y_s , şu şekildedir:

$$y_s = y_t + Hcn^2 \left[2K(k) \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right), km \right] \quad (2.10)$$

Bu denklemde , y_t , taban ile dalga tepesi arasındaki mesafeyi; H , dalga tepesi ile çukuru arasındaki mesafeyi (dalga yüksekliğini); cn , eliptik kosinüs fonksiyonunu;

$K(k)$, birinci tür tam eliptik integrali ve km ise eliptik integral modları ifade etmektedir.

2.1.2.3 Soliter dalga teorisi

Soliter dalgalar ile ilgili ilk çalışmaları 1844 yılında Russel yapmıştır (Craik, 2004). Russell (1844) deneysel bir çalışma yürütmüş ve dalga hızı ile ilgili ampirik bir bağıntı vermiştir (Fenton, 1972). Bu bağıntı daha sonra Boussinesq (1871) ve Rayleigh (1876) tarafından genel bir yaklaşık çözümün bir parçası olarak elde edilmiştir. Korteweg ve de Vries (1895) ortaya koyduğu knoidal dalga teorisinin sonsuz dalga boyu ve sonlu bir efektif uzunluğu olan özel bir durumu olduğunu göstermişlerdir (Fenton, 1972).

Daha sonraki yıllarda Munk (1949) laboratuvar deneyleri ve arazi ölçümleri yaparak kırılma bölgesinde soliter dalgaları incelemiştir.

Soliter dalgaları ile ilgili Friedrichs (1948), Laitone (1960), Grimshaw (1970), Grimshaw (1971), Fenton (1972), Longuet-Higgins ve Fenton (1974) ve Byatt-Smith ve Longuet-Higgins (1976) çeşitli sayısal analizleri ortaya koymuşlardır (U.S. Army Corps of Engineers, 2008).

Soliter dalgaları tanımlamak için dalga boyundan bağımsız bir parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parametre de dalga yüksekliğinin derinliğe oranı olan rölatif dalga yüksekliğidir (H/d) (Munk, 1949).

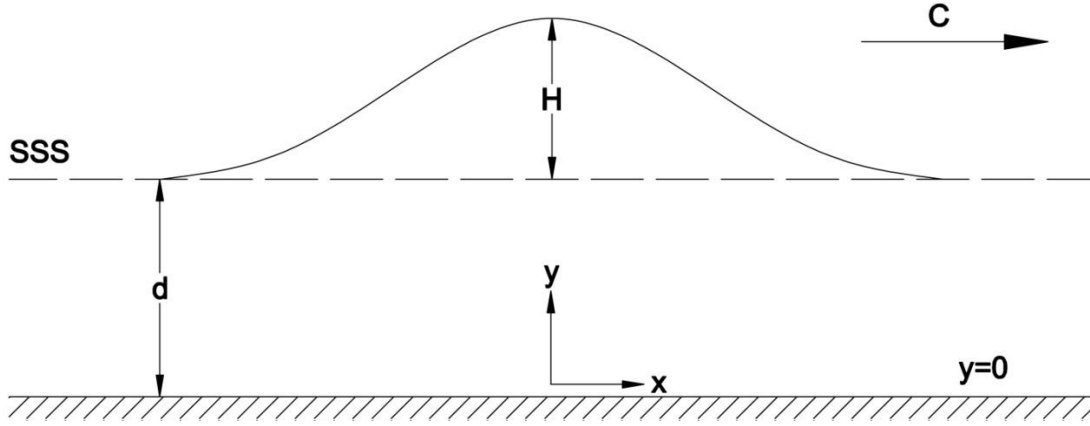
Soliter dalga cnoidal dalgaların özel durumu olduğundan dolayı soliter dalga için yazacağımız denklemler, cnoidal dalga teorisinin bu özel durumunun denklemleri olacaktır. Buna göre su yüzeyinin tabandan yüksekliği, y_s , şu şekilde verilebilir (Wiegel 1960):

$$y_s = d + H \operatorname{sech}^2 \left[\sqrt{\frac{3}{4}} \frac{H}{d^3} (x - Ct) \right] \quad (2.21)$$

Dalga ilerleme hızı C :

$$C = \sqrt{g(H + d)} \quad (2.13)$$

şeklindedir. Bu denklemlerde; H , dalga yüksekliğini; g , yerçekimi ivmesini; d , su derinliğini göstermektedir. Bu denklemlere ait koordinat sistemi Şekil 2.3'te verilmiştir. Bu koordinat sistemine göre dalga tepesinde $x=0$ ve tabanda $y=0$ dır.



Şekil 2.3 : Soliter dalga için koordinat sistemi.

Soliter dalga için su yüzü profilini, parçacık hızlarını ve basınçları veren ifadeler şu şekildedir (U.S. Army Corps of Engineers, 2008):

$$\frac{\eta}{H} = \frac{u}{\sqrt{gd} \frac{H}{d}} \quad (2.14)$$

$$\frac{u}{\sqrt{gd}} \frac{H}{d} = \frac{\Delta p}{\rho g H} \quad (2.15)$$

$$\frac{\Delta p}{\rho g H} = \text{sech}^2 q \quad (2.16)$$

Bu ifadelerde η , su yüzü profilini; H , dalga yüksekliğini; u , su parçacığının yatay hızını; g , yerçekimi ivmesini; d , su derinliğini; ρ , suyun özgül kütlesini; Δp herhangi bir noktada soliter dalgadan dolayı oluşan basınç farkını göstermektedir. Bu ifadelerde kullanılan q ise şu şekilde verilmiştir:

$$q = \sqrt{\frac{3}{4}} \frac{H}{d^3} (x - Ct) \quad (2.17)$$

İkinci bir yaklaşımda (Fenton 1972) basınç farkı şu şekilde verilmiştir (U.S. Army Corps of Engineers, 2008):

$$\frac{\Delta p}{\rho g H} = 1 - \frac{3}{4} \frac{H}{d} \left[1 - \left(\frac{y_s}{d} \right)^2 \right] \quad (2.18)$$

Sakin su seviyesi üzerinde bulunan su hacmi, V , ise şu şekildedir:

$$V = \left[\frac{16}{3} d^3 H \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.19)$$

Soliter dalgada x yönündeki parçacık hızı u , ve y yönündeki parçacık hızı v , Munk (1949) tarafından şu şekilde verilmiştir:

$$u = CN \frac{1 + \cos MY \cosh MX}{(\cos MY + \cosh MX)^2} \quad (2.110)$$

$$v = CN \frac{\sin MY \sinh MX}{(\cos MY + \cosh MX)^2} \quad (2.20)$$

Bu denklemlerde $X=x/d$ ve $Y=y/d$ şeklinde boyutsuz sayılardır. M ve N içinse Şekil 2.4'teki grafik vermiştir.

Maksimum yatay hız, u_{max} , ise aşağıdaki gibidir (U.S. Army Corps of Engineers, 2008) :

$$u_{max} = \frac{CN}{1 + \cos MY} \quad (2.11)$$

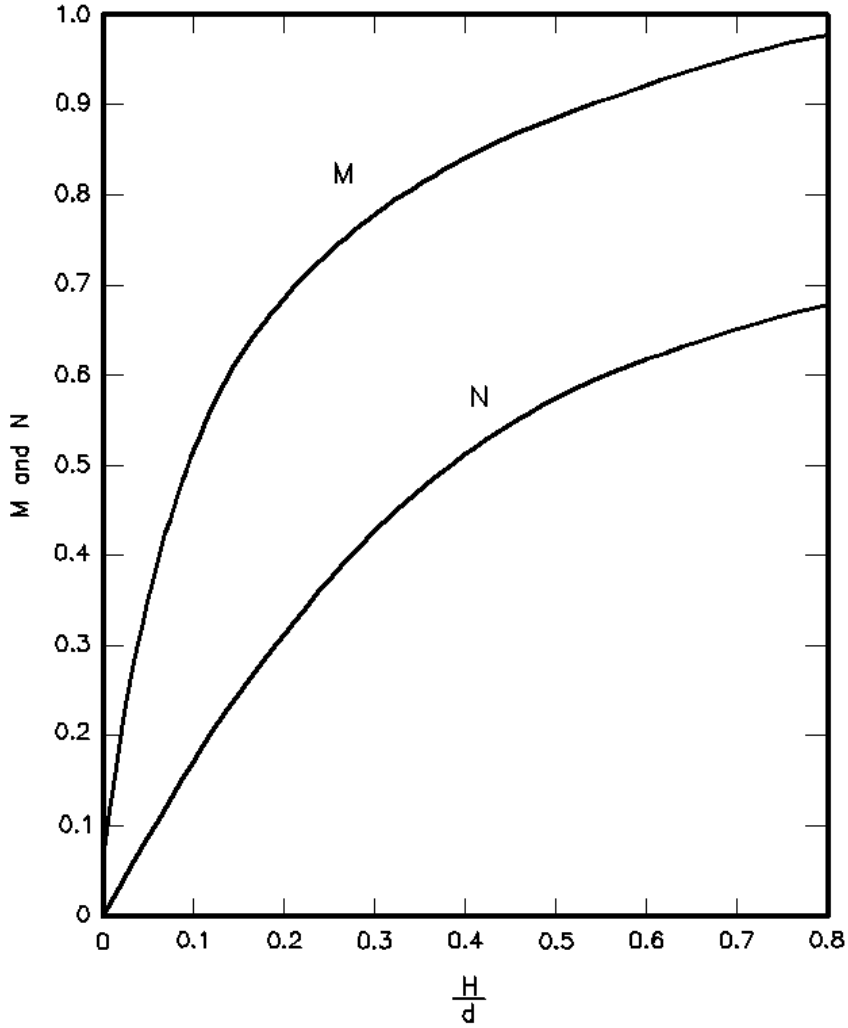
Soliter dalgada toplam enerji potansiyel ve kinetik enerji olarak eşit iki parça olup toplam enerjii veren denklem

$$E = \frac{8}{3\sqrt{3}} \rho g (Hd)^{\frac{3}{2}} \quad (2.12)$$

ifadesi kullanılarak belirlenebilir (U.S. Army Corps of Engineers, 2008).

Soliter dalga ile ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde yapılan bu çalışmaların genellikle tsunami olgusunu açıklamak üzerine olduğu rahatlıkla görülebilmektedir. Bu amaç doğrultusunda hem teorik hem de deneysel olarak birçok çalışma yapılmasına karşın tsunaminin nasıl bir dalga olduğuna dair net bir fikir son yıllara

kadar mevcut değildi. Bu muğlâklığın asıl sebebi ise gerçek bir tsunamiye ait dalga kayıtlarının elde olmamasıydı.



Şekil 2.4 : M ve N fonksiyonları (U.S. Army Corps of Engineers, 2008).

1994’de kadar genel kanı tsunami dalgasının tek bir dalga tepesi olan soliter dalga olduğu yönündeydi. Fakat 1994 yılında Tadepalli ve Synolakis (1994) gözlemlenen bir kaç tsunaminin ışığında ortaya yeni bir fikir olarak “N-Dalgası” isminde yeni bir dalga ifadesini ortaya sürdüler. Bu çalışmada, gözlenen tsunamilerde önce bir çekilme daha sonra ise büyük bir dalganın geldiği olgusundan yola çıkarak, tsunami dalgasının küçük bir çukur ve büyük bir tepeden oluşması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu doğrultuda tsunami dalgasını bir tip soliter dalga olarak vermişlerdir ve şeklinden dolayı ismine ise “N-Dalgası” demişlerdir. Ayrıca bu çalışmada N-dalgası:

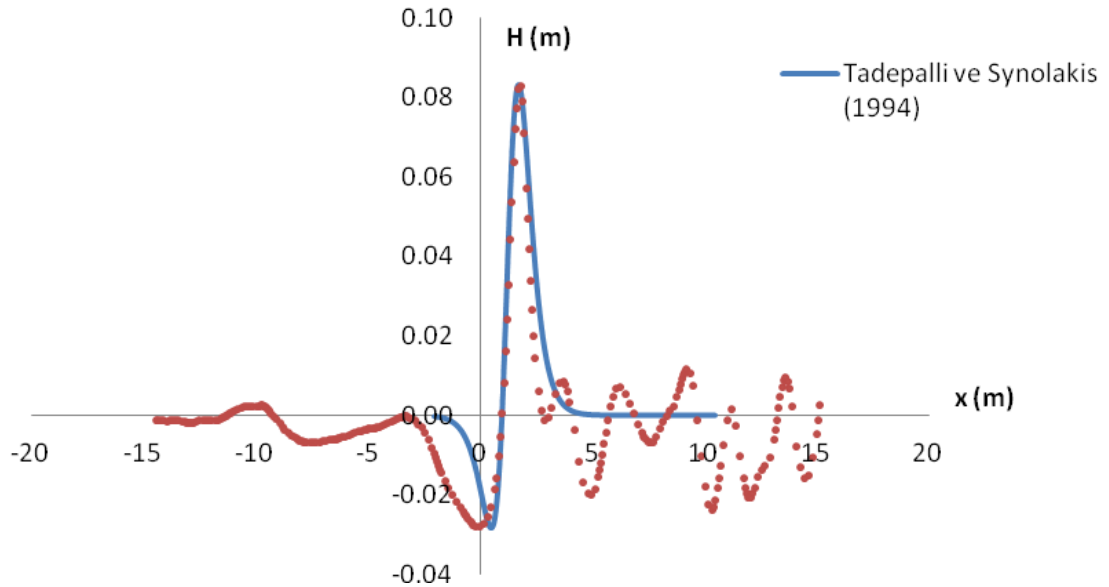
$$\eta(x,0) = \alpha H(x - x_2) \operatorname{sech}^2(K_s(x - x_1)) \quad (2.13)$$

ve

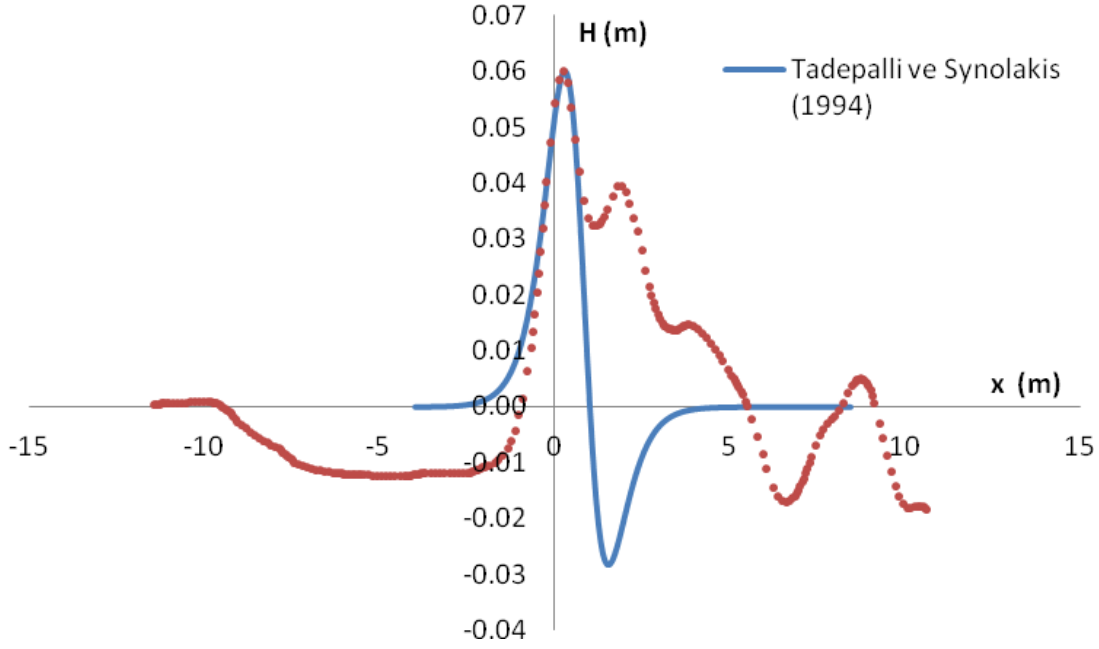
$$K_s = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{3H}{4d}} \quad (2.14)$$

şeklinde verilmiştir. Bu denklemlerde η , su yüzü profili; H , dalga yüksekliği; x_1 ve x_2 sırasıyla dalga çukuru ve dalga tepesinin konumlarını belirtmektedir. Buna ek olarak α ise dalga yüksekliğinin H olmasını sağlamak için kullanılan bir parametredir. Ayrıca yine bu çalışmada, dalga çukurunun dalga tepesinden önce geldiği durum için “Leading Depression N-wave (LDN)” (Şekil 2.5) ve dalga tepesinin dalga çukurundan önce geldiği durum içinse “Leading Elevation N-wave (LEN)” (Şekil 2.6) tanımları yapılmıştır. Tadepalli ve Synolakis (1994) daha önceki çalışmalardan farklı olarak öncelikle çekilme davranışı gösteren N dalgalarını modellemişlerdir. Burada birinci derece teori kullanılarak farklı tipteki N-dalgaları için maksimum tırmanmayı açıklayan asimptotik sonuçlar bulunmuştur. LDN dalgalarının LEN dalgalarına göre daha fazla tırmandığı belirlenmiştir. Bu durumun, soliter dalga modelinin yakın kıyı N-dalgalarının tırmanmasını açıklamakta yetersiz olabileceğinin bir göstergesi olduğu belirtilmiştir.

Tez çalışması sırasında yapılan ön deneyler esnasında kanal içindeki paletin ürettiği dalgaya ait kayıtlar alınmıştır. Bu kayıtlar incelenmiş ve yukarıda tanımlanan N-dalgası denklemi ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6).



Şekil 2.5 : Tipik bir LDN dalgası (Düz çizgi: Tadealli ve Synolakis (1994), noktalar: deney verisi).



Şekil 2.6 : Tipik bir LEN dalgası (Düz çizgi: Tadepalli ve Synolakis (1994), noktalı çizgi: deney verisi).

Bu grafikler incelendiğinde deneysel veriler ile teorik veriler arasında ilk bakışta güçlü bir ilişkinin olduğundan bahsedilebilir.

Titov ve Synolakis (1995) tarafından yapılan çalışmada sığ su dalga denklemleri (yapay viskozite ya da sürtünme faktörlerini içermeyen) değişken gridli sonlu farklar yaklaşımı kullanılarak tek boyutlu uzun dalgaların ilerlemesi ve tırmanmasını modellemek amacıyla kullanılmıştır. Kırılan ve kırılmayan soliter dalgalar için model sonuçları, analitik çözümler, sayısal modeller ve deneysel veri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Oluşturulan model, dalga kırılmasında su yüzeyini tam olarak yansıtamasa da çok düşük sayıda grid kullanımına rağmen plunging tipi soliter dalgaların tırmanmasını modellemekte başarılıdır.

Daha sonrasında ise Tadepalli ve Synolakis (1996) denklemlerinde küçük bir düzeltme önermişlerdir ve K_s değerini:

$$K_s = \frac{1}{d} \sqrt{p_o \frac{3H}{4d}} \quad (2.15)$$

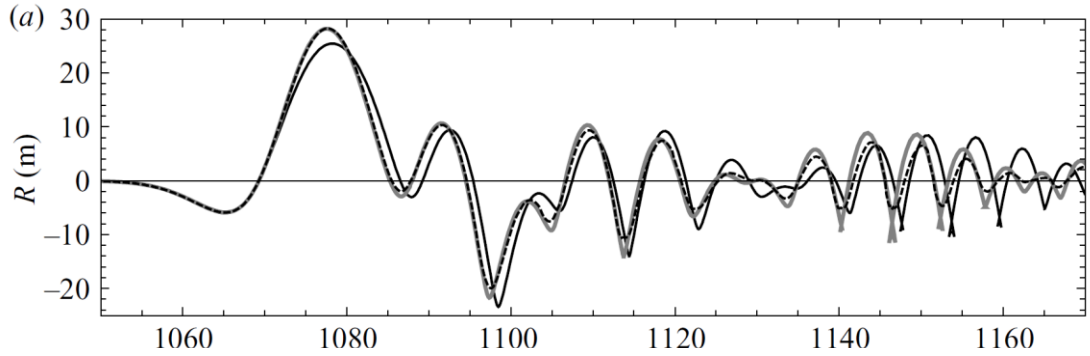
şeklinde değiştirmişlerdir. Tadepalli ve Synolakis (1996) bu denklemde p_o için dalga dikliği parametresi tanımı yapmışlardır.

2004 yılında Hint Okyanusu'nda meydana gelen tsunami, bu alanda çalışanlar için yeni bir sayfa açtı. Bu tsunami sırasında bir çok görüntülü kaydın yanı sıra "Mercator" isimli Belçika bandıralı bir yat tsunami geçişi sırasında dalga kaydı almayı başardı. Bu tarihten sonra tsunami dalgasının soliter dalga yaklaşımı ile açıklanmasının sıkıntılı olacağı konusunda yayınlar çıkmaya başladı. Synolakis ve Bernard (2006) ve daha sonrasında da Madsen (2008) soliter dalga yaklaşımının tsunami olgusunu açıklamakta kullanılamayacağı konusunda çalışmalar yürütmüştür. Ayrıca Madsen (2008), Tadepalli ve Synolakis (1996) yaklaşımının da hidrodinamik olarak sıkıntılı olduğunu belirterek bu yaklaşımında fiziki olarak N-dalgasını tam yansıtmadığını belirtmiştir.

Madsen ve Schaffer (2010), açısal frekansı Tadepalli ve Synolakis (1994 ve 1996)'in aksine derinlik ve ya dalga yüksekliği gibi parametrelere bağlı bir değişken olamayacağını ve bağımsız bir değişken olduğunu savunmuşlardır. Bu minvalde aşağıdaki denklemi önermişlerdir.

$$y(t) = A_1 \operatorname{sech}^2 \Omega_1(t - t_1) - A_2 \operatorname{sech}^2 \Omega_2(t - t_2) \quad (2.16)$$

Bu denklemde y su yüzeyi profilini; t zamanı; A_1 ve A_2 pozitif ve negatif genlikleri; Ω_1 ve Ω_2 açısal frekansı ve t_1 ve t_2 ise faz farklarını göstermektedir.



Şekil 2.7 : Madsen ve Schaffer'in analitik ve numerik olarak elde ettiği yakın kıyı tsunami su yüzü profili (düz çizgi: analitik çözüm; noktalı çizgi: numerik çözüm) (Madsen ve Schaffer, 2010).

Bu çalışmalar sonrasında 2010 yılında Madsen ve Schaffer, alternatif olarak birer tane pozitif ve negatif tekil soliter dalganın birleşimi olan bir dalgayı hem nümerik olarak hem de analitik olarak çözmüşlerdir. Ayrıca bu çalışmalarında tipik bir LDN'ye ait yakın kıyı su yüzü profilini aşağıda Şekil 2.7'de verildiği gibi belirtmişlerdir. Bu şekilde R , yakın kıyı su yüzü profilini göstermektedir.

Bunlara ek olarak literatürde N-Wave veya Madsen ve Schaffer (2010) yaklaşımına ait herhangi bir deneysel veriye rastlanılmamıştır.

Synolakis ve diğerleri (2008) çeşitli mevcut tsunami modellerini analitik, laboratuvar ve arazi testleri ile değerlendirmişlerdir. Söz konusu çalışmada gerçekte meydana gelecek bir tsunami durumunda daha öncesinde test aşamasından geçmiş modellerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Mitsoudis ve diğerleri (2012) Rodos Adası Yunanistan'da meydana gelen bir tsunamiyi gerçek batimetri ve topoğrafya bilgisi kullanarak MOST programı ile modellemişlerdir. Model çıktısı olarak maksimum su baskını, maksimum dalga yüksekliği ve maksimum akım derinliği seçilmiş noktalarda belirlenmiştir. Modelleme çalışmasında 100, 500, 1000 yıllık projeksiyon yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar uydu görüntüleri üzerine yerleştirilerek verilmiştir.

Park ve diğerleri (2008), soliter dalga sebebiyle oluşan akımı viskoz çamurlu bir deniz tabanında incelemek için bir seri deney gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmada, viskoz çamur olarak silikon akışkan kullanılmış; viskoz çamurun içerisindeki hız alanını ölçmek için ise Partikül Görüntü Velosimetrisi (Particle Image Velocimeter, PIV) metodundan yararlanılmıştır. Söz konusu çalışmada elde edilen deneysel veriler Liu ve Chan'ın 2007'de sığ su dalgaları ile viskoz akışkan bir deniz tabanı arasındaki etkileşimler için ortaya koydukları analitik çözümlerin doğrulanması için kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırmaya göre analitik çözümler ile deney sonuçlarının mükemmel bir uyum gösterdiği belirlenmiştir. Aynı çalışmada, ayrıca, çamurlu deniz tabanı derinliğinin taban sınır tabakası kalınlığına oranının (\bar{d}), çamur akımının davranışında etken bir parametre olduğu belirlenmiştir.

Başka bir çalışmada (Pattiaratchi and Wijeratne, 2009), beş gerçek tsunami kaydı incelenmiştir. İnceleme sonucunda, oluşan tsunamilerin deprem büyüklüğünün farklı olmasına rağmen benzer özellikler taşıdığı belirlenmiştir. Bu durumun nedeni yersel topografi ile açıklanmıştır. Ölçüm noktalarının lokasyonuna bağlı olarak, yakındaki adalar nedeniyle oluşan çeşitli dalga yansımaları ölçülmüştür. Ayrıca, oluşan tsunami dalgalarının yersel rezonans frekansında salınımlara neden olduğu belirlenmiştir.

Apotsos ve diğerleri (2012) tsunaminin kıyı üzerinde yarattığı akımın; dalga karakteristikleri, taban eğimi, taban pürüzlülüğünden dolayı değişimini incelemek için non-lineer sığ su denklemleri üzerine kurulmuş bir nümerik model kullanmışlardır. Dik, pürüzsüz morfolojiler üzerindeki akım dinamikleri geçici

olarak simetriktir; tırmanma (runup) ve çekilme (run down) fazlarında benzer büyüklükte hızlar oluşmaktadır. Diğer taraftan, sığ, pürüzlü, onshore topografilerinde çekilme (run down) fazında akım dinamikleri geçici olarak çarpık ve akım hızlarının büyüklükleri tırmanma ve çekilme fazlarında farklıdır. Ayrıca, neredeyse kırılan tsunami dalgaları dik topografide ilerlediğinde akım hızları neredeyse ani olarak bir maksimuma ivmelenmekte ve monoton olarak düşmektedir. Tersine çok uzun dalgalar sığ topografide ilerlediğinde hız daha yavaş ivmelenmekte ve azalmaya başlamadan önce bir süre sabit kalmaktadır. Bu sonuçlar onshoreda akım dinamikleri konusunda her tsunamide aynı varsayımların geçerli olmayacağını, yere özel analizlerin gerekli olduğunu göstermiştir.

Wu ve diğerleri (2012), soliter bir dalga ile, batık, dikey tabana bağlı bir bariyerin etkileşimini deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Nümerik sonuçlar iyi doğrulanmış iki boyutlu VOF (volume of fluid) tipi bir model olan COBRAS (Cornell BReaking And Structre) ile bulunmuştur. Bu model Reynold ortalama Navier-Stokes (RANS) denklemleri ve lineer olmayan k-ε türbülans kapatma modeli üzerine kurulmuştur. Deneylerde su yüzeyi hareketi ve hız alanları model doğrulaması için PIV sistemi ile ölçülmüştür. Bariyerin üzerinden soliter dalga ilerledikten sonra dalga yönünün ters yönünde dalga kırılması oluşmaktadır. Hem deneysel hem de nümerik sonuçlarda kırılan dalganın çarpma noktasında bir yerel maksimum türbülans şiddeti değeri gözlenmiştir. Maksimum net kuvvet ile dalga non-lineerliği arasında neredeyse lineer bir ilişki elde edilmiştir.

Vittori ve Blondeaux (2008) tarafından yapılan çalışmada bir soliter dalganın ilerlemesi sırasında oluşan sınır tabakası, süreklilik ve Navier-Stokes denklemlerinin doğrudan nümerik simülasyonlarla incelenmiştir. Sonuçlar küçük dalga genliklerinde akım rejiminin laminar olduğunu göstermiştir. Dalga genliği kritik bir değerin üzerinde arttıkça türbülans meydana gelmektedir; bu kritik değer sınır tabakası kalınlığı ve su derinliği arasındaki orana bağlıdır.

Ek olarak türbülans sadece çekilme esnasında ya da diğer bir deyişle dalga tepesinin arkasında oluşur. Hızın yatay bileşeni tabandan uzakta her zaman dalga yönünde ilerler. Ancak taban yakınındaki akışkan partikül hızı irrotasyonel hız azalırken yönünü değiştirir. Akımın ters dönme zamanının gücü ve uzunluğu türbülans etkilenir. Ayrıca taban kayma gerilmesi türbülansın varlığının etkisini hisseder.

Diğer bir çalışmada (Buldakov, 2013), tsunaminin eğimli bir kumsal ile etkileşimi 2 boyutlu Lagrangian bir model ile incelenmiş ve fiziksel dalga kanalı deneyleri ile

doğrulanmıştır. İteratif bir metodoloji önerilmiş ve spektral kontrol ile çalışan piston-tipi bir dalga üreticinde üretilen tsunami benzeri dalgaların deneysel olarak üretimi için uygulanmıştır. Kumsalın dalga ile etkileşiminde plunging ya da collapsing tip dalga kırılması gözlenen üç farklı etkileşim türü gözlenmiştir. Lagrangian model ile elde edilen dalga tırmanması değerleri deneysel sonuçlarla uyumludur.

Zhao ve diğerleri (2011), deniz altı deprem kaynaklı tsunamilerin açık deniz ve yakın kıyıdaki dalga yüksekliklerini Boussinesq denklemi kullanarak modellemişlerdir. Açık denizde meydana gelen yüksek şiddetteki bir deprem tipik bir N-dalgasının oluşmasına neden olmaktadır. Tek boyutlu bir yatay dalga kanalında, soliter dalga tırmanması, tek tepeli N-dalgası ve bir tepe ve bir çukurdan oluşan N-dalgası modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar lineer olmayan sığ su dalga denklemlerinin analitik çözümleri ile uyumludur. Ayrıca, Hint okyanusu tsunamisi 2-boyutlu Boussinesq modeli ile modellenmiş ve söz konusu model arazi ölçümleri ile karşılaştırılarak doğrulama yapılmıştır.

Liang ve diğerleri (2013) ise gerçekleştirdikleri çalışmada toplam değişim azalması Lax-Wendroff yöntemi Boussinesq denklemlerinin sayısal olarak çözümünde kullanmışlardır. Düşey bir duvar ve üniform eğimli bir şev üzerindeki tırmanma prosesi soliter dalgalar, çukur öncül ve tepe öncül N-dalgaları üretilmesi durumunda incelenmiştir. Kırılan soliter dalga durumu için elde edilen sonuçlar genel olarak mevcut ampirik denklemlerle uyumludur; ancak dalga tırmanma yükseklikleri bir miktar yüksektir. Bu durum, kırılan dalgaların önündeki küçük dalgaların modelde abartılmasının bir sonucu olabilir. Çalışma sonuçlarına göre, bir çukur öncül N-dalgasının dalga tırmanma yüksekliği aynı genliğe sahip bir soliter dalganın tırmanma yüksekliğinden daha fazladır. Tepe öncül N dalgasının dalga tırmanma yüksekliği ise soliter dalga tırmanma yüksekliğinden daha düşüktür. Düşey duvardaki tırmanmada dalga yüksekliği-su derinliği oranı 0.01'i geçtiğinde bu durum daha belirgin hale gelmektedir. Şev üzerindeki tırmanmada ise dalga kırılma öncesinde bu özellikler daha baskındır.

2.2 Deneysel Çalışmalar

Soliter dalgalar ile ilgili ilk deneysel çalışma bir önceki bölümde de belirtildiği gibi Russel (1844) tarafından gerçekleştirilmiştir. Russel yaptığı çalışmalarıyla literatürde soliter dalgayı ilk fark eden kişi olarak da geçmektedir (Craik, 2004).

Daha sonraki yıllarda Munk (1942) yaptığı deneysel çalışmalardan ve arazi ölçümlerinden elde ettiği sonuçlar ile o zamana kadar yapılmış olan sayısal analizleri karşılaştırmıştır.

Madsen ve Mei (1969) uzun dalgaların kıta sahanlığındaki yansımalarını ve yayılmasını incelemişlerdir ve deneylerinde kıyıya yaklaşan uzun dalgaların profillerinde değişiklik gözlemlemişlerdir. Buna benzer bir durumu Goring ve Fellow (1990) deneysel olarak incelemiş ve soliter dalgaların kıta sahanlığında yansımalarını ve yayılımını hem deneysel hem de sayısal olarak ortaya koymuştur.

Son yıllarda ise soliter dalga altında sınır tabakası ile ilgili çalışmalar dikkati çekmektedir. Liu v.d. (2006), soliter dalga altında daha önce sayısal olarak ortaya koydukları (Liu ve Orfila, 2004) viskoz etkileri deneysel olarak incelemişlerdir. Yine aynı sayısal analizi baz alarak (Liu ve Orfila, 2004), Liu vd. (2007) soliter dalga altında sınır tabakasını incelemiş ve sınır tabakasında elde ettiği parçacık hızlarını sayısal modelle karşılaştırmıştır. Ayrıca Sumer v.d. (2008) ve Sumer v.d. (2010) U-şekilli tünelde yaptıkları deneylerde sınır tabakasındaki akım rejimlerini Reynolds sayısına bağlı olarak incelemişlerdir.

Carr ve Davies (2010) iki tabakalı, ilerleyen bir soliter dalganın altında sabit tabanda dalga kaynaklı akımı deneysel olarak modellemişlerdir. Taban yakınında yapılan hız alanı ölçümleri, dalga yavaşladıkça taban yakınındaki akışkan hızının yön değiştirdiğini, su sütununun daha yukarıdaki bölgesinde ise dalga yönü ile aynı yönde olduğunu göstermiştir. İçsel soliter dalgaların teorik tahminlerinden farklı olarak, ters basınç gradyanı bölgesinde yarım dalga altında ne sınır tabakası ayrılması ne de vorteks oluşumu gözlenmiştir.

Rossetto ve diğerleri (2011) tek bir dalga tepesi ya da çukurundan oluşan uzun dalgaların fiziksel olarak modellenmesine olanak tanıyan yeni nesil bir tsunami dalga üretici geliştirmişlerdir. Söz konusu ekipman ile yalnızca soliter ve N dalgaları değil ayrıca 2004'te Hint Okyanusu'nda meydana gelen tsunaminin Tayland kıyılarındaki kayıtları da tekrarlanabilmektedir.

Rueben v.d. (2011) yaptıkları çalışmalarında ABD'de Oregon eyaletine bağlı Seaside isimli bir kıyı kasabanın 1/50 ölçeğinde modelini kurup, tsunami sırasında bu kasabanın nasıl risk altında olduğunu anlamaya çalışmışlardır. Yaptıkları deneylerinde ise yatayda hareket eden bir pistonla bağlı düşey palet kullanmış ve

soliter dalga üretmişlerdir. Böylelikle tsunaminin kentsel bir kıyı alanında yarattığı selin dalga baseninde optik olarak ölçümünü gerçekleştirmişlerdir. Bu sabit tabanlı modelde birkaç büyük bina etrafındaki akım gözlenmiştir. Çalışma sonucunda kullanılan deneysel metodun hem zaman hem de uzay ölçeğinde dalga ilerleme noktasının yüksek çözünürlüklü olarak incelenmesine olanak verdiği belirlenmiştir. Bu sayede tsunami dalgasının oluşturduğu selin büyük yapılarla etkileşimi sayısal olarak değerlendirilebilmektedir. Ayrıca bu çalışmalarında Madsen v.d. (2008)'deki çalışmalarından bahsetmişler, bu çalışmanın işaret ettiği gibi soliter dalganın tsunamiyi modelleyemeyeceğini kabul etmişler fakat daha çok kasabadaki su baskını ile ilgilendiklerini belirtip bu konuyu kapatmışlardır.

Diğer bir çalışmada (Seelam vd., 2011) kırılmayan soliter dalgaları laboratuvarında üretilerek kayma gerilmesi incelenmiştir. Yapılan ölçümler pürüzsüz bir tabanda laminar ve geçiş akım rejimlerinde ($\sim 10^4 < Re < \sim 10^5$) gerçekleştirilmiştir. Kullanılan h/d oranları 0.12-0.68, maksimum taban hız değerleri 0.16-0.51 m/s ve maksimum taban kayma gerilmesi değerleri 0.386-2.06 Pa aralığındadır.

Lo ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmada tekil ve çiftli soliter dalgaların bir eğim üzerinde tırmanma ve back-wash prosesleri deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel veri elde edilmiştir. Teorik kırılma kriterine dayanarak yeni bir surf parametresi (özellikle kırılan soliter dalgalar için) önerilmiştir. Çiftli soliter dalgalar için, eşit dalga yükseklikli birbirini takip eden iki soliter dalga kullanılarak yeni deneyler yapılmış, bu dalgalar çeşitli sürelerle ayrılmıştır. İkinci dalganın run-up yüksekliğinin ayrılma zamanına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. PIV ölçümleri birinci dalganın yarattığı back-wash akımının şiddetinin ikinci dalganın run-up yüksekliğinden önemli şekilde etkilendiğini göstermiştir. İkinci dalganın run-up yüksekliği için ampirik bir formül üretilmiştir.

Sælevik ve diğerleri (2013) gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada soliter dalgaların iki farklı kumsalda tırmanmasını incelemişlerdir. Düz kumsal olarak adlandırılan model 10° eğimli bir şev, kompozit kumsal olarak adlandırılan model ise eğimin 10° 'den sakin su seviyesi üzerindeki bir noktada 4° 'ye değiştiği bir şevden oluşturulmuştur. Yapılan tırmanma ölçümleri, kompozit kumsalın düz kumsala göre daha düşük tırmanma değerleri oluşturduğu gözlenmiştir. Ayrıca kompozit kumsalda dalga çekilmesi süresi düz kumsala göre daha uzundur.

Goseberg ve diğeri (2013) yüksek kapasiteli pompa kullanarak tasarladıkları yeni bir uzun dalga üretici sistem ile tekil sinüsoidal çukur öncül dalgalar (15-120s) ve LDN dalgası üretmişlerdir. Yapılan çalışmada dalga oluşum mekanizması ve deterministik tekrarlanabilirlik incelenmiştir.

Charvet ve diğeri (2013) tarafından yapılan çalışmada, uzun dalgalar için tırmanma denklemlerinin geliştirilmesi amacıyla yeni bir deney programı uygulanmıştır. Vana ile kontrol edilen bir pnömatik dalga üreticinin yer aldığı sistemde daha önce yapılmış çalışmalardan daha uzun dalga uzunluğuna sahip dalga üretimi sağlanabilmektedir. Aynı zamanda, söz konusu yöntem çukur öncül dalgaların düzenli stabil olarak üretimini de sağlamaktadır. Aynı çalışmada, dalga uzunluğunun ve şeklinin tırmanma prosesi üzerindeki etkilerinin anlaşılabilmesi için deney verileri dalga periyodu ve şekline göre sınıflandırılmıştır. Gerçekleştirilen istatistiksel analiz çalışmasıyla, dalga tırmanması (R) ve dalga şekli arasındaki ilişkinin, $\frac{T}{T_b} < 1$ için $R \sim a$ ve $\frac{T}{T_b} > 1$ için $R \sim \sqrt{a}$ ile ölçeklendirildiği belirlenmiştir.

Bunlara ek olarak bu çalışma kapsamında deney yapılması planlanan kanalda, daha önceki yıllarda çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Uzun dalgaların tırmanma yüksekliği bu kanalda incelenmiş ve deneylerde soliter dalga teorisi ile uyumlu dalgalar elde edilmiştir (Gedik, 2004;Gedik v.d., 2005). Yine aynı kanalda Gedik (2006) tsunami dalgasının geri çekilmesini incelemiştir. Ayrıca Baş (2007) şevli dalgakıranların, Yüce (2007) ise düşey yüzlü dalgakıranların tsunami etkisi altındaki davranışlarıyla ilgili deneylerini bu kanalda gerçekleştirmiştir. Son olarak kıyı ormanlarının tsunami tırmanmasına olan etkisi yine bu kanalda yapılan deneylerle ele alınmıştır (İrtem v.d., 2009). İlgili kanalda yapılan bütün bu çalışmalarda soliter dalgalar elde edilmiş ve dalga üretici sistemin sorunsuz çalıştığı tespit edilmiştir.

Ayrıca, Savcı v.d. (2009) tsunami tipli dalgaların tırmanma yükseklikleri ile ilgili deneysel bir çalışma yürütmüş olup bu çalışmalarını matematik modeller ile desteklemişlerdir. Çalışma kapsamında küp blok korumalı, keson ve delikli keson tipi dalgakıran kesitlerinde tırmanma yükseklikleri ele alınmış ve Marmara Deniz’inde meydana gelebilecek bir tsunami için proje kriterleri ve standartlar önermişlerdir. İlaveten Savcı v.d. (2009) kendi çalışmalarında, Marmara Denizi’ndeki tsunami riski ile ilgili olarak Beji ve Aldoğan (2001) tarafından yapılan yeni bir Boussinesq modeli ve Hayır (2007) tarafından gerçekleştirilen Tuzla açıklarındaki olası denizaltı heyelanlarının etkilerinin araştırıldığı model sonuçları

sunumuş ve değerlendirmeler yapmışlardır. Buna ek olarak keson ve delikli keson tipi dalgakıran kesitlerinde tırmanma yüksekliklerini basınç verileri ile de karşılaştırmışlardır (Karsavran, 2009). Ayrıca Erdik (2009) aynı dalga için bulduğu tırmanma yüksekliklerini dalga kıran tasarımlarında kullanılan tırmanma yüksekliği formülleri ile karşılaştırmıştır. Sonrasında ise çeşitli matematiksel modeller ile bu durumu incelemiştir (Erdik ve Savcı, 2008; Erdik ve Savcı, 2010; Erdik v.d., 2008).

Tsunaminin karakteristiklerinin yanı sıra bu dalgaların kıyı yapıları ile etkileşimi de çeşitli çalışmalarda incelenmiştir. Nandasena ve diğerleri (2012), 2011'de Japonya'da meydana gelen tsunaminin rıhtım ve ormanlara etkisini 340 km uzunluğundaki bir kıyı şeridinde 25 noktayı ele alarak incelemiştir. Kıyıdaki yapay ve doğal yapıların tsunami etkilerini azaltıcı etkisi derinlik integre edilmiş sığ su modeli ile iki kıyı bölgesinde incelenmiştir. Birinci bölge olan Misawa'da bitkili kumullar, ikinci bölge olan Hachinohe'de ise kıyı duvarları ve kıyı bitkilenmesi bulunmaktadır. Sayısal modelleme sonuçları, tsunaminin etkilerinin azaltılmasında Misawa'daki bitkili kumulların birincil etkisi olduğunu ve kıyıya doğru giden bitkilenme içindeki yolların şeklinin (düz ya da eğri) akım hızındaki düşüşte bitkinin olmaması durumuna göre önemli etkisi olduğu görülmüştür. Hachinohe'de bitkilenmedeki hasarda asimetri gözlenmiştir. Kıyı duvarının arkasındaki bitkilenme hasar görmemiş buna karşın kıyı duvarıyla korunmayan sahil şeridindeki bitkiler hasar görmüştür. Kıyı duvarı etkisiyle sapan tsunami dalgası, kıyı duvarının arkasında yer almayan bitkilerin olduğu bölgede momentinin artmasına neden olmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Deney Kanalı

Tez çalışması kapsamında yapılan deney faaliyetleri İTÜ İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan dalga kanalında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1). Kanalın boyutları 23.5m x 1.0m x 0.5m'dir. Kanalın çerçevesi demir profillerden oluşturulmuş olup tabanı beton, yan duvarları ise camdan yapılmıştır.



Şekil 3.1 : Deney kanalı.

Dalga üretici sistemin palet kısmı 2.0m x 0.97m x 0.02m boyutlarına sahip pleksiglas bir levhadır (Şekil 3.2). Bu levha bir mafsalla pnömatik bir pistonla bağlanmıştır. Levhanın diğer ucu ise kanal tabanına sabitlenmiştir.

Pnömatik pistonla basınç 100 litrelik bir kompresör ile sağlanmaktadır. Kompresör ile pnömatik piston arasında, pistonla gelen havayı temizlemesi amacıyla bir yağlayıcı sistem ve yine pistonla giden hava basıncını düzenlemesi amacıyla da bir regülatör bulunmaktadır (Şekil 3.3). Bu sayede pistonla giden havanın temiz olması sağlanmaktadır ve de hava basıncının kontrol edilebilmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 3.2 : Dalga üretici palet.



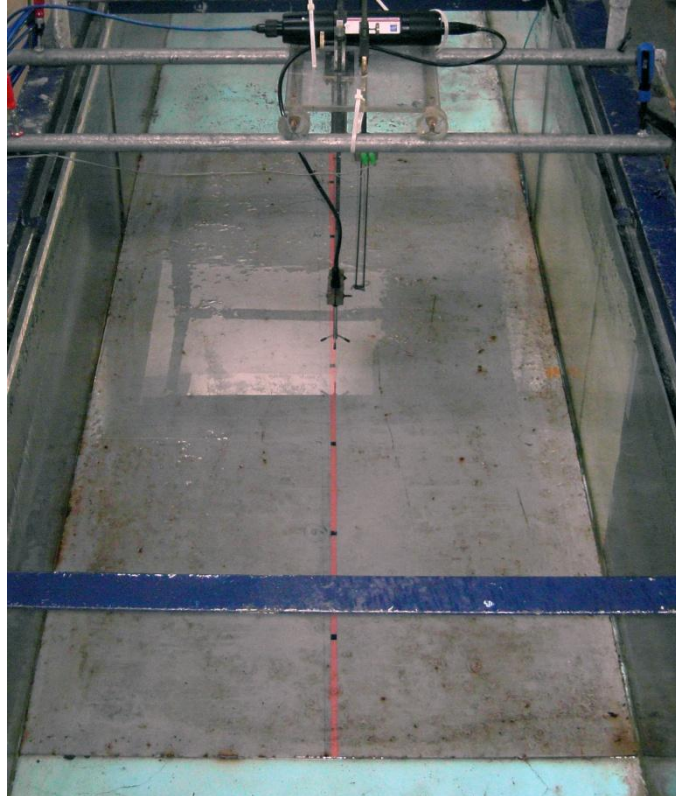
Şekil 3.3 : Regülatör, yağlayıcı sistem ve el kumandası.

Pnömatik piston kanala düşey olarak yerleştirilmiş olup pistonun hareketini tetikleyen bir el kumandalı sürgülü tip valf ile kontrol edilmektedir (Şekil 3.3). Ayrıca piston giriş ve çıkışında, pistonun ani çalışmasını sağlayan çabuklaştırıcı ekzostlar vardır. Bu ekzostlara piston hızının ayarlanabilmesi için hız ayar valfi ilave edilmiştir.

3.1.1 Kanal tabanı ve kanalın daraltılması

Kanal tabanı beton kaplama olup ölçüm yapılacak yere 2m x 1m x 0.004m boyutlarında bir metal levha yerleştirilmiştir (Şekil 3.4). Bu levha yerleştirilmeden önce boyanmış olup ölçüm yapılacak nokta üzerinde işaretlenmiştir. Böylece bütün deneyler süresince yapılan ölçümlerde taban pürüzlülüğünün aynı kalması sağlanmıştır. Buna ek olarak taban pürüzlülüğünün ölçümü de bu kullanılan metal plaka sayesinde mümkün olmuştur.

Kıyı morfolojisinin etkilerini ortaya koymak amacıyla da kanal içerisinde kesit daraltma gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5). Bu daraltma işlemi adına su kontrastı denilen ahşap paneller ile gerçekleştirilmiştir. Bu panellerin kalınlığı 2cm olup su içerisinde uzun süre şekil değiştirmeden kalabilmektedirler.



Şekil 3.4 : Üzerinde ölçüm yapılan metal plaka.

Daraltma işlemi sırasında ölçümler ilk önce daraltılan kesitin girişinde yapılmış olup daha sonrasında ise bu ahşap paneller kaydırılarak daralan kesit içerisinde ölçümler yapılmıştır. Böylece ölçüm yapılan noktada taban aynı kalmış olup bu sayede taban pürüzlülüğünden dolayı ortaya çıkabilecek farklılıkların önüne geçilmiştir.



Şekil 3.5 : Kanal içerisinde yapılan kesit daraltması. (a) Üstten görünüş, (b) Kanal içerisinden görünüş.

3.2 Ölçüm Aletleri

3.2.1 Seviye ölçümleri

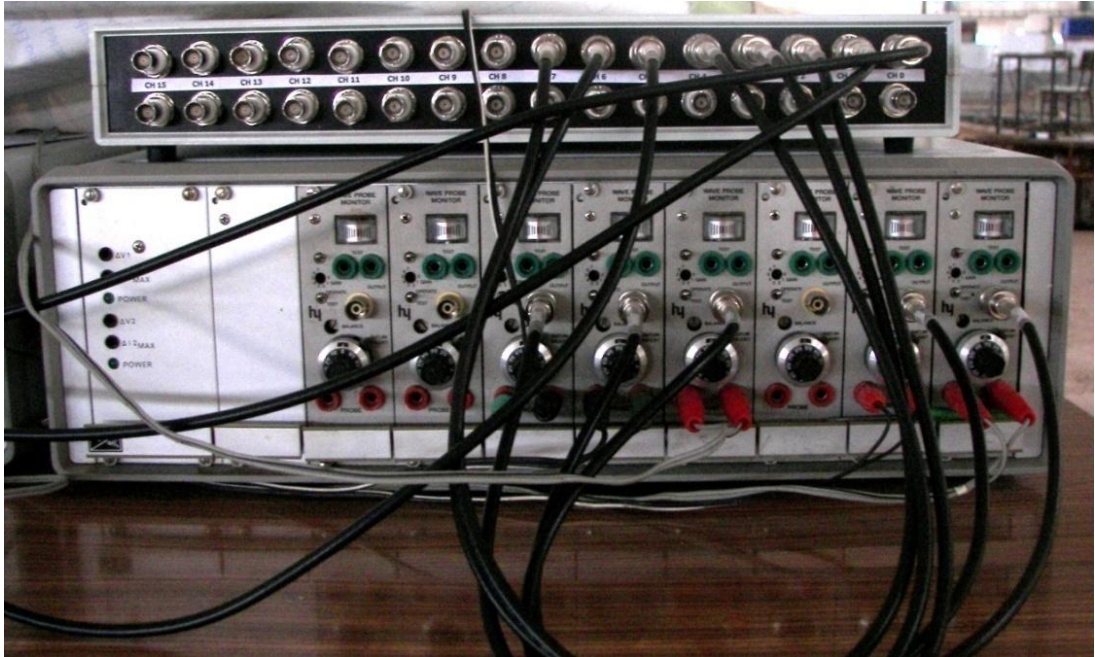
Deneyle sırasında su seviyesi değişimleri “direnc tipi seviye ölçerler” kullanılarak tespit edilmiştir. Bu seviye ölçerler yaklaşık 40cm uzunluğunda ve 2cm genişliğinde 2 adet iletken tel ve tabanında bir adet yalıtkan malzemedden oluşan u şeklinde bir metal çubuktur (Şekil 3.6).

9 voltluk doğru akım kaynağı ile beslenen bu seviye ölçerlerin direnci suya girip çıktıkça değişmektedir. Bu sistemin voltaj beslemesi HR Wallingford tarafından üretilen 8 kanallı bir voltmetre (dalga monitörü) sayesinde yapılmıştır (Şekil 3.7). Direnc değişimleri ise bu dalga monitörüne bağlanan National Instruments NI-9215 analog/digital (A/D) dönüştürücü ve Signal Express programı ile sayısallaştırılıp bilgisayara Matlab dosyası olarak kaydedilmiştir. Böylelikle su seviyesi değişimleri tespit edilmiştir. 4 kanalla sahip olan NI-9215, 16 bit çözünürlükte ve $\pm 10V$ aralıkta her bir kanalı için eş zamanlı kayıt yapabilmektedir. Ayrıca kanal başına 100kS/s’lik bir veri alma sıklığına sahiptir.



Şekil 3.6 : Seviye ölçer.

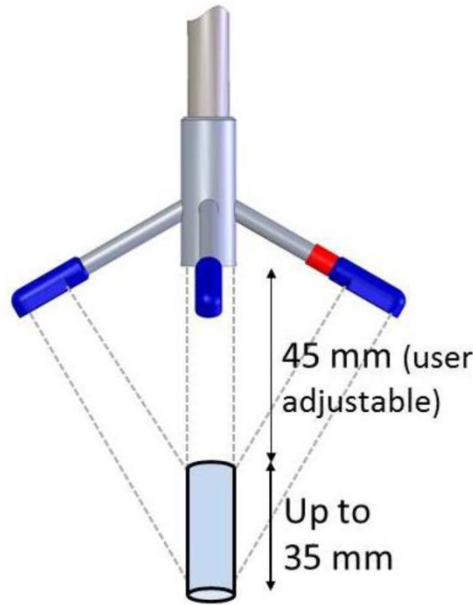
Deney verisi alınmadan önce kablolardan kaynaklanan direnç farkları sıfırlanmaktadır. Daha sonra ise seviye ölçerler su içerisine batırılıp çıkartılarak cm-Volt eğrisi elde edilmektedir. Bu eğri ışığında deney sırasında okunan volt değerleri küçük bir ara program aracılığıyla cm'ye çevrilmektedir.



Şekil 3.7 : Voltmetre (dalga monitörü).

3.2.2 Hız ölçümleri

Hız ölçümleri Nortek AS firmasının ürettiği “Vectrino Profiler” isimli 3D akustik dopler (ADV) ile gerçekleştirilmiştir. Bu tip hız ölçerler, akım içerisine bir ses sinyali (pulse) gönderirler. Bu sinyal akım içerisinde hareket eden parçacıklar tarafından yansıtılır. Akım hızından dolayı da yansıyan ses sinyalinin frekansında bir değişim meydana gelir. Doppler etkisi denilen bu ses sinyalinin frekansındaki değişimi elde edebilmek amacıyla ADV, üzerinde bulunan 4 farklı koldaki mikrofonlarla yansımaları dinler. Gönderilen ve yansıma sonucu elde edilen ses dalgalarının frekansları arasındaki fark ile de akım hızı tespit edilir. Böylelikle akım içerisinde belirli bir noktadaki 3 boyuttaki (u, v, w) hız bileşenleri elde edilir. Deneyler sırasında kullanılan “Vectrino Profiler” ise standart ADV’lerden farklı olarak 35mm boyunca 1mm aralıklarla 35 noktada üç boyutta 100Hz hız verisi alabilmektedir. Böylelikle akım içerisinde derinlik boyunca hız profiline elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Ek olarak bahsi geçen 35 noktada alınan veriler eş ve gerçek zamanlı olarak her üç boyutta da kaydedilmektedir. Maksimum $\pm 3\text{m/s}$ 'lik hızlara kadar ölçüm alan bu ADV ayrıca probun tabandan olan mesafesini de 10 Hz sıklıkla ölçebilmektedir.



Şekil 3.8 : ADV ölçüm alanı (NortekUSA, 2013).

Şekil 3.8’de gösterildiği gibi ADV 6mm çapında ve 35mm boyunda bir alanda ölçüm yapabilmektedir. Ölçüm boyu 1mm ile 35mm arasında ve bu ölçüm alanının proba olan mesafesi de 40mm ile 70mm arasında olacak şekilde kullanıcı tarafından ayarlanabilmektedir. Ayrıca hız verisi alma sıklığı da maksimum 100 Hz olacak

şekilde ayarlanabilmektedir. Hız verileri, üretici firma tarafından sağlanan bir program (Vectrino Profiler) vasıtasıyla kaydedilmekte olup çıktılar Matlab dosyası olarak elde edilmektedir.

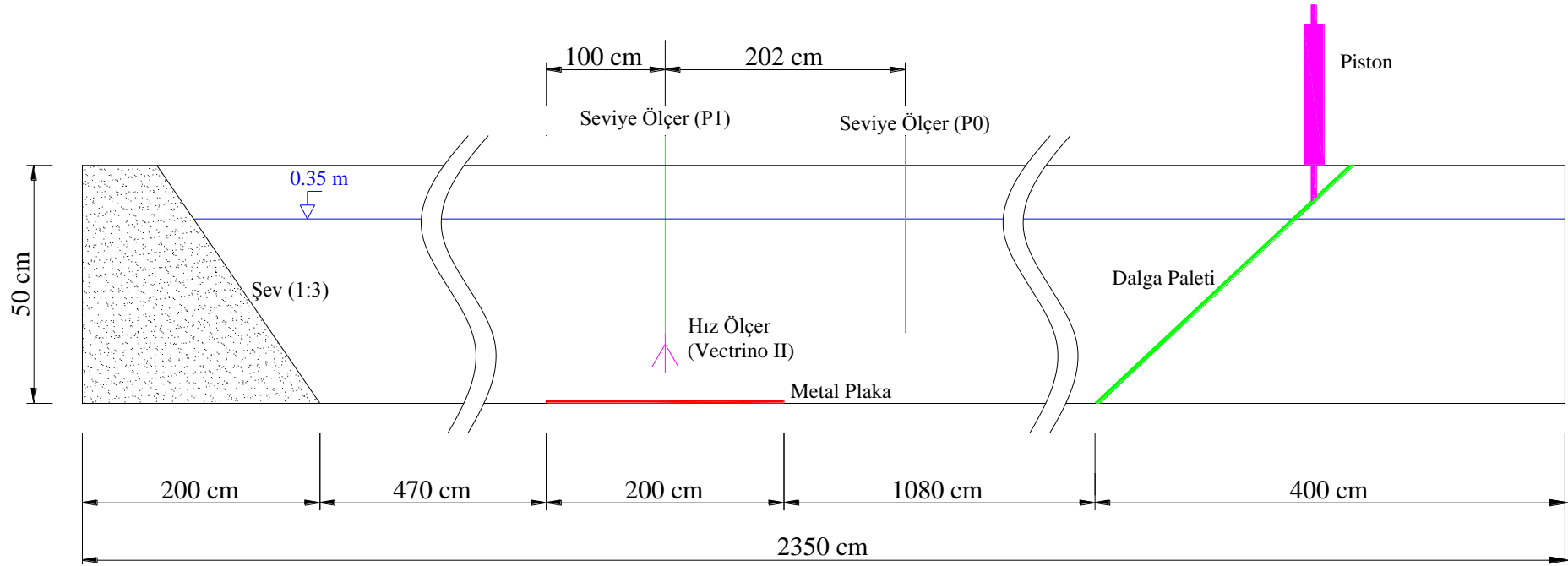
Bunlara ek olarak ADV, her veri almaya başladığında bir senkronizasyon sinyali gönderebilmektedir. İşte bu sinyal, su yüzü profillerinin kaydedildiği NI-9215 analog/dijital dönüştürücünün bir kanalına bağlanmak suretiyle kaydedilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

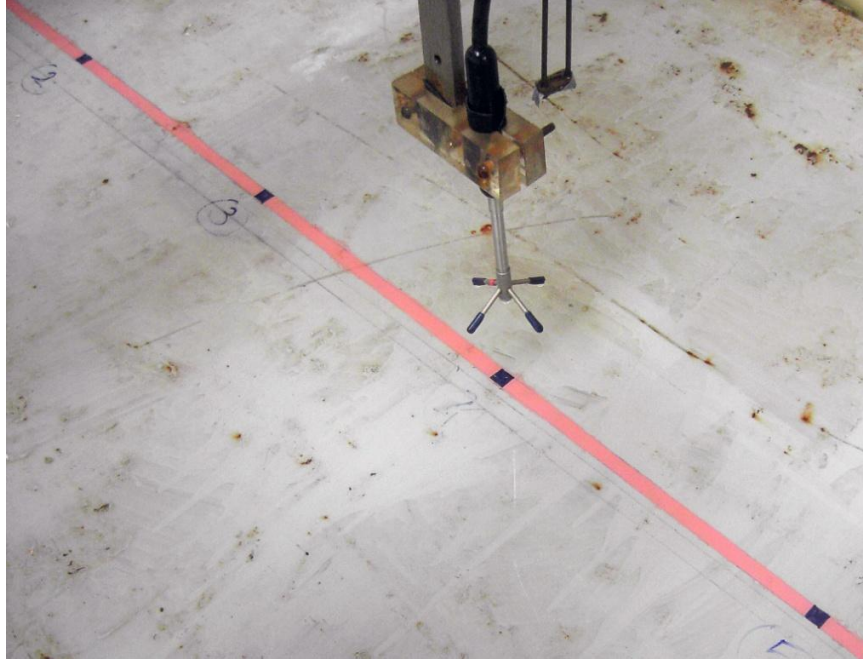
Ters genlikli iki adet soliter dalganın süperpozisyonundan oluşan N-dalgasına ait fiziksel özelliklerin ortaya konulması amacıyla iki ana başlık altında deneysel çalışmalar yürütülmüştür. İlk aşamada taban hız profiline değişimi, türbülans özellikleri ve taban kayma gerilmesi gibi parametreler incelenmiştir. İkincil olarak ise kanal 3 değişik açılı ile daraltılarak bu daraltma sonucunda ortaya çıkan dalganın fiziksel değişimi incelenmiştir. Bu bölümde bu her iki ana başlık için yapılan deneysel çalışmaya ait detaylar sunulmaktadır.

4.1 Deney Düzenegi

23.5m x 1.0m x 0.5m ölçülerine sahip deney kanalına Şekil 4.1’de boy kesiti verilen deney düzenegi kurulmuştur. Kanalın bir ucunda 2.0m x 0.97m x 0.02m boyutlarına sahip pleksiglas malzemedен üretilmiş olan dalga paleti ve bu paleti hareket ettiren piston mekanizması bulunmaktadır. Kanalın diğer ucunda ise 1:3 eğime sahip ve 2m taban genişliği olan kumdan bir şev inşaa edilmiştir. Böylelikle üretilen dalganın bu şev üzerinde tırmanması sağlanarak dalganın kanal dışına taşması engellenmiştir. Ayrıyeten bu kum şev dalganın sönümlenmesinde de önemli bir rol üstlenmiştir. Böylelikle iki deney arası bekleme süresi bir miktar azaltılmıştır. Bu bahsi edilen şevin bitiminden itibaren 4.70m uzaklıkta üzerinde ölçüm yapılan ve detayları bölüm 3.1.1’de anlatılan 2m boyundaki metal levha yerleştirilmiştir. Bu levha daha önce de belirtildiği gibi boyanmış olup tam orta aksı açık turuncu bir renk boya kullanılarak işaretlenmiştir (Şekil 3.4). Ayrıca bu hat üzerinde 0.25m aralılarla mavi renk boya ile işaretler konulmuştur. Çalışma boyunca yapılan bütün hız ölçümleri levhanın tam ortasına (1m) denk gelecek şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2). Tam bu noktaya bir adet Vectrino II hız profili ölçer yerleştirilmiş olup aynı kesitte olacak şekilde 0.04m yanına bir adet seviye ölçer (P1) yerleştirilmiştir (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).



Şekil 4.1 : Kanal içerisine kurulan deney düzeneğine ait boy kesit görünümü.

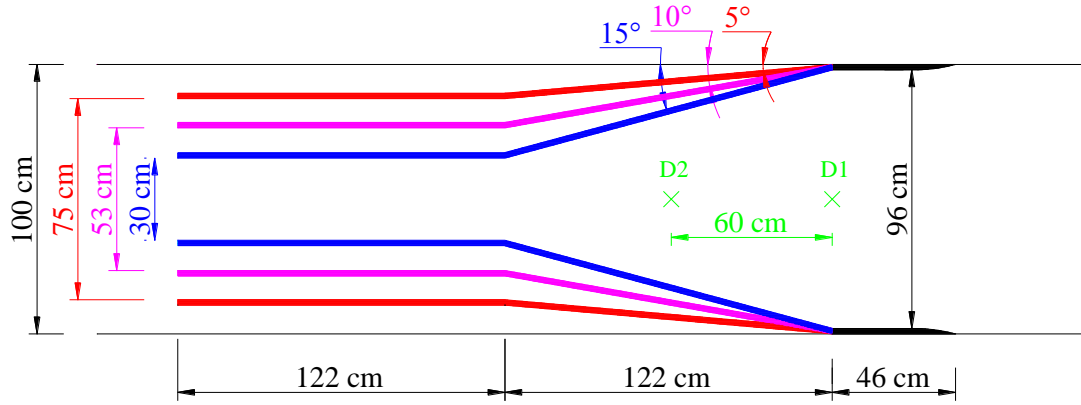


Şekil 4.2 : Ölçüm yapılan nokta ve hız ve seviye ölçerlerin yerleşimi.

P1 seviye ölçerinden 2.02m uzaklıkta ve açık deniz tarafında ise ikinci bir seviye ölçer yerleştirilmiştir (P0). Bu iki seviye ölçer sayesinde de dalga ilerleme hızı elde edilmiştir. Bunlara ek olarak hız ölçerinin senkronizasyon çıkışı dalga ölçer sisteminde bulunan NI-9215 A/D'nin bir kanala bağlanmıştır. Böylece hız ölçerinin veri almaya başladığı anda senkronizasyon sinyali sayesinde seviye ölçer verisinde de bir işaret yakalanmıştır. Bu işaret sayesinde de hız verileri ile seviye ölçüm verileri eş zamanlı olacak şekilde örtüştürülmüştür.

Deneyle sırasında hız verileri 100Hz ve su seviyesi ölçümleri ise de 250Hz sıklıkla kaydedilmiştir. Aslında su seviyesi ölçümleri için 50Hz'lik bir sıklık yeterli olmasına rağmen alınan senkronizasyon verisinin hata payını düşürmek için hız verisinden daha yüksek bir sıklık tercih edilmiştir.

Kıyı morfolojisinin etkilerinin incelenmesi amacıyla da deney kanalı detayları bölüm 3.1.1'de verildiği şekliyle ahşap panellerle daraltılmıştır. Bu daraltma için kullanılan ahşap paneller vasıtasıyla kanal 5°, 10° ve 15° olmak üzere üç defa daraltılmıştır. Daraltmalara ait ölçümlendirme Şekil 4.3'te plan görünüşü olarak verilmiştir. Bu daraltma esnasında şekil üzerinde gösterilen D1 ve D2 noktalarında hız ve seviye ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Fakat bu ölçümler yapılırken ölçüm aletlerini D1 noktasından D2 noktasına kaydırmak yerine ahşap panellerin tamamının kaydırılması tercih edilmiştir. Böylelikle taban özellikleri değişmediğinden bu özelliklerin değişiminden kaynaklanabilecek farklılıklarda ortadan kaldırılmıştır.



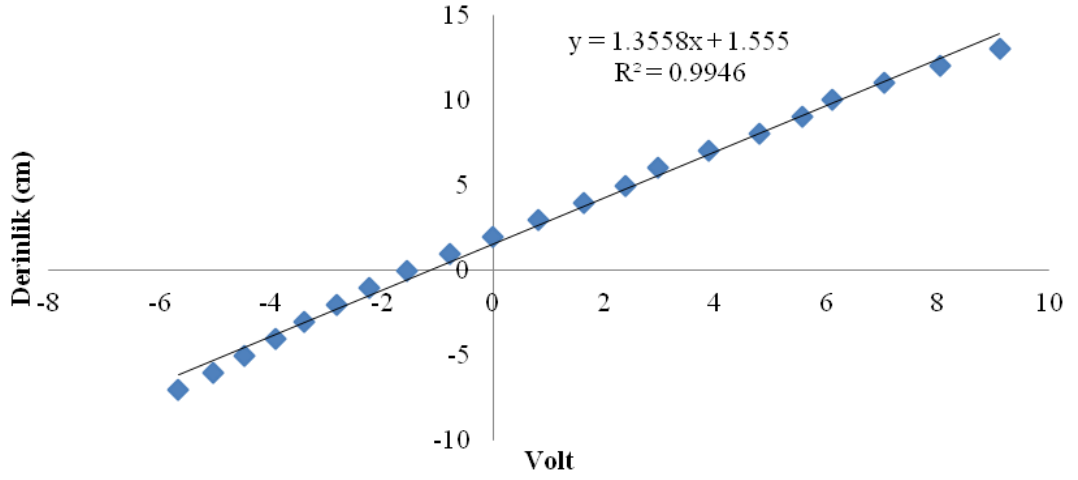
Şekil 4.3 : Kanal plan görünümünde daraltma açıları ve ölçüm noktaları.

4.2 DeneY Yöntemi

Bütün yapılan deneylerde izlenen yöntem adımları şu şekildedir:

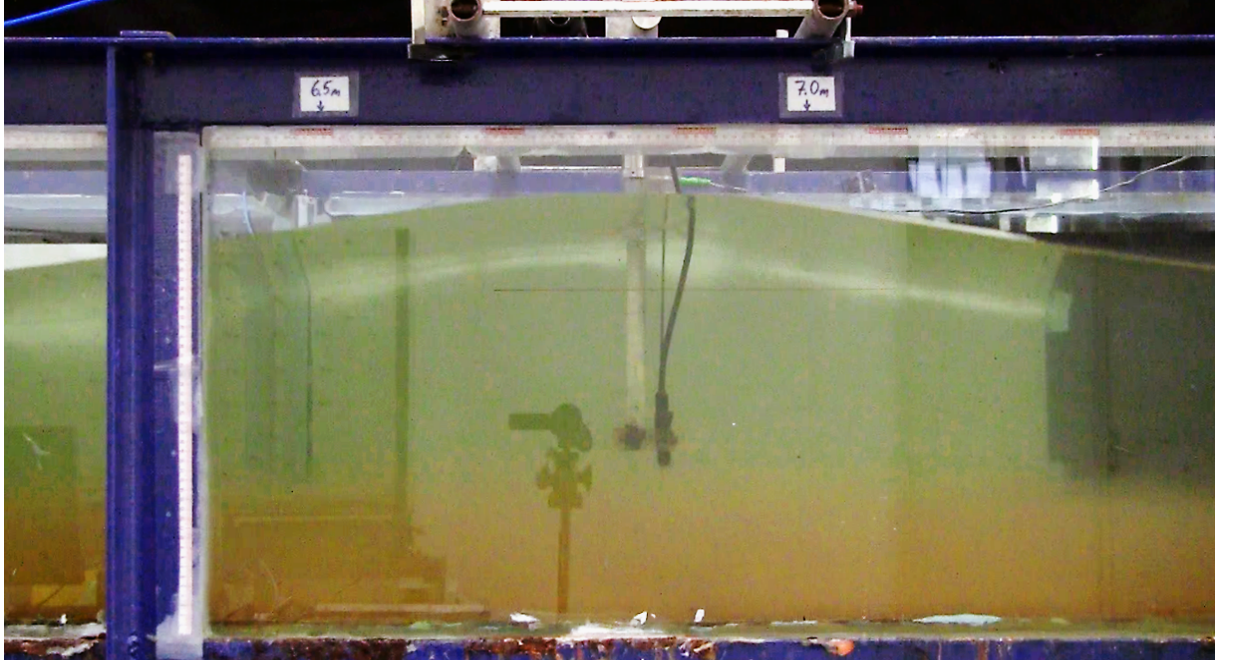
- Kanal içerisi 0.35m derinlik elde edilecek şekilde su ile dolduruldu. Derinlik hem kanal içerisine yerleştirilen sabit metreler ile hem de kanal içerisindeki limnometre ile kontrol edildi.
- Seviye ölçer sistemin kablo kalibrasyonları yapılarak kablolardan kaynaklanan dirençler sıfırlandı.
- Seviye ölçerler 0.01m aralıklarla su içerisine batırılıp çıkartılarak bu değerlere karşılık gelen volt değerleri okundu. Bu sayede kalibrasyon eğrileri elde edildi. Bu eğriler lineer olup bu eğrilere ait denklemler sayesinde her bir seviye ölçerin okuduğu volt değerine karşılık gelen seviye değeri elde edildi. Örnek bir kalibrasyon eğrisi ve bu eğriye ait denklem Şekil 4.4'te verilmiştir.
- Hız ölçerin sağlıklı bir okuma yapabilmesi için su içerisinde partikül miktarının fazla olması gerekmektedir. Bu nedenle bir fırça yardımı ile kanalın tamamında su karıştırılarak tabana çökmüş durumda olan ince sedimentlerin askıya geçmesi sağlanmıştır.
- Piston, dolayısıyla da palet, yukarıya kaldırıldı.
- Kanal içerisindeki akımın (özellikle kanal salınım hareketinin) çok düşük mertebelere kadar azalması için suyun sakinleşmesi beklendi. Bu süre deney yapılan kanal için yaklaşık 1 saat sürmektedir.

Kalibrasyon Eğrisi (Deney No:101)



Şekil 4.4 : Bir deneye ait örnek bir kalibrasyon eğrisi ve denklemi.

- Kamera kaydı alınmaya başlandı.
- İlk olarak su seviyesi ölçümü ve ardından da hız verisi kaydedilmeye başlandı. Böylece hız ölçerin gönderdiği senkronizasyon sinyali su seviyesi ölçüm sisteminde kaydedildi.
- Piston 8 bar basınç olacak şekilde hava ile dolduruldu.
- Piston aşağıya hareket ettirildi ve N-dalgası üretildi (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Üretilen N-dalgası.

- Kayıt alma işlemleri durduruldu.

- Kayıt alınan veriler Matlab dosyasına çevirildi ve yedeklendi.
- Yapılan gözlemler veya karşılaşılan aksilikler deney defterine yazıldı.

Her bir deney için yukarıda belirtilen adımlar tek tek uygulanmıştır.

4.3 Deney Planı

Yapılan deneyler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada N-dalgalarının karakteristik özelliklerini ortaya koymak amacıyla seçilen bir dalga 40 defa gönderilmiştir. Bu esnada da taban sıfırından itibaren her 0.001m'de bir 35 noktada hız ölçüm yapılmıştır. Eş zamanlı olarak da su seviyesi yerleri Şekil 4.1'de gösterilen proplarla kaydedilmiştir. Bu 40 deney sonucunda çıkan veriler ile grup ortalaması çalışması yapılmıştır. Böylece incelenen bu N-dalgası için karakteristik bir su yüzü profili, dalga ilerleme hızı, 3 boyutta hız profili ve yine 3 boyutta hız profili değişimleri elde edilmiştir. Daha sonra ise ortalama hız değerlerinin elde edilebilmesi için (logaritmik profilin elde edilebilmesi için) hız probu 0.035m ve 0.07m yukarıya kaldırılarak üçer adet deney daha yapılmıştır. Böylece bu ilk aşama için toplam 46 adet deney gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1 : Deney planı.

Deney No	Deney Adedi	Taban mesafesi (m)	Kanal Daraltma	Daraltma Açısı	Ölçüm Noktası
101~140	40	0	Hayır	N/A	N/A
201~203	3	0.035	Hayır	N/A	N/A
204~206	3	0.070	Hayır	N/A	N/A
301~303	3	0	Evet	5°	D1
304~306	3	0	Evet	10°	D1
307~309	3	0	Evet	15°	D1
401~405	5	0	Evet	5°	D2
406~410	5	0	Evet	10°	D2
411~415	5	0	Evet	15°	D2

İkinci aşamada ise deney kanalı daraltılmış (Şekil 4.3) olup 3 farklı daraltma açısı denenmiştir. Her bir daraltma açısında Şekil 4.3'te gösterilen D1 ve D2 noktalarında ölçümler alınmıştır. D1 noktasında her bir daraltma açısı için 3 adet deney tekrarlanırken D2 noktasında ise her bir daraltma açısında 5 adet deney yapılmıştır. Böylelikle daraltma kaynaklı değişimlerin ortaya konması amacıyla yapılan deney sayısı toplam 24 adet olmuştur.

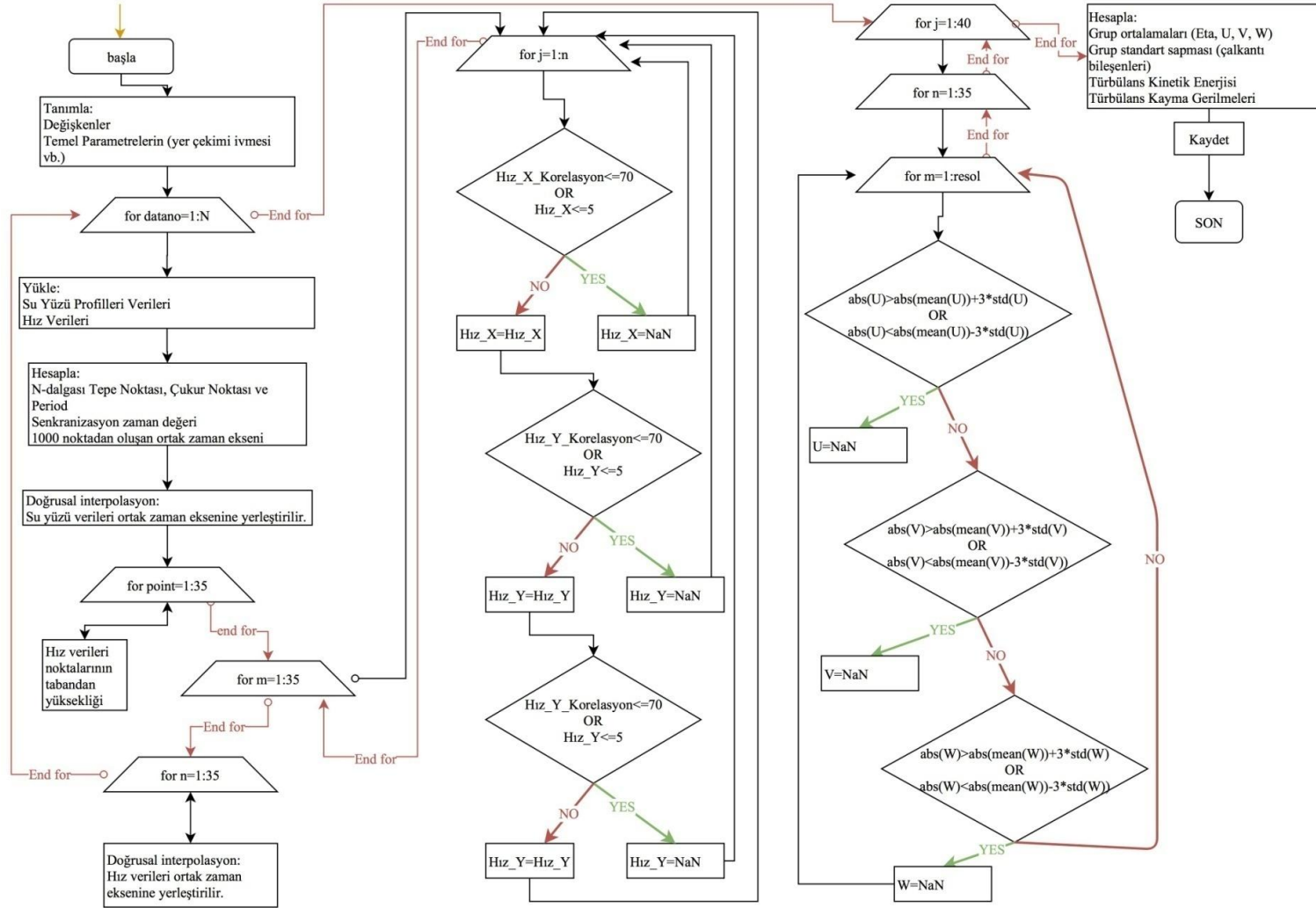
Deneylere ait planlar Çizelge 4.1’de özetlenmiş olup bu çalışma kapsamında toplam 70 adet deney yapılmıştır.

4.4 Verilerin Değerlendirilmesi

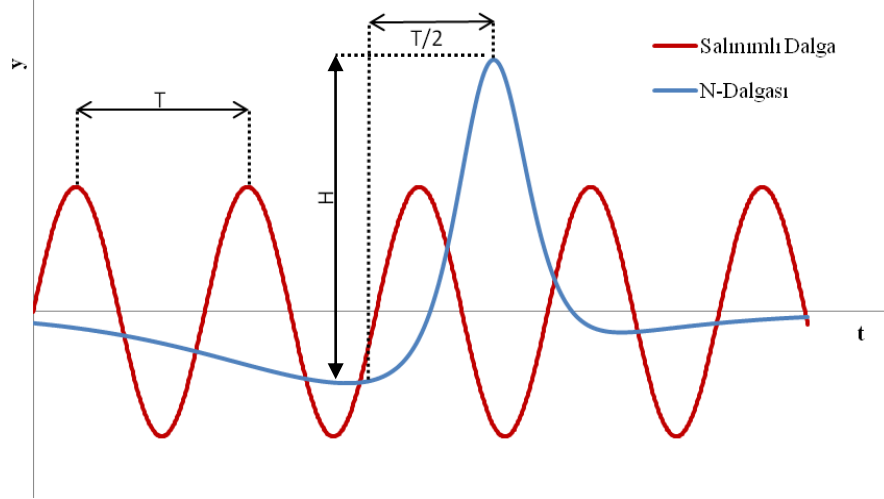
Verilerin değerlendirilmesinde Matworks şirketine ait Matlab programının R2012a (7.14.0.739) versiyonu kullanılmıştır. Deneysel çalışma sırasında iki ana veri seti alınmıştır. Bunlar su yüzü değişimlerini veren dalga verileri ve hız değişimini veren hız profili verileridir. Verilerin değerlendirilmesine ilk olarak dalga kayıtları ile başlanılmıştır. Her biri 250 Hz sıklıkla toplam 3 adet kanaldan veriler alınmış ve Excel dosya formatında kaydedilmiştir. Bu üç kanaldan 0 numaralı olan ile açık deniz probuna ve 1 numaralı olan ile de hız değerlerinin okunduğu kesite ait su yüzü değişimleri kaydedilmiştir. 2 numaralı kanal ise hız probundan gelen senkronizasyon verisini kaydetmiştir. Bu çalışma kapsamında bir Matlab program kodu hazırlanmış ve bu kod vasıtasıyla her bir deneye ait su yüzü profilleri kalibrasyon denklemi ile düzenlenerek elde edilmiştir. Ayrıca senkronizasyon değerleri de her bir deney için bulunmuştur. İşlenen bu veriler daha sonraki programlarda kullanılmak üzere Matlab dosyası olarak kaydedilmiştir.

Bir sonraki aşamada ise hız verileri bir önceki aşamada elde edilen su yüzeyi profilleri ile birlikte işlenmiş olup deneylere ait grup ortalamaları hesaplanmıştır. Bu işlemlerin yapılması için bir Matlab program kodu hazırlanmıştır. Bu program koduna ait algoritma (akış şeması) Şekil 4.6’da sunulmuştur. Hazırlanan bu program 308 satır kod içermekte olup bu program vasıtası ile elde edilen deney verileri işlenmiştir.

Bu işlemler yapılırken ilk olarak sisteme N-dalgası için fiktif bir period tanımlanmıştır. Bilindiği gibi salınımlı dalgalarda iki benzer nokta arasındaki (mesela iki tepe noktası) zaman farkı period olarak tanımlanmaktadır. Dolayısı ile bir tepe ile takip eden çukur noktası arasındaki zaman ise periyodun yarısı kadardır. Bu notasyon N-dalgasına da uygulanmış olup bir LDN dalgasında öncül çukur ile ardından devam eden maksimum tepe noktası arasındaki zaman yarım periyod olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.7). Bu aşamadan sonra bahsedeceğimiz period terimi işte bu fiktif periyodu belirtecektir. Ayrıca yine bu iki nokta arasındaki düşey mesafeye de dalga yüksekliği (H) denecektir. Grup ortalaması yapılan ilk 40 deney için (Deney No:101~140) ortalama period 1.811 saniye olup standart sapması 0.0227 saniyedir.



Şekil 4.6 : Hesap programına algoritma (ait akış şeması).

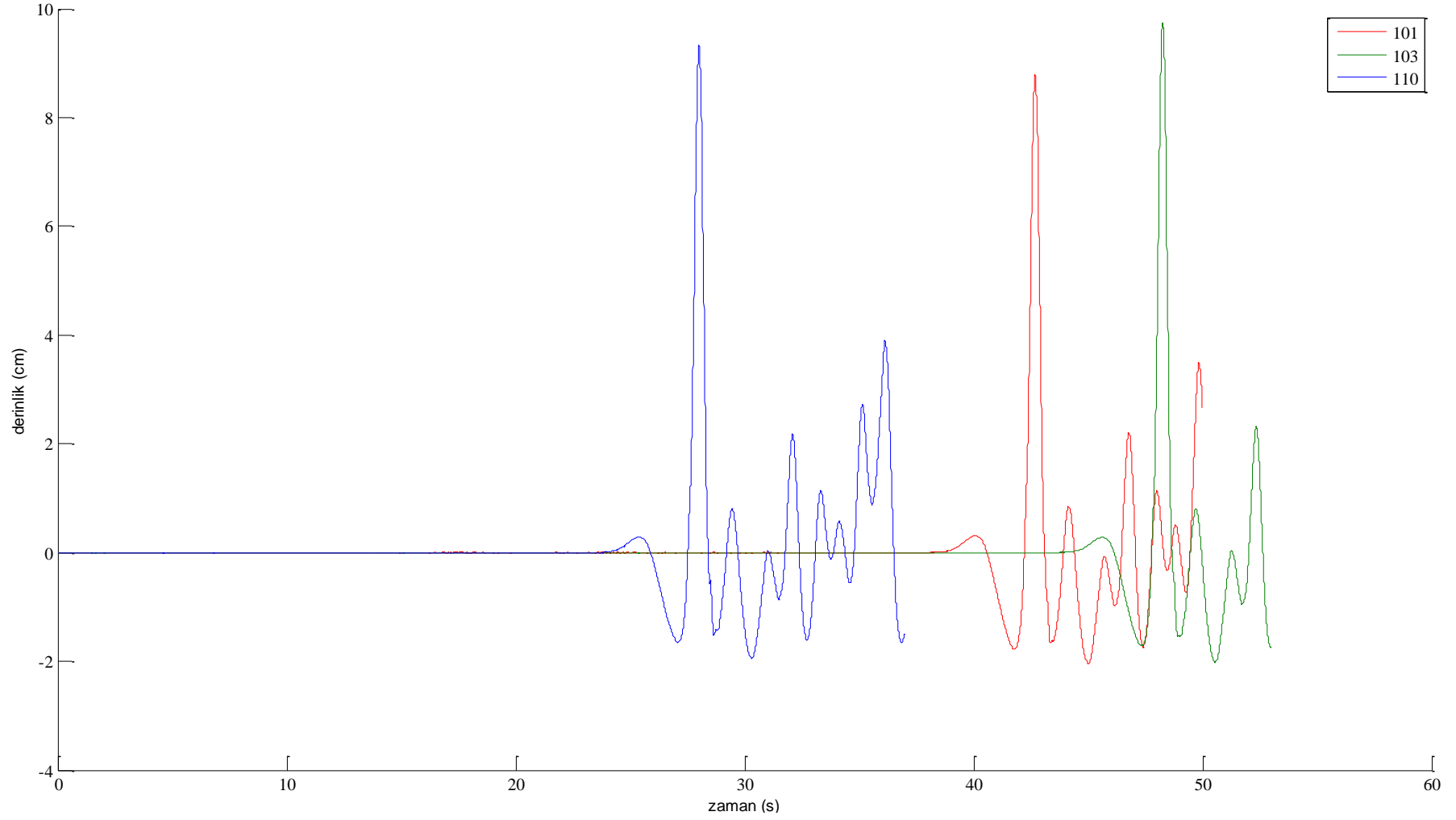


Şekil 4.7 : Salınlı dalgada periyod ve tipik bir çukur öncül N-dalgası'nda tanımlanan yarım periyod.

Şekil 4.6'da akış şeması sunulan bilgisayar programında ilk olarak temel parametreler ve değişkenler tanımlanmıştır. Daha sonraki aşamada ise daha önce elde edilmiş olan su yüzeyi profilleri yüklenmiştir. Programın devam eden adımlarında her bir su yüzü profili için N-dalgasının tepe ve çukur noktaları ile Şekil 4.7'de gösterilen period değeri bulunmuştur.

Deneyler sırasında veri almaya başlanması ile piston yardımıyla dalga üretilmesi arasında her bir deney için geçen süreler farklıdır. Bu nedenle her bir deneyde N-dalgası farklı zaman aralıklarında oluşmaktadır. Bu durum Şekil 4.8'deki grafik ile örneklendirilmiştir.

Bu grafikte 3 farklı deneye (Deney No:101, 103 ve 110) ait su yüzü profilinin zamanla değişimi örnek olması bağlamında verilmektedir ve bu grafikten de rahatlıkla anlaşılabilceği gibi deneylerdeki eş noktalar arasında bir zaman farkı bulunmaktadır. Bir başka deyişle her bir verinin alındığı nokta her deneyde farklılık göstermektedir. Bu nedenden dolayı yapılan deneylerin eş noktalarının (tepe, çukur v.s.) ilk olarak çakıştırılıp daha sonrasında ise grup ortalamasının yapılabileceği aşikardır. Bu bağlamda ilk olarak bir zaman eksenini tanımlanmıştır. Her deney için N-dalgasının çukur noktasına denk gelen zaman değeri 0 (sıfır) olacak şekilde negatif doğrultuda period'un 2.5 katı ve pozitif yönde de 3 katı boyunda bir zaman eksenini tanımlanmıştır. Bu zaman eksenini 1000 parçaya bölünüp her bir noktaya denk gelen su yüzü profil değeri doğrusal interpolasyon ile hesaplanmıştır. Böylelikle her bir deneye ait su yüzü profil verisi grup ortalaması için hazır hale getirilmiş olup programın ilerleyen adımlarında da grup ortalaması alınmıştır.



Şekil 4.8 : 3 farklı deneye ait su yüzü profilleri.

Şekil 4.6’da sunulan programın ilerleyen adımları, yapılan hız ölçümlerine ait verilerin işlenmesiyle devam etmektedir. Hız verileri yüklendikten sonra ilk olarak her bir deney için bulunan ilgili su yüzü profili ile hız ölçümleri arasındaki zaman farklılıkları (senkronisasyon zaman değeri), hız ölçümü zaman değerlerinden çıkartılarak her iki veri seti arasında eşzamanlılık sağlanmıştır. Daha sonra ise tabandan itibaren 35 noktada yapılan eşzamanlı hız ölçümlerinde bu her bir noktanın tabandan olan mesafesi programda tanımlanmıştır. Bu aşamadan sonra hız verilerinin filtre edilmesi işlemine geçilmiştir. Filtre olarak hız korelasyon değerinin %70’ten aşağı olması ve sinyal gürültü oranının (SNR) 5’ten az olması durumunda o değer ihmal edilmesi olarak tanımlanmıştır.

Filtreleme işleminin ardından elde edilen hız verileri yine grup ortalaması yapabilmek adına su yüzü profilinde olduğu gibi aynı zaman eksenine karşılık gelecek şekilde doğrusal interpolasyon yapılmıştır.

Devam eden adımda hız verilerinin grup ortalamaları elde edilmiştir. Bunu yaparken ise ilk olarak 40 deneyde her bir zaman adımına ait ortalamalar ve standart sapmalar hesaplanmıştır. Daha sonra ise eğer bu zaman adımında deneylerdeki değerler standart sapmanın 3 katından fazla veya az ise bu değer gürültü (noise) olarak değerlendirilerek veri içerisinden silinmiştir (Zanke, 2003). Böylece ikinci bir filtreleme yapılarak hız verisinden gürültü değerleri ayıklanmıştır. Bu filtrelemenin ardından ise her bir zaman adımı için grup ortalamaları alınarak ortalama hız değerleri elde edilmiştir (\bar{u} , \bar{v} , \bar{w}). Özetlemek gerekirse herhangi bir parametre $[\theta(t)]$ için grup ortalama hızı aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

$$\bar{\theta}(t) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [\theta(t)]_j \quad (4.17)$$

Çalkantı bileşenleri (w , v , w') ise bu değerlerin standart sapmasının karekökü olarak hesaplanmıştır (Denklem 4.2).

$$(\bar{\theta}^2)^{1/2}(t) = \left\{ \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N \{[\theta(t)]_j - \bar{\theta}(t)\}^2 \right\}^{1/2} \quad (4.2)$$

Bunun yanı sıra çalkantı bileşenleri çarpımlarının ortalamaları ($\overline{u \cdot v}$, $\overline{u \cdot w}$, $\overline{v \cdot w}$) ise farklı bir yoldan hesaplanmıştır. Bu değerler hesaplanırken ilk olarak hız değerlerinden ortalama hızlar çıkartılmış daha sonra çarpımlar yapıldıktan sonra ortalamalar alınmıştır.

Türbülans kinetik enerjisi (TKE) ise bir sonraki program adımında şu şekilde hesaplanmıştır:

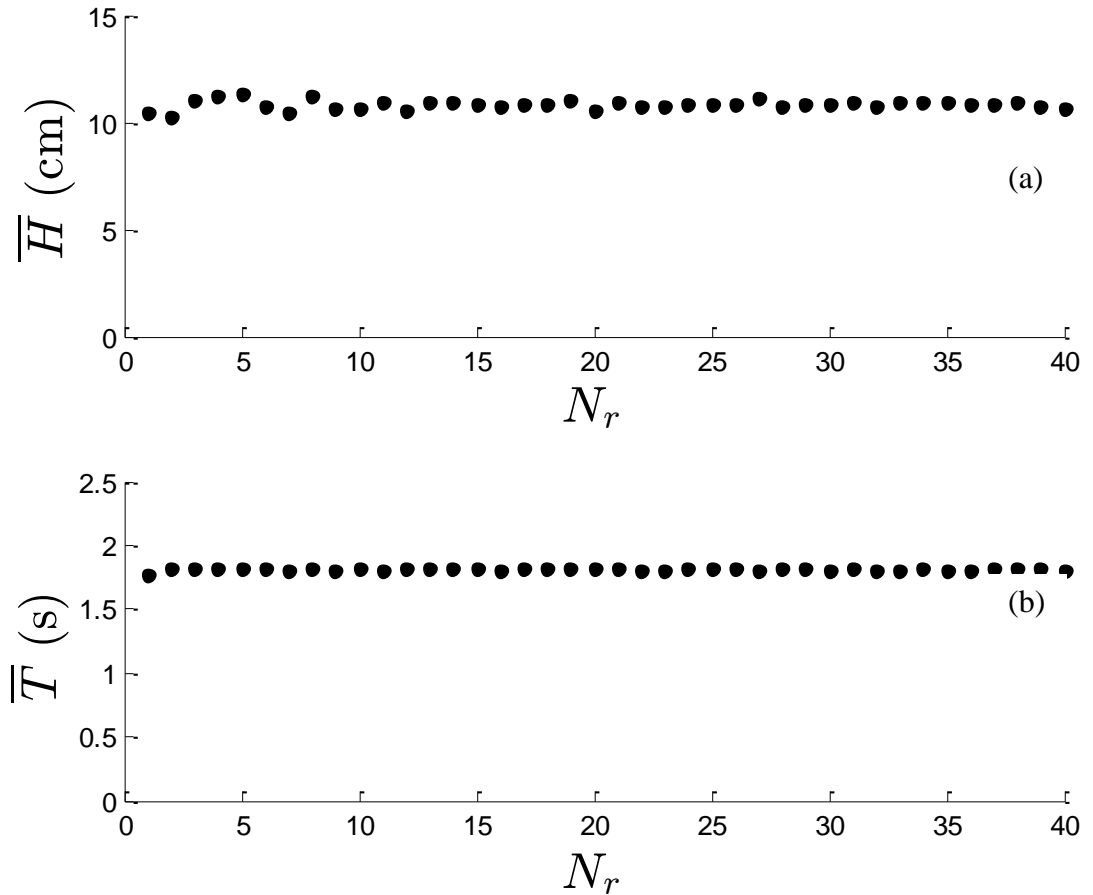
$$TKE = \frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2) \quad (4.3)$$

Şekil 4.6 kapsamında verilen program akışında son olarak su yüzü maksimum hız değeri deneyler ışığında hesaplanmış olup bu değer ise $U_0 = 0.389m/s$ olarak elde edilmiştir.

Bir diğer hesaplama programı ortalama dalga ilerleme hızının hesaplanması için hazırlanmıştır. Bu program kodları ile seviye ölçerler (Şekil 4.1) arasındaki mesafe (202cm) dalga tepesinin bu seviye ölçerlerden geçiş zamanları arasındaki farka bölünerek dalga ilerleme hızları elde edilmiştir. Ortalama dalga ilerleme hızı $C=1.88m/s$ olarak hesaplanmış olup 40 deneydeki dalga ilerleme hızlarının standart sapması $0.01m/s$ olarak elde edilmiştir.

5. DEĞERLENDİRMELER

İlk olarak grup ortalaması için yapılan 40 deneyin (Deney No:101~140) tekrarlanabilir olduğunu ortaya koyabilmek amacıyla bir hassasiyet analizi yapılmıştır. Bu bağlamda dalga yüksekliklerine (H) ve dalga periyotlarına (T) ait ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. 40 deney sonucunda dalga yüksekliklerinin ortalaması 10.82cm ve standart sapması 0.57cm olarak elde edilmiştir. Dalga periyodlarının ortalaması 1.811s ve standart sapması 0.023s şeklindedir. Buna ek olarak hassasiyet analizi kapsamında deneylerin tekrarlanabilirliğini ortaya koymak amacı ile Şekil 5.1'de sunulan grafikler hazırlanmıştır.



Şekil 5.1 : Rastgele seçilmiş deney sayısına (N_r) göre ortalama (a) dalga yüksekliği (\bar{H}) ve (b) dalga periyodu (\bar{T}).

Bu grafiklerde rastgele seçilmiş deney sayısı (N_r) ile ortalama dalga yüksekliği (a) ve dalga periyodu (b) verilmiştir. Bu grafiklerden de anlaşılacağı üzere gönderilen dalgaların birbirine çok yakın olduğu ve en az 10 deneyin grup ortalaması için yeterli olduğu sonucu çıkartılabilmektedir. Bu nedenle yapılan 40 deney, incelenen LDN dalgasının özelliklerini ortaya koymak için yeterli sayıdadır.

5.1 Su yüzü Profili

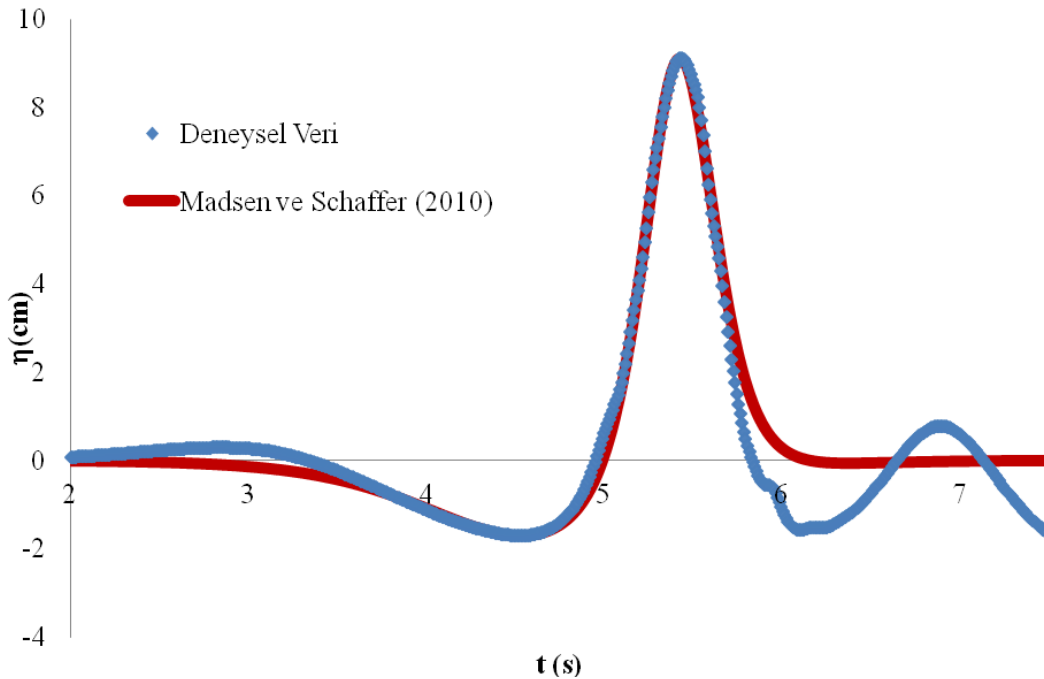
Yapılan çalışma kapsamında üretilen dalganın karakterini ortaya koymak maksadıyla grup ortalaması sonucu elde edilen su yüzü profili, Madsen ve Schaffer (2010)'in önerdiği denklemle (Denklem 2.26) karşılaştırılmıştır (Şekil 5.2). Buna göre denklem 2.26'da Madsen ve Schaffer (2010) tarafından serbest seçilmesi gerektiği belirtilen parametreler şu şekilde seçilmiştir:

$$A_1 = 9.87 \text{ cm (pozitif genlik);}$$

$$A_2 = 1.77 \text{ cm (negatif genlik);}$$

$$\Omega_1 = 3.75 \text{ rad/s, } \Omega_2 = 1.2 \text{ rad/s (açısal frekanslar);}$$

$$t_1 = 5.42 \text{ s, } t_2 = 4.6 \text{ s (faz farkları).}$$

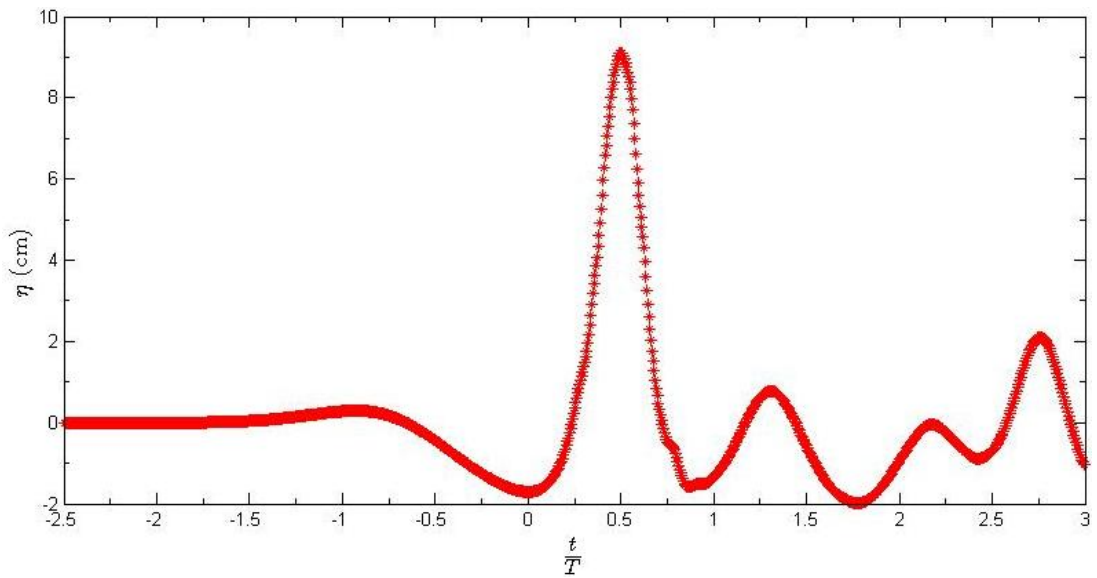


Şekil 5.2 : Tipik bir LDN dalgası (Düz çizgi: Madsen ve Schaffer (2010), noktalı çizgi: grup ortalaması ile elde edilen deney verisi).

Ayrıca bu iki veri arasındaki doğrusal korelasyon da incelenmiştir. $t = 2.0 s$ ile $t = 5.82 s$ (Dalga maksimumunun ardından dalganın sıfırı kestiği ilk nokta) arasındaki verilerin doğrusal korelasyonu 0.995 olarak hesaplanmıştır. Bu da her iki veri arasında çok güçlü bir pozitif korelasyon olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak bu veriler ışığında deneyler süresince üretilen dalganın bir LDN tipi N-dalga'sı olduğu söylenebilir.

Buna ek olarak detayları Bölüm 4.4'te anlatılan ve Şekil 4.6 ile program akış şeması verilen program kullanılarak 40 deneye ait grup ortalaması sonucu elde edilen su yüzü profili Şekil 5.3'de ayrıca verilmiştir.



Şekil 5.3 : Grup ortalaması sonucu elde edilen N-dalgası su yüzü profili.

Bu şekil incelendiğinde $t/T=0$ olduğu yerdeki ilk çukurun -1.70cm olduğu buna mukabil $t/T=0.5$ de bulunan dalga tepesininse 9.11cm değerine sahip olduğu gözlenmiştir. Böylelikle bu iki nokta arasındaki dalga yüksekliği 10.81cm olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu deneyler sonucunda ortalama periyod $T=1.811\text{s}$, dalga ilerleme hızı $C=1.88\text{m/s}$ ve dalga boyu $L=C*T=3.40\text{m}$ olarak elde edilmiştir.

5.2 Yer Değiştirme

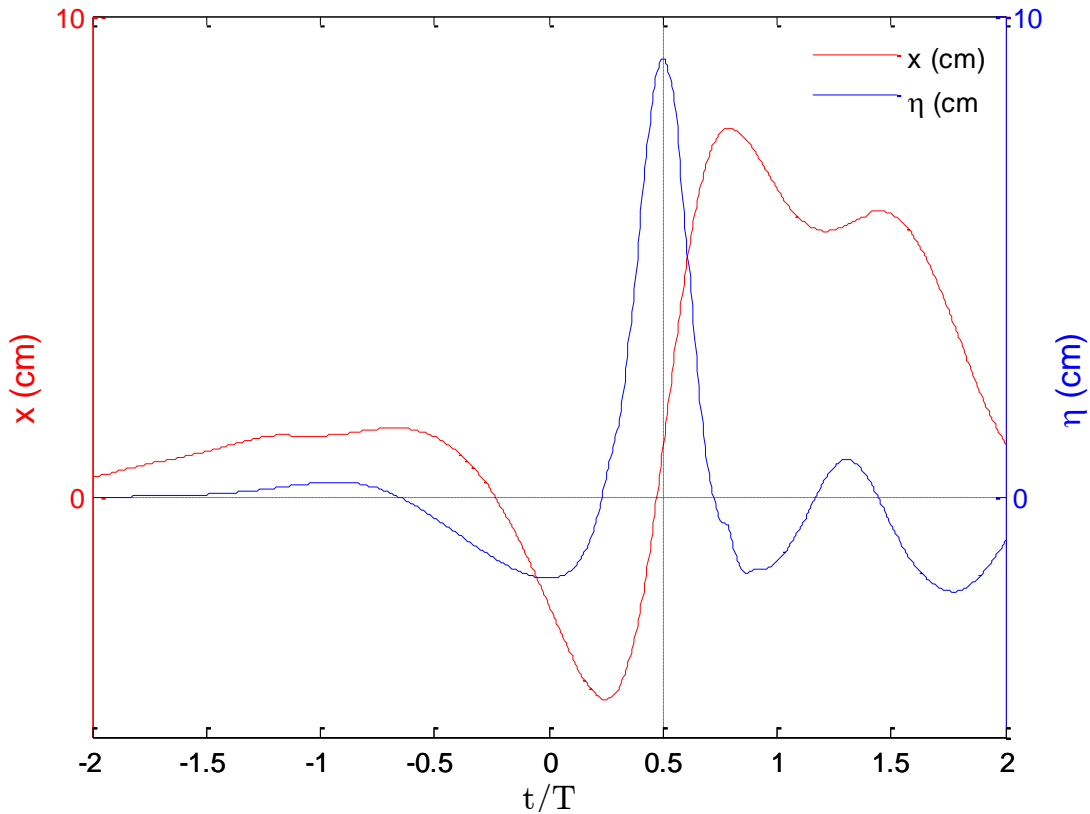
Deneyler boyunca üretilen dalganın akım karakterini ortaya koyabilmek amacıyla Reynolds sayısı hesaplanmıştır. Bir N-dalgasına ait Reynolds sayısının hesabı literatürde mevcut değildir. Bu nedenle deneylere ait Reynolds sayısı, salınımlı dalga ile aynı olacak şekilde hesaplanmıştır. Bu yaklaşım, soliter dalgalara ait Reynolds

sayısı hesaplamalarında da kullanıldığından dolayı aynı şekilde benimsenmiştir (Sumer vd., 2010). Bu minvalde, Reynolds sayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$Re = \frac{aU_0}{\nu} \quad (5.1)$$

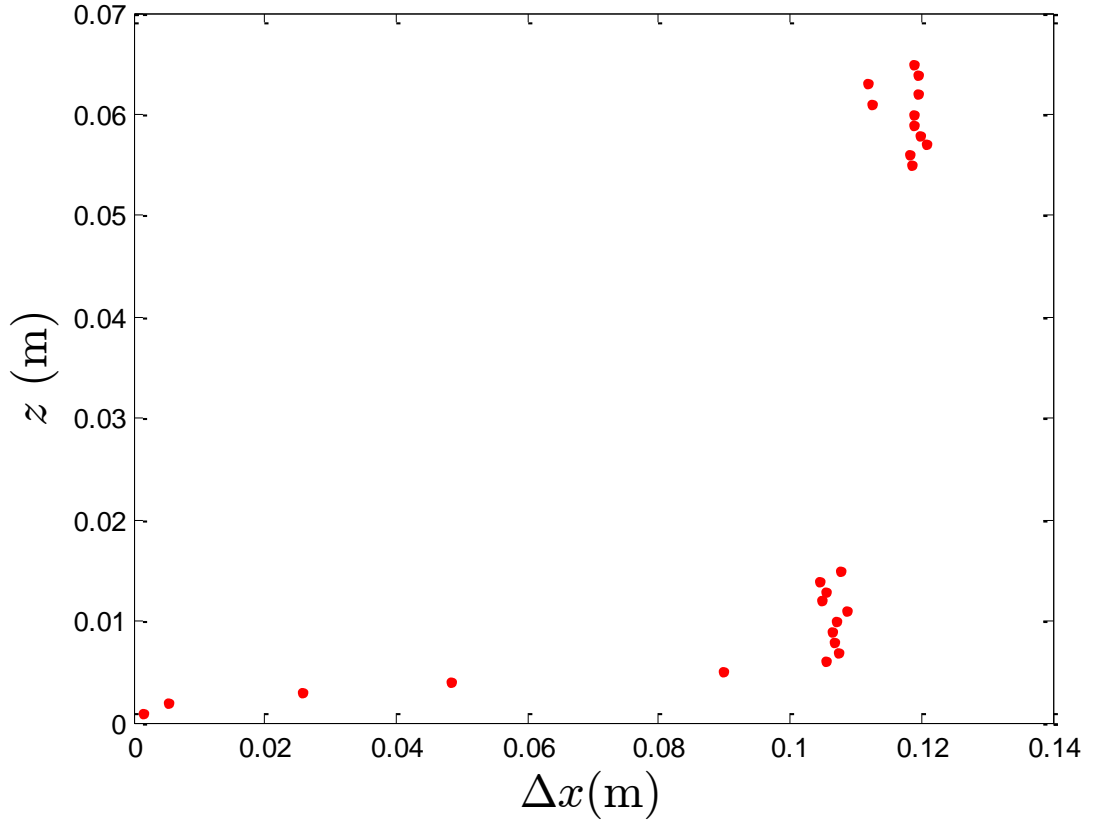
Bu denklemde Re , Reynolds sayısını; a , tabandaki su partikülüne ait hareketin genliğini; U_0 , serbest yüzey maksimum su hızını ve ν ise kinematik viskoziteyi ifade etmektedir. Bu ifadedeki genlik, a , salınımlı dalgalarda tabandaki su partiküllerinin orbital hareketinin genliği olarak tanımlanmaktadır (Sumer, 2013).

Bu minvalde N-dalgasının geçişi sırasında su partiküllerinin hareketi, anlık hız verisinin türevi alınarak elde edilmiştir. Taban yakınındaki su partiküllerinin zamanla yer değiştirmesi, Şekil 5.4'te su yüzü profilinin zamanla değişimi ile birlikte verilmiştir.



Şekil 5.4 : Taban yakınında su partiküllerinin zamanla yer değiştirmesi (x) ve su yüzü profili (η).

Ayrıca Şekil 5.4'te verilen grafikte maksimum ve minimum yer değiştirmeler arasındaki farkın (Δx) derinlikle değişimi ise Şekil 5.5'te sunulmuştur.



Şekil 5.5 : Su partiküllerinin maksimum ve minimum yer değiştirmeleri arasındaki farkın (Δx) derinlikle değişimi.

Böylelikle denklem 5.1’de verilen genlik değeri 0.1053m olarak elde edilmiş olup Reynolds sayısı ise $Re=4.09 \times 10^4$ olarak elde edilmiştir. Bu değer, salınımlı dalgalar için Reynolds sayısı değişimi ile akım özelliklerinin değişimini veren grafikte kırmızı renk ile işaretlenmiştir (Şekil 5.6). Bu grafik pürüzsüz taban için Jensen vd. (1989) tarafından çıkartılmıştır. Bu grafiğe göre bu çalışma kapsamında incelenen dalganın geçiş bölgesi özelliklerini göstermesi beklenmektedir.

Buna ek olarak Reynolds sayısı N-dalgasına ait periyod değeri vasıtasıyla da hesaplanmıştır. Yine salınımlı dalga yaklaşımı kullanılarak denklem 5.1’deki genlik, a , aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

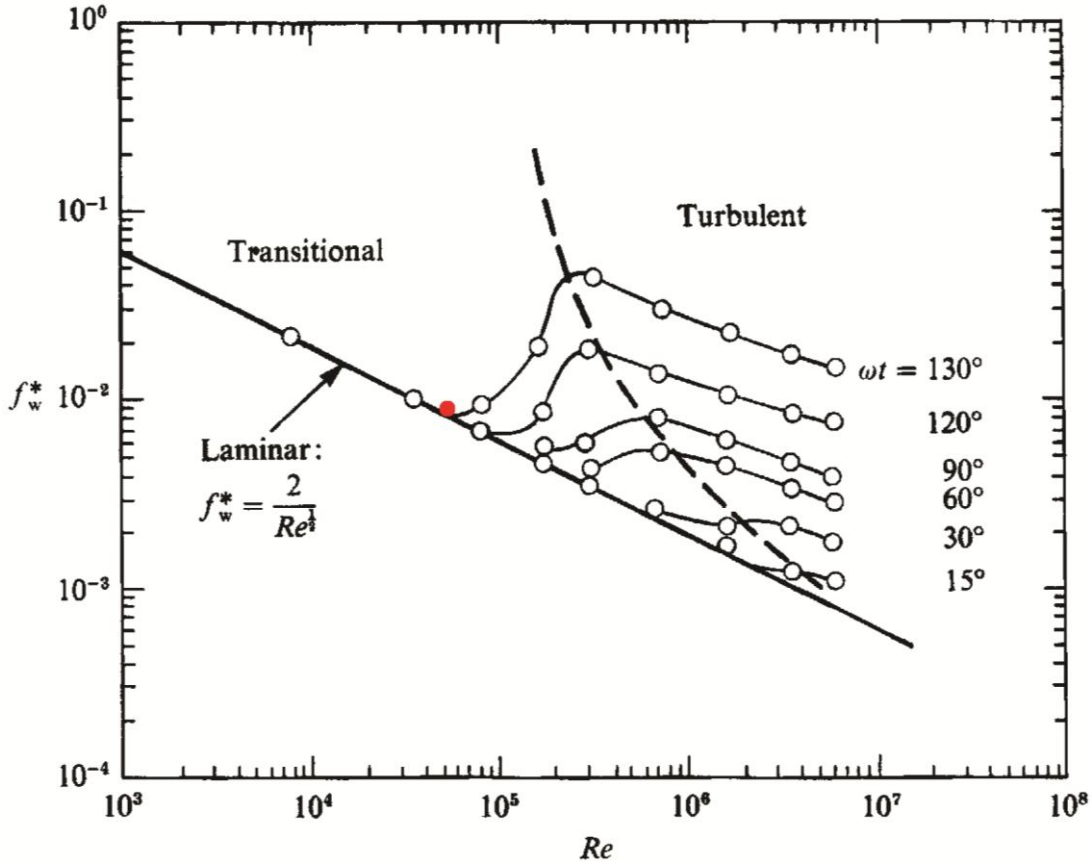
$$a = \frac{U_0}{\Omega} \quad (5.2)$$

Bu denklemde is Ω açısal frekansı ifade etmekte olup

$$\Omega = \frac{2\pi}{T} \quad (5.3)$$

şeklindedir. Denklem 5.3'teki T , periyodu ifade etmektedir. Denklem 5.2 ve 5.3'te verilen ifadeler ise denklem 5.1'de yerine konulduğunda elde edilen ifade ise aşağıda sunulmuştur.

$$Re = \frac{TU_0^2}{2\pi\nu} \quad (5.4)$$



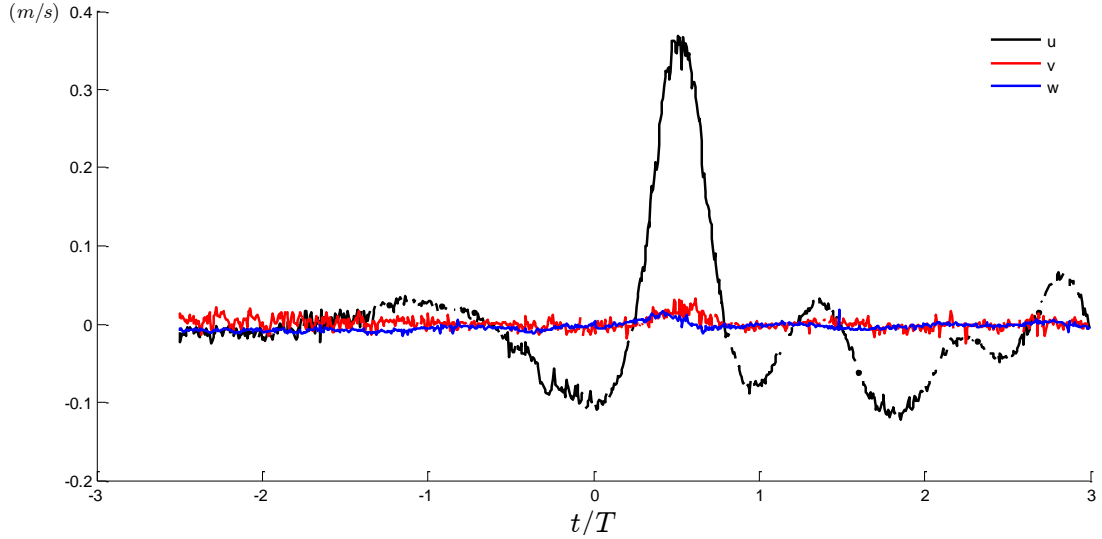
Şekil 5.6 : Salınlı dalgalar için pürüzsüz tabanda akım özelliklerinin Reynolds sayısı ile değişimi (Jensen vd., 1989). Kırmızı renkli nokta bu çalışmaya ait deney verisidir.

Dolayısıyla deneyler sonucu elde edilen veriler ışığında denklem 5.4 vasıtasıyla elde edilen Reynolds sayısı 4.36×10^4 değerindedir. Bu değer de deneyler sonucu elde edilen yer değiştirme değeri ile hesaplanan Reynolds sayısına çok yakın bir değer vermektedir. Dolayısıyla N-dalgasına ait periyod (Bölüm 4.4'te tanımlanan) değeri kullanılarak da Reynolds sayısının hesaplanması mümkündür.

5.3 Hız Verisi ve Türbülans

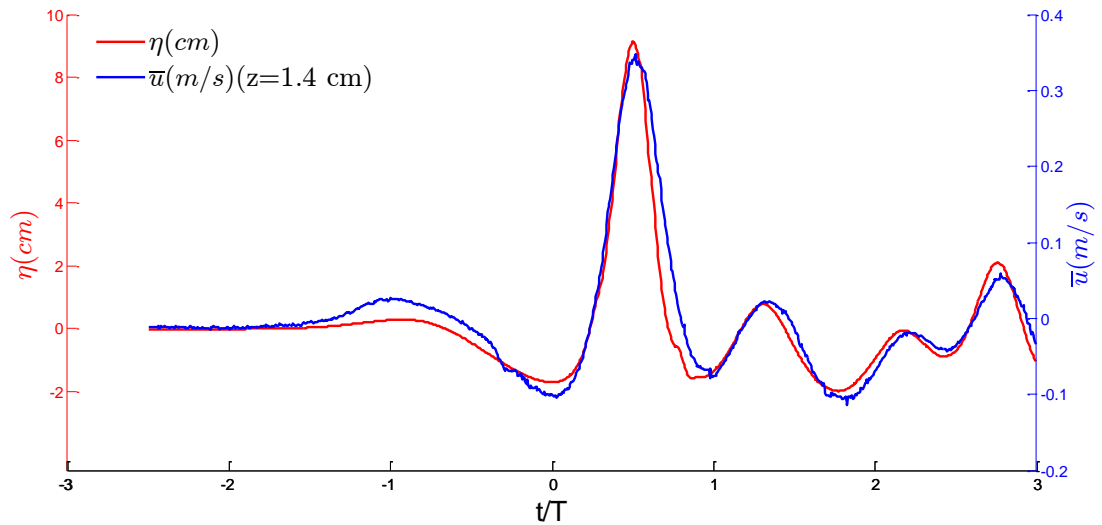
Deneyler süresince kaydedilen hız verilerine ayrıntıları Bölüm 4.4'te anlatılan ve Şekil 4.6 ile program akış şeması verilen program kullanılarak eşik ve grup ortalama

standart sapma filtreleri uygulanmıştır. Bu filtrelerden sonra deneylere ait hız verileri elde edilmiştir. Örnek bir hız verisi grafiği Şekil 5.7 'de verilmiştir. Bu hız verisi grafiği 110 nolu deneye ait olup, ölçüm noktası tabandan itibaren $z=1.4$ cm yüksekliktedir.



Şekil 5.7 : Deney No:110'a ait hız-zaman grafiği. Tabandan yükseklik $z=1.4$ cm.

Bu grafik incelendiğinde dikey (w) ve yanal (v) hız bileşenlerinin, yatay (u) hız bileşenine nazaran çok düşük kaldığı ve sıfır etrafında salındığı gözlenmektedir. Ayrıca yatay (u) hız bileşeni yön değiştirmektedir. Bu yönüyle de açık deniz salınımlı dalgalarından farklı olduğu buna nazaran kırılma bölgesindeki salınımlı dalgalarla benzeşebileceği söylenebilmektedir. Ayrıca net bir kütle taşınımı olduğu da söylenebilir.



Şekil 5.8 : Grup ortalaması sonucu elde edilen suyu yüzü profili-zaman ve tabandan $z=1.4$ cm yükseklikte ortalama yatay hız (\bar{u})-zaman grafiği.

Su yüzü profili ve ortalama hızın (\bar{u}) zamanla değişimi arasındaki bağıntıyı vermek amacıyla Şekil 5.8 sunulmuştur.

Bu grafik incelendiğinde ortalama yatay hız ile su yüzü profili arasında herhangi bir zaman farkı (faz farkı) olmadığı anlaşılmaktadır. Bu da literatürde soliter dalga durumu için elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir (Sumer vd., 2010).

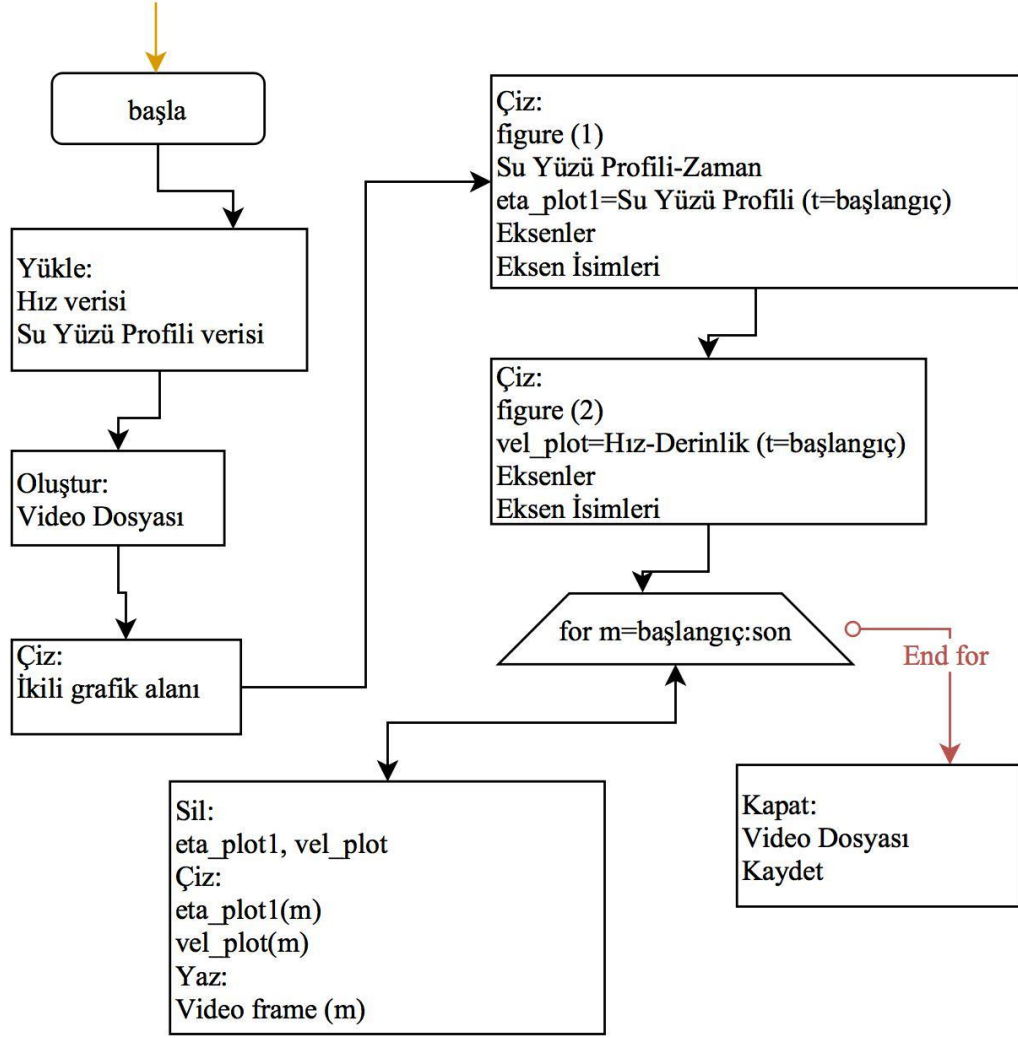
N-dalgasının geçişi sırasında permanan olmayan bir akım meydana gelmektedir. Bu nedenle hız profili verileri zamanla değişmektedir. Hız verilerinin daha iyi irdelenebilmesi için bu veriler iki farklı şekilde verilmiştir.

İlk olarak Matlab programı yardımı ile bir kod yazılmış olup bu sayede derinlik boyunca hız verilerinin zamanla değişimi videolaştırılmıştır. Böylelikle bir parametrenin zaman içerisindeki değişimi verilmeye çalışılmıştır. İlgili Matlab programına ait akış şeması (algoritma) Şekil 5.9'da sunulmuştur. Ayrıca bu program kullanılarak elde edilen çeşitli parametrelere ait videolar da Ek A'da CD-ROM olarak sunulmuştur.

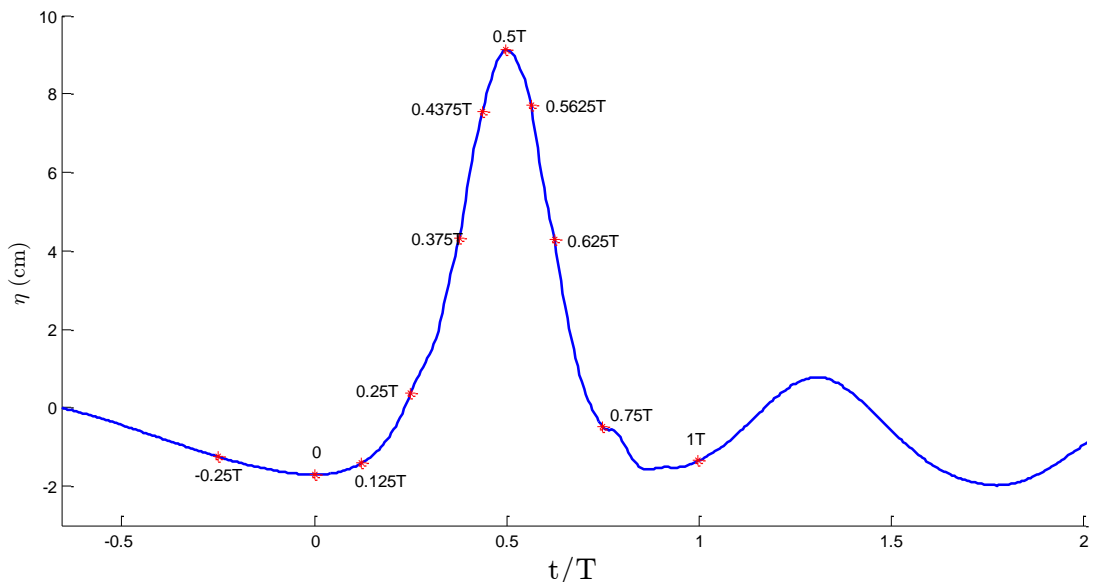
Bunun yanı sıra ikincil olarak Şekil 5.10'da gösterilen zaman noktalarında çeşitli parametrelerin derinlik boyunca olan değişimlerini gösteren grafikler Ek B ve Ek C kısımlarında sunulmuştur.

Bu minvalde ortalama yatay (\bar{u}) ve düşey (\bar{w}) hız değerlerine ait grafikler Ek B'de verilmiştir. Bu hız profilleri, su yüzü maksimum hız değeri olan U_0 ile boyutsuz hale getirilmiştir.

Hız ölçümlerinin yapıldığı Vectrino II cihazının yapısı gereği çok düşük hızlarda proba yakın noktalarda düşük hızlar veremediği gözlenmiştir. Ayrıca bu noktalarda çok fazla gürültü değeri okunmuştur. Bu nedenle ölçüm yapılan 35 noktanın tamamının yerine analizlerde daha sağlıklı ölçüm alınan 15 nokta değerlendirilmiştir. Bu 15 nokta tabandan itibaren sıralı şekildedir. Mevzu bahis 15 noktadaki veriler incelendiğinde verilerin %81-%86'sının sağlıklı olduğuna kanaat getirilmiş olup %14-%19 aralığında gürültü tespit edilmiştir. Bu gürültülü verinin büyük çoğunluğu ise suyun durgun olduğu deney başlangıcındaki kısma aittir. Bu 15 noktada N-dalgasının geçişi sırasında %1.2-%2 aralığında gürültü verisi alınmış ve bu verilerde daha önce Bölüm 4.4'te aktarıldığı şekilde iki çeşit filtre ile temizlenmiştir.



Şekil 5.9 : Derinlik boyunca hız verilerinin zaman ile değişimini videolaştıran programa ait akış şeması (algoritma).



Şekil 5.10 : N-dalgası su yüzü profili üzerinde çeşitli ölçüm parametrelerin zamanla değişiminin grafik olarak elde edildiği zaman noktaları.

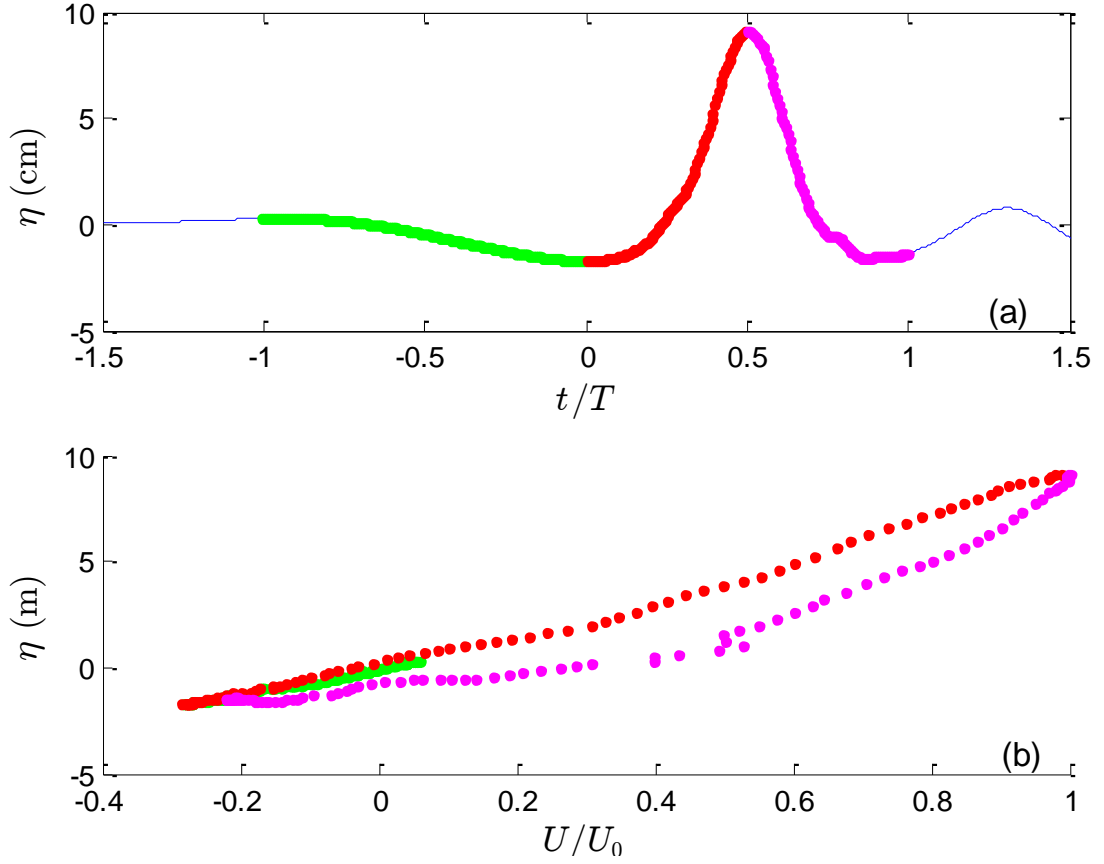
Bu bilgiler ışığında Ek B’de verilen hız profillerinde taban yakınında mavi renk ile gösterilen noktalar ilk 40 deney sonrası ölçülen ve daha sonrasında ise grup ortalaması sonucu elde edilen hız değerlerini göstermektedir. Bu deneyler Çizelge 4.1’de özellikleri verilen 101-140 numaralı deneylerdir. Aynı hız grafiklerinde daha yukarıda yer alan ve kırmızı renk ile gösterilen noktalar ise yine Çizelge 4.1’de özellikleri verilen 201-203 numaralı deneylere ait verilerdir. Bu veriler 3 adet deneye ait grup ortalaması olup serbest yüzey hızını elde etmek amacıyla yapılmıştır. Dolayısıyla da serbest yüzey maksimum yatay hızı ($U_0 = 0.389 \text{ m/s}$) bu deneyler kullanılarak ile hesaplanmıştır.

Gerek Ek A’da gerekse de Ek B’de verilen grafikler incelendiğinde ortalama yatay hız (\bar{u}) değerlerinin beklendiği gibi logaritmik hız profiline uyduğu görülmektedir. Ortalama düşey hız (\bar{w}) bileşeninin ise çok düşük değerlerde kaldığı tespit edilmiştir. Bu da cidar yakınındaki akımlarda beklenen bir sonuçtur. Ayrıca sınır tabakası kalınlığının 0.007m ile 0.01m arasında değiştiği söylenebilir. Ek olarak N-dalgasına ait tepenin geçişi sırasında çekilme evresindeki hızların, yükselme evresine nazaran daha yüksek olduğu elde edilmiştir.

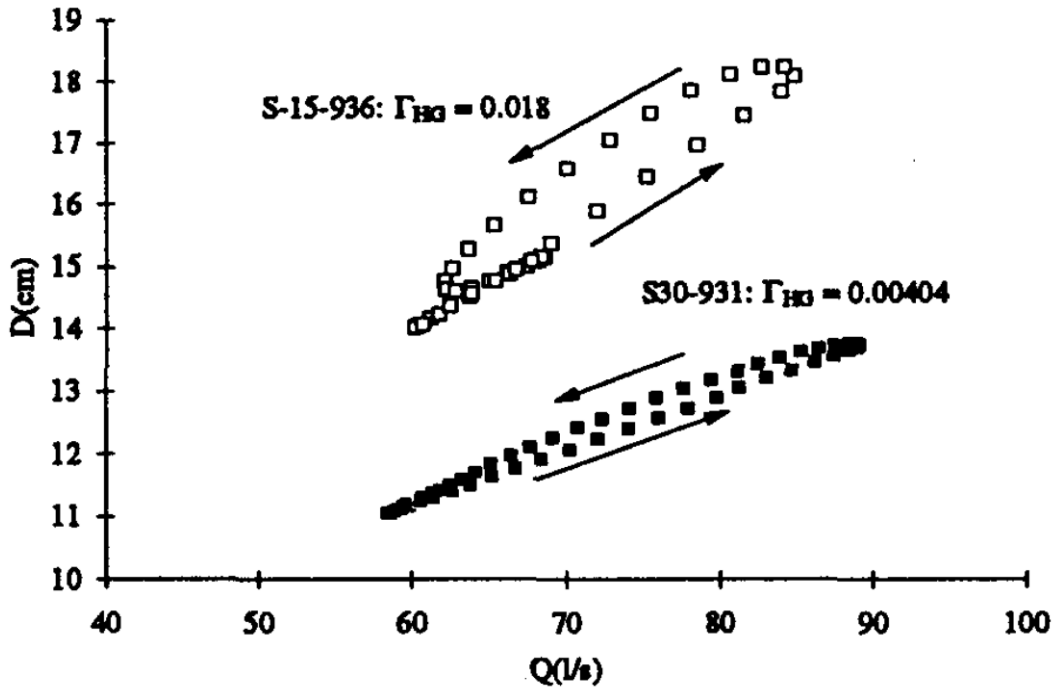
Türbülans çalkantı bileşenlerinin ve türbülans kinetik enerjisinin (TKE) derinlik boyunca profil grafikleri Ek C kapsamında verilmiştir. Yine Ek A kapsamında verilen ilgili videolar ve Ek C kapsamında sunulan profiller incelendiğinde akımın ilk olarak laminer olduğu, ilerleyen safhalarda artan hızla beraber türbülans geçiş bölgesine geçtiği söylenebilir. Ayrıca türbülans kinetik enerjisini beklendiği gibi yatay çalkantı bileşeni domine etmektedir. Buna ek olarak tabanda üretilen türbülans üst katmanlara çıktıkça yayılmakta ve sönümlenmektedir. Dolayısıyla da yukarıya kadar sirayet etmemektedir. Türbülans kinetik enerjisinin maksimum değeri dalga tepesi geçişinde kaydedilmiş. Derinlik boyunca ortalamalar dikkate alındığında çekilme eğrisindeki türbülans kinetik enerjileri yükselme eğrisine nazaran daha yüksek olarak elde edilmiştir.

Permanan olmayan akımlarda bir diğer incelenmeye değer konu başlığı ise histerik etkilerdir. Bu minvalde N-dalgasına ait histerik etkilerin incelenmesi maksadıyla kesitsel ortalama yatay hız bileşeninin su yüzü profili ile olan ilişkisi Şekil 5.11’de verilmiştir. Şekil 5.11 (a)’da su yüzü profilinin değişimi (η); Şekil 5.11 (b)’de ise su yüzü profilinin (η), serbest yüzey maksimum yatay hızı (U_0) kullanılarak boyutsuzlandırılan kesitsel ortalama yatay hız (U) ile olan değişimi sunulmuştur.

Şekil 5.11(a)'da sunulan grafik çeşitli renkler ile kodlanmış olup bu bölgeler, Şekil 5.11(b)'de aynı renk kodları ile belirtilmiştir.



Şekil 5.11 : Histerik etkiler. (a) Su yüzü profili (b) Su yüzü profilinin kesitsel ortalama yatay hız ile değişimi.



Şekil 5.12 : Permanen olamayan akımda derinlik debi ilişkisi (Song ve Graf, 1996).

Şekil 5.11 incelendiğinde herhangi bir η değeri için N-dalga tepesinin çekilme eğrisinde yükselme eğrisine göre daha yüksek bir hız değerinin ölçüldüğü görülmektedir. Yükselme ve çekilme eğrileri üzerindeki hızlar yaklaşık %30 mertebelerinde fark etmektedir. Buna göre N-dalgası tepesinin geçişi sırasında çekilme evresinde hızlar, türbülans ve dolayısıyla da katı madde hareketinin daha yüksek olması beklenecektir. Bu durum ayrıca EK A, B ve C kapsamında da verilen hız ve türbülans değerleri incelendiğinde de gözlenebilmektedir. Bu durum ise tedrici değişken akımlarla tam ters karakterdedir. Zira bu akımlarda bir hidrografın geçişi sırasında çekilme eğrisinde hızlar daha düşük olmaktadır (Song ve Graf, 1996) (Şekil 5.12). Bu bilgiler ışığında N-dalgasının bir taşkın dalgasından daha farklı karakterde olduğu söylenebilir.

5.4 Kayma Gerilmeleri

Kayma gerilmesinin değişimi başta sediment hareketi olmak üzere bir çok mekanizmanın anlaşılmasında önem taşımaktadır. Bu nedenle bu çalışma sırasında da kayma gerilmeleri elde edilmiştir.

Cidar yakınındaki toplam kayma gerilmesi viskoz kayma gerilmesi ve türbülans kayma gerilmesi olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Viskoz kayma gerilmesi (τ_v) akışkanın katmanları arasında meydana gelen iç sürtünmeden meydana gelmekte olup,

$$\tau_v = \mu \frac{\delta u}{\delta z} \quad (5.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklemde μ , akışkanın dinamik viskozitesini ifade etmektedir.

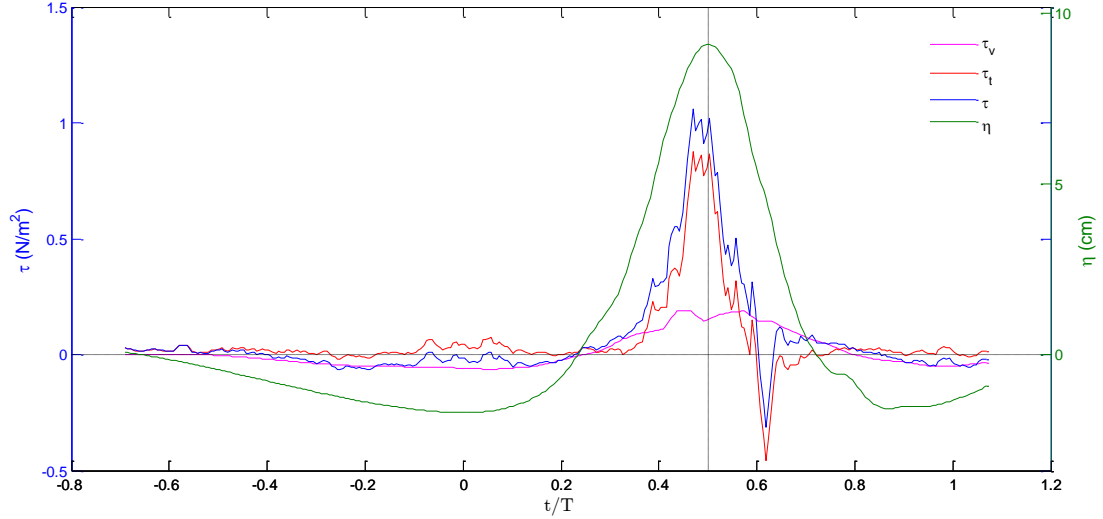
Türbülans kayma gerilmesi (τ_t) ise türbülanslı akımlarda akışkan katmanları arası gerçekleşen momentum transferinden kaynaklanmaktadır.

$$\tau_t = -\rho \overline{u'w'} \quad (5.5)$$

Türbülans kayma gerilmesi ifadesi denklem 5.5 ile verilmekte olup bu ifade akışkan özgül kütlesi ρ ile verilmektedir. Toplam kayma gerilmesi ise bu iki kayma gerilmesinin toplamıdır (Denklem 5.6).

$$\tau = \tau_v + \tau_t \quad (5.6)$$

Yapılan bu deneysel çalışma sonucunda incelenen N-dalgasına ait taban kayma gerilmeleri, su yüzü değişimi profili ile birlikte Şekil 5.13'te verilmektedir.



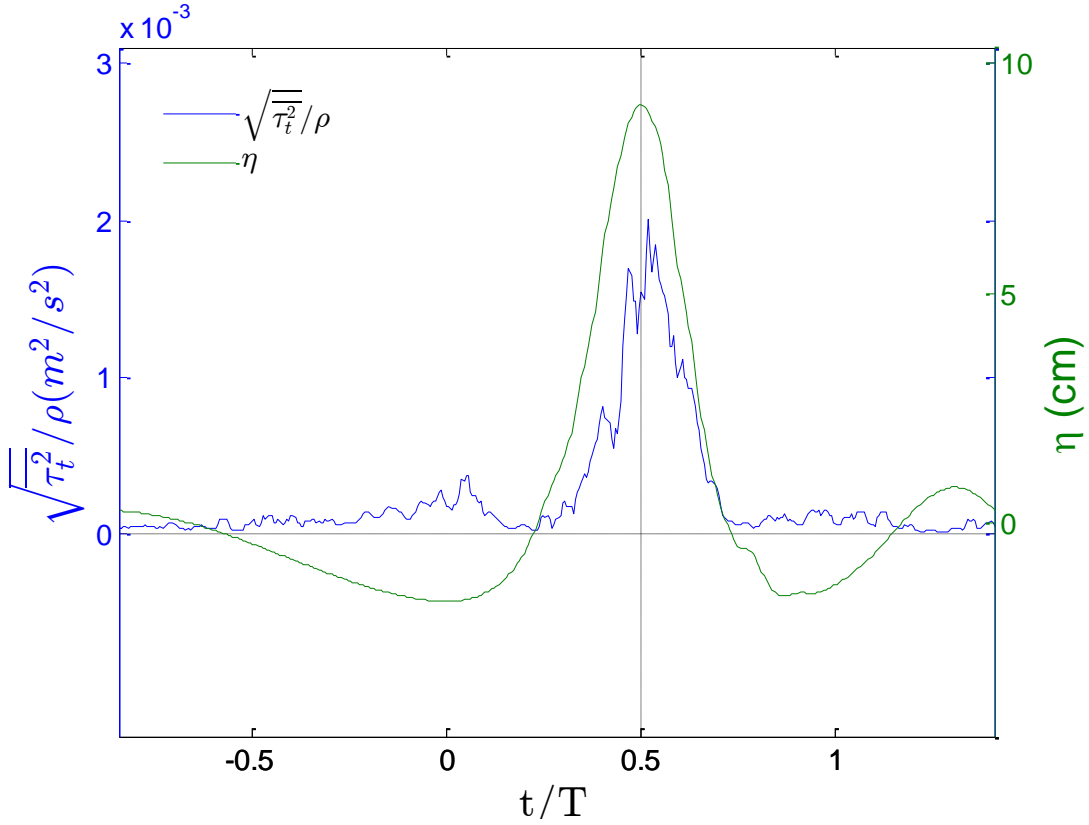
Şekil 5.13 : Su yüzü profili ve kayma gerilmelerinin zamanla değişimi.

Buna ek olarak Ek D kapsamında da türbülans kayma gerilmesinin Şekil 5.10'daki zaman noktalarındaki derinlik boyunca değerleri grafikler şeklinde verilmiştir.

Şekil 5.13 incelendiğinde viskoz kayma gerilmesinin (τ_v), hız gradyanının oluşmaya başladığı N-dalgasının tepe kısmında ortaya çıkmaya başladığı ve maksimum değer olarak da 0.19 N/m^2 değerine ulaştığı görülmektedir. Daha sonrasında ise yine sıfıra yakın çok küçük değerlere gerilediği elde edilmiştir.

Türbülans kayma gerilmesinin (τ_t) ise N-dalga tepesinin tırmanma kısmında hızlı bir şekilde tırmandığı ve daha sonrasında da maksimum tepe geçişinden sonra dramatik bir şekilde azalarak negatif değerler aldığı görülmüştür. Maksimum değer olarak ise 0.88 N/m^2 ölçülmüştür. Ayrıca toplam kayma gerilmesini (τ), türbülans kayma gerilmesinin domine ettiği elde edilmiştir.

Ek A ve Ek D kapsamında ayrıca türbülans kayma gerilmesinin derinlik boyunca değişimleri verilmiştir. Bu değişimler incelendiğinde özellikle N-dalgasının geçişi sırasında türbülans kayma gerilmesinin tabanda pozitif değere sahip iken tabandan uzaklaştıkça negatif değerlere geçiş yaptığı ve bir S şeklini aldığı görülmüştür. Bu da salınımlı dalgalar gibi permanan olmayan akımlarda gözlenen bir durumdur (Fuhrman vd., 2013).



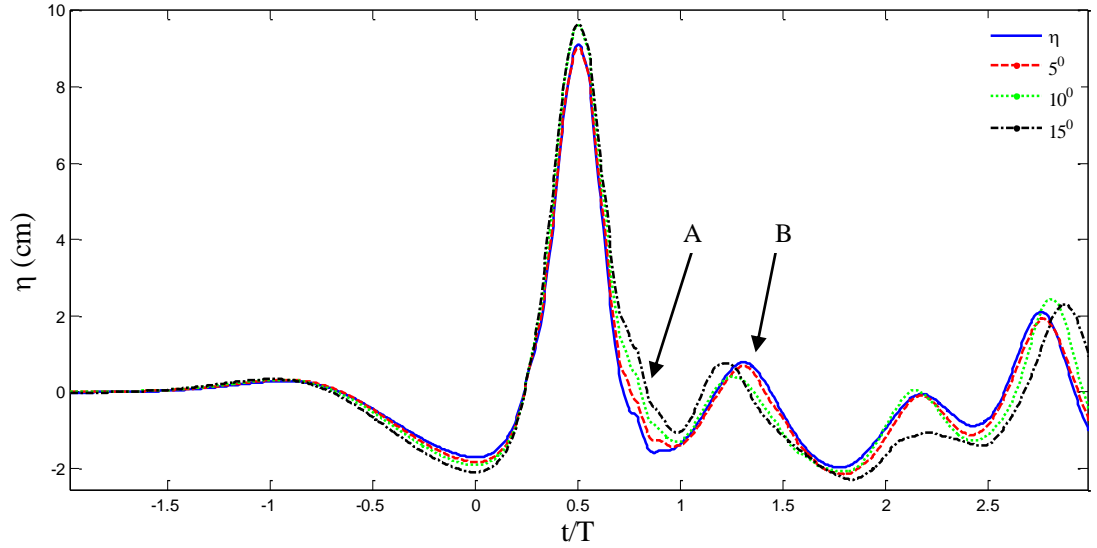
Şekil 5.14 : Su yüzü profili ve kayma gerilmelerinin zamanla değişimi.

Kayma gerilmeleri değerleri 40 deneye ait grup ortalaması sonucunda elde edilen veriler ile oluşturulmuştur. Dolayısıyla elde edilen kayma gerilmeleri ortalama değerlerdir. Bu değerlerin yanı sıra her bir deney sırasında oluşan kayma gerilmesine ait çalkantılar da vorteks oluşumları, koharent yapıları ve bunların parçalanması gibi fiziksel olayların ortaya çıkışında etkilidirler. Bu nedenle kayma gerilmesinin r.m.s değerleri de incelenmiştir.

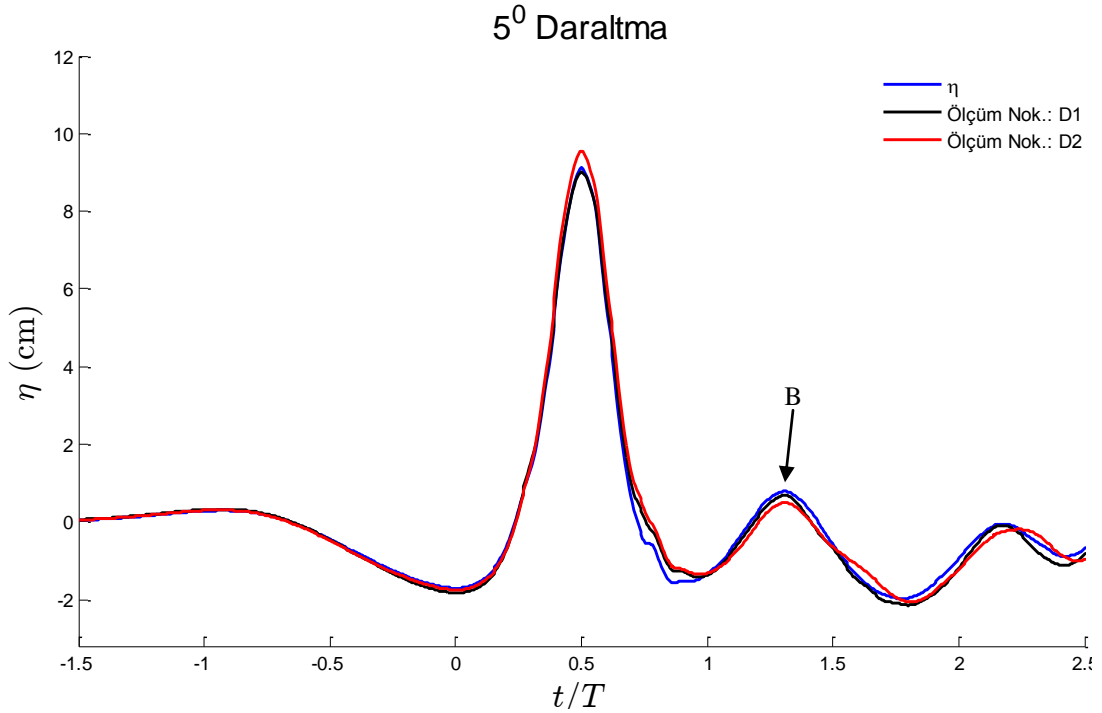
Şekil 5.14'ten de anlaşılacağı üzere dalga tepesinin geçişi sırasında türbülans kayma gerilmesine ait çalkantı bileşeni ciddi miktarda artmaktadır.

5.5 Daralmanın Etkisi

N-dalgasının, kıyıdan içeriye doğru ilerleyerek, topografik koşullardan etkilenmesinin irdelenmesi maksadı ile detayları Bölüm 4.2'de aktarıldığı şekilde kanal içerisinde çeşitli daraltmalar gerçekleştirilmiştir. Bu daraltmalara ait plan görünümü ve ölçüm noktaları Şekil 4.3'te verilmiş olup ilgili deneylere ait özellikler Çizelge 4.1'de özetlenmiştir. Bu minvalde daralmanın incelenmesi amacıyla Şekil 4.3'te gösterilen D1 ve D2 noktalarında ölçümler yapılmıştır.



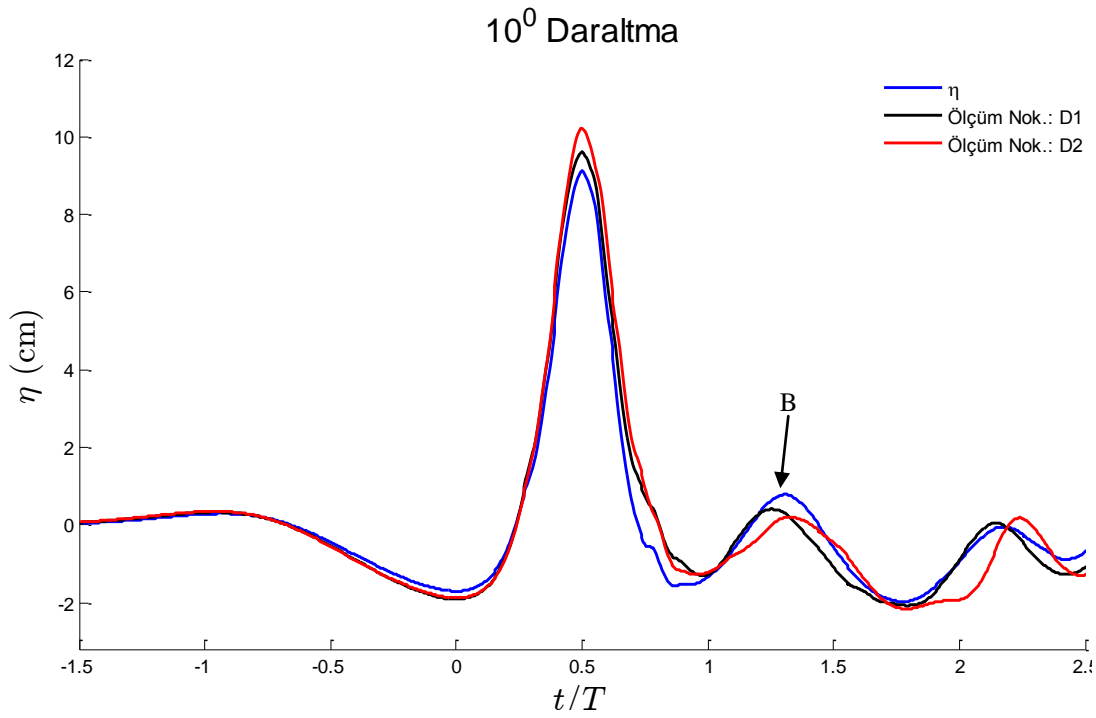
Şekil 5.15 : D1 ölçüm noktasında yapılan su yüzü profillerinin daraltılmamış kesit ile karşılaştırılması.



Şekil 5.16 : 5° daraltılmış kesitle D1 ve D2 ölçüm noktalarında yapılan su yüzü profili ölçümlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.15'te D1 noktasında yapılan ölçümler ile daraltma yapılmadan önceki deneylerden elde edilen su yüzeyi profilleri karşılaştırılmıştır. Her bir daralma açısı için D1 noktasında 3 adet deney yapılmıştır. Bu nedenle bu üçer deney için grup ortalaması yapılmış ve su yüzü profilleri elde edilmiştir. Bu veriler incelendiğinde daraltılmış kesitlerde D1 noktasında yapılan ölçümler ile daraltılmamış kesit arasında ciddi farkların olmadığı ve özellikle N-dalgasının ilk çukur ve maksimum kısımlarının nispeten örtüştüğü elde edilmiştir. Önemli farklılıklar ise kuyruk

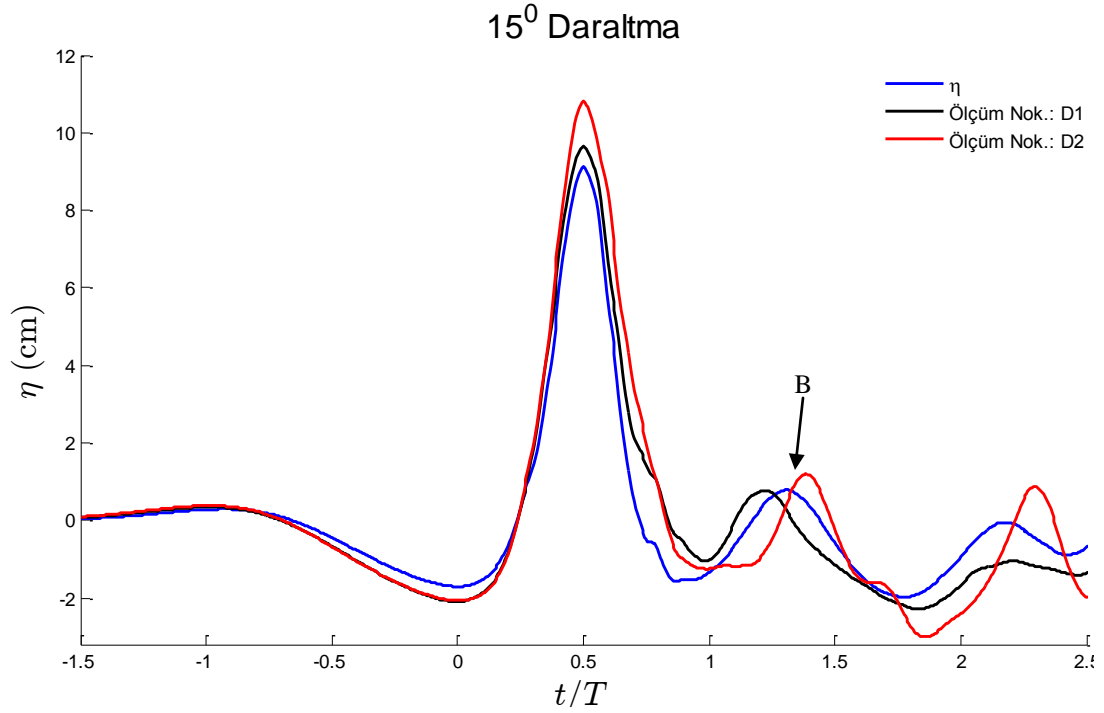
kısmında meydana gelmiştir. Özellikle 10° ve 15° daraltma açılarında kuyruk kısmında bir faz farkı gözlenmektedir. Daralmadan ötürü N-dalgası sıkışarak yükselmekte ve dolayısıyla da yavaşlamaktadır. Bu nedenden dolayı ölçüm noktası daralan kesitin başlangıcında olmasına rağmen bir faz farkı ve kabarma oluşmakta ve daralma açısının artması faz farkını da artırmaktadır. Şekil 5.15'te gösterilen A ve B noktaları incelendiğinde daralmadan dolayı oluşan kabarma ve faz farkı daha rahat anlaşılmaktadır. Ayrıca B noktasında daraltılmamış kesit ile daraltılmış kesitler arasındaki faz farkları 5° için 0.0s, 10° için 0.12s ve 15° için 0.25s olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.17 : 10° daraltılmış kesitle D1 ve D2 ölçüm noktalarında yapılan su yüzü profili ölçümlerinin karşılaştırılması.

Bu faz farklarına rağmen daraltılmış kesitlerin daraltılmamış kesit ile arasındaki doğrusal korelasyon değerleri 5° için 0.9970, 10° için 0.9847 ve 15° için 0.9529 gibi yüksek değerler olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla N-Dalgasının kuyruk kısmı göz ardı edilirse bu dalgaların eşdeğer olduğundan da söz edilebilir.

Kesit daraltılmaları esnasında Şekil 4.3'te gösterilen D1 ve D2 noktalarında yapılan su yüzü profili ölçümlerine ait grafikler 5° için Şekil 5.16'da, 10° için Şekil 5.17'de ve 15° için ise Şekil 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5.18 : 15° daraltılmış kesitle D1 ve D2 ölçüm noktalarında yapılan su yüzü profili ölçümlerinin karşılaştırılması.

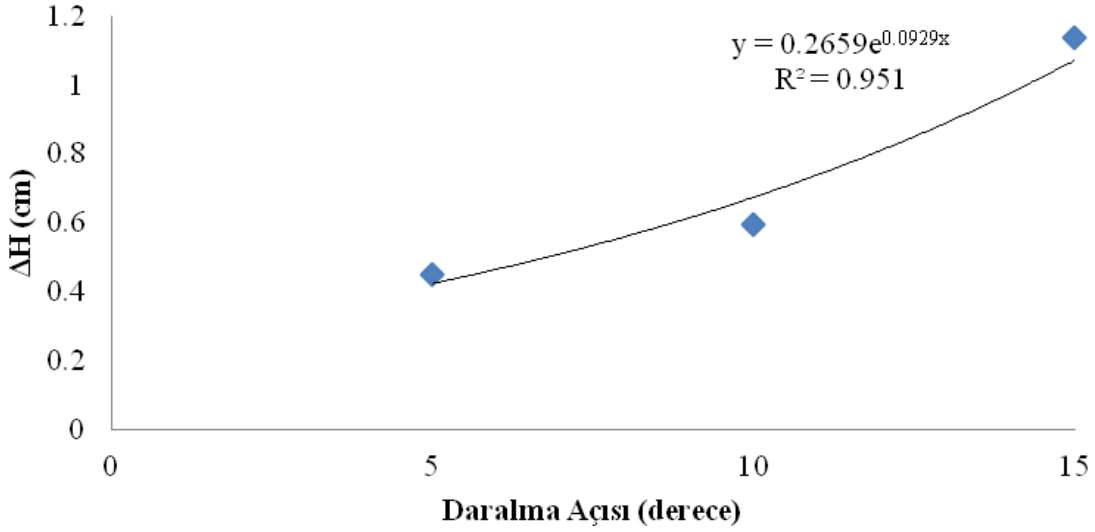
Bu şekiller incelendiğinde daralmanın etkisinden dolayı dalganın yükseldiği söylenebilmektedir. Ayrıca daralma açısı arttıkça da kuyruk kısmındaki faz farkı artmaktadır.

Çizelge 5.1 : Daralma etkisi.

Daralma Açısı	Ölçüm Noktası	Dalga Yükseliği H(cm)	Dalga Periyodu T (s)	Yükseklik Farkı (cm)	Faz Farkı (s)
5	D1	10.85	1.80	0.45	0
5	D2	11.30	1.80		
10	D1	11.51	1.78	0.60	0.03
10	D2	12.11	1.75		
15	D1	11.73	1.73	1.14	0.02
15	D2	12.87	1.71		

Çizelge 5.1’de daralma açıları için dalga özellikleri özetlenmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi daralmadan ötürü dalga yüksekliklerinin artmasına karşın periyodlarda kayda değer bir değişiklik gözlenmemiştir. Bunlara ek olarak dalga yüksekliği değişimi Şekil 5.19’da sunulmuştur.

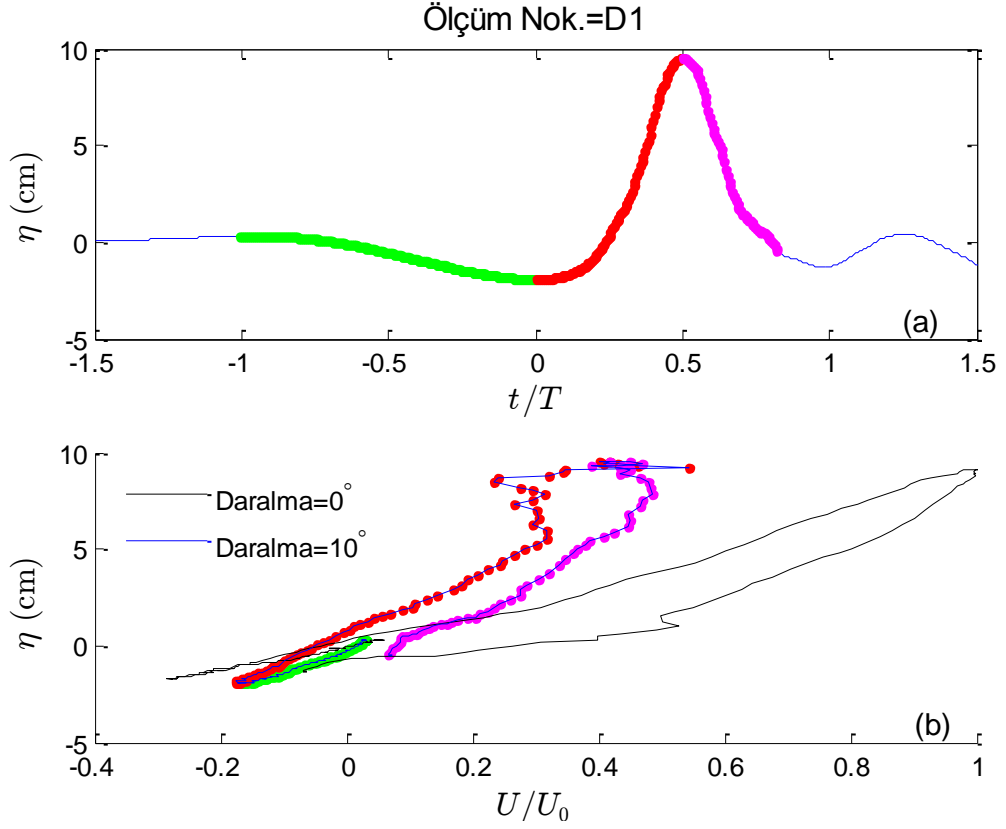
Daralma Açısı-Dalga Yüksekliği Farkı



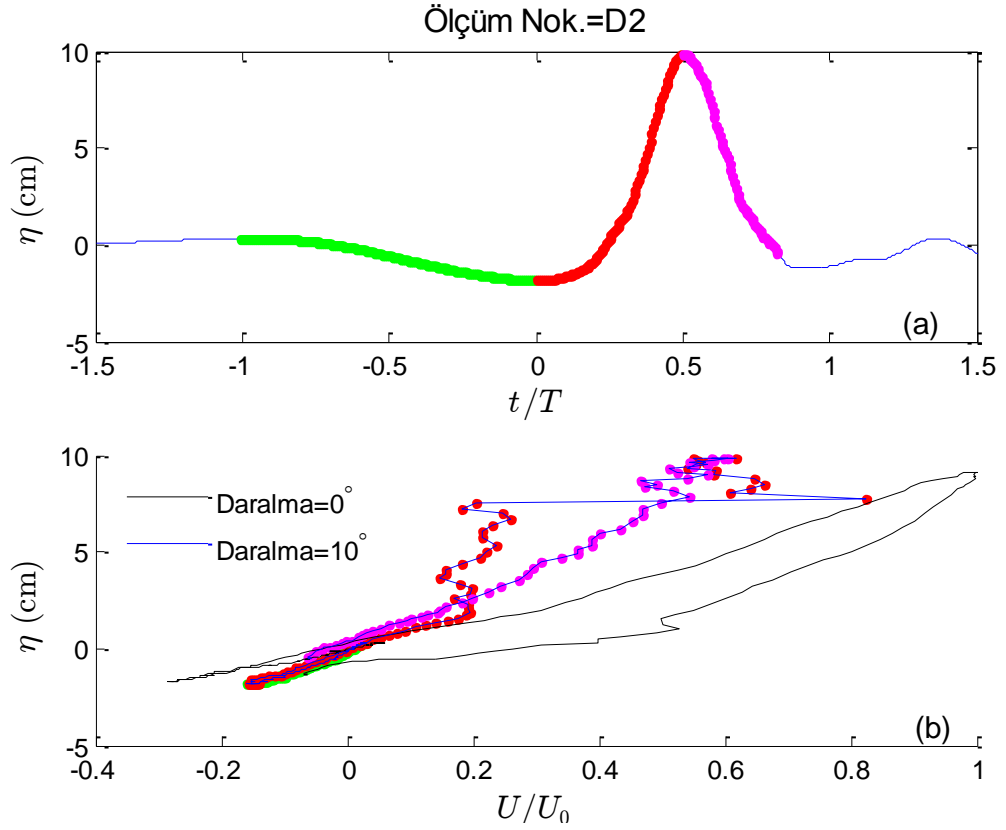
Şekil 5.19 : Daralmadan dolayı D1 ve D2 ölçüm noktalarındaki dalga yüksekliği (H) farkları.

Daralmadan dolayı dalganın kuyruk kısmındaki faz farkı da incelenmiştir. Bu amaçla Şekil 5.16-5.18’de B ile gösterilen ve ilk kuyruk dalgasının tepe noktaları olan yerlerde faz farkları tespit edilmiştir. Bu faz farkları 5° daraltmada için 0.0s, 10° daraltma için 0.08s ve 15° daraltma için 0.26s olarak ölçülmüştür.

Daralmanın etkisiyle muhakkak ki hız bileşenlerinde de değişimler oluşacaktır. İşte bu değişimleri ortaya koymak maksadıyla daraltma deneyleri sırasında hız ölçümleri de yapılmıştır. Bu ölçümler sayesinde ortalama hız değerleri hakkında fikir sahibi olunmuştur. Bu minvalde Şekil 5.11’de sunulan histerik eğrinin değişimini incelemek amacıyla Şekil 5.20 ve Şekil 5.21 elde edilmiştir. D1 ölçüm noktası için oluşturulan Şekil 5.20 incelendiğinde daralmanın etkisinin daralma başlamadan önce görüldüğü rahatlıkla söylenebilir. Su yüzü profili maksimum değerine ulaştığında daralan kesitteki kesitsel ortalama hızın daralmayan kesite göre çok daha yavaş kaldığı söylenebilir. Bir başka değişle daralma esnasında kesitsel ortalama hız yaklaşık %60 mertebelerinde azalmaktadır. Ayrıca bu grafikte N-dalgasının tepe noktasına yaklaşıldıkça bir düzensizlik de görülmektedir. Bu düzensizlik kırılma başlangıcına işaret etmektedir. D2 ölçüm noktasında yapılan ölçümlerde elde edilen veriler ışığında oluşturulan Şekil 5.21 analiz edildiğinde ise N-dalgasının tepe değerine ulaşıldığında yine bir düzensizliğin mevcudiyeti gözlenmektedir. Fakat bu düzensizlik D1 noktasından farklı olarak daha önce başlamaktadır. Yine D2 noktasında yapılan ölçümlerdeki kesitsel ortalama hız daraltılmayan kesitteki nazaran çok daha düşük mertebelere düşmektedir.



Şekil 5.20 : (a) Su yüzü profili (b) D1 ölçüm noktası ile daraltma yapılmayan kesitte elde edilen histerik eğrilerin karşılaştırılması.



Şekil 5.21 : (a) Su yüzü profili (b) D2 ölçüm noktası ile daraltma yapılmayan kesitte elde edilen histerik eğrilerin karşılaştırılması.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Biri pozitif diğeri negatif genliklere sahip olan iki soliter dalganın süperpozisyonu olan N-dalgası laboratuvar ortamında üretilmiştir. Doğası gereği permanan olmayan bir akım olan N-dalgasının akım özelliklerinin incelenmesi amacıyla grup ortalaması çalışması yapılmış ve aynı özellikteki bir N-dalgası 40 defa üretilerek bu özellikler elde edilmiştir. Buna ek olarak kıyı morfolojisinin etkisini anlayabilmek amacıyla da deney kanalı 5°, 10° ve 15° daraltılarak N-dalgasının su yüzü profilindeki değişimler elde edilmiştir.

Bu bağlamda yapılan çalışma sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- Grup ortalaması sonucu elde edilen su yüzü profili, denklem 2.16'da Madsen ve Schaffer (2010) tarafından önerilen denkleme uymaktadır. Bu denklemden parametreler de yerine konulduğunda üretilen N-dalgasının denklemi:

$$\eta(t) = 9.87 \operatorname{sech}^2 3.75(t - 5.42) - 1.77 \operatorname{sech}^2 1.2(t - 4.6)$$

şeklinde elde edilmiştir. Ayrıca deney verisi ile bu denklem arasında 0.995 gibi yüksek bir doğrusal korelasyon elde edilmiştir. Bu nedenle deneylerde üretilen dalganın bir N-dalgası olduğu söylenebilir.

- Grup ortalaması sonucu elde edilen N-dalgasının dalga yüksekliği 10.81cm ve periyod T=1.811s olarak elde edilmiştir.
- Deneylere ait Reynolds sayısı $Re=4.09 \times 10^4$ olarak belirlenmiş olup akım geçiş bölgesi akımıdır.
- Hız verileri incelendiğinde net bir kütle taşınımı olduğu söylenebilir. Ayrıca yatay (u) hız bileşeni düşey (w) ve yanıl (v) hız bileşenlerine nazaran çok daha yüksektir. Bu yönüyle kırılma bölgesindeki salınımlı dalgalara benzemektedir.
- Ortalama yatay hız (\bar{u}) ile su yüzü profili arasında kayda değer herhangi bir faz farkına rastlanmamıştır. Bu durum tek bir soliter dalga durumunda da bu şekildedir (Sumer vd., 2010).

- Serbest yüzey maksimum yatay hız ($U_0 = 0.389m/s$) şeklinde hesaplanmıştır.
- N-dalgasına ait histerik eğri incelendiğinde, N-dalgası tepesinin geçişi esnasında yükselme eğrisindeki hız değerleri, çekilme eğrisi üzerindeki hız değerlerinden daha düşük düzeydedir. Bu fark yaklaşık olarak %30 mertebelerine kadar ulaşmaktadır. Tedrici değişken akımlar ile tam ters karakterde olan bu durum sonucunda çekilme eğrisi boyunca katı madde hareketi, türbülans ve akım hızları eşdeğer yükselme eğrisi noktasına göre daha yüksek değerlerdedir.
- Taban kayma gerilmesi incelendiğinde viskoz kayma gerilmesinin (τ_v) $0.19N/m^2$, türbülans kayma gerilmesinin (τ_t) ise $0.88N/m^2$ 'lik bir maksimum değere ulaştığı elde edilmiştir.
- Toplam taban kayma gerilmesini türbülans kayma gerilmesi domine etmektedir.
- Taban kayma gerilmesi dalga tepesinin geçişinden hemen sonra dramatik bir şekilde azalmakta ve negatif değerlere geçmektedir.
- Türbülans kayma gerilmesinin derinlik boyunca değişimi incelendiğinde, salınımlı dalgalar gibi permanan olmayan akımlar ile uyduğu; tabanda pozitif değerler aldığı ve tabandan uzaktıkça negatif değerlerin elde edildiği ortaya konulmuştur.
- Türbülans kayma gerilmesinin çalkantı bileşeni incelendiğinde dalga tepesi geçişi sırasında ciddi miktarda çalkantı verisi elde edilmiştir.
- Kıyı morfolojisini benzeştirmek amacıyla deney kanalı üç farklı açı olacak şekilde daraltılmıştır. Daralma sonucunda dalga yüksekliğinde daralma açısı arttıkça bir artış gözlenmiştir. Ayrıca N-dalgasının kuyruk kısmında yine daralma açısının artışına bağlı olarak artan şekilde faz farkı da oluşmaktadır.
- Daralma esnasında ayrıca dalga periyodları da kısalmıştır.
- Daralma esnasında oluşan hız değişimlerini ortaya koymak amacıyla histerik eğriler elde edilmiş ve daraltılmamış kesit ile karşılaştırılmıştır. Buna göre daralma esnasında kesitsel ortalama hızın yaklaşık %60 mertebelerinde azaldığı ortaya konulmuştur.

- Daralmadan dolayı N-dalgasının tepe noktasına yaklaşıldıkça kırılma başlangıcına işaret eden düzensizlik tespit edilmiştir.

Bu çalışma ile bir N-dalgasına ait su yüzü profili literatürde ilk kez Madsen ve Schaffer (2010) denklemine uygun olacak şekilde deneysel olarak üretilmiştir. Ayrıca bu N-dalgasına ait sınır tabakası incelenmiş ve literatürde yine ilk olacak şekilde bu dalgaya ait taban kayma gerilmeleri sunulmuştur. Ayrıca bu elde edilen bu sonuçlar literatürdeki salınımlı dalga ve soliter dalga sonuçları ile de karşılaştırılmıştır.

KAYNAKLAR

- Airy, G.B.** (1845). Tides and Waves. In *Encyclopaedia Metropolitana*. (Vol 192, pp. 241-396). London.
- Apotsos, A., Gelfenbaum, G. & Jaffe, B.** (2012). Time-dependent onshore tsunami response, *Coastal Engineering*, 64, 73-86.
- Baş, B.** (2007). *Şevli dalgakıranların tsunami ekisi altında stabilitesinin deneysel olarak incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Beji, S. & Aldoğan, A.İ.** (2001). Denizlerde oluşan depremlerin yarattığı su dalgalarının modellenmesi ve korunma yöntemlerinin araştırılması (TÜBİTAK YDABÇAG 199Y118, 2001: 1-54). İstanbul: TÜBİTAK Destekli Projeler
- Boussinesq, J.** (1872). Theorie des onde et de ramous qui se propagent le long d'un canal rectangulaire horizontal, encommuniquant au liquid contenudansce canal des vitessessensiblementpareilles de la surface au fond, *J. Math. PuresAppliquées*. ser. 2, 17, 55-108.
- Buldakov, E.** (2013). Tsunami generation by paddle motion and its interaction with a beach: Lagrangian modelling and experiment, *Coastal Engineering*, 80, 83-94.
- Byatt-Smith, J.G.B. & Longuet-Higgins, M.S.** (1976). On the speed and profile of steep solitary waves, *Proc. Roy. Soc. London, Series A.*, 350, 175-189.
- Carr, M., & Davies, P.A.** (2010). Boundary layer flow beneath an internal solitary wave elevation, *Physics of Fluids*, 22, 1-8.
- Charvet, I., Eames, I. & Rossetto, T.** (2013). New tsunami runup relationships based on long wave experiments, *Ocean Modelling*, 69, 79-92.
- Craik, A.D.D.** (2004). The origins of water wave theory, *Annual Review of Fluid Mechanics*, 36, 1-28.
- Erdik, T.** (2009). *Dalgakıranlar üzerindeki maksimum tırmanmanın belirlenmesi*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erdik, T. & Savcı, M.E.** (2008). Takagi-Sugeno fuzzy approach in rock armored slopes for 2% wave runup, *Coastal Engineering*, 50, 161.
- Erdik, T. ve Savcı, M.E.** (2010). Bulanık mantık yöntemiyle dalgakıranlar üzerindeki maksimum tırmanmanın belirlenmesi, *İTÜ Dergisi/D Mühendislik*, 9 (6), 95-104.
- Erdik, T., Savcı, M.E. & Şen, Z.** (2008). Artificial neural networks for predicting maximum wave runup on rubble mound structures, *Expert Systems with Applications*, 36, 6403-6408.

- Fenton, J.**, (1972). A ninth-order solution for the solitary wave, *Journal of Fluid Mechanics*, 53 (2), 257-271.
- Friedrichs, K.O.**, (1948). On the derivation of the shallow water theory, *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 1, 81-85.
- Fuhrman, D.R., Schløer, S. & Sterner, J.** (2013). RANS-based simulation of turbulent wave boundary layer and sheet-flow sedimenttransport processes, *Coastal Engineering*, 73, 151-166.
- Gedik, N.** (2004). *Uzun dalgaların tırmanma yüksekliklerinin deneysel incelenmesi.* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gedik, N., Irtem, E. & Kabdasli, S.** (2005). Laboratory investigation on tsunami run-up. *Coastal Engineering Journal*, 48 (4), 337-353.
- Gedik, N., Irtem, E. & Kabdasli, S.** (2006). Experimental investigation on solitary wave run-down and its effects on armor units, *Ocean Engineering*, 32, 513-528.
- Goring, D.G. & Fellow, F.R.** (1992). Propagation of long waves onto shelf, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 118, (1), 43-61.
- Goseberg, N., Wurpts, A. & Schlurmann, T.** (2013). Laboratory-scale generation of tsunami and long waves, *Coastal Engineering*, 79, 57-74.
- Grimshaw, R.H.J.** (1970). The solitary wave in water of variable depth, *Journal of Fluid Mechanics*, 42, (3), 639-656.
- Grimshaw, R.H.J.** (1970). The solitary wave in water of variable depth Part 2, *Journal of Fluid Mechanics*, 46 (3), 611-622.
- Hayır A.** (2007). Tuzla açıklarındaki olası denizaltı heyelanının doğu Marmara kıyılarındaki etkilerin araştırılması (TÜBİTAK ÇAYDAG 104Y161). İstanbul: TÜBİTAK Destekli Projeler
- Irtem, E., Gedik, N., Kabdasli, S. & Yasa, N.E.** (2009). Coastal forest effects on tsunami run-up heights, *Ocean Engineering*, 36 (3-4), 313-320.
- Jensen, B.L., Sumer, B.M. ve Fredsøe, J.** (1989). Turbulent oscillatory boundary layers at high Reynolds numbers, *Journal of Fluid Mechanics*, 206, 265-297.
- Kamphuis, J., W.** (2000). *Introduction to Coastal Engineering and Management.* Advanced Series on Ocean Engineering: Volume 16. Singapore: World Scientific.
- Karsavran, Y.** (2009). *Solitary dalga şartları altında normal keson dalgakıran ve delikli keson dalgakıranların tırmanma ve basınç yönünden karşılaştırılması.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Korteweg, D.J. & de Vries G.** (1895). On the change of form of long waves advancing in a rectangular canal, and on a new type of long stationary waves, *Philosophical Magazine Series 5*, 39 (240), 422-443.
- Laitone, E.V.** (1960). The second approximation to cnoidal and solitary waves, *Journal of Fluid Mechanics*, 9, (3), 430-444.

- Liang, D., Gotoh, H., Khayyer, A. & Chen, J. M.** (2013). Boussinesq modelling of solitary wave and N-wave runup on coast, *Applied Ocean Research*, 42, 144-154.
- Liu, P. L.F. & Chan, I-C.** (2007). On long-wave propagation over a fluid-mud seabed, *Journal of Fluid Mechanics*, 579, 467-480.
- Liu, P.L.F. & Orfila, A.** (2004). Viscous effects on transient long-wave propagation, *Journal of Fluid Mechanics*, 520, 83-92.
- Liu, P.L.F., Park, Y.S. & Cowen, E.A.** (2007). Boundary layer flow and bed shearstress under a solitary wave, *Journal of Fluid Mechanics*, 574, 449-463.
- Liu, P.L.F., Simarro, G., Vandever, J. & Orfila, A.** (2006). Experimental and numerical investigation of viscous effects on solitary wave propagation in a wave tank, *Coastal Engineering*, 53, (2-3), 183-190.
- Lo, H-Y., Park, Y. S. & Liu, P. L.F.** (2013). Ton the run-up and back-wash processes of single and double solitar waves-An experimental study, *Coastal Engineering*, 80, 1-14.
- Longuet-Higgins, M.S. & Fenton, J.D.** (1974). On mass, momentum, energy, and calculation of a solitary wave, *Proc. Roy. Soc. London, Series A*, 340, 471-493.
- Madsen, O. S. & Mei, C. C.** (1969). The transformation of a solitary wave over an uneven bottom, *Journal of Fluid Mechanics*, 39, (4), 781-791.
- Madsen, P.A., Fuhrman, D.R. & Schaffer, H.A.** (2008). On the solitary wave paradigm for tsunamis, *J. Geophysical Research*, 113, (C12012).
- Madsen, P.A. & Schaffer, H.A.** (2010). Analytical solutions for tsunami runup on a plane beach: single waves, N-waves and transient waves, *Journal of Fluid Mechanics*, 39, 27-57.
- Mitsoudis, D.A., Flouri, E.T., Chrysoulakis, N., Kamarianakis, Y., Okal, E.A., ... Synolakis, C.E.** (2012). Tsunami hazard in the southeast Aegean Sea, *Coastal Engineering*, 60, 136-148.
- Munk, W.H.** (1942). The solitary wave theory and its application to surf problems, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 51, 376-424.
- Nandasena, N.A.K., Sasaki, Y. & Tanaka, N.** (2012). Modeling field observations of the 2011 Great East Japan tsunami: efficiency of artificial and natural structures on tsunami mitigation, *Coastal Engineering*, 67, 1-13.
- NortekUSA.** (2013). *Principles of Operation*, Nortek AS.
- Park, Y.S., Liu, P.L.F. & Clark, S.J.** (2008). Viscous flows in a muddy seabed induced by a solitary wave, *Journal of Fluid Mechanics*, 598, 383-392.
- Pattiaratchi, C. B. & Wijeratne, E. M. S.** (2009). Tide gauge observations of 2004-2007 Indian Ocean tsunamis from Sri Lanka and Western Australia, *Pure and Applied Geophysics*, 166, 233-258.
- Rayleigh, L.** (1876). On waves. *Philosophical Magazine Series 5*, 1 (4), 257-279.

- Rossetto T., Allsop W., Charvet, I. & Robinson, D.** (2011). Physical modelling of tsunami using a pneumatic wave generator, *Coastal Engineering*, 58, 517-527.
- Rueben, M., Holman, R., Cox, D., Shin, S., Killian, J. & Stanley, J.** (2011). Optical measurements of tsunami inundation through an urban waterfront modeled in a large-scale laboratory basin, *Coastal Engineering*, 58 (3), 229-238.
- Russell, J.S.**, (1844) Report on waves. *14th Meeting Brit. Assoc. Advance. Sci.* pp 311-390.
- Savcı, M.E., Ağırlioğlu, N., Karadoğan, H., Mestanzade, N. Erdik, T., Karsavran, Y., Okçu, D. & Graf, W.** (2009). Marmara bölgesindeki kritik kıyı yapılarının tsunami dalgalarına karşı proje kriterlerinin belirlenmesi ve gerekli standartın oluşturulması (TÜBİTAK MAG Proje 105M261, 2009: 1-89). İstanbul: TÜBİTAK Destekli Projeler
- Sælevik, G., Jensen, A. & Pedersen, A.** (2013). Runup of solitary waves on a straight and a composite beach, *Coastal Engineering*, 77, 40-48.
- Seelam, J.K., Guard, P.A. & Baldock, T.E.** (2011). Measurement and modeling of bed shear stress under solitary waves, *Coastal Engineering*, 58, 937-947.
- Song, T. & Graf, W.** (1996). Velocity and turbulence distribution in unsteady open-channel flows, *Journal of Hydraulic Engineering*, 122 (3), 141-154.
- Sorensen, R.M.** (2006). *Basic Coastal Engineering*. (3rd ed.) New York, NY: Springer.
- Stokes, G.G.** (1847). On the theory of oscillatory waves, *Transactions, Cambridge Philosophical Society*, 8, 441-455.
- Sumer, B.M.** (2013). Lecture notes on turbulence, *Technical University of Denmark*.
- Sumer, B.M., Jensen, P.M., Sørensen, L.B., Fredsøe, J. & Liu, P.L.F.** (2008). Turbulent solitary wave boundary layer. *Proceedings of the Eighteenth International Offshore and Polar Engineering Conference*, Vancouver, BC, Canada : July 6-11.
- Sumer, B.M., Jensen, P.M., Sørensen, L.B., Fredsøe, J., Liu, P.L.F & Carstensen, S.** (2010). Coherent structures in wave boundary layers. Part 2. Solitary motion, *Journal of Fluid Mechanics*, 646, 207-231.
- Synolakis, C.E. & Bernard, E.N.** (2006). Tsunami science before and beyond Boxing Day 2004, *Phil. Trans. Roy. Soc. A.*, 364, 2231– 2265.
- Synolakis, C.E., Bernard, E.N., Titov, V.V., Kanoğlu, U. & Gonzalez, F.I.** (2008). Validation and verification of tsunami numerical models, *Pure and Applied Geophysics*, 165, 2197-2228.
- Tadepalli, S. & Synolakis, C.** (1994). The run-up of N-waves on sloping beaches, *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 445 (1923), 99-112.
- Tadepalli, S. & Synolakis, C.** (1996). Model for the Leading Waves of Tsunamis, *Phys. Rev. Lett.*, 77 (2141), 99-112.

- Titov, V.V. & Synolakis, C. E.** (1995). Modeling of breaking and nonbreaking long-wave evolution and runup using VTCS-2, *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, 121 (6), 308–316.
- Vittori, G. & Blondeaux, P.** (2008). Turbulent boundary layer under a solitary wave, *Journal of Fluid Mechanics*, 615, 433-443.
- U.S. Army Corps of Engineers** (2008). *Coastal engineering manuel (CEM)*, Washington D.C., USA.
- Wiegel, R.L.** (1960). A presentation of cnoidal wave theory for practical application, *Journal of Fluid Mechanics*, 7, 273-286.
- Wiegel, R.L.** (1964). *Oceanographical Engineering* (3rd ed.). Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall.
- Wu, Y.T., Hsiao, S.C., Huang, Z.C. & Hwang, K.S.** (2012). Propagation of solitary waves over a bottom-mounted barrier, *Coastal Engineering*, 62, 31-47.
- Yüce, A.** (2007). *Uzun dalgaların düşey yüzlü kıyı yapıları üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zanke, U.C.E.** (2003). On the influence of turbulence on the initiation of sediment motion. *International Journal Of Sediment Research*, 646, 207-231.
- Zhao, X., Wang, B., & Liu, H.** (2010). Propagation and runup of tsunami waves with Boussinesq model, *32nd Conference on Coastal Engineering*, Shanghai, China : June 30-July 5.

EKLER

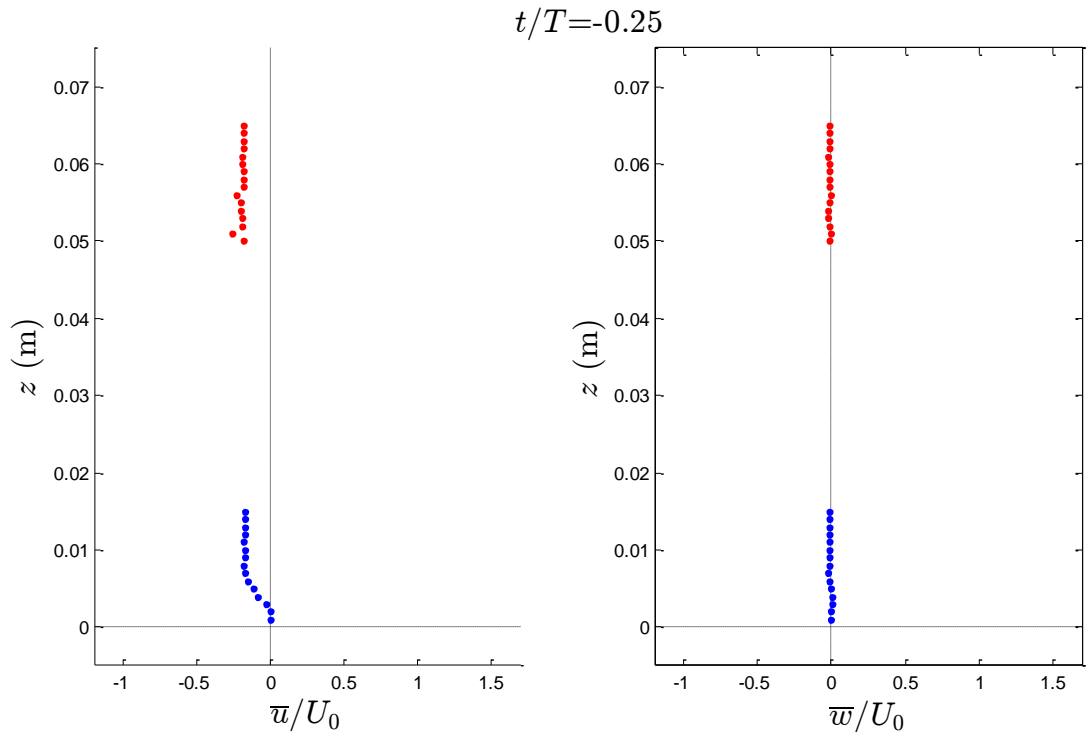
EK A: Hız Verisi Videoları (CD-ROM)

EK B: Ortalama Yatay ve Düşey Hız Profilleri

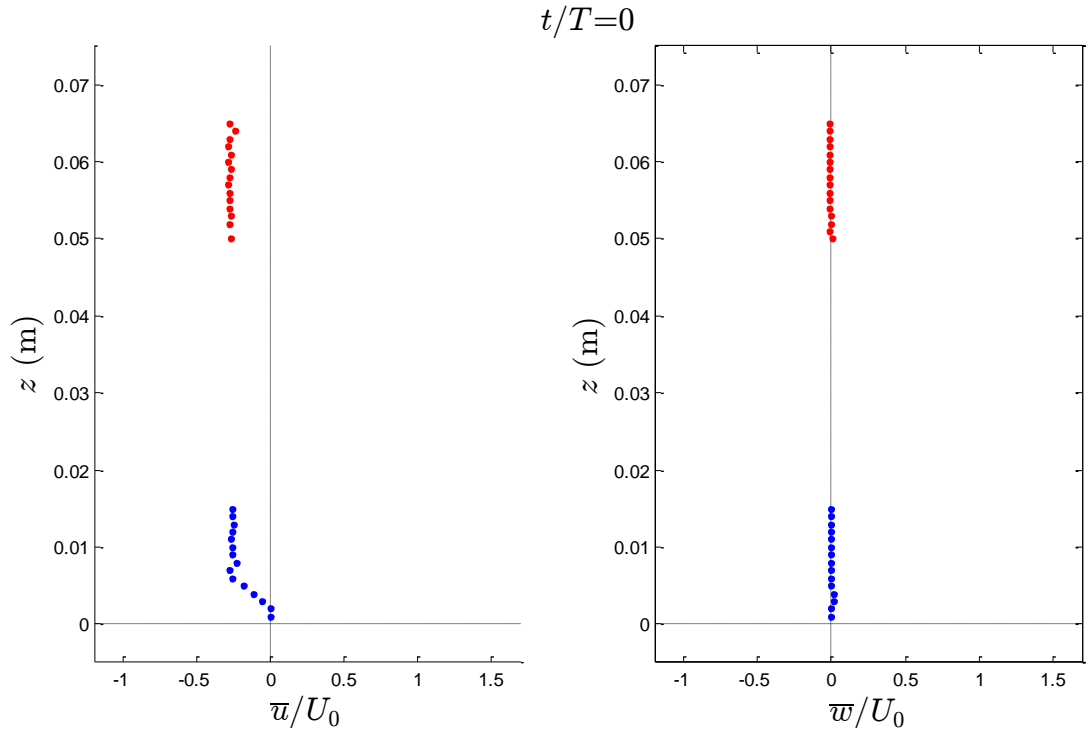
EK C: Hız Çalkantı Bileşenleri ve Türbülans Kinetik Enerjisi Profilleri

EK D: Türbülans Kayma Gerilmesi

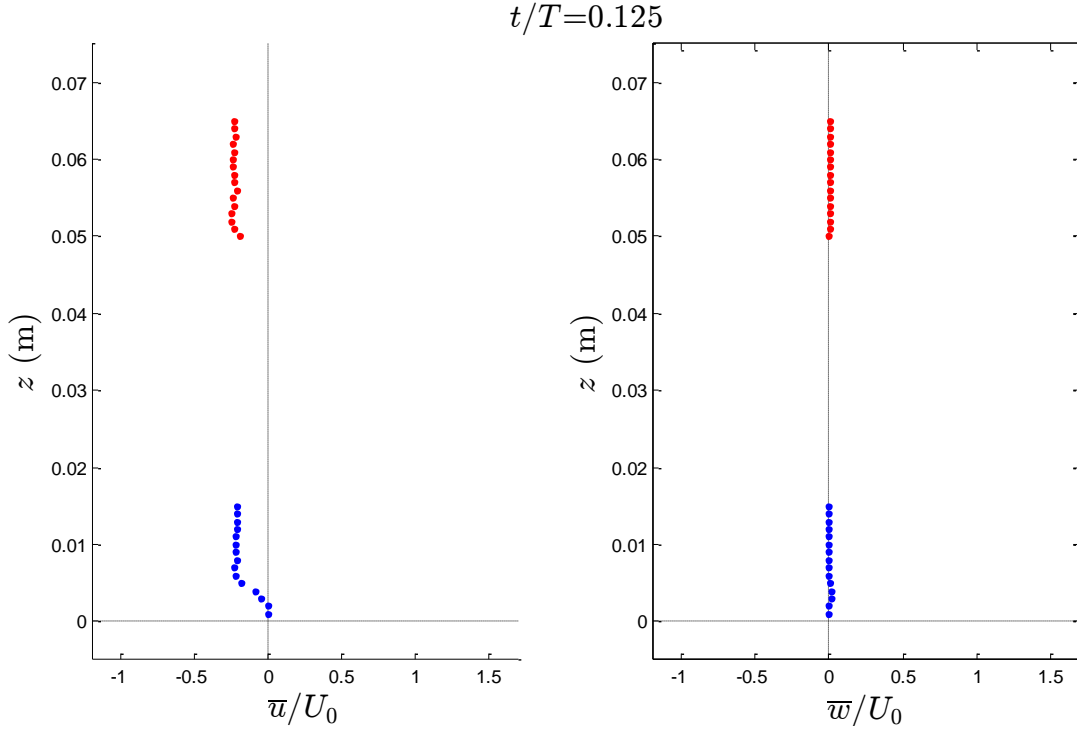
EK B Ortalama Yatay ve Düşey Hız Profilleri



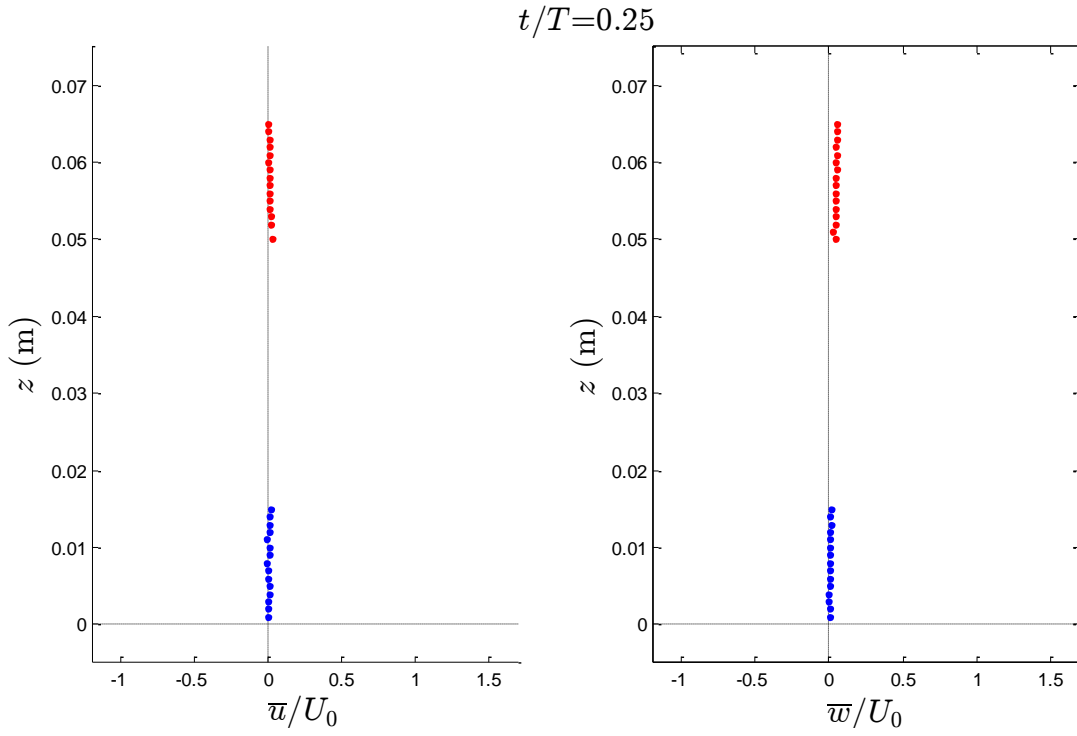
Şekil B.1 : $t/T = -0.25$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.



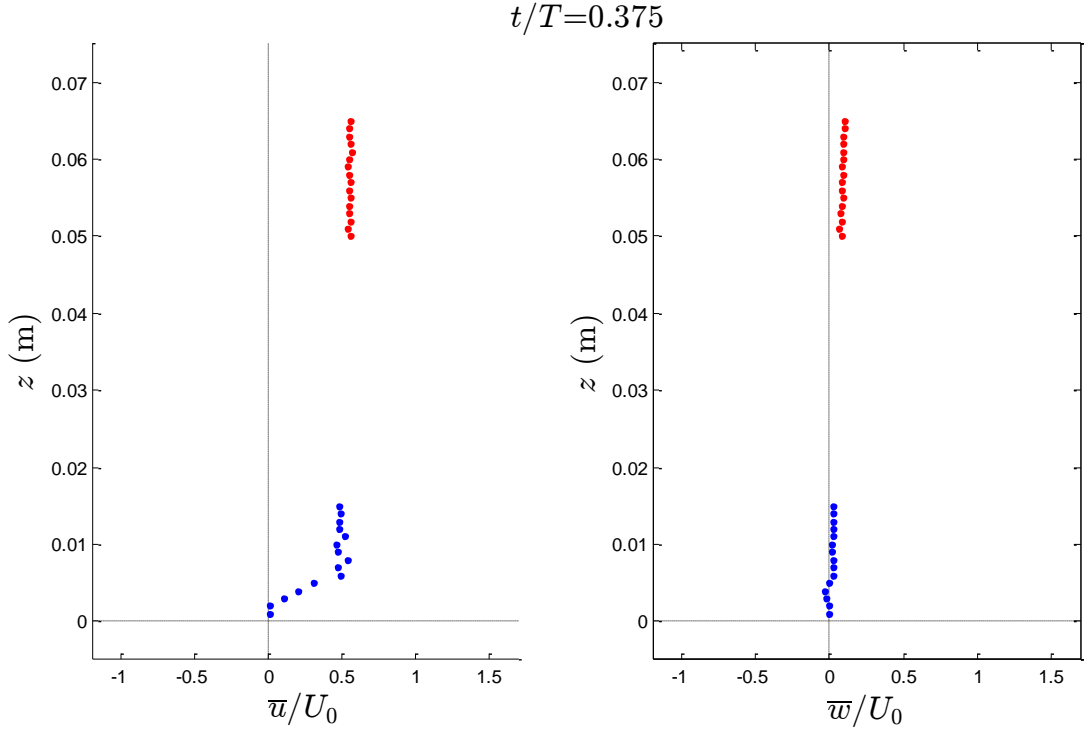
Şekil B.2 : $t/T = 0$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.



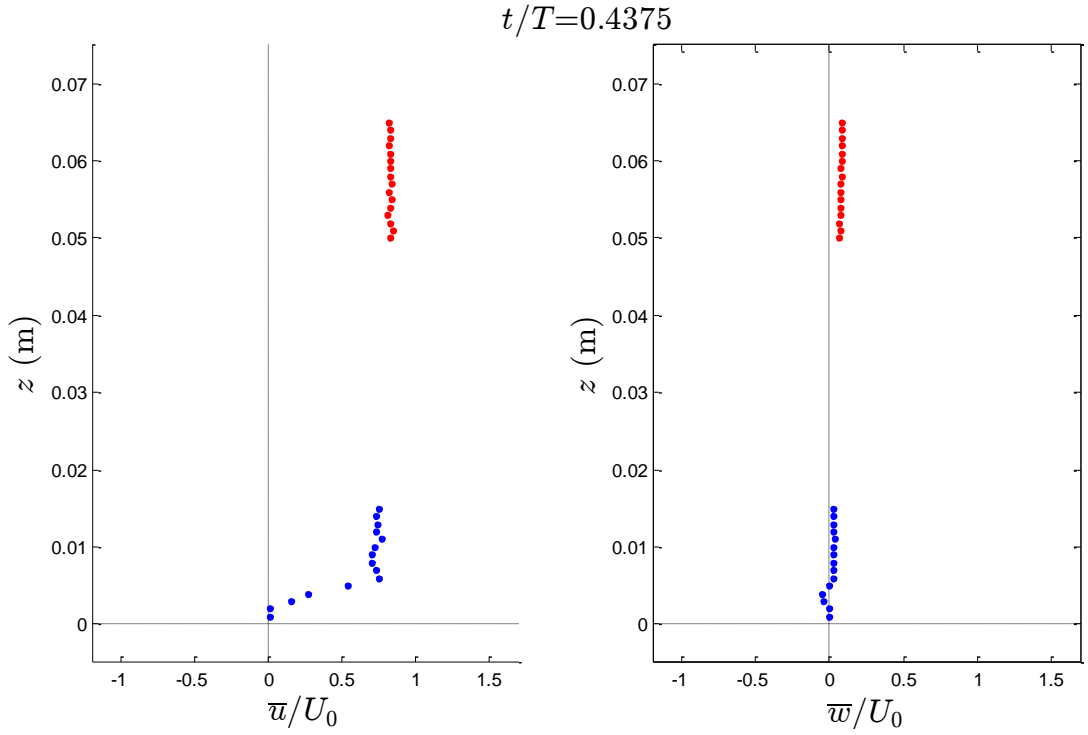
Şekil B.3 : $t/T=0.125$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.



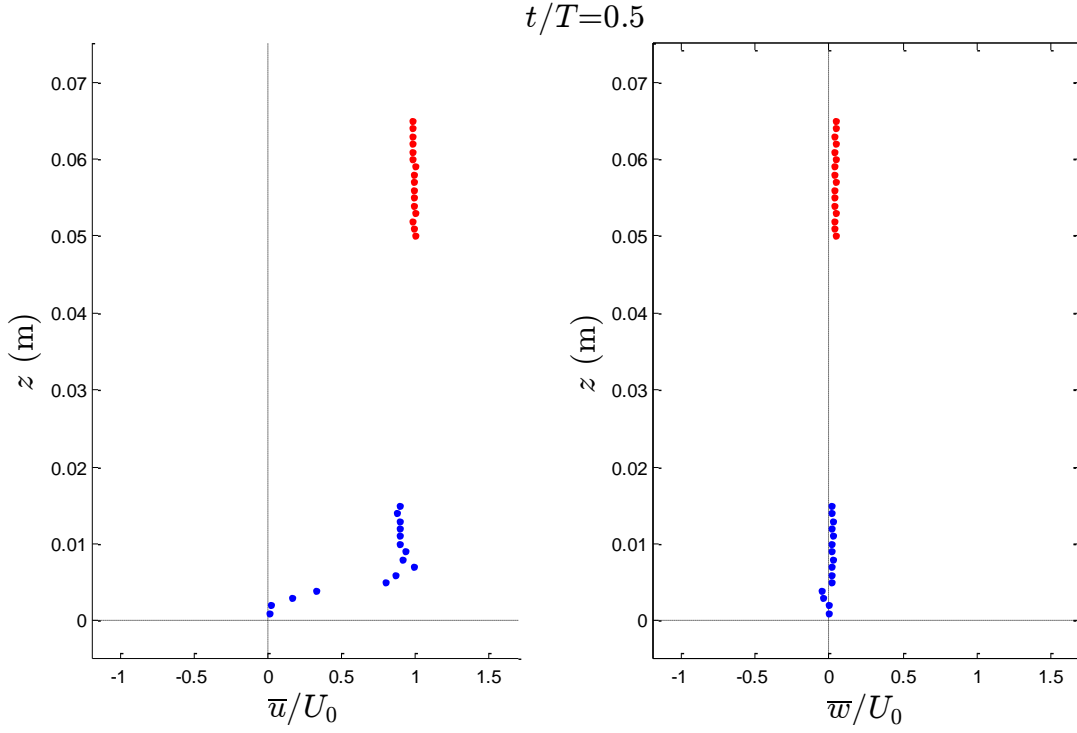
Şekil B.4 : $t/T=0.25$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.



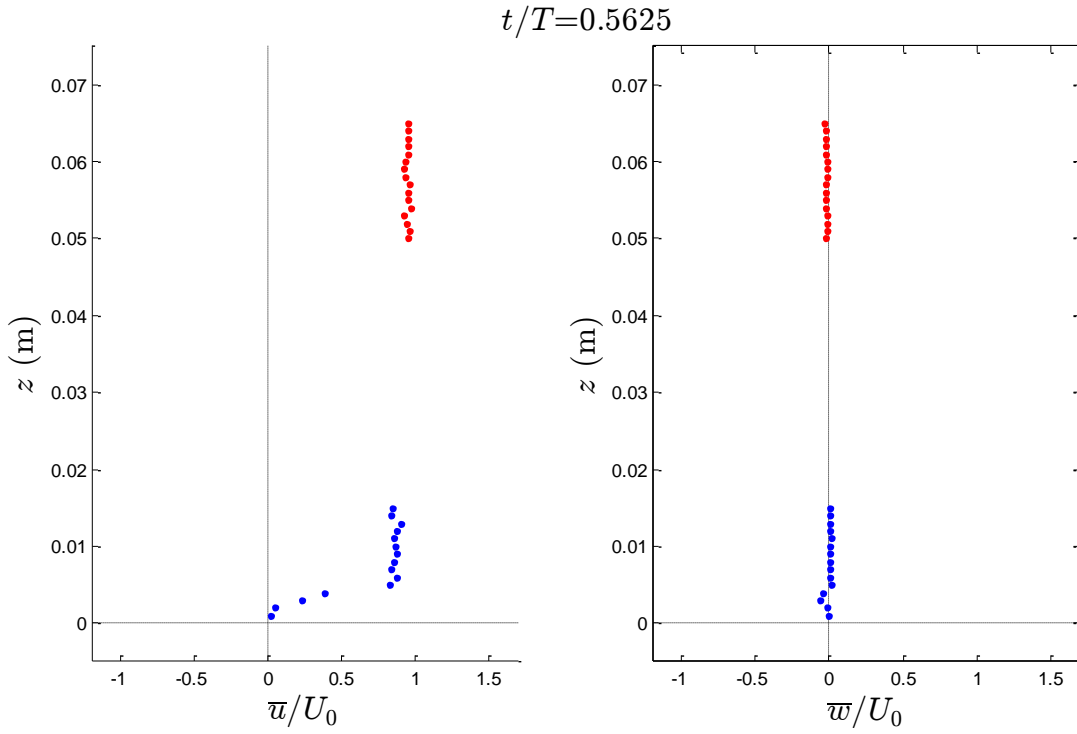
Şekil B.5 : $t/T=0.375$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.



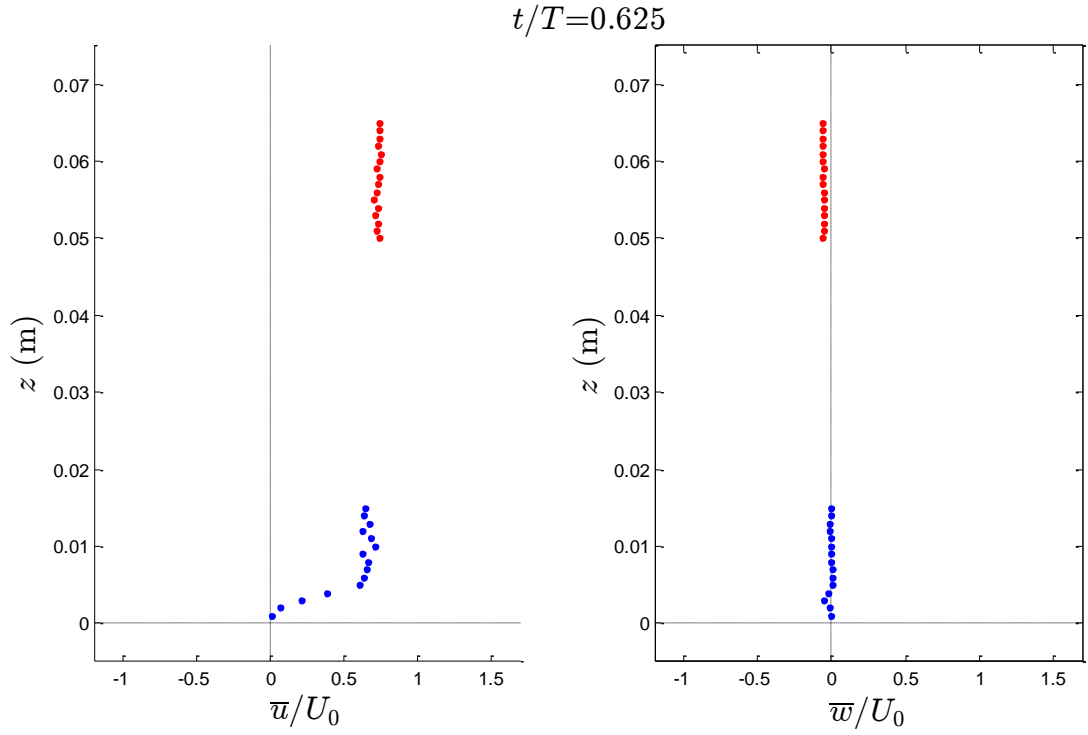
Şekil B.6 : $t/T=0.4375$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.



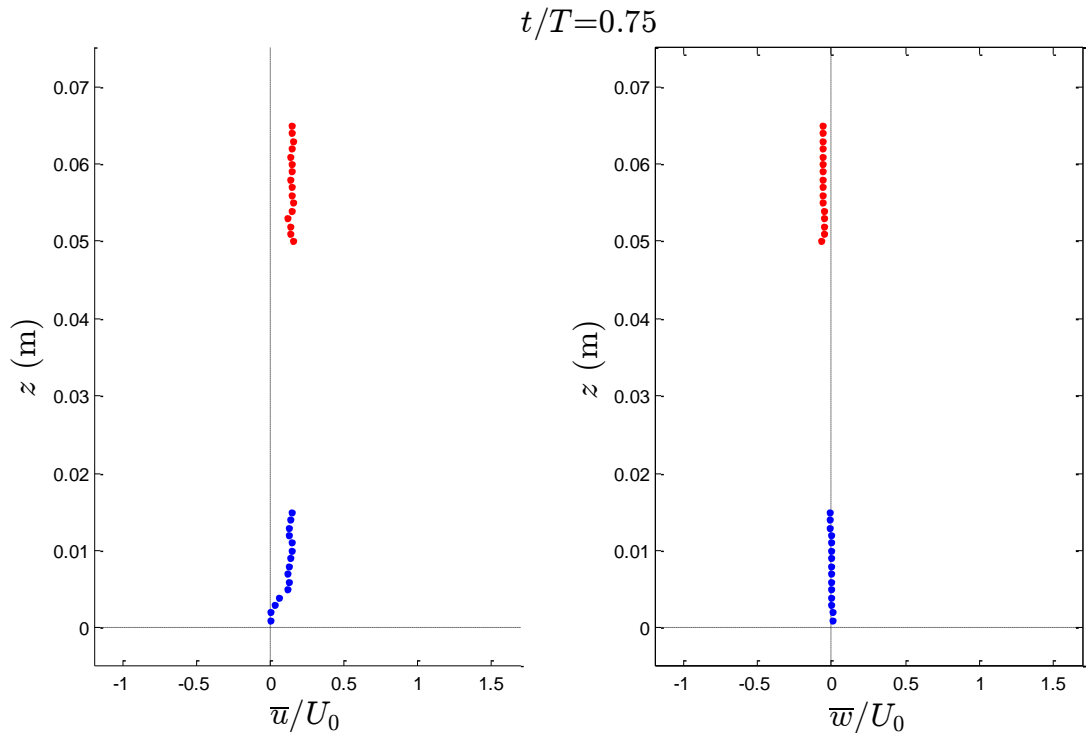
Şekil B.7 : $t/T=0.50$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.



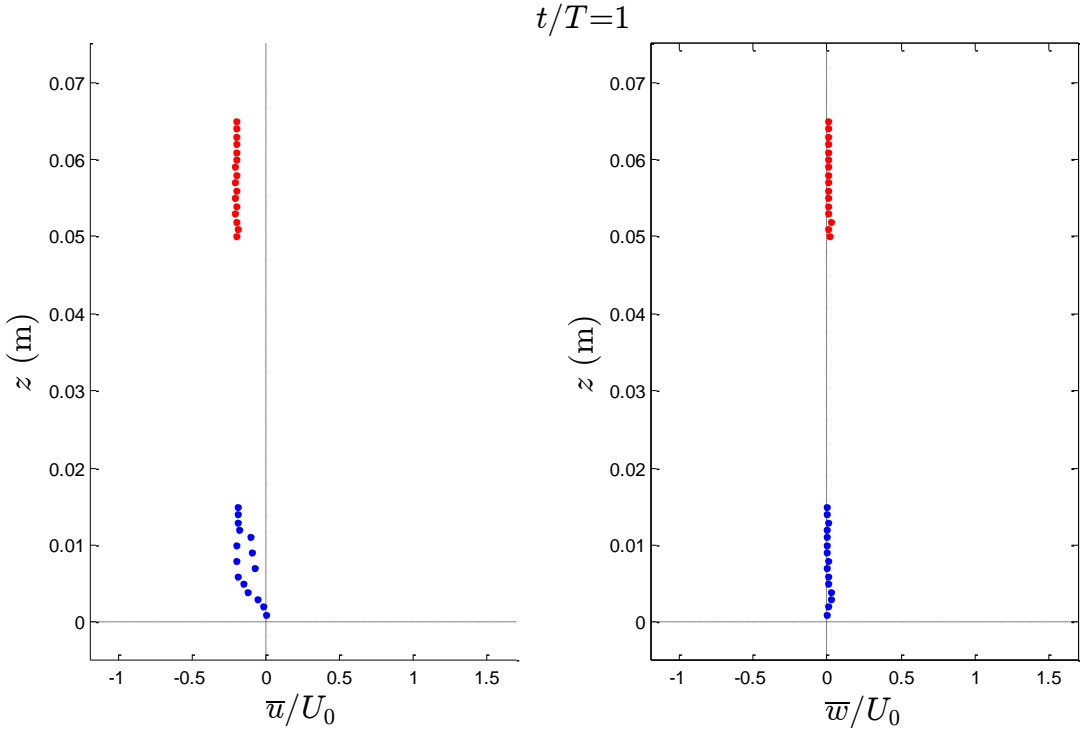
Şekil B.8 : $t/T=0.5625$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.



Şekil B.9 : $t/T=0.625$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.

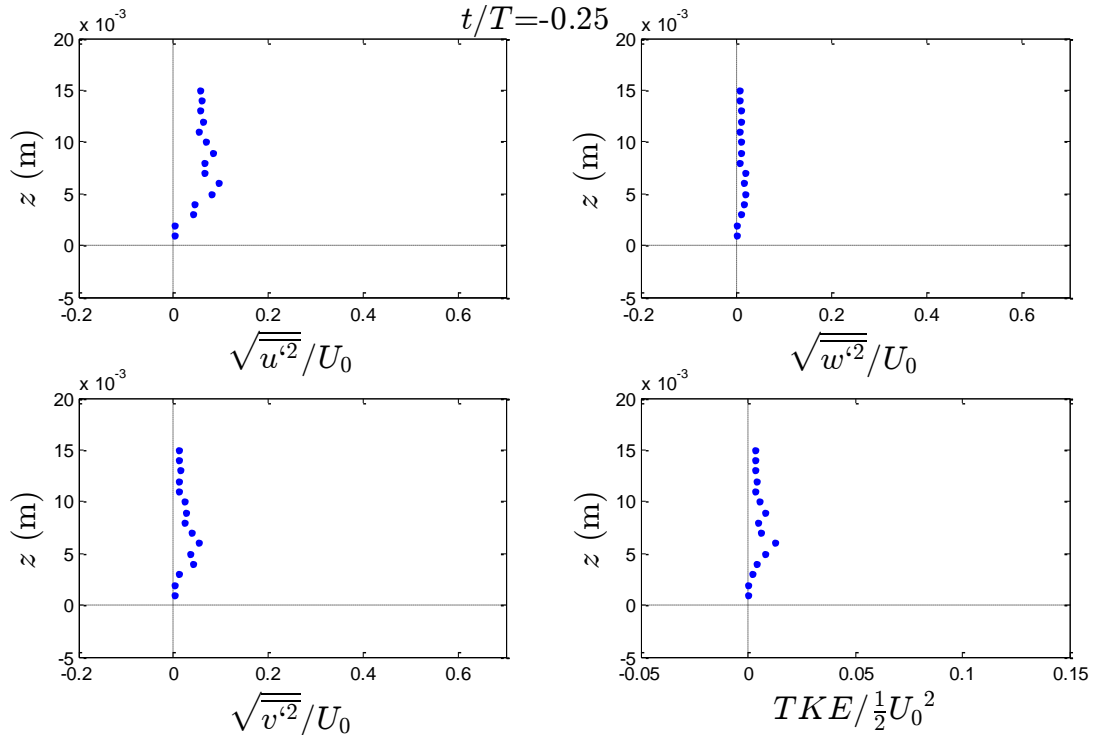


Şekil B.10 : $t/T=0.75$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.

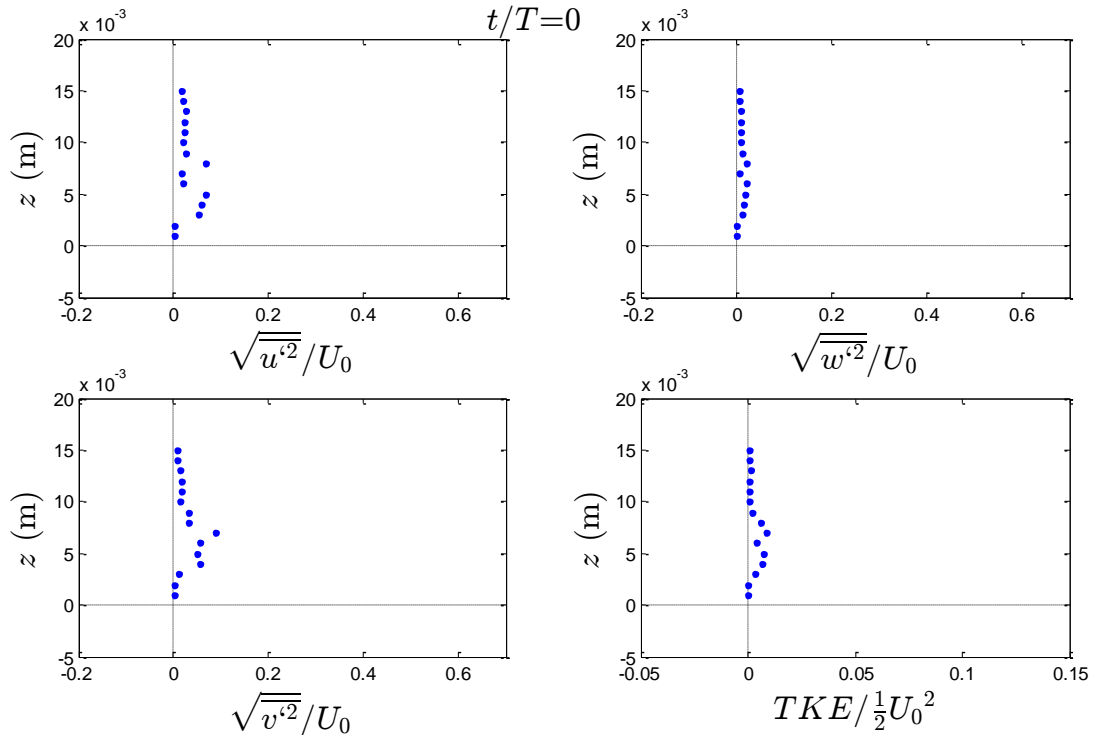


Şekil B.11 : $t/T=1$ anında ortalama yatay (u) ve düşey (w) hız profilleri.

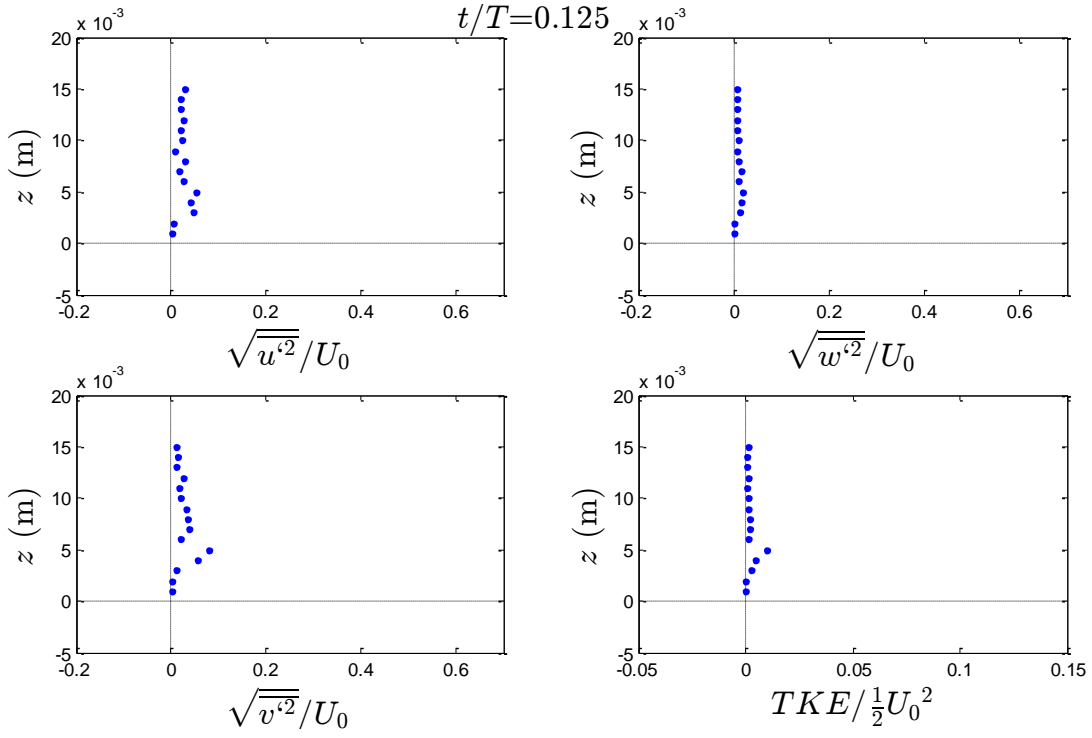
EK C Hız Çalkantı Bileşenleri ve Türbülans Kinetik Enerjisi Profilleri



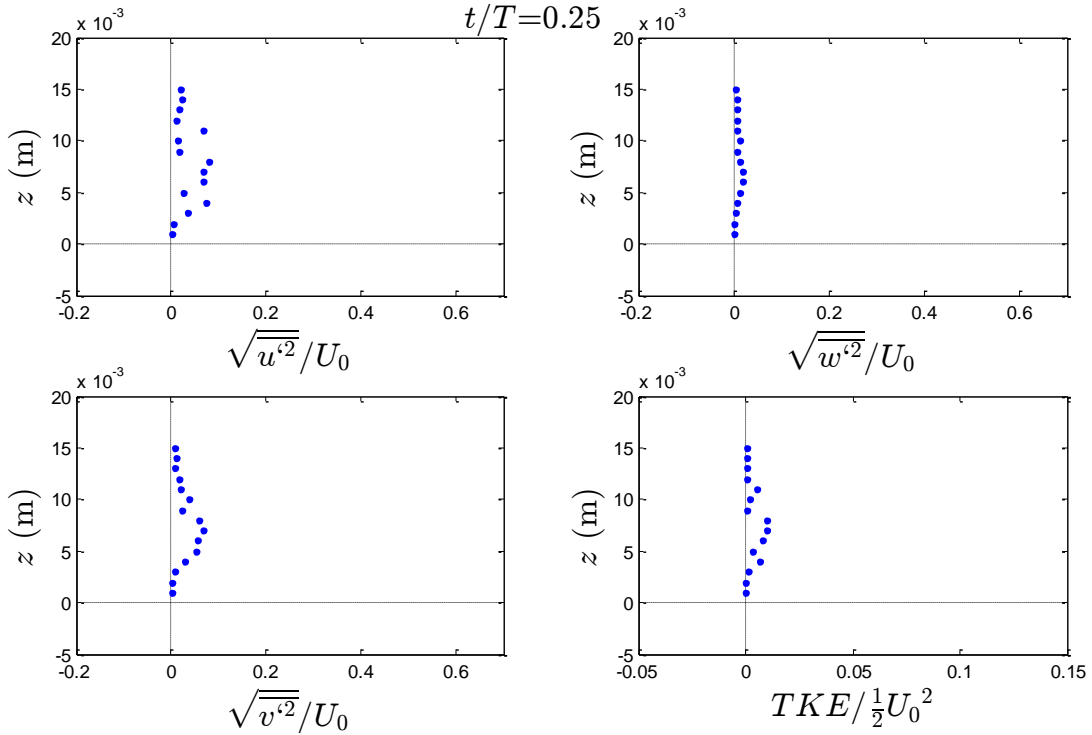
Şekil C.1 : $t/T=-0.25$ anında çalkantı bileşenleri (u' , v' , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.



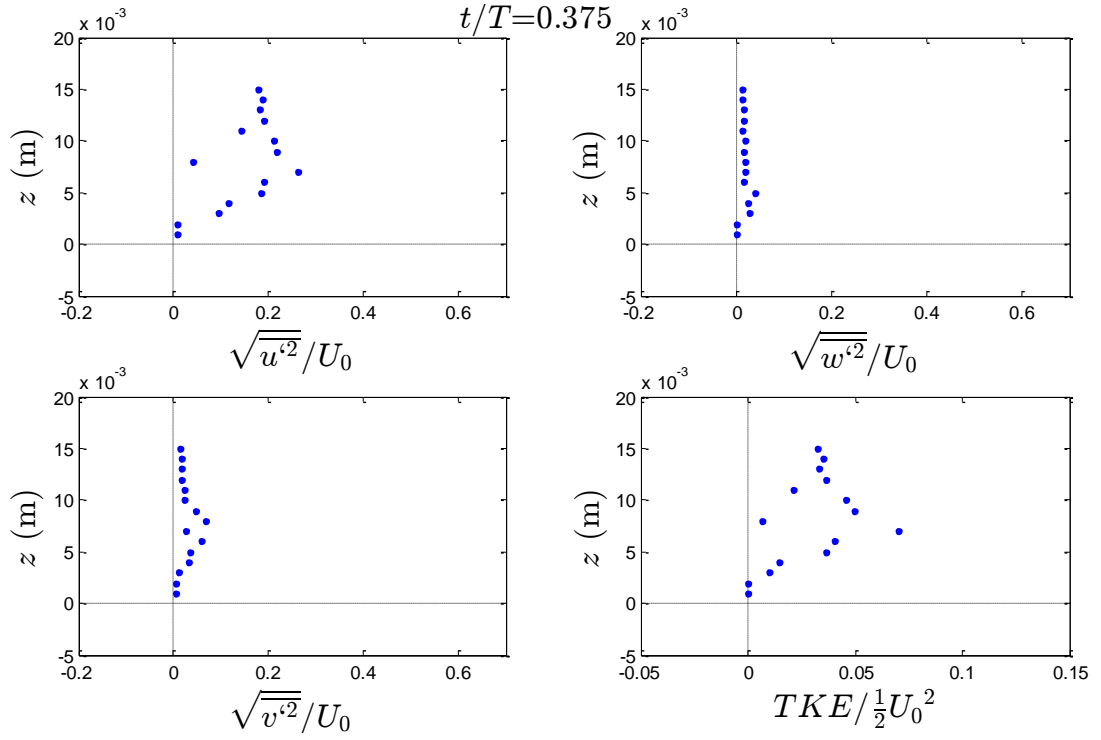
Şekil C.2 : $t/T=0$ anında çalkantı bileşenleri (u' , v' , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.



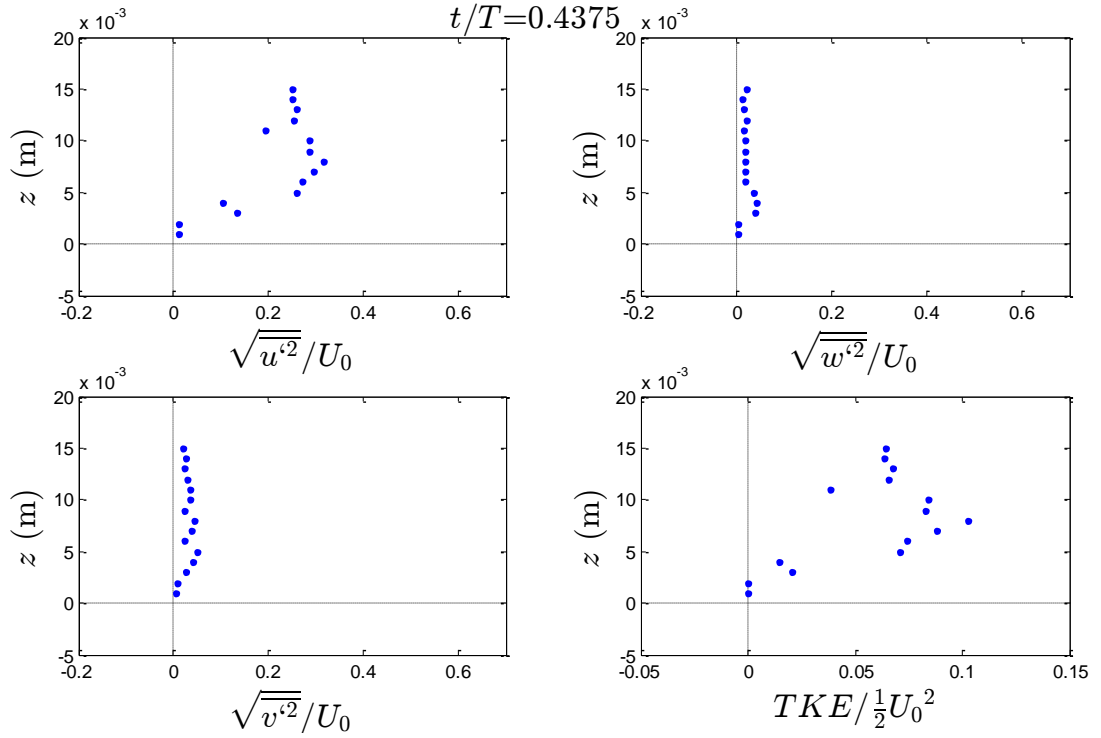
Şekil C.3 : $t/T=0.125$ anında çalkantı bileşenleri (u' , v' , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.



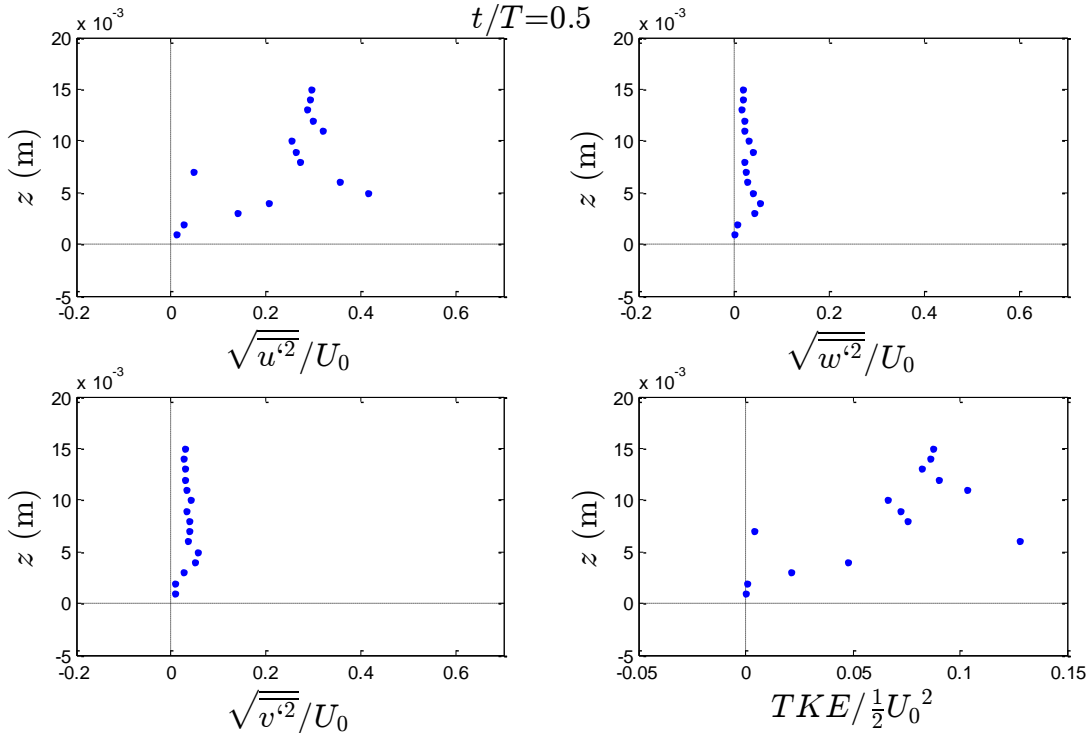
Şekil C.4 : $t/T=0.25$ anında çalkantı bileşenleri (u' , v' , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.



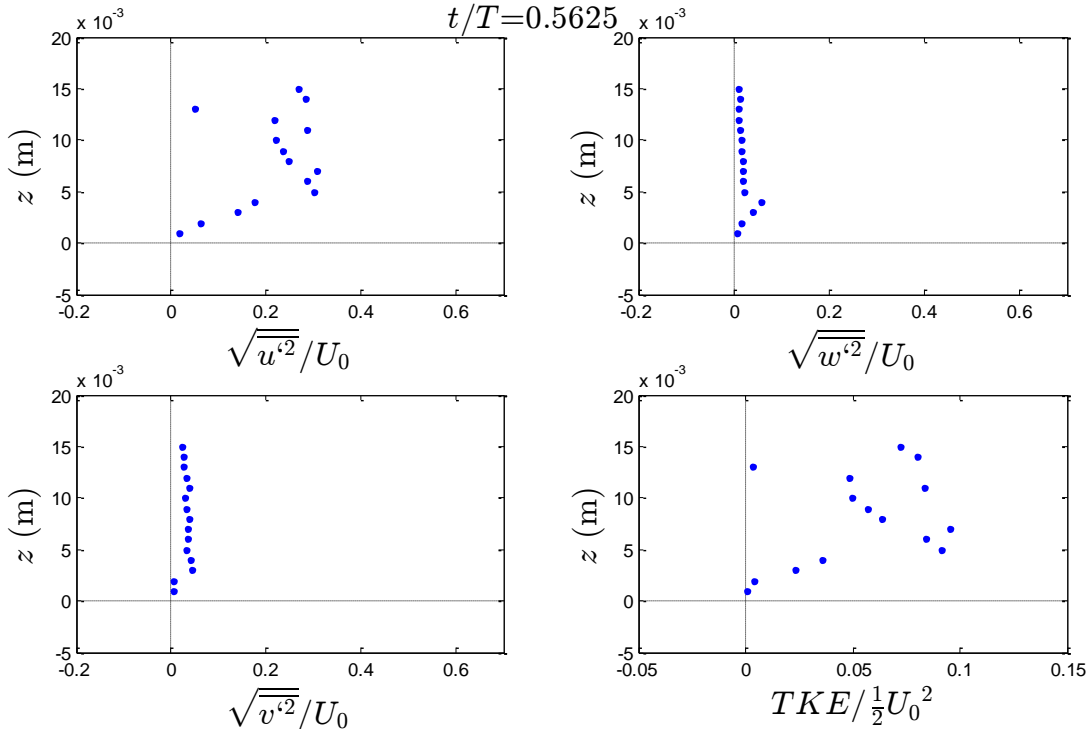
Şekil C.5 : $t/T=0.375$ anında çalkantı bileşenleri (w , v , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.



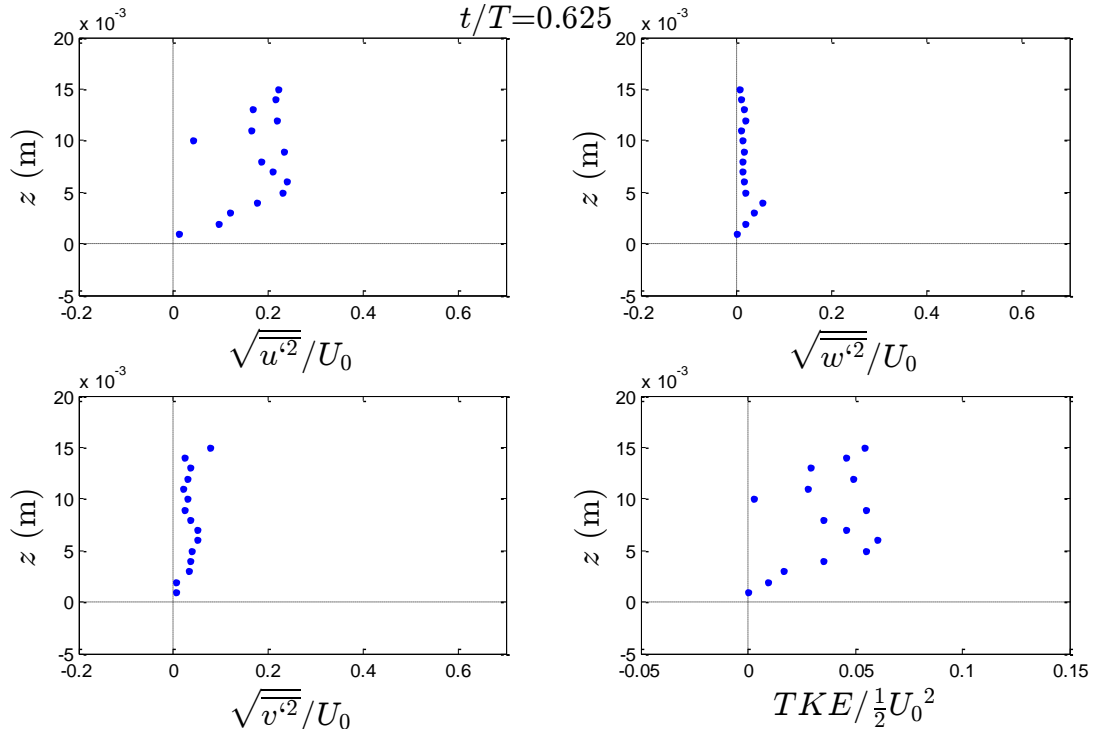
Şekil C.6 : $t/T=0.4375$ anında çalkantı bileşenleri (w , v , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.



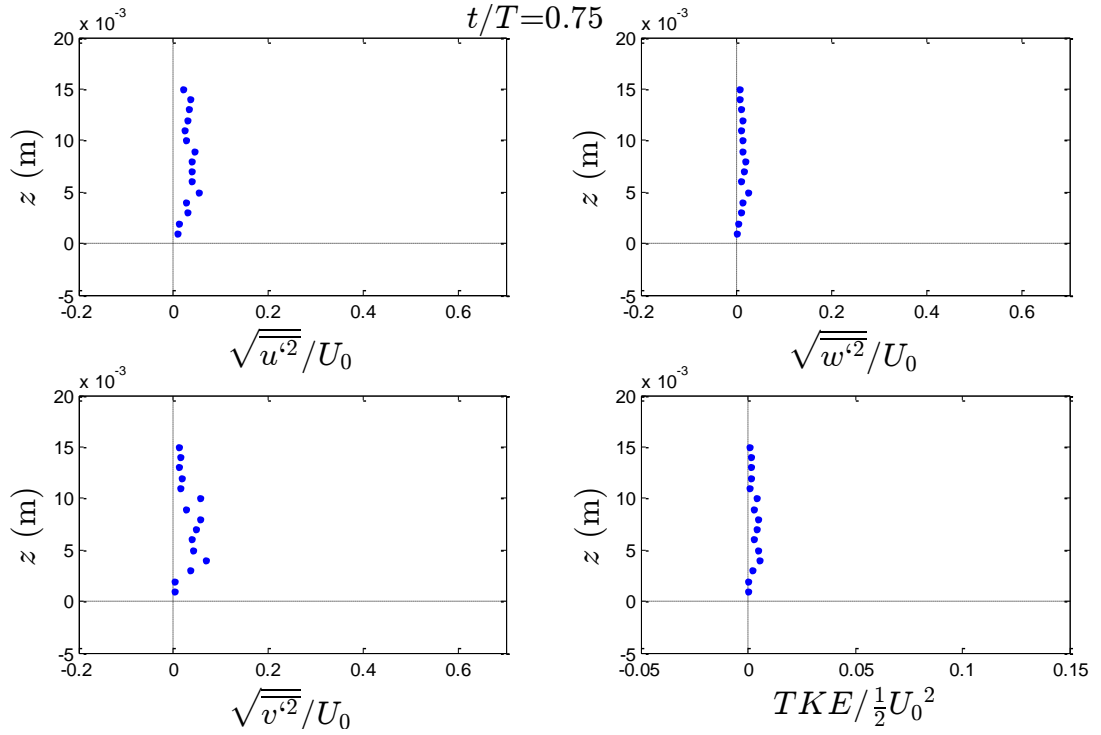
Şekil C.7 : $t/T=0.5$ anında çalkantı bileşenleri (u' , v' , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.



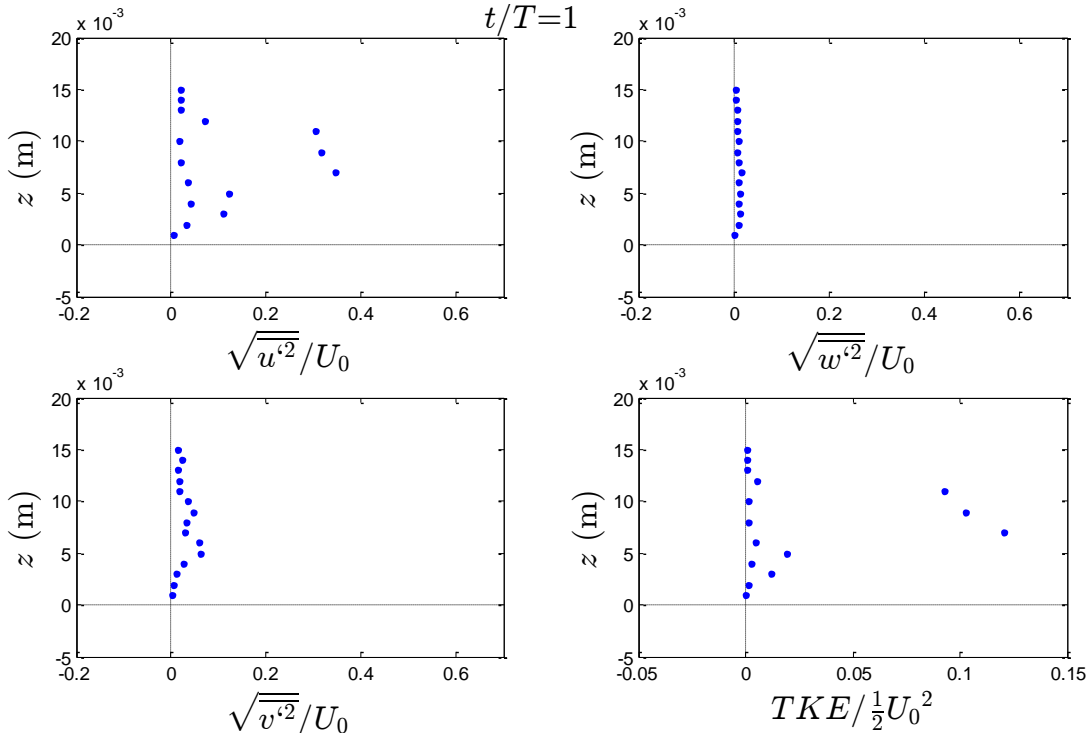
Şekil C.8 : $t/T=0.5625$ anında çalkantı bileşenleri (u' , v' , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.



Şekil C.9 : $t/T=0.625$ anında çalkantı bileşenleri (w , v , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.

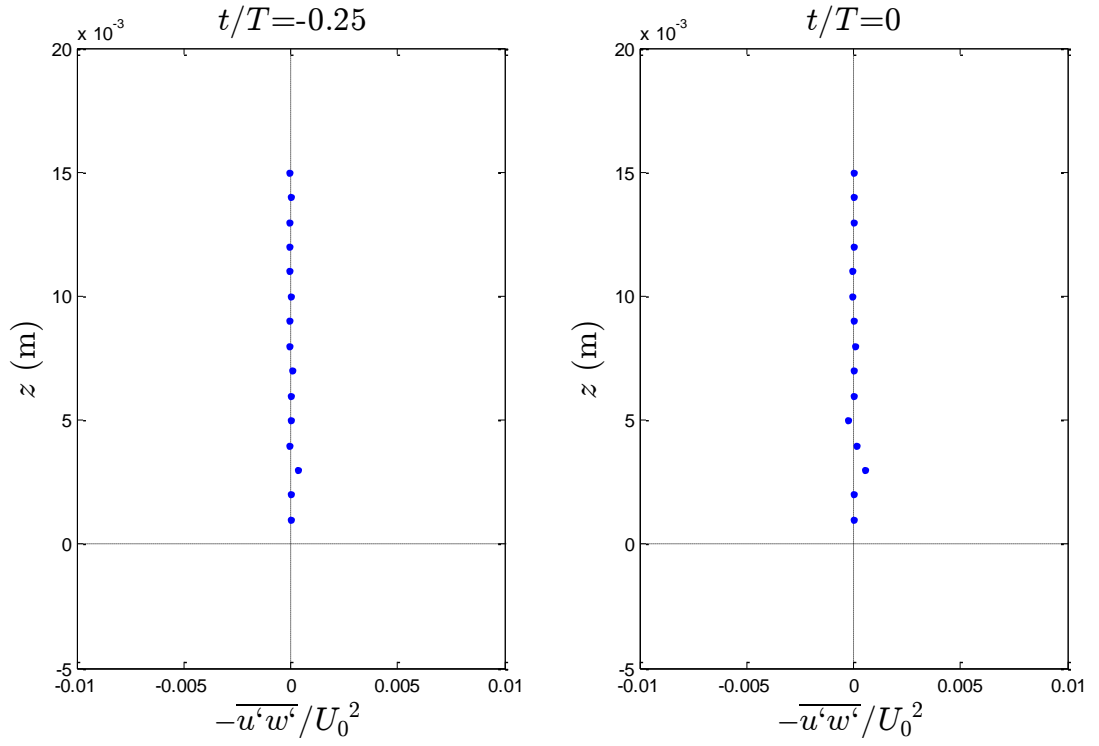


Şekil C.10 : $t/T=0.75$ anında çalkantı bileşenleri (w , v , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.

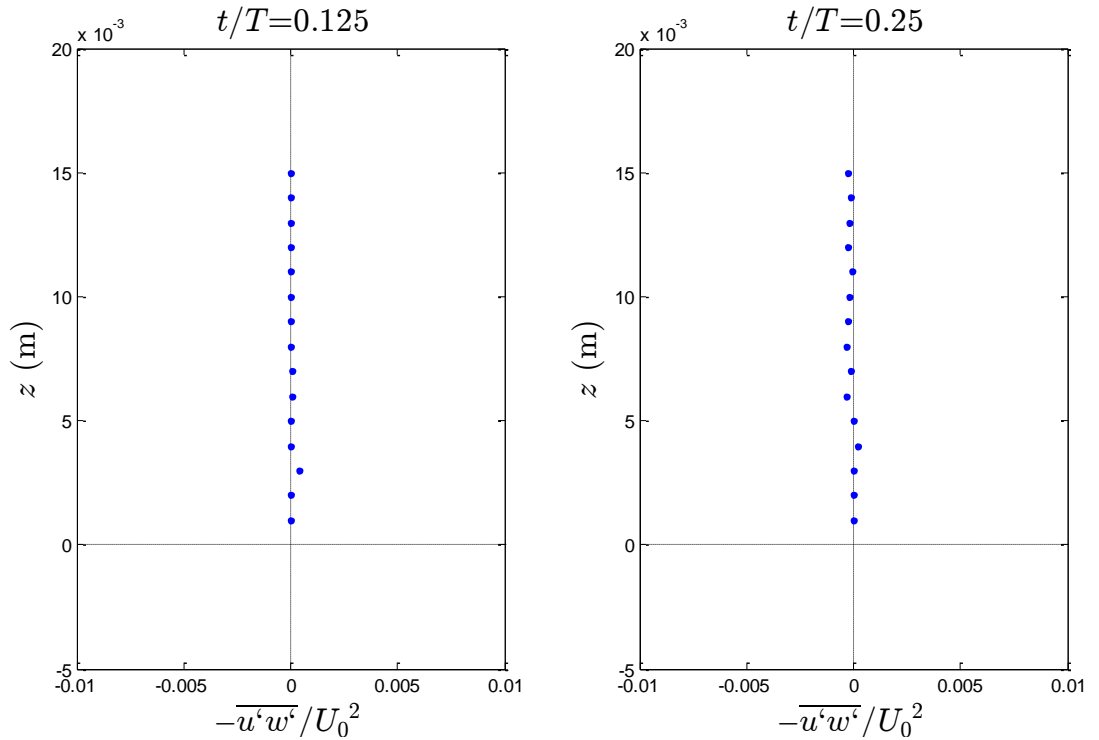


Şekil C.11 : $t/T=1$ anında çalkantı bileşenleri (u' , v' , w') ve türbülans kinetik enerjisi (TKE) profilleri.

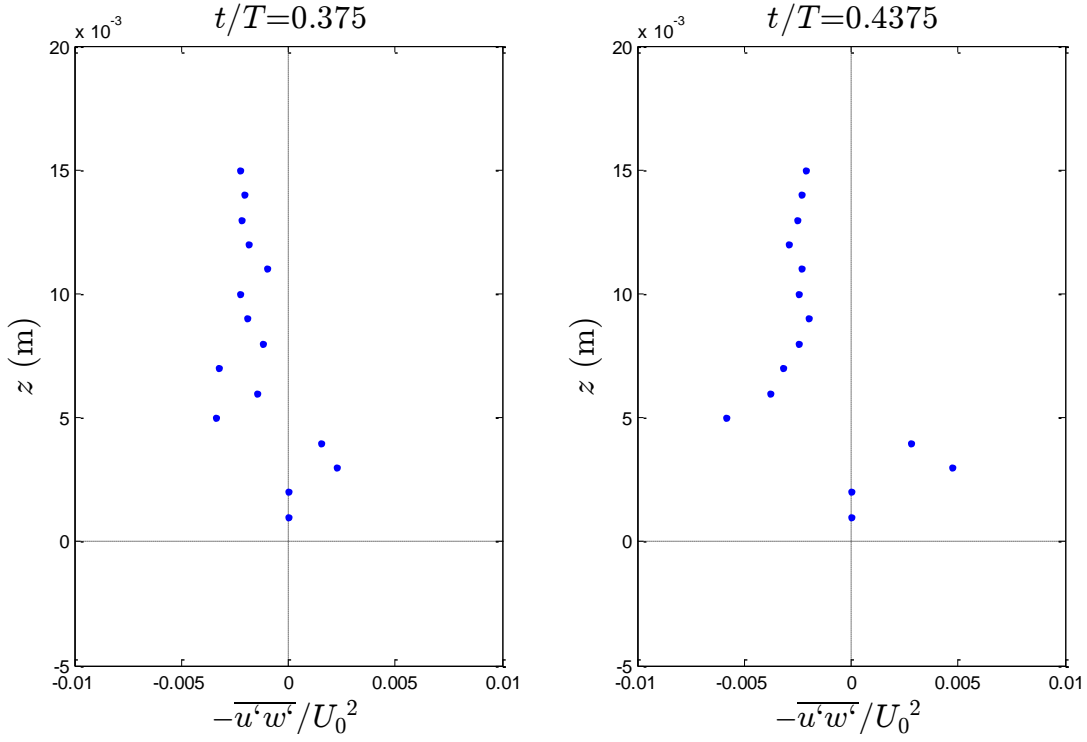
EK D Türbülans Kayma Gerilmesi



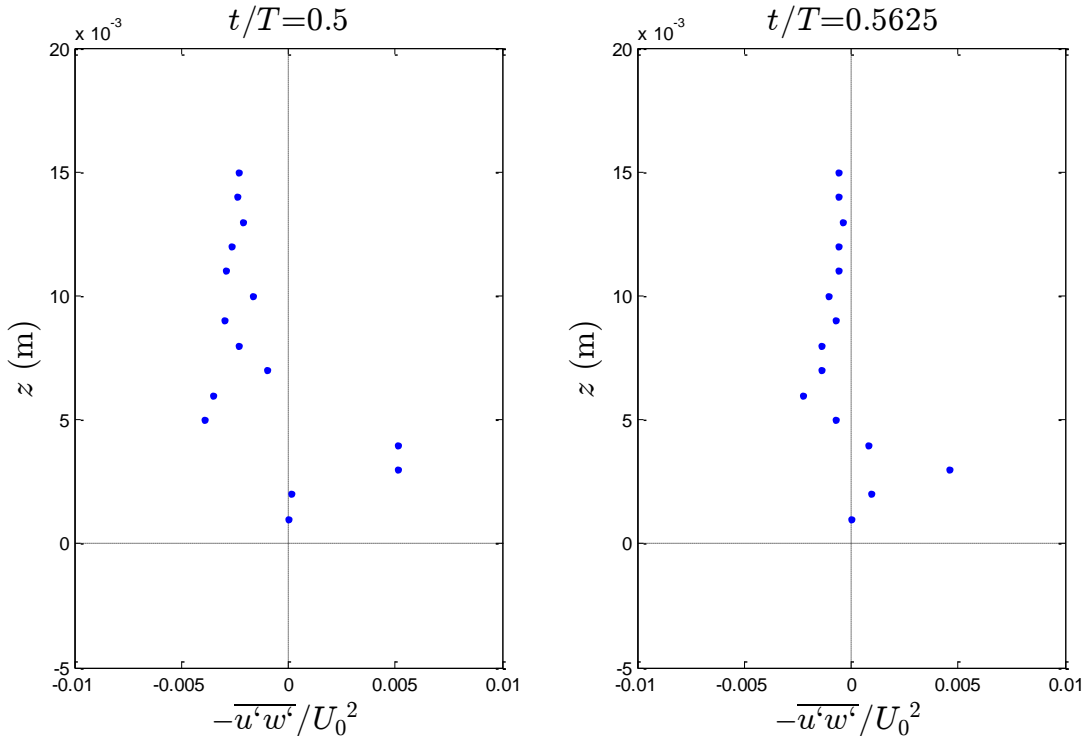
Şekil D.1 : $t/T = -0.25$ ve $t/T = 0$ anlarında türbülans kayma gerilmesi değişimi.



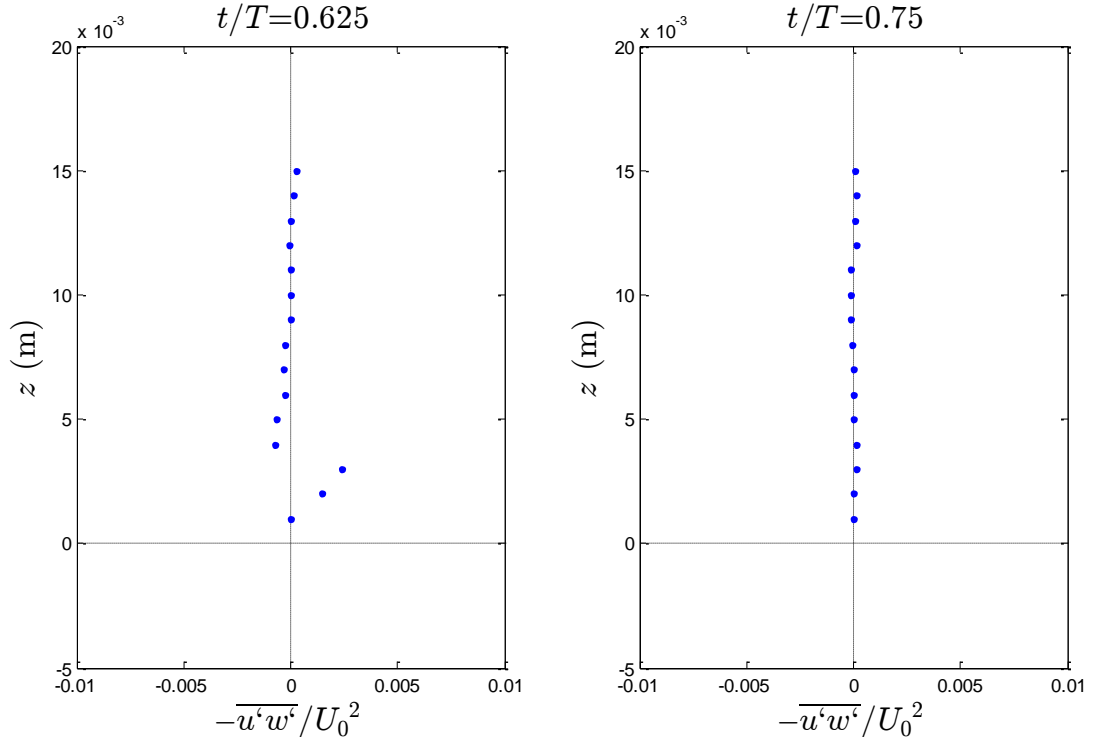
Şekil D.2 : $t/T = 0.125$ ve $t/T = 0.25$ anlarında türbülans kayma gerilmesi değişimi.



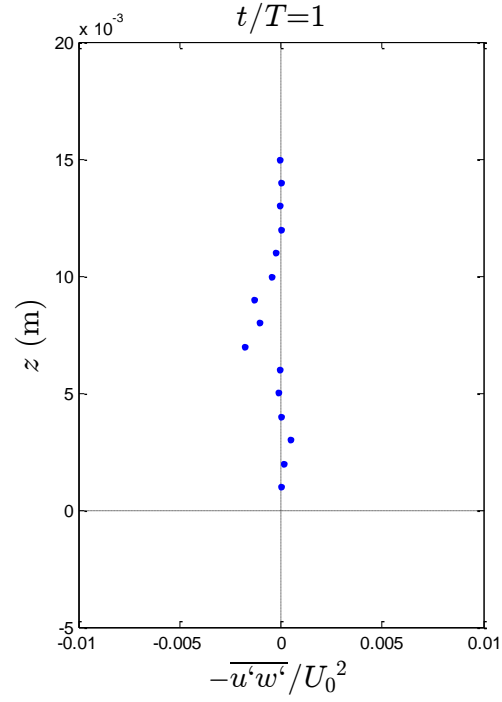
Şekil D.3 : $t/T=0.375$ ve $t/T=0.4375$ anlarında türbülans kayma gerilmesi değişimi.



Şekil D.4 : $t/T=0.5$ ve $t/T=0.5625$ anlarında türbülans kayma gerilmesi değişimi.



Şekil D.5 : $t/T=0.625$ ve $t/T=0.75$ anlarında türbülans kayma gerilmesi değişimi.



Şekil D.6 : $t/T=1$ anında türbülans kayma gerilmesi değişimi.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Taylan BAĞCI
Doğum Tarihi ve Yeri : 05.03.1981 Adıyaman
E-posta : bagcitaylan@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2005, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölüm
- **Yükseklisans** :2007, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

09.2013-... Kıyı Mühendisi (Freelance)

01.2009-09.2013 Araştırma Görevlisi / İ.T.Ü İnşaat Fakültesi – İnşaat Müh. Böl.

11.2006–01.2009 Araştırmacı / İ.T.Ü İnşaat Fakültesi İstanbul

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR:

- **Bağcı, T.**, Kabdaşlı, M.S., 2015. Experimental Investigation of Effects of Coastal Morphology on N-Waves. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, Vol:2, Issue:2, 56-62.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Akyıldız, H., Ünal, N.E. and **Bağcı, T.**, 2012. Rijit Silindirik Bir Tankta Sıvı Çalkantısının Deneysel İncelenmesi. *İMO Teknik Dergi*, Cilt:23, Sayı:4, 6089-6112.
- İrtem, E., Kabdaşlı, M. S., **Bağcı, T.** and Oğuz, E., 2011. Numerical Modeling and Site Investigation on Water Body Movements in Ayvalık Bay, Turkey. *Journal of Coastal Research*, issue:SI 64, pp 1053-1057.

- Kabdaşlı, M. S., Kaçmaz, S. E., Baş, B., Oğuz, E., **Bağcı, T.**,2010. An Oil Spill Distribution Study In An Industrial Coastal Zone.*Fresenius Environmental Bulletin*, vol:19 issue:9A, pp 1935-1945.
- **Bağcı, T.**, İrtem, E. and Kabdaşlı, M. S., 2011: Effects of Sea Level Rises on Semi Enclosed Coastal Area: Case of Ayvalık Bay. 16th International Symposium on Enviromental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region, September 24th-27th, 2011, Ioannina, Greece.
- Kabdaşlı, M. S., Önöz,B., Varol E., Babaç, G., **Bağcı, T.**,2010: Wave Energy Extraction Through Offshore Breakwaters. 10th International Conference on Clean Energy, September 15-17, 2010, Famagusta, North Cyprus.
- **Bağcı, T.**, Elginöz Yaşa, N., Baş, B., Oğuz, E., Akgül, M.A., Yüce, A., Kabdaşlı, M.S., 2009: An experimental study on geotextile usage for protection of scour under submarine pipelines. The International Congress of International Maritime Association of the Mediterranean (IMAM), October 12-15, 2009 Istanbul, Turkey.
- Kabdaşlı, M. S., Kaçmaz, S. E., Baş, B., Oğuz, E., **Bağcı, T.**,2009: An oil spill distribution simulation study for an industrial coastal zone. 15th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region, October 7-11, 2009 Bari, Italy.
- Yılmaz, D., **Bağcı, T.**, Kabdaşlı, S., Artificial Lagoons for Sustainable Tourism. The 9th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, 10-14 November 2009, Sochi, Russia.