

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TSUNAMİ ETKİSİYLE OLUŞAN SEDİMENT TAŞINIMI

DOKTORA TEZİ
Aysun KÖROĞLU

Anabilim Dalı : Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

Programı : Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

ARALIK 2010

TSUNAMİ ETKİSİYLE OLUŞAN SEDİMENT TAŞINIMI

DOKTORA TEZİ
Aysun KÖROĞLU
(517032001)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 4 Ağustos 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Aralık 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI (İTÜ)
Eş Danışman : Doç. Dr. Emel İRTEM (BAÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. B. Ayşegül TANIK (İTÜ)
Prof.Dr. Emin SAVCI (İTÜ)
Prof.Dr. Cem AVCI (BOÜ)
Doç. Dr. Cem GAZİOĞLU(İÜ)
Yrd.Doç. Dr. Nuray GEDİK (BAÜ)

ARALIK 2010

Anneme,

ÖNSÖZ

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Anabilim dalında yürütülen bu doktora çalışmasında tsunami etkisiyle oluşan sediment taşınımı deneysel olarak incelenmiştir.

Öncelikle, bir doktora çalışmasının akademik kariyer planı içinde önemli bir parça olduğunu, akademik kariyerin ise bir hayat biçimi olduğunu kendi yaşamından da gözlemlediğim, doktora çalışmamın başından sonuna kadar çalışmalarımda büyük bir sabırla yanımda olup, bilgisini esirgemeyen ve doktora çalışmasının gereği olan beyin fırtınalarında beni sağ salim kıyıya ulaştıran Sayın Hocam Prof.Dr. M. Sedat KABDAŞLI'ya teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca, farklı şehirlerde olmamıza rağmen, eş danışmanım olmayı kabul eden ve mesafeleri büyük bir özveriyle kısaltan Sayın Doç.Dr. Emel İRTEM'e; tez izleme jürimde olmayı kabul eden Sayın Prof.Dr. Ayşegül TANIK'a, Doç.Dr. Cem GAZİOĞLU'na; tecrübelerini aktaran Sayın Yrd. Doç.Dr. Nuray GEDİK'e ve Doç.Dr. Oral YAĞCI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmamda kullandığım konsantrasyon ölçerin alımında Doktora projeleri kapsamında finansman kaynağı olarak destekleyen İ.T.Ü. Rektörlüğü'ne ve İ.T.Ü. Bilimsel Araştırma Proje Birimi çalışanlarına, Sayın Hocalarım'ın yanı sıra, deney düzeneğinin hazırlanmasında emeği geçen laboratuvarımız teknisyenleri Hasan YALÇIN'a, Mevlüt ULUÇINAR'a ve Yaşar AKTAŞ'a teşekkür ederim.

Deneylerin yürütülme aşamasında, soğuk sıcak demeden benimle birlikte kalibrasyon yapan, tezimle kendi tezi gibi ilgilenen Araş.Gör.Dr. Ebru ERİŞ'e, aynı odayı paylaştığım, doktora stresini geniş gönlüllüğü ve neşesiyle hafifleten Araş.Gör. Taylan BAĞCI'ya, aynı kaderi paylaştığım, güler yüzü ve pozitifliğiyle her zaman yanımda olan Araş.Gör.Dr. Ceren BİLGİN GÜNEY'e; uzmanlık alanı olmamasına rağmen tezimi okuyarak yazım hatalarını düzelten kuzenim Araş.Gör. Aylin AYNA'ya teşekkür ederim.

Doktoram boyunca tez yoğunluğu nedeniyle uzun zamanlar görüşemesekte, bana karşı sıcaklıklarını hiç kaybetmeyen arkadaşlarıma; tez yazma sürecinde, bilimsel yaklaşımıyla farklı bakış açıları sunan, doktorada geçen yorucu yılların yan etkisi olarak, pes etme eğilimimi soğukkanlılığıyla pozitifleştirip devam etme gücü veren Makina mühendisi A.Umut DOĞAN'a teşekkür ederim. Ayrıca enerjisini esirgemeyen ve beni her anlamda destekleyen üstadım Prof. Dr. Akif MANAF'a da teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, yaşamım boyunca her an sevgi ve desteklerini benden esirgemeyen teyzelerime, babama, kardeşime, özellikle bana olan inancını eksiltmeden beni destekleyen sevgili anneme ve tüm aileme teşekkür ederim.

Aralık 2010

Aysun KÖROĞLU
(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	4
1.2 Literatür Özeti	7
2. TEORİK YAKLAŞIM.....	25
2.1 Tsunami Tipi Uzun Dalgalar.....	25
2.1.1 Tsunami tipi dalgaların hidrodinamik özellikleri ve dalga teorileri	26
2.1.2 Tsunami oluşumu, ilerlemesi ve geri dönüşü(backwash)	30
2.1.3 Tsunami büyüklüğü, tsunami hasar ve risk değerlendirmesi	34
2.1.3.1 Tsunami büyüklüğü	34
2.1.3.2 Tsunami kaynaklı hasar değerlendirmesi	35
Direkt etkiler:	36
Dolaylı etkiler:	38
2.2 Katı Madde – Sediment Taşınımı.....	39
2.2.1 Katı maddenin yayılması/dağılmasına etki eden faktörler	40
2.2.1.1 Katı madde fiziksel özellikleri	41
2.2.1.2 Kayma gerilmeleri – hareketin başlaması(sediment trapping)	43
2.2.2 Katı madde taşınım mekanizmaları	44
2.2.2.1 Moleküler difüzyon:	44
2.2.2.2 Dispersiyon:	45
2.2.2.3 Türbülanslı difüzyon:	45
2.2.2.4 Adveksiyon:	46
2.2.3 Tsunami kaynaklı sediment analizi	46
3. TEMEL DENKLEMLER.....	49
3.1 Süreklilik denklemi	49
3.2 Navier –Stokes denklemi ve Reynolds denklemleri.....	50
3.3 Konsantrasyon denge denklemi	53
3.4 Moleküler difüzyon denklemi (Fick kanunu)	56
3.5 Advektif difüzyon.....	58
3.6 Sedimentin düşeydeki dağılım denklemi (Eddy viskozitesi).....	59
4. YÖNTEM.....	61
4.1 Deney Düzenegi	61
4.1.1 Dalga kanalı	61
4.1.2 Dalga üretici sistem	63

4.1.3 Dalga kaydedici sistem.....	65
4.1.4 Kıyı eğimi ve kıyı malzemesi	66
4.1.5 Hız ölçümü (ADV).....	67
4.1.6 Askıda katı madde ölçümü (OPCON).....	69
4.2 Deneyler	72
4.2.1 Ön deney çalışmaları ve gözlemler	74
4.2.2 Dalga seçimi	75
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	79
5.1 Askıda Katı Madde Konsantrasyonu ve Dalga Yüksekliği İlişkisi	79
5.2 Dalga Yüksekliğine Göre Yatay Hız Bileşeninin ve Sediment Konsantrasyonunun Derinlikle Değişiminin Değerlendirilmesi.....	82
5.3 Askıda Katı Madde Miktarının Hesaplanması	115
5.4 Ampirik Denklemlerin Elde Edilmesi.....	119
5.4.1 Boyut analizi uygulaması	119
5.4.2 Veri eliminasyonu	121
5.4.3 Ampirik denklemlerin oluşturulması	122
5.4.3.1 Verilerin sınır koşullarına göre kümelenmesi	125
5.4.3.2 Doğrusal regresyonla oluşturulan amprik denklemler	126
6. SONUÇLAR	129
KAYNAKLAR.....	133
EKLER	139

KISALTMALAR

AKM	: Askıda Katı Madde
ADV	: Acoustic Doppler Velocimeter
OCM	: Ocean Color Monitor
OPCON	: Optical Concentration Meter
OCM	: Ocean Color Monitor

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Tarihte meydana gelen büyük tsunami vakaları	35
Çizelge 2.2 : Standart özellikte kumun çeşitli dane çapları için çökme hızları	42
Çizelge 4.1 : Kıyı çizgisi ile dalga propları arası mesafeler	66
Çizelge 4.2 : Ölçüm noktaları ve deney esasları özeti.....	74
Çizelge 5.1 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri($X=48$ cm $z_1=-8$ cm).....	80
Çizelge 5.2 : Toplam taşınan katı madde debisi	116
Çizelge 5.3 : Tsunami etkisiyle meydana gelen sediment taşınımında temel parametreler	120
Çizelge 5.4 : Amprik denklemde kullanılan boyutsuz büyüklükler	120
Çizelge 5.5 : Ölçüm sayısına göre Chauvenet kriterleri	121
Çizelge 5.6 : Lineer Regresyon yöntemiyle elde edilen amprik denkleme ait katsayılar	128
Çizelge B.1 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri($X=76$ cm $z_1=-17$ cm).....	147
Çizelge B.2 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri ($X=76$ cm $z_1=-8$ cm)	148
Çizelge B.3 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri ($X=200$ cm $z_1=-32$ cm)	149
Çizelge B.5 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri($X=200$ cm $z_1=-24$ cm).....	151
Çizelge B.6 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri($X=200$ cm $z_1=-17$ cm).....	152
Çizelge B.7 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri($X=200$ cm $z_1=-8$ cm).....	153
Çizelge C.1: Boyutsuz büyüklükler($0,25 < z_1/d < 0,50 - 4000 < 1/Fr^2 < 10000$)	155
Çizelge C.2: Boyutsuz büyüklükler($0,25 < z_1/d < 0,50 - 1/Fr^2 > 10000$).....	156
Çizelge C.3: Boyutsuz büyüklükler ($0,70 < z_1/d < 1 - 1/Fr^2 < 4000$)	157
Çizelge C.4: Boyutsuz büyüklükler($0,70 < z_1/d < 1 - 4000 < 1/Fr^2 < 10000$).....	158
Çizelge C.5: Boyutsuz büyüklükler($0,70 < z_1/d < 1 - 10000 < 1/Fr^2 < 50000$).....	159
Çizelge C.6: Boyutsuz büyüklükler($0,70 < z_1/d < 1 - 1/Fr^2 > 100000$).....	160

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tayland’da 2004 aralık ayında meydana gelen tsunami.....	2
Şekil 1.2 : Tsunami öncesinde ve sonrasında Kalutara Plajında(Sri Lanka) çekilen hava fotoğrafları	3
Şekil 1.3 : Arop bölgesinde bulunan tipik tsunami sediment birikimi	5
Şekil 1.4 : Aceh’te (Sumatra) 2004 depremi sonrası yoğun olarak kumla kaplanmış <i>Acropora muricata</i> mercan kolonisi.....	6
Şekil 1.5 : Deney düzeneği	8
Şekil 1.6 : Tsunami tırmanması ve geridönüş(backwash) akımları etkisinde sediment dağılımı	8
Şekil 1.7 : Sediment birikimi ve akım hızları arasındaki ilişki.....	9
Şekil 1.8 : Chennai ve Nellore kıyılarından elde edilen tsunami öncesi ve sonrasına ait askıda katı madde konsantrasyon dağılımı uydu görüntüleri.....	11
Şekil 1.9 : Tsunami öncesi ve sonrasına ait Klorofil konsantrasyon dağılımı uydu görüntüleri.....	12
Şekil 1.10 : Malamat kıyıları tsunami sonrası Klorofil konsantrasyonu	13
Şekil 1.11 : Calicut kıyı bölgesi tsunami sonrası askıda katı madde konsantrasyon dağılımı	13
Şekil 1.12 : Scheldt tankı WL Delft Hidrolik deney düzeneği	14
Şekil 1.13 : Ölçüm düzeneği	15
Şekil 1.14 : Deney düzeneği	17
Şekil 1.15 : Kum taban 1 ve kum taban 2 için derinlikle askıda katı madde konsantrasyonu değişimi	18
Şekil 1.16 : Deneysel düzenekte kullanılan kıyı profilleri	18
Şekil 1.17 : Akustik backscatter (BKS) ve ortalama akım hızı (u)	24
Şekil 2.1 : Tsunami tipi dalgaları tanımlamada kullanılan terimler	27
Şekil 2.2 : Tsunami tipi dalgaların kesitlerini karakterize eden dalga türleri	28
Şekil 2.3 : Temel Fay Doğrultuları.....	31
Şekil 2.4 : Tabandaki deformasyon sonucu dalga oluşumu ve yayılması	32
Şekil 2.5 : Deprem ve toprak kayması kaynaklı tsunaminin yayılması	33
Şekil 2.6 : Tsunami öncesi ve sonrasını gösteren Banda Aceh, (Endonezya) bölgesinden bir hava fotoğrafı	36
Şekil 2.7 : Sumatra’da tsunamiden zarar gören 7 km’lik Heliopora mercan bloğu ...	37
Şekil 2.8 : Tsunami sonrası sedimentle kaplanmış mercanlar	38
Şekil 2.9 : Tsunami sonrası kıyıdan okyanusa sürüklenen atıklar	39
Şekil 2.10 : Doğal partiküller için temiz suda dane çökme hızları	42
Şekil 2.11 : Shields eğrisi	44
Şekil 3.1 : Hız bileşenleri.....	49
Şekil 3.2 : Hareket denklemi için kontrol hacmi.....	51
Şekil 3.3 : Kontrol Hacmi	56

Şekil 4.1 : Dalga kanalı ve kullanılan cihazların yerleşimi	62
Şekil 4.2 : Deney düzeneğinden genel bir görüntü	63
Şekil 4.3 : Dalga paleti (piston yukarı konumunda)	63
Şekil 4.4 : Şartlandırıcı ve sürgülü valf.....	64
Şekil 4.5 : A-Dalga Probu, B- AD Çevirici ve Dalga Monitörü.....	65
Şekil 4.6 : Kullanılan kumun elek analizi	67
Şekil 4.7 : OPCON ve ADV problemleri.....	68
Şekil 4.8 : ADV ve OPCON'un bağlı olduğu hareketli düzenek	69
Şekil 4.9 : A- OPCON Prob, B- Işık üretim kaynağı, C- veri kaydedici sistem.....	70
Şekil 4.10 : OPCON kalibrasyon eğrisi (0 - 1 g/l).....	72
Şekil 4.11 : Hız ve askıda katı madde konsantrasyonu ölçüm noktaları.....	73
Şekil 4.12 : H=11,87 cm'lik dalganın tırmanmayı takiben kırılması.....	76
Şekil 5.1 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi (X=48 cm $z_1=-8$ cm)	81
Şekil 5.2 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=4,82 cm X=76 cm).....	84
Şekil 5.3 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=4,82 cm X=200 cm).....	85
Şekil 5.4 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=4,82 cm X=76 cm).....	86
Şekil 5.5 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=4,82 cm X=200 cm).....	87
Şekil 5.6 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=5,24 cm X=76 cm).....	87
Şekil 5.7 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=5,24 cm X=200 cm).....	88
Şekil 5.8 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=5,24 cm X=76 cm).....	90
Şekil 5.9 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=5,24 cm X=200 cm).....	91
Şekil 5.10 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=6,44 cm X=76 cm).....	92
Şekil 5.11 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=6,44 cm X=200 cm).....	93
Şekil 5.12 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=6,44 cm X=76 cm).....	94
Şekil 5.13 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=6,44 cm X=200 cm).....	94
Şekil 5.14 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=6,71 cm X=76 cm).....	95
Şekil 5.15 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=6,71 cm X=200 cm).....	96
Şekil 5.16 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=6,71 cm X=76 cm).....	97
Şekil 5.17 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=6,71 cm X=200 cm).....	98
Şekil 5.18 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=7,87 cm X=76 cm).....	99
Şekil 5.19 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=7,87 cm X=200 cm).....	99
Şekil 5.20 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=7,87 cm X=76 cm).....	100
Şekil 5.21 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=7,87 cm X=200 cm).....	101
Şekil 5.22 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=8,66 cm X=76 cm).....	102
Şekil 5.23 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=8,66 cm X=200 cm).....	103
Şekil 5.24 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=8,66 cm X=76 cm).....	103
Şekil 5.25 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=8,66 cm X=200 cm).....	104
Şekil 5.26 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=9,37 cm X=76 cm).....	105
Şekil 5.27 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=9,37 cm X=200 cm).....	106
Şekil 5.28 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (Deney 4 H=9,37 cm X=76 cm)	107
Şekil 5.29 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=9,37 cm X=200 cm).....	107
Şekil 5.30 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=11,77 cm X=76 cm).....	108
Şekil 5.31 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=11,77 cm X=200 cm).....	109
Şekil 5.32 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=11,77 cm X=76 cm).....	110
Şekil 5.33 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=11,77 cm X=200 cm).....	111
Şekil 5.34 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=13,58 cm X=76 cm).....	112
Şekil 5.35 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=13,58 cm X=200 cm).....	113
Şekil 5.36 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=13,58 cm X=76 cm).....	114

Şekil 5.37 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=13,58 cm X=200 cm)	115
Şekil 5.38 : Yatay doğrultuda taşınan katı madde debisi (X=76 cm).....	117
Şekil 5.39 : Yatay doğrultuda taşınan katı madde debisi (X=200 cm).....	117
Şekil 5.40 : Düşey doğrultuda taşınan katı madde debisi (X=76 cm).....	118
Şekil 5.41 : Düşey doğrultuda taşınan katı madde debisi (X=200 cm)	118
Şekil 5.42 : C_{maks}/C_{ort} ile u_b/w_s arasındaki ilişki.....	123
Şekil 5.43 : C_{maks}/C_{ort} ile gd/u_b^2 arasındaki ilişki	123
Şekil 5.44 : C_{maks}/C_{ort} ile x/z_1 arasındaki ilişki	124
Şekil 5.45 : C_{maks}/C_{ort} ile H/D arasındaki ilişki	124
Şekil 5.46 : C_{maks}/C_{ort} ile Denklem_1 ilişkisi	125
Şekil 5.47 : Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ($0,25 < z_1/d < 0,50 - 1/Fr^2 < 4000$)	127
Şekil 5.48 : Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ($0,25 < z_1/d < 0,50 - 1/Fr^2 < 4000$)	127
Şekil 5.49 : Tsunami etkisiyle kanalda oluşan sediment bulutu tabakaları	128
 Şekil A.1 : H=13,68 cm'lik tsunami tipi dalganın oluşması, tırmanması, geri çekilmesi	140
Şekil A.2 : H=13,68 cm'lik tsunami tipi dalganın kırılması ve kıyı malzemesinin askıda taşınması	141
Şekil A.3 : H=13,68 cm'lik tsunami tipi dalga etkisinde sediment bulutunun oluşması ve şev üstünde ilerlemesi	142
Şekil A.4 : H=13,68 cm'lik tsunami tipi dalga etkisinde sediment bulutunun şev üstünde ilerleyerek dalga üreticine doğru yayılımı	143
Şekil A.5 : H=13,68 cm'lik tsunami tipi dalga etkisinde sediment bulutunun dalga üreticine doğru ilerlemesi ve şevden bir görüntü	144
Şekil A.6 : H=13,68 cm'lik tsunami tipi dalga etkisinde sediment bulutunun durumu (X= 350 cm'de) ve oluşan 2. tabaka sediment.....	145
 Şekil B.1 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($z_1=-17$ cm X=76cm)	147
Şekil B.2 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($z_1=-8$ cm X=76cm)	148
Şekil B.3 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($z_1=-32$ cm X=200cm)	149
Şekil B.4 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($z_1=-27$ cm X=200cm)	150
Şekil B.5 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($z_1=-24$ cm X=200cm)	151
Şekil B.6 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($z_1=-17$ cm X=200cm)	152
Şekil B.7 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($z_1=-8$ cm X=200cm)	153
 Şekil C.1: Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ($0,25 < z_1/d < 0,50 - 4000 < 1/Fr^2 < 10000$)	155
Şekil C.2: Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ($0,25 < z_1/d < 0,50 - 4000 < 1/Fr^2 < 10000$)	155
Şekil C.3: Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ($0,25 < z_1/d < 0,50 - 1/Fr^2 > 10000$)	156

Şekil C.4: Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ($0,25 < z_1/d < 0,50 - 1/Fr^2 > 10000$).....	156
Şekil C.5: Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1 - 1/Fr^2 < 4000$).....	157
Şekil C.6: Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1 - 1/Fr^2 < 4000$).....	157
Şekil C.7: Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1 - 4000 < 1/Fr^2 < 10000$).....	158
Şekil C.8: Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1 - 4000 < 1/Fr^2 < 10000$).....	158
Şekil C.9: Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1 - 10000 < 1/Fr^2 < 50000$).....	159
Şekil C.10: Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1 - 10000 < 1/Fr^2 < 50000$).....	159
Şekil C.11: Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1 - 1/Fr^2 > 100000$).....	160
Şekil C.12: Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1 - 1/Fr^2 > 100000$).....	160

TSUNAMİ ETKİSİYLE OLUŞAN SEDİMENT TAŞINIMI

ÖZET

Deniz, okyanus tabanı ya da denize yakın bir yerde meydana gelen tektonik olaylarla ilişkili olarak ortaya çıkan bir dizi yıkıcı dalgaya tsunami adı verilmektedir. Tsunamiler, enerjilerini; litosferdeki düşey yönlü hareketlerden, deniz altındaki büyük ölçekli kayma, çökme ve oturmalarından, odak noktaları deniz ya da okyanus tabanında bulunan depremlerden ve deniz altı volkanizmalarından almaktadır.

Son zamanlarda ardarda büyük ölçeklerde meydana gelen depremleri takiben oluşan tsunami vakaları sonrasında yapılan çalışmalar, dalgaların, büyük su kütlesi taşınımı etkisiyle karada neden oldukları can ve mal kayıplarının yanı sıra, ayrıca deniz tabanından taşıdıkları oldukça büyük miktarlardaki kum ile de zarara sebep olduklarını ortaya çıkarmıştır.

Tsunami sonrası karada yapılan zarar tespit çalışmalarıyla eş zamanlı olarak okyanusta yürütülen çalışmalar, karaya taşınan sediment, çöp, ağaç parçaları gibi malzemelerin dalganın geri dönmesiyle beraberinde okyanusa doğru çekilerek askıda taşındığını ve okyanus dibinde birikime neden olduğunu göstermektedir. Askıda taşınan partiküler maddelerin mercanlar başta olmak üzere, deniz florası üzerinde birikmesi, oksijenle teması kesmesi ve bulanıklığı arttırarak su kalitesinin bozulması gibi olumsuz etkileri olduğu ifade edilmiştir.

Tsunami etkisiyle biriken ve saklanan sediment oluşan tsunaminin jeolojik bir kaydını da oluşturmaktadır. Söz konusu alandaki doğal koşullar bozulmamışsa, bölgeye ait sediment kayıtları incelendiğinde, bir jeolog bu tip birikimleri ve geçmişteki tsunamilerin tekrarlanma periyodunu tanımlama şansına sahiptir. Böylelikle jeolojistler bir alandaki geçmişte meydana gelen tsunamilerin tarihsel kayıtları hakkında bilgi sahibi olabilirler. Bilim adamlarının olacak tsunamileri henüz öngörememeleri nedeniyle, geçmişte meydana gelen tsunamiler hakkında bilgi sahibi olmak, gelecekteki tsunami kaynaklı risklerin değerlendirilmesine imkan tanımaktadır. Ayrıca, meydana gelen zararların sadece kıyılarda değil aynı zamanda deniz tabanında da çeşitli olumsuz etkilere neden olduğu düşünüldüğünde, tsunami etkisiyle kıyıdan açık denize doğru taşınan kıyı malzemesinin taşınım mekanizmasının ortaya konmasının, oluşan tsunaminin ölçeğinin değerlendirilmesi, meydana gelen zararın tespiti ve olası bir tsunami sonrası sediment taşınımına bağlı risklerin modellenmesi gibi çalışmalarda temel oluşturacağı düşünülmektedir. Literatürde yapılan araştırmalar sonucunda tsunami sonrası oluşan sedimentin taşınımına dair hidrodinamik etkilerin nümerik veya deneysel olarak araştırılmadığı gözlenmiş ve bu konuda yapılacak bir araştırmanın çok önemli bir bilgi eksikliğini kapatacağı öngörülmüştür.

Bu çalışmada; tsunami gibi uzun periyotlu dalgaların kıyıda tırmanmalarını takiben, taban malzemesinin askıda taşınmasıyla birlikte dalga kaynağına ilerleyen katı madde miktarının dalga yüksekliğiyle olan ilişkisi, oluşturulan deneysel düzenek ile araştırılmıştır. Oluşturulan deneysel düzende, belirlenen noktalara yerleştirilen dalga propları ile dalga yükseklikleri belirlenmiş, ADV hız ölçer ile yatay ve düşey hızlar ile birlikte, optik çalışma prensibine dayalı OPCON ile askıda katı madde konsantrasyonunun zamanla değişimi kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar gerekli veri eliminasyonu araçları ile elendikten sonra Buckingham Pi teoremi ile boyutsuz parametreler elde edilmiştir. Doğrusal regresyon yönteminin kullanıldığı bu çalışmada, belirli sınır koşullar için geçerli amprik denklem grupları önerilmiştir. Bu doğrultuda yapılan çalışma, toplam altı bölümde incelenmiştir.

Birinci bölümde bu çalışmanın dayanakları ile birlikte çalışmanın amacı ve kapsamına yer verilmiştir. Ayrıca bu çalışmaya ışık tutabilecek literatür çalışmaları detaylı olarak verilmiştir.

İkinci bölümde teorik yaklaşım anlatılmış, bu kapsamda tsunami tipi uzun dalgalar ile katı madde taşınımı incelenmiştir. Tsunami tipi uzun dalgaların hidrodinamik özellikleri ile dalga teorileri irdelenmiş, tsunamilerin oluşumu, ilerlemesi ve geri dönüşü ile tsunamilerin büyüklüğünün belirlenmesi, tsunami hasar ve risk değerlendirmesi konuları özetlenmiştir. Katı madde taşınımına dair konular ise katı maddenin yayılımına / dağılımına etki eden faktörler ve katı madde taşınım mekanizmaları alt başlıkları altında açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde tsunami etkisiyle meydana gelen sediment yayılımında etkin olduğu düşünülen temel denklemler olan süreklilik denklemi, Navier-Stokes denklemi ve Reynolds denklemleri, konsantrasyon denge denklemleri, moleküler difüzyon denklemi, advectif difüzyon denklemi ile sedimentin düşeydeki dağılım denklemleri matematiksel olarak çıkartılarak gösterilmiştir.

Dördüncü bölümde deney düzeneğinde yer alan deney kanalı, dalga üretici sistem, dalga kaydedici sistem hakkında bilgi verilmiş, deneysel çalışmanın temeli olan kıyı malzemesi belirtilmiştir. Deneysel çalışmada temel olarak hız ölçümlerinde kullanılan Akustik Doppler hız ölçer ve anlık konsantrasyon ölçümüne izin veren OPCON hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Daha sonra deneylerin temelini oluşturan esaslar ile birlikte bu çerçevede yapılan ön deneyler ve dalga seçimine ait konular anlatılmıştır.

Beşinci bölümde ise, deney sonuçları değerlendirilmiştir. Değerlendirme çerçevesinde askıda katı madde konsantrasyonu ile dalga yüksekliği ilişkisi, dalga yüksekliğine göre yatay hız bileşeninin ve sediment konsantrasyonunun derinlikle değişimi değerlendirilmiş, katı madde debisi hesabına yer verilmiştir. Boyutsuz denklemlerin elde edildiği bölüm ise boyut analizi uygulaması, veri eliminasyonu, ve amprik denklemlerin oluşturulması başlıkları altında irdelenmiştir.

Altıncı bölüm bu çalışmada elde edilen sonuçlar açıklanmıştır. Sonuçlar, elde edilen boyutsuz denklemler ışığında daha sonra yapılması planlanan çalışmalar ve nedenleriyle irdelenmiştir.

TSUNAMI INDUCED SEDIMENT TRANSPORT

SUMMARY

A serial number of destructive waves occurred following a tectonical event on sea or ocean floor or adjacent to the sea, are called as tsunamis. Tsunamis may draw their energies from the vertical movements in lithosphere, sub-marine land-slides, collapses and settlements, earthquakes occurred in sea or ocean bottoms and sub-marine volcanoes. The researches about the tsunamis following the recent consecutively occurred earthquakes with a big magnitude showed that the effect of waves and a huge mass of water movement caused not only life and property losses on coastal areas but also caused damages due to the huge mass of sand movements originated from the sea floor. The loss adjustment surveys conducted on coastal areas and in ocean, indicated that the sediment, dust and organical matters transported to the land are deposited on ocean floor due to the tsunami wave backwash. The suspended matters in water accumulate not only on reefs but also marine flora. The accumulation has adverse effects on water quality due to the blockage of oxygen transfer and increasing turbidity.

The tsunami sediment deposition and preserved sediment on ocean floor are the geological records of ancient tsunamis. A geologist has a chance to define the periods of the tsunamis on that region by investigatings through the sediment depositions. Since the future coming tsunamis can not be predicted yet, the previous records of tsunamis are the only way to evaluate the future risks of the oncoming tsunamis. Furthermore, the researches about the mechanisms of the offshore sediment transport on seaward would supposed to be the key elements on sediment transport related risk modelling and the evaluation of tsunami scale and the actual loss on both land and ocean floor. There has been no sign of researches on the tsunami induced sediment transport neither on experimental research nor numerical studies, so that this study will be the first step on this research area.

In this study, the relationship between the tsunami wave height and the amount of suspended coastal material transport towards the wave generator following the wave run-up is analyzed with the experimental set-up. The system is not scaled form but indicating the principles of how tsunami type waves effects the sediment flows. The experimental set-up is established for spesific configurations to measure the tsunami wave heights, the horizontal and vertical velocities which are measured by Acoustic Doppler Velocitymeter, ADV, and suspended sediment concentrations with time variation series, which are measured with OPCON optical concentration meter. The recorded datas are used for the calculations indicating the vertical and horizontol sediment flows. The datas are eliminated due to the appropriate data elimination processes, the non-dimensional parameters are generated using Buckingham Pi theory. Amprical equation groups for specified boundary conditions are proposed due to the

linear regression analyze. Within this context, the study has been written in sixth basic titles.

In first chapter, the basics of this study and the aim and scope are included. Furthermore, other studies that may enlighten to this study are given in details.

In second chapter, within the theoretical perspective, tsunami type long waves and sediment transport subjects are explained. The hydrodynamics of the tsunami type long waves and the wave theories are analyzed, the generation, propagation and backwash of tsunamis, their magnitudes, and tsunami hazard and risk assessment subjects are summarized. The subjects related with the sediment transport are explained within factors effecting the sediment transport/dispersion and sediment transport mechanisms subtitles.

Equations, such as continuity equation, Navier-Stokes equation, Reynolds equations, concentration equations, molecular diffusion equation, advective diffusion equation and the vertical sediment dispersion equations that is supposed to be the basic equations of this study are given in the third chapter .

In fourth chapter, the experimental set up is explained. The wave channel, wave generation system, wave recording system and the characteristic features of the coastal material are explained in details. The velocity and concentration changes which are the basics of experimental schedule are measured by the Acoustic Doppler Velocimeter and OPCON optic concentration meter. The detailed technical background is also explained. Furthermore, the details of the experiments, the selected tsunami type waves generated by the wave generator, and the initial observations of the experiments are given as well.

The results of the experiments are evaluated in fifth chapter. The evaluation consider the relationship between suspended sediment concentration and tsunami height, the longitudinal velocity and concentration profile gradients due to the wave height. The sediment flow calculations are also given. The non-dimensional equations are given in a subtitle and include the dimension analyze, data elimination and the empirical equations subjects.

The results are discussed in sixth chapter. The results include the future planned studies considering the non-dimensional equations.

1. GİRİŞ

Deniz, okyanus tabanı ya da denize yakın bir yerde meydana gelen tektonik olaylarla ilişkili olarak ortaya çıkan bir dizi yıkıcı dalgaya tsunami adı verilmektedir. Japonca'da liman dalgası anlamına gelen tsunami ilk defa 15 Haziran 1896 günü Meiji tsunamisi olarak tarihe geçen 21 000 kişinin can verdiği olay için kullanılmış ve dünya dillerine girmiştir.

Tsunamiler diğer rüzgar dalgalarından farklı olarak, enerjilerini; litosferdeki düşey yönlü hareketlerden, deniz altındaki büyük ölçekli kayma, çökme ve oturmalardan, odak noktaları deniz ya da okyanus tabanında bulunan depremlerden ve deniz altı volkanizmalarından almaktadır. Bu tektonik hareketler sonucu açığa çıkan olağanüstü boyuttaki enerji (tipik bir tsunamide 10 000 giga joule ile 100 000 giga joule arası) su ortamına geçerek, okyanuslardaki bu dev dalgaların oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bu dalgalar sismik deniz dalgaları olarak da bilinmektedirler.

Açık denizdeki tsunamiler, büyüklük bakımından normal dalgalardan farklıdır. Ancak bunların hızı diğer dalgalara göre çok fazladır. Nitekim oluştukları noktadan her yöne doğru yayılan bu dalgaların hızı, saatte 800 km gibi inanılmaz bir değere ulaşabilmektedir. Dalgalar sığ sulara ulaştığı zaman, sürtünme nedeniyle hızını kaybederken, arkadan hızla gelen su kütlesi kıyıda dev dalgalara ve yükselmelere neden olabilmektedir. Bunlar özellikle dik yamaçlı kıyılarda, körfez ve koylarda, 30 hatta 50 metreye tırmanarak, önüne çıkan her şeyi yok edebilmektedir. Doğal olarak her tektonik olay sonucunda tsunami oluşmadığı gibi, her tsunamide de büyük can ve mal kaybı görülmeyebilir. Ancak çoğu zaman afet boyutuna ulaştığından tsunami, bir doğal tehlike olarak kabul edilmektedir.

Tsunamiler uzun periyotlu dalgalardır. Bunlar oluşum noktasından itibaren denizin derinliğinin değişmesine, deniz altı topografyasındaki değişikliklere ve karşılaştığı engellere (adalara) rağmen kısmen sapmalara uğrasa da uzun bir yol katederek kıyıya kadar ulaşabilmektedir. Örneğin; 1 Nisan 1946 tarihinde Alaska civarındaki bir denizaltı depreminden kaynaklanan ve Aleut Adası kıyılarında 30 metrelik dalgalara neden olan tsunami dalgaları saatte 640 km hızla Hawaii adalarına kadar

ulaşabilmiştir. Hawai kıyılarında önce 80-90 cm yükseklikteki dalgalarla etkisini göstermeye başlayan bu tsunami, bir süre sonra körfeze cephesi olan yerleşme merkezlerini tamamen yok etmiş, binlerce kişinin yaşamını yitirmesine neden olmuştur (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Tayland’da 2004 aralık ayında meydana gelen tsunami (Url-3).

Yine 1960 yılında, Şili açıklarındaki bir depremin neden olduğu tsunami, sadece Şili kıyıları boyunca değil, Pasifik okyanusunda (Büyük Okyanus) 15 saatte 12 500 km yol alarak Hawai adalarını etkilemiş, 22 saat sonra da Japonya kıyılarını sular altında bırakmıştır.

Tsunamiler önce tek bir dalga olarak ortaya çıkmakta, kısa bir süre sonra üç ya da beş dalgaya dönüşerek büyük bir hızla çevreye yayılmaktadır. Bu nedenle deprem sonrasında kıyıda görülen hafif dalgalar ve su yüzeyinde beliren değişimler, bir süre sonra etkili olabilecek tsunaminin habercisi olabilmektedir. 26 Aralık 2004’te Asya depreminden sonra oluşan tsunaminin denizde ve karada yarattığı etkiler hava fotoğraflarına da yansımıştır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : Tsunami öncesinde ve sonrasında Kalutara Plajında(Sri Lanka) çekilen hava fotoğrafları (Url-1).

Yapılan araştırmalar bugüne kadar tespit edilen tsunamilerin yarıya yakınının, depremin tetiklediği deniz altı zemin kaymalarıyla ilişkili olduğunu göstermektedir. Deniz kıyısında hissedilen her depremden sonra tsunami tehlikesinin olduğunu söylemek yanlış değildir. Nitekim 17 Temmuz 1998 tarihinde Papua Yeni Gine'de 10 dakika aralıkla oluşan iki depremden sonra ortaya çıkan tsunamide, 10 metre yüksekliğe ulaşan dalgaların etkisiyle başta Sissano koyu'nda olmak üzere, 7 köy

haritadan silinmiş, 3000 kişi yaşamını yitirmiştir. Bu tsunaminin tamamen denizaltı zemin kaymasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Tsunamilerle ilgilenen deprem bilimciler, dünyanın ikinci önemli deprem ve volkan kuşağı üzerinde bulunan Akdeniz'de de zaman zaman tsunamilerin oluştuğunu ve bunların günümüzde de görüldüğünü belirtmektedir. Yapılan araştırmalar Akdeniz'de ya da kıyılara yakın karalar üzerinde 6,5 büyüklüğünde bir depremin olması halinde bu denizle sınır ülkelerin kıyılarında 30 metreye varan dalgaların oluşabileceğini ortaya koymaktadır. Yapılan bir araştırmada, son 1000 yılda Doğu Akdeniz'de 17, Ege'de 35, Marmara'da 11 tsunaminin etkili olduğu belirtilmektedir. Ayrıca tarihsel veriler; Doğu Akdeniz'de 60, Ege Denizinde 35, Marmara Denizinde ise her 100 yılda bir tsunaminin etkili olabileceği ortaya koymaktadır (Ambraseys, 1962).

Doğal olarak Türkiye'nin çevresinde deniz altındaki diğer tektonik hareketlerle (volkanizma, deprem) ilişkili olarak oluşan tsunamiler de Türkiye kıyılarını etkilemekte ve hasara neden olmaktadır.

Tsunami etkisiyle biriken ve uzun yıllar boyunca bozulmadan saklanan sediment, oluşan tsunaminin jeolojik bir kaydını da oluşturmaktadır. Bir jeolog bölgedeki sediment kayıtlarını inceleyerek, bu tip birikimleri ve geçmişte meydana gelen tsunamilerin tekrarlanma periyodunu tanımlama imkanına sahiptir. Böylelikle jeolojistler, bir alanda geçmişte meydana gelmiş tsunamilerin tarihsel kayıtları hakkında bilgi sahibi olabilirler (Dahanayake ve Kulasena, 2008; Shi ve Smith, 2003). Bilim adamlarının olacak tsunamileri henüz öngörememeleri nedeniyle, geçmişte meydana gelen tsunamiler hakkında bilgi sahibi olmak, gelecekteki tsunami kaynaklı risklerin değerlendirilmesi şansını ortaya çıkarır.

1.1 Tezin Amacı

Dünya'nın birçok noktasında tsunamiden etkilenen kıyılar tsunami karakterindeki uzun dalgaların dalga yükseklikleri, dalgaların kıyıda ilerleme mesafesi ve tırmanma yüksekliği gibi konular açısından bilim adamlarınca araştırılmış, çeşitli nümerik modeller yardımıyla incelenmiş ve benzeştirilmiştir.

Son zamanlarda ardarda büyük ölçeklerde meydana gelen depremleri takiben oluşan tsunami vakaları sonrasında yapılan çalışmalarda, dalgaların ve büyük su kütlesi taşınımı etkisiyle, karada neden oldukları can ve mal kayıplarının yanı sıra, ayrıca

deniz tabanından karaya doğru taşındıkları oldukça büyük miktarlardaki kum ile de zarara sebep olduklarını ortaya çıkarmıştır. Örneğin, 17 Temmuz 1998’ de Papua Yeni Gine’de meydana gelen tsunaminin ardından yapılan çalışmalarla, kıyı çizgisinden 500 metre içeride alınan sediment örneklerinde, tsunami etkisiyle taşınan sediment, kahverengi köklü toprağı kaplayan yaklaşık 5 cm kalınlığında gri renkli kum tabakası olarak tanımlanmıştır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 : Arop bölgesinde bulunan tipik tsunami sediment birikimi (Url-2).

Tsunami sonrası karada yapılan zarar tespit çalışmalarıyla eş zamanlı olarak okyanusta yürütülen çalışmalar ise karaya taşınan sediment, çöp, ağaç parçaları gibi malzemelerin dalganın geri dönmesiyle beraberinde okyanusa doğru çekilerek askıda taşındığını ve okyanus dibinde birikime neden olduğunu göstermektedir. Askıda taşınan partiküler maddelerin mercanlar başta olmak üzere, deniz florası üzerinde birikmesi, oksijenle teması kesmesi ve bulanıklığı arttırarak su kalitesinin bozulması gibi olumsuz etkileri olduğu ifade edilmektedir. Şekil 1.4’de Kuzey Sumatra, Aceh’te mercanların üzerini kaplayan sediment görülmektedir.



Şekil 1.4 : Aceh’te (Sumatra) 2004 depremi sonrası yoğun olarak kumla kaplanmış *Acropora muricata* mercan kolonisi (Campbell ve diğ., 2007).

Tsunami etkisiyle oluşan sediment bulutunun okyanusa taşınım mekanizmasının ortaya konmasının, oluşan tsunaminin ölçeğinin değerlendirilmesi, meydana gelen zararın tespiti ve olası bir tsunami sonrası sediment taşınımına bağlı risklerin modellenmesi gibi çalışmalara temel oluşturacağı düşünülmektedir. Literatürde yapılan araştırmalar sonucunda, tsunami sonrası oluşan sedimentin taşınım mekanizması hakkında deneysel veya nümerik, herhangi bir araştırma yapılmadığı gözlenmiş ve bu konuda yapılacak bir araştırmanın çok önemli bir bilgi eksikliğini kapatacağı öngörülmüştür.

Şimdiye kadar geliştirilen modeller ile dalga tırmanması, dalga etkisiyle sular altında kalacak yerlerin benzeşimi gibi konular incelenmiş olmasına rağmen, karmaşık fiziksel problemleri ve değişik ölçeklerde gerçekleşen tsunami kaynaklı sediment taşınımı ve sürüklenmesi fiziksel modellemedeki zorluklar, benzer hidrodinamik yapının oluşturulmasındaki belirsizlikler gibi nedenlerle incelenememiştir.

Bu çalışmanın amacı; tsunami gibi uzun periyotlu dalgaların veya soliter (tekil) dalgaların kıyıda tırmanmalarını takiben taban malzemesinin askıda taşınması, oluşan sediment bulutunun dalga kaynağına doğru ilerlemesi ve düşey doğrultuda

dağılımının hidrodinamik karakteristiğinin oluşturulan deneysel düzenek ile araştırılmasıdır.

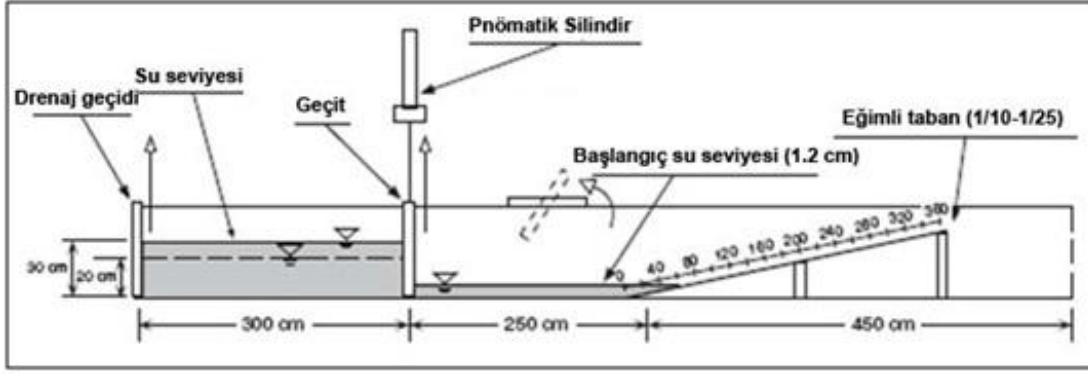
Elde edilen kayıtlar ile özellikle tsunamiden etkilenen kıyılarda oluşan aşırı sediment birikimi, denize doğru askıda taşınan sediment miktarı, dağılımı gibi konuları tanımlayabilmek mümkün olabilecektir.

1.2 Literatür Özeti

Tsunami tırmanmasını takiben oluşan türbülanslı akımlar ve taşınan sedimentin fiziksel özelliklerinin bilinmemesi nedeniyle, tsunami sırasında taşınan sediment partiküllerinin dağılım miktarının değerlendirilmesi ve konsantrasyon değerlerinin belirlenmesi oldukça zordur. Ayrıca, gerçek bir tsunami tırmanması sırasında sediment taşınımının ölçüm aletleriyle izlenmesi pratik olarak mümkün değildir. Bu nedenle tsunami etkisiyle oluşan sediment taşınımının araştırılmasında genellikle teorik ve nümerik analizlere başvurulmuştur.

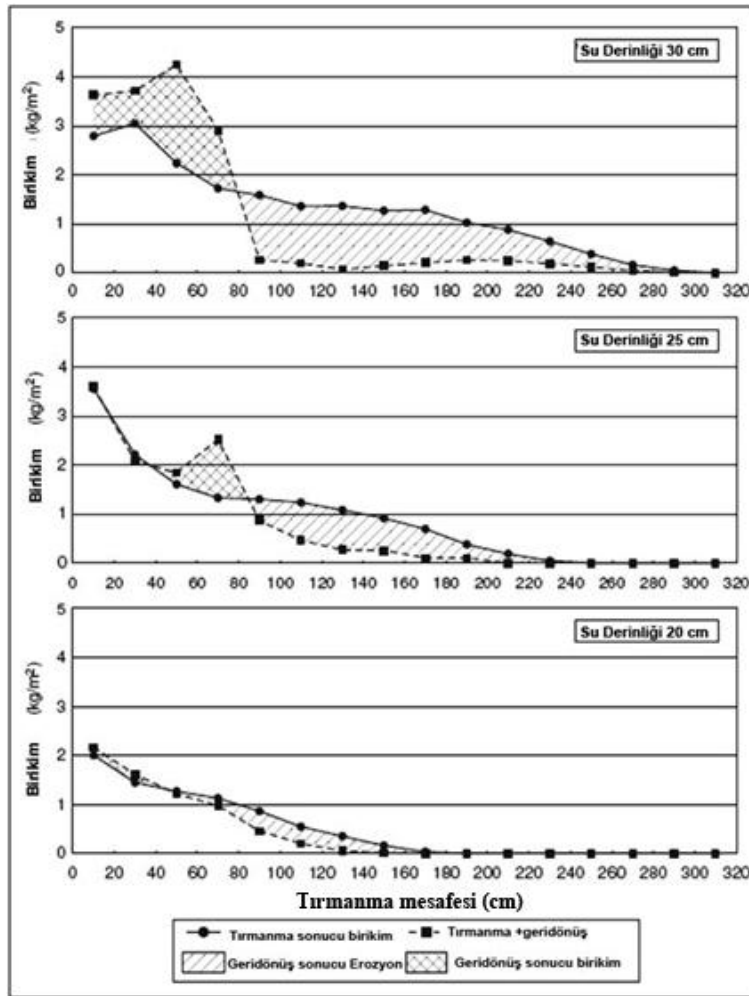
Literatürde tsunami etkisiyle sediment taşınmasına dair kaydedilen tek çalışma, Sugawara ve diğ. (2008)'nın iki boyutlu kanalda gerçekleştirdiği deneysel çalışmadır (Şekil 1.5). Bunun dışındaki çalışmalar sadece tsunami tırmanmasının çeşitli taban malzemelerindeki performansı, eğimin tsunami tırmanmasına olan etkisi gibi alanlarda yoğunlaşmıştır. Araştırmalardaki bu yöndeki eksiklik nedeniyle, çalışma kapsamında sediment taşınımına dair yer verilen deneysel örnekler uzun dalgaların etkisinde değil normal dalgaların etkisinde oluşan sediment taşınımı üzerine yoğunlaşmıştır.

Sugawara ve diğ. (2008) tsunaminin hidrolik miktarı ile tsunami etkisiyle tabandaki sediment miktarının değişimi arasındaki ilişkiyi açıklamayı amaçlamıştır. Deney düzeneği sedimentin askıda taşınmasını benzeştirecek şekilde tasarlanmıştır. Kullanılan taban 1/10'luk eğime sahip geçirimsiz yüzeye sahiptir.



Şekil 1.5 : Deney düzeneği (Sugawara ve diğ., 2008).

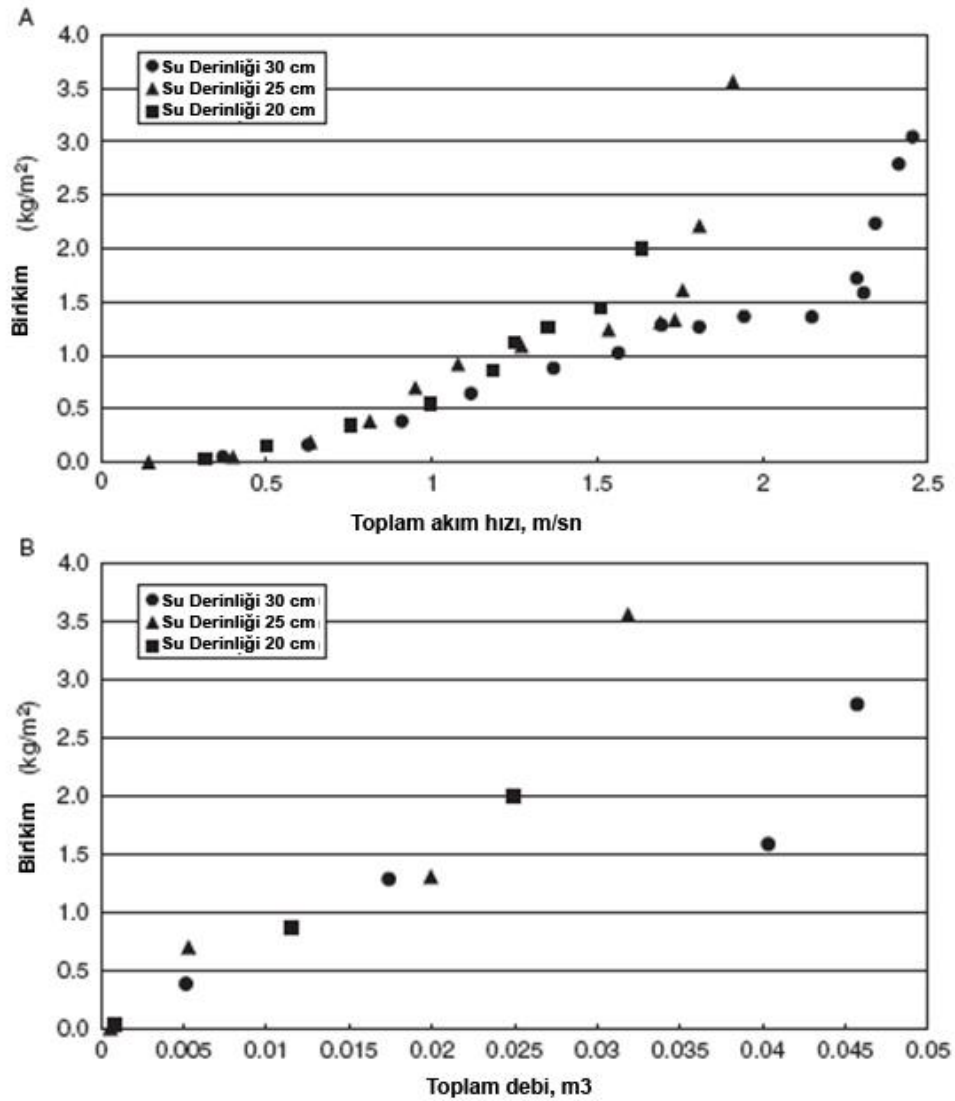
Tsunaminin büyüklüğü tanka ilave edilen su miktarı ile değiştirilmiştir (20cm, 25cm, 30 cm su derinlikleri için). Şekil 1.6'da kesikli çizgi ve karelerle sınırları çizilmiş alan tsunami tırmanması ve geridönüş (backwash) akımı ile biriken sediment ağırlığını gösterilmektedir (A miktarı).



Şekil 1.6 : Tsunami tırmanması ve geridönüş(backwash) akımları etkisinde sediment dağılımı (Sugawara ve diğ., 2008).

Düz çizgi ve dairelerle sınırları çizilmiş alan ise sadece tsunami tırmanması ile biriken sediment miktarının ağırlığını göstermektedir (B miktarı). Toplam sediment miktarının tsunaminin büyüklüğüne bağlı olduğu ve geri dönüş akımının olmadığı koşullarda net olduğu görülmüştür. Sediment, geri dönüş akımı ile aşağı doğru hareket ederek hafif eğimli tabanın alçak kısımlarında birikmektedir.

Şekil 1.7’de sediment birikimi ve akım hızları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Akım, kanaldaki derinlik ortalama olarak ifade edilmiştir. Akım hızı deneylerde 1,5 m/s’lik değere sahiptir. Sonuçlardan da görüldüğü üzere 0.005 m³’lük su eğimli tabandan geçtiğinde biriken sediment miktarı 0.5 kg/m² olarak kaydedilmiştir.



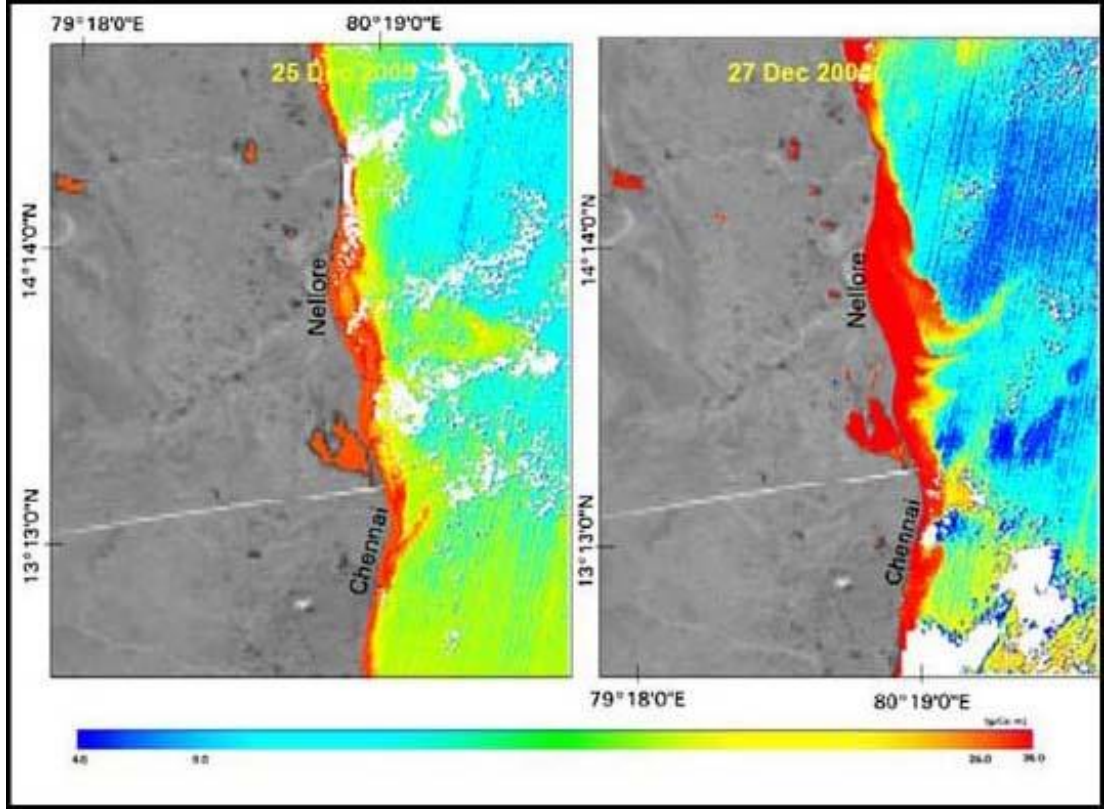
Şekil 1.7 : Sediment birikimi ve akım hızları arasındaki ilişki (Sugawara ve diğ., 2008).

Şekil 1.7 'de üstte gösterilen grafikte akım hızı ile sediment birikimi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 1.7'de alttaki grafikte ise debi ile sediment birikimi arasındaki ilişki ifade edilmiştir. Bu deneysel çalışmanın sonucunda, tsunaminin hidrodinamik karakteristiğinin sedimentin hareketinde önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Bu nedenle, tsunami etkisiyle gözlenen sediment birikintilerinin incelenmesinde, yerel topoğrafik özelliklere ilave olarak, tsunami hidrodinamiği ve hidroliğinin de göz önüne alınması gerektiğini belirtilmiştir.

Tsunami etkisiyle taşınan sedimentin belirlenmesi hakkında yapılan araştırmalarda, nümerik modelleme ve teorik yaklaşımlardan faydalanılırken, gerçekleşmiş tsunamilere ait kayıtlara dayalı çalışmalar uydu görüntülerinden faydalanılarak yürütülmektedir.

2004 Hint Okyanusu Tsunami örneğinde görüldüğü gibi (Department of Ocean Development, 2005) yüksek yoğunluklu dalga tırmanması ve tırmanan dalganın denize dönüşü ile birlikte oldukça yüksek miktarlarda sediment hareket etmektedir. Chennai ve Nellore kıyılarından elde edilen uydu görüntülerinde de görüldüğü gibi, tsunaminin deniz yatağına ulaşması ve geri dönmesiyle birlikte kara bazlı atıkları, toprağı ve kumu taşıyarak suda askıda madde miktarını arttırması şeklinde bir etkisi vardır. 26 Aralık 2004 tarihinde meydana gelen tsunami sonrasında incelenen Ocean Color Monitor (OCM) verileri, Andaman Adalarında bulunan Andhra ve Tamilnadu kıyıları boyunca gözle görülür askıda katı madde konsantrasyonuna işaret etmektedir (Şekil 1.8) (Department of Ocean Development, 2005).

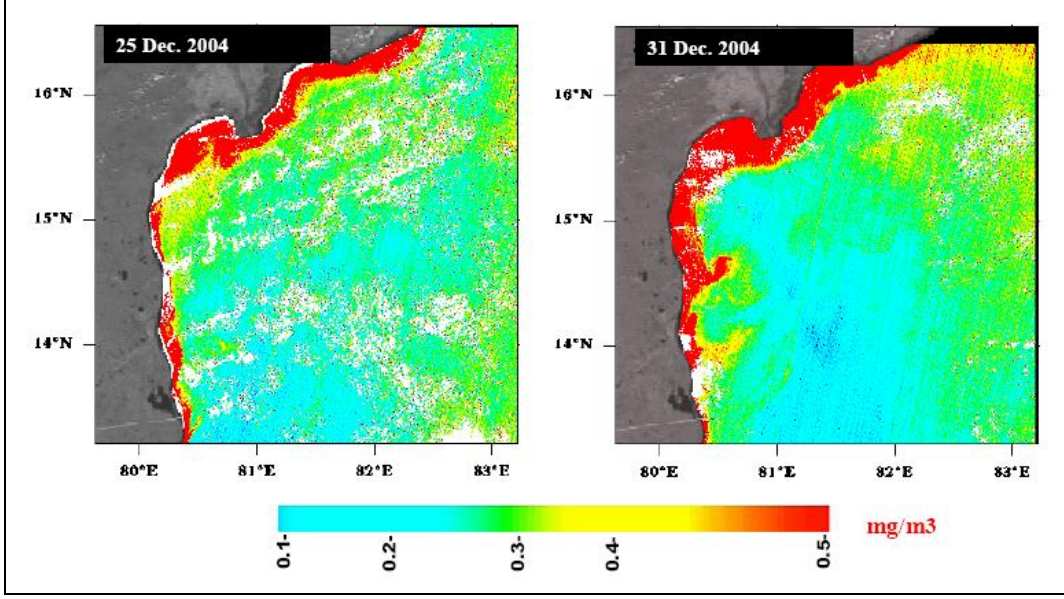
Askıda Katı Madde (AKM) konsantrasyon değerleri 25 Aralık 2004'te $9-21 \text{ mg/m}^3$ iken 27 Aralık 2004'te $4-36 \text{ mg/m}^3$ aralığında değişim göstermektedir. Konsantrasyonda gözlenen artışın yanı sıra, yüksek AKM konsantrasyon değerlerinin görüldüğü alanlar Chennai kıyısının kuzeyinden itibaren 15 km (derinlik 50 metre) iken 45 km'ye (derinlik 1000 m) çıkmıştır. Bu durum geçici olmasına rağmen, sediment parçalarının çoğunun açık denize doğru dağılması veya tabana çökmesinin ileride deniz biyolojisinde önemli etkilere neden olması mümkündür.



Şekil 1.8 : Chennai ve Nellore kıyılarından elde edilen tsunami öncesi ve sonrasına ait askıda katı madde konsantrasyon dağılımı uydu görüntüleri (Department of Ocean Development, 2005).

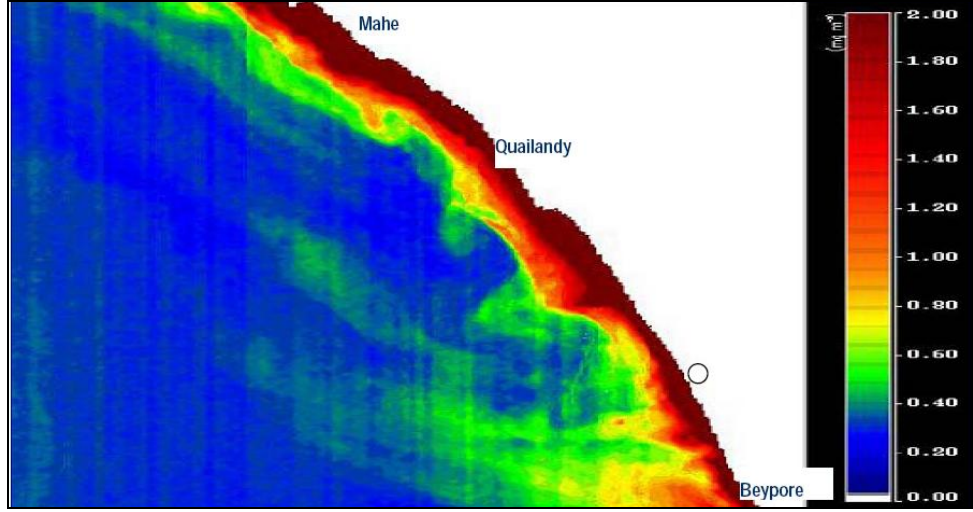
Askıda katı madde konsantrasyonu ile biyolojik hayatın sınırlayıcı koşullarından klorofil konsantrasyonu arasında yakın bir ilişki olduğu bilinmektedir. Klorofil, çeşitli dalga boylarındaki ışığı emerek deniz ortamdaki fotosentezin yani biyolojik hayatın birincil üretim kademesinin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu nedenle deniz ortamdaki kirlenme, biyolojik çeşitliliğin göstergesi olarak da kabul edilmektedir. Askıda taşınan maddeler ise sudaki ışık geçirgenliğini azaltarak deniz ve okyanuslardaki birincil üretimin temel proseslerinden olan fotosentezin gerçekleşmesine engel olurlar.

Andhra ve Tamilnadu kıyıları için tsunami sonrası ve öncesi için elde edilen uydu görüntülerinin incelenmesi sonucunda 25 ve 31 Aralık 2004 tarihlerindeki klorofil konsantrasyon değerlerinin $0,1 \text{ mg/m}^3$ 'ten $0,3 \text{ mg/m}^3$ 'e çıktığı görülmektedir (Şekil 1.9).



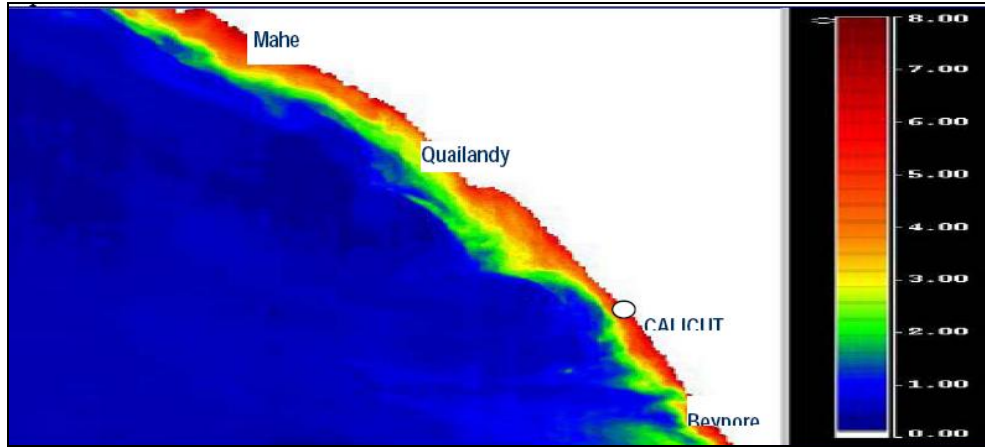
Şekil 1.9 : Tsunami öncesi ve sonrasına ait Klorofil konsantrasyon dağılımı uydu görüntüleri (Department of Ocean Development, 2005).

Venugopal ve diğ. (2005)'un tsunami öncesi ve sonrasında, Malabat kıyılarına ait uydu görüntülerinin analizi sonucunda, Calicut kıyı bölgesinde tsunami öncesinde klorofil konsantrasyonunun tsunami sonrasına göre düşüş gösterdiği ve izleyen günlerde yine eski değerine ulaştığını kaydetmişlerdir. 24 Aralık'ta ortalama klorofil konsantrasyonu $3,5 \text{ mg/m}^3$ iken bu değer 30 Aralık 2004'te $2,9 \text{ mg/m}^3$ olarak kaydedilmiştir. 5 Ocak 2005'ten sonra ise klorofil konsantrasyonu değeri $3,0 \text{ mg/m}^3$ değerine yükselmiştir. Şekil 1.10'da ise SEADAS programı kullanılarak OCM verilerinden Klorofil miktarı tahminlerinin sonuçları görülmektedir. SEADAS programı National Institute of Oceanography (CSIR) tarafından Lakshadweep Denizi (Hint Okyanusu) için geliştirilmiştir (Venugopal ve diğ., (2005)).



Şekil 1.10 : Malamat kıyıları tsunami sonrası Klorofil konsantrasyonu (Venugopal ve diğ., 2005).

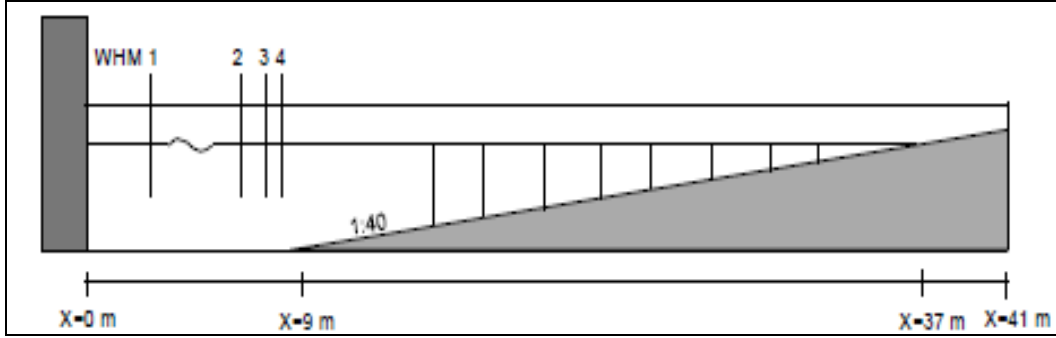
Şekil 1.11’de Calicut kıyı bölgesi için OCM verilerinden elde edilen askıda katı madde miktarı gösterilmiştir.



Şekil 1.11 : Calicut kıyı bölgesi tsunami sonrası askıda katı madde konsantrasyon dağılımı (Venugopal ve diğ., 2005).

Tsunami sonrasında oluşan sediment dağılımının incelenmesinin amaçlandığı bu çalışmada kullanılan OPCON, Koomans (2000) tarafından 41 m uzunluğunda 1,0 m genişliğinde ve 1,2 m derinliğinde metal tabanlı, cam cidarlı kanalda (Scheldt tankı WL/Delft Hidrolik) katı madde taşınımında katı madde dane çapı ve yoğunluğunu incelemek amacıyla kullanılmıştır (Şekil 1.12). 1:40’lık eğimle kuartz malzeme kullanılarak oluşturulan kıyıda tankın üstünde hareketli düzeneğe yerleştirilen OPCON (Optical concentration meter) ve yatay emme sistemi (transverse suction system) ile alınan numuneler ile askıda katı madde konsantrasyonunu, Acoustic Doppler Velocity meter (ADV) ile akım hızlarını, sabit noktalara yerleştirilen 4 adet

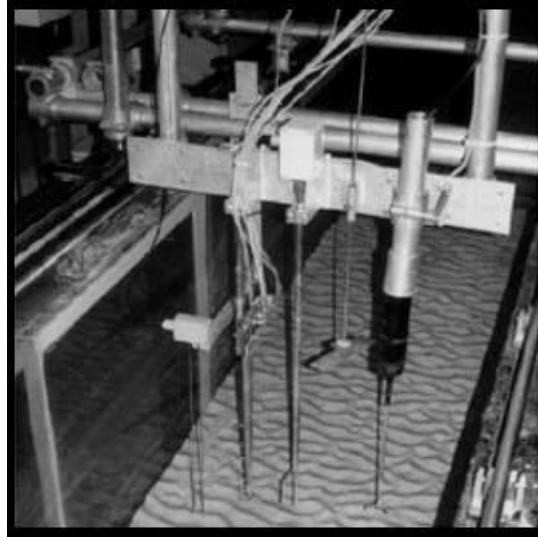
dalga problemleri ile de su seviyesindeki değişimini ölçmüştür. Ölçümler, her bir yatay ve düşey konum için ayrı ayrı yaklaşık yarım saat için alınmıştır.



Şekil 1.12 : Scheldt tankı WL/Delft Hidrolik deney düzeneği (Koomans, 2000).

Bu çalışmada dalgalar JONSWAP modeli ile ikinci mertebe Stokes dalga teorisine uyan dalgalar olarak üretilmiştir. JONSWAP spektrumu, Kuzey Denizi'ndeki koşullara benzer sınırlı feçe sahip (Hasselmann ve diğ., 1973), gelişmekte olan fırtına dalgalarını modellemek amacıyla geliştirilmiştir. Dalga koşulları, su derinliği (h) 0,7 m için, dalga yüksekliği (H_{m0}) 0,17 m ve dalga periyodu (T_p) 2s olarak oluşturulmuştur.

Deneyler katı madde taşınımında yoğunluk farkının etkisi üzerine yoğunlaşmıştır ve bu nedenle katı madde tiplerinin seçiminin önemi dikkate alınmıştır. Deney serilerinde Roelvink ve Stive, (1989)'in deneylerinde kullandığı kum ile karşılaştırılabilir dane çapı dağılımına sahip kuartz kum kullanılmıştır. (Koomans, 2000)' in ölçümlerinde deney sırasında alınan hız ölçümleri (ADV), dalga yüksekliği ve sediment konsantrasyonu (OPCON ve transverse suction system) ile sediment taşınımı veya hidrodinamiği hakkında bilgi verirken, deney aralarında alınan taban malzemesi dağılımı - ve γ -ışını (MEDUSA) ve profil değişimi (PROVO) ölçümleri sediment taşınımının sonuçları hakkında bilgi vermektedir. Şekil 1.13'te ölçüm düzeneği görülmektedir. Ekipmanlar aynı doğrultu ve yükseklikte olmak üzere soldan sağa sırasıyla dalga probu, emme tüpleri, OPCON, derinlik referansı ve ADV olarak yerleştirilmiştir.



Şekil 1.13 : Ölçüm düzeneği (Koomans, 2000).

Yatay emme sistemi (transverse suction system), Bosman, van der Velden, ve Hulsbergen (1987) tarafından geliştirilmiş olup, OPCON ölçüm hacmiyle aynı yükseklikteki zamansal-ortalama askıda katı madde konsantrasyonunu ölçmede kullanılmaktadır. Deneylerde askıda katı madde konsantrasyon ölçümleri tabandan 0.5 cm'ye kadar olan derinlikler için yürütülmüş olup, 0.5 cm'den aşağıda bulunan katı maddeler taban malzemesi, 0.5cm den yukarıdaki katı madde konsantrasyonu askıda katı madde konsantrasyonu olduğu kabul edilmiştir. Tabandan 0.5 cm yukarıda çeşitli yüksekliklerde (0.5 cm, 1.0 cm, 1.5 cm, 2.0 cm, 3.0 cm, 4.5cm, 6.0 cm ve 9.0 cm) OPCON ile alınan askıda katı madde konsantrasyonu değerleri aynı frekansta alınan hız bileşenleri ile çarpılarak toplam katı madde taşınım oranı bulunmuştur. Zirkon ve kuartz askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle dağılımı logaritmik ölçekte düz bir çizgi olarak tanımlanabilmiştir. Profilde her derinlik için $x=23m$ de zirkon konsantrasyonu kuartz konsantrasyonundan daha düşük çıkmıştır. Askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalamasının düşeydeki dağılımı, $C(z)$, difüzyon modeli ile tanımlanmaktadır. Bu modelde katı maddenin ağırlığının etkisiyle aşağı doğru etkiyen kuvvetler ve yukarı doğru sedimentin düşey karışım kuvvetleri ile dengelenmektedir ve ϵ_s sediment karışım sabiti ile ifade edilir ve derinlikle sabittir (Ribberink ve Al-Salem, 1994).

$$w_s < C(z) > + \epsilon_s \frac{\delta < C(z) >}{\delta_z} = 0 \quad (1.1)$$

Sediment karışım sabiti derinlikle sabit olduğu kabul edilse de, karışım sabitinin sediment tabakası ile su hareketleri arasındaki ilişkiye bağlı olarak yerel türbülans değişiklikleriyle birlikte kıyıya dik doğrultuda değişeceği (Ribberink ve Al-Salem, 1992) de ifade edilmektedir. (1.1) denkleminin elde edildiği deneyler sırasında kullanılan kuartz ve zirkon-kuartz karışımının düşeydeki askıda katı madde dağılımına uymaktadır. Deney sonucunda profile eklenen ağır minerallerin profili etkilediği, örneğin kıyı yüzeyindeki erozyonun azaldığı görülmüştür. Ayrıca toplam sediment taşınım oranı etkilenmiş, profile ağır mineraller eklendiğinde kuartz fraksiyonunun askıda katı madde yükü azalmıştır (Koomans, 2000). Askıda katı madde karışım sabitinin sediment dağılımına bağlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, deney sonuçlarında sediment karışım sabitinin sedimentin çökme hızından bağımsız olmadığı ve askıda katı madde yükünün büyüklüğünün etkili olabileceğine dikkat çekilmiştir. Bu etkilerin daha detaylı tanımlanabilmesi için daha detaylı araştırmalara ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmıştır. Kuartz ve zirkon fraksiyonu girişimi iç surf bölgesinde sediment taşınımında azalmaya neden olurken, sediment taşınımını destekleyerek kıyıya doğru ve açığa doğru kırılma barının oluşumuna neden olduğu ifade edilmiştir (Koomans, 2000).

Whitehouse ve Mitchener (1998); Christie ve diğ. (1999); Dyer ve diğ. (2000) ve Jansen–Stelder (2000)’nin arazi çalışmalarının sonuçlarına göre dalgalar katı madde taşınımını üç temel yolla gerçekleştirmektedir.

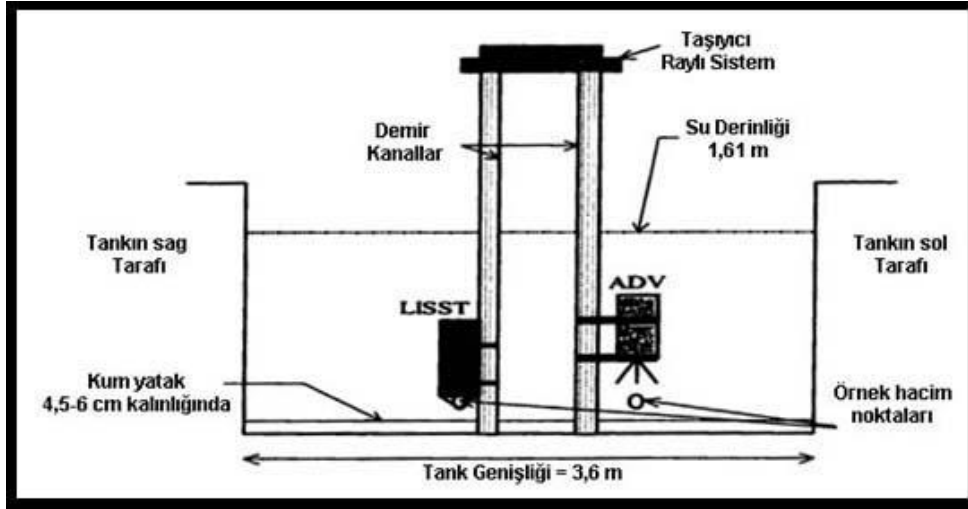
- taban kayma gerilmesini arttırarak ve böylelikle su kolonunda taşınan katı madde miktarını arttırarak;
- önceden askıda olan katı maddenin karışım ve taşınımı ile;
- dalgaın suya doygun kohezif malzemeli yatağın üstünde kırılmasıyla malzemeyi denize doğru taşıyarak.

Bu etkilerin net sonuçları genelde katı maddenin kıyıdan denize doğru taşınarak erozyona uğramasıyla sonuçlanırken, 3 temel yol arasındaki ilişki ve hangisinin göreceli olarak daha etkin olduğu henüz tam olarak anlaşılamamıştır.

Hafif eğimli kıyının çalkantı (swash zone) bölgesinin hidrodinamikleri, kırılmayan düşük-frekanslı hareketlerine bağlı olup genellikle infragravity dalgaları olarak tanımlanmaktadır (Baldock ve Holmes, 1999). Bu dalgalar saparak kıyı boyu akıntılar tarafından tutulur ve sınır dalgaları oluşturur veya denize doğru yansır.

Pritchard ve Hogg (2003) ise bu dalgaların sediment-katı madde taşınımındaki rolünün analizinde Carrier ve Greenspan (1958) tarafından geliştirilen sıg su denklemlerinin kullanılmasının uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Katteridge (2002) üniform olmayan askıdaki sedimentin dalga etkisiyle düşey doğrultudaki dağılımını Davidson Laboratuvarı'ndaki (Stevens Institute of Technology) 97.5 m uzunluğunda, 3.7 m genişliğinde ve 2.0 m su derinliğine izin veren büyük dalga kanalında yürüttüğü deneysel çalışmayla incelemiştir (Şekil 1.14).

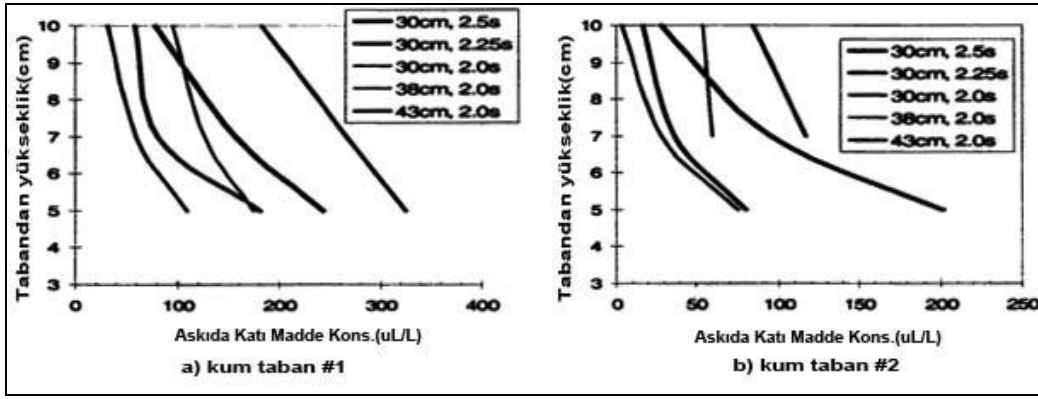


Şekil 1.14 : Deney düzeneği (Katteridge, 2002).

Büyük dalga kanalı dalga yüksekliği 61 cm'e kadar ve 5 s periyotlu düzenli ve düzensiz dalgalar üretebilen programlanabilir dalga üretici donanımına sahiptir. Katteridge (2002), çalışmasında düşey doğrultuda yerleştirilen Sequoia Scientific LISST-100, A Sontek Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) Ocean Probe kullanarak dalga etkisindeki üç boyutlu akım yapısını ölçmüştür. Çalışmasında iki farklı kum kullanarak (üniforma yakın-kum taban#1 ve tam üniform-kum taban #2) sedimentin dane çapı dağılımının askıda katı madde dağılımına etkisi karşılaştırmıştır. Deneyler her taban malzemesi için dalga yüksekliği 30,5 - 43 cm, periyodu 2-2,5 s arasında değişen 5 farklı düzenli dalga gönderilerek tabandan 5 cm, 7 cm ve 10 cm yukarıda LISST ile ölçmüştür.

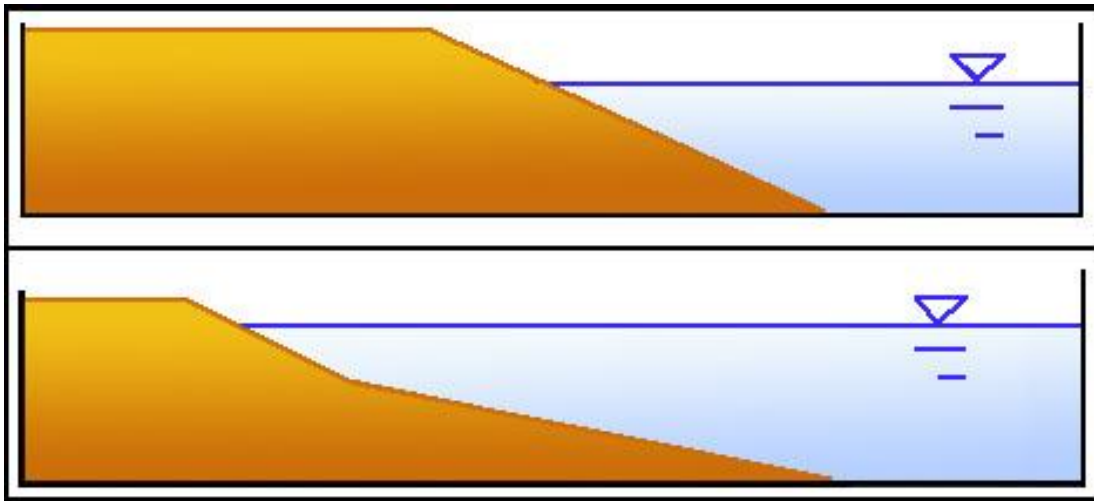
Katteridge (2002)'ın deneysel çalışmasında kullandığı sedimentin dağılımdaki küçük değişikliklerin askıda katı madde konsantrasyonunu kabul edilebilir mertebede değiştirdiği görülmüştür. Karakteristik dane çapı olarak d_{50} 'nin kullanıldığı ripple tabanlar üzerinde bulunan askıda katı maddenin zamansal ortalamasının (Nielsen, 1986) belirlenmesinde, kullanılan iki kum taban malzemesi için de katı madde

taşınımını ihmal etmiştir. Nielsen (1986)'ın da öngördüğü gibi sediment difüzivitesinin(ϵ_s) yükseklikle sabit kaldığı görülmüştür. Askıdaki sedimentin ortalama dane çapının ise tabandaki sedimentten daha küçük olduğu ve dalga fazlarına bağlı olarak değişim gösterdiğini bulmuştur. Ayrıca genel olarak bütün dalga yükseklikleri için toplam askıda katı madde konsantrasyonu tabandan ve dalga hareketinden uzaklaştıkça logaritmik olarak azaldığını kaydetmiştir. Kum taban 1 için yaptığı deneylerde, askıda katı madde konsantrasyonu derinlikle lineer olarak azalırken; kum taban 2'de askıda katı madde konsantrasyonu tabandan ayrıldıkça logaritmik olarak azalmaktadır. Sediment konsantrasyonu $\mu\text{L/L}$ olarak ifade edilmiştir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15 : Kum taban #1 ve kum taban #2 için derinlikle askıda katı madde konsantrasyonu değişimi (Katteridge, 2002).

Detle ve Uliczka (1986), Hannover'de Büyük Dalga Tankında(BWF) düzenli ve düzensiz dalgalar altında surf bölgesinde oluşturulan plaj profillerinde (Şekil 1.16) dalgaların oluşturduğu hızları ve sediment konsantrasyonunu incelemişlerdir.



Şekil 1.16 : Deneysel düzenekte kullanılan kıyı profilleri (Detle ve Uliczka, 1986).

Deneyler 324 m uzunluğunda, 7 m derinliğinde ve 5 m genişliğindeki dalga tankında yapılmıştır. Kum olarak 0,33 mm dane çaplı kum kullanılmıştır. Askıda madde konsantrasyonların belirlenmesinde sabit pompa sisteminden faydalanılmıştır. Kıyı profilleri için hesaplanan sediment taşınımları ölçülen hacim değişimleri ile karşılaştırılmıştır. Hesaplanan ve ölçülen değerler arasındaki farkları minimize etmek için taban tabakasındaki sediment taşınımının daha detaylı çalışılması sonucuna varılmıştır.

Hansen ve diğ. (1994), ripple yatak üzerinde askıda maddenin dağılımını bir Lagragian Model ile simüle etmişlerdir. Sınır tabakasının gelişimi integre edilmiş momentum denklemi ile tanımlanmıştır. Sınır tabakasında askıda katı maddenin dağılımını tanımlamak için türbülans difüzyonu kullanılmıştır. Simüle edilmiş sediment konsantrasyonları literatürdeki ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Zaman ortalamalı simüle edilmiş konsantrasyon profilleri ve salınlı su tünelineki ölçümlere uymaktadır.

Deigaard ve diğ. (1999), düzenli dalgalar ve dalga grupları (uzun dalga grupları var ve yokken) net sediment taşınımını matematik modelleme ile araştırmışlardır. Yatak yatay düzlem olarak kabul edilmiştir ve Shields parametresi 1'den büyüktür. Türbülans sınır tabaka akımı karışım uzunluk modeli ile modellenmiştir. Askıda madde advectif difüzyon denklemi ile modellenmiştir. Akıntı, sürüklenme ve uzun dalga grubu nedeniyle oluşan net katı madde taşınımı göz önüne alınmıştır. Uzun dalga grubunun yatak yakınında ilave ileri bir harekete sebep olduğu bulunmuştur. Uzun dalga grubu önce katı madde taşınımına negatif bir dağılım verir. Çünkü uzun dalgalarda geri doğru hareket yüksek dalga ve yüksek sediment konsantrasyonu ile ilişkilidir. Net sediment taşınımının dane büyüklüğüne ve taşınım şiddetine bağlı olduğu bulunmuştur. İnce kum için ortalama su hareketi ve sedimentin ileri doğru hareketi ile ileri doğru sürüklenir ve bu durum pozitif taşınım verir. Çakıl için geri doğru hareket ile yüksek sediment – konsantrasyon arasındaki ilişki belirleyicidir ve negatif bir dağılım oluşur. Bu çalışma net katı madde taşınımının koşulları karakterize eden boyutsuz parametrelerin değişimi üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla yapılmıştır.

Uzun dalga grubunda net sediment taşınımı dalga yayılma doğrultusunda karşı hareket etmek için döner. Uzun dalga grupları yatak yakınında ileri doğru ilave bir akıma ve ters sediment taşınımına sebep olur. Dalga yayılma doğrultusuna karşı bir

taşıyım, düşük katı madde taşıyım yoğunluğuyla veya yatak yakınında daha az yoğun dalga yörünge hareketleriyle birlikte görülür.

Trouw ve diğ. (2000) de ripple tabanda sediment konsantrasyonu, dalga akıntı hızları, katı madde girişi, yayılma, konveksiyon ve çökelmeyi tanımlayan denklemleri iki boyutlu k- modeliyle hesaplamışlardır. Bu çalışmada, hidrodinamik modeli simule etmede kullanılan nümerik model PHOENICS'e dayanır. PHOENICS, kapalı sonlu hacim şemasıyla farklı türbülans modeli kullanarak hız alanlarını hesaplayabilir. Bu yazılım, askıda katı madde konsantrasyonlarının ve sınır koşullarının hesaplanmasında ve parametrelerin belirlenmesinde özel ilave uygulama kodlarını birleştirmeye imkân tanır. Modelden elde edilen hidrodinamik sonuçların doğruluğunu kontrol etmek için hesaplanan sonuçlar laboratuvar kanalındaki kum üzerine yerleştirilen yüksek frekanslı akım hız ölçerlerle karşılaştırılmıştır (Van Mierle ve Ruiter, 1988). Deneyler 230 m uzunluğunda, 5 genişliğinde ve 7 m derinliğinde Delft Hidrolik Laboratuvarında Delta adı verilen kanalda yapılmıştır. 2 m yüksekliğinde düzenli ve düzensiz dalgalar gerekli zaman aralığına göre üretilmiştir. Tabanda $D_{50} = 0,329$ mm olan orta irilikte ve $D_{50} = 0,162$ mm dane çaplı ince kum olmak üzere 2 tip malzeme kullanılmıştır. Dalga üreticisinden 105 m mesafede, 30 m uzunluğunda, 5 m genişliğinde ve 0,50 m yüksekliğinde kum taban yerleştirilmiştir. Deneyler düzenli, düzensiz (JONSWAP spektrumu) ve asimetrik, periyodu yaklaşık 5 s olan 0,5-2 m arasında dalgalar için yürütülmüştür. Başlangıç ve tabakalı akım rejimleri arasındaki koşullarda askıdaki katı maddenin dinamiği hesaba katılarak çeşitli hidrodinamik koşullarda taban malzemesinin davranışını açıklamak mümkündür.

Nümerik model simülasyonları asimetrik dalgalar nedeniyle net katı madde taşıyım yönünün en yüksek hızın yönüne ters olduğunu ve dalga gruplarının etkisiyle tekrar askıya taşınan katı madde konsantrasyonundaki artışla sonuçlandığını göstermiştir. Düzensiz dalga koşullarında geliştirilen konsantrasyon(C) profillerinin simülasyonu, net askıda katı madde taşıyımını hesaplamada kullanılan belirgin dalga yüksekliğinin yanlış sonuçlar verebileceğini göstermişlerdir.

Masselink ve Pattiaratchi (2000), deniz tabanı morfolojisi ve askıda katı madde arasındaki ilişkiyi açıklamak için Kuzeybatı Avustralya'nın büyük gelgit kıyıları üzerinde saha çalışmasını yapmışlardır. Dalga, akıntı ve askıda katı madde konsantrasyonlarının sürekli ölçümleri yüksek (büyük) gelgitte birkaç saatlik

periyotlarla yapılırken, aynı anda deniz tabanı morfolojisinde yarım saatlik gözle görülebilen gözlemler yürütülmüştür. Gelen dalgaların belirgin dalga yüksekliği 0,35 m ve periyodu 11s'dir. Verilen çoğu dalga grupları tarafından askı halindeki katı maddelerin olduğu surf bölgesinin dışında toplanmış ve askıda katı madde taşınımı kıyı boyu ve kıyıya dik yönde akıntıların ortalamasıyla oluşmuştur.

Askıda katı madde konsantrasyonu belirgin asimetric gelgitlerle karakterize edilmiş ve gelgit çekilmesi sırasındaki taşınım oranı, gelgit sonrasındakinden belirgin olarak büyük olduğu gözlenmiştir. Bu asimetri, çekilen gelgit sırasında kuvvetli yakın kıyı akımları ve büyük taban pürüzlülüğünün birlikte etkisine bağlıdır. Azalan taban kayma gerilmeleri altında taban pürüzlülüğündeki artış ilerleyen gelgit sırasında oluşmaktadır. Yüksek gelgitte yaklaşık olarak 0,005 m yüksekliğinde ve 0,06-0,08 m uzunluğunda rippler oluşmuştur. Bu durum ayrıca Van Rijn'in katı madde taşınım modeli uygulanmasıyla doğrulanmıştır. Bu sonuçlar, büyük gelgit kıyılarında askıda katı maddenin modellenmesi için büyük bir çıkarımdır.

Gartner ve diğ. (2001), teknolojideki gelişmeler sonucunda dane boyutunu yerinde belirlemek için dizayn edilmiş yeni bir aleti incelemişlerdir. Bu cihaz sediment taşınım çalışmaları için çok gerekli bozulmamış (dağılmamış) dane dağılımını ölçebilmektedir. 1,25-250 m arasında logaritmik olarak sınıflandırılmış 32 boyutun askıdaki malzemenin konsantrasyonunu ve dane dağılımını elde etmede LISST-100 kullanılmıştır. Bu çalışma askı halindeki yapay danelerin dane boyutunu belirlemede LISST 100'ün laboratuvar kullanımını açıklamaktadır. Dane boyutu yaklaşık %10 civarında artan hatayla belirlenebilmektedir. Bu cihaz, bir hacim çevirme faktörü (Cv) kullanarak hacim (veya kütle) konsantrasyonunu belirler. Bu hacim çevirme faktörü teorik olarak sabittir. Cv'nin laboratuvar değerlerinin 5-200 m aralığındaki dane boyutunun yaklaşık 3 katı oranında değiştiği bulunmuştur. Güney San Francisco Körfezi'ndeki saha çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre; eğer Cv'nin yaklaşık değeri kullanılırsa askıda katı maddenin kütle konsantrasyonu değerlerinin OBS' ye göre LISST 100'den elde edilen değerlerin daha uygun olduğunu ve ortalama partikül (kum) yoğunluğunun daha dikkatli seçilmesi gerektiğini göstermiştir. Birçok gelgit döneminde Güney San Francisco Körfezi'ndeki askıdaki katı maddelerin dane dağılımlarının analizi, taşkın ve çekilme sırasında farklı dane karakteristikleri yüzünden sedimentin farklı kaynaklardan oluşabileceği belirtmiştir.

Ketteridge (2001), ripple tabanlar üzerinde düzenli dalgalar için zamana bağlı sediment konsantrasyonunu ve dane dağılımını LISST-100C kullanarak laboratuvar ortamında ölçmüştür. Askıda sediment dinamiğinde farklı sediment etkilerini açıklamak için biri yaklaşık uniform diğeri daha farklı iki kum yatak kullanılmıştır. Tüm sonuçlar diğer laboratuvar ve saha ölçümleri ve teorik ve ampirik bağıntıları içeren diğer literatür çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Çok fonksiyonlu diğer aletlerle karşılaştırıldığı zaman LISST-100C'nin hem askıda sediment konsantrasyonunu hem de dane dağılımını (kum için) ölçmede güvenle kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Ripple tabanlarda zaman ortalamalı askıda sediment konsantrasyonu tahmini (Nielsen, 1986) her iki kum taban içinde askıda sediment taşınımını belirgin olarak daha fazla hesaplanmaktadır. Sediment difüzyonunun yükseklikle değişmediği ve askıdaki katı maddenin ortalama çapının tabandaki sedimentten daha küçük olduğunu bulmuştur.

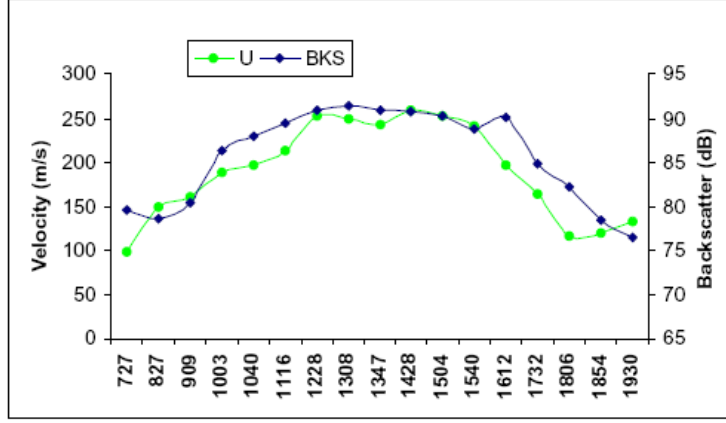
Obhrai ve diğ. (2002), perkölasyonun geçirimli bir yatak boyunca düzenli dalgaların oluşturduğu askıda katı madde üzerindeki etkisini bir laboratuvar tankında ABS (Akustik Backscatter Sensor) kullanarak incelemişlerdir. Çalışmada yükseklikleri 0,14-0,185 m arasında değişen 1,7 s periyotlu dalgalar 0,25 mm kum üzerinde kullanılmıştır. Sızma hızları 0,5 – 10,4 m/s arasındadır. Deneyler sonucunda perkölasyonun askıda madde taşınımını azaltma eğiliminde olduğu görülmüştür.

Kobayashi ve Tega (2002), surf bölgesindeki bir plaj üzerinde kum süspansiyonu ve taşınımı için geliştirilmiş zaman bağlı bir nümerik modeli, deneysel çalışma ile karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışma, dalga kanalında oluşturulmuş düzensiz dalga etkisinde ince kum plaj üzerinde yapılmıştır. Ölçülmüş serbest yüzey yükseklikleri ve enine hızlar nümerik modelle %20 mertebesinde hata ile tahmin edilmiştir. Bu çalışmada, kırılan dalga hareketleri için geliştirilmiş nümerik modelin enine kum taşınımını askıdaki kum hareketini daha iyi anlamadan tam olarak belirlenemeyeceği sonucuna varılmıştır.

Okayasu ve diğ. (2004), düşey doğrultulu çalkantılarla oluşan sediment bulutlarının karakteristiğinin tanımlanmasında, yatay doğrultuda tabana yakın askıda katı madde konsantrasyonunun anlık iki boyutlu dağılımının ortaya konulabilmesi için gerçekleştirilen laboratuvar deneylerinde Bilgisayarlı Tomografi -Computed Tomography (CT) tekniği uygulanmıştır. Bu teknik sağlık sektöründe kullanılan CT aletlerinin askıda katı madde konsantrasyonu için hazırlanmış bir adaptasyonundan

ibarettir. Cihaz laboratuvar kanalında dalga kırılması nedeniyle oluşan taban yakınındaki sediment konsantrasyonunu ölçmek ve birbirini izleyen dağılımları elde etmek için kullanılmıştır. Çalışmada sediment konsantrasyonu ile ışık azalma değerleri arasında bir lineer bağıntı verilmiş, CTCM kullanılarak dalga kırılması nedeniyle oluşan konsantrasyonun değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır. Okayasu ve diğ. (2004)' nin yaptıkları bu deneysel çalışmada, kırılan dalgalara bağlı olarak gözlenen konsantrasyon dağılımının ardışık görüntüleri elde edilmiş ve sediment bulutunun hareketi ortaya konmuştur. Ölçüm alanının ortasındaki konsantrasyon konvansiyonel optik ilerleme-iletim tipli sediment-metre ile tanımlanmak için aynı anda ölçülmüştür. Sediment bulutunun merkezindeki ölçüm sonuçlarına göre bu değer yaklaşık 5 ppm civarındadır. Sonuçlara göre surf bölgesindeki askıda katı madde konsantrasyon yatay dağılımı homojen değildir ve bölgesel olarak ayrılmış yüksek sediment konsantrasyonlu bölgeler oluşmuştur. Oluşan bulutun uzunluk ölçeği su derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Sediment bulut oluşumunun ana sebebinin dalga kırılması nedeniyle oluşan kesintili çevrintilerin tabandaki sedimenti askıda hale getirdiği sonucuna varılmıştır.

Kostaschuk ve diğ. (2001) ise çalışmalarında, ADV ile Fraser nehri halici (Kanada) askıda madde yükü ölçümlerine ait örneklerle yer vermişlerdir. Çalışma, kullanılan ADV SonTek 1500 kHz ADV için geçerli olmakla birlikte genel operasyon prensipleri bütün ADV'ler için geçerlidir. Çalışmanın sonuçları 20 Mayıs 2000 'de Fraser Halici ana kanalında bir gel-git periyodu boyunca yaptığı 17 arazi çalışması sırasında elde edilen ölçümlere dayanmaktadır. Şekil 1.17' de görüldüğü gibi akustik backscatter ile yapılan ölçümlerde bir gel-git periyodu boyunca askıdaki katı madde miktarıyla birlikte ortalama akım hızının da değişmektedir. Bu nedenle geri saçılımın (backscatter) haliçlerde askıda katı madde taşınım tahmininde kullanılabilecek oldukça faydalı bir araç olduğunu söylemek mümkündür. Bununla birlikte gerisaçılım (backscatter) sediment konsantrasyonunu belirli aralıklarda ölçmekte ve bilinen askıda katı madde konsantrasyonları ile kalibre edilmesine ihtiyaç duyması nedeniyle Akustik Doppler konsantrasyon ölçer (aDcp) bazlı konsantrasyon tahminlerinde geçerli olduğu dikkate alınmalıdır. Ayrıca hassas kalibrasyonlar sadece dane çapı dağılımının değişmediği koşullarda geçerlidir.



Şekil 1.17 : Akustik backscatter (BKS) ve ortalama akım hızı (u) (Kostaschuk ve diğ., 2001).

Bu çalışmanın konusu olan tsunami sonrasında meydana gelen sediment bulutunun taşınımı benzer şekilde, Gedik (2004)'in *tsunami dalgalarının tırmanma yüksekliğinin araştırılması* adlı doktora tezinin deneyleri sırasında da gözlemlenmiştir.

2. TEORİK YAKLAŞIM

Bu bölümde öncelikle tsunami tipi uzun dalgaların hidrodinamik özellikleri açıklanarak dalga sınıflaması açısından değerlendirilmiştir. Daha sonra tsunamilerin oluşum nedenleri, yayılmaları ve geri dönüş etkisiyle oluşturdıkları akım karakterleri üzerinde durulmuştur. Son olarak ise tsunamilerin büyüklüğünün değerlendirilmesinde etkin parametreler, tsunami sonrası zarar tespiti ve bu zararların ekolojik açıdan önemi irdelenmiştir.

2.1 Tsunami Tipi Uzun Dalgalar

Tsunamiler genelde liman ve koylar gibi sığ su bölgelerinde birkaç saat boyunca duran büyük dalgalar olduklarından, eski Japonya’da büyük liman dalgaları olarak bilinmekteydi. Gel-git dalgaları veya sismik deniz dalgaları olarak da adlandırılmalarına karşın tsunaminin meydana gelmesinde bilinen anlamda gel-git etkisinden bahsetmek mümkün değildir. Buna karşılık tsunamilerin oluşmasında bilinen en yaygın neden okyanuslarda meydana gelen depremler olduğundan sismik dalga olarak adlandırılması teknik tanımlama açısından uygundur.

Düşük dalga yüksekliği ve sonsuz sayılabilecek dalga periyoduna sahip olmaları nedeniyle açık denizde neredeyse fark edilemeyen tsunami tipi uzun dalgalar birçok farklı etki altında meydana gelebilmekte ve eğime de bağlı olarak yüksek tırmanma gücü ile kıyı çizgisinin gerisindeki karasal alanda olağanüstü hasarlara neden olabilmektedirler. Açık deniz ve okyanusta meydana gelen deprem, volkanik patlamalar, toprak kayması ve meteor gibi büyük kütlelerin etkisiyle meydana gelen tsunami tipi uzun dalgalar ağırlık dalgalarından farklı olarak tabandan yüzeye bir su sütunu olarak hareket etmektedir (Gedik vd, 2004).

Tsunamilere ait kaydedilen görüntülerden elde edilen genel geçer yargıya rağmen tsunami tipi dalgalar aslında kıyıya genellikle dev kırılan dalgalar şeklinde ulaşmazlar (Bryant, 2008). Kıyı alanlarında tsunamilerden kaynaklanan hasarların çoğu tsunami etkisiyle oluşan güçlü akıntılar ve büyük bir kuvvetle yüzen atık

malzemelerden meydana gelmektedir. Az sayıda kırılan tsunami tipi dalgalar ise genellikle düşey türbülans duvarları oluştururlar.

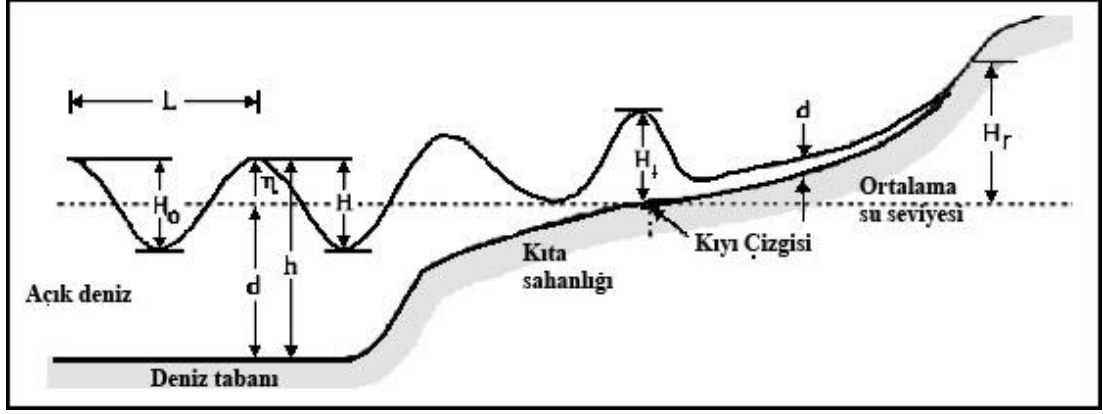
Tsunamiler 1850'den beri 120 000'den fazla can kaybı, kıyı alanlarında ve kıyı ekosistemlerinde yol açtıkları milyarlarca dolarlık zarar ile doğal felaketler içinde en yüksek zarar potansiyeline sahip felaketler olarak kabul edilmektedir. Dünya çapında meydana gelen depremlerden % 5- 15'inin tsunami ile sonuçlandığı kaydedilmiştir. Sadece son on yılda 12 büyük tsunami Pasific bölgesinde meydana gelerek 4000'den fazla ölüme ve 1 milyon dolar zarara yol açtığından tsunamiler okyanus dalgaları ve fırtınalar içinde en yıkıcı dalgalar olarak kabul edilmektedir. Bilinen en yıkıcı tsunami, 26 Aralık 2004'te Andaman Adaları yakınında ve Sumatra'nın kuzeyinde meydana gelen tsunamidir. 2004 yılından önce bilinen en güçlü tsunami ise, 1883 yılında Sunda Adası grubunda yanardağ patlaması sonucu oluşmuştur. 35 m dalga yüksekliğine ulaşan tsunami dalgası 36830 kişinin ölümüne neden olmuştur (Url-8).

Tsunamilerin karada oluşturdukları hasarın dışında tabandan yüzeye kadar kuvvetli bir su kütlesi olarak okyanusta ilerlerken okyanus tabanında değişimlere neden olmaktadır. Dev mercan ekosistemleri güçlü akıntılar etkisiyle kırılmakta ve taşınan tonlarca miktarda kum ile kaplanarak mercanlara bağlı olarak yaşayan canlıların da ölmesine neden olmaktadır. Meydana gelen zararlar ekolojik zarar değerlendirme kapsamında incelenmektedir.

2.1.1 Tsunami tipi dalgaların hidrodinamik özellikleri ve dalga teorileri

Tsunami dalgalarının hidrodinamik özelliklerini tanımlamak için kullanılan teknik terimlerin çoğu rüzgar dalgalarında kullanılanlar ile aynı olsa da bazı farklılıkları da içermektedir (Şekil 2.1).

Dalga periyodu, rüzgâr dalgaları için olduğu gibi tsunami tipi dalgalar için de belirli bir noktada, birbirini takip eden iki dalga tepesi arasındaki zaman olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte tsunami sırasında diğer dalga formları da hesaba katıldığından(gel-git dalgaları gibi) genellikle birbirini takip eden iki dalga tepesini belirleyebilmek mümkün olamamakta ve daha farklı tanımlamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Tsunami tipi dalgalar genellikle 1,6-33 dk arasında bir periyoda sahip olurlar ve okyanusun en derin bölgelerinde ilerleme hızları 600-900 km/s değerlerine ulaşır. Kıta sahanlığına ulaştığında ise tsunami tipi dalgaların ilerleme hızı 100-300 km/s değerine, kıyıya yaklaştıklarında ise 36 km/sn değerine düşer (Bryant, 2008).



Şekil 2.1 : Tsunami tipi dalgaları tanımlamada kullanılan terimler (Cuypers, 2004).

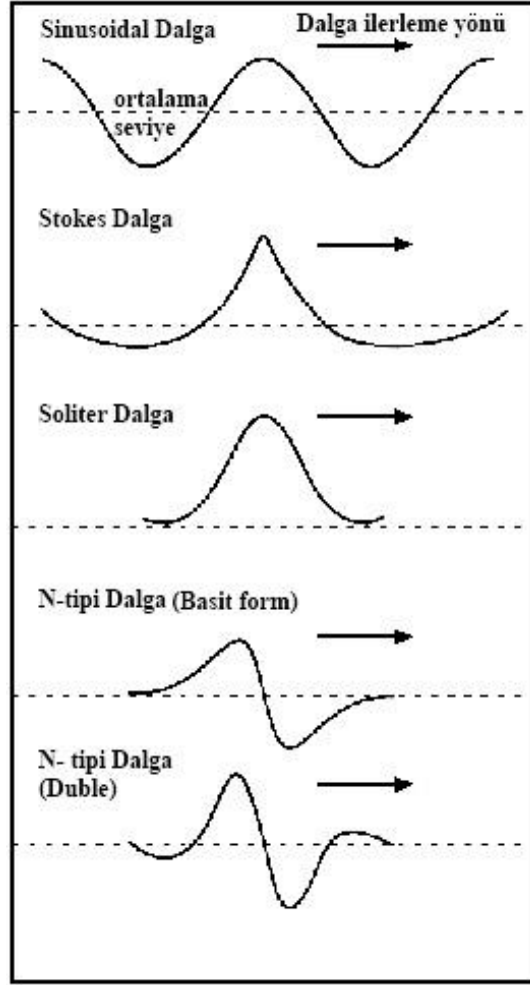
Tsunami dalga yüksekliği olarak ifade edilen terim(H) rüzgar dalgalarında olduğu gibi dalga tepesi ile dalga çukuru arasındaki düşey mesafedir. Bazı araştırmalarda bahsedilen başka bir ifade de tsunami yüksekliği(H_t)dir. Tsunami yüksekliği(H_t) ortalama su seviyesi ile tsunami dalgası tepesinin veya çukuru arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır (Shiki ve diğ., 2008).

Okyanusun sınırlı derinliği ve depremlerden kaynaklanan dalga mekaniği nedeniyle tsunamilerin dalga boyları(L) 10-500 km arasında değişmektedir. Bu derece büyük dalga boyuna sahip olması nedeniyle tsunami tipi dalgalar fırtına dalgaları ve dalga kabarmasından farklılık göstermektedir (Bryant, 2008).

Tsunaminin kıyıya ulaştıktan sonra karada ilerlediği mesafe tsunami sonrasında çeşitli yapılarda bıraktığı izlere dayanılarak belirlenir. Tsunaminin karada ulaştığı en son nokta tırmanma yüksekliği olarak bilinir. Tırmanma yüksekliği(H_r)nin belirlenmesinde ortalama su seviyesi gibi belirli bir referans noktası ile tsunaminin karada ulaştığı nokta arasındaki düşey mesafe dikkate alınmaktadır. Referans noktası olarak tsunami gerçekleşikten sonra kaydedilen ortalama su seviyesine bağlı olarak hesaplanan tırmanma yüksekliği yanıtıcı olacaktır. Ayrıca ortalama su seviyesinin belirlenmesinde bölgeye ait gel-git durumunun da dikkate alınması gerekmektedir.

Okyanus dalgaları temel olarak sinusoidal dalga formuna ve salınım hareketine sahiptir. Salınım dalgalarında su partikülleri kapalı orbital hareketine sahiptir. Bu nedenle dalganın kıyıya ilerlemesi sırasında su kütlesi taşınımı gerçekleşmemektedir. Salınım dalgaları üç temel parametreyle ifade edilmektedir: serbest su yüzeyinin üzerindeki yükseklik(H), dalga boyu(L) ve su derinliği(d). Açık denizde, en önemli faktör $H:L$ oranı diğer bir ifadeyle dalga dikliğiyken, sığ suda $H:d$ oranı önem

kazanmaktadır. Şekil 2.2’de tsunami tipi dalgaların kesitlerini karakterize eden dalga türleri şematize edilmiştir.



Şekil 2.2 : Tsunami tipi dalgaların kesitlerini karakterize eden dalga türleri (Bryant, 2008).

Okyanusta su derinliğinin fazla olduğu açık denizde gözlenen tsunami tipi dalgalar sinüsoidal dalga formunda olduğundan bu dalgaların tanımlanmasında lineer dalga teorisi kullanılabilmektedir. Dalgalar kıyıya yaklaştıkça dalga tepeleri dikleşirken dalga çukurları daha düz hale gelmektedir. Bu aşamadan itibaren tsunami tipi dalgalar matematiksel olarak lineer dalga teorisi yerine 2. Derece Stokes dalga teorisi ile tanımlanabilmektedir. Su derinliğinin azaldığı kıyı bölgesinde ise tsunami tipi dalgalarda dalga çukuru tamamen kaybolarak tamamen dalga tepesinden ibaret olmaya başlar. Bu durumun matematiksel olarak karşılığı ise Soliter dalga teorisi ile ifade edilebilmektedir. Son dönemlere kadar laboratuvar ortamında fiziksel olarak modelleme ve sayısal modelleme ile tsunami tipi dalgalar üzerinde yapılan çalışmalarda Soliter dalga teorisi kullanılmakla birlikte, son yıllarda meydana gelen

tsunamilere ait görüntüler, tsunami uyarı sistemlerinden elde edilen kayıtlar ve görgü tanıklarının ifadeleri doğrultusunda kıyıya ulaşan tsunami tipi dalgaların da dalga çukuruna sahip olduğunun anlaşılmasıyla Soliter dalga teorisinin yerini N-tipi dalgalar almıştır. N-tipi dalgaların en önemli özelliği ilk olarak kıyıya dalga çukurunun ulaşmasıdır. N-tipi dalgalar ile kıyaslandığında matematiksel olarak daha kolay tanımlanan ve laboratuvar ortamında daha kolay bir şekilde üretilen Soliter dalgaların N-tipi dalgalardan en büyük farkı ise N-tipi dalgaların kırılmadan evvel daha dik hale gelmesidir. Bu nedenle daha önce solitary dalgalar ile yapılmış çalışmalar halen geçerli bilgiler içermektedir (Cuypers, 2004).

Tsunaminin derin suda ilerleyişi aşağıdaki lineer uzun dalga denkleminde dayanarak açıklanabilir.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = -h \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (2.1)$$

η = Sakin su seviyesinden itibaren su seviyesindeki değişim

h = su derinliği

u = akım hızı

g = yer çekimi ivmesi

yukarıdaki iki denklem kombine edilerek aşağıdaki uzun dalga ilerleme hızını veren ifade elde edilir.

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = C^2 \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \quad C = \sqrt{gh} \quad (2.2)$$

C = x yönündeki dalga ilerleme hızı

U akım hızı ise

$$u = \pm \eta \sqrt{\frac{g}{h}} \quad (2.3)$$

olarak ifade edilir.

Tsunami tipi dalgaların oluştukları yerler genellikle 8-10 km'yi aşan su derinliğine sahip açık deniz okyanus koşullarının geçerli olduğu yerlerdir. Bu koşullar altında tsunami tipi dalgalar 200 km'yi aşan dalga boyları ile sığ su dalgası şeklinde ilerlemektedirler (Cuypers, 2004). Dalga boyunun su derinliğinden çok büyük olduğu koşullarda geçerli olan sığ su dalgası prensibine göre tsunamilerin ilerleme hızının hesaplanmasında (2.3) formülü kullanılmaktadır. Tsunami ilerleme hızının su derinliğine bağlı olduğundan, tsunami tipi dalgalar derin suda hızlı, sığlaşan kıyı bölgelerinde ise yavaş ilerlermektedir.

Dalga boyunun su derinliğinden çok büyük olduğu, sığ suda uzun dalga sınır koşullarının belirlendiği parametrelerden en önemlisi Ursell parametresidir(2.4). Sabit bir derinlikte ilerleyen dalgaların sınıflandırılmasında kullanılan Ursell parametresi, uzun dalgalar için frekans dağılımı ile nonlineer etkilerin önemini belirlemektedir.

$$U_r = \frac{HL^2}{h^3} \quad (2.4)$$

Bu formülde H(m) dalga yüksekliği, h(m) su derinliği ve L(m) dalga boyu olarak ifade edilmektedir. $U_r < 25$ ise, dalgalar lineer dalga teorisi ile açıklanabilmektedir.

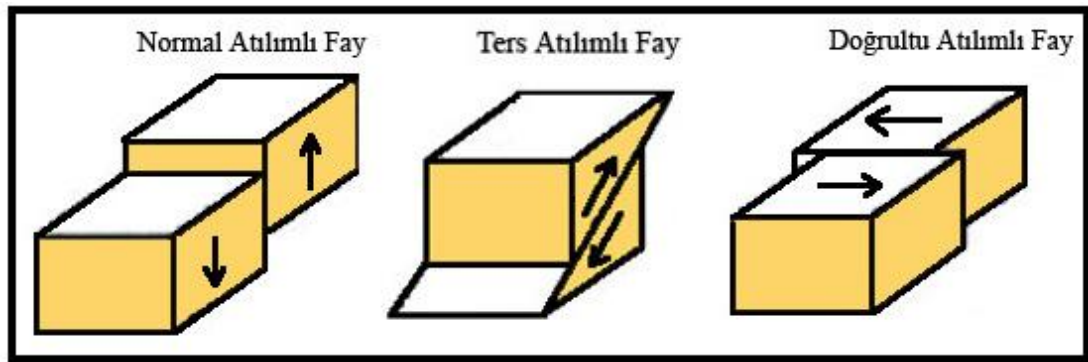
Sığ suda yayılan uzun dalgalar en iyi şekilde Knoidal ve Stokes dalga teorileri ile tanımlanmaktadır. Knoidal dalga teorisinin kullanım sınırları olan $d/L < 1/8$ ve $U_r > 26$ değerlerinin aşıldığı daha büyük dalga boyuna sahip dalgalar için bu teorisin sınırları dışına çıkmakta ve Soliter dalga teorisine göre değerlendirilmektedirler. Bu sınırdaki, çok sığ su şartlarında neredeyse düz kabul edilebilecek dalga çukuru ve çok dik tepeli ardışık dalgalar bağımsız tekil dalga olarak göz önüne alınabilmektedirler (Yüksel ve diğ., 1998).

2.1.2 Tsunami oluşumu, ilerlemesi ve geri dönüşü(backwash)

Denizde meydana gelen depremler, toprak kayması, volkanik patlamalar ve meteor parçalarının denize düşmeleri gibi tsunami etkenlerinden deprem sonrasında meydana gelen tsunami tipi dalgaların oluşması ve ilerlemesi, son 50 yılda yapılan çalışmalara rağmen hala tam olarak anlaşılamamıştır.

Deprem nedeniyle meydana gelen tsunamilerde okyanus tabanının yukarı doğru kabarması veya aşağı doğru çökmesiyle üzerinde bulunan su sütunu harekete geçer. Bu nedenle, tsunami tipi dalgaların büyüklüğü ve olup olmayacağı meydana gelen depremin derecesinden, okyanus tabanında oluşturduğu deformasyonun şekli ve uzunluğundan etkilenmektedir. Depremlerin tsunami yaratabilmeleri için fay hattının deniz tabanına yakın bir yerde kırılması ve deniz tabanının büyük bir alan boyunca (100 000 km²'ye kadar) metrelerce düşey doğrultuda yer değiştirmesi gerekmektedir. Merkez üssü derinliği 70 km'den daha sığ odaklı depremlerde, birbiri üstüne kayan plakalar daha büyük ölçekli tsunamilerin sorumlusu olarak kabul edilmektedir (Shiki ve diğ., 2008).

Deprem sonucu okyanus tabanında meydana gelen deformasyon temel olarak doğrultu atımlı, ters atımlı ve normal atımlı fay hareketleri olmak üzere üç şekilde oluşmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Temel fay doğrultuları.

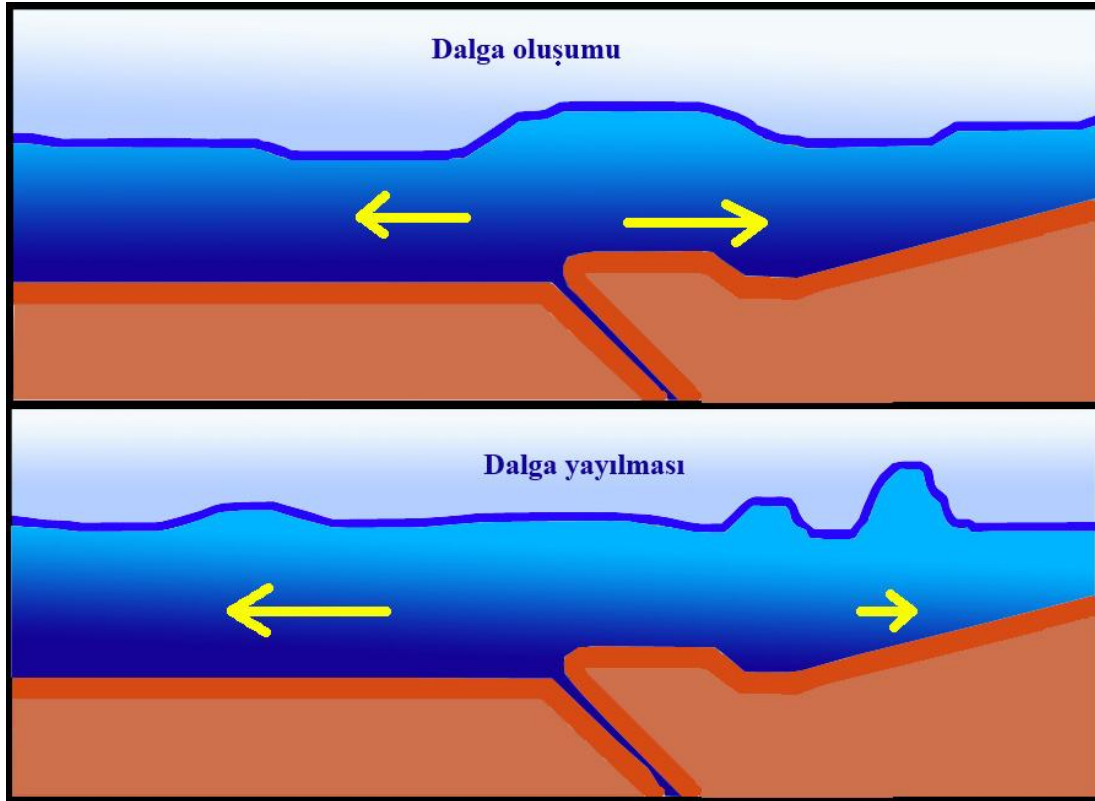
Okyanus tabanında yer alan ters ve normal atımlı faylar okyanus tabanı ile birlikte üzerinde bulunan büyük su kütlelerini de aşağı-yukarı hareket ettirerek dalga hareketine neden olmaktadır. Genellikle faylar doğrultu atımlı ve ters atımlı hareketlerin her ikisini de içermekle birlikte, düşey hareketlerin daha ağırlıklı olduğu ve yeterli derecede okyanus tabanı deformasyonu oluşturan faylar tsunami oluşturmaktadır (Cuypers, 2004).

Bununla birlikte depremler karada ve deniz altında meydana gelen toprak kayması gibi büyük kütlelerini de harekete geçirerek ve deniz tabanında sıvılaşma etkisi yaratarak tsunamilere neden olabilmektedirler. Son yıllarda Flores Adaları (1992), Skagway (1994); Papua Yeni Gine (1994); (Keating ve McGuire, 2000; Tappin ve diğ., 1999) ve Türkiye'de Gölcük depreminde (1999) deniz altı toprak kayması

sonucu meydana gelen tsunamiler ile bilimsel olarak bu alanda yapılan araştırmalar artmıştır. Okyanus tabanında büyük kütlelerin kayması sonucu oluşan yer değiştirmelerin boyutları deprem etkisiyle meydana gelen yer değişimlerinden genellikle daha küçüktür. Bu nedenle toprak kayması sonucu meydana gelen tsunamilerin dalga boyları da bu oranda küçüktür (Bardet ve diğ., 2003).

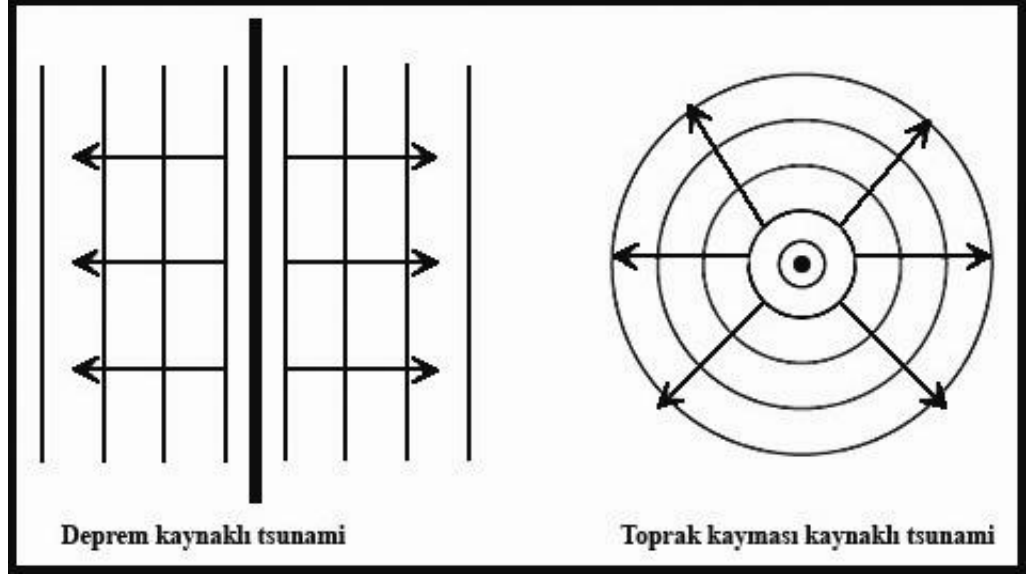
Deprem kaynaklı tsunamiler gibi toprak kayması sonucu oluşan tsunamilerin de sığ suda meydana gelmesi derin suda meydana gelmesinden daha fazla zarara yol açmaktadır. Bu ise tsunamilerin sığ suda meydana geldiklerinde kıyıya daha yakın mesafede olmalarından ve böylelikle de taşıdıkları büyük miktardaki enerjiyi yayılmadan kıyıya boşaltmalarından kaynaklanmaktadır.

Deprem etkisiyle meydana gelen tsunami tipi dalgalar iki yöne doğru ayrılarak bir kısmı okyanusun derin kısımlarına, diğer kısmı ise kıyıya doğru yönlenerak ilerlemektedir. Su derinliğinin fazla olduğu yerlerde büyük dalga boyu ve düşük dalga yüksekliği nedeniyle tsunamiler farkedilemezken su derinliğinin az olduğu kıyı bölgelerinde tırmanma etkisi göstererek büyük dalga yüksekliklerine ulaşırlar (şekil 2.4) (Cuypers, 2004).



şekil 2.4 : Tabandaki deformasyon sonucu dalga oluşumu ve yayılması (Cuypers, 2004).

Deprem kaynaklı tsunamiler ile toprak kayması kaynaklı tsunamilerin yayılması arasında gözlenen farklardan birisi de deprem kaynaklı tsunamilerin oluştukları fay çizgisi boyunca birbirine zıt yönlerde ilerlemesi, toprak kayması sonucu oluşan tsunamilerin ise radyal bir yayılım izlemeleridir (Nieuwkoop, 2007) (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Deprem ve toprak kayması kaynaklı tsunaminin yayılması (Nieuwkoop, 2007).

Sığ su dalgası prensibine göre yayılan tsunami tipi dalgaların ilerleme hızları su derinliğinin bir fonksiyonu olduğundan, tsunamiler derin okyanusta ($h > 2$ km) yaklaşık 150-250 m/sn, kıta sahanlığına yaklaştıkça ($h < 1000$ m) 30-90 m/sn hızla ve kıyıya yaklaştığı ($h = 50-10$ m) daha sığ bölgelerde 10-20 m/sn hızla ilerler.

$C = (gh)^{1/2}$ formülünün önemi h olarak ifade edilen su derinliğinin $h = \text{su derinliği} + \text{sakin su seviyesi}$ üzerinde kalan dalga tepesi (η) olduğu sığ sularda artmaktadır. Bununla birlikte sabit bir derinlik için tsunami dalga boyu (L) dalga ilerleme hızının (C) ve dalga periyodunun (T) bir fonksiyonu olarak da yazılabilir (Cuypers, 2004).

$$L = C.T \quad (2.5)$$

L : dalga boyu (m)

C : dalga ilerleme hızı (m/sn)

T : dalga periyodu (sn)

Hangi kaynaktan olursa olsun tsunami tipi dalgalar kıyıya yaklaşırken, öncelikle okyanusta büyük su kütlelerini geri çekmekte ardından da karada dalga tırmanması ile su taşınımı meydana getirmektedir. Tsunami tipi dalga tepesi kıyıya vurduğunda ilk zarar sadece buoyant ve hidrostatik kuvvetlerin etkisiyle değil, sonrasında oluşan yüksek su hızına sahip akıntılar, türbülans ve çalkantıların yol açtığı vurucu etkiyle de meydana gelmektedir. Bütün ağırlık dalgalarında olduğu gibi tsunamiler de belirli bir derinlikten sonra dalga hareketini sonlandırarak kütleli olarak hareket ederler. Bu hareket, kıyının yapısal özelliklerine bağlı olarak kıyı gerisinde belli bir noktaya kadar devam eder ve su kütlesi bu son noktadan itibaren geri dönüş hareketine başlar (Kabdaşlı ve Koroglu, 2010).

2.1.3 Tsunami büyüklüğü, tsunami hasar ve risk değerlendirmesi

2.1.3.1 Tsunami büyüklüğü

Depremlerin büyüklüğünün belirlenmesinde olduğu gibi, tsunami büyüklüğü de çevreye yayılan enerji miktarının ölçüldüğü fiziksel bir parametredir ve tsunamilerin sonuçlarını yansıtmamaktadır. Deprem kaynaklı tsunamilerde, tsunaminin büyüklüğü deniz tabanındaki deformasyonun boyutlarına bağlı olmaktadır. Bahsedilen boyutlar fay hattının fiziksel parametrelerin boyutlarıdır ve depremin büyüklüğüyle orantılıdır. Elde edilen kayıtlara göre tsunami büyüklüğü m aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilir (Iida, 1963):

$$m = 2,61M - 18,44 \quad (2.6)$$

M depremin büyüklüğünü göstermektedir. Tsunaminin büyüklüğü kıyıda gözlenen tsunami yüksekliğine veya gel-git kayıtlarına bağlı olarak belirlenebilmektedir.

Önceki çalışmalara dayanarak tsunami yüksekliğinden tsunaminin büyüklüğü aşağıdaki formül ile belirlenmektedir (Papadopoulos, 2003).

$$M_t = a \log H + b \log \Delta + D \quad (2.7)$$

H = tsunami dalgasının maksimum tekil genliği, (m)

Δ = deprem merkezi ile okyanus ta gözlem sahası arasındaki en kısa mesafe

a , b ve D = sabitler

2.1.3.2 Tsunami kaynaklı hasar değerlendirmesi

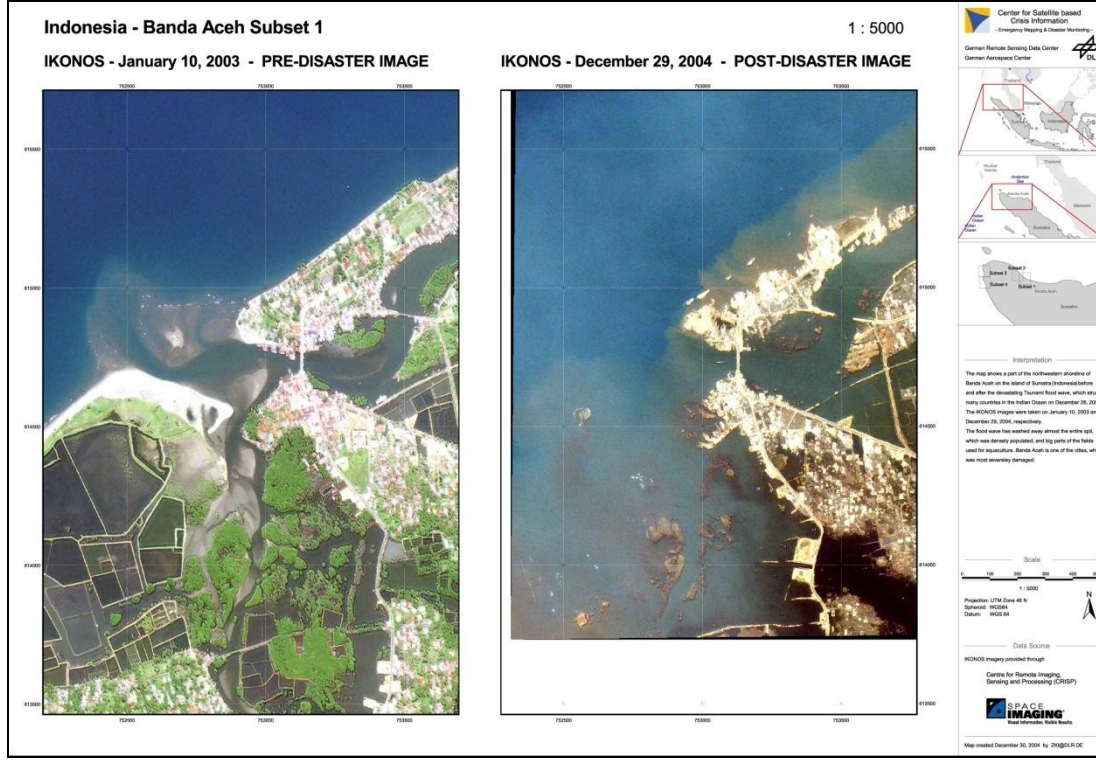
Dünya üzerinde çeşitli sebeplerle meydana gelen tsunamilerin karada yüzlerce metre tırmanması sonucunda, kıyı alanlarındaki yerleşim yerlerinde can kayıpları ve seller, tsunamilerin geri dönüş etkisiyle taşıdıkları tonlarca su ve sediment nedeniyle, kıyı sulak alanlarında ve okyanus tabanında bulunan mercanlar gibi ekolojik açıdan değerli yaşam alanlarında geri dönülemez zararlar meydana gelmektedir. Tarihte bugüne kadar meydana gelmiş başlıca tsunami vakaları Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 : Tarihte meydana gelen büyük tsunami vakaları.

Yıl	Olay	Yer	Ölü Sayısı
1605	Nankaido	Japonya	5 000
1607	Bristol Kanalı	İngiltere	2 000
1703	Tokaido-Kashima	Japonya	5 233
1707	Tokaido-Nankaido	Japonya	30 000
1755	Lizbon depremi	Lizbon ve İngiltere	100 000
1771	Ryukyu		13 486
1782	Çin Denizi	Çin ve Tayvan	40 000
1792	Unzen Dağı faaliyeti	Japonya	15 030
1826		Japonya	27 000
1868		Şili	25 674
1868	Hawaii	ABD	46
1883	Krakatoa volkan patlaması	Endonezya	36 000
1896	Sanriku	Japonya	22 070
1908	Messina	İtalya	70 000
1929	Placentia Koyu	Kanada	28
1933	Sanriku	Japonya	3 008
1946	Alaska ve Havai	Aleutian	173
1952	Borneo	Endonezya	4 000
1960	Havai ve Japonya	Great	2 000
1964	Alaska ve Havai	ABD	131
1976	Moro	Filipinler	5 000
1979	Nice	Fransa	23
1998	Yeni Gine	Yeni Gine	3 000
2004	Hint Okyanusu	Indian	230 000
2006	Java Depremi	Endonezya	540
2007	Solomon Adaları	Solomon Adaları	52

Tsunamilerin kıyı alanlarında neden oldukları hasarların tespitinde arazi çalışmaları ve uydu görüntülerinden yararlanılmaktadır. Yapılan arazi çalışmalarında ölüm ve yaralanmaların yanı sıra hasar görmüş binalar ve yapılar tespit edilmekte, çevresel

olarak insan sağlığını tehlikeye sokan kaynaklar raporlanmaktadır. Tsunamilerin özellikle kıyı alanlarındaki kıyı çizgisinin ve kıyı yapılarının değişimi, güçlü akıntılar etkisiyle meydana gelen su basmalarından etkilenen alanların dağılımı gibi hasarlar tsunami öncesi ve sonrasındaki uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları yardımıyla tespit edilmektedir (Şekil 2.6) (International Charter Space and Major Disasters).



Şekil 2.6 : Tsunami öncesi ve sonrasını gösteren Banda Aceh, (Endonezya) bölgesinden bir hava fotoğrafı (International Charter Space and Major Disasters).

Tsunamiler kıyı yaşam alanlarında yol açtıkları can kayıpları ve yaşama birimlerindeki zararların yanısıra ekolojik olarak da etkileri yıllarca sürebilen zararlara neden olabilmektedirler. Tsunamilerin etkisiyle kıyılarda ve okyanus yaşam alanlarında genel olarak gözlenen zararları, direkt etkiler ve sonuçlarının daha sonra gözleendiği dolaylı etkiler olarak ayırmak mümkündür.

Direkt etkiler:

Tsunamiler kıyı ekosistemlerinin(mercan adaları, mangrovlar, deniz çayırları, haliç ve lagünler) yapısında ve işlevlerinde çeşitli nedenlerle zararlara neden olmaktadır. Örneğin; güçlü dalga etkisiyle kıyı ekosistemlerinin fiziksel yapıları zarar gördüğünden flora ve fauna rezervlerinin fiziksel olarak ortamdaki taşınmakta, mercan ve deniz çayırları yapı olarak sedimente duyarlı olduklarından taşınan aşırı

sediment yüküyle boğularak ölmekte, haliç, mangrov ve deniz çayırı habitatlarında ise ağaçlar köklerinden kopmaktadır (Şekil 2.7) (Foster ve diğ., 2006). Bu etkilerin tamir edilmesi aylar, hatta yıllar sürebilmektedir. Tsunami etkisiyle tabandan taşınarak yayılan sediment yükü aynı zamanda yaşama alanı olarak sığ su tabanında yaşayan bentik canlıların korundukları ve yuva olarak kullandıkları okyanus tabanına da zarar vermektedir. Bu etkiler besin zincirine yıllar boyunca zarar verse de etkiler kalıcı değildir. Kıyı ekosistemlerinde tsunami etkisiyle meydana gelen zararın büyüklüğü su kütle olarak taşınan dalganın toplam enerjisinin, tsunaminin etkilediği kıyı bölgesinin topoğrafyası ve hidrolojisinin de bir fonksiyonudur.



Şekil 2.7 : Sumatra’da tsunamiden zarar gören 7 km’lik Heliopora mercan bloğu(Foster ve diğ., 2006).

Sumatra’da 2004’ de meydana gelen tsunami etkisiyle kıyı ekosistemlerindeki zarar Nicobar Adaları, viz. Camorta, Katchal, Nancowry ve Trinkat olmak üzere 4 adada incelenmiştir. Buna göre mangrov ekosistemlerinde % 51’den % 100’e, mercan ekosistemlerinde % 41’den % 100’e, orman ekosistemlerinde % 6,5’den % 27’e varan zarar tespit edilmiştir (Ramachandran ve diğ., 2005).

Tsunaminin meydana geldiği gün ve sonrasında yoğun silt içeren türbülanslı sular mercan alanlarını kapladığı gözlenmiş, uydu görüntüleri yardımıyla bu alanın Nancowry’de 400,71 ha, Trinkat’ta 552,44 ha’a kadar yayıldığı kaydedilmiştir. Silt ve türbülanstan etkilenen alanda 10 gün sonra tabanda çamur olarak birikmiştir. Ramachandran ve diğ. (2005), mercanların üzerinde biriken aşırı miktarda silt ve

sedimentin uzun vadede mercan ve deniz çayırlarında ölümlere neden olacağını kaydetmiştir. Ayrıca kıyı ekosistemlerinden tsunami etkisiyle askıya taşınarak açık denize taşınan tonlarca miktarda kum sahilde yaşamını sürdüren deniz kaplumbağalarının da yaşam alanlarının yok olmasına neden olmuştur (Ramachandran ve diğ., 2005) (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 : Tsunami sonrası sedimentle kaplanmış mercanlar (Url-6).

Foster ve diğ. (2006), Sumatra Aceh'te uydu görüntüleri yardımıyla kıyı çizgisi ve kıyı duvarlarındaki değişimi incelemiştir. Sadece Aceh'te taşkın kontrolü ve kıyı duvarı sistemlerinde meydana gelen zararın 72.1 milyon dolar olduğu kaydedilmiş, ayrıca batı kıyısı boyunca plajdaki kum malzemenin azalması nedeniyle deniz kaplumbağalarının yuvalama yerleri kaybolmuştur. 2005 ortasında yapılan çalışmada sadece Banda Aceh'te yaklaşık 5-7 milyon m³ çöp ve 500 000 m³ çamurun tsunami etkisiyle ada çevresindeki tabanda biriktiği kaydedilmiştir (Foster ve diğ., 2006).

Dolaylı etkiler:

UNEP (2005); Krishnankutty (2006); Nordeco (2005); IUCN Global Marine Programme (2005); Chatenoux ve Peduzzi (2007); Harmann ve diğ. (2006); Campbell (2007) ve Wilkinson ve diğ. (2005) tarafından tsunamiden etkilenen bölgelerde yapılan arazi çalışmaları sonucunda, tsunamilerin kıyı ekosistemlerinde yol açtıkları akut zararların bir çoğunun kıyı malzemesinin (silt, kum ve organik malzemeler) güçlü akıntılar ve türbülans etkisiyle yıkanmasından kaynaklandığına işaret edilmiştir. Raporlarda tsunami etkisi ile tabanda meydana gelen sediment birikimi sorunu genellikle güçlü dalga etkisi ve yüksek akıma sahip kıyı alanlarında birkaç hafta veya ay içerisinde temizlenmekte iken, topoğrafik açıdan daha

korunaklı, dalga ve akıntı etkisine sahip olmayan alanlarda bu temizlenme işleminin onlarca yılı bulacağı belirtilmiştir.

Tsunami kaynaklı diğer dolaylı etkiler ise binalar, arabalar, tekneler ve insanların kullandığı diğer ev gereçlerinin akıntı etkisiyle sığ deniz ortamına sürüklenmesinden kaynaklanmaktadır. Bu tip atıklar, güçlü dalga etkisiyle sürüklenerek mercanlar gibi kırılgan kıyı ekosistemlerini ve okyanus tabanında bulunan diğer bentik yapılara zarar vermektedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 : Tsunami sonrası kıydan okyanusa sürüklenen atıklar (Url-7).

Kıyı ekosistemlerinde normal şartlarda bulunmayan bu atıklar ayrıca içerdikleri tehlikeli kimyasallar(ağır metaller, uçucu organik maddeler), petrol ve türevlerinin kıyı ekosistemlerinde birikmesi, yayılması şeklinde de zarar vermektedirler (Url-4).

2.2 Katı Madde – Sediment Taşınımı

Akışkan içerisinde sedimentin taşınmasında ve/veya yayılmasında etkin birkaç temel mekanizma bulunmaktadır. Bu temel mekanizmanın anlaşılması daha sonra yapılacak hidrodinamik modellerin oluşturulmasına dayanak sağlaması açısından önemlidir.

Dalga etkisiyle meydana gelen sediment taşınımı ile ilgili olarak literatürde birçok çalışma bulunmasına karşılık tsunami gibi uzun dalga koşullarında gerçekleşen sediment taşınımı hakkında gerek deneysel gerekse sayısal modelleme yoluyla hidrodinamik etkilerin belirlenmesine dair çalışma bulunmamaktadır. Tsunami türü dalgalara ait karakteristik hidrodinamik yapının laboratuvar koşullarında tam olarak oluşturulamamış olması, yapılan hesaplarda meydana gelen gerçek dalgayı karakterize etmek için çeşitli benzeşim ve kabullerin yapılması (Knoidal dalga teorisi, Soliter dalga teorisi gibi) bu dalga türü etkisinde gerçekleşen sediment taşınımının belirlenmesinde karşılaşılan temel zorluklardan biridir. Hangi dalga türü

olursa olsun kıyı malzemesinin taşınmasında veya yayılmasında temel oluşturan taşınım ve yayılım mekanizmalarından hangi koşullarda, hangi derinlik ve kıyıda uzaklaşması açısından hangi temel mekanizmanın etkin olduğunun belirlenebilmesi için bu temel mekanizmalara ait koşulların belirlenmesi gerekmektedir.

Temel olarak dalga etkisiyle (uzun dalga veya açık deniz koşullarında meydana gelen dalga) kıyıda bulunan kıyı malzemesi dane çapına ve meydana geldiği temel maddeye dayanarak askıda veya yatak malzemesinin sürüntü yoluyla taşınması şeklinde erozyon veya birikime neden olabilir.

Çalışmanın konusu olan tsunami etkisiyle oluşan sediment bulutunun hidrodinamik yapısında söz konusu olan kıyı malzemesinin askıda taşınması veya yayılmasıdır. Bu nedenle katı maddenin yayılmasında/dağılmasında etkin faktörler incelenirken katı madde olarak askıda katı madde özellikleri dikkate alınmıştır. Sediment, dalga, akım veya tsunami etkisiyle askıda taşınmaya başladıktan sonra(sediment trapping) dane çapı ve dane çökme hızına da bağlı olarak dispersiyon, türbülanslı difüzyon veya moleküler difüzyon yolu ile yayılmaya veya adveksiyon taşınmaya başlayabilir. Etkin mekanizmanın hangi koşullarda yayılma hangi koşullarda taşınma olduğunu belirleyebilmek için bu kavramların doğru ve eksiksiz olarak anlaşılması gerekmektedir.

2.2.1 Katı maddenin yayılması/dağılmasına etki eden faktörler

Dalga etkisi altında askıda katı madde taşınımı ile ilgili birçok çalışma yürütülmektedir. Oldukça geniş alanda yürütülen bu çalışmalar aynı konunun farklı bakış açıları ile incelenmesini sağlamıştır. Gerek dalga gerekse akım etkisi altında hareket eden sediment genel olarak 3 şekilde davranmaktadır:

- taban malzemesi yükü
- askıda katı madde yükü
- yıkanarak taşınan katı madde yükü

Taban malzemesi yükü danelerin kayarak veya sıçrayarak tabana yakın hareket etmesiyle oluşur. Bu sedimentin taşınımı doğrudan artan kayma gerilmesiyle bağlantılıdır. Taban hareketi ile askı hareketi arasındaki ayrımı yapabilmek için belirlenmiş bir tanım olmamakla birlikte, askı hareketinde taban hareketinden farklı olarak daneler tabanla temasta olmadan hareket etmektedirler. Toplam askıda katı

madde yükü sadece tabandaki artan kayma gerilmesine değil, aynı zamanda akışkanın türbülans karakterine de bağlıdır. Böylelikle taban yükü askıda katı madde yükü olarak taşınır.

2.2.1.1 Katı madde fiziksel özellikleri

Her bir danenin akışkan içerisinde gösterdiği davranışı etkilemesi bakımından katı maddenin dane çapı, geometrik şekli, mineral yapısı, yoğunluğu gibi özelliklerinin bilinmesi önemlidir. Örneğin, danenin büyüklüğü parçacığın akışkan içindeki hızı ile ilişkilidir. Akışkan içerisinde bulunan katı maddenin mineral yapısı ise bu katı madde yükünün kaynağına işaret etmektedir.

Spesifik Gravite:

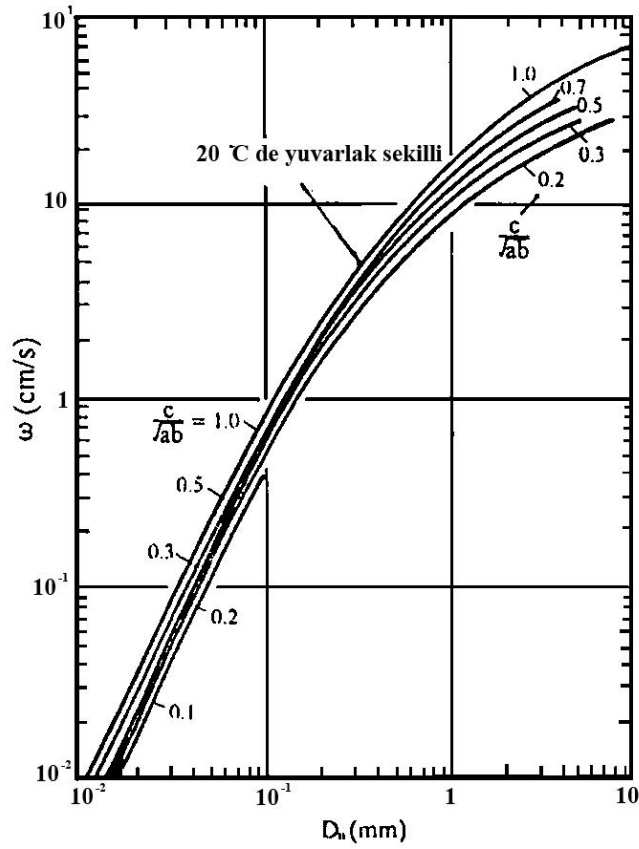
Danelerin spesifik gravitesi, γ_s ile 4° C’de suyun spesifik gravitesi, γ arasında bir oran vardır. Bu doğal malzemeler için 2,65 değerine oldukça yakın bir değerdir.

$$s = \frac{\gamma_s}{\gamma} \quad (2.8)$$

Dane çapı ve katı madde çökelme hızı:

Danelerin çapının belirlenmesinde katı maddelerin geometrik özellikleri de dikkate alınarak birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı elek analizi uygulamasıdır. Genellikle katı madde taşınımı ile ilgili yapılan çalışmalarda hesaplara esas olarak askıda katı madde dane çapı olarak D_{50} kullanılmaktadır. Fakat D_{35} ‘in kullanıldığı (Ackers ve White, 1973) çalışmalar da mevcuttur.

Dane çapı ile katı maddenin çökelme hızı arasında bir ilişki vardır. Buna göre herhangi bir yöntem ile belirlenen katı maddenin dane çapı kullanılarak Şekil 2.10’ da gösterildiği gibi bir abak kullanılarak çökelme hızına ulaşılabilir (Chien ve Wan, 1999).



Şekil 2.10 : Doğal partiküller için temiz suda dane çökme hızları (Chien ve Wan, 1999).

Katı madde çökme hızı (w_s), dane çapı, spesifik gravite, şekil faktörü ve ayrıca suyun dinamik viskozitesine de bağlıdır. Bu nedenle suyun dinamik viskozitesini etkilemesi bakımından suyun sıcaklığıyla çökme hızının değiştiği de dikkate alınmalıdır (Çizelge 2.2) (Engelund ve Hansen, 1972).

Çizelge 2.2 : Standart özellikte kumun çeşitli dane çapları için çökme hızları.

D (mm)	$w_s(10^\circ \text{C})(\text{m/s})$	$w_s(20^\circ \text{C}) (\text{m/s})$
0.089	0.005	0.008
0.126	0.010	0.013
0.147	0.013	0.016
0.208	0.023	0.028
0.25	0.028	0.033
0.29	0.033	0.039
0.42	0.050	0.058
0.59	0.077	0.084
0.76	0.10	0.11
1.25	0.15	0.16
1.8	0.17	0.17

w_s katı madde çökelme hızı olmak üzere, Reynolds sayısı ve dane çapının(D_{50}) bir fonksiyonu olarak elde edilir.

$D_{50}=0,65\text{mm}$ 'lik dane çapı için Reynolds sayısının($Re=w_s d/\nu$) bir fonksiyonu olarak C_D direnç katsayısı hesaplanır. C_D aynı zamanda dane şeklinin bir fonksiyonudur.

$Re < 0,5$ için

$$C_D = \frac{24}{Re} \quad (2.9)$$

olarak hesaplanmıştır. Stokes hali olarak bilinen bu durumda

$$w_s = \sqrt{\frac{4(s-1)d}{3C_D}} \quad (2.10)$$

ifadesinde yerine konularak;

$$w_s = \frac{(s-1)gd^2}{18\nu} \quad (2.11)$$

bulunur.

$0,5 < Re < 10^4$ için C_D :

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34 \quad (2.12)$$

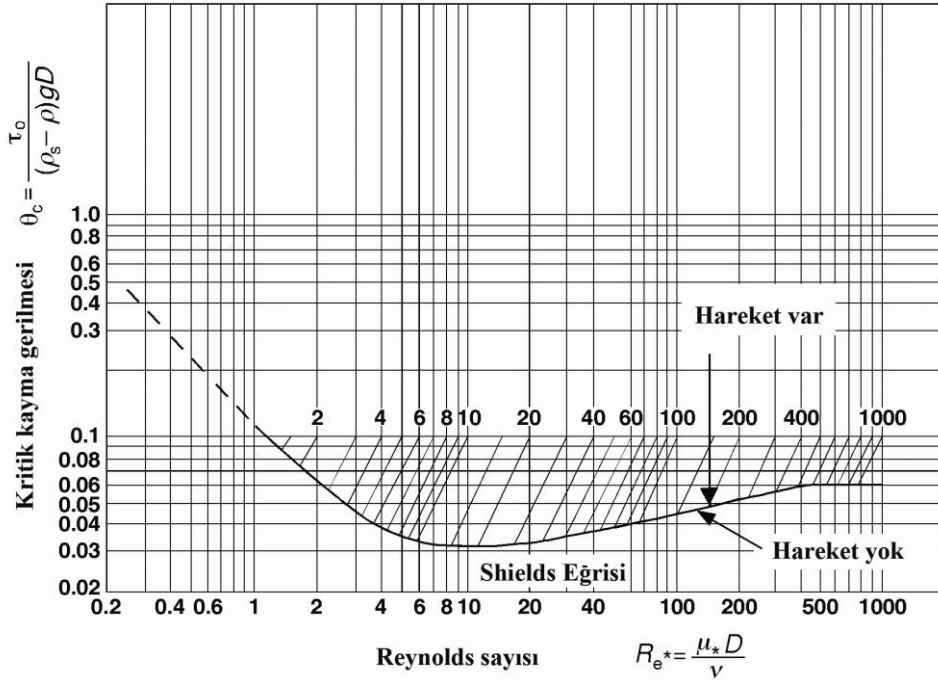
ile (2.11) kullanılarak w_s çökelme hızları tespit edilir (Sümer, 1983).

2.2.1.2 Kayma gerilmeleri – hareketin başlaması(sediment trapping)

Katı maddenin herhangi bir dalga veya akıntı etkisiyle hareketi, mevcut taban kayma gerilmesinin tabandaki malzemeyi sürüklüyecek büyüklükte olup olmasına bağlıdır. Herhangi bir deniz tabanı, D çapında malzemelerden oluştuğu düşünüldüğünde, bu çaptan malzemenin statik durumdan hareketli duruma geçtiği koşullara kritik koşullar ve bu koşullardaki taban kayma gerilmesine ise kritik taban kayma gerilmesi adı verilir (Kabdaşlı, 1992). Her bir D dane çapının harekete geçtiği bir taban gerilmesi vardır. Reynolds dane sayısı ve $\emptyset$ boyutsuz kayma gerilmesi ile oluşturulmuş Shields eğrisi ile katı maddenin harekete başlayıp başlamayacağı değerlendirilebilmektedir (Şekil 2.11).

$$\phi = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma)D} \quad (2.13)$$

$$Re_* = \frac{u_* D}{\nu} \quad (2.14)$$



Şekil 2.11 : Shields eğrisi.

Katı madde daneleri Shields parametresi arttığında taban üzerinde yuvarlanmaya, sıçramaya ve kaymaya başlar. Danelerin üzerine etkiyen normal gerilmeler kayma gerilmelerinden büyük olduğunda ise sediment hareketi sona erer ve taban malzemesi bozulmadan kalır. Katı maddenin yeniden dağılmasıyla birlikte, sediment yatağının yapısı değişir ve küçük kum dalgacıkları (ripple) gelişmeye başlar. Kum tepeciklerinin oluşması ve büyümesiyle gözlenen türbülans vorteksleri kum tepeciklerinin etkisini artırır.

2.2.2 Katı madde taşınım mekanizmaları

2.2.2.1 Moleküler difüzyon:

Herhangi bir hız bileşenine sahip olmayan durgun bir akışkan içerisinde bir maddenin çok yoğun ortamdaki az yoğun ortama doğru moleküler hareketler etkisiyle yayılmasına moleküler difüzyon adı verilir. Genel olarak moleküler difüzyonda maddenin ilerleme hızı ve şekli, içerisinde bulunduğu akışkanın sıcaklığına,

dolayısıyla viskozitesine ve moleküler etkilerle yayılan maddenin bu akışkan içerisindeki çözünme özelliklerine bağlıdır. Bu çalışmada bahsi geçen sediment bulutunun moleküler difüzyon etkisiyle yayılımında ise askıda taşınan katı maddenin dane çapı ve akışkanın viskozitesi dikkate alınmalıdır. Fick kanunuyla tanımlandığı gibi kütle akısı birim alandan birim zamanda geçen kütle miktarı olarak tanımlanır (Fischer ve diğ., 1979). Fick Kanunu olarak bilinen moleküler difüzyon aşağıdaki şekilde formülize edilir.

$$q = -D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2.15)$$

q = Katı madde akısı, kg/m.sn

C =Konsantrasyon, kg/m³

D =Difüzyon katsayısı, m²/sn

$$q = -D \nabla C \text{ (Vektörel formda: } q_x, q_y, q_z) \quad (2.16)$$

Bu ifadenin elde edilişi Bölüm 3.4.'te verilmiştir.

2.2.2.2 Dispersiyon:

Bir akışkan kesiti içerisinde derinlik boyunca hız bileşenlerindeki farklılıktan oluşan, maddenin boyuna dağılımına dispersiyon adı verilir. Dispersiyonun ifade edildiği denklem ile moleküler difüzyon denklemi arasında bir benzerlik bulunmaktadır. Genel olarak doğada akışkan içerisinde meydana gelen katı maddenin yayılmasında makro ölçekli olarak bilinen dispersiyon etkisi baskın olarak görülmektedir (Fischer ve diğ., 1979).

2.2.2.3 Türbülanslı difüzyon:

Hareketsiz bir akışkan içerisinde, yatay ve düşey hız bileşenlerinin zamansal ortalamasının sıfır olduğu, buna karşılık zamansal ortalama sapmalar gösteren, yani çalkantı bileşenlerine sahip bir akışkan içerisinde türbülanslı etki ile madde iletimine türbülanslı difüzyon adı verilir (Fischer ve diğ., 1979).

2.2.2.4 Adveksiyon:

Hareket halindeki bir akışkan içerisinde maddenin bir noktadan başka bir noktaya taşınmasına adveksiyon adı verilir.

Adveksiyon etkisiyle taşınım

$$q = u.C \quad (2.17)$$

Bu ifadenin iki boyutlu hali Bölüm 3.5.'te verilmiştir.

2.2.3 Tsunami kaynaklı sediment analizi

Tsunamilerin oluşmalarını takiben, hangi kıyı alanlarını etkileyeceğini öngörebilmek amacıyla kullanılan tsunami uyarı sistemleri dışında, uzun vadeli olarak, geçmişte meydana gelen tsunami kayıtları ile tsunamilerin meydana gelme periyotları ve oluşturdukları zararların tespitinde her ne kadar sayısal yaklaşımlar yardımıyla benzeştirme çalışmaları yapılsa da, en tutarlı kayıtlar, geçmişte meydana gelen tsunamilerin kıyılarda ve deniz tabanında bıraktıkları “iz”lerde saklanmıştır. Alandaki sediment kayıtlarına bakıldığında, bir jeolojist bu tip birikimleri ve geçmişteki tsunamilerin tekrarlanma periyodunu tanımlama şansına sahiptir. Böylelikle jeolojistler bir alandaki geçmişte meydana gelen tsunamilerin tarihsel kayıtları hakkında bilgi sahibi olabilirler (Dahanayake ve Kulasena, (2008); Shi ve Smith, (2003).

Tsunami etkisiyle biriken ve saklanan sediment oluşan tsunaminin jeolojik bir kaydını da oluşturmaktadır. Paleotsunami birikintileri son yirmi yılda Atwater (1987) ve Dawson ve diğ. (1988)'nin çalışmalarıyla aydınlatılmıştır.

Geçmiş dönemlere ait izlerin tsunami veya fırtına kaynaklı olup olmadığının anlaşılması ayrı bir tartışma konusu iken, bu kalıntılar yardımıyla tsunamilerin tırmanma yüksekliği ve akım hızları gibi hidrodinamik yapısına ait benzeştirmelerin doğru şekilde oluşturulması daha detaylı bir sorundur. Bu konudaki zorluklar Dawson ve Shi (2000)'nin çalışmasında da belirtilmiş, bununla birlikte birçok bilim insanı tarafından tsunami vakalarından sonra arazi çalışmalarının sonuçlarına dayanarak bu hidrodinamik karakteristikler yeniden oluşturulmaya çalışılmıştır (Jaffe ve Gelfenbaum, 2007; Soulsby ve diğ., 2007; Smith ve diğ., 2007; Moore ve diğ., 2007).

Tsunami etkisiyle meydana gelen sediment birikintilerinden tsunamilerin tırmanma yüksekliğinin belirlenmesi tsunamilerin akım etkisiyle taşıdıkları sedimentin kıyı alanlarındaki yapılar üzerinde bıraktıkları izlerin ölçümü ile yapılmaktadır. Örneğin Portekiz, Algarve’da 1 Kasım 1755 de meydana gelen tsunami ile kıyından 600 m içeride tsunami sediment birikintileri kaydedilmiştir (Andrade, 1992; Dawson ve diğ., 1995; Hindson ve diğ., 1996).

Tsunami sedimentinin birikimi ve korunması yakın kıyı ve açık deniz tabanı bölgelerindeki sediment koşullarından etkilenmektedir. Tsunami kaynaklı sediment birikintilerinin analizinde, birbirini takip eden uzun periyotlu dalgaların kıyıya yakın bölgelerde deniz tabanında biriken sedimentin kaynağı sayılırken, aynı zamanda sediment erozyonuna da sebep olabileceği dikkate alınmalıdır.

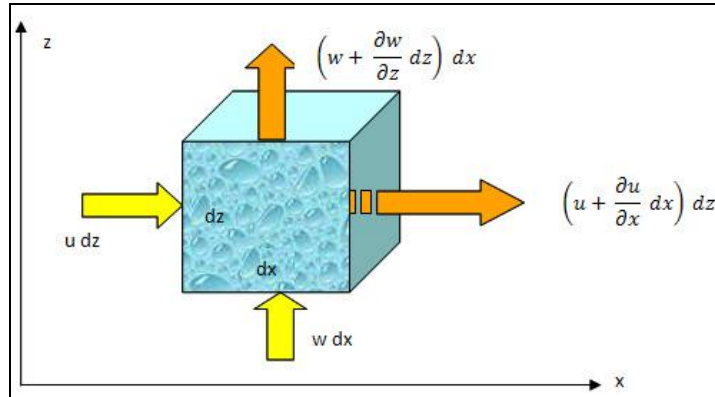
Tsunami sedimentinin hidrodinamik etkilerle oluşması, tsunami tipi dalgaların kıyıda maksimum tırmanmasını takiben meydana gelen geri dönüşün karmaşık bir fonksiyonudur. Bu koşullar altında güçlü akıntılar karaya ve denize doğru hareket ile erozyon veya birikintilere neden olurlar. Tsunami geri dönüş akıntılarının hızları temel olarak yerel topoğrafya karakterinden etkilenmektedir. Bu aynı zamanda geri dönüş etkisiyle meydana gelen sediment taşınımında da etkili bir faktördür (Dawson ve Shi, 2000).

3. TEMEL DENKLEMLER

Tsunami sonrası sedimentin askıda taşınmasını ifade etmek için hareketin matematiksel olarak ifadesinde kullanılan temel denklemler başta Navier – Stokes(hareket denklemi) olmak üzere süreklilik denklemi, konsantrasyon denge denklemi, sedimentin moleküler difüzyon taşınması denklemi (Fick Kanunu), sedimentin düşeydeki dağılım denklemi (Eddy viskozitesi) ve advectif difüzyon denklemleridir. Denklemlerin elde edilmesinde Boussinesq yaklaşımı kullanılmaktadır. Buna göre bir su kütesinde özgül kütle değişimi ihmal edilecek mertebededir. Bu nedenle hareket denklemlerinde özgül kütle pratik olarak sabit kabul edilmektedir. Bununla beraber, katı madde taşınımında kaldırma kuvvetleri hesabında özgül kütle değişimi ayrıca hesaba katılmalıdır.

3.1 Süreklilik denklemi

İki boyutlu zamanla değişmeyen bir akım için, akışkanın sıkıştırılamaz olduğu kabulüyle, x-z düzlemi için süreklilik denklemi yazılmak istendiğinde, şekil düzlemine dik uzunluğu 1 birim olan kontrol hacminde akımın herhangi bir noktasındaki hızın x eksenine paralel bileşeni, u ; z eksenine paralel bileşeni w olarak yazılabilir. Buna göre birim zamanda kontrol hacmine giren ve çıkan akışkan miktarları akışkanın sıkıştırılamaz olduğu kabulü ve kütle korunumuna göre birbirlerine eşit olmalıdır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Birim zamanda kontrol hacmine giren ve çıkan akışkan miktarları.

Buna göre

$$u \, dz + w \, dx = \left(u + \frac{\partial u}{\partial x} dx \right) dz + \left(w + \frac{\partial w}{\partial z} dz \right) dx \quad (3.1)$$

Bu denklem basitleştirilirse (3.2) elde edilir (Sümer ve diğ., 1983).

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.2)$$

$\bar{u}$, ortalama yatay hız; $\bar{w}$, ortalama düşey hız ve u' , yatay doğrultuda çalkantı bileşeni; w' , p , basınç ve $\bar{p}$, ortalama basınç olmak üzere,

$$u = \bar{u} + u' \quad w = \bar{w} + w' \quad p = \bar{p} + p' \quad (3.3)$$

olarak ifade edilir. Bu ifadeler Navier-Stokes denklemlerinde yerleştirilirse Reynolds denklemleri

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{u} \bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial (\bar{u} \bar{w})}{\partial z} - f \bar{w} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \nu \nabla^2 \bar{u} - \frac{\partial (\overline{u' u'})}{\partial x} - \frac{\partial (\overline{u' w'})}{\partial z} \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{w} \bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial (\bar{w} \bar{w})}{\partial z} + f \bar{u} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \nu \nabla^2 \bar{w} - \frac{\partial (\overline{u' w'})}{\partial x} - \frac{\partial (\overline{w' w'})}{\partial z} \quad (3.5)$$

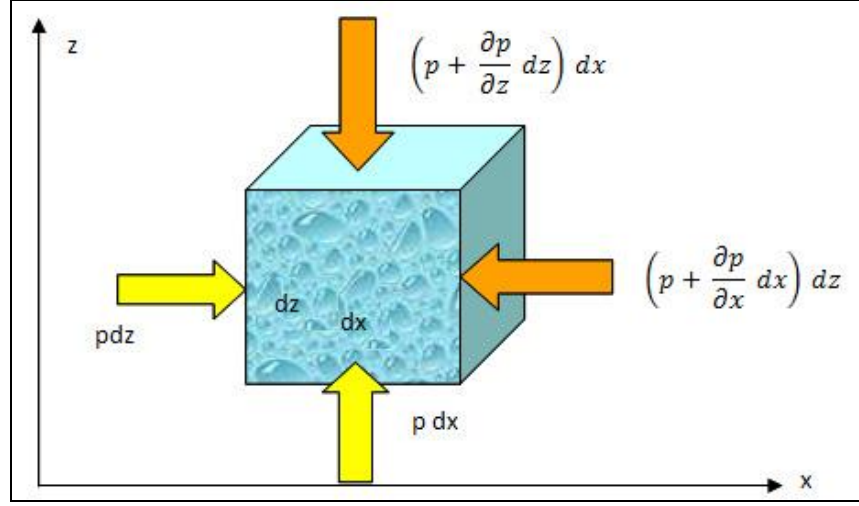
$$0 = -\frac{g(\rho - \rho_0)}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} \quad (3.6)$$

ve (3.7)'deki gibi süreklilik denklemi elde edilir (İrtem, 1991).

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (3.7)$$

3.2 Navier –Stokes denklemi ve Reynolds denklemleri

Akışkanın temel hareket denklemi Newton'un ikinci hareket denklemi temel alınarak elde edilen Navier–Stokes denklemi ile ifade edilmektedir. Navier-Stokes denklemlerinde akışkanın sürekli olduğu ve sıkıştırılmaz olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 3.2 : Kontrol hacmine etkiyen basınç kuvvetleri.

x-z eksenlerinde $dx.dz.1$ kontrol hacmine etkiyen dış kuvvetler F_x ve F_z olarak yazılırsa, $dm (\rho \cdot dx \cdot dz)$ kütesine etkiyen ivme a_x ve a_z olarak yazılabilir (Şekil 3.2).

$$F_x = a_x \cdot dm \quad F_z = a_z \cdot dm \quad (3.8)$$

- dm akışkan kütesine etkiyen kuvvetler;
- basınç kuvvetleri
- kütleesel kuvvetlerin (yerçekimi kuvveti) x ve z eksenlerine paralel bileşenleri

x ve z akışkanın viskozitesine bağlı sürtünme kuvvetleri olarak 3'e ayrılır.

Öncelikle $F_x = a_x \cdot dm$ (ve $F_z = a_z \cdot dm$) eşitliğinin sağ tarafı çözülecektir. Buna göre bir akışkanın ivmesi hızın zaman bağlı türevi ise;

$$a_x = \frac{\partial u}{\partial t} \quad a_z = \frac{\partial w}{\partial t} \quad (3.9)$$

Akışkan parçacığı Euler bakış açısına göre izlendiğinde hız bileşenleri t zamanına ve x ve z koordinatlarına bağlı olmaktadır. a_x ve a_z yi türev almadaki zincir kuralı uygulayarak açarsak;

$$\frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{dx}{dt} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{dz}{dt} \frac{\partial u}{\partial z} \quad \text{ve} \quad \frac{dw}{dt} = \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{dx}{dt} \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{dz}{dt} \frac{\partial w}{\partial z} \quad (3.10)$$

Denklem (3.10)'da $u = \frac{dx}{dt}$, $w = \frac{dz}{dt}$ ise

$$\mathbf{a}_x = \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} \quad \text{ve} \quad \mathbf{a}_z = \frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} \quad (3.11)$$

Şekil 3.2’de gösterilen dx-dz kontrol hacmine etkiyen basınç kuvvetleri ise :

$$p \, dz - \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dz = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (3.12)$$

$$p \, dx - \left(p + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) dx = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3.13)$$

olarak gösterilebilir. Akışkanın viskozitesine bağlı sürtünme kuvvetleri ise:

$$\mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = \gamma \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3.14)$$

$$\mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) = \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) = \gamma \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (3.15)$$

dm ($\rho \cdot dx \cdot dz$) kütlesine etkiyen kuvvetler x ve z eksenine paralel olmak üzere (3.12) ve (3.13) ile (3.14) ve (3.15) toplanarak;

$$F_x = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + X + \gamma \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3.16)$$

$$F_y = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + Z + \gamma \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (3.17)$$

Denklem (3.11), dm kütlesi ile çarpılarak (3.16) ve (3.17) ile birbirine eşitlenirse; (3.18) ve (3.19) elde edilir.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + X + \gamma \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + Z + \gamma \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (3.19)$$

Türbülanslı akım için Reynolds gerilmelerinden kaynaklanan bileşenler de denklem takımına ilave edilmelidir (Cebeci & Cousteix, 2005).

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + X + \gamma \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial}{\partial x} (\overline{u'^2}) - \frac{\partial}{\partial z} (\overline{u'w'}) \quad (3.20)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + Z + \gamma \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial}{\partial x} (\overline{w'^2}) - \frac{\partial}{\partial z} (\overline{u'w'}) \quad (3.21)$$

(3.19) ve (3.20) de görülen denklem takımı Reynolds denklemleri olarak bilinmektedir.

3.3 Konsantrasyon denge denklemi

u, hız vektörünü, C katı madde konsantrasyonu olmak üzere bir akım alanı içerisinde A kapalı yüzeyinin çevrelediği bir V hacmine, moleküler difüzyon ve konveksiyon etkisiyle giren, çıkan ve hacim içerisinde zamanla değişen madde miktarları üzerine maddenin korunumu ilkesi uygulanarak konsantrasyon denge denklemi elde edilecektir.

Konveksiyon etkisiyle V hacminden birim zamanda çıkan madde miktarı ile bu hacme giren madde miktarı arasındaki fark (Sümer, 1970);

$$\int_S C \cdot u \cdot n \cdot dS \quad (3.22)$$

Moleküler difüzyon etkisiyle birim zamanda, V hacminden çıkan madde miktarı ile V hacmine giren madde miktarı arasındaki fark, q, akı vektörü olmak üzere (Sümer, 1970);

$$\int_S q \cdot n \cdot dS \quad (3.23)$$

$$q = -D_x \cdot \text{grad} C \quad (3.24)$$

D_x , moleküler difüzyon katsayısı olmak üzere, denklem (3.23)'te (3.24) yerine konulursa;

$$- \int_S (D_x \cdot \text{grad} C) \cdot n \cdot dS \quad (3.25)$$

elde edilir.

V hacmi içinde birim zamanda maddenin zamanla değişim miktarı (Sümer, 1970);

$$\int_V \frac{\partial C}{\partial t} dV \quad (3.26)$$

Denklem (3.22), (3.25) ve (3.26) ile gerekli düzenlemelerle;

$$\int_V \text{div}(cu) dV - \int_V \text{div}(D_x \text{grad} C) dV + \int_V \frac{\partial C}{\partial t} dV = 0 ,$$

buradan da;

$$\int_V \left[\text{div}(cu) + \frac{\partial C}{\partial t} - \text{div}(D_x \text{grad} C) \right] dV = 0 \quad \text{elde edilir. Bu ifade seçilen her}$$

hacim, V için geçerli olduğundan, integralin içi sıfıra eşitlenir.

$$\text{div}(cu) + \frac{\partial C}{\partial t} - \text{div}(D_x \text{grad} C) = 0,$$

Genellikle D_x moleküler difüzyon katsayısı sabit alınır. Diğer taraftan akışkan sıkıştırılmaz olduğunda;

$$\text{div}(Cu) = C \text{ div } u + u \text{ grad } C$$

de, $\text{div } u = 0$ olacağından, yukarıdaki ifade;

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \text{ grad } C = D_x \text{ div } (\text{grad } C) \quad (3.27)$$

şeklinde yazılır. Vektörel olarak ifade edilen bu denklem karteziyen koordinat sisteminde,

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3.28)$$

$C = \bar{C} + C'$ ve $u = \bar{u} + u'$ olmak üzere;

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \frac{\partial C'}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} + \bar{u} \frac{\partial C'}{\partial x} + u' \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} + u' \frac{\partial C'}{\partial x} = D_x \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} + D_x \frac{\partial^2 C'}{\partial x^2} \quad \text{elde edilir. Bu ifadede}$$

her iki tarafın zamansal ortalaması alınır ise;

$$\overline{\frac{C}{t}} = \frac{\partial \overline{C}}{\partial t} = 0 \quad \text{ve} \quad \overline{\frac{C}{x}} = \frac{\partial \overline{C}}{\partial x} = 0, \text{ olduğu göz önünde}$$

bulundurularak;

$$\frac{\partial \overline{C}}{\partial t} + u \frac{\partial \overline{C}}{\partial x} + \overline{u' \frac{\partial C}{\partial x}} = D_x \frac{\partial^2 \overline{C}}{\partial x^2} \quad (3.29)$$

elde edilir. Kütlenin korunumundan $\overline{\frac{\partial u}{\partial x}} = 0$ olduğundan (Hinze, 1959);

$$\overline{u' \frac{\partial C}{\partial x}} = \frac{\partial (\overline{u' C})}{\partial x} \text{ olarak yazılır ve denklem (3.29) da yerine konulursa;}$$

$$\frac{\partial \overline{C}}{\partial t} + u \frac{\partial \overline{C}}{\partial x} = - \frac{\partial (\overline{u' C})}{\partial x} + D_x \frac{\partial^2 \overline{C}}{\partial x^2} \quad (3.30)$$

elde edilir.

Burada $(\overline{u' C})$, x doğrultusunda bu doğrultuya dik birim alandan, birim zamanda, türbülansın u' , çalkantı bileşeni vasıtasıyla iletilen madde miktarını göstermektedir (Sümer, 1970). Fick kanununa benzetim yapılarak bu miktar, konsantrasyonun zamansal ortalama değerinin x doğrultusundaki gradyanı ile orantılı kabul edilir (Harleman, 1965). Yani;

$$(\overline{u' C}) = -\varepsilon_x \frac{\partial \overline{C}}{\partial x}, \text{dir.} \quad (3.31)$$

ε_x , türbülanslı difüzyon katsayısıdır. Bu katsayı denklem (3.31) ve (3.30) da yerine konulursa;

$$\frac{\partial \overline{C}}{\partial t} + \frac{\partial (\overline{C} \overline{u})}{\partial x} + \frac{\partial (\overline{C} \overline{w})}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_{xx} \frac{\partial \overline{C}}{\partial x} \right) + D_x \frac{\partial^2 \overline{C}}{\partial x^2} \quad (3.32)$$

denklemini elde edilir.

3.4 Moleküler difüzyon denklemi (Fick kanunu)

Adolph Fick tarafından 1855'te yayınlanan Fick kanunu'yla sıvı kütle akısı birim zamanda birim alanda belirli bir yönde geçen sıvı kütlesi akısının bu yöndeki sıvı konsantrasyonunun gradyanıyla orantılı olduğu açıklanmıştır. Bir boyutlu difüzyon prosesi matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Fischer ve diğ., 1979).

$$q = -D \frac{\partial c}{\partial x} \quad (3.33)$$

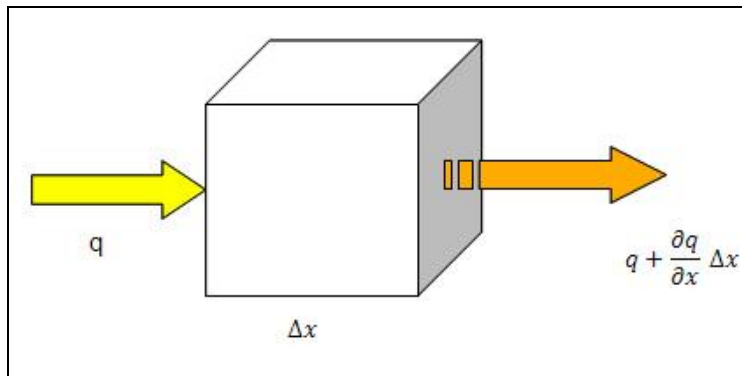
q = Katı madde akısı, kgm/sn

C =Konsantrasyon, kg/m³

D =Difüzyon katsayısı, m²/sn

Kartezyen koordinat sisteminde ise bu ifade aşağıdaki gibi gösterilir (Şekil 3.3).

$$q = -D \nabla C \quad (\text{Vektörel formda: } q_x, q_y, q_z) \quad (3.34)$$



Şekil 3.3 : Kontrol hacmine giren ve çıkan sıvı kütle akısı.

Fick kanunu kütle transferinin konsantrasyon gradyanına bağlı olarak ifade eder. Difüzyon prosesi kısmi diferansiyel denklemler ile aşağıdaki gibi tanımlanır.

Δx mesafesinden geçen konsantrasyonun zamanla değişimi : $\left(\frac{\partial c}{\partial t}\right) \Delta x$

olarak ifade edilir.

X noktasındaki birim yüzeyden geçen katı madde akısı $q(x,t)$ ise; $x+\Delta x$ birim yüzeyinden geçen katı madde akısı:

$$q(x, t) + \frac{\partial q(x, t)}{\partial x} \Delta x \quad \text{olur.}$$

Net akı ise, $\frac{\partial q(x, t)}{\partial x} \Delta x$ olur.

Bu fark konsantrasyonun zamanla değişimi toplam katı madde akısındaki değişime eşit olmalıdır. Böylelikle kütlenin korunumuna göre: $-\frac{\partial q}{\partial x} \Delta x = \frac{\partial C}{\partial t} \Delta x$ 'den

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial C}{\partial t} = 0 \quad (3.35)$$

Böylelikle katı madde akısı ile konsantrasyon arasındaki ilişki kurulmuş olur. Denklem (3.33), denklem (3.35)'te yerine konulursa;

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) \quad (3.36)$$

elde edilir.

Benzer şekilde; (3.35)'in x 'e göre türevi alınıp $\frac{\partial C}{\partial x}$ için (3.35)'te $-q/D$ yazılırsa;

$$\frac{\partial q}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) \quad (3.37)$$

elde edilir.

Buraya kadar elde edilen denklemler bir boyutlu denklemlerdir. Vektörel notasyon için denklemler aşağıda verilmiştir.

“A” alanına sahip “V” hacimli bir alan için; X noktasındaki ve t zamanının bir fonksiyonu olan konsantrasyon, C için toplam kütle:

$$\int_V C(x, t) dV$$

Katı madde akısı $q(x, t)$ ise kütlenin korunumuna göre;

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V C(x, t) dV + \int_A (q(x, t) \cdot n) dA = 0$$

$n = dA$ yüzeyine normal birim vektördür.

Green teoremi kullanılarak;

$$\int_V \left(\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot q \right) dV = 0 \quad (3.38)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \nabla \cdot q \quad (3.39)$$

Moleküler difüzyon proseslerinde Fick kanunu ile tanımlanan akı, (3.33), ile denklem (3.39);

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C \quad (3.40)$$

Olur. Bu ifade kartezyen koordinat sisteminde;

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (3.41)$$

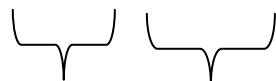
olarak ifade edilir.

3.5 Advektif difüzyon

Kütle transferinin sadece moleküler difüzyon etkisi altında gerçekleşmediği ve akışkanın u akım hızıyla hareket ettiği durumlarda gerçekleşen kütle transferi adveksiyon olarak adlandırılmaktadır. Bu durumda kütle transferinde adveksiyon ve difüzyon ayrı ayrı prosesler, fakat birbirine ilave prosesler olarak yer almaktadır.

Birim alandan yz düzleminde x doğrultusunda bir akım bileşeni ile taşınan kütle miktarı (uC) olmaktadır. Advektif taşınım ile birlikte gerçekleşen difüzyon etkisiyle taşınım bu nedenle advektif difüzyon adını almaktadır.

$$q = u \cdot C + \left(-D \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (3.42)$$



 Advekt. akısı Difüzyon akısı

Bir boyutlu olarak kütle korunumuna göre Denklem (3.34) ile

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(u.C)}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3.43)$$

elde edilir. Bu denklemin iki boyutlu hali Denklem (3.40)'daki adımlar ile

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + w \frac{\partial C}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (3.44)$$

olarak ifade edilir.

3.6 Sedimentin düşeydeki dağılım denklemi (Eddy viskozitesi)

Katı maddenin çökelme hızına bağlı olarak eddy viskozitesi etkisiyle dağılımına ait denge denklemi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$w_s C(z) + \varepsilon_s(z) \frac{dC(z)}{dz} = 0 \quad (3.45)$$

w_s = dane çökelme hızı (m/s)

$C(z)$ = z noktasındaki sediment konsantrasyonu (kg/m^3)

ε_s = katı madde difüzyon sabiti (m^2/s)

Dane çökelme hızı Van Rijn (2001)'de aşağıdaki gibi verilmiştir.

w_s , $50\mu\text{m} < D < 400\mu\text{m}$ için 18°C 'de:

$$\frac{1}{w_{s,i}} = 10^{[0,4758 \log^2(D_i) + 2,1795 \log(D_i) + 3,1915]} \quad (3.46)$$

$w_{s,i}$ = Çökelme hızı, i fraksiyonu için,

D_i = en ince dane çapı

ε_s , eddy viskozitesine ve karışım uzunluğuna bağlıdır ve Nielsen, (1992)'de denklem (3.48) deki gibi verilmiştir.

$$\varepsilon_s = \beta \cdot v_t \quad (3.47)$$

$$\beta = \text{sabit} \quad \beta = 4$$

v_t = Eddy viskozitesi,

4. YÖNTEM

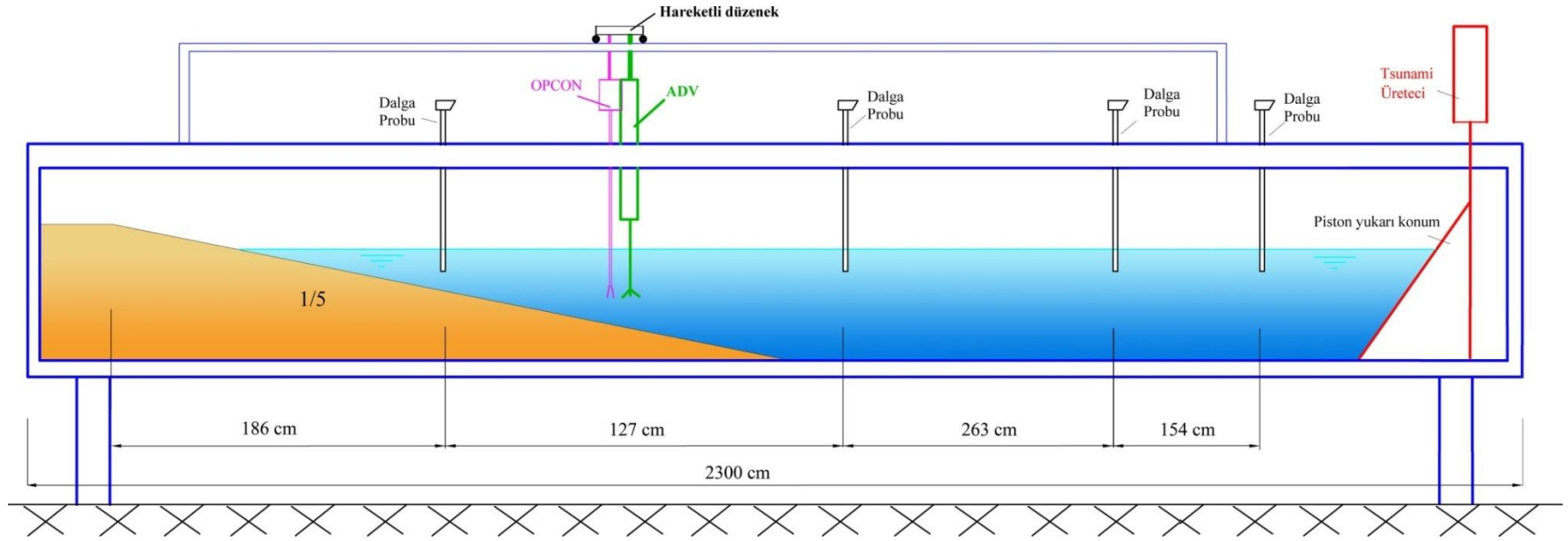
Tsunami gibi uzun periyotlu dalgaların kıyıda tırmanmalarını takiben taban malzemesinin askıda taşınması, oluşan sediment bulutunun dalga kaynağına doğru ilerlemesi ve düşey doğrultuda dağılımının hidrodinamik karakteristiği oluşturulan deneysel düzenek ile araştırılmıştır. Bu kapsamda öncelikle tsunami tipi dalgalar benzeştirilerek üretilmiş, meydana gelen sediment bulutuna ait askıda katı madde konsantrasyonu ve tsunami etkisiyle oluşan yatay ve düşey hızlar zamansal seriler halinde kaydedilmiştir. Daha sonra, elde edilen verilerin Pi teoremi ve doğrusal regresyon analizinde kullanılmasıyla boyutsuz bağıntılar önerilmiştir.

4.1 Deney Düzenegi

Tsunami sonrasında oluşan sediment bulutunun izlenmesi amacıyla öncelikle dalga kanalında tsunami karakterinde dalgalar üretilmiştir. Kanala aralıklı olarak yerleştirilen dört adet sabit su seviyesi ölçer ile tsunami dalgalarının yüksekliklerine bağlı olarak oluşan sediment bulutundaki değişim izlenmiştir. Deney düzeneginde sediment bulutunu karakterize eden katı madde konsantrasyonu değerlerinin ve sediment bulutunun hızının belirlenebilmesi için Akustik Doppler Hız ölçer (ADV) ve buluta ait konsantrasyon değerleri için Optik Konsantrasyon ölçer (OPCON) aynı hareketli düzeneğe yerleştirilmiştir. Dalga kanalı ve deney düzenegi Şekil 4.1 'de şematize edilmiştir.

4.1.1 Dalga kanalı

Deneyler 22.5 m x 1.0 m x 0.50 m ölçülerindeki dalga kanalında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2). Oluşan tekil dalgaların ve beraberinde oluşan sediment dağılımının izlenmesinin kolaylığı açısından dalga kanalının cidarları cam malzemeden inşa edilmiştir. Su kayıplarının olmaması için gerekli izolasyon tedbirleri alınmıştır.



Şekil 4.1 : Dalga kanalı ve kullanılan cihazların yerleşimi.



Şekil 4.2 : Deney düzeneğinden genel bir görüntü.

4.1.2 Dalga üretici sistem

Tsunami dalga üretim sistemi, dalga kanalında pnömatik silindire bağlanan $0.97 \times 2.0 \times 0.002$ m boyutundaki yatay bir levhadan oluşmaktadır (Şekil 4.3).

Pnömatik sistemde kullanılan basınçlı havanın üretimi kompresör (sıkıştırıcı) tarafından gerçekleştirilmektedir. Basınçlı hava üretimi, merkezi bir basınç kaynağından alınarak sisteme hortumla iletilmektedir.



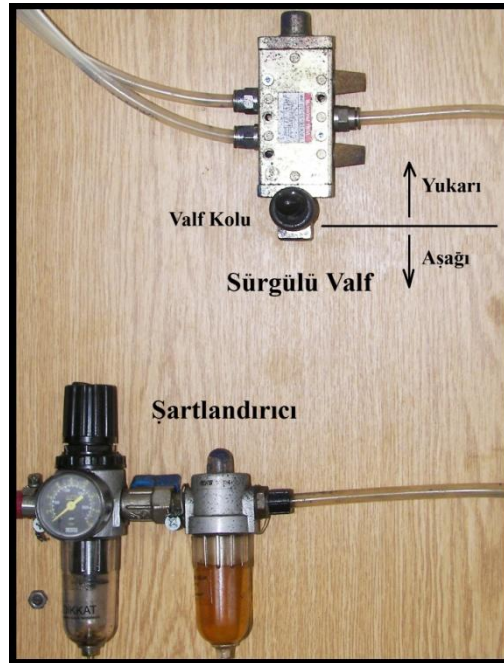
Şekil 4.3 : Dalga paleti (piston yukarı konumunda).

Sıkıştırılmış hava, pnömatik sistemde su damlacıkları, toz, kompresör yağlama yağı atıkları, pas parçacıkları, çapaklar vs. gibi sakıncalar doğurabilecek maddeler içermektedir. Sistemdeki tüm elemanlar sıkıştırılmış hava ile temas halinde

bulunduğundan, bu havanın yabancı maddelerden arınması gerekmektedir. Basınçlı havanın hazırlanması (şartlandırılması) bu elemanların ömrünü uzatırken, arızaların sayılarını azaltmakta, bakım sürelerini kısaltmaktadır. Kullanma yerine gelen hava basınç regülatörü ve yağlayıcıdan oluşan bir hava hazırlayıcı(şartlandırıcı) takımından geçerek nihai özellikleri kazanır.

Her pnömatik devre için belirli bir optimum çalışma basıncı vardır. Gereğinden yüksek bir basınç enerji kaybına ve çabuk aşınmalara, gereğinden düşük bir basınç ise fonksiyonun yerine getirilmemesine veya en azından verimin düşmesine neden olmaktadır. Kompresör sistemi sabit olarak 10 bar basınca ayarlanmış, pnömatik sistemde kullanımdaki değişiklikleri sağlamak için basınç düşürücü (regülatör) kullanılmıştır.

Böylelikle regülatöre giren havanın basıncı değişse bile çıkan havanın basıncı sistem için optimum olan ve regülatör üzerindeki manometreden okunabilen ayarlanan sabit değerde kalacaktır. Pnömatik sistemde kullanıldıkça azalan kompresör deposundaki minimum basıncın, regülatör çıkışında istenen basıncın altına düşmemesine dikkat edilmiştir. Aşınmaların en aza indirilmesi, sürtünme nedeniyle oluşan kayıpların en aza indirilmesi ve korozyona karşı koruma için pnömatik sistemde yağlandırıcı ile kullanılacak havanın bir miktar yağlanması gerekmektedir. Düşey olarak yerleştirilen NS80-500 pnömatik silindirin harekete başlayıp-durması için ise el kumandalı sürgülü tip valf kullanılmaktadır (Şekil 4.4).

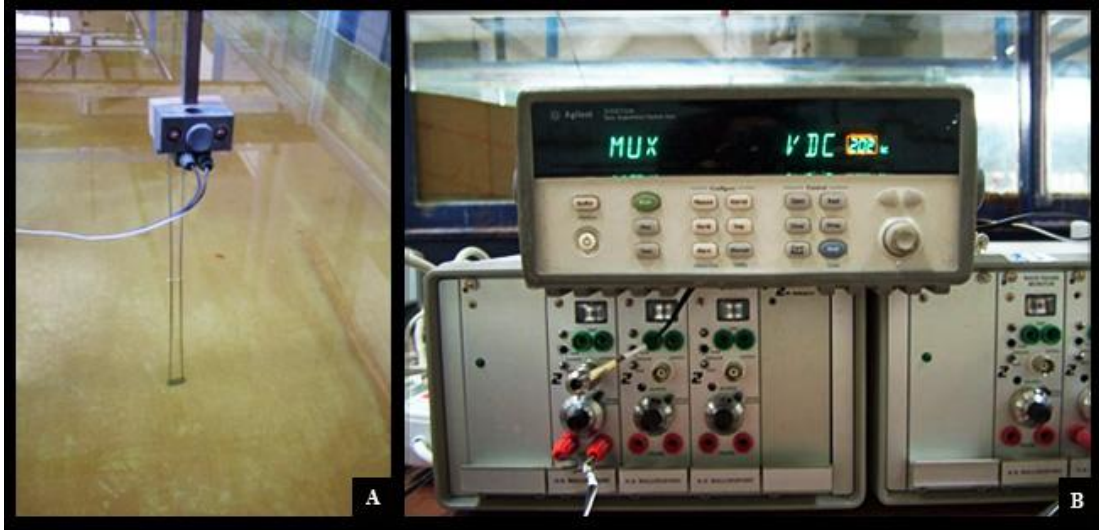


Şekil 4.4 : Şartlandırıcı ve sürgülü valf.

Deneyle sırasında mevcut su kütlesinin ani hareketini sağlamak amacıyla pnömatik sistemin giriş ve çıkışına çabuklaştırıcı egzost (quick egzost valf) yerleştirilmiştir. Daha sonra yine pistonun hareket hızını ayarlamak için bu egzostlara hız ayar valfi yerleştirilmiştir. Böylelikle deniz tabanındaki ani hareketi benzeştirecek şekilde yatay levhaya bağlı pistonun düşey yönde hareket ettirilmekte ve su kütlesi yer değiştirilerek tsunami dalgası oluşturulmaktadır.

4.1.3 Dalga kaydedici sistem

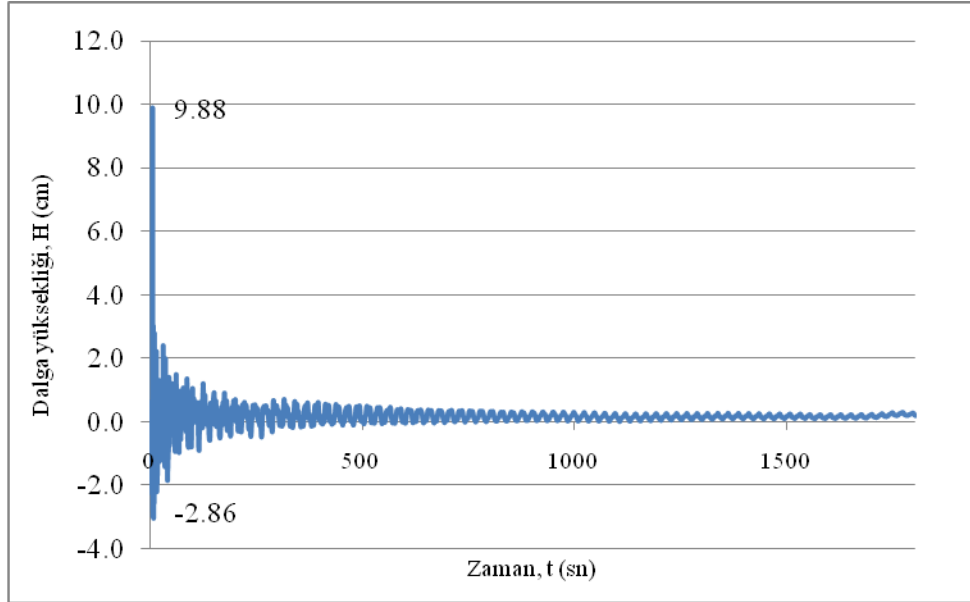
Deneyle sırasında üretilen dalgaların oluşturduğu su yüzeyi deplasmanlarının kayıt aşamasında HRLM Cle3 C30 tipi dalga amplifikatörü ve buna bağlı şev üzerinde, şev topuğunda olmak üzere toplam 4 adet rezistans tip dalga elektrotu kullanılmıştır (Şekil 4.5). Elektrotlar pirinçten imal edilmiştir. Sistem, dalga probunun çubukları arasındaki suyun devreyi tamamlaması ve su yüzeyinin alçalıp yükselmesi sırasında direncin değişmesi prensibine dayanarak çalışmaktadır. Dirençteki bu değişim amplifikatör yardımı ile güçlendirilmektedir.



Şekil 4.5 : A-Dalga Probu, B- AD Çevirici(üstte) ve Dalga Monitörü(altta).

Sistemin en büyük dezavantajı, suyun iletkenliğindeki değişime bağlı olarak her kullanımdan önce kalibrasyon işleminin tekrarlanması gereğidir. H.R. Wallingord dalga probu monitörü analog çıkışı Agilent BenchLink Data Logger'a bağlanarak (AD çevirici) 16 kanallı analog-dijital dönüştürücü kart yardımıyla sürekli analog sinyallerin kesikli dijital volt değerlerine çevrilmesi sağlanmaktadır. Toplanan dijital zaman serileri halindeki veriler Agilent BenchLink Datalogger'a ait yazılım yardımıyla izlenmekte ve kaydedilmektedir. (.csv) uzantılı olarak kaydedilen veriler

volt değerlerine karşılık gelen su seviyesi değişimleri arasında kurulan bağıntı ve bilinen derinliklere bağlı elde edilen kalibrasyon değerleri yardımıyla anlamlı değerlere dönüştürülmektedir. Alınan kayıtlar içerisinde örnek olarak $H= 12,74$ cm dalga yüksekliğine sahip dalgaya ait zaman serisi Şekil 4.6 ‘da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : $H=12,74$ cm dalga yüksekliğine sahip tsunamiye ait zaman serisi.

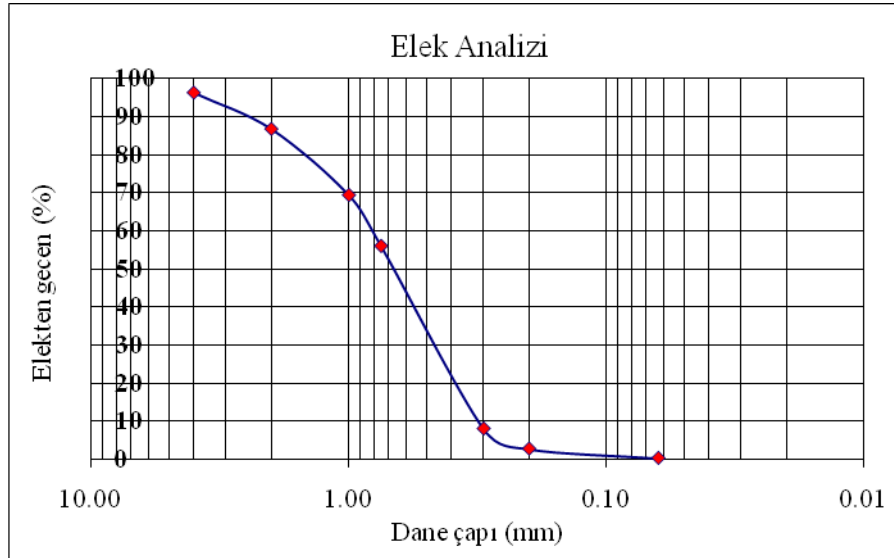
Sakin su seviyesinin kıyı şevini kestiği nokta 0 olmak üzere dalga problemlerinin aralarındaki mesafeler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Kıyı çizgisi ile dalga propları arası mesafeler.

1.Prop	2.Prop	3.Prop	4.Prop
1,865 m	3,13 m	5,77 m	7,31 m

4.1.4 Kıyı eğimi ve kıyı malzemesi

Çalışmalarda 1/5’lik eğime sahip, dane çapı dağılımı üniform olmayan özellikteki malzeme kullanılmıştır. Kıyı malzemesine ait granülmétrik dağılım aşağıda gösterilmiştir. Buna göre elde edilen grafikten D_{50} 0,65 mm, D_{90} 2,5 mm ve D_{10} 0,35 mm olarak okunabilmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : Kullanılan kumun elek analizi.

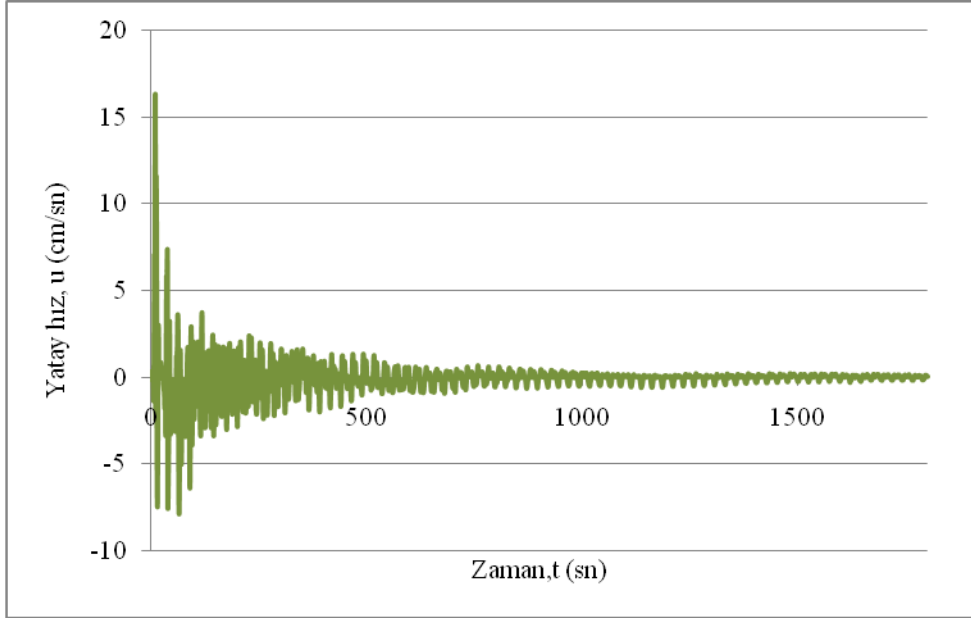
4.1.5 Hız ölçümü (ADV)

Çeşitli derinliklere ait yatay ve düşey hızları ölçmede akustik hız ölçüm cihazı (ADV) kullanılmıştır. ADV (Acoustic Doppler Velocitymeter- Nortek) su hareketlerinin hızını ses dalgaları yardımıyla ve “noktasal hız ölçümlemesi” yöntemi ile x, y ve z doğrultularında ölçen cihazdır. Çalışmada kullanılan kanal için x kanal boyu, y kanal genişliği, z ise su derinliği boyunca hız değerlerini ifade etmektedir.

ADV ile yapılan ölçümler CollectV adlı bilgisayar yazılımı ile anında bilgisayara aktarılarak hız değerleri elde edilecektir. Cihazın kullanımından sonra yeniden kalibrasyon gerektirmemesi kullanım kolaylığı sağlamaktadır. CollectV yazılımı ile elde edilen veriler ExploreV yazılımı ile zaman serileri ve grafikleri olarak görüntülenebilmektedir. Bu çalışmada ADV 25 Hz’lik veri alma sıklığıyla çalıştırılmıştır. Alınan kayıtlar içerisinde örnek olarak H= 12,74 cm dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisinde oluşan yatay hızın zaman serisi Şekil 4.8 ‘de gösterilmiştir.

Çalışmalar sırasında kullanılan ADV, askıda katı madde ölçer OPCON (Optical Concentrationmeter-Deltares) ile aynı doğrultuda ve derinlikte kayıt almak üzere demir bir profil ve limnimetreye bağlanarak tekerlekli düzenek üzerine yerleştirilmiştir.

Hız ölçümleri kanal boyunca belirlenen yatay mesafelerde ve sediment bulutunun oluştuğu, yoğunlaştığı derinliklerde olmak üzere zaman serileri oluşturularak izlenmiştir.



Şekil 4.8 : $H=12,74$ cm dalga yüksekliğine sahip tsunamiya ait yatay hızın zaman serisi.

Böylelikle sediment konsantrasyonu ile birlikte yatay ve düşey hızların ölçüm alındığı tüm zaman dilimi için oluşan katı madde debisi hesaplanabilmektedir (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10).



Şekil 4.9 : OPCON ve ADV problemleri.



Şekil 4.10 : ADV ve OPCON'un bağlı olduğu hareketli düzenek.

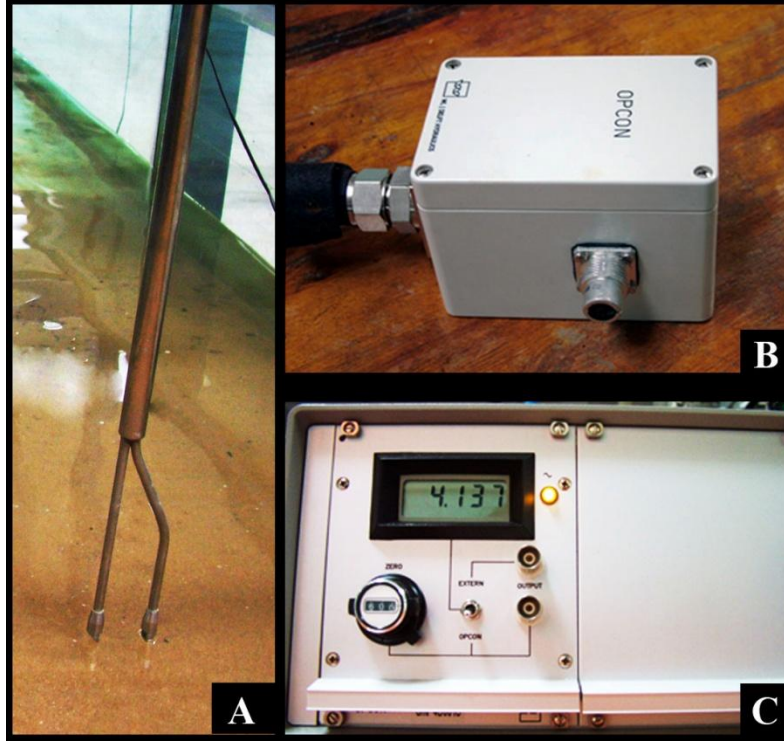
4.1.6 Askıda katı madde ölçümü (OPCON)

Kıyılarda gerek deneysel çalışmalarda gerekse arazi çalışmalarında katı madde ölçümünde temel olarak akustik ve optik olmak üzere iki prensibe dayalı ölçümler yapılmaktadır. Bu cihazlardan optik askıda katı madde ölçerler ölçüm hacminin içindeki askıda katı maddelerin arasından geçen ışığın varlığına dayanarak çalışmaktadır.

Zamana bağlı askıda katı madde konsantrasyonu optik konsantrasyon ölçer (OPCON) ile ölçülmüştür. Bosboom ve diğ. (1999) toplam sediment taşınım oranındaki askıda katı maddenin payını ortamdaki malzemeleri toplayarak, yüksek frekans ve düşük frekanstaki hız sinyallerini OPCON'un benzer zamansal sinyal bileşenleri ile çarparak analiz etmiştir. Bu analize göre, askıda katı madde taşınımı (katı madde yatağının $> 0,5$ cm yukarısında) , toplam katı madde oranının büyük bir kısmını tanımlamaktadır.

Optik sensörün ölçüm hacmi, her biri sensor çubuğun en alt tarafında, dış tüpte yer alan optik aktarıcı pencere ve alıcı pencere arasında yer almaktadır.

Pencereler arasında sabit uzaklık olacak şekilde yerleştirilmiştir. Optik yansıma prensibiyle çalışan OPCON prob, uzun dalgaların kıyıya ulaştığı yerde askıda taşınan katı madde bulutunun ölçümünde kullanılmaktadır (Şekil 4.11 - A).



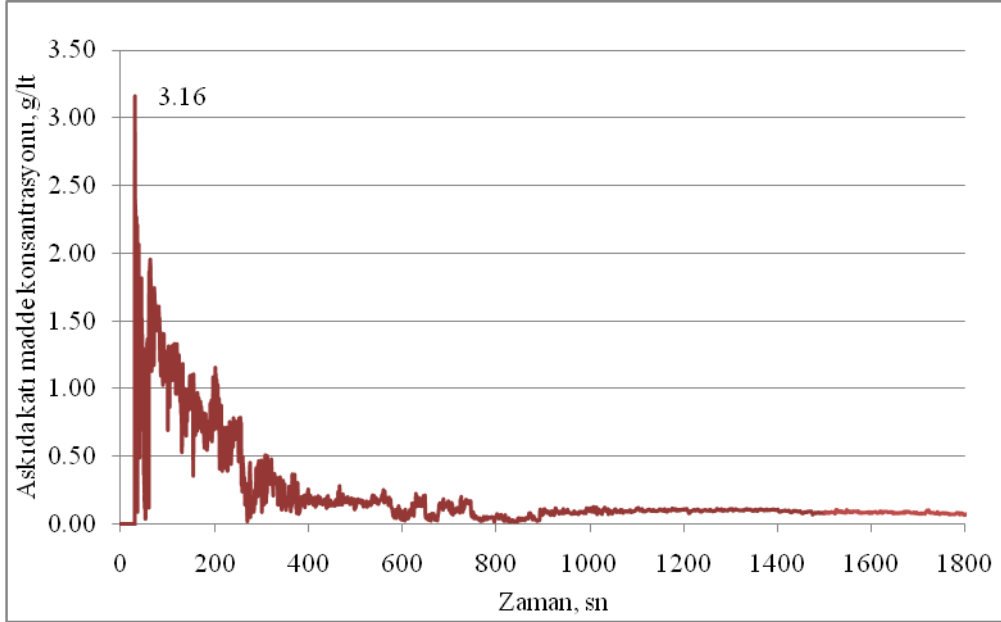
Şekil 4.11 : A- OPCON Prob, B- Işık üretim kaynağı, C- veri kaydedici sistem.

Işık kaynağı ve ışık dedektörü olan sensörün üst kısmı suyun dışında bırakılmaktadır (Şekil 4.11 -B). Optik fiber kısım ölçüm hacmini aydınlatmak için aktarıcı pencereye doğru iletilen ışığa rehberlik eder.

Alıcı penceredeki optik fiberler, askıda ışığı yakalar ve elektriksel işarete çevrilmek üzere aynı yolla optik dedektöre yollanmasını sağlar. Işık kaynağı kızılötesi LED in yanındadır. Temiz suda ışık iletkenliği dedektörün sonunda maksimum iken, artan konsantrasyonla birlikte daha az ışık dedektörün ucuna ulaşabilir. Dedektörden geçen çıkış sinyali konsantrasyon orantılı sinyal sağlamak için logaritmik bir güçlendiriciden geçirilir. Sinyalin doğrusallığı konsantrasyona ve katı madde özelliklerine bağlıdır. Şekil 4.11 -C 'de veri kaydedici sistem görülmektedir.

OPCON mk I ile yapılan deneysel çalışmalarda oluşan sediment bulutu takip edilerek kanal boyunca belirlenen noktalarda ve derinliklerde zamansal seriler halinde kaydedilmektedir. OPCON Probun bağlı olduğu kontrol birimi ile katı madde konsantrasyonu - 10 /+10V değerleri arasında kaydedilebilmektedir. Analog çıkışa sahip 50 Hz'lik veri kaydı yapılabilen OPCON kontrol ünitesi ile elde edilen verilerin dijital verilere dönüştürülmesinde Agilent Bench Link Data Logger kullanılmıştır. Alınan kayıtlar içerisinde örnek olarak H=12,74 cm dalga

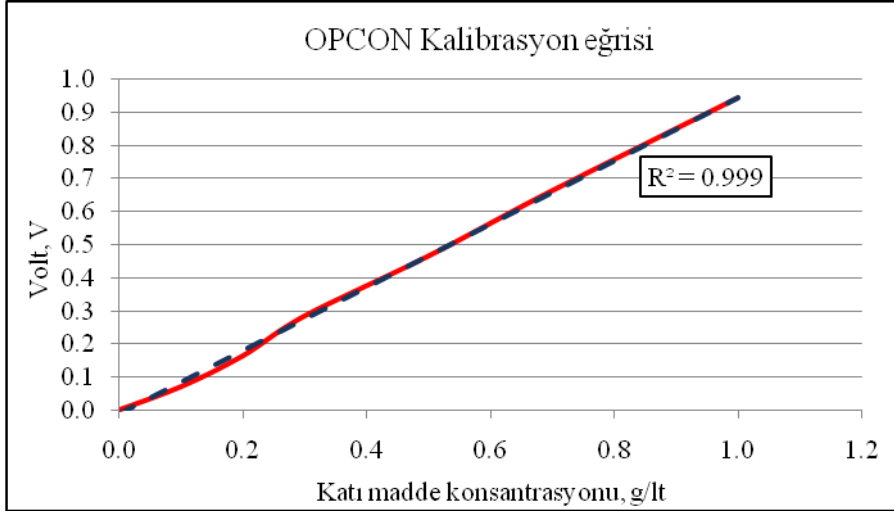
yüksekliğine sahip tsunami etkisinde meydana gelen askıda katı madde konsantrasyonuna ait zaman serisi Şekil 4.12 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 : H=12,74 cm dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisinde meydana gelen askıda katı madde konsantrasyonuna ait zaman serisi.

OPCON askıda katı madde ölçer ile 0-50 g/L konsantrasyon değerlerine kadar ölçüm yapılabilmektedir. OPCON çalışma prensiplerine göre, çalıştırılmadan evvel ışık geçirgenliği değerlerinin sabitlenmesi için veri almadan 2-3 saat evvelinde kayıt alınmaksızın çalıştırılmıştır. Alet kalibrasyonu için bilinen konsantrasyon değerlerine sahip çözeltilere karşılık gelen volt değerleri kaydedilerek kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur.

OPCON her çalışma öncesinde ortamdaki askıda katı madde değeri 0 kabul edilerek kalibre edilmiştir. İlk aşamada oluşturulan kalibrasyon eğrisi 0 g/L -50 g/L arasındaki askıda katı madde konsantrasyon değerlerindeki çözeltilerle hazırlanmış olup, gözlemler sonucunda daha düşük miktarda askıda katı madde içerdiği dikkate alınarak 0 mg/L - 1 g/L lik konsantrasyonlar için kalibrasyon çözeltisi hazırlanmıştır. Bu kalibrasyon çözeltilerinden elde edilen Volt değerleri için kalibrasyon eğrisi Şekil 4.13 'de gösterilmiştir.

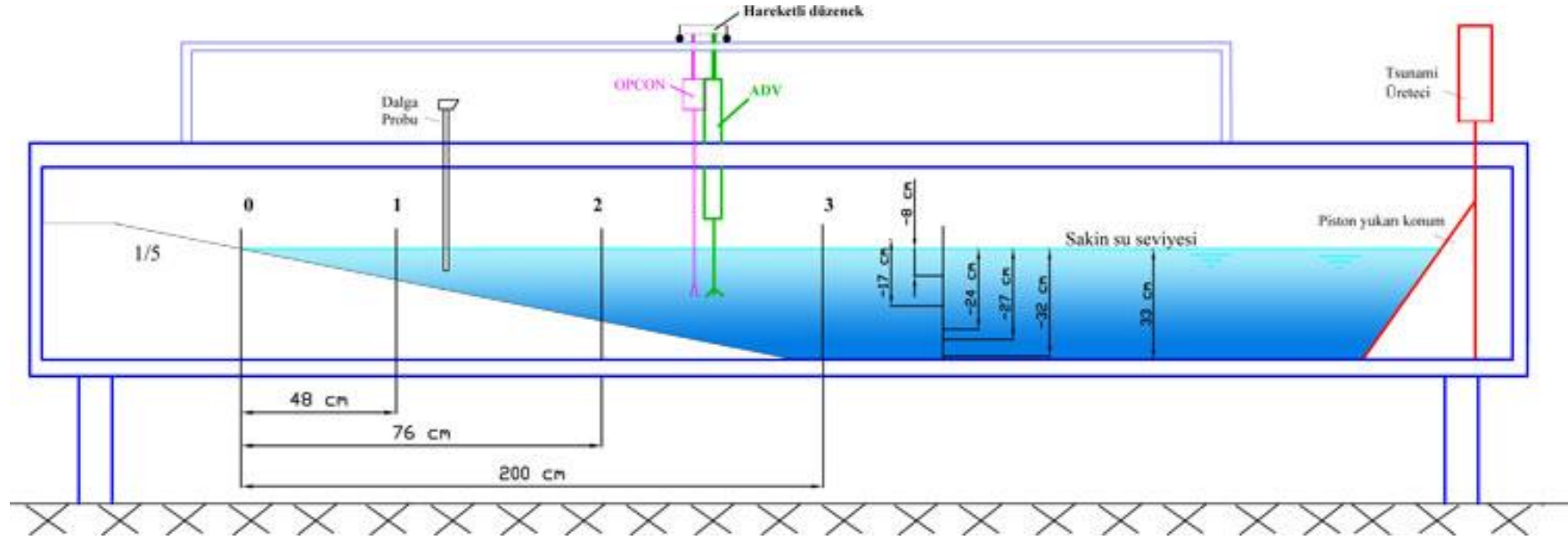


Şekil 4.13 : OPCON kalibrasyon eğrisi (0 - 1 g/Lt).

4.2 Deneyler

Tsunami dalgasını takiben oluşan sediment bulutunun konsantrasyon dağılımı zamansal olarak kaydedilmiştir. Oluşan sediment bulutu kıyıdan tsunami üreticine doğru ilerleme gösterdiğinden ölçüm noktalarının belirlenmesinde birincil kriter sediment bulutunun yoğun olarak olduğu derinlik ve mesafedir. Belirlenen dalga yükseklikleri için, sediment dağılımını karakterize eden konum ve derinliklerde askıda katı madde ile yatay ve düşey hız kayıtları alınmıştır. ADV hız ölçer, hızların üç boyutlu zamansal olarak dağılımının kaydına izin vermesine karşın, deneysel çalışmanın iki boyutlu olması nedeniyle çalışma sonucundaki kayıtlardan, gerekli hesaplamalar için sadece yatay ve düşey hız değerleri dikkate alınmıştır.

Ölçüm noktaları yatay düzlemde kıyı çizgisi "0 cm" olmak üzere, X=200 cm, X= 76 cm ve X= 48 cm olarak belirlenmiştir. X=48 cm olarak belirlenen ilk yatay nokta, dalga üreticiyle elde edilen tsunamiyi takip eden ve kuyruk olarak adlandırılan ikincil ve üçüncül dalgaların kıyıya ulaştığı anda öncü birincil dalganın geri dönüşü ile karşılaştığı ve böylelikle birincil dalganın kırılarak kıyı malzemesini askıya taşıdığı nokta olması nedeniyle seçilmiştir. X=200 cm ise sediment bulutunun, 1/5 eğimle oluşturulan kıyıya ait topuk bölgesini aşarak sediment konsantrasyonunun kanal boyunca ilerlemeye başladığı noktadır. X=76 cm ise bu iki kritik nokta arasında sediment bulutunun şev üzerinde ilerlediği ve 33 cm'lik su derinliği dikkate alınarak ADV'nin ölçüm alınabilecek kritik derinliğe imkan verebildiği mesafedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 : Hız ve askıda katı madde konsantrasyonu ölçüm noktaları.

Su derinliği boyunca belirlenen her bir derinlik(z_1) ve yatay konumda(x), kanal boyunca toplam 8 farklı noktada, belirlenen 13 farklı dalga yüksekliği için toplam 104 deney yapılmıştır. Her deney sonunda, meydana gelen bulutun etkilenmemesi için deney kanalı tamamen boşaltılmış ve bir sonraki deney için yeniden doldurulmuştur. Her deney, 30 dakikalık dalga yüksekliği, yatay ve düşey hız değerleri ile askıda katı madde konsantrasyonu kaydını içermektedir.

Deneylerde askıda katı madde konsantrasyonu ölçümünde kullanılan aletin(OPCON) optik ölçüm esaslarına dayanması ve aletin sedimentin dane çapı ile doğrulama yapması nedeniyle bulanıklığı olmayan bir su kaynağı olarak şebeke suyu kullanılmış, böylelikle bulanıklığa bağlı ölçüm hataları önlenmiştir.

Belirlenen 7 farklı nokta için, aynı konumda ve derinlikte, eş zamanlı olarak alınan katı madde konsantrasyonu ile yatay ve düşey hız verileri yardımıyla ayrıca sediment bulutunun oluşturduğu katı madde debisi de hesaplanmıştır. Çizelge 4.2’de deneysel düzenek ile ilgili bilgiler özetlenmiştir.

Çizelge 4.2 : Ölçüm noktaları ve deney esasları özeti.

Kanal Boyutları (cm)		Kıyı malzemesi	X (cm) *	48	76	200
Uzunluk	2300	D ₅₀ :0,65 mm	z ₁ (cm)**	8	8	8
Genişlik	100	D ₉₀ : 2,5 mm			17	17
Derinlik	60	D ₁₀ :0,35 mm	** Kıyı çizgisi	“0“ olmak üzere		24
Su yüksekliği	33	1/5 eğim	* Sakin su seviyesi	“0” olmak üzere		27
13 farklı dalga yüksekliği			Toplam 104 deney			32

Birçok deneysel çalışmada olduğu gibi, kullanılan ekipmanlardan kaynaklanan teknik aksaklıkların yanı sıra, bu çalışmaya özel olarak yaşanan fiziksel zorluklar; video ve fotoğraf kaydına imkan sağlaması ve sediment bulutu dağılımının kanal boyunca ilerleyişinin gözlemlenmesine kolaylık tanınması amacıyla her çalışmanın öncesinde camlarının silinmesi ve oluşan sediment bulutunun ilerleme karakterini değiştirmesinin önlenmesi için her deney sonrasında kanalın tabanının taşınan sediment tabakasından süpürülerek temizlenmesi olarak sayılabilir.

4.2.1 Ön deney çalışmaları ve gözlemler

Yapılan ön deneylere göre, tsunami sonrası oluşan sediment bulutunun karakteri kıyı eğimine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin 1/3,5 luk kıyı eğiminde gözlenen

sediment bulutu haliç ve lagünlerdekine benzer, kama şeklinde ilerlerken; 1/2,5'luk kıyı eğiminde oluşan sediment bulutunun oldukça yoğun bir tabaka halinde tabana yakın olmak üzere dalga üreticine doğru ilerlediği gözlenmiştir.

1/9'luk kıyı eğiminde ise gözlenen sediment bulutu karakter olarak 1/ 2,5'luk kıyı eğiminde gözlenen dağılıma benzer şekilde olmakla beraber çok daha yoğun bir konsantrasyon tabakası şeklindedir. Oluşan sediment bulutu türbülanslı karışım özelliğinde vorteksler oluşturarak dalga ilerleme yönünün aksinedir.

Farklı kıyı eğimleri için yapılan deneyler neticesinde gözlenen sediment bulutu karakterindeki değişiklikler birden fazla eğim için deneylerin yapılmasını gerektirmektedir. Fakat çalışmanın oldukça uzun zaman diliminde sonuçlanması nedeniyle bu tez kapsamında sadece 1/5'lik eğim için çalışmalar yürütülmüştür. Bu eğim belirtilen deneysel koşullarda, kırılmayan uzun dalgaların üretilebildiği eğimdir.

4.2.2 Dalga seçimi

Tsunami sonrasında meydana gelen sediment bulutunun hidrodinamik yapısının belirlenmesinde en önemli parametre dalga yüksekliğidir. Meydana gelen sediment bulutu dalga yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak ifade edileceğinden farklı dalga yüksekliklerine ait bir ölçüm seti oluşturulmuştur. Buna göre öncelikle dalga üretici sistemde, farklı basınç değerleri (2-10 bar) ve palet konumlarına(yukarı veya aşağı) bağlı olarak dalga yükseklikleri 1,35 – 15,05 cm arasında değişen 40 farklı dalga üretilebilmiştir. Üretilen dalgalar dalga kayıt sisteminde 1/5'lik kıyı şevinin bittiği noktadan dalga üreticine doğru yatayda 577 cm ileride konumlanmış dalga probundan elde edilen dalga yükseklikleri esas alınmıştır.

Çalışmada sediment bulutu dağılımını en iyi karakterize edebilecek dalga yüksekliği 1,99 – 14,07 cm arasında değişen 13 farklı dalga yüksekliği seçilmiştir. Seçilen en düşük dalga yüksekliği olan 1,99 cm'lik tsunami etkisi altında herhangi bir sediment hareketi olmadığı gözlenmiştir.

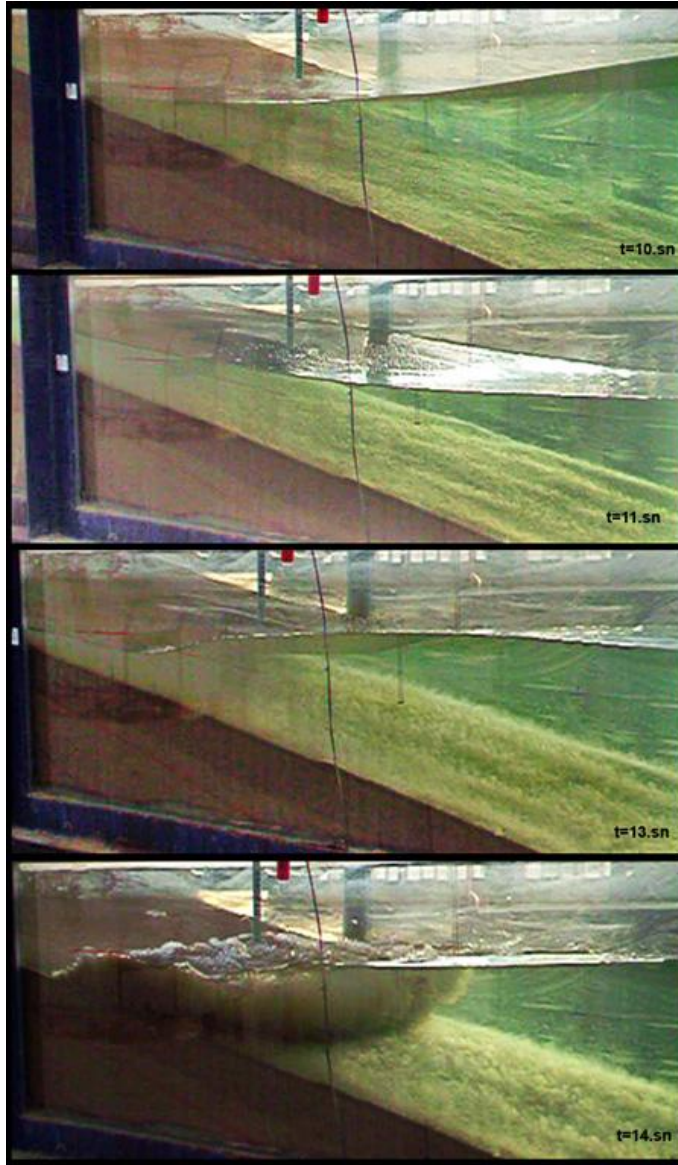
Elde edilen dalgaların tekrarlanabilirliği bu çalışma sırasında dikkate alınmış, derinlik boyunca yatay hız ve katı madde konsantrasyonunun her bir dalga yüksekliğine göre gösterildiği grafiklerde aynı koşullar altında oluşturulan dalga yüksekliklerinin ortalaması alınmıştır.

Tekil dalgalarda eğime göre dalga kırılma şartı, Grilli ve diğ. (1997) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir. S, şev eğimi olmak üzere;

$$S_0 = 1,521 * \frac{S}{\sqrt{\frac{H}{d}}} \quad (4.1)$$

Buna göre $S_0 > 0,37$ olduğu durumlarda dalga kırılmamaktadır.

Bu çalışmada üretilen dalgalar kırılmayan soliter- uzun dalgalardır. Bununla birlikte en büyük iki dalgada ($H=11,87$ cm ve $13,68$ cm) dalganın kıyı üstünde tırmanmasını takiben ardından gelen ikincil dalganın etkisiyle süperpoze olduğu görülmüştür (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 : $H=11,87$ cm’lik dalganın ikincil dalga etkisiyle süperpozisyonu.

H=13,68 cm'lik tsunami tipi dalganın tırmanmayı takiben kırılması ve sonrasında oluşan sediment bulutunun ilerlemesine ait video kayıtlarından alınan ekran görüntüleri EK A'da verilmiştir.

Bazı deney sonuçlarında ADV 'nin bulanık su ortamında çalışabilen bir alet olması ve deneylerin gerçekleştirildiği su ortamının ise bazı dalga yüksekliklerinde hiçbir bulanıklık oluşturmaması nedeniyle hatalar gözlenmiştir. Bu nedenle bazı deneyler tekrarlanmış olmasına rağmen, elde edilen verilerde çeşitli nedenlerle gözlenen hatalar, veri eliminasyonuna tabi tutulmuş, hesaplamalar ve değerlendirmeler veri eliminasyonu sonucunda kalan sağlıklı verilerle yapılmıştır.

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Tsunami etkisiyle gözlenen sediment bulutunun yayılmasında etkin hidrodinamik etkinin anlaşılabilmesi için kanal boyunca birçok derinlik ve noktada yatay hız bileşenleri ve askıda katı madde konsantrasyonuna ait verilerin toplanmasına ihtiyaç vardır. Oldukça karmaşık hidrodinamik etkiler altında gerçekleşen sediment bulutunun yatay ve düşeydeki dağılımının incelenebilmesi için problemin çözümünde basitleştirmeye gidilmesi gerekmektedir. Bu nedenle öncelikle sediment bulutunun yatay doğrultudaki ilerlemesinde etkin olduğu düşünülen yatay hız bileşenleri etkisindeki askıda katı madde yayılımı/taşınımı dalga yüksekliğine bağlı olarak incelenmiştir.

Elde edilen veriler Chauvenet testine tabi tutulduktan sonra Pi teoremi ile boyutsuz büyüklükler elde edilmiş, her bir boyutsuz büyüklüğün birbirleriyle olan ilişkisi dikkate alınarak doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Regresyon analizi neticesinde yüksek korelasyon değerine sahip eğriler yardımıyla tsunami sonrasında meydana gelen sediment taşınımını karakterize eden boyutsuz denklem grupları oluşturulmuştur. Denklem grupları yardımıyla, hesaplanan ve ölçülen C_{maks}/C_{ort} değerleri grafikler yardımıyla ayrıca irdelenmiştir.

5.1 Askıda Katı Madde Konsantrasyonu ve Dalga Yüksekliği İlişkisi

Askıda katı madde konsantrasyonunun, belirlenen her derinlikteki(z_1) ve yatay doğrultudaki (x) dalga yüksekliği değişimi ayrı ayrı grafikler halinde gösterilmiştir. Deneyler sırasında kaydedilen askıda katı madde konsantrasyon değerleri çeşitli dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisi ile kıyı malzemesinin askıda taşınmasıyla zaman serileri oluşturularak gösterilmiştir.

Grafiklerde askıda katı katı madde konsantrasyonu ve dalga yüksekliğine ait yapılan deneylerde anlamlı sonuçlar göstermeyen değerler Chauvenet testine tabi tutulduktan sonra elenmiştir.

Çizelge 5.1’de $x=48$ cm’de $z_1=-8$ cm için maksimum ve ortalama askıda katı madde konsantrasyonunun dalga yüksekliğine göre değişimi listelenmiştir. “–“ olarak gösterilen derinlik sakin su seviyesi “0” olmak üzere taban doğru olan mesafeyi temsil etmektedir.

Bu bölümde incelenen maksimum askıda katı madde konsantrasyonunun dalga yüksekliğiyle değişimi, belirlenen derinlik ve yatay mesafede, oluşan sediment bulutunun, konsantrasyon ölçer OPCON’un ölçüm hacminin içinden geçmesiyle kaydedilen anlık maksimum askıda katı madde konsantrasyonunu ifade etmektedir. Ortalama askıda katı madde konsantrasyonu ise belirli bir dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisi altında taşınan/yayılan sediment bulutunun 1800 saniye boyunca kaydedilen değerlerinin zamansal ortalamasına karşılık gelmektedir. Örneğin $H=1,7$ cm dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisi altında oluşan sediment bulutunun $x= 48$ cm ve $z_1=-8$ cm’de, anlık maksimum askıda katı madde konsantrasyonu 0.05 g/lt iken, 1800 saniyelik ortalaması 0.001 g/lt’dir.

Diğer ölçüm noktalarına ait maksimum ve ortalama konsantrasyon değerlerinin dalga yükseklikleriyle ilişkisini gösteren grafikler ise EK B’ de verilmiştir.

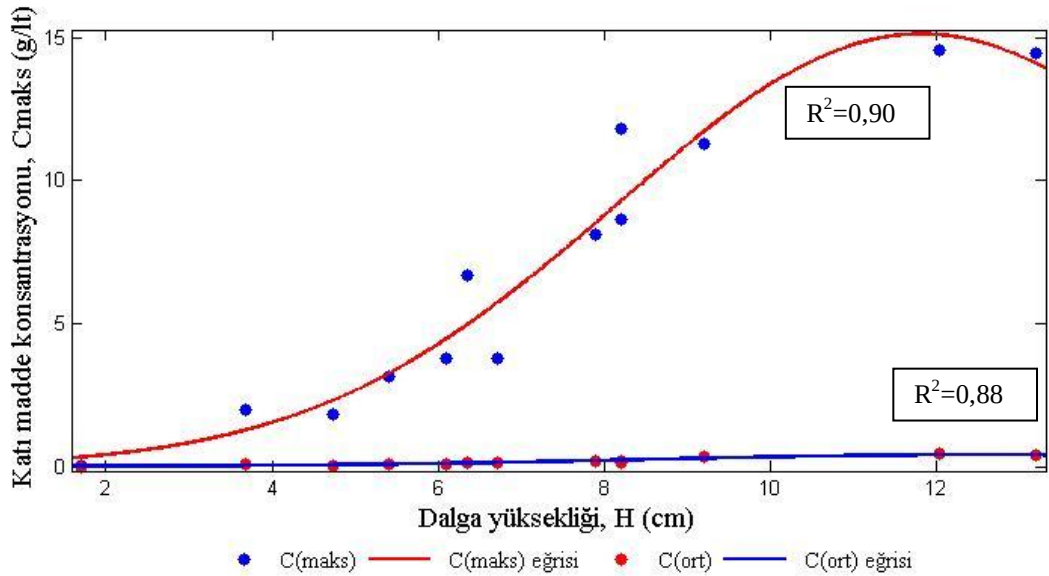
Çizelge 5.1 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri($x=48$ cm $z_1=-8$ cm).

$x= 48$ cm	$z_1 = - 8$ cm	
H	C_{maks}	C_{ort}
cm	g/lt	g/lt
1.70	0.05	0.00
3.69	2.01	0.10
4.74	1.84	0.01
5.41	3.17	0.10
6.10	3.78	0.11
6.35	6.68	0.16
6.71	3.76	0.16
7.90	8.11	0.21
8.21	8.65	0.16
8.21	11.81	0.18
9.21	11.29	0.34
12.04	14.55	0.44
13.20	14.46	0.38

Şekil 5.1’de ise $x=48$ cm ve $z_1=-8$ cm için maksimum ve ortalama askıda katı madde konsantrasyonunun dalga yüksekliği ile değişimi grafik halinde gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, bu noktada $R^2=0,90$ gibi yüksek bir korelasyonla, Gauss dağılımına uygun olarak, dalga yüksekliği arttıkça maksimum ve ortalama katı madde konsantrasyonunun arttığı görülmektedir.

$x=48$ cm, dalga üreticiyle elde edilen tsunaminin kıyıya ulaştıktan sonra yansıyarak arkasından gelen ve kuyruk (tsunami tail) olarak adlandırılan ikincil ve üçüncül dalgalarla karşılaştığı ve süperpoze olarak enerjisini sönümlediği noktadır. Bu süperpozisyon sırasında kıyı malzemesi askıda taşınmaya başlamaktadır. Askıda taşınan katı madde konsantrasyonu tsunami etkisiyle kıyıdan askıda taşınan toplam katı madde konsantrasyonuna eşittir. Örneğin, 13,2 cm’lik en yüksek dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisinde askıda taşınan toplam katı madde konsantrasyonu 15 g/lt gibi yüksek bir değer olarak kaydedilmiştir. Belirtilen konsantrasyondaki katı madde, şevden dalga etkisiyle askıda taşındıktan sonra (sediment trapping) çeşitli katı madde taşınım ve yayılım mekanizmaları ile kanal boyunca yayılma göstermektedir.

$x=48$ cm ‘deki katı madde konsantrasyon değerleri ile birlikte bu derinlikte ADV ile hız kayıtları alınamadığından bu noktada, toplam şev üzerinden su ortamına taşınan katı madde debisi hesaplanamamıştır.



Şekil 5.1 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($x=48$ cm $z_1=-8$ cm).

5.2 Dalga Yüksekliğine Göre Yatay Hız Bileşeninin ve Sediment Konsantrasyonunun Derinlikle Değişiminin Değerlendirilmesi

Kanalda, kıyı çizgisi “0” cm olmak üzere, bu noktadan 76 cm ileride ($x=76$ cm) derinlik boyunca alınan hız ve askıda katı madde konsantrasyonu değerleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu ölçüm noktası, ilk askıda katı madde konsantrasyonu ölçümü alınan nokta ($x=48$ cm) ile şevin bittiği nokta olan $x=200$ cm’nin tam ortasında şevin üstünde kalan bir yerde bulunmaktadır. Böylelikle hız bileşenleri ve askıda katı madde konsantrasyonunun dağılımının şev üstündeki değişimi hakkında da bilgi sahibi olunması hedeflenmiştir (Şekil 4.14).

Sedimentin ilerlemesinde etkili olabilecek yatay hız, u ; u ’ çalkantı bileşeni, $\bar{u}$; yatay hızın zamansal ortalamasının ve maksimum katı madde konsantrasyonunun kaydedildiği andaki yatay hız, u_b ’nin kanal derinliği boyunca belirlenen derinliklerde değişimi grafikler halinde her bir dalga yüksekliği için ayrı ayrı gösterilmiştir. Maksimum askıda katı madde konsantrasyonunun kaydedildiği andaki hız, u_b ise sediment bulutunun o andaki hızını karakterize etmesi açısından önemlidir.

Ayrıca kaydedilen askıda katı madde konsantrasyonu, C değerleri ile, çalkantı etkisi dikkate alınarak hesaplanan askıda katı madde konsantrasyonu, C' de yine kanal derinliği boyunca belirlenen derinliklerdeki değişimi grafikler halinde her bir dalga yüksekliği için ayrı ayrı gösterilmiştir. $\bar{C}$, ise askıda katı madde konsantrasyonunun kanal derinliği boyunca belirlenen derinliklerde ve yatay mesafede her bir dalga yüksekliği için zamansal ortalaması hesaplanarak derinlikle değişimi grafikler halinde incelenmiştir.

Yatay hızların ve askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle değişimine ait grafikler yardımıyla, tsunami etkisiyle sediment taşınımında yatay hızın toplam, ortalama ve çalkantı değerlerinden hangisinin etkin olduğu irdelenmiştir.

$x=76$ cm için hız ve askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle değişimine ait grafiklerde verilerin bu noktada, koşulların imkan verdiği ölçüde sadece 2 derinlik düzeyinde alınabilmiş olması ($z_1=-8$ cm ve $z_1=-17$ cm) grafiklerin yorumlanmasında zorluklara neden olmaktadır. Bu nedenle sediment bulutunun farklı dalga yüksekliklerine bağlı olarak kanal boyunca ilerlemesinde etkin temel hidrodinamik etkinin değerlendirilmesi aşamasında, $x=76$ cm ile birlikte $x=200$ cm’de derinlikle

yatay hızın ve konsantrasyonun değişim grafikleri de dikkate alınmıştır. $x=76$ cm noktasındaki derinlik boyunca gözlenen değişim şev üstündeki sedimentin kanal boyunca taşınım veya yayılımı hakkında bilgi vermesi açısından önemlidir.

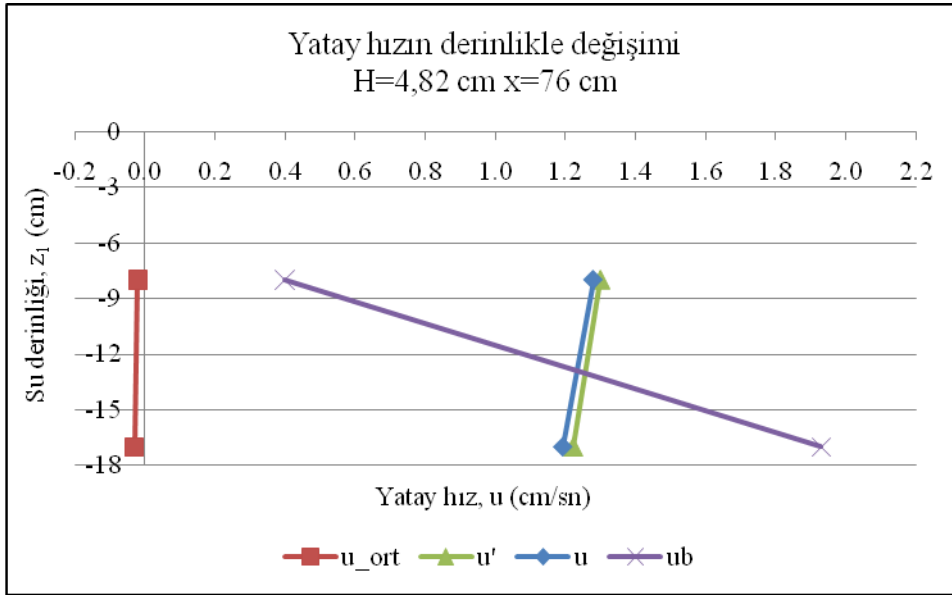
$x=200$ cm’de ise 5 farklı derinlikte ölçüm alınmış ($z_1= -8$ cm, -17 cm, -24 cm, -27 cm, -32 cm), tabandan 1 cm yukarıda alınan ($z_1=-32$ cm) ölçüm ile taban malzemesinin konsantrasyon değerleri de değerlendirilebilmiştir.

Derinlikle yatay hızın ve konsantrasyonun değişimi, tsunami üreticinde, belirlenen koşullar altında (piston durumu, basınç miktarı) ve dalga yüksekliği 4-15 cm arasında değişen, üretilen 40 farklı tsunami tipi dalgadan 13’ü deneysel çalışmada seçilmiştir. Bu koşullar altında gerçekleştirilen deneylerden sonuçları anlamlı yatay hız ve konsantrasyon değerlerine sahip olanları, her bir dalga yüksekliği için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Deneyler sırasında aynı basınç değerine sahip ve aynı piston hareketi için (yukarı veya aşağı) tsunami üretilmeye çalışılmakla birlikte, çeşitli deneysel hatalar nedeniyle tam olarak aynı dalga yüksekliği elde edilememiştir. Bununla birlikte, aynı koşullar sağlanarak üretilen dalga yükseklikleri arasındaki farklar standart sapmaları da dikkate alınarak incelenmiş, kaydedilen bu farkların kabul edilebilir mertede olduğu görülmüştür.

Grafiklerde belirtilen dalga yükseklikleri, belirlenen yatay mesafede, ölçüm alınan her bir derinlik için üretilen tsunamiye ait dalga yüksekliklerinin ortalamalarıdır. Örneğin, $x=76$ cm’de, askıda katı madde konsantrasyonu ve yatay hız ölçümlerini almak üzere kompresörde 7 barlık basınç etkisinde, piston yukarı hareketle $z_1=-8$ cm’de ölçüm almak üzere $H= 4,94$ cm ve $z_1=-17$ cm’de ölçüm almak üzere $H=4,7$ cm dalga yüksekliğine sahip tsunami üretilebilmiştir. $x=76$ cm’de yatay hız ve askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle değişiminin incelendiği grafiklerde, bu iki dalganın ortalaması alınarak dalga yüksekliği $H=4,82$ cm olarak belirtilmiştir.

Piston yukarı hareketle oluşturulan $H=4,82$ cm’lik tsunami etkisinde oluşan yatay hız bileşenlerinin derinlikle değişimi incelendiğinde $\bar{u}$, yatay hızın zamansal ortalamasının, -0.05 cm/sn’ de derinlik boyunca sabit kaldığı görülmektedir (Şekil 5.2).



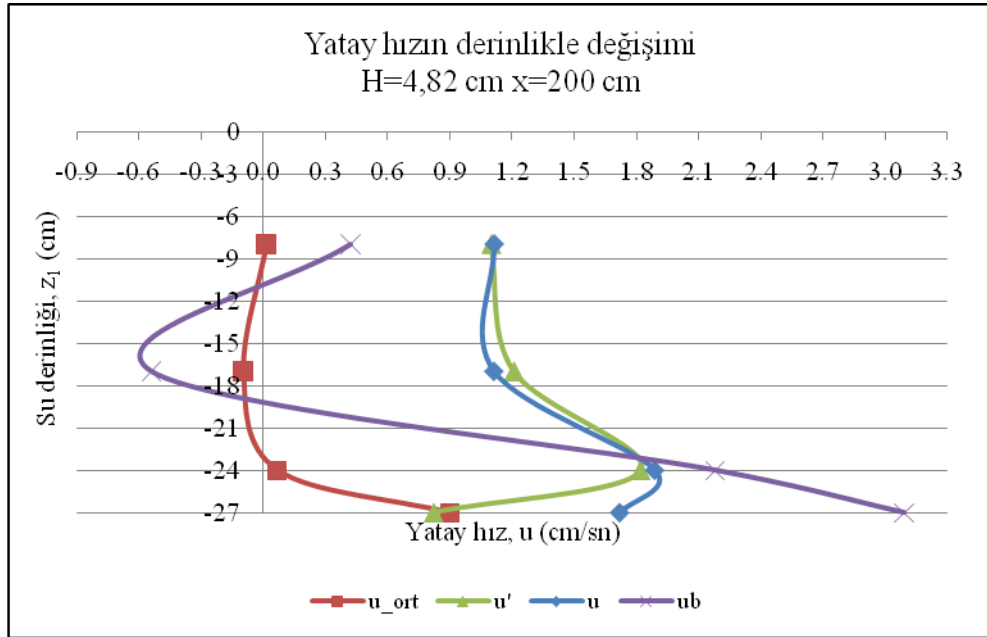
Şekil 5.2 : Yatay hızın derinlikle değişimi ($H=4,82$ cm $x=76$ cm).

Derinlikle toplam hızın değişimi incelendiğinde; $z_1=-8$ cm'de $1,3$ cm/sn'den $z_1=-17$ cm'de $1,2$ cm/sn'ye düştüğü görülmektedir. Maksimum konsantrasyonun görüldüğü andaki yatay hıza bakıldığında (u_b), $z_1=-8$ cm'de $0,35$ cm/sn'den $z_1=-17$ cm'de $1,9$ cm/sn'lik bir hızla dalga üreticine doğru hareket ettiği görülmektedir (Şekil 5.2). Bu dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisi altında meydana gelen hız profilinin derinlik boyunca dağılımının $H=5,24$ cm dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisinde meydana gelen hız profilinin derinlik boyunca dağılımında olduğu gibi (Şekil 5.6), u toplam yatay hız, derinlik boyunca tamamen u' , çalkantı bileşeni etkisinden oluşmaktadır.

Bu dalga ($H=4,82$ cm), deneysel çalışmada belirlenen dalgalar arasında en küçük dalga yüksekliğine sahip iki dalgadan birisidir. Dalga yüksekliğinin küçük olması nedeniyle $x=76$ cm'de meydana gelen kuvvet, oluşan dalganın şev üstünde ilerlemesi sırasında su sütununu bir tabaka olarak ileriye taşıyacak yeterli basınç kuvvetine ulaşamadığından, tabana yakın olan bölgede yatay hız değerleri yüzeye yakın olan bölgeye kıyasla daha düşük yavaş kalmaktadır. Benzer durum $H=5,24$ cm'lik dalganın ilerlemesi sırasında da kaydedilmiştir (Şekil 5.6).

$H= 4,82$ cm dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisinde, $x=200$ cm'de alınan yatay hız kayıtlarına göre (Şekil 5.3); toplam yatay hızın ve çalkantı bileşeninin $x=76$ cm'deki gibi $z_1=-8$ cm'de $1,3$ cm/sn'den $z_1=-17$ cm'de $1,2$ cm/sn'ye düştüğü görülmektedir. $z_1=-24$ cm'de ise toplam yatay hız ve çalkantı bileşeninin $2,0$ cm/sn

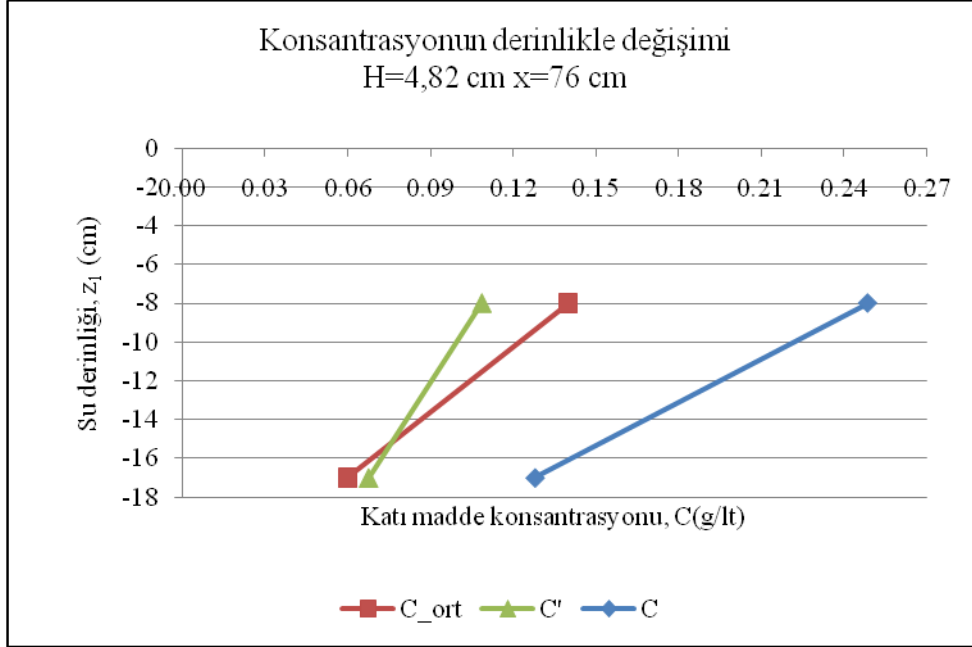
değerine yükseldiği, $z_1=-27\text{cm}$ 'de toplam yatay hızın $1,5\text{ cm/sn}$ 'ye düştüğü, çalkantı bileşeninin ise $0,75\text{ cm/sn}$ 'ye düştüğü görülmektedir. Yatay hızın zamansal ortalamasının ise $z_1=-8\text{ cm}$ 'de 0 cm/sn 'den $z_1=-17\text{ cm}$ 'de $-0,15\text{cm/sn}$ 'ye düştüğü, $z_1=-24\text{ cm}$ 'de ise 0 cm/sn değerinde ulaştığı görülmektedir. -27 cm 'de $1,0\text{ cm/sn}$ 'ye yükselen ortalama yatay hızın 1800 saniye sonunda tabanda dalga üreticine doğru bir harekete işaret etmektedir. Bu grafikten de anlaşılabacağı üzere 1800 saniyelik kayıtlar dikkate alındığında, kanalda üst tabaka olarak kabul edilen $0,25 < z_1/d < 0,5$ arasında askıda katı madde konsantrasyonunun taşınımında etkin olacak bir akımın tamamının çalkantı değerinden ibaret olduğu, $0,70 < z_1/d < 1,0$ tabakasında ise dalga üreticine doğru bir akımın bulunduğu görülmektedir. Maksimum askıda katı madde konsantrasyonunun görüldüğü anda u_b olarak ifade edilen sediment bulutuna ait anlık yatay hız değerinin ise $z_1=-8\text{ cm}$ 'de $0,5\text{ cm/sn}$ 'den $z_1=-17\text{ cm}$ 'de şeye doğru bir hareket göstererek $-0,6\text{ cm/sn}$ değerine yükseldiği, daha sonra ise derinlik arttıkça dalga üreticine doğru bir hareket ile $3,0\text{ cm/sn}$ değerine ulaştığı görülmektedir.



Şekil 5.3 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=4,82 cm x=200 cm).

$x=76\text{cm}$ 'de, $H=4,82\text{ cm}$ 'lik tsunami etkisinde meydana gelen sediment bulutuna ait askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle değişimi Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Buna göre askıda katı madde konsantrasyonu C , askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalaması $\bar{C}$ ile çalkantı etkisiyle oluşan ve hesaplanarak elde edilen C' değerleri derinlik boyunca azalmaktadır. C değeri $z_1=-8$

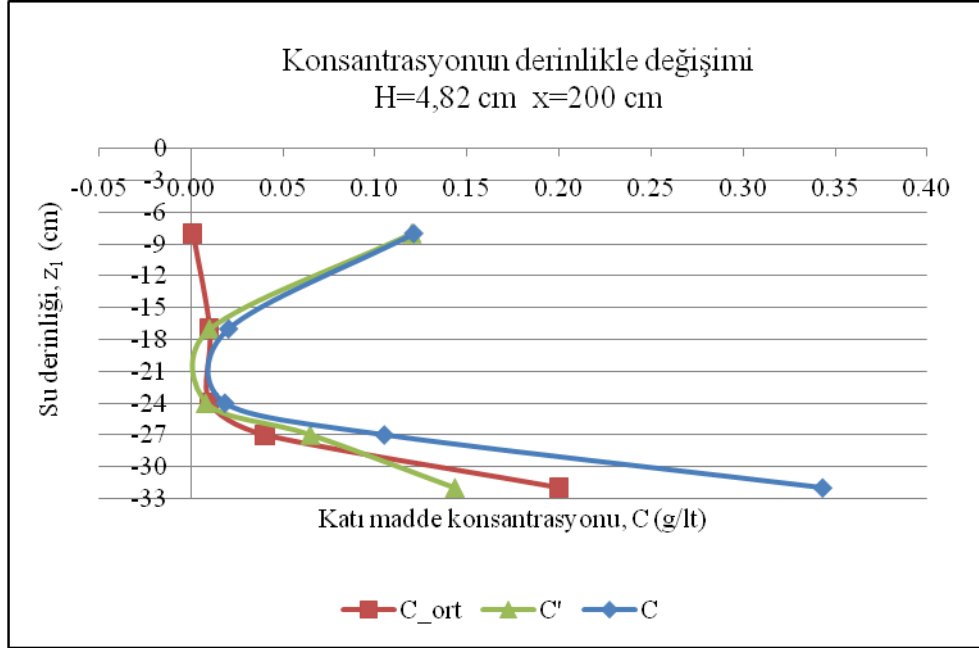
cm'de 0,25 g/lt'den $z_1=-17$ cm'de 0,13 g/lt'ye, C' $z_1=-8$ cm'de 0,1 g/lt'den $z_1=-17$ cm'de 0,06 g/lt'ye, $\bar{C}$ ise $z_1=-8$ cm'de 0,14 g/lt'den $z_1=-17$ cm'de 0,06 g/lt'ye düşmüştür.



Şekil 5.4 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=4,82 cm x=76 cm).

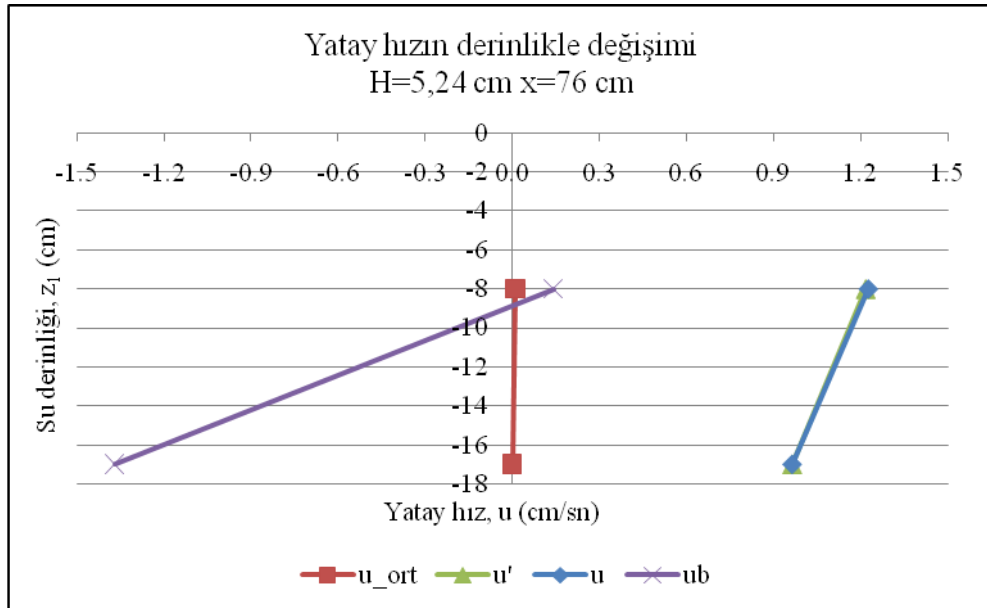
H=4,82 cm'lik tsunami etkisinde meydana gelen sediment bulutuna askıda katı madde konsantrasyonun $x=200$ cm'de derinlikle değişimi Şekil 5.5'te gösterilmiştir. Buna göre toplam askıda katı madde konsantrasyonu C , askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalaması $\bar{C}$ ve çalkantı etkisiyle oluşan hesaplanan C' değerleri derinlik boyunca tabakalı bir karakter göstermektedir. Toplam askıda katı madde konsantrasyonu, C değeri $z_1=-8$ cm'de 0,13 g/lt'den $z_1=-17$ cm'de 0,03 g/lt'ye düşmüş, bu değer daha sonra tabana yaklaştıkça bir artış göstererek $z_1=-32$ cm'de 0,33 g/lt'ye yükselmiştir. Çalkantı bileşeni etkisiyle oluşan, C' ise $z_1=-8$ cm'de 0,12 g/lt'den $z_1=-17$ cm'de 0,01 g/lt'ye düşmüş, $z_1=-32$ cm'de 0,15 g/lt'ye ulaşmıştır. Askıda katı madde konsantrasyonunun ortalaması $\bar{C}$ ise $z_1=-8$ cm'de 0,001 g/lt'den $z_1=-24$ cm'de 0,01 g/lt'ye yükselmiş, bu noktadan $z_1=-32$ cm'ye kadar ise katı madde çökmesinin etkisiyle 0,18 g/lt değerine ulaşmıştır. Buna göre $x=76$ cm'de kaydedilen toplam askıda katı madde konsantrasyonu advectif etkilerle kaal boyunca taşındığından derinlikle azalmaktadır. $x=200$ cm'de tabanda kaydedilen yüksek

askıda katı madde konsantrasyonu değerleri ise sediment bulutunun zamanla çökmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.5 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=4,82 cm x=200 cm).

Şekil 5.6'da H=5,24 cm dalga yüksekliği etkisinde meydana gelen yatay hız bileşenlerinin x=76cm'de derinlikle değişimi incelenmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi yatay hızın zamansal ortalaması $\bar{u}$ 'nın derinlik boyunca 0 cm/sn değerinde sabit kalmaktadır.

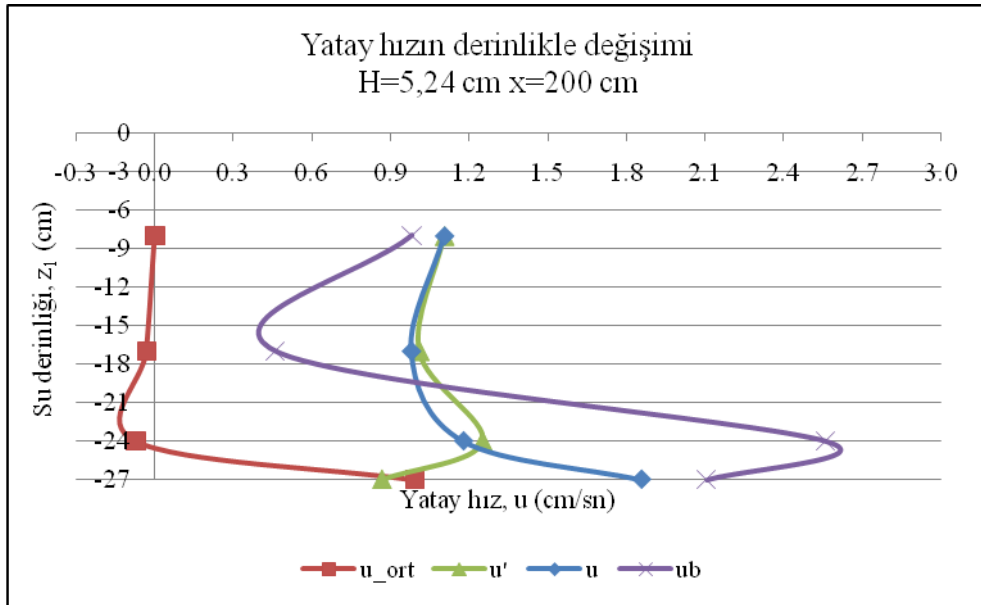


Şekil 5.6 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=5,24 cm x=76 cm).

Yatay hızın çalkantı değeri, u' ve $\bar{u}$ 'nin toplamı olarak ifade edilen yatay hız, u ise bu nedenle derinlik boyunca u' ile aynı değerde bulunmaktadır. Grafikte u ve u' 'nin derinlikle değişimi incelendiğinde $z_1=-8$ cm'de 1,25 cm/sn değerinde bulunan u ve u' 'nin $z_1=-17$ cm'de 0,9 cm/sn değerine düştüğü görülmektedir. Maksimum askıda katı maade konsantrasyonunun görüldüğü andaki u_b 'nin derinlikle değişimi incelendiğinde $z_1=-8$ cm'de 0,15 cm/sn olarak kaydedilen yatay hızın $z_1=-17$ cm'de şeve doğru artan bir hızla (-1,3 cm/sn) ilerlediği görülmektedir.

Bu dalga, deneysel çalışmada belirlenen tsunami tipi dalgalar arasında en küçük dalga yüksekliğine sahip ikinci dalgadır. Dalga yüksekliğinin küçük olması nedeniyle oluşan dalganın ilerlemesi sırasında meydana gelen kuvvet dalganın şev üstünde ilerlemesi sırasında su sütununu bir tabaka olarak ileriye taşıyamamakta, bu nedenle tabana yakın olan bölgede yatay hız değerleri yüzeye yakın olan bölgeye kıyasla daha yavaş kalmaktadır. Benzer durum $H=11,77$ cm 'lık (Şekil 5.30) ve $H=13,58$ cm'lik (Şekil 5.34) dalga yüksekliğine sahip en büyük iki tsunami tipi dalga için de söz konusudur. Bu durum ilgili grafiklerde ayrıca açıklanmıştır.

$H=5,24$ cm'lik tsunami etkisi altında $x=200$ cm'de yatay hızlar incelendiğinde (Şekil 5.7), sediment bulutunun ilerlemesinde derinlik boyunca advektif taşınımında rol alan toplam yatay hızın, u , etkin olduğunu görülebilmektedir.

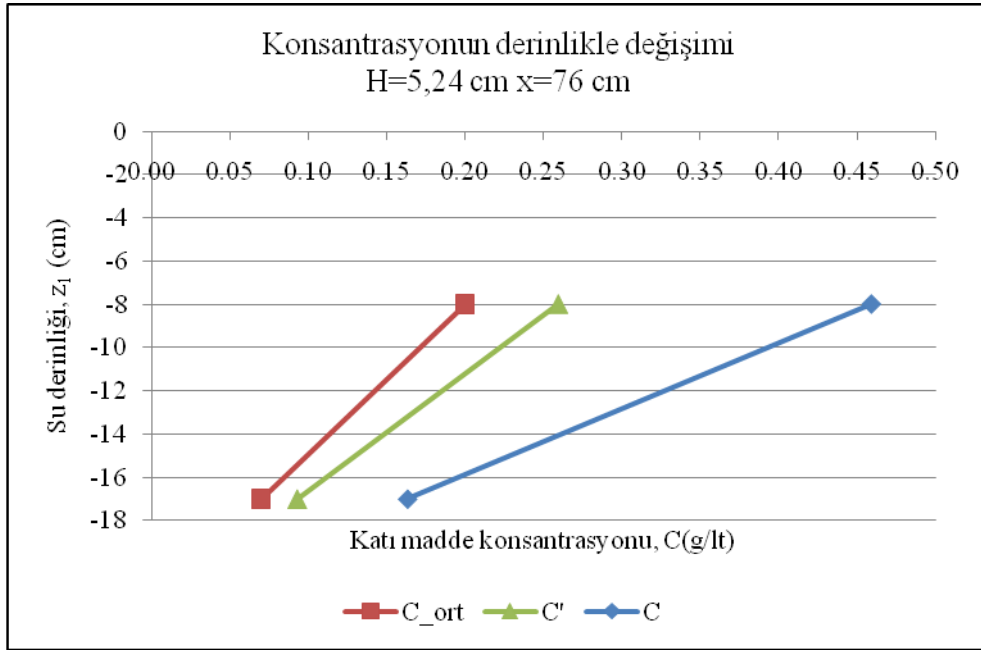


Şekil 5.7 : Yatay hızın derinlikle değişimi ($H=5,24$ cm $x=200$ cm).

Sakin su seviyesinden 8 cm aşağıda, 1,2 cm/sn değerine sahip u yatay hız bileşeni, $z_1=-17$ cm'de 0,9 cm/sn değerine inecek şekilde azalan logaritmik bir eğri çizmektedir. Daha sonra $z_1=-24$ cm'ye ulaşıldığında ise bu değer tekrar 1,2 cm/sn'ye yaklaşmakta, $z_1=-27$ cm'de ise 1,8 cm/sn değerine yükselmektedir. Yatay hızın çalkantı değeri, u' ise, kanal derinliği boyunca yatay hız bileşeni u ile benzer bir değişim gösterirken, $z_1=-24$ cm'de 1,25 cm/sn'lik hız değeri $z_1=-27$ cm'de 0,9 cm/sn değerine düşmektedir. Yatay hızın zamansal ortalaması $\bar{u}$ ise derinlik boyunca azalan logaritmik eğri gösteren bir karakterde derinlik boyunca $z_1=-8$ cm'de 0,0 cm/sn değerinden, tabana yaklaştıkça -0,1 cm/sn'lik, şeve doğru düşük de olsa bir akım hızına sahip olmaktadır. Bu değer tabana en yakın nokta olan $z_1=-27$ cm'de 1,0 cm/sn değerine yükselerek askıda katı madde konsantrasyonunun tsunami üreticine doğru ilerlemesine neden olan bir akıma işaret etmektedir.

Hangi hızın etkin olduğuna karar verebilmek için sediment konsantrasyonunun çalkantı etkisiyle taşınımını karakterize eden ve hesaplanarak elde edilen C' , askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalaması $\bar{C}$ ve C' ve $\bar{C}$ değerlerinin toplamı olarak ifade edilen toplam askıda katı madde konsantrasyonu, C değerlerinin derinlik boyunca değişim grafiği de incelenmelidir.

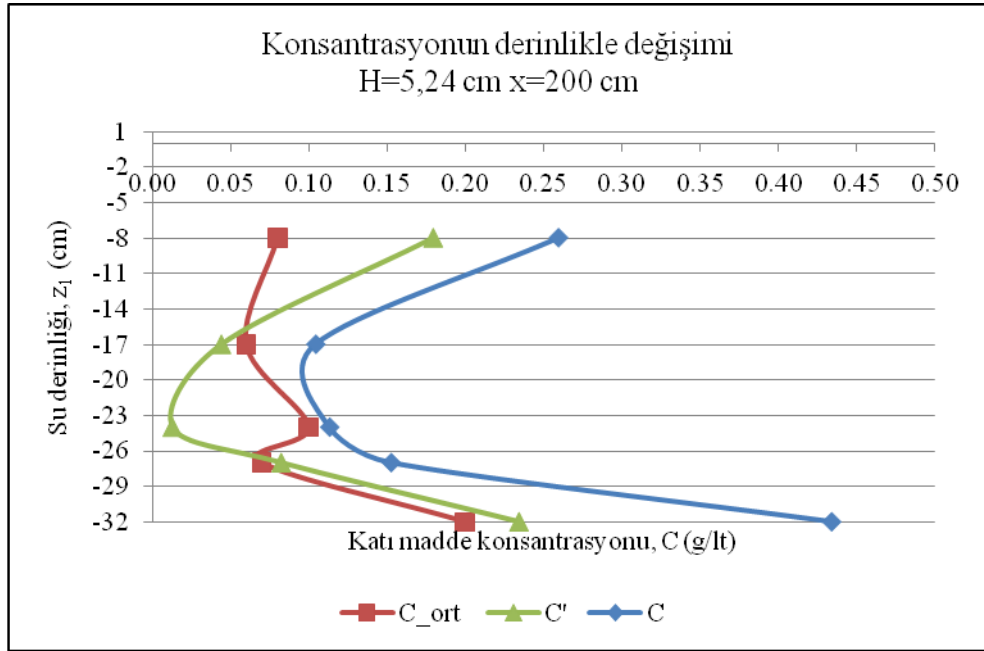
$x=76$ cm'de $H=5,24$ cm'lik dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisi altında meydana gelen sediment bulutuna ait askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle değişimi incelendiğinde(Şekil 5.8) ise yatay hız bileşenleri ile benzer şekilde C, C' ve $\bar{C}$ değerlerinin yüzeye en yakın nokta olan $z_1=-8$ cm'den $z_1=-17$ cm'ye inerken derinlikle azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.8 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi ($H=5,24$ cm $x=76$ cm).

C , toplam askıda katı madde konsantrasyonu $z_1=-8$ cm'de $0,45$ g/lt değerinden $z_1=-17$ cm'de $0,15$ g/lt değerine düşmüştür. Grafikten $x=76$ cm'de çalkantı etkisiyle oluşan C' 'nin derinlikle değişimi okunduğunda, değerlerin $z_1=-8$ cm'de $0,28$ g/lt'den $z_1=-17$ cm'de $0,07$ g/lt'ye düştüğü, askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalaması $\bar{C}$ 'nin ise $z_1=-8$ cm'de $0,2$ g/lt'den $z_1=-17$ cm'de $0,06$ g/lt'ye düştüğü görülmektedir.

Şekil 5.9'da $x=200$ cm'de C , askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle değişimi grafik yardımıyla incelenmiştir. Buna göre; $x=200$ cm'de toplam askıda katı madde konsantrasyonu, C ; $z_1=-8$ cm'de $0,26$ g/lt'den $z_1=-17$ cm'de $0,1$ g/lt'ye düşmüş, tabana yaklaştıkça logaritmik bir artış grafiği ile $z_1=-32$ cm'de $0,44$ g/lt değerine yükselmiştir.

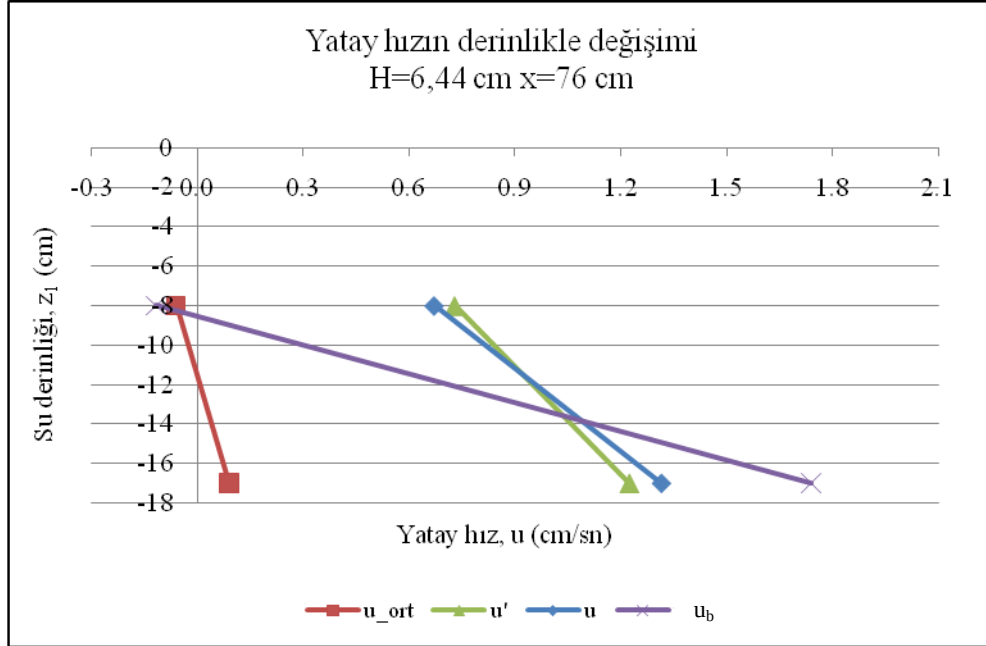


Şekil 5.9 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=5,24 cm x=200 cm).

Askıda katı madde konsantrasyonunun hesaplanan çalkantı değeri, C' ise yüzeye en yakın nokta olan $z_1 = -8$ cm'de 0,18 g/Lt'den $z_1 = -17$ cm'de 0,02 g/Lt değerine düşmekte, toplam askıda katı madde konsantrasyonu ile benzer şekilde tabana yaklaştıkça askıda katı maddenin çökmesiyle birlikte artarak 0,23 g/Lt değerine ulaşmaktadır. Askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalaması $\bar{C}$ 'nın ise, derinlik boyunca yüzeyde 0,08 g/Lt değerinden $z_1 = -17$ cm'de 0,05 g/Lt değerine düştüğü daha sonra $z_1 = -24$ cm'de ise artarak tekrar 0,1 g/Lt değerine ulaştığı görülmektedir. $\bar{C}$ 'nın $z_1 = -27$ cm'de 0,05 g/Lt ye düşmesi ve bu noktadan taban doğru yaklaştıkça 0,20 g/Lt değerine yükselmesinin askıda katı madde konsantrasyonunun çökerek tabanda yoğunlaşmasından kaynaklanmaktadır. Derinlikle görülen bu azalma; sediment bulutu $z_1 = -27$ cm'de askıda kalarak $x=200$ cm'den daha ileriye yayılarak taşınmasından ve yeni bir tsunami tipi dalga etkisiyle askıda katı madde kaynağı da bulunmamasından kaynaklanmaktadır.

H=6,44 cm'lik dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisinde yatay hızların $X=76$ cm'de derinlikle değişimi incelendiğinde (Şekil 5.10) yatay hızın zamansal ortalamasının yüzeyden 8 cm aşağıda 0 cm/sn değerinden $z_1 = -17$ cm'de tsunami üreticine doğru ortalama 0,15 cm/sn hızla ilerlediği görülmektedir. Ayrıca, toplam yatay hızın çalkantı değerinden ibaret olduğu ve $z_1 = -8$ cm'de bu değer 0,6 cm/sn'den $z_1 = -$

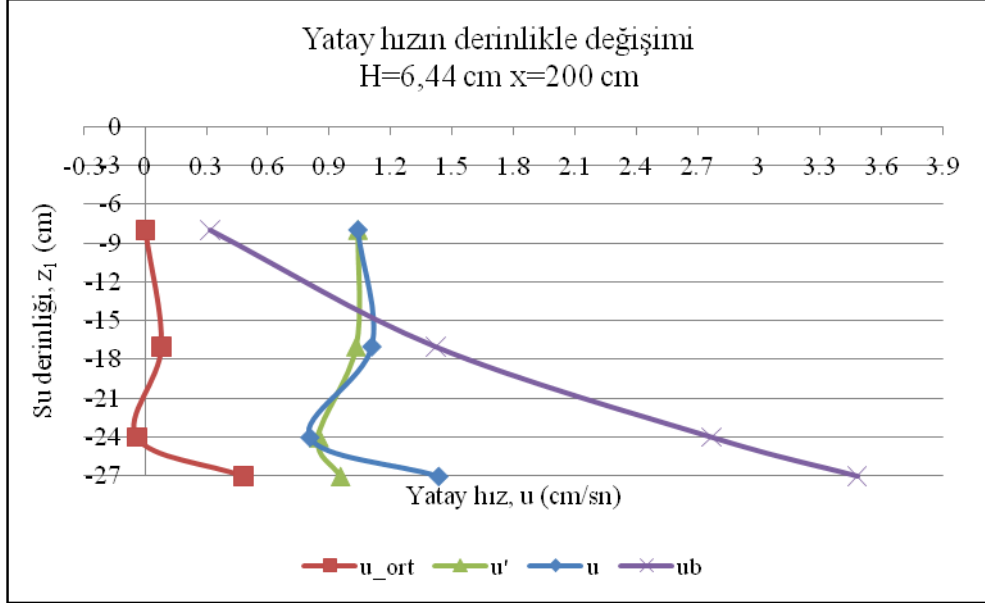
17cm'de 1,2 cm/sn değerine yükseldiği görülmektedir. Anlık hız, u_b 'nin ise $z_1=-8$ cm'de -0,15 cm/sn'den $z_1=-17$ cm'de 1,75 cm/sn'ye yükseldiği görülmektedir.



Şekil 5.10 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=6,44 cm x=76 cm).

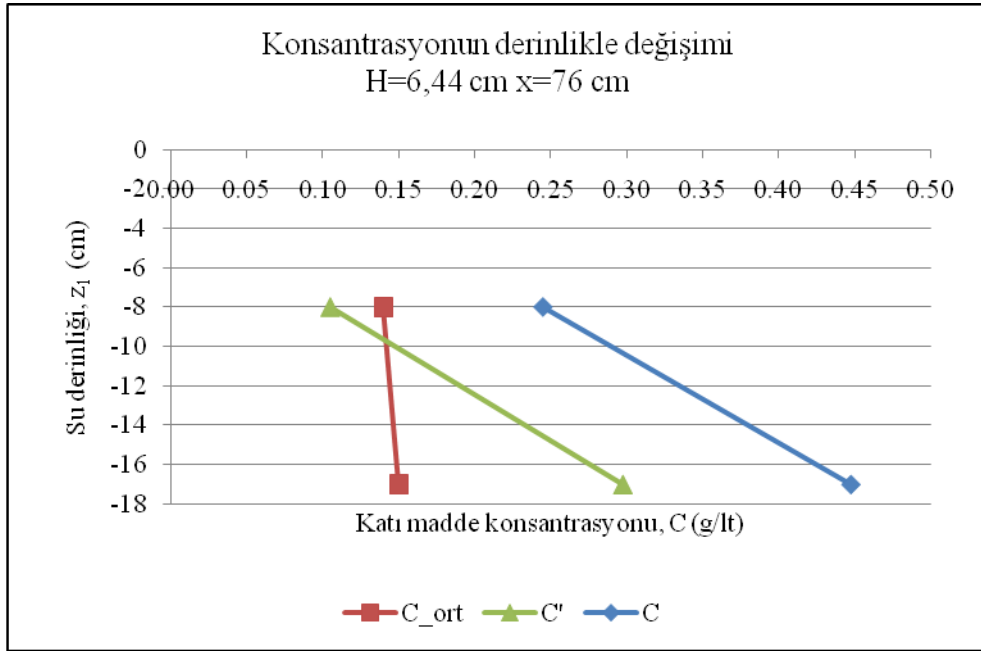
$x=200$ cm'de $z_1=-8$ cm'den $z_1=-17$ cm'ye kadar toplam yatay hızın 1,0 cm/sn değerinde sabit kaldığı, tabana doğru $z_1=-24$ cm'de 0,9 cm/sn'ye düştüğü, ölçüm alınan son nokta olan $z_1=-27$ cm'de ise 1,5 cm/sn değerine yükseldiği görülmektedir. Şekil 5.11'de ise bu dalga yüksekliği için, $x=76$ cm'de olduğu gibi, derinlik boyunca $x=200$ cm'deki toplam yatay hızların sadece çalkantı değerinden oluştuğu gösterilmiştir. Yatay hızın zamansal ortalamasının, $\bar{u}$, ise $z_1=-8$ cm'den $z_1=-24$ cm'ye kadar 0 cm/sn civarında kaldığı, $z_1=-27$ cm'de ise 0,5 cm/sn'ye ulaştığı görülmektedir.

Aynı grafikte anlık hızın, u_b , derinlikle değişimi incelendiğinde tsunami üreticine doğru meydana gelen bir akımın etkisiyle $z_1=-8$ cm'de 0,3cm/sn olan değer tabana yaklaştıkça $z_1=-27$ cm'de 3,5 cm/sn'ye ulaştığı görülmektedir.



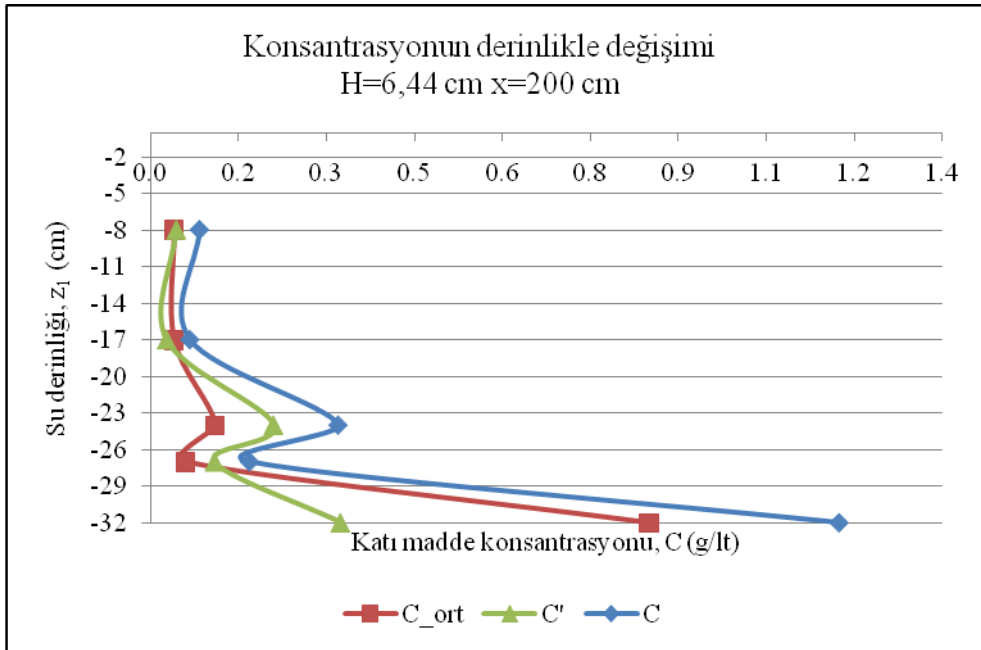
Şekil 5.11 : Yatay hızın derinlikle değişimi ($H=6,44$ cm $x=200$ cm).

$H= 6,44$ cm'lik dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisinde, $x=76$ cm'de meydana gelen sediment bulutuna ait askıda katı madde konsantrasyon bileşenlerinin (C , C' ve $\bar{C}$) derinlikle değişimi incelenmiştir (Şekil 5.12). Grafikte görüldüğü gibi, sediment bulutuna ait askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalaması $\bar{C}$ 'nin derinlik boyunca $0,14$ g/lt değerinde sabit kalmaktadır. Bu değerin $x=200$ cm'de ise $z_1=-8$ cm'den $z_1=-17$ cm'ye (Şekil 5.13) $0,05$ g/lt değerinde sabit kaldığı görülmektedir. Ayrıca, C , toplam askıda katı madde konsantrasyonu, $z_1=-8$ cm'de $0,22$ g/lt'den $z_1=-17$ cm'de $0,45$ g/lt ye yükselirken, çalkantı etkisinde oluşan C' ise $z_1=-8$ cm'de $0,10$ g/lt değerinden $z_1=-17$ cm'de $0,30$ g/lt'ye yükselmektedir.



Şekil 5.12 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=6,44 cm x=76 cm).

H= 6,44 cm'lik dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisinde, meydana gelen sediment bulutunu karakterize eden ölçülen askıda katı madde konsantrasyonunun $x=200$ cm'de derinlikle değişimine ait grafik incelendiğinde (Şekil 5.13), sediment konsantrasyonuna ait C , C' ve $\bar{C}$ değerlerinin $z_1=-8$ cm'den $z_1=-17$ cm'ye kadar 0,05 g/lt değerinde sabit kaldığı görülmektedir.

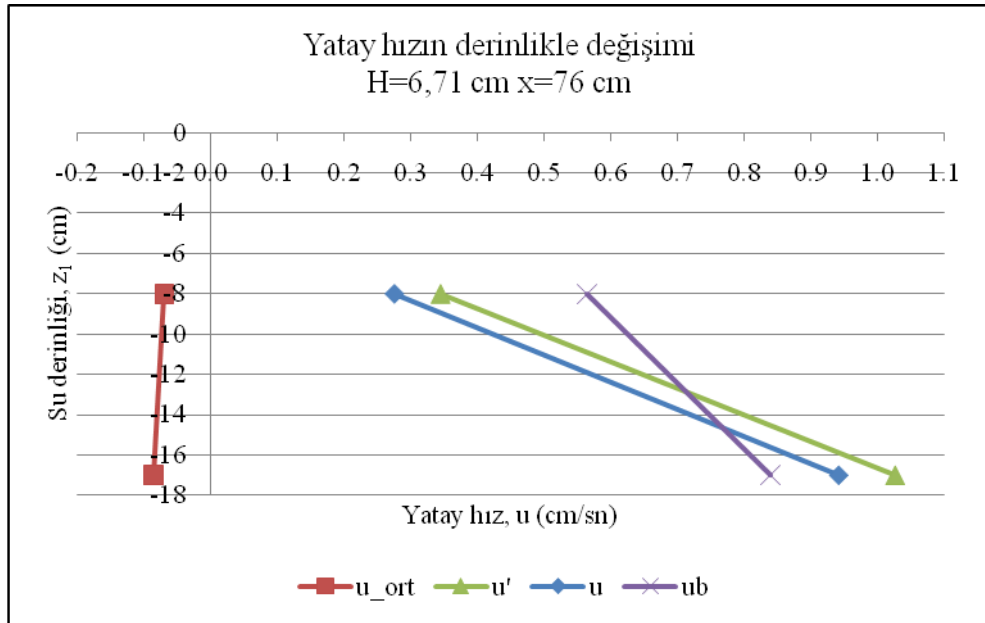


Şekil 5.13 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=6,44 cm x=200 cm).

Toplam askıda katı madde konsantrasyonu $z_1=-24$ cm'de 0,35 g/lt değerine ulaştığı, daha sonra $z_1=-27$ cm'de 0,2 g/lt değerine düştüğü, daha sonra ise tabana en yakın nokta olan $z_1=-32$ cm'de 1,2 g/lt değerine yükseldiği görülmektedir.

Askıda katı madde konsantrasyonu çalkantı değeri, C' 'nin derinlikle değişimi ise C ile benzer bir azalma ve artma eğilimi göstererek tabanda 0,3 g/lt'lik bir değere ulaşmaktadır. Askıda katı madde konsantrasyonunun ortalaması $\bar{C}$ ise $z_1=-27$ cm'de ulaştığı 0,1 g/lt'lik değerden $z_1=-32$ cm'de 0,85 g/lt gibi yüksek bir katı madde konsantrasyonuna ulaşmaktadır.

$H=6,71$ cm'lik dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisinde yatay hızların $X=76$ cm'deki değişimine ait grafik Şekil 5.14'te gösterilmiştir.

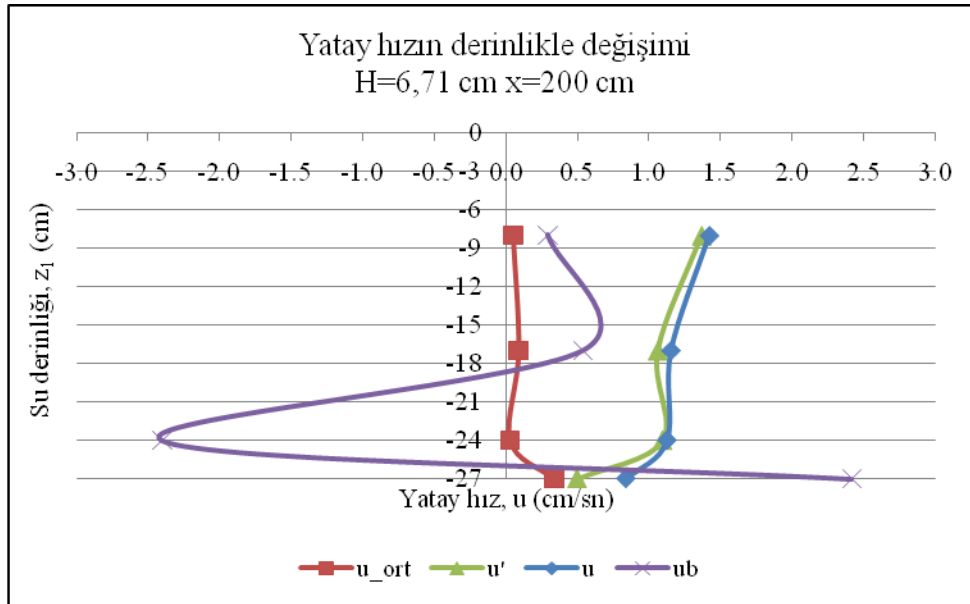


Şekil 5.14 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=6,71 cm x=76 cm).

Buna göre sakin su seviyesinin 8cm aşağısından $z_1=-17$ cm'ye kadar yatay hızın ortalamasının -0,1 cm/sn de sabit kaldığı, yani şeye doğru bir akımın bulunduğu görülmektedir. Toplam yatay hız, u , ise ortalama akım hızından çok fazla etkilenmeden çalkantı etkisiyle $z_1=-8$ cm'de 0,25 cm/sn değerinden $z_1=-17$ cm'de 0,9 cm'lik bir hıza sahip olmaktadır. Anlık hız u_b 'nin derinlikle değişimi incelendiğinde $z_1=-8$ cm'de 0,55cm/sn'den $z_1=-17$ cm'de 0,8 cm/sn'ye ulaştığı bu hızlarla katı maddeyi taşıdığı kaydedilmiştir.

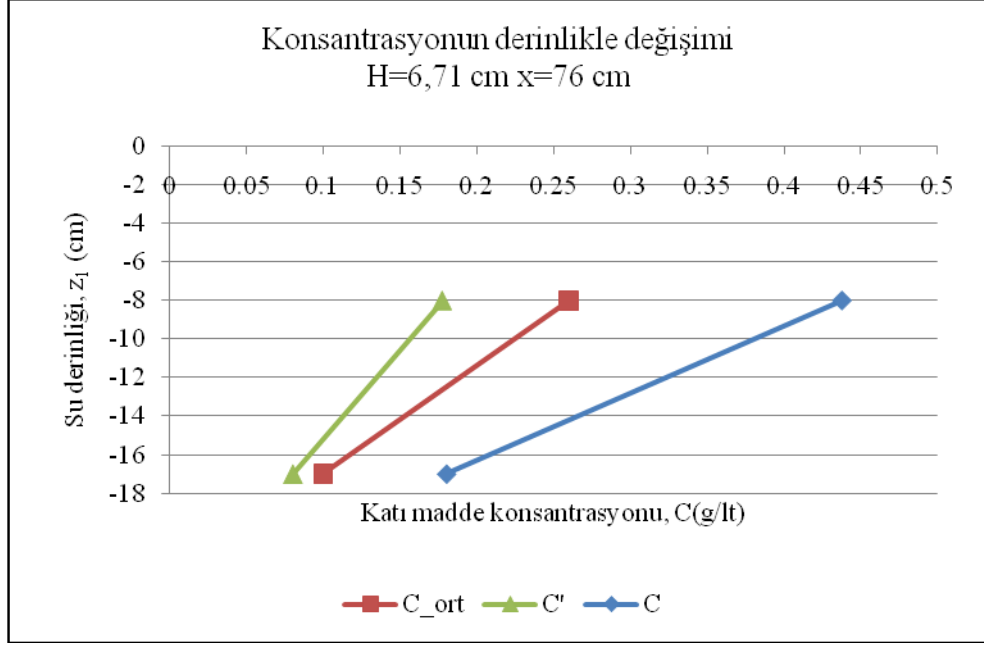
$x=200$ cm'de $H= 6,71$ cm dalga yüksekliğine sahip tsunaminin yatay hız değerleri incelendiğinde $z_1=-8$ cm'de u , toplam yatay hızın ve u , çalkantı değerinin 1,5

cm/sn'den $z_1=-17$ cm'de 1,0 cm/sn'ye düştüğü görülmektedir (Şekil 5.15). Bu noktadan $z_1=-24$ cm'ye kadar toplam yatay hız, u , 1,0 cm/sn değerinde sabit kalırken, $z_1=-27$ cm'de 0,75 cm/sn değerine düşmektedir. Ayrıca, u' çalkantı değerinin ise $z_1=-24$ cm'de 1,0 cm/sn'den $z_1=-27$ cm'de 0,5 cm/sn'ye düştüğü kaydedilmiştir. Bununla birlikte yatay hızın zamansal ortalaması $\bar{u}$ 'nın derinlikle değişimi incelendiğinde yüzeyden $z_1=-24$ cm'e kadar 0 cm/sn den, $z_1=-27$ cm'de 0,4 cm/sn'ye yükselerek tsunami üreticine doğru bir akıma işaret etmektedir. O halde sediment bulutunun genel olarak $\bar{u}$ etkisinde ilerlediği söylenebilmektedir. Anlık yatay hız, u_b ise su derinliği boyunca ileri ve geri hareket göstermektedir. Bu değer $z_1=-8$ cm'de 0,25 cm/sn'den $z_1=-17$ cm'de 0,5 cm/sn'ye yükselmiş, daha sonra $z_1=-24$ cm'de şeve doğru bir hareketle -2,5cm/sn'lik yatay hız değerlerine ulaşmıştır. $z_1=-27$ cm'deki anlık yatay hız değeri ise 2,4cm/sn'ye ulaşarak yine tabanda tsunami üreticine doğru bir akıma işaret etmektedir.



Şekil 5.15 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=6,71 cm x=200 cm).

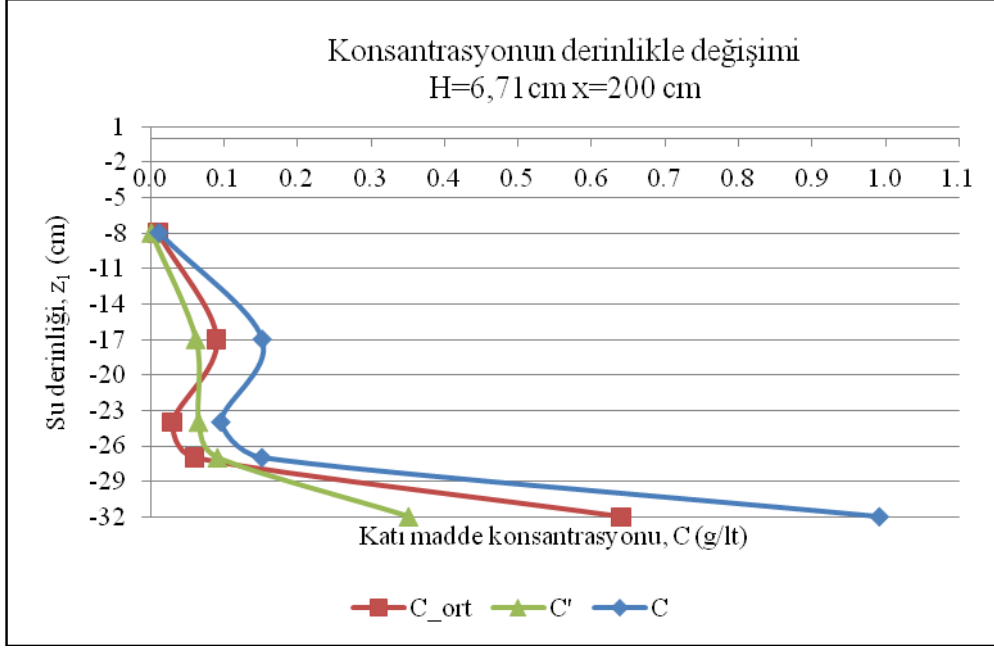
Şekil 5.16'da H= 6,71 cm 'lik dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisi altında x=76 cm'de sediment bulutuna ait askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle değişimi gösterilmiştir. Grafikte, toplam askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.16 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi ($H=6,71$ cm $x=76$ cm).

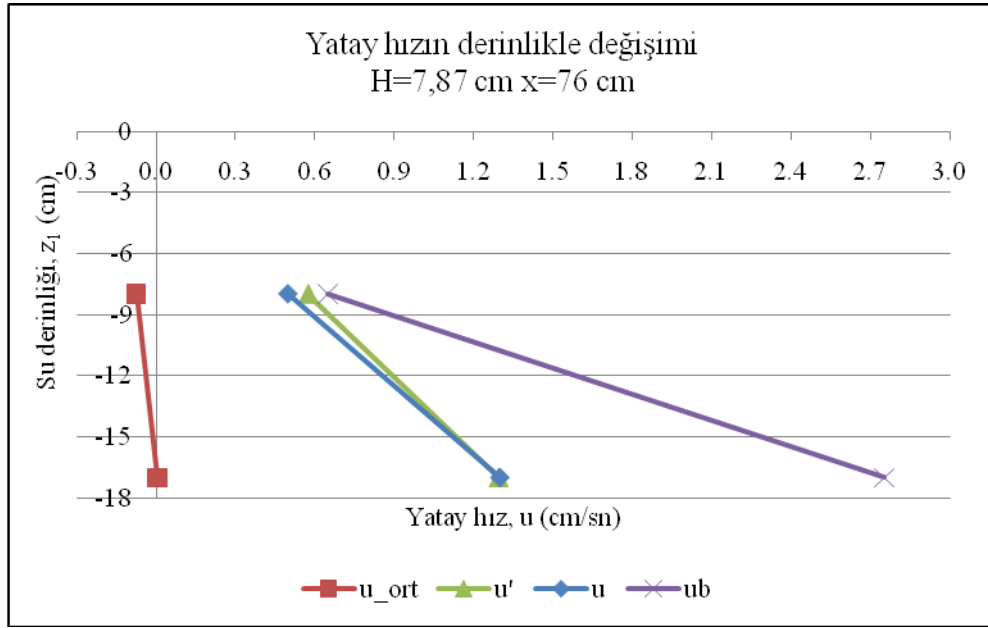
Buna göre $z_1=-8$ cm'de alınan kayıtlarda 0,42 g/Lt'lik toplam askıda katı madde konsantrasyonu -17cm'de 0,17 g/Lt değerine düşmektedir. Ortalama askıda katı madde konsantrasyonu ise $z_1=-8$ cm'de 0,25 g/Lt'den $z_1=-17$ cm'de 0,1 g/Lt değerine düşmektedir. Yatay hızın çalkantı bileşenlerinin etkisiyle meydana gelen askıda katı madde konsantrasyonu çalkantı bileşeni $\bar{C}$, ise $z_1=-8$ cm'de 0,17 g/Lt değerinden 0,08 g/Lt değerine düşmektedir.

$x=200$ cm'de dalga yüksekliği $H= 6,71$ cm olan tsunami tipi dalga etkisinde askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle değişimine ait grafik incelendiğinde (Şekil 5.17), C toplam katı madde konsantrasyonunun, C' , konsantrasyonun çalkantı değeri ve $\bar{C}$, konsantrasyonun zamansal ortalamasının yüzeyden tabana doğru indikçe arttığı görülmektedir. C , $z_1=-8$ cm'de 0,0 g/Lt değerinden $z_1=-17$ cm'de 0,2 g/Lt değerine kadar artmakta, -24 cm'de 0,1 g/Lt değerine ulaşmaktadır. Tabana yaklaştıkça bu değer 1,0 g/Lt gibi oldukça yüksek konsantrasyon değerlerine ulaşmaktadır. C' , askıda katı madde konsantrasyonu çalkantı bileşeni ise derinlik boyunca C ile benzer bir artış ve azalış grafiği sergilemektedir. Zamansal ortalama konsantrasyon, $\bar{C}$ ise diğer konsantrasyon değerleriyle benzer bir değişim göstermekte ve yüzeyden tabana artarak $z_1=-32$ cm'de 0,65 g/Lt değerine ulaşmaktadır.



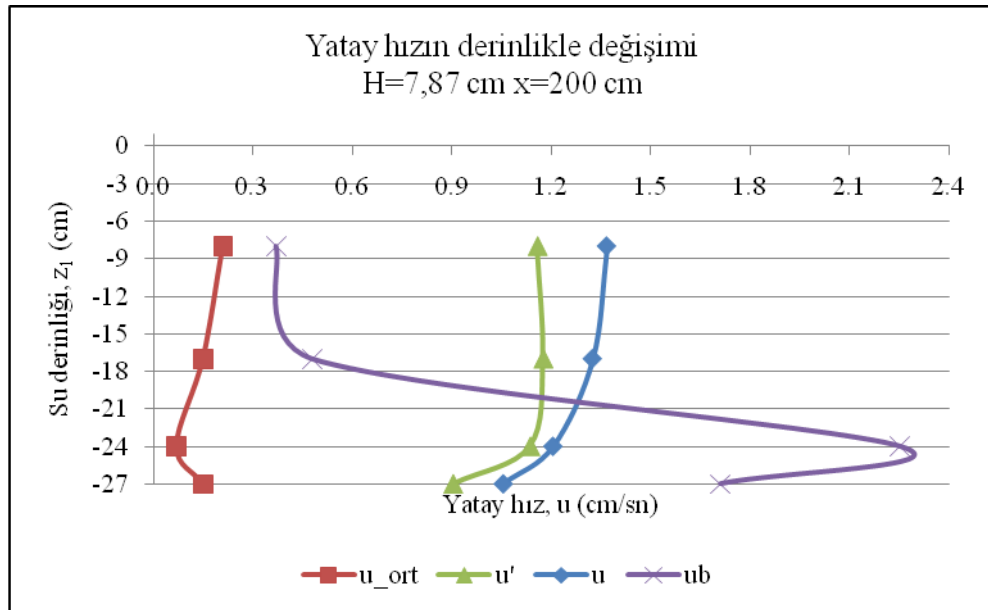
Şekil 5.17 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi ($H=6,71$ cm $x=200$ cm).

$H=7,87$ cm'lik dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisinde, kıyı şevinin bittiği nokta olan $x=76$ cm'de kanal derinliği boyunca alınan yatay hız değerlerinin değişimi Şekil 5.18'de gösterilmiştir. Buna göre yatay hızın zamansal ortalaması, $\bar{u}$, $z_1=-8$ cm'de -0,15 cm/sn değeri ile şeve doğru bir akım etkisini gösterirken $z_1=-17$ cm'de 0 cm/sn değeri ile bu noktada ileri veya geri doğru bir akımın bulunmadığına işaret etmektedir. $H=4,82$ cm'lik tsunami etkisinde olduğu gibi (Şekil 5.2) bu dalga etkisi altında da yatay hızın tamamı çalkantı bileşenlerinden oluşmaktadır. Toplam yatay hız, u ve çalkantı değeri, u' , $z_1=-8$ cm'de 0,45 cm/sn'den $z_1=-17$ cm'de 1,2 cm/sn'lik hız değerine ulaşmaktadır. Maksimum askıda katı konsantrasyonunun görüldüğü andaki hız değeri u_b ise $z_1=-8$ cm'de 0,6 cm/sn'den $z_1=-17$ cm'de 2,6 cm/sn'lik bir hız ile tsunami üreticine doğru bir akım etkisiyle sediment bulutunu taşımaktadır.



Şekil 5.18 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=7,87 cm x=76 cm).

H=7,87 cm'lik dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisinde, kıyı şevinin bittiği nokta olan $x=200$ cm'de kanal derinliği boyunca alınan yatay hız bileşenlerinin değişimi Şekil 5.19'da gösterilmiştir.

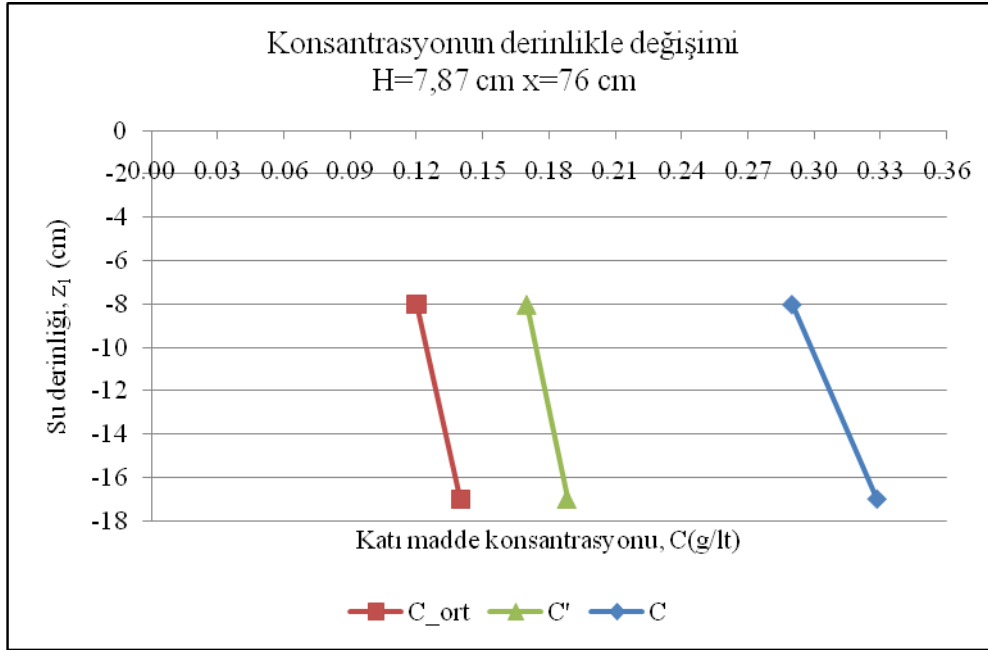


Şekil 5.19 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=7,87 cm x=200 cm).

Grafikte görüldüğü gibi, yatay hız, u ve $z_1=-8$ cm'den $z_1=-24$ cm'ye kadar 1,35 cm/sn 'de sabit kalmakta, tabana yakın bir nokta olan $z_1=-27$ cm'de ise 1,0 cm/sn'ye düşmektedir. Yatay hızın çalkantı bileşeni u' ise $z_1=-8$ cm'den $z_1=-24$ cm'ye kadar 1,2 cm/sn 'de sabit kalmakta, $z_1=-27$ cm'de ise 0,9 cm/sn'ye düşmektedir. Yatay hızın

zamansal ortalaması $\bar{u}$ ise $z_1=-8$ cm'de 0,2 cm/sn'ye ulaşmış; $z_1=-24$ cm'de 0,1 cm/sn'ye düşmüş, daha sonra tabana doğru $z_1=-27$ cm'de tekrar 0,2 cm/sn değerine ulaşmıştır.

Dalga yüksekliği $H=7,87$ cm olan tsunami tipi dalga etkisiyle $x=76$ cm'de sediment konsantrasyonunun derinlikle değişimi incelendiğinde (Şekil 5.20), askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalaması, $\bar{C}$ 'nın $z_1=-8$ cm'de 0,11 g/lt değerinden $z_1=-17$ cm'de 0,14 g/lt değerine yükseldiği görülmektedir.

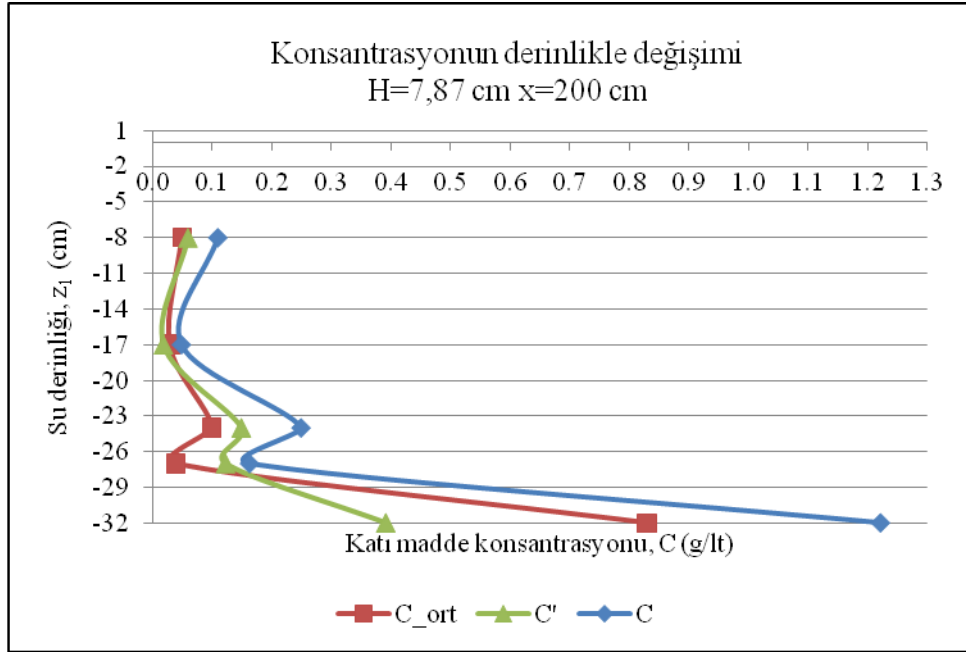


Şekil 5.20 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi ($H=7,87$ cm $x=76$ cm).

Askıda katı madde konsantrasyonu çalkantı değeri, C' ise $\bar{C}$ ile benzer bir artış eğilimi göstererek $z_1=-8$ cm'de 0,17 g/lt değerinden $z_1=-17$ cm'de 0,19 g/lt değerine ulaşmaktadır. Böylelikle toplam askıda katı madde konsantrasyonu -8 cm'de 0,28 g/lt'den $z_1=-17$ cm'de 0,33 g/lt değerine yükselmektedir.

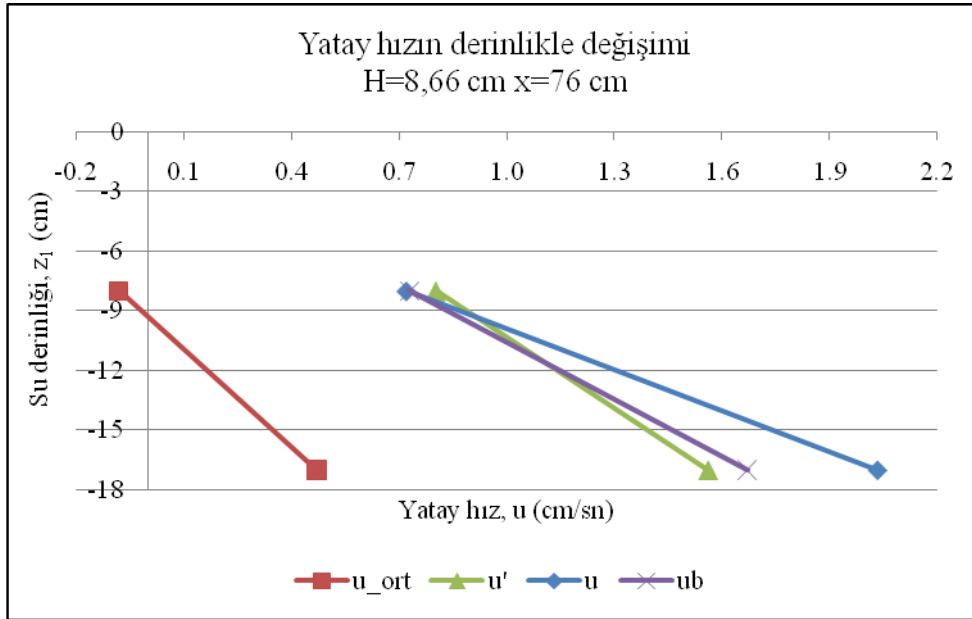
$H=7,87$ cm'lik dalga etkisiyle $x=200$ cm'de sediment konsantrasyonunun derinlikle değişimine ait grafiğe bakıldığında (Şekil 5.21), Şekil 5.13'de görülen $H=6,44$ cm'lik tsunami etkisiyle ile askıda taşınan sedimentin derinlik boyunca dağılımına benzer bir karakterde olduğu görülmektedir. $H=7,87$ cm için C , C' ve $\bar{C}$ askıda katı madde konsantrasyon değerleri $z_1=-8$ cm'den $z_1=-17$ cm'ye kadar 0,0–0,1 g/lt değerleri arasındadır. C , toplam askıda katı madde konsantrasyonu; $z_1=-17$ cm'de 0,08 g/lt

değerinden $z_1=-24$ cm'de 0,25 g/lt değerine yükselmiş, daha sonra $z_1=-27$ cm'de 0,15 g/lt değerine düşerek tabana yaklaştıkça, $z_1=-32$ cm'de, sediment bulutunun zamanla çökmesi etkisiyle 1,2 g/lt'ye yükselmiştir. Askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalamasının, $\bar{C}$ ve çalkantı bileşeninin, C' , kanal derinliği boyunca değişimi C ile benzerlik göstermektedir. Buna göre tabana en yakın ölçüm alınan nokta olan -32cm'de $\bar{C}$, 0,8 g/lt, C' ise 0,35 g/lt değerine ulaşmaktadır.



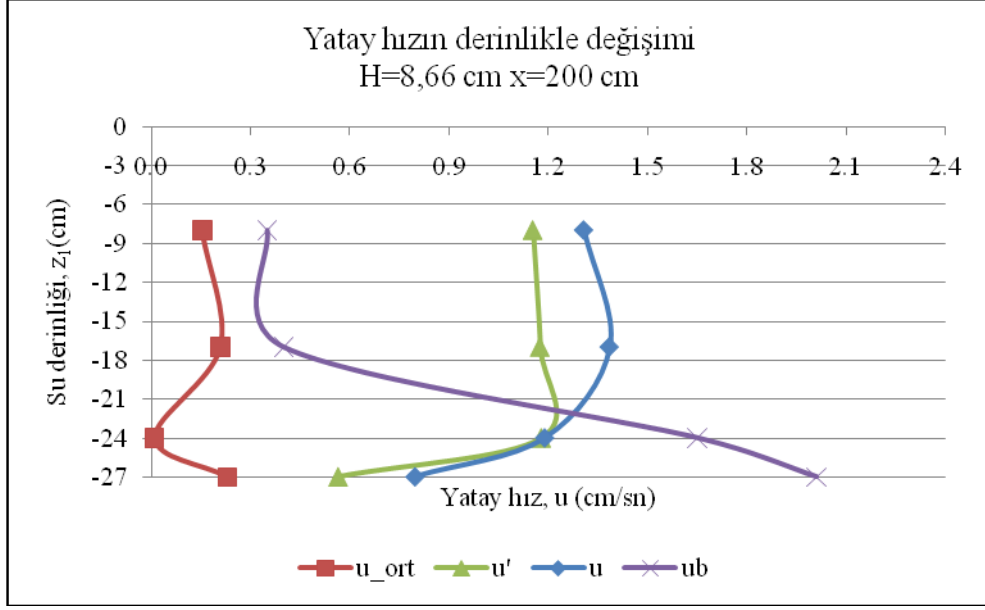
Şekil 5.21 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=7,87 cm x=200 cm).

Şekil 5.22'de dalga yüksekliği H=8,66 cm olan tsunami etkisiyle meydana gelen yatay hız bileşenleri u , çalkantı bileşeni u' ve zamansal ortalaması $\bar{u}$ 'nın derinlikle değişimi gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi $\bar{u}$, $z_1=-8$ cm'de -0,1 cm/sn'lik bir akım ile şeve doğru bir hareket halinde iken $z_1=-17$ cm'de 0,4 cm/sn'lik bir hız ile tsunami üreticine doğru bir akımla ilerlemektedir. Toplam yatay hız, u , $z_1=-8$ cm'de 0,70 cm/sn değerinden $z_1=-17$ cm'de 2,0 cm/sn'ye ulaşmaktadır. Yatay hızın çalkantı değeri, u' ise $z_1=-8$ cm'de 0,75 cm/sn'den $z_1=-17$ cm'de 1,6 cm/sn değerine yükselmektedir. Sediment bulutunun anlık hızı, u_b 'nin derinlikle değişim eğilimi ise diğer hızlar ile benzerlik göstermektedir. Buna göre u_b $z_1=-8$ cm'de 0,7 cm/sn'den $z_1=-17$ cm'de 1,7 cm/sn değeri ile sediment bulutunu tsunami üreticine doğru ilerlemektedir.



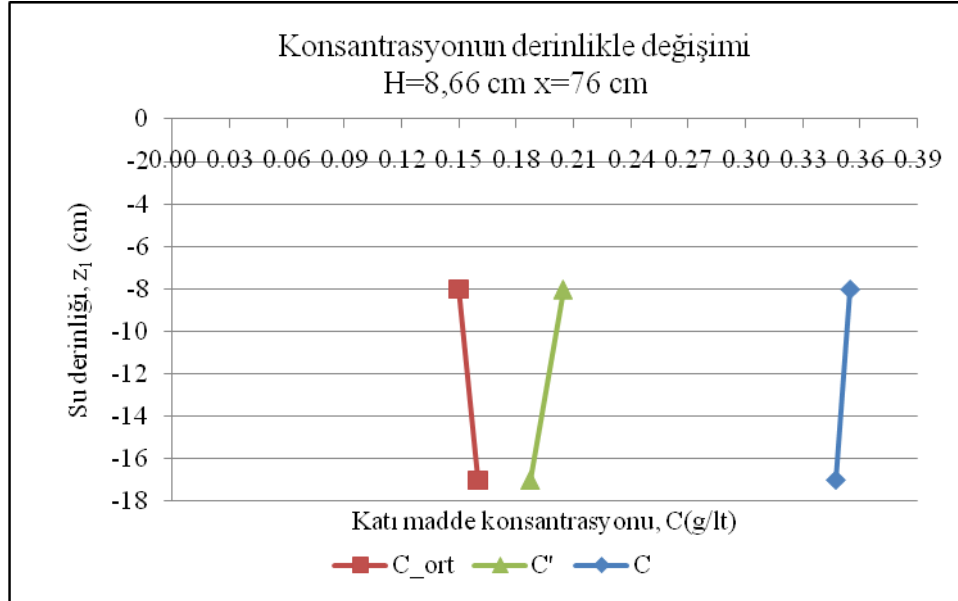
Şekil 5.22 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=8,66 cm x=76 cm).

Şekil 5.23 ise x=76cm'de H=8,66 cm'lik dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisinde oluşan yatay hızlardan çalkantı değeri, u' 'nun yüzeyden $z_1=-24$ cm'ye kadar 1,2 cm/sn değerinde sabit kaldığı, $z_1=-27$ cm'de ise 0,6 cm/sn değerine düştüğü görülmektedir. Toplam yatay hız u ise, yüzeyden $z_1=-17$ cm'ye kadar 1,35 cm/sn'den $z_1=-24$ cm'de 1,2 cm/sn'ye, tabana yaklaştıkça ($z_1=-27$ cm) 0,85 cm/sn'ye düşmüştür. Yatay hızın zamansal ortalaması incelendiğinde derinlik boyunca 0 cm/sn'ye yakın fakat logaritmik artış ve iniş gösteren bir eğriye sahip olduğu görülmektedir. Yüzeye yakın noktada ($z_1=-8$ cm) $\bar{u}$, 0,05 cm/sn gibi oldukça düşük bir hız değerinden $z_1=-17$ cm'ye kadar 0,25 cm/sn değerine yükseldiği, $z_1=-24$ cm'de 0 cm/sn değerine düştükten sonra $z_1=-27$ cm 'de toplam süre içerisinde 0,3 cm/sn'lik bir ortalama hız ile sediment bulutunun ilerlemesine neden olduğu görülmektedir. Maksimum sediment konsantrasyonunun görüldüğü andaki anlık hız değeri u_b ise toplam yatay hız değeri ile paralellik göstererek $z_1=-8$ cm'den $z_1=-17$ cm'ye kadar 0,35 cm/sn değerinde sabit kalmış, daha sonra derinlikle artarak $z_1=-27$ cm'de 2,0 cm/sn değerine ulaşmıştır.



Şekil 5.23 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=8,66 cm x=200 cm).

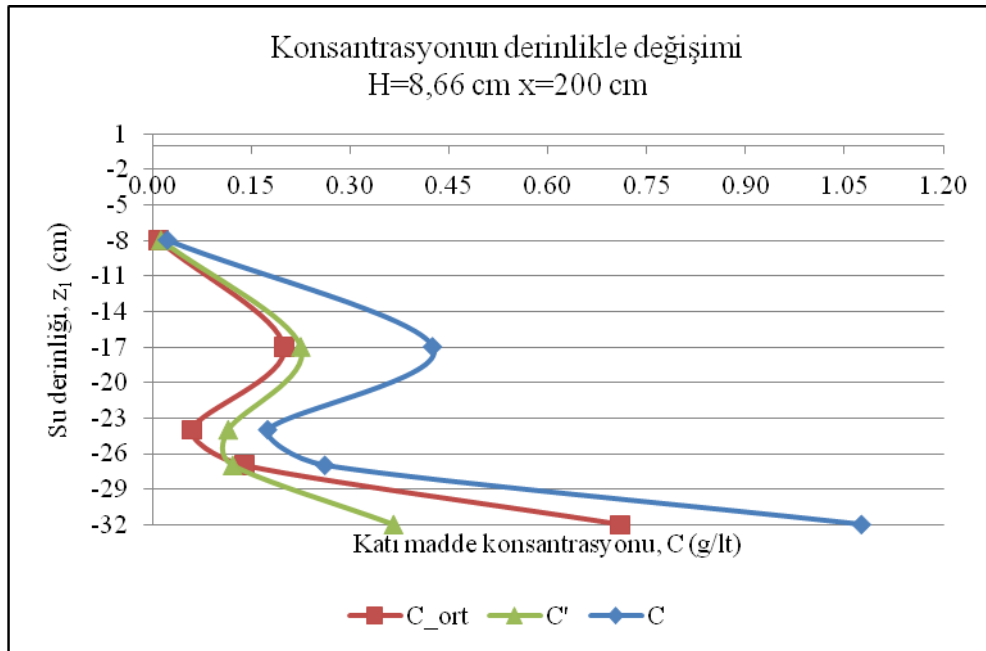
H=8,66 cm dalga yüksekliğine sahip tsunami tipi dalga etkisiyle oluşan askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle değişimini Şekil 5.24'te gösterilmiştir. Buna göre, askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalaması $\bar{C}$ yüzeyde 0,14 g/lt değerinden $z_1=-17$ cm'de 0,17 g/lt değerine ulaşmaktadır. Yatay hıza ait çalkantıların etkisiyle oluşan C' değeri $z_1=-8$ cm'de 0,20 g/lt'den $z_1=-17$ cm'de 0,18 g/lt değerine düşmektedir. Toplam askıda katı madde konsantrasyonunun, C derinlikle değişimi incelendiğinde 0,35 g/lt değerinin derinlik boyunca değişmediği kaydedilmiştir.



Şekil 5.24 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=8,66 cm x=76 cm).

Dalga yüksekliği $H=8,66$ cm olan tsunami tipi dalga etkisiyle oluşan askıda katı madde konsantrasyonunun $x=200$ cm'de derinlikle değişimi Şekil 5.25'te gösterilmiştir. Toplam askıda katı madde konsantrasyonu, C , yüzeyde 0 g/lt değerinden $z_1=-17$ cm'de 0,45 g/lt değerine yatay hızın çalkantı bileşeni etkisiyle oluşan C' değeri ise 0,2 g/lt'ye yükselmektedir. Bununla birlikte askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalaması $\bar{C}$ ise yüzeyde 0 g/lt değerinden $z_1=-17$ cm'de C' ile paralel bir artış göstererek 0,18 g/lt değerine ulaşmaktadır. C , C' ve $\bar{C}$ değerleri $z_1=-24$ cm'de azalan logaritmik bir eğri çizerek sırasıyla 0,2 g/lt, 0,15 g/lt ve 0,10 g/lt değerlerini almaktadır.

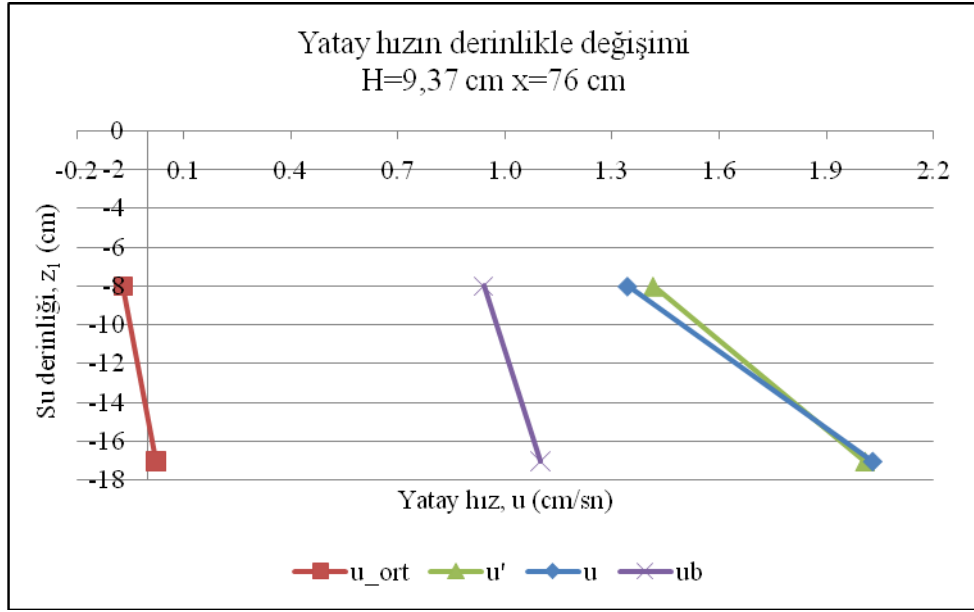
Konsantrasyon değerlerinin tamamı tabana yaklaştıkça artan katı madde çökeltme hızı ile birlikte değişmektedir. Buna göre C , 1,05 g/lt değerine; $\bar{C}$, 0,7 g/lt değerine; C' ise 0,40 g/lt değerine yükselmektedir.



Şekil 5.25 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi ($H=8,66$ cm $x=200$ cm).

Şekil 5.26'da dalga yüksekliği $H=9,37$ cm olan tsunami etkisinde meydana gelen yatay hızların $x=76$ cm'de derinlikle değişimi gösterilmiştir.

Yatay hızın zamansal ortalaması $\bar{u}$ 'nın derinlikle değişimi incelendiğinde $z_1=-8$ cm'de -0,1 cm/sn'lik şeve doğru olan akımın, $z_1=-17$ cm'de 0,05 cm/sn'lik hızla tsunami üreticine doğru yönlendiği görülmektedir.

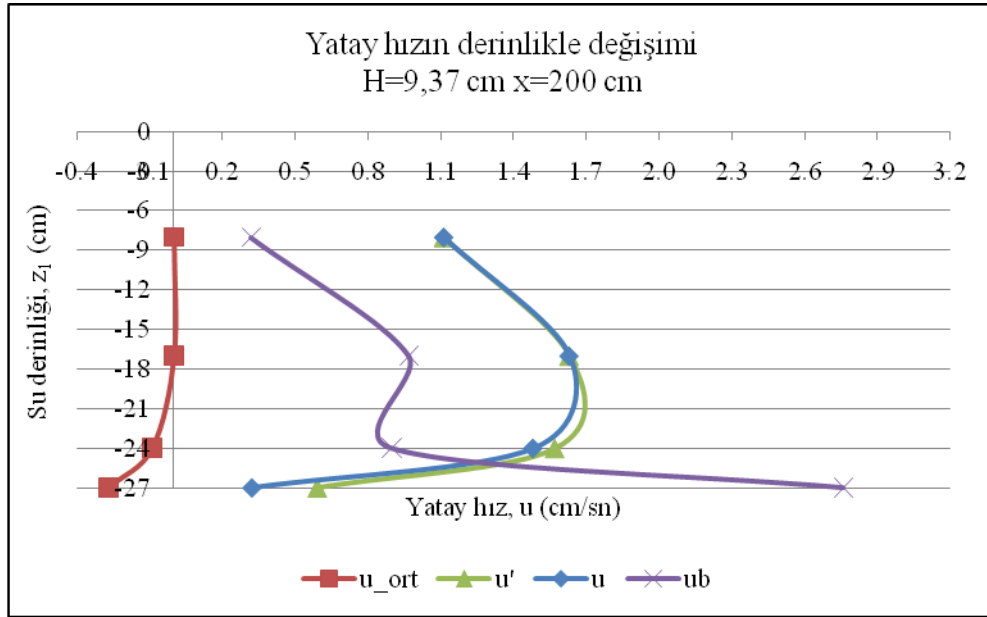


Şekil 5.26 : Yatay hızın derinlikle değişimi ($H=9,37$ cm $x=76$ cm).

Grafikte de görüldüğü gibi, toplam yatay hızın tamamı çalkantı değerinden oluşmaktadır. $z_1=-8$ cm'de $1,3$ cm/sn olan çalkantı değeri $x=76$ cm'de tabana yakın olan noktada $z_1=-17$ cm'de $2,0$ cm/sn'ye ulaşmaktadır. Tabana yaklaştıkça artan çalkantı değeri, tsunaminin geri çekilmesi sırasında meydana gelen çalkantılarla askıda katı madde taşınımının tsunami üreticine doğru yönlenmesine işaret etmektedir.

$x=200$ cm'de $\bar{u}$ 'nin derinlikle değişimi incelendiğinde (Şekil 5.27), 0 cm/sn'den $-0,3$ cm/sn'ye doğru değişen değerin $z_1=-17$ cm ile $z_1=-27$ cm arasında meydana geldiği ve şeve doğru hareketi göstermektedir. Toplam yatay hızın neredeyse tamamının çalkantıdan oluştuğu bu deneyde, toplam yatay hız bileşeni u ise $z_1=-8$ cm'de $1,1$ cm/sn değerinden $z_1=-17$ cm'de $1,65$ cm/sn değerine yükselmektedir. Toplam yatay hızın ve hesaplanan çalkantı değerinin tabana yaklaştıkça $0,25$ cm/sn değerine düşmesi tabanda şeve doğru meydana gelen akımdaki çalkantı etkisinden kaynaklanmaktadır.

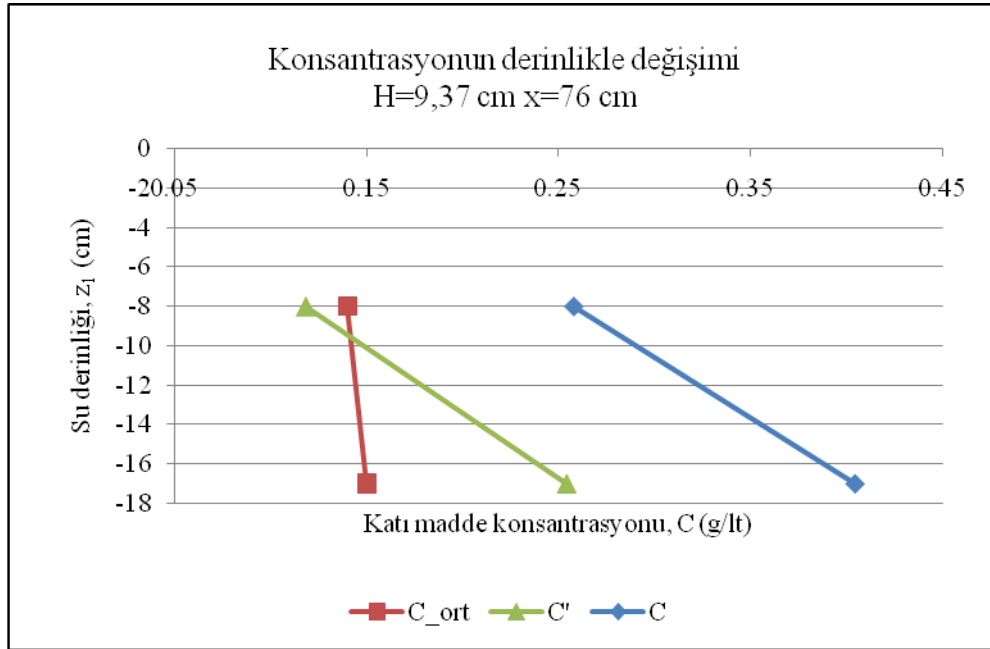
Anlık hız u_b 'nin derinlikle değişimi incelendiğinde $z_1=-8$ cm'de sediment bulutunun tsunami üreticine doğru $0,2$ cm/sn'lik bir akım hızı ile hareket ettiği, bu hızın $z_1=-17$ cm'de $1,0$ cm/sn değerine ulaştığı ve $z_1=-27$ cm'de şeve doğru olan akıma rağmen $2,6$ cm/sn'lik akım ile tsunami üreticine doğru ilerlediği kaydedilmiştir.



Şekil 5.27 : Yatay hızın derinlikle değişimi (H=9,37 cm x=200 cm).

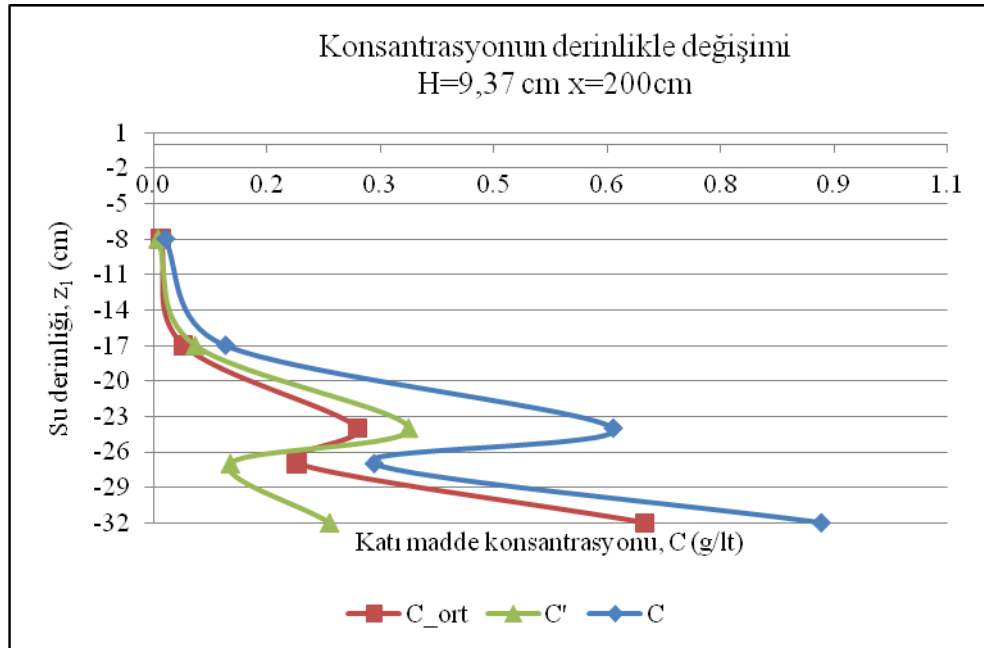
x=76 cm’de H=9,37 cm dalga yüksekliğine sahip tsunami tipi dalga etkisinde ölçülen ve hesaplanan askıda katı madde konsantrasyonu değerlerinin (C , C' ve $\bar{C}$) derinlikle değişimine ait grafikte ise (Şekil 5.28) askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalaması $\bar{C}$ ’nin derinlikle 0,13 g/lt değerinde sabit kaldığı görülmektedir. Bu değer’in düşük olmasının nedeni sediment bulutunun kanal boyunca askıda yatay doğrultuda ilerlerken 1800 saniye boyunca bu noktadaki kaydedilen askıda katı madde konsantrasyonunun da zamanla azalmasıdır.

Toplam katı madde konsantrasyonu, C ise $z_1=-8$ cm’de 0,25 g/lt’den $z_1=-17$ cm’de çökmenin etkisiyle 0,42 g/lt değerine ulaşmaktadır. Bunun yanında askıda katı madde konsantrasyonunun hesaplanan çalkantı değeri, C' , ise x=76 cm’de kaydedilen yatay hızın yüksek çalkantı değerleri ile (Şekil 5.26) askıda katı maddenin $z_1=-8$ cm’de 0,10 g/lt’den taban yaklaştıkça 0,25 g/lt değerine çalkantı etkisiyle yükselmektedir.



Şekil 5.28 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=9,37 cm x=76 cm).

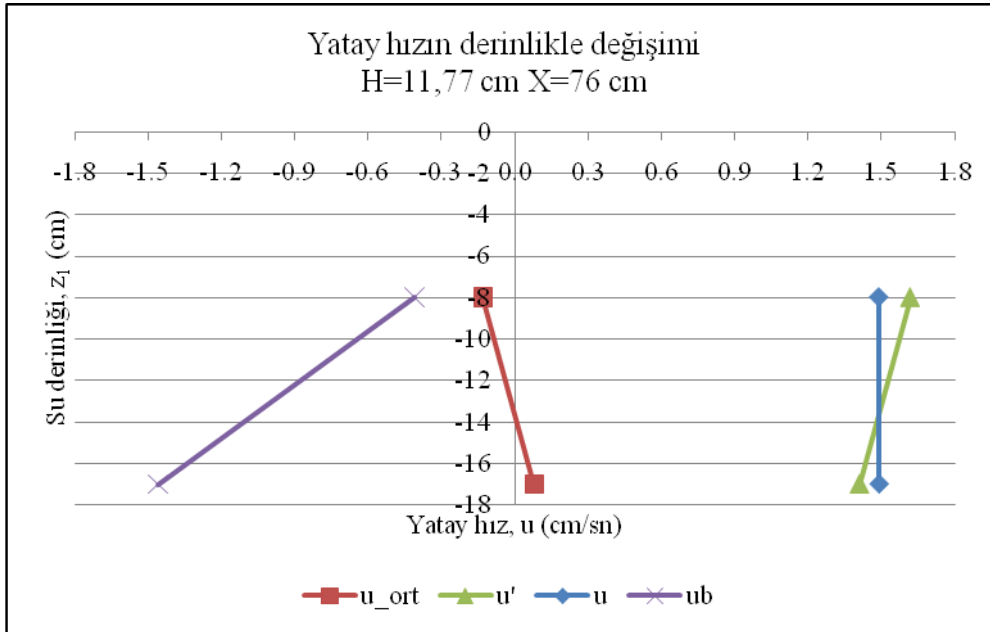
x=200 cm'de H= 9,37 cm'lik tsunami etkisinde sediment bulutunun ölçüldüğü askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle değişimine ait grafik incelendiğinde (Şekil 5.29), Şekil 5.21 ve Şekil 5.25'de görülen H=7,87 cm ve H=8,66 cm'lik dalga yüksekliğindeki tsunami etkisiyle askıda taşınan sedimentin derinlik boyunca dağılımına benzer bir karakterde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.29 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=9,37 cm x=200 cm).

$H = 9,37$ cm'lik tsunami etkisiyle meydana gelen sediment bulutunda toplam askıda katı madde konsantrasyonu, C , derinlikle logaritmik bir artış sergileyerek $z_1 = -24$ cm'de $0,6$ g/lt değerine ulaşmış, $z_1 = -27$ cm'de ise $0,3$ g/lt değerine düşmüştür. Tabana yakın olarak ilerleyen sediment bulutunun oluşturduğu tabakaya ait katı madde konsantrasyon değeri $z_1 = -32$ cm'de $0,9$ g/lt'ye ulaşmıştır. C' ve $\bar{C}$ konsantrasyon değerleri ise toplam katı madde konsantrasyonu ile benzer bir değişim gösterirken, $z_1 = -32$ cm'de $\bar{C}$ $0,7$ g/lt değerine, çalkantı etkisiyle, hesaplanan C' ise $0,25$ g/lt değerinde kalmıştır.

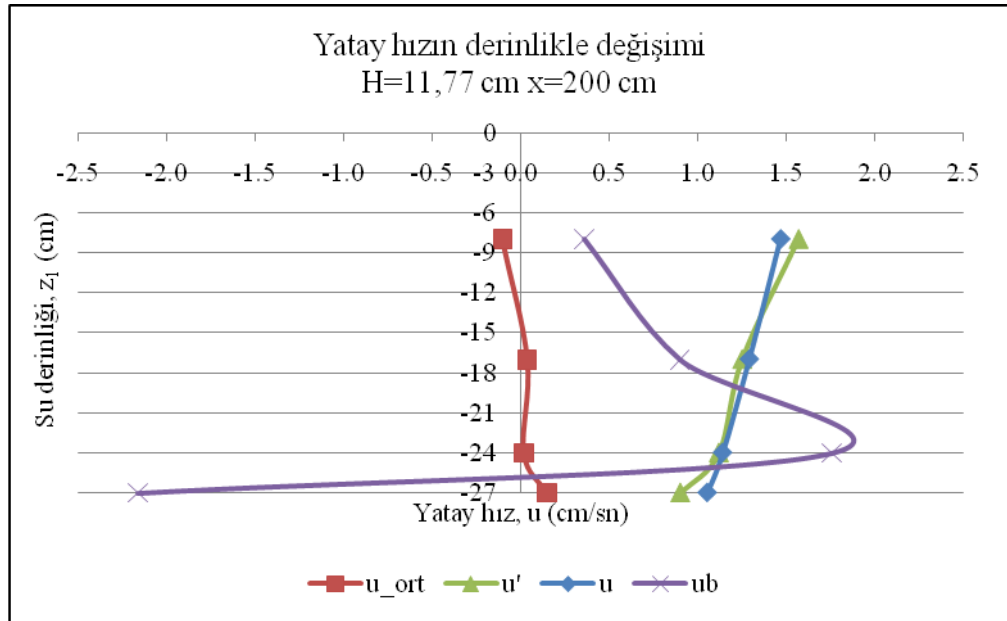
Dalga yüksekliği $H = 11,77$ cm olan tsunami etkisinde oluşan yatay hızın $x = 76$ cm'de derinlikle değişimi incelendiğinde (Şekil 5.30), yatay hızın zamansal ortalaması $\bar{u}$ 'nın $z_1 = -8$ cm'de $-0,15$ cm/sn değerinden tabana yaklaştıkça ters bir akım etkisiyle tsunami üreticine doğru $0,15$ cm/sn'lik bir akım değerine ulaştığı görülmektedir. Grafiğe göre toplam yatay hızın derinlik boyunca $1,5$ cm/sn'lik değerinde sabit kaldığı, çalkantı değerinin ise $z_1 = -8$ cm'de $1,65$ cm/sn değerinden $z_1 = -17$ cm'de $1,4$ cm/sn değerine düştüğü görülmektedir. Bu dalga yüksekliğine sahip tsunaminin yarattığı akım yine yatay hızın çalkantı değerinden oluşmaktadır. Anlık yatay hız değeri u_b ise $z_1 = -8$ cm'de $-0,3$ cm/sn'den $z_1 = -17$ cm'de $-1,5$ cm/sn'lik şeve doğru bir akım etkisiyle sediment bulutunu şeve doğru yönlendirmektedir.



Şekil 5.30 : Yatay hızın derinlikle değişimi ($H = 11,77$ cm $x = 76$ cm).

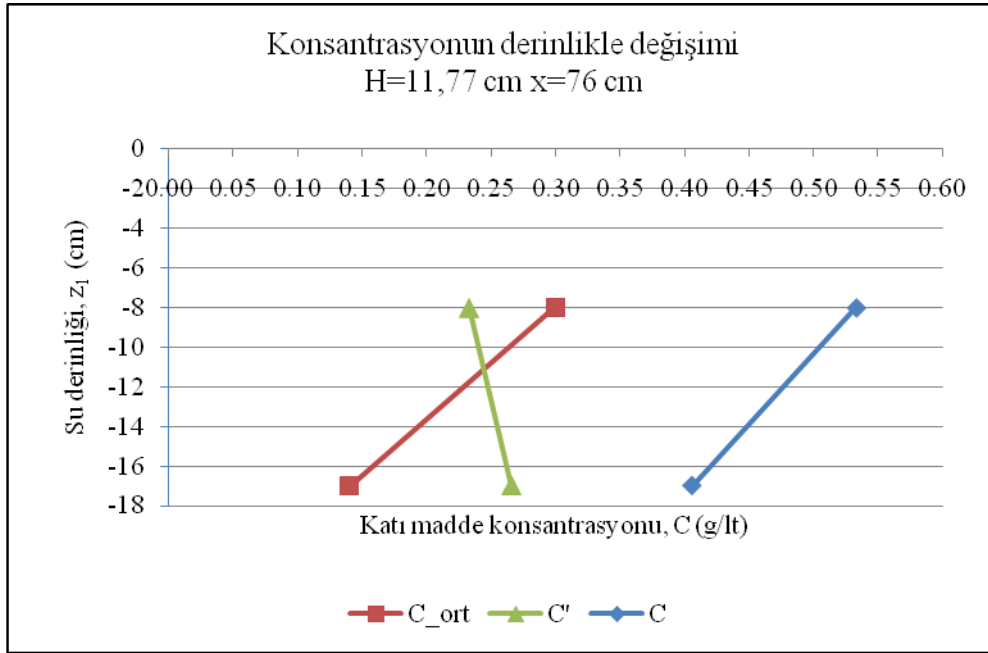
Şekil 5.31’de görülen grafiğe göre, elde edilen $H=11,77$ cm dalga yüksekliğindeki tsunamiye ait yatay hızlar incelendiğinde yatay hızın zamansal ortalamasının, $\bar{u}$, ise $z_1=-8$ cm’de $-0,2$ cm/sn değeri ile şeve doğru yönlendiği, $z_1=-17$ cm’de tsunami üreticine doğru $0,02$ cm/sn’lik bir hıza ulaştığı, $z_1=-24$ cm’de boyunca 0 cm/sn’de sabit kaldığı ve son olarak tabana yaklaşıldığında $0,2$ cm/sn’lik bir akım hızıyla yine tsunami üreticine doğru yönlendiği görülmektedir.

Tsunami etkisiyle meydana gelen akım hızlarından toplam yatay hız, u ’nun çalkantı değerinden(u') oluştuğu görülmektedir. $z_1=-8$ cm’de $1,5$ cm/sn’lik bir akım hızıyla dalga üreticine oluşan akımın tabana yaklaştıkça $1,0$ cm/sn değerine düştüğü görülmektedir. Sediment bulutuna ait anlık yatay hız u_b ’nin ise $z_1=-8$ cm’de $0,35$ cm/sn’den $z_1=-24$ cm’ye kadar lineer bir artış göstererek $1,7$ cm/sn’lik değere ulaştığı, daha sonra tabana doğru $z_1=-27$ cm’de $-2,2$ cm/sn’lik şeve doğru bir akım etkisi ile askıda katı madde taşınımına işaret etmektedir.



Şekil 5.31 : Yatay hızın derinlikle değişimi ($H=11,77$ cm $x=200$ cm).

Şekil 5.32’ de ise $x=76$ cm’de $H=11,77$ cm’lik dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisiyle taşınan/yayılan sediment bulutunua ait askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.32 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=11,77 cm x=76 cm).

Grafikte askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalaması $\bar{C}$ 'nin $z_1=-8$ cm'de 0,3 g/lt değerinden $z_1=-17$ cm'de 0,15 g/lt'ye düştüğü görülmektedir. Hesaplanarak elde edilen askıda katı madde çalkantı konsantrasyonu değeri, C' ise $z_1=-8$ cm'de 0,22 g/lt'den $z_1=-17$ cm'de 0,27 g/lt'ye yükselmektedir. Böylelikle toplam askıda katı madde konsantrasyonu, C , -8 cm'de 0,55 g/lt değerinden $z_1=-17$ cm'de 0,42 g/lt değerine düştüğü görülmektedir.

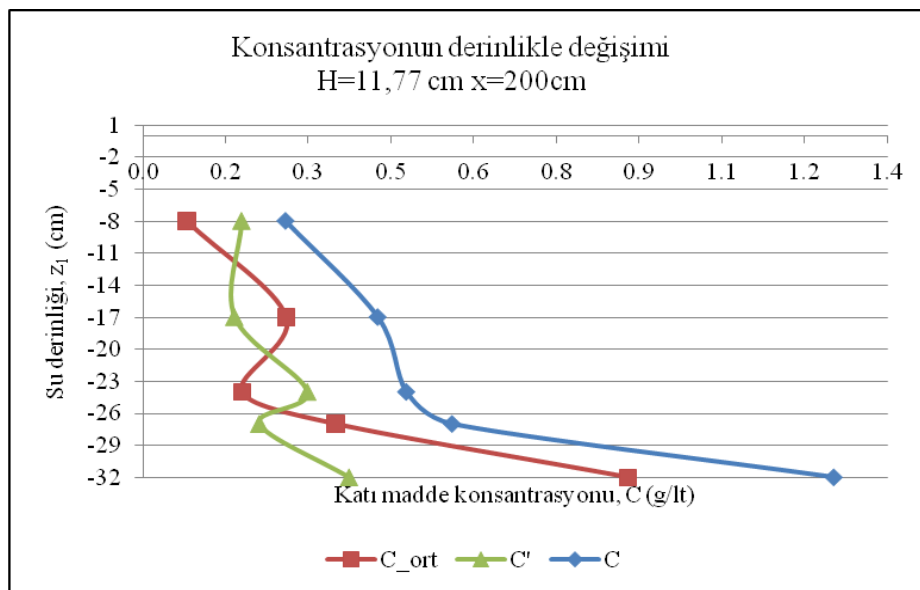
Bu tsunami tipi dalga, deneysel çalışmada belirlenen 13 farklı dalga yüksekliğine sahip dalgalar arasında en büyük dalga yüksekliğine sahip iki dalgadan biridir.

Tekil dalgalarda eğime göre dalga kırılma şartı, Grilli ve diğ. (1997) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir. S , şev eğimi olmak üzere;

$$S_0 = 1,521 \cdot \frac{s}{\sqrt{\frac{H}{d}}} \quad (5.1)$$

Buna göre $S_0 > 0,37$ olduğu durumlarda dalga kırılmamaktadır. Bu dalga yüksekliği ve $x=76$ cm'de 22 cm'lik su yüksekliği ile hesaplanan H/d değeri tekil dalgaların kırılma şartı olan $S_0=0,37$ 'den büyük olmasına rağmen ($S_0=0,44$) oluşturulan dalga, birincil dalganın ardından gelen ve kuyruk olarak adlandırılan ikincil ve üçüncül dalgaların etkisiyle süperpoze olmakta ve üretilen birincil dalgaya ait su sütununun yarattığı kuvvetin etkisini sönümlemektedir. Bu nedenle dalga yüksekliği büyük

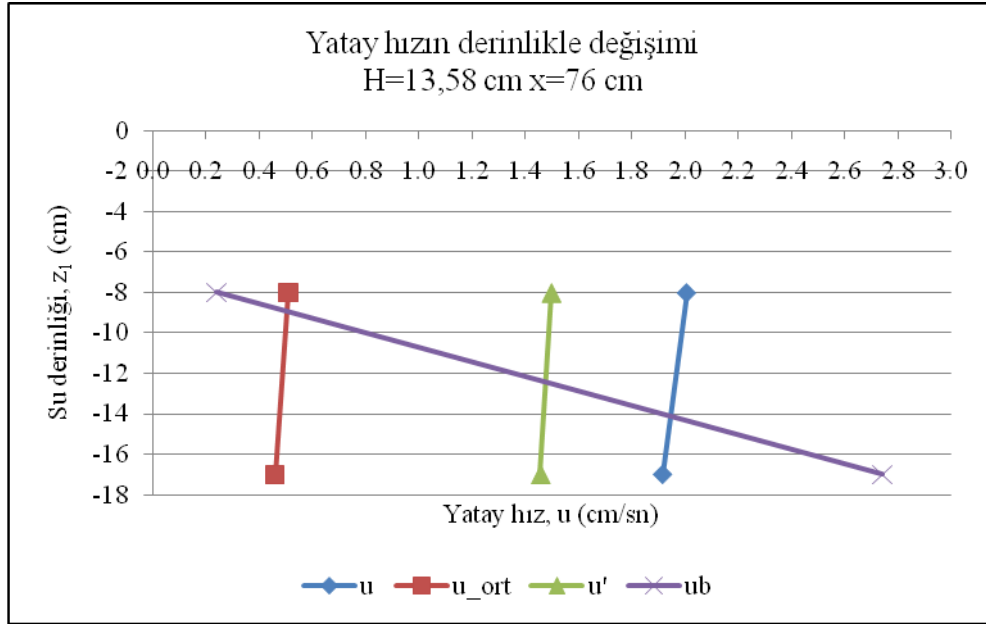
olmasına rağmen meydana gelen süperpozisyon nedeniyle, deneyler sırasında oluşturulan en küçük dalga yüksekliğine sahip iki tsunami tipi dalgadakine (Şekil 5.2 ve Şekil 5.6) benzer karakterde bir yatay hız profiline sahip olmaktadır. Süperpoze olarak tsunami üreticine doğru ilerleyen dalga, arkadan gelen ve şev üstünde tırmanma halinde olan su kütlelerinin sahip olduğu kuvveti aşamamakta bu nedenle tabana yakın olan bölgede yatay hız değerleri yüzeye yakın olan bölgeye kıyasla daha düşük kalmaktadır. Benzer durum $H=13,58$ cm'lik (Şekil 5.34) en büyük dalga yüksekliğine sahip tsunami ile yapılan deneyler sırasında da kaydedilmiştir. Şekil 5.33'de $x=200$ cm' de aynı dalga yüksekliği için sediment konsantrasyonunun derinlikle değişimi gösterilmiştir. Grafikte toplam askıda katı madde konsantrasyonu, C 'nin -8 cm'de $0,25$ g/lt olduğu daha sonra derinlikle orantılı olarak artarak $0,6$ g/lt'ye çıktığı görülmektedir. Tabana yaklaştıkça ise yine askıda katı maddenin zamanla çökmesi nedeniyle $1,2$ g/lt'lik yüksek konsantrasyon değerlerine ulaştığı görülmektedir. Konsantrasyonun çalkantı değeri, C' 'nin $x=200$ cm'de derinlikle değişimi incelendiğinde ise $z_1=-8$ cm'de $0,2$ g/lt'den $z_1=-24$ cm'de $0,3$ g/lt'ye yükseldiği görülmektedir. Bu değer $z_1=-27$ cm'de geriye doğru oluşan yatay hıza ait çalkantıların etkisiyle $0,2$ g/lt'ye düştükten sonra tekrar $0,3$ g/lt değerine yükselmiştir. $x=200$ cm'de askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalamasının -8 cm'de $0,1$ g/lt'lik konsantrasyon değeri $z_1=-17$ cm'de $0,28$ g/lt değerine yükselmiştir. Bu değer $z_1=-24$ cm'de $0,2$ g/lt'ye düşmüş, sediment bulutunu oluşturan askıda katı maddenin çökmesiyle $0,88$ g/lt değerine yükselmiştir.



Şekil 5.33 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi ($H=11,77$ cm $x=200$ cm).

$H=13,58$ cm'lik dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisinde oluşan yatay hız bileşenlerinin (u , u' ve $\bar{u}$) $X=76$ cm'de derinlikle değişimi Şekil 5.34'te incelenmiştir.

Buna göre; yatay hızın zamansal ortalamasının, $\bar{u}$, 0,5 cm/sn değerinde, hesaplanan çalkantı değeri, u' 'nin 1,5 cm/sn'de, yatay hız bileşeni u 'nun ise 2 cm/sn'de derinlik boyunca sabit kaldığı görülmektedir.

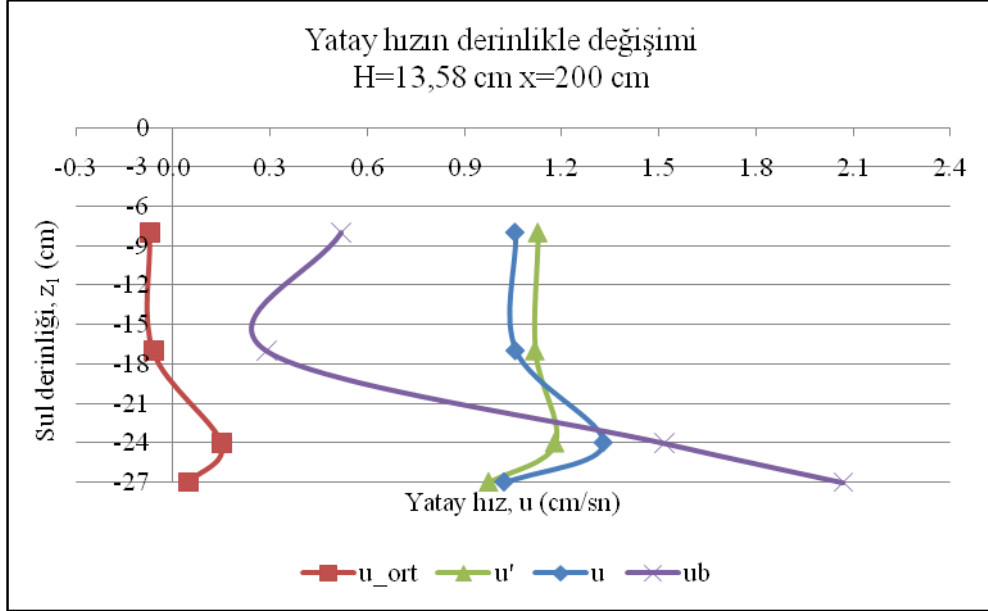


Şekil 5.34 : Yatay hızın derinlikle değişimi ($H=13,58$ cm $x=76$ cm).

Sediment bulutunun yatayda ilerleme hızı u_b ise $z_1=-8$ cm'de 0,2 cm/sn'den $z_1=-17$ cm'de 2,8 cm/sn değerine yükselerek tsunami üreticine doğru hareketi işaret etmektedir.

Bu tsunami tipi dalga, deneysel çalışmada belirlenen dalgalar arasında en büyük dalga yüksekliğine sahiptir. Birincil dalganın ardından gelen ve kuyruk olarak adlandırılan ikincil ve üçüncül dalgaların etkisiyle süperpoze olmakta ve üretilen birincil dalgaya ait su sütununun yarattığı kuvvetin etkisini sönmölemektedir. Süperpoze olarak tsunami üreticine doğru ilerleyen dalga, arkadan gelen ve şev üstünde tırmanma halinde olan su kütleinin sahip olduğu kuvveti aşamamakta bu nedenle tabana yakın olan bölgede yatay hız değerleri yüzeye yakın olan bölgeye kıyasla daha düşük kalmaktadır.

Şekil 5.35'te ise $x=200$ cm'de hız bileşenlerinin derinlikle değişimi incelenmiştir. Grafikte, $\bar{u}$ 'nin 0 cm/sn'de u ve (u') 'nin 1 cm/sn de $z_1=-8$ cm'den $z_1=-17$ cm'ye kadar sabit kaldığı görülmektedir.

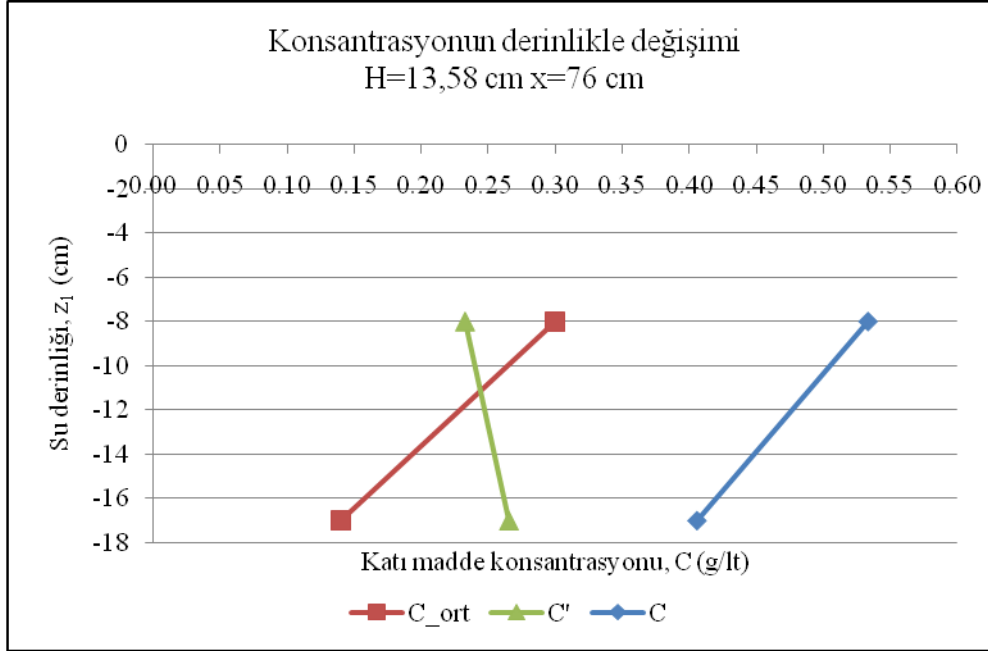


Şekil 5.35 : Yatay hızın derinlikle değişimi ($H=13,58$ cm $x=200$ cm).

Ayrıca grafikte, yüzeyden $z_1=-17$ cm'ye kadar toplam yatay hız u ve çalkantı bileşeni u' 'nin 1 cm/sn değerinde, yatay hızın zamansal ortalaması $\bar{u}$ 'nin ise -0,1 cm/sn civarında sabit kaldığı görülmektedir. Elde edilen dalganın tsunami üreticinde aşağı doğru bir ivme ile oluşturulması nedeniyle, toplam yatay hız, u ve çalkantı bileşeni, u' , $z_1=-24$ cm'de 1,2 cm/sn'lik akım hızı ile bir artış gösterirken, tabana yaklaşıldığında meydana gelen geriye doğru akım etkisiyle 0,9 cm/sn'ye düştüğü görülmektedir. Maksimum konsantrasyonun görüldüğü andaki anlık yatay hız u_b 'nin derinlikle değişimi incelendiğinde tsunami üreticine doğru $z_1=-8$ cm'de 0,55 cm/sn'lik akım $z_1=-17$ cm'de 0,3 cm/sn değerine düşmekte, tabana yaklaştıkça deneysel çalışmalar boyunca üretilen diğer tsunami tipi dalgalarla kıyasla 2,0 cm/sn gibi yüksek bir akım etkisiyle sediment bulutunu taşımaktadır.

$H=13,58$ cm'lik dalga etkisinde kanal boyunca taşınan/yayılan sediment bulutuna ait askıda katı madde konsantrasyonu bileşenlerinin (C , C' ve $\bar{C}$) derinlikle değişimi Şekil 5.36'da gösterilmiştir. Grafiğe göre askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalaması, $\bar{C}$ 'nin -8 cm'de 0,3 g/lt değerinden 0,12 g/lt'ye düştüğü,

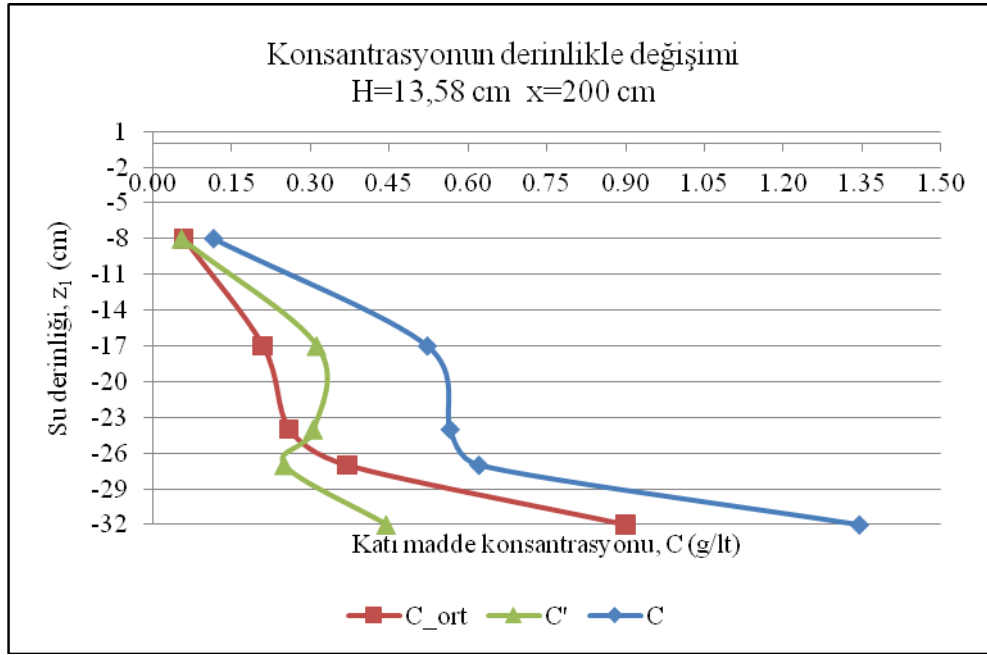
çalkantı bileşeni etkisiyle yayılan C'' 'nin $z_1=-8$ cm'de 0,22 g/lt'den $z_1=-17$ cm'de 0,25 g/lt'ye yükseldiği görülmektedir.



Şekil 5.36 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=13,58 cm x=76 cm).

Hesaplamalarda elde edilen yatay hızın çalkantı değeri etkisiyle meydana gelen sediment bulutunun hesaplanan çalkantı değeri C' ve askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalaması $\bar{C}$ 'nin toplamı olan askıda katı madde konsantrasyonu, C 'nin -8 cm'de 0,55 g/lt'den $z_1=-17$ cm'ye 0,40 g/lt'ye düştüğü gözlenmiştir.

Dalga yüksekliği H=13,58 cm olan tsunami etkisiyle x=200 cm'de askıda katı madde konsantrasyonu değerleri incelendiğinde (Şekil 5.37), toplam askıda katı madde konsantrasyonu, C ve yatay hızın çalkantı bileşeni etkisiyle oluşan C'' 'nin yüzeyden itibaren 0,1 g/lt'den kanal derinliği boyunca tabana yaklaştıkça arttığı, bu artış eğiliminin dalga yüksekliği H=11,77 cm olan tsunami etkisiyle meydana gelen askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle değişimi ile (Şekil 5.33) benzeştiği de görülmektedir.



Şekil 5.37 : Konsantrasyonun derinlikle değişimi (H=13,58 cm x=200 cm).

Grafikte $x=200\text{cm}$ 'de $z_1=-8\text{ cm}$ 'de askıda katı madde konsantrasyonunun zamansal ortalamasının $0,1\text{ g/lt}$ 'den tabana yaklaştıkça arttığı ve tabana en yakın ölçüm noktası olan $z_1=-32\text{ cm}$ 'de $0,9\text{ g/lt}$ değerine ulaştığı görülmektedir. Toplam askıda katı madde konsantrasyonunun derinlikle değişiminin ise çalkantı bileşenleri etkisiyle yayılan C' 'nin etkisinde olduğu ve yüzeye en yakın nokta olan $z_1=-8\text{ cm}$ 'de $0,12\text{ g/lt}$ değerinden taban yaklaştıkça $1,35\text{ g/lt}$ değerine yükseldiği kaydedilmiştir.

5.3 Askıda Katı Madde Miktarının Hesaplanması

Birim alandan geçen katı madde miktarı katı madde debisi olarak ifade edilmektedir. Askıda katı madde debisi birim genişlik için z_1 derinliğiyle ifade edilen birim alan (A) ile yatay ve düşey hızların (u ve w) konsantrasyon değerleriyle çarpılması sonucunda hesaplanır. Kıyı çizgisinden 76 cm ileride derinlik boyunca, $z_1=-17\text{ cm}$ ve -8 cm 'de ve 200 cm ileride, derinlik boyunca -27 cm , -24 cm , -17 cm ve -8 cm 'de ADV ile u, v, w olmak üzere 3 boyutlu akım hızı kayıtları alınmıştır. Yapılan çalışmada 2 boyutlu eksen düzeneği esas alındığından katı madde debisinin hesaplanmasında ADV ile alınan kayıtlar ExploreV programı yardımıyla çözümlenmiş, askıda katı madde debileri 2 boyutlu olarak hesaplanmıştır.

Deney setinde belirtilen her bir dalga yüksekliği için 1800 saniye boyunca alınan askıda katı madde konsantrasyonu kayıtları ile yatay ve düşey hız bileşenleri yardımıyla toplam katı madde debisi hesaplanmıştır.

Toplam taşınan askıda katı madde debisinin hesaplanmasında ADV'den alınan yatay ve düşey hız bileşenleri ile OPCON'dan alınan 1800 saniyelik veriler için derinlik boyunca integrasyon uygulayarak $x= 76$ cm ve $x= 200$ cm için birim alandan geçen toplam Q_s (g/sn) katı madde debisi hesaplanmıştır.

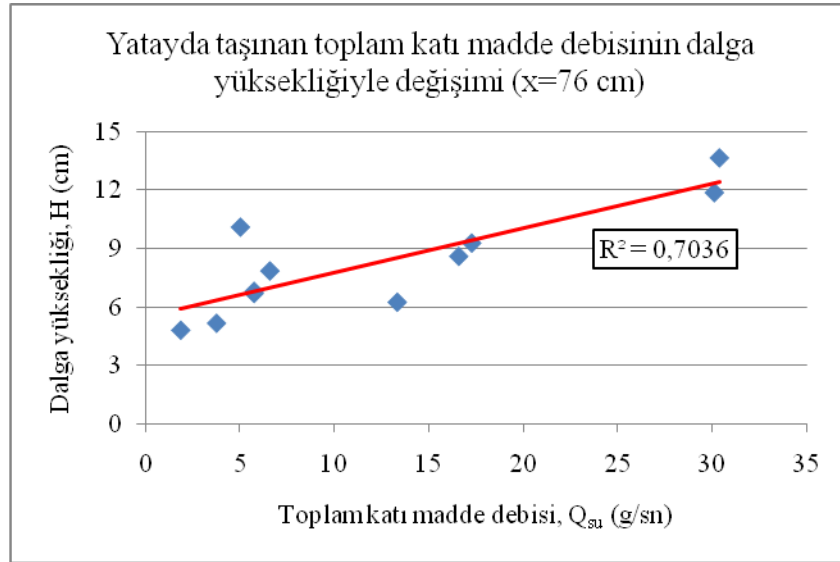
$$Q_{su} = \int_{z_1=8}^{z_1=27} u \cdot C \cdot dz_1 \cdot 1 \quad \text{ve} \quad Q_{sw} = \int_{z_1=8}^{z_1=27} C \cdot w \cdot dz_1 \cdot 1 \quad (5.2)$$

formülü kullanılmıştır. Dalga yüksekliğine bağlı olarak adveksiyon etkisiyle askıda katı madde debisi tablo halinde gösterilmiştir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2 : Toplam taşınan katı madde debisi.

X (cm)	76		200	
H	Q_{su}	Q_{sw}	Q_{su}	Q_{sw}
cm	g/sn	g/sn	g/sn	g/sn
4.82	1.85	2.43	2.87	0.69
5.18	3.75	3.74	18.91	8.15
6.26	13.31	2.92	9.49	1.16
6.71	5.74	5.43	5.85	1.48
6.82	5.74	2.74	13.92	3.94
7.87	6.57	2.57	8.05	2.32
8.62	16.57	3.58	7.81	1.63
9.30	17.26	4.55	46.17	12.58
10.12	5.01	4.82	18.91	8.15
11.89	30.10	10.15	63.06	9.92
13.68	30.37	7.63	48.76	10.74

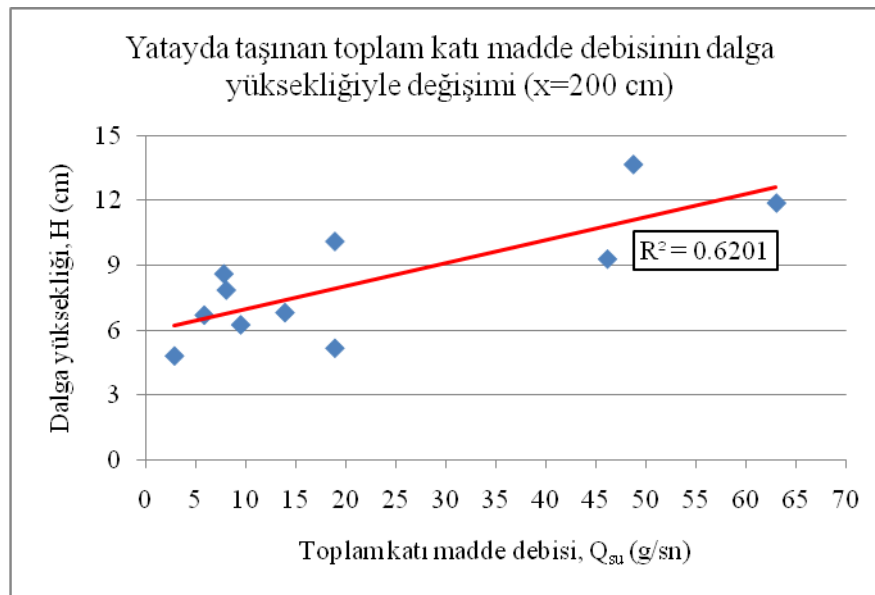
Toplam yatayda ve düşey doğrultuda hızların etkisiyle taşınan katı madde debisinin dalga yüksekliğiyle değişimi Şekil 5.38 ile Şekil 5.41 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5.38 : Yatay doğrultuda taşınan katı madde debisi (x=76 cm).

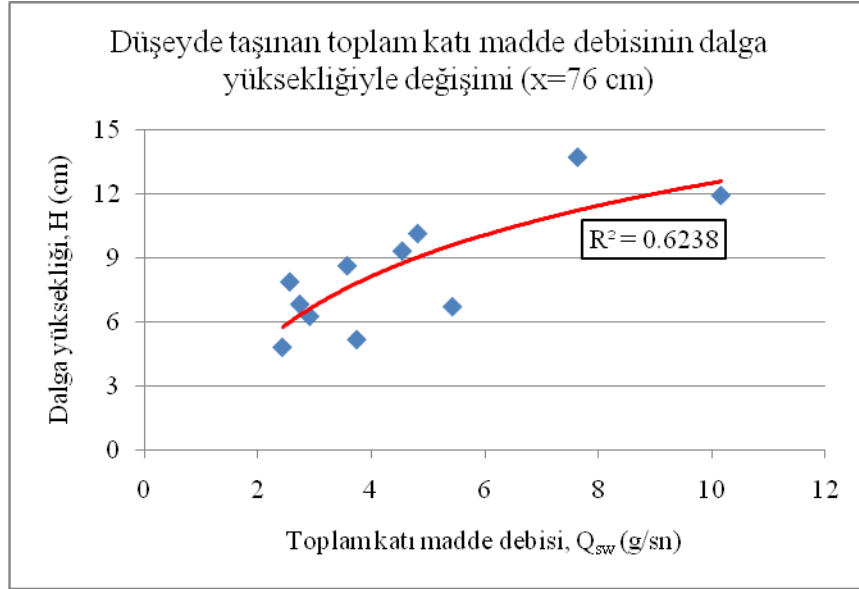
1800 saniyelik toplam yatay hız bileşenleri etkisiyle katı madde taşınımı incelendiğinde x=76 cm’de yatay hız bileşenleri etkisiyle kanal boyunca taşınan katı madde debisinin dalga yüksekliğiyle değişimi Şekil 5.38’de gösterilmiştir. Buna göre yatay doğrultuda taşınan katı madde debisi dalga yüksekliğiyle doğrusal olarak artmaktadır ($R^2=0.70$).

x=200 cm’de yatay hız bileşenleri etkisiyle kanal boyunca taşınan katı madde debisinin dalga yüksekliğiyle değişimi Şekil 5.39’da gösterilmiştir. Buna göre yatay doğrultuda taşınan katı madde debisi dalga yüksekliğiyle doğrusal olarak artmaktadır ($R^2=0.62$).



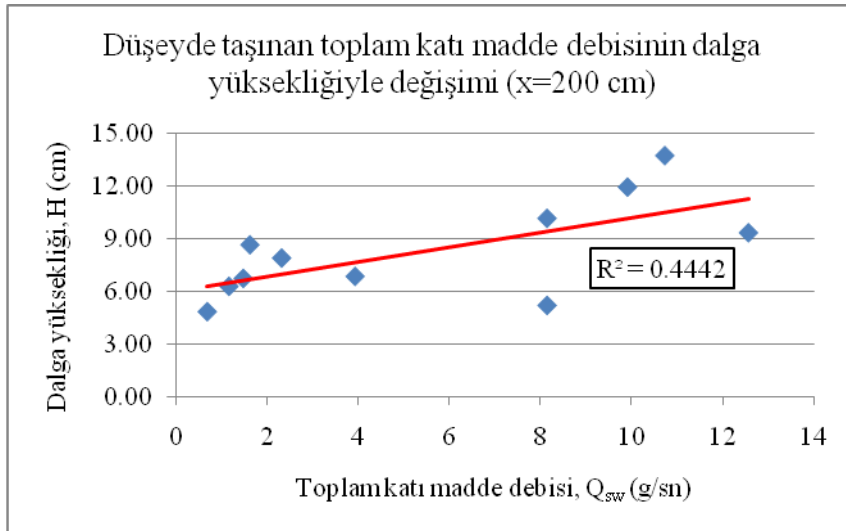
Şekil 5.39 : Yatay doğrultuda taşınan katı madde debisi (x=200 cm).

$x=76$ cm’de düşey hız bileşenleri etkisiyle kanal boyunca taşınan katı madde debisinin dalga yüksekliğiyle değişimi ise Şekil 5.40’da gösterilmiştir. Buna göre düşey doğrultuda taşınan katı madde debisi dalga yüksekliğiyle logaritmik olarak artmaktadır ($R^2=0.62$).



Şekil 5.40 : Düşey doğrultuda taşınan katı madde debisi ($x=76$ cm).

$x=200$ cm’de düşey hız bileşenleri etkisiyle kanal boyunca taşınan katı madde debisinin dalga yüksekliğiyle değişimi ise Şekil 5.41’de gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi kaydedilen düşük korelasyon değerleri ($R^2=0.44$) bu iki parametrenin arasındaki ilişkinin ortaya konulabilmesi için daha fazla veriye ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 5.41 : Düşey doğrultuda taşınan katı madde debisi ($x=200$ cm).

5.4 Ampirik Denklemlerin Elde Edilmesi

Tsunami etkisiyle sediment taşınımının hidrodinamik yapısının matematiksel olarak ifade edilebilmesi için amprik denklemlerden faydalanılabilmektedir. Amprik denklemler bu hidrodinamik etkinin uzunluk, ağırlık, zaman gibi boyutlardan bağımsız olarak tanımlanabilmesine imkan vermektedir.

Bu amaç doğrultusunda hazırlanan deney düzeneği ile belirli noktalardan ve derinliklerden belirli koşullar altında ve sabit kabul edilen koşullar altında elde edilen hız ve konsantrasyon verilerinin boyut analizi uygulamasıyla boyutsuzlaştırılması sağlanmış, daha sonra verilerde deneysel veya kullanıcı koşullarından kaynaklanan hataların eliminasyonu sağlanmıştır.

Veri eliminasyonunda, deneysel sonuçların eliminasyonunun yapılmasında yaygın olarak kullanılan *Chauvenet testi* uygulanmıştır. Elimine edilen veriler daha sonra doğrusal regresyon yöntemi ile tsunami etkisiyle oluşan sediment bulutunun hidrodinamik yapısının matematiksel olarak ifade edildiği amprik denklem gruplarının oluşturulmasında kullanılmıştır.

5.4.1 Boyut analizi uygulaması

Tsunami etkisiyle meydana gelen sediment taşınımında etkin parametreler aşağıdaki gibi listelenmiştir. Amprik denklemlerin bulunabilmesi için Buckingham PI teoremi uygulanarak boyutsuz büyüklükler elde edilmiş, MKS ölçü birimi kullanılmıştır. Aşağıdaki tabloda da görüldüğü gibi (Çizelge 5.3) 14 temel parametre için 3 temel büyüklük (K,L,T) kullanılarak temel olarak 11 adet boyutsuz büyüklük elde edilmiştir. Ayrıca etkin parametreler ile elde edilen boyutsuz büyüklükler birbiriyle oranlanarak yeni boyutsuz büyüklükler elde edilerek toplam 15 adet Pi sayısına ulaşılmıştır.

Çizelge 5.3 : Tsunami etkisiyle meydana gelen sediment taşınımında temel parametreler.

Parametre	Sembol	Birim	Boyut
Dalga yüksekliği	H	m	L
Maksimum sediment konsantrasyonu	C_{maks}	g/lt	$K.L^{-3}$
Ortalama sediment konsantrasyonu	C_{ort}	g/lt	$K.L^{-3}$
Sediment bulutunun gözleme dayalı olarak kaydedilen yatayda ilerleme hızı	u_b	cm/sn	$L.T^{-1}$
Kıyı malzemesi dane çapı	D_{50}	cm	L
Kıyı malzemesi birim hacim ağırlığı	γ_k	g/m^3	$K.L^{-3}$
Suyun birim hacim ağırlığı	γ_w	g/m^3	$K.L^{-3}$
Sediment çökme hızı	w_s	mm/sn	$L.T^{-1}$
Kanal derinliği	d	m	L
Yerçekimi ivmesi	g	m/sn^2	$L.T^{-2}$
Dinematik viskozite	μ	$kg.sn/m^2$	$K.T.L^{-2}$
Sakin su seviyesinin kıyıyı kestiği noktadan itibaren mesafe	x	m	L
Sakin su seviyesinden tabana doğru olan mesafe	z_1	m	L
Eğim	β	-	-

Buna göre elde edilen boyutsuz pi sayıları Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 : Amprik denklemde kullanılan boyutsuz büyüklükler.

$\pi_1 = \frac{H}{d}$	$\pi_2 = \frac{d^2 C_{maks}}{\mu u_b}$	$\pi_3 = \frac{d^2 C_{ort}}{\mu u_b}$	$\pi_4 = \frac{w_s}{u_b}$
$\pi_5 = \frac{d^2 \gamma_k}{\mu u_b}$	$\pi_6 = \frac{d^2 \gamma_{su}}{\mu u_b}$	$\pi_7 = \frac{z_1}{d}$	$\pi_8 = \frac{g \cdot d}{u_b^2}$
$\pi_9 = \frac{x}{d}$	$\pi_{10} = \tan \beta$	$\pi_{11} = \frac{D}{d}$	$\pi_{12} = \frac{\pi_1}{\pi_{11}} = \frac{H}{D}$
$\pi_{13} = \frac{\pi_2}{\pi_3} = \frac{C_{maks}}{C_{ort}}$	$\pi_{14} = \frac{\pi_5}{\pi_6} = G_{sb} = \frac{\gamma_k}{\gamma_{su}}$	$\pi_{15} = \frac{\pi_9}{\pi_7} = \frac{x}{z_1}$	

u_b/w_s olarak ifade edilen boyutsuz büyüklükte; u_b tsunami etkisiyle ilerleyen sediment bulutunun maksimum konsantrasyona ulaştığı andaki ilerleme hızını temsil etmektedir. w_s , katı madde çökme hızı olmak üzere, Bölüm 2’de ifade edildiği gibi Reynolds sayısı ve dane çapının (D_{50}) bir fonksiyonu olarak elde edilir. w_s çökme hızları ise Denklem (2.11) ve Denklem (2.12) kullanılarak tespit edilmiştir.

5.4.2 Veri eliminasyonu

Tsunami etkisiyle oluşan sediment bulutunu ifade edebilecek amprik denklemin elde edilmesinden önce, OPCON ve ADV’den elde edilen mevcut veriler içinde çeşitli nedenlerle meydana gelen hatalardan kaynaklanan yanlış verilerin eliminasyonu yapılmıştır. Deneysel sonuçların eliminasyonunun yapılmasında yaygın olarak kullanılan *Chauvenet testi* uygulanmıştır.

Chauvenet kriteri ortalama değerin her iki yanında aralığının dışında kalan ölçüm sonuçlarının elimine edilmesine gerek olup olmadığını belirlemede kullanılır. Buna göre her bir ölçüm için maksimum sapma/standart sapma oranı (d_{max}/ss) hesaplanmalıdır. Yapılan ölçüm sayısına bağlı olan Chauvenet kriterleri Çizelge 5.5’te verilmiştir. Ölçülen değer Chauvenet kriterinden büyükse o ölçüm analiz dışı tutulmalıdır (Url-9). Bu yöntemle daha güvenilir analiz sonuçları elde edilmiştir.

Çizelge 5.5 : Ölçüm sayısına göre Chauvenet kriterleri.

Ölçüm sayısı	(Chauvenet kriteri) d_{maks}/ss
n	c
2	1.15
3	1.38
4	1.54
5	1.65
6	1.73
7	1.8
10	1.96
15	2.13
25	2.33
50	2.57
100	2.81

Çizelge 5.5’te bulunmayan n ölçüm sayısına göre Chauvenet kriterleri ise Denklem (5.3) yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$c = 0.9969 + 0.404 \cdot \ln(n) \quad (5.3)$$

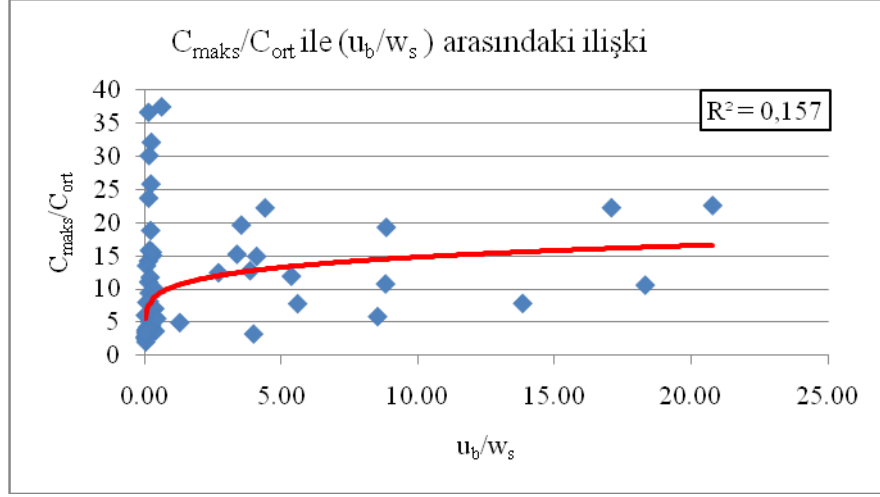
5.4.3 Amprik denklemlerin oluşturulması

Amprik denklemlerin oluşturulmasında tsunami sonrasında meydana gelen sediment bulutunun hidrodinamik özellikleri dikkate alınarak boyutsuz parametreler arasındaki ilişkiye dayanılarak çeşitli ifadeler oluşturulmuştur. Bu boyutsuz parametrelerle, parametrelerin her birinin temsil ettiği fiziksel özellikler genel denklem içindeki önemleri de dikkate alınarak çeşitli farklı versiyonlar şeklinde oluşturulmaya çalışılmıştır. Daha sonra hesaplanan değerler ile ölçülen değerler arasındaki korelasyon katsayıları dikkate alınarak önerilen denkleme ulaşılmıştır.

Bunun dışında ayrıca bütün boyutsuz parametrelerin birbirleriyle olan ilişkisi çoklu regresyon yöntemiyle incelenerek de amprik ifadeye ulaşılmaya çalışılmıştır. Çoklu regresyon yöntemi ile ikili regresyondan farklı olarak birbirleriyle ilişkisi ifade edilememiş büyüklükler için bağımlı değişken üzerinde birden fazla bağımsız değişkenin toplu etkisi araştırılmaktadır.

Elde edilen denklemlerde C_{maks}/C_{ort} değerine en yakın ifade bulunmaya çalışılmıştır. Buna göre C_{maks}/C_{ort} değerlerine karşılık gelen amprik denklem için hazırlanan grafiklerin korelasyon katsayıları incelenmiştir. Chauvenet testi sonucunda elde edilen veriler için gerek boyutsuz büyüklükler arasındaki ilişki dikkate alınarak oluşturulan denklemler gerekse çoklu regresyon yöntemiyle oluşturulan denklemlerin korelasyon katsayılarının $R^2=0,10-0,30$ değerleri arasında olmasından yola çıkılarak, deneysel çalışma sırasında da gözlemlendiği gibi derinlik boyunca 2 farklı tabakanın var olduğu ve bu iki tabakayı tek bir sistem olarak değerlendirmenin yanlış olacağı sonucuna varılmıştır. Bu doğrultuda deneysel sonuçlarla elde edilen boyutsuz parametreler; deney düzeneğinde belirli bir x mesafesinde, z_1 , sakin su seviyesinden tabana doğru ölçüm alınan nokta ve d , su derinliği olmak üzere z_1/d boyutsuz parametresine göre kanal su derinliği boyunca $0,25 < z_1/d < 0,50$ ve $0,70 < z_1/d < 1$ olarak iki ayrı tabakaya ayrılmıştır (Şekil 5.49).

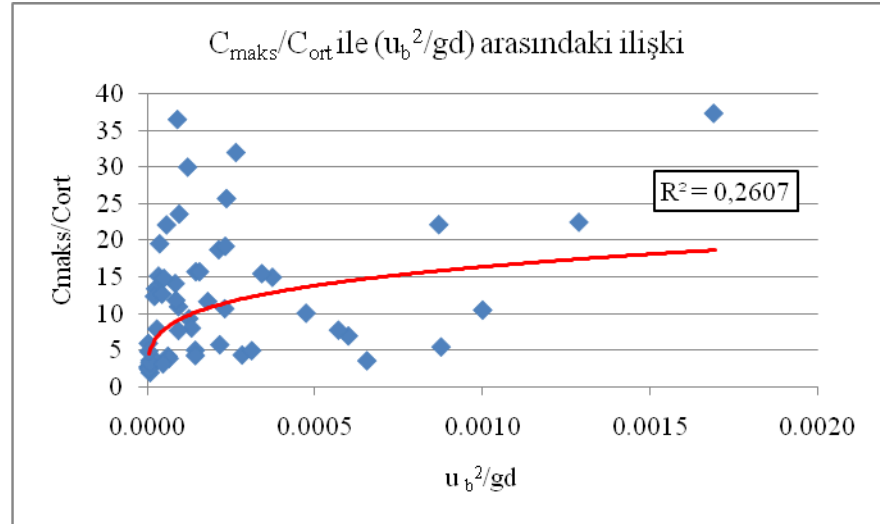
Boyutsuz büyüklüklerin her biri ile C_{maks}/C_{ort} oranı arasındaki ilişki grafiklerle incelenmiştir.



Şekil 5.42 : C_{maks}/C_{ort} ile u_b/w_s arasındaki ilişki.

C_{maks}/C_{ort} ile u_b/w_s boyutsuz büyüklükleri arasındaki ilişki Şekil 5.42’de gösterilmiştir. Elde edilen grafikten de görüldüğü gibi u_b/w_s ile C_{maks}/C_{ort} doğru orantılıdır. Anlık sediment ilerleme hızı arttıkça maksimum askıda katı madde konsantrasyonu da artmaktadır.

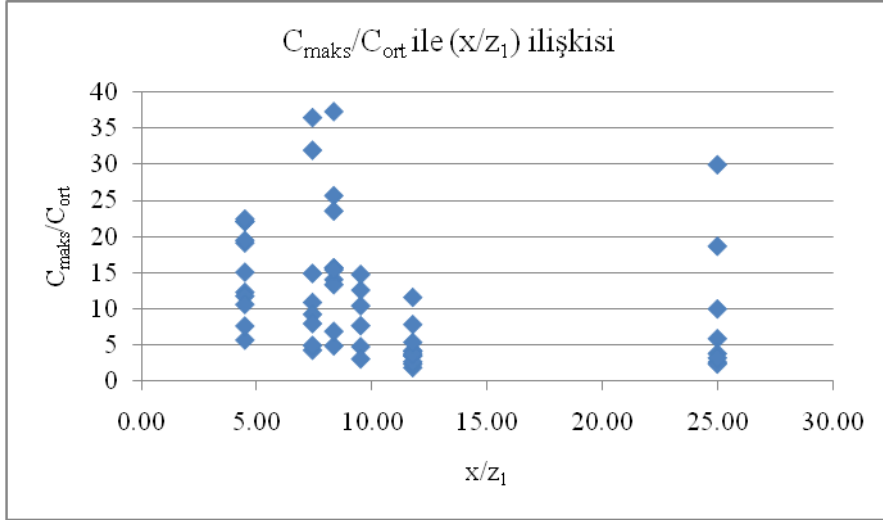
Şekil 5.43’te ise diğer bir boyutsuz büyüklük olan u_b^2/gd ile C_{maks}/C_{ort} arasındaki ilişki gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi C_{maks}/C_{ort} ile u_b^2/gd arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Bu nedenle doğrusal regresyon yöntemiyle oluşturulacak denklemde bu parametre ters olarak ifadede yer alacaktır.



Şekil 5.43 : C_{maks}/C_{ort} ile gd/u_b^2 arasındaki ilişki.

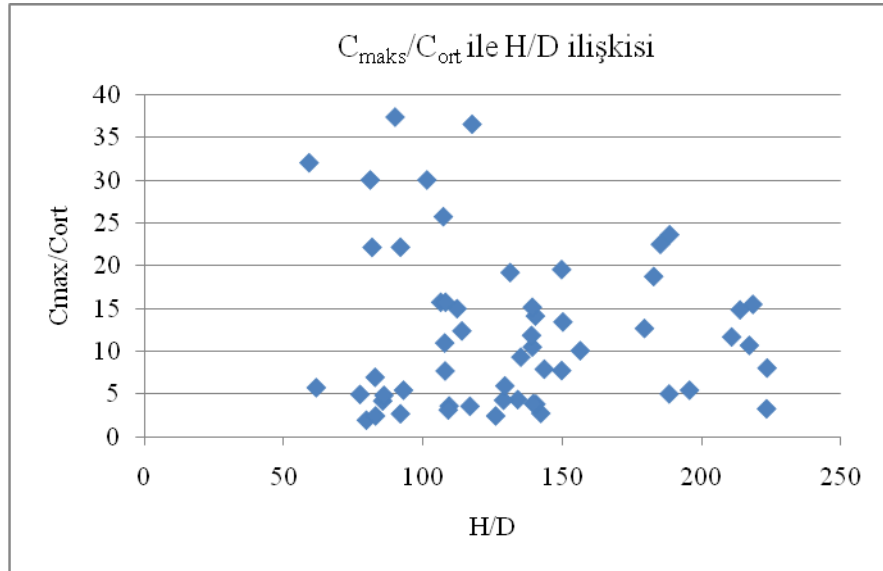
x/d ve z_1/d ifadelerinin birbirine bölünmesiyle elde edilen x/z_1 boyutsuz parametrenin C_{maks}/C_{ort} ile ilişkisi Şekil 5.44’te gösterilmiştir. Bu iki boyutsuz

büyüklik arasındaki ilişki doğru orantılı olduğundan doğrusal regresyon ile elde edilecek ifadede bu parametre aynen korunacaktır.



Şekil 5.44 : C_{maks}/C_{ort} ile x/z_1 arasındaki ilişki.

Dane çapı D olmak üzere H/D ile C_{maks}/C_{ort} arasındaki ilişki Şekil 5.45'te gösterilmiştir. Buna göre oldukça geniş bir aralıkta saçılım gösteren bu iki parametre arasındaki ilişkinin geneli incelendiğinde, aralarında doğrusal bir ilişki bulunduğu söylenebilir. Bu nedenle bu ifade de aynen korunarak amprik denklemde yerini alacaktır.

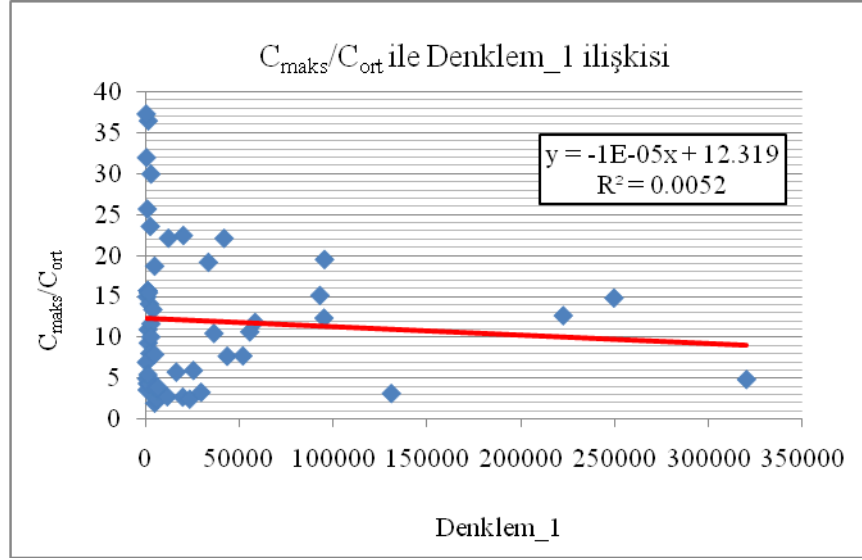


Şekil 5.45 : C_{maks}/C_{ort} ile H/D arasındaki ilişki.

Boyutsuz büyüklükler arasındaki ilişki C_{maks}/C_{ort} oranı göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Buna göre doğrusal regresyon yöntemi ile elde edilen denklem aşağıdaki gibidir.

$$\text{Denklem} = G_{sp} \cdot \left(\frac{H}{D}\right) \cdot \left(\frac{u_b}{w_s}\right) \left(\frac{g.d}{u_b^2}\right) \cdot \left(\frac{x}{z_1}\right) \cdot \tan\beta \quad (5.2)$$

Denklem (5.2) 'de değerler yerlerine yerleştirilerek elde edilen C_{maks}/C_{ort} ile denklem_1 arasındaki ilişki aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (şekil 5.46).



şekil 5.46 : C_{maks}/C_{ort} ile Denklem_1 ilişkisi.

Denklem (5.2) 'de yer alan boyutsuz büyüklüklerin kendi içerisindeki önem derecelerinin arttırıldığı veya azaltıldığı durumlarda ise yine C_{maks}/C_{ort} oranı için elde edilen grafiklerde korelasyon katsayısının yükselmediği görülmektedir.

5.4.3.1 Verilerin sınır koşullarına göre kümelenmesi

Tsunami etkisiyle meydana gelen sediment bulutunun kanal içerisinde 2 tabaka halinde ilerlemesinin yanı sıra boyutsuz büyüklüklerin tabakalara göre ayrılmasıyla elde edilen grafiklerde bu büyüklüklerin denklem (5.2) içerisinde yer alan $1/Fr^2$ ifadesine bağlı olarak sınır koşulları için tanımlandığı görülmüştür. Her bir tabaka için $1/Fr^2$ olarak ifade edilen $g.d/u_b^2$ değerleri baz alınarak MATLAB programı yardımıyla Kümeleme Analizi (Cluster Analyzes) uygulanmıştır.

Kümeleme analizi uygulaması ile benzer uzaklıklar dikkate alınırken, başlangıçta oluşacak küme sayısı bilinmemektedir. Kümeleme analizi sırasında yararlanılabilecek çok fazla alternatif ölçü ve yöntem bulunmaktadır. Euclidyen, Kareli Euclidyen, Standardize Euclidyen, Manhattan Mahalanobis, Minkowski veya Canberra lleri bu yöntemler arasında sıralanmaktadır. Aşağıda belirtilen sınır koşulları, bu kümeleme analizi yöntemlerinin tamamı ayrı ayrı uygulanarak oluşturulmuştur.

Tsunami etkisiyle meydana gelen sediment bulutunun ilerlemesiyle oluşan tabakalar için elde edilen boyutsuz büyüklükler yukarıda sayılan tüm kümeleme yöntemleri için incelenmiş ve birbirleriyle tutarlı ve benzer kümeler oluşturması sonucunda her bir tabaka için $1/Fr^2$ için kümeleme kriterleri belirlenmiştir.

Buna göre $0,25 < z_1/d < 0,50$ olarak tanımlanan üst tabaka;

- $1/Fr^2 < 4000$,
- $4000 < 1/Fr^2 < 10000$
- $1/Fr^2 > 10000$

olmak üzere 3 sınır koşulu;

$0,70 < z_1/d < 1$ olarak tanımlanan alt tabaka;

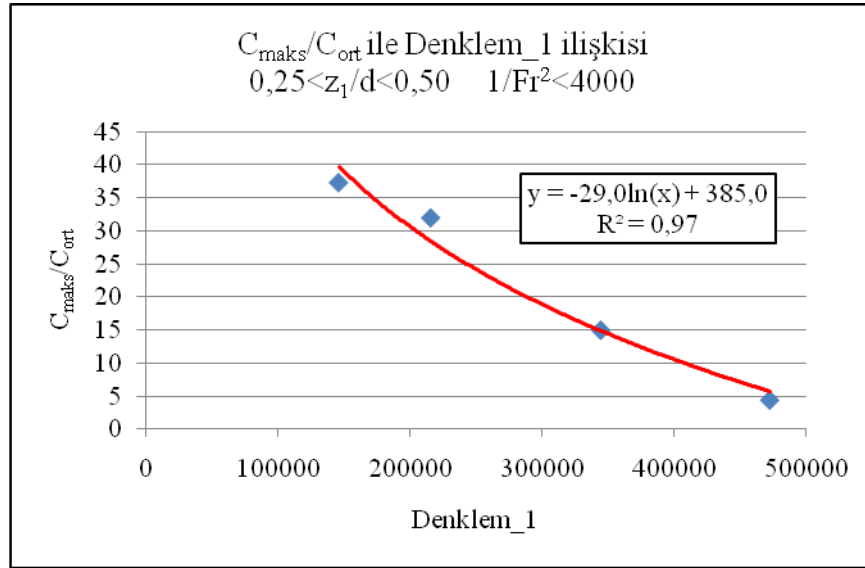
- $1/Fr^2 < 4000$,
- $4000 < 1/Fr^2 < 10000$,
- $10000 < 1/Fr^2 < 50000$
- $1/Fr^2 > 100000$

olarak 4 sınır koşulu için daha yüksek korelasyon değerlerine sahip ($R^2=0,70-0,98$) denklem gruplarının oluşmasına imkan tanıdığı görülmüştür (Şekil 5.49).

5.4.3.2 Doğrusal regresyonla oluşturulan amprik denklemler

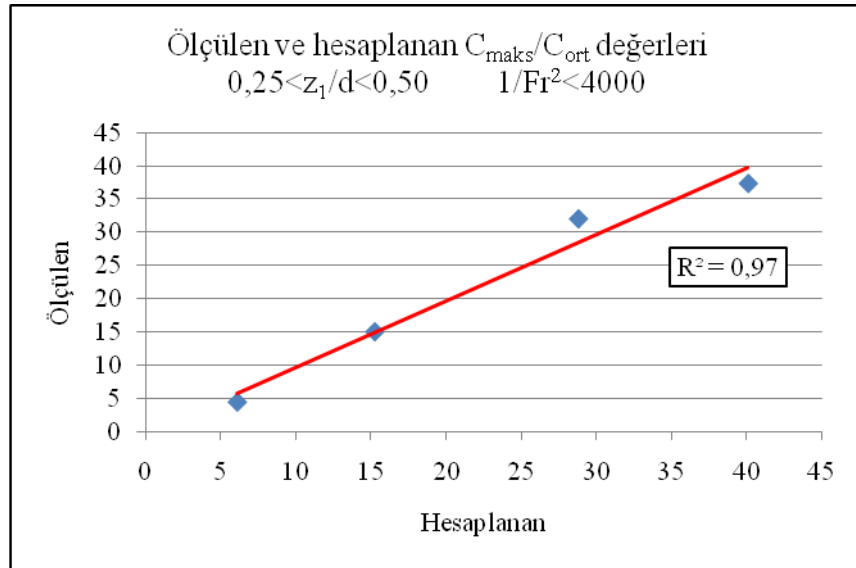
Şekil 5.49’de şematize edildiği gibi kanal boyunca tabakalı olarak ilerleyen sediment bulutu için kümeleme analizi sonucuna göre 3 farklı $1/Fr^2$ ’ye sahip bölgelere ayırmanın uygun olduğu yukarıda açıklanmıştı. Buna göre denklem (5.2)’de açık olarak ifade edilen amprik denklem Denklem_1 olarak belirtilmiştir. Lineer regresyon yöntemiyle oluşturulan amprik denkleme ait katsayılar $25 < z_1/d < 0,50$ ve $0,70 < z_1/d < 1$ tabakası için $1/Fr^2$ sınır koşulu için Çizelge 5.6’da listelenmiştir.

Ayrılan bölgelere göre doğrusal regresyon analiziyle oluşturulan Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ve bu ilişkinin tanımlı olduğu denklemler $0,25 < z_1/d < 0,50$ için $1/Fr^2 < 4000$ için Şekil 5.47’de gösterilmiştir.



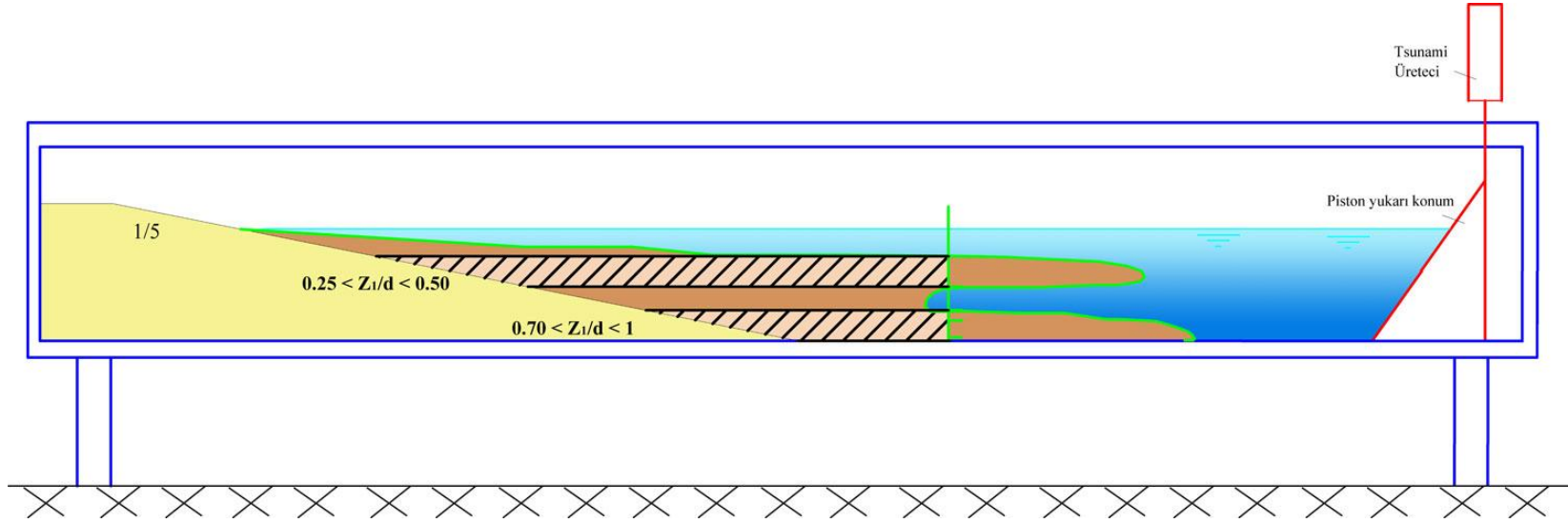
Şekil 5.47 : Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ($0,25 < z_1/d < 0,50$ - $1/Fr^2 < 4000$).

Elde edilen denklem ile $0,25 < z_1/d < 0,50$ için $1/Fr^2 < 4000$ için ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ise Şekil 5.48’de gösterilmiştir.



Şekil 5.48 : Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ($0,25 < z_1/d < 0,50$ - $1/Fr^2 < 4000$).

Tabakalara göre diğer sınır koşulları için elde edilen Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler ile ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler EK C’de gösterilmiştir.



Şekil 5.49 : Tsunami etkisiyle kanalda oluşan sediment bulutu tabakaları.

Çizelge 5.6 : Lineer Regresyon yöntemiyle elde edilen amprik denkleme ait katsayılar.

Bölge	Sınır Koşullar	Denklem_1		Denklem R ²	Ölçülen/Hesaplanan R ²
		Denklem	a		
0,25 < z ₁ /d < 0,50	1/Fr ² < 4000	a*ln(x)+b	-29	385	0,97
	4000 < 1/Fr ² < 10000	a*x ^b	680712	-1,524	0,78
	1/Fr ² > 10000	a*x ^b	2,00E+07	-0,98	0,98
0,70 < z ₁ /d < 1	1/Fr ² < 4000	a*ln(x)+b	7,415	-93,28	0,97
	4000 < 1/Fr ² < 10000	a*ln(x)+b	-5,44	104	0,71
	10000 > 1/Fr ² > 50000	a*x ^b	0,05	0,313	0,78
	1/Fr ² > 100000	a*x ^b	0,089	0,216	0,81

6. SONUÇLAR

Bilim adamlarının deneysel ve nümerik olarak yaptıkları çalışmalarda; dünya'nın birçok noktasında son zamanlarda ardarda büyük ölçeklerde meydana gelen depremlerle birlikte oluşan tsunamilerin yarattıkları büyük su kütlesi taşınımı etkisiyle kıyılarda can ve mal kayıplarına neden oldukları, ayrıca deniz tabanından karaya doğru taşıdıkları oldukça büyük miktarlardaki kum ile de zarara sebep oldukları ortaya çıkarılmıştır. Askıda taşınan partiküler maddelerin mercanlar başta olmak üzere, deniz flora üzerinde birikmesi, oksijenle teması kesmesi ve bulanıklığı arttırarak su kalitesinin bozulması gibi olumsuz etkileri olduğu ifade edilmiştir.

Bu çalışma ile tsunami gibi uzun periyotlu dalgaların veya soliter (tekil) dalgaların kıyıda tırmanmalarını takiben taban malzemesinin askıda taşınması, oluşan sediment bulutunun dalga kaynağına doğru ilerlemesi ve düşey doğrultuda dağılımının hidrodinamik karakteristiğinin, oluşturulan deneysel düzenek ile araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan ön çalışmalarda, tsunami sonrası oluşan sediment bulutunun karakteri kıyı eğimine bağlı olarak değişmektedir. Farklı kıyı eğimleri için yapılan deneyler neticesinde, gözlenen sediment bulutu karakterindeki değişiklikler birden fazla eğim için deneylerin yapılmasını gerektirmektedir. Fakat böyle bir çalışmanın oldukça uzun zaman diliminde sonuçlanması nedeniyle, bu tez kapsamında sadece kırılmayan uzun dalgaların elde edildiği 1/5'lik eğime sahip, $D_{50}=0,65$ mm'lik kıyı malzemesi ile oluşturulan kıyı için çalışmalar yürütülmüştür.

Hazırlanan düzende tsunami etkisiyle sediment oluşumunu karakterize eden noktalara yerleştirilen Akustik Doppler hız ölçer ile yatay ve düşey hızlar, optik prensibe dayalı ölçüm alan OPCON optik konsantrasyon ölçer ile askıda katı madde konsantrasyonu verileri zaman serileri elde edilmiştir. Deneysel verilerin gerekli veri eliminasyon yöntemlerinden geçirilmesinin ardından Pi teoremi, doğrusal regresyon analizi yöntemleriyle boyutsuz büyüklükler elde edilmiş, taşınımı temsil edecek boyutsuz denklem grupları çeşitli sınır koşulları için tanımlanmıştır. Ayrıca yatay ve düşey doğrultulu katı madde debileri dalga yüksekliklerine göre hesaplanmıştır.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

1. Tsunami üretici ile elde edilen her bir dalga yüksekliği için derinlikle yatay hızların değişimi incelenmiş, katı madde taşınımında etkili olan taşınım/yayılm mekanizmasının su derinliği boyunca tabakalara göre farklılık gösterdiği kaydedilmiştir. Buna göre üst tabaka olarak belirtilen $0,25 < z_1/d < 0,50$ bölgesinde toplam yatay hızların $0,5-1,0$ cm/sn değerlerinde sabit kaldığı, $0,70 < z_1/d < 1,0$ bölgesinde ise toplam yatay hızların derinlikle artan bir eğilim göstererek $1,0$ cm/sn'den $2,0$ cm/sn'ye değerlerine ulaştığı kaydedilmiştir. Elde edilen kayıtlarda; tsunami tipi dalganın kıyıya ulaştıktan sonra askıda taşıdığı katı maddenin toplam yatay hızlarla ilerlemesinin ardından moleküler difüzyon etkisiyle taşındığı, 1800 saniyelik periyod boyunca kaydedilen yatay hızların zamansal ortalamasının su derinliği boyunca $-0,01-0,00$ cm/sn değerinde kalması ile kanıtlanmıştır.

Tsunami etkisiyle meydana gelen su kütesinin ilerlemesiyle kaydedilen yatay hızlar incelendiğinde $30-35$ cm/sn'lik anlık maksimum yatay hız değerleri kaydedilmiştir.

2. Tsunami sonrasında meydana gelen sediment bulutuna ait askıda katı madde konsantrasyonlarının derinlikle değişimi dalga yüksekliklerine göre incelenmiştir. Buna göre gözlemlerle tutarlı olarak, askıda katı maddenin iki tabaka halinde ilerlediği, üst tabaka olarak belirtilen $0,25 < z_1/d < 0,50$ bölgesinde katı maddenin sabit bir aralıkta derinlikle $0,3$ g/lt'den $0,1$ g/lt'ye azalırken, $0,70 < z_1/d < 1,0$ bölgesinde sedimentin çökmesine bağlı olarak $0,1$ g/lt'den $1,4$ g/lt değerine ulaşıldığı görülmüştür.

3. Ayrıca, deneysel düzenekte belirlenen z_1 ölçüm noktalarında, tsunami üretici ile elde edilen dalga yüksekliklerine bağlı olarak askıda katı madde konsantrasyonu incelendiğinde askıda katı madde konsantrasyonunun dalga yüksekliğiyle doğru orantılı olarak arttığı kaydedilmiştir. Buna göre toplam askıda katı madde konsantrasyonu tabana en yakın nokta olan $z_1 = -32$ cm'de, en küçük dalga yüksekliği olan $H = 4,82$ cm'de $0,35$ g/lt iken en büyük dalga yüksekliğine sahip $H = 13,58$ cm'lik dalga etkisinde askıda katı madde konsantrasyonu $1,4$ g/lt değerine ulaşmıştır.

4.Tsunami türü dalganın kıyıda tırmanması ve geri dönüşü sırasında kıyı malzemesinin bir kısmını askıya taşınması ile kıyı profilinde değişiklikler gözlenmektedir. Buna bağlı olarak tsunami sonrası oluşan sediment bulutunun sahip olduğu askıda katı madde konsantrasyonu ve yatay ve düşey hızlara bağlı olarak hesaplanan katı madde debisi ile kıyıda oluşan oyulmalar arasında da bir ilişki bulunmakla birlikte bu çalışma kapsamında ise bu ilişki irdelenmemiştir.

5.Yatay ve düşey hızlara bağlı olarak hesaplanan katı madde debisi ile dalga yüksekliği arasında doğru orantılı bir ilişki bulunduğu kaydedilmiştir. Toplam yatay hızlar etkisinde taşınan katı madde debisi $H=4,82$ cm'lik dalga etkisinde şevin ortasında bulunan noktada ($x=76$ cm'de) $1,85$ g/sn iken, kıyı şevinin bitiminde ($x=200$ cm'de) $2,87$ g/sn'dir. Aynı dalga etkisinde düşey doğrultulu katı madde debisi $x=76$ cm'de $2,43$ g/sn iken $x=200$ cm'de $0,69$ g/sn'dir. Düşük dalga yüksekliğine sahip koşullar altında meydana gelen akıma ait yatay hız, şevin üstünde katı maddeyi taşıyacak kuvvete sahip olmamakta ve bu nedenle daha düşük hız değerlerine sahip olmaktadır. Şevin bittiği noktada kaydedilen yüksek akım hızları ve askıda katı madde konsantrasyon değerleri ve buna bağlı olarak hesaplanan yüksek miktarda katı madde debisi ise kıyının eğiminin etkisinden kaynaklanmaktadır. Düşey doğrultulu hızların etkisi altındaki katı madde debisinin kıyı boyunca değişimi incelendiğinde ise şevin üstünde düşey yönlü çevrintilerin etkisinin şevin bittiği nokta olan $x=200$ cm'de etkisini yitirdiği görülmektedir.

Oluşturulan en büyük dalga yüksekliğine sahip dalga olan $H=13,68$ cm'lik dalga etkisinde ise, şev üstünde ($x=76$ cm'de) yatay doğrultulu katı madde debisi $30,37$ g/sn iken, kıyı şevinin bitiminde ($x=200$ cm'de) $48,76$ g/sn'dir. Düşey hızların etkisinde meydana gelen taşınımında katı madde debisi $x=76$ cm'de $7,63$ g/sn iken $x=200$ cm'de $10,74$ g/sn'dir. Daha büyük dalga yüksekliğine sahip tsunami etkisi altında ise yatay doğrultulu hızların yine şevin bitiminde etkili olduğu, yüksek miktarda askıda taşınan kıyı malzemesinin ise zamanla çökmesi sonucunda düşey doğrultulu kaydedilen katı madde debisinde de $x=200$ cm'de $x=76$ cm'dekine kıyasla daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre, tsunami tipi dalgalarda genel olarak advectif taşınımında etkin olan yatay doğrultulu hızlar düşey doğrultulu hızlardan daha baskındır. Bu nedenle düşey doğrultulu hızlar etkisiyle meydana gelen katı madde debisi yatay doğrultulu katı madde debisinden küçüktür. Bununla birlikte, katı madde debisinin su derinliği boyunca göstermiş olduğu tabakalı yapı nedeniyle bu ilişkinin de bu tabakalara uygun olarak değerlendirilmesi gereği ortaya konmuştur.

6.Ölçüm noktalarından alınan verilerle elde edilen boyutsuz denklemler; kanaldaki tabakalı yayılımı karakterize edecek şekilde $0,25 < z_1/d < 0,50$ ve $0,50 < z_1/d < 0,70$ olmak üzere iki farklı tabakaya ayrılmış, boyutsuz parametreler içinde yer alan $1/ Fr^2$ a göre, belirli sınır koşulları için, ayrı ayrı tanımlanmıştır. $R^2=0,70-0,95$ gibi yüksek korelasyon değerlerine sahip önerilen denklem grupları Çizelge 5.6'daki gibi listelenmiştir. Denklem gruplarının daha sonra yapılacak ilave deneyler yardımıyla daha yüksek korelasyon değerlerine ulaşılması mümkün olabilecektir.

Çalışmanın farklı dane çapları, farklı eğim koşulları, farklı dalga geliş açıları ile oluşturulan deneysel düzeneklerle, daha sık belirlenen ölçüm alma noktaları için geliştirilmesi, elde edilen denklem gruplarının daha geniş bir aralıktaki koşullar için tanımlanabilmesini mümkün kılacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ackers, P ve White, W.R.**, 1973. Sediment transport: A new approach and analysis, *Proceedings ASCE*, Vol.99(HY11). Pgs: 2041-2060.
- Ambraseys, N.**, 1962. Data for the investigation of seismic sea waves in the Eastern Mediterranean. *Bull. Seism. Soc. Am.* (52), pp. 895-913.
- Andrade, C.**, 1992. Tsunami generated forms in the Algarve barrier islands. European Geophysical Society 1992 Tsunami Meeting (ed. Dawson, A. G.), *Science of Tsunami Hazards* 10, 21–34.
- Atwater, B.F.**, 1987. Evidence for great Holocene earthquakes along the outer coast of Washington state. *Science* 236, 942–944.
- Baldock, T. E., ve Holmes, P.**, 1999. Simulation and prediction of swash oscillations on a steep beach. *Coastal Engineering* (36), pp. 219–242.
- Bardet, J. P., Synolakis, C. E., Davies, H. L., Imamura, F., and Okal, E. A.**, 2003. Landslide tsunamis: Recent findings and research directions. *Pure Appl. Geophys.* 160, 1793–1809.
- Baş, B.**, 2007. Şevli dalgakıranların tsunami etkisi altında stabilitesinin deneysel olarak incelenmesi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- Bosman, J. J., van der Velden, E. T., ve Hulsbergen, C. H.**, 1987. Sediment concentration measurement by transverse suction. *Coastal Engineering* (11), pp. 353-370.
- Bryant, E.**, 2008. *Tsunami: The Underrated Hazard*. Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK,
- Campbell, S. J., Pratchett, M. S., Anggoro, A.W., Ardiwijaya, R.L., Fadli, N., Herdiana, Y., Kartawijaya, T., Mahyiddin, D., Mukminin, A., Pardede, S. T., Rudi, E., Siregar, A. M. ve Baird, A. H.**, 2007. *Disturbance to Coral Reefs in Aceh, Northern Sumatra: Impacts of the Sumatra-Andaman Tsunami and Pre-Tsunami Degradation. Tsunamis and coral reefs* , No. 544. Ed. Stoddart, D.R.
- Carrier, G. F., & Greenspan, H. P.**, 1958. Water waves of finite amplitude on a sloping beach. *Journal of Fluid Mechanics* (4), pp. 97–109.
- Cebeci, T. ve Cousteix, J.**, 2005. *Modeling and Computation of Boundary-Layer Flows: Laminar, Turbulent and Transitional Boundary Layers in Incompressible Flows*. Springer, Horizons Publishing. Fransa.
- Chatenoux B. ve Peduzzi, P.**, 2007. Impacts from the 2004 Indian Ocean Tsunami: analysing the potential protecting role of environmental features. *Nat. Hazards* 40:289–304.
- Chien, N. ve Wan, Z.**, 1999. *Mechanics of sediment transport*. ASCE press. USA.

- Christie, M. C., Dyer, K. R., ve Turner, P.,** 1999. *Sediment flux and bed level measurements from a macro-tidal mudflat*. 49, pp. 667–688.
- Cuyppers, K.,** 2004. Breakwater stability under tsunami attack for a site in Nicaragua, *Yüksek Lisans Tezi*, TU Delft.
- Dahanayake, K. ve Kulasena, N.,** 2008. Geological Evidence For Paleo-Tsunamis in Sri Lanka. *Science of Tsunami Hazards*, Vol. 27, No. 2, sayfa 54.
- Dawson, A.G., Long, D., Smith, D.E.,** 1988. The Storegga slides: evidence from eastern Scotland for a possible tsunami. *Marine Geology* 82, 271–276.
- Dawson, A.G., Shi, S.,** 2000. Tsunami deposits. *Pure and Applied Geophysics* 157, 875–897.
- Dawson, A. G., Hindson, R., Andrade, C., Freitas, C., Parish, R., ve Bateman, M.,** 1995. Tsunami Sedimentation Associated with the Lisbon Earthquake of 1 November AD 1755: Boco do Rio, Algarve, Portugal, *The Holocene* 5 (2), 209–215.
- Deigaard, R., Jakobsen, J. B., ve Fredsoe, J.,** 1999. Net sediment transport under wave groups and bound long waves. *Journal of Geophysical Research*, No.C6 (Vol. 104), pp 559-575.
- Department of Ocean Development Integrated Coastal and Marine Area Management Project Directorate Chennai,** 2005. Preliminary assessment of impact of tsunami in selected coastal areas of India.
- Dette, H., & Uliczka, K.,** 1986. Velocity and sediment concentration Fields. *20th Coastal Engineering Conference Proceedings* (s. pp 1062-1076). Taipei, Taiwan: CER Council ASCE.
- Dyer, K. R., Christie, M. C., Feates, N., Pejrup, M., ve van der Lee, W.,** 2000. *An investigation into processes influencing the morphodynamics of an intertidal mudflat, the Dollard estuary*. (50), pp. 607–625.
- Engelund, F. ve Hansen, E.,** 1972. A monograph on sediment transport in alluvial Streams . 3.ed. Technical Press, Copenhagen.
- Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., Brooks, N.H.,** 1979. *Mixing in Inland and Coastal Waters*. Academic Press. U.K.
- Gartner, J. W., Cheng, R., Wang, P., & Richt, K.,** 2001. Laboratory and field evaluations of the LISST-100 instrument for suspended particle size determinations. *Marine Geology*, pp 199-210.
- Gedik, N., Irtem, E., Kabdasli, S.M.,** 2005. Laboratory investigation on tsunami run-up. *Ocean Engineering*, 32, 513–528.
- Gedik, N.,** 2004. Uzun dalgaların tırmanma yüksekliklerinin deneysel incelenmesi. *Doktora tezi*, T.C. Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Fakültesi.
- Global Environment Centre Wetlands International Indonesia NORDECO.,** 2005. Preliminary assessment on impacts of the tsunami on coastal ecosystems and associated livelihoods in Aceh Province, Indonesia.
- Government of Samoa.,** 2009. Samoa tsunami rapid environmental impact assessment report- (www.sprep.org/att/irc/ecopies/countries/samoa/171.pdf)

- Grilli, S.T., Svendsen, I.A., Subramanya, R.,** 1997. Breaking criterion and characteristics for solitary waves on slopes. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 123 (3), 102–112.
- Hansen, E. A., Fredsoe, J., ve Deigaard, R.,** 1994. Distribution of suspended sediment over wave-generated ripples. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* , pp. 37-55.
- Harleman, D.R.F.,** 1965. Turbulent diffusion processes in stratified flows, *Estuary and Coastline Hydrodynamics*. Bölüm 12. McGraw-Hill.
- Harmann, M., Limpus, C., Hugnes, G., Mortimer, J. ve Pilcher, N.,** 2006. Assessment of the impact of the December 2004 tsunamii on marine turtles and their habitats in the Indian Ocean and South-East Asia. IOSFA Turtle IMO Secretariat, Bangkok.
- Hasselmann, K., Barnett, T. P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D. E., Enke, K., ve diğ.,** 1973. Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea wave project (JONSWAP). *Deutsche Hydrographische Zeitschrift* , pp A8(12).
- Hindson, R. A., Andrade, C., ve Dawson, A. G. ,** 1996. Sedimentary Processes Associated with the Tsunami Generated by the 1755 Lisbon Earthquake on the Algarve Coast, Portugal, *Physics and Chemistry of the Earth* 21 (12), 57–63.
- Hinze, J.O.,** 1959. Turbulence. McGraw-Hill.
- İrtem, E.,** 1991. Tabakalı körfezlerdeki su kütlesi hareketlerinin belirlenmesi ve İzmit Körfezi'ne uygulanması. *Doktora tezi*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- IUCN Global Marine Programme ve CORDIO.,** 2005. Assessment of tsunami impacts on the marine environment of the Seychelles.
- Jaffe, B.E., Gelfenbaum, G.,** 2007. A simple model for calculating tsunami flow speed from tsunami deposits. *Sedimentary Geology* 200 (3–4), 347–361.
- Jansen–Stelder, B.,** 2000. The effect of different hydrodynamic conditions on the morphodynamics of a tidal mudflat in the Dutch Wadden Sea. *Cont. Shelf Res.* (20), pp. 1461–1478.
- Kabdaşlı, M.S.,** 1992. *Kıyı mühendisliği*. İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Kabdaşlı, M.S., ve Köroğlu, A.,** 2010. Kıyılardaki dolgu alanlarının tsunami etkisi altındaki stabilitesinin deneysel araştırılması. *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz alanları VIII. Ulusal Kongresi*. Trabzon.
- Katteridge, K.,** 2002. A laboratory study of suspended sediment dynamics under waves for non-uniform sands. *NJ: Stevens Institute of Technology*.
- Keating, B. H., ve McGuire, W. J.,** 2000. Island edifice failures and associated hazards. *Pure Appl. Geophys.* (Özel Baskı: Landslide and Tsunamis) 157, 899–955.
- Koomans, R.,** 2000. Sand in motion: effects of density and grain size. Netherlands: *National Institute for Coastal and Marine Management*, Delft.

- Kobayashi, N., ve Tega, Y.**, 2002. Sand suspension and transport on equilibrium beach. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, No.6 (Vol. 128), pp. 238-248.
- Kostaschuk, R., Best, J., ve Villard, P.**, 2001. Measuring sediment transport in an estuary with an acoustic Doppler current profiler.
- Krishnankutty, N.**, 2006. Effects of 2004 tsunami on marine ecosystems – a perspective from the concept of disturbance. *Current Science*, vol. 90, No. 6.
- Lourens, R.K.**, 2000. Sand in motion: effects of density and grain size. Doktora tezi. Matematik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, *Groningen Üniversitesi*, Hollanda.
- Masselink, G., ve Pattiaratchi, C.**, 2000. Tidal asymmetry in sediment resuspension on a macrotidal beach in Northwestern Australia. *Marine Geology* (163), pp 257-274.
- Moore, A.L., McAdoo, B.G., Ruffman, A.**, 2007. Landward fining from multiple sources in a sand sheet deposited by the 1929 Grand Banks tsunami, Newfoundland. *Sedimentary Geology* 200 (3–4), 336–346.
- Nielsen, P.**, 1986. Suspended sediment concentrations under waves. *Coastal Engineering* (10), 23-31.
- Nieuwkoop J.C.C.**, 2007. Experimental and numerical modelling of tsunami waves generated by landslides. Yüksek Lisans Tezi, *TU Delft*.
- Obhrai, C., Nielsen, P., ve Vincent, C.**, 2002. Influence of infiltration on suspended sediment under waves. *Coastal Engineering* (Vol. 45), pp. 111-123.
- Okayasu, A., Uno, Y., Kobayashi, T., ve Shimaya.**, 2004. Laboratory measurement of suspended sediment concentration in surf zone with CT concentration meter. *Coastal Engineering Journal*, No.2 (Vol. 46), pp.203-218.
- Papadopoulos, G. A.**, 2003. Quantification of tsunamis: a review. In **Yalciner, A. C., Pelinovsky, E., C.E. Synolakis, ve Okal, E. eds.**, 2003. Submarine landslides and Tsunamis in pp. 285–291. *Kluwer*, Deventer.
- Pritchard, D., ve Hogg, A. J.**, 2003. On fine sediment transport by long waves in the swash zone of a plane beach. *Journal of Fluid Mechanics*, 255-275.
- Pritchard, D., Dickinson, L.**, 2008. Modelling the sedimentary signature of long waves on coasts: implications for tsunami reconstruction. *Sedimentary Geology* 206 (2008) 42–57.
- Ramachandran, S., Anitha, S., Balamurugan, V., Dharanirajan, K., Vendhan, K. E., Divien, M. I. P., Vel, A. S., Hussain I. S., Udayaraj, A.**, 2005. Ecological impact of tsunami on Nicobar Islands (Camorta, Katchal, Nancowry and Trinkat). *Current Science*, Vol. 89, No. 1, 10 July 2005.

- Ribberink, J. S., ve Al-Salem, A. A.,** 1992. Bed forms, near-bed sediment concentrations and sediment transport in simulated regular waves conditions. *Delft Hydraulics; Report : Report H-840*.
- Robert Foster, Annelise Hagan, Nishan Perera, Cipto Aji Gunawan, Ivan Silaban, Yunaldi Yaha, Yan Manuputty, Ibnu Hazam, and Gregor Hodgson.,** 2006. Tsunami and Earthquake Damage to Coral Reefs of Aceh, Indonesia. *Reef Check Foundation*, Pacific Palisades, California, USA.
- Roelvink, J. A., ve Stive, M. J.,** 1989. Bar-generating cross-shore flow mechanisms on a beach. *Journal of Geophysical research* , c4 (94), pp. 4785-4800.
- Shi,S. ve Smith, D.E,** 2003. Coastal Tsunami Geomorphological Impacts and Sedimentation Processes: Case Studies of Modern and Prehistorical Events. *International Conference on Estuaries and Coasts*. 9-11 Kasım, 2003, Hangzhou, Çin.
- Shiki, T., Tsuji, Y., Yamazaki,T., Minoura, K.,** 2008. Tsunamiites: Features And Implications. *Elsevier publications*, Italya.
- Smith, D.E., Foster, I.D.L., Long, D., Shi, S.,** 2007. Reconstructing the pattern and depth of flow onshore in a paleotsunami from associated deposits. *Sedimentary Geology* 200 (3–4), 362–371.
- Soulsby, R.L., Smith, D.E., Ruffman, A.,** 2007. Reconstructing tsunami run-up from sedimentary characteristics - a simple mathematical model. *Coastal Sediments '07*. ASCE, pp. 1075–1088.
- Sugawara, D., Minoura, K., & Imamura, F.,** 2008. Tsunamis and Tsunami Sedimentology. T. Shiki, Y. Tsuji, T. Yamazaki, & K. Minoura içinde, *Tsunamiites Features and Implications* (s. 9-45). U.K.: *Elsevier B.V.*
- Sümer, B.M, Ünsal, İ., Bayazıt, M.,** 1983. Hidrolik. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Sümer, M.,** 1970. Ağırlıksız ve ağırlıklı maddelerin türbülanslı dispersiyonu. Doktora tezi. *İTÜ İnşaat Fakültesi*. İstanbul.
- Trouw, K., Williams, J., ve Rose, C.,** 2000. Modelling sand resuspension by waves over a rippled bed. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (50), pp. 143-151 içinde **Van Mierlo, M. C. L. M. & De Ruiter, J. C. C.** 1988. Turbulence measurements above artificial dunes, TOW A55, Q789, *Delft Hydraulics*.
- United Nations Environment Programme(UNEP),** 2005. After the tsunami: rapid environmental assessment.
- Venugopal, M., Santhosh, K., Sreekumar, M., Vijesh, A., ve Cyril Augustine, V.,** 2005. A preliminary investigation on the effects of tsunami wave turbulence on the coastal water quality along the Malabat Coast. Tsunami (s. Ch.III.). içinde Envis Centre, KSCSTE.
- Whitehouse, R., ve Mitchener, H.,** 1998. Observations of the morphodynamic behaviour of an intertidal mudflat at diffrenet timescales. *Geological Society*.

Wilkinson C., Souter, D., ve Goldberg, J., 2005. Status of coral reefs in tsunami affected countries:2005. *Global Coral Reef Monitoring Network, Australian Institute of Marine Science ve Australian Government.*

Url-1 <<http://homepage.mac.com/demark/tsunami/1.html>>, alındığı tarih 16.04.2010.

Url-2 <<http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/itst.html>>, alındığı tarih 16.04.2010.

Url-3 <<http://en.wikipedia.org/wiki/File:2004-tsunami.jpg>>, alındığı tarih 16.03.2010.

Url-4 <<http://dgukenvis.nic.in/Art8.htm>>, alındığı tarih 01.04.2010.

Url-5 <http://www.reefcheck.org/news/news_detail.php?id=49>, alındığı tarih 01.04.2010.

Url-6 <<http://www.reefbase.org>>, alındığı tarih 01.04.2010.

Url-7 <<http://marinedebris.noaa.gov/projects/images/asamoavideo.mov>>, alındığı tarih 01.04.2010.

Url-8 < www.es.flinders.edu.au/~mattom/IntroOc>, alındığı tarih 01.04.2010.

Url-9 < www.gidb.itu.edu.tr/staff/akman/DDVA_Hafta9_2010.pdf >, alındığı tarih 01.04.2010.

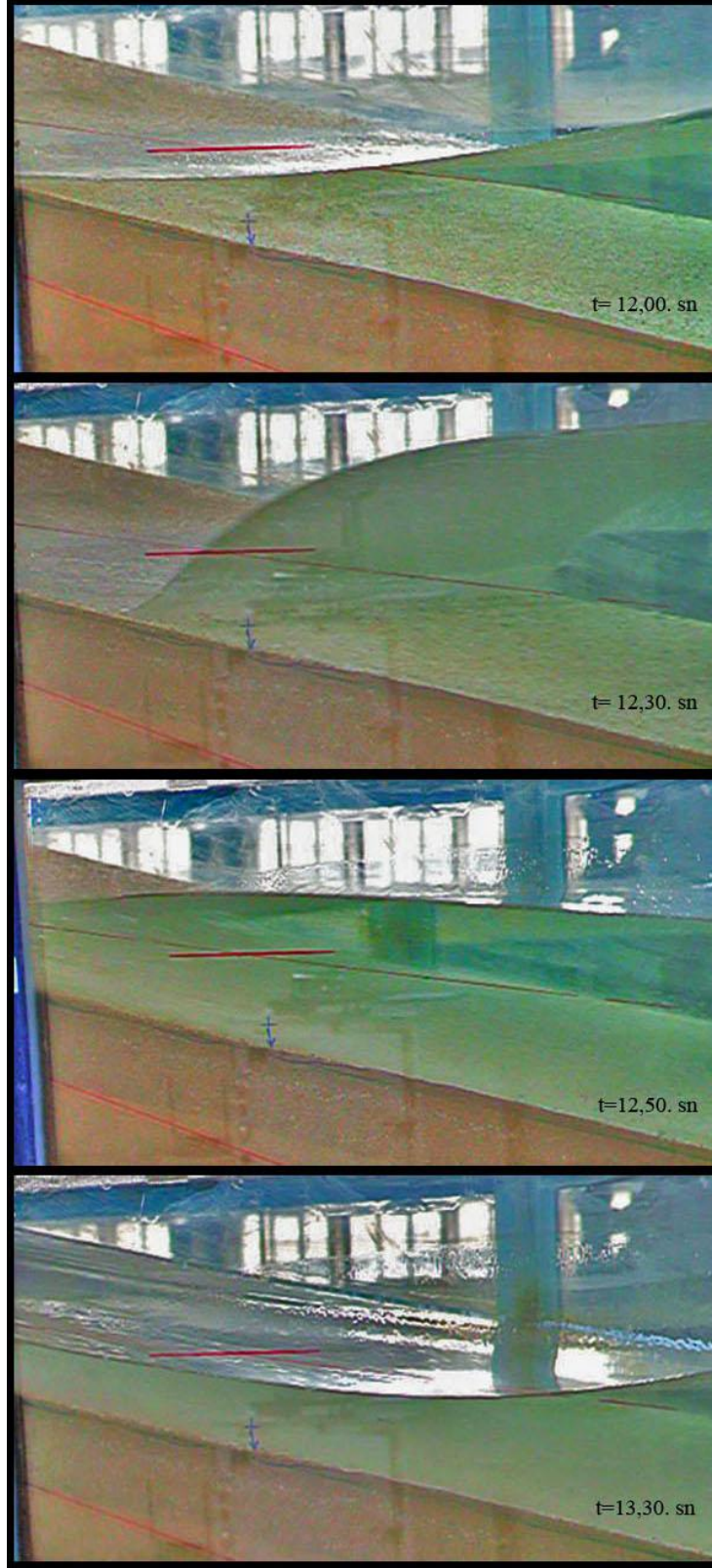
EKLER

EK A: H=13,68 cm'lik tsunami tipi dalga'nın tırmanması, geri çekilmesi ve sediment bulutunun ilerlemesi

EK B : Askıda katı madde konsantrasyonu ve dalga yüksekliği ilişkisi

EK C: C_{maks}/C_{ort} ile Denklem_1 ilişkisi ve Ölçülen ve Hesaplanan C_{maks}/C_{ort} grafikleri

EK A: $H=13,68$ cm'lik tsunami tipi dalganın tırmanması, geri çekilmesi ve sediment bulutunun ilerlemesi



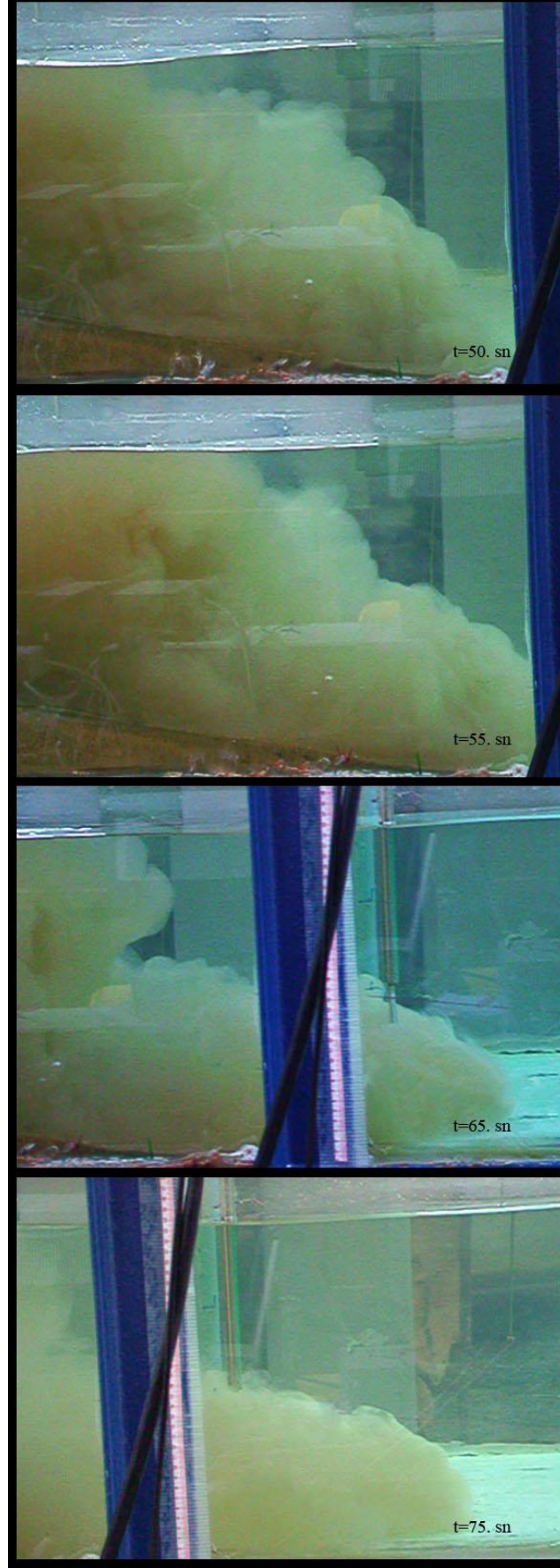
Şekil A.1 : $H=13,68$ cm'lik tsunami tipi dalganın oluşması, tırmanması, geri çekilmesi.



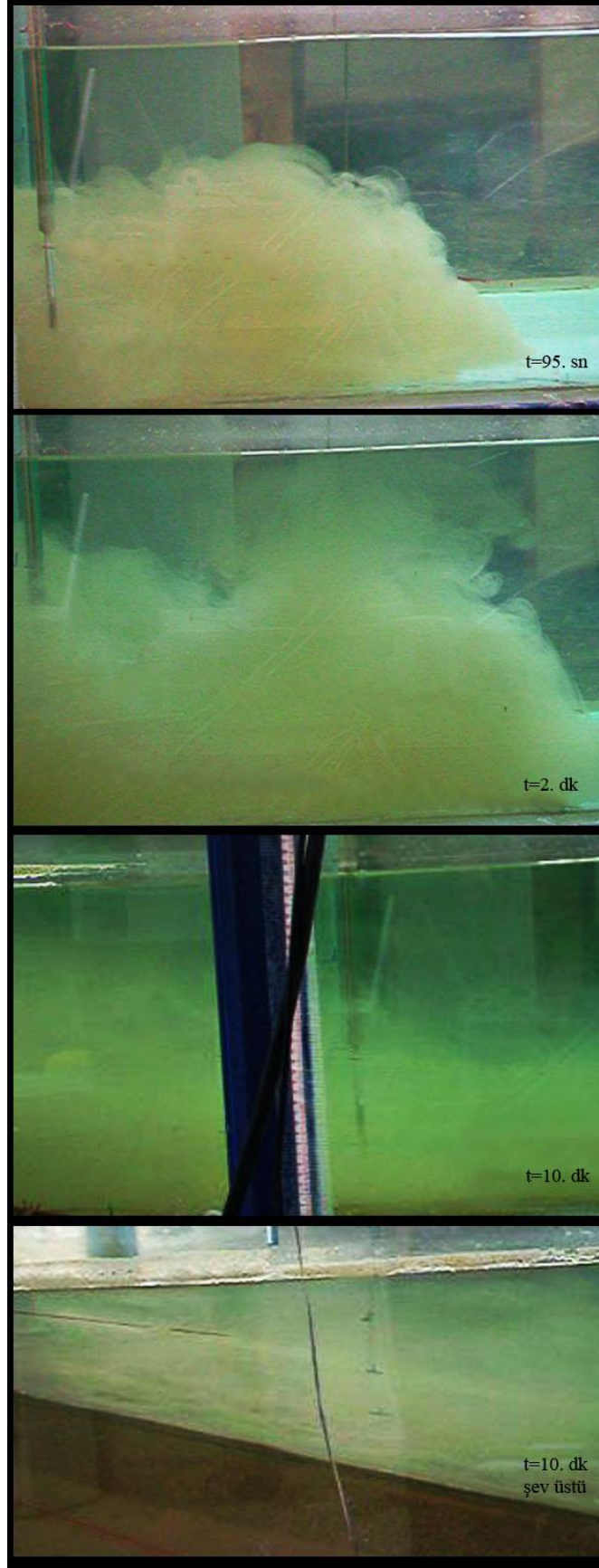
Şekil A.2 : $H=13,68$ cm'lik tsunami tipi dalğanın kırılması ve kıyı malzemesinin askıda taşınması.



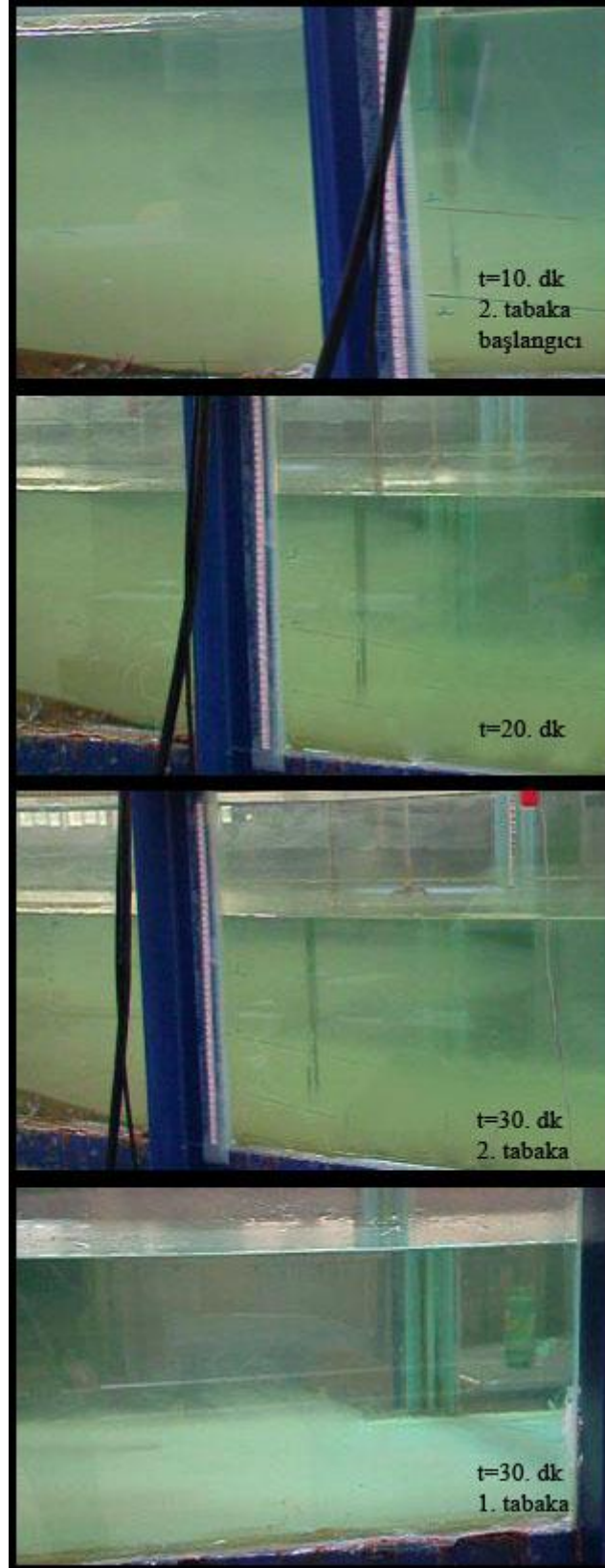
Şekil A.3 : $H=13,68$ cm'lik tsunami tipi dalga etkisinde sediment bulutunun oluşması ve şev üstünde ilerlemesi.



Şekil A.4 : $H=13,68$ cm'lik tsunami tipi dalga etkisinde sediment bulutunun şev üstünde ilerleyerek dalga üretene doğru yayılımı.



Şekil A.5 : $H=13,68$ cm'lik tsunami tipi dalga etkisinde sediment bulutunun dalga üreticine doğru ilerlemesi ve şevden bir görüntü.

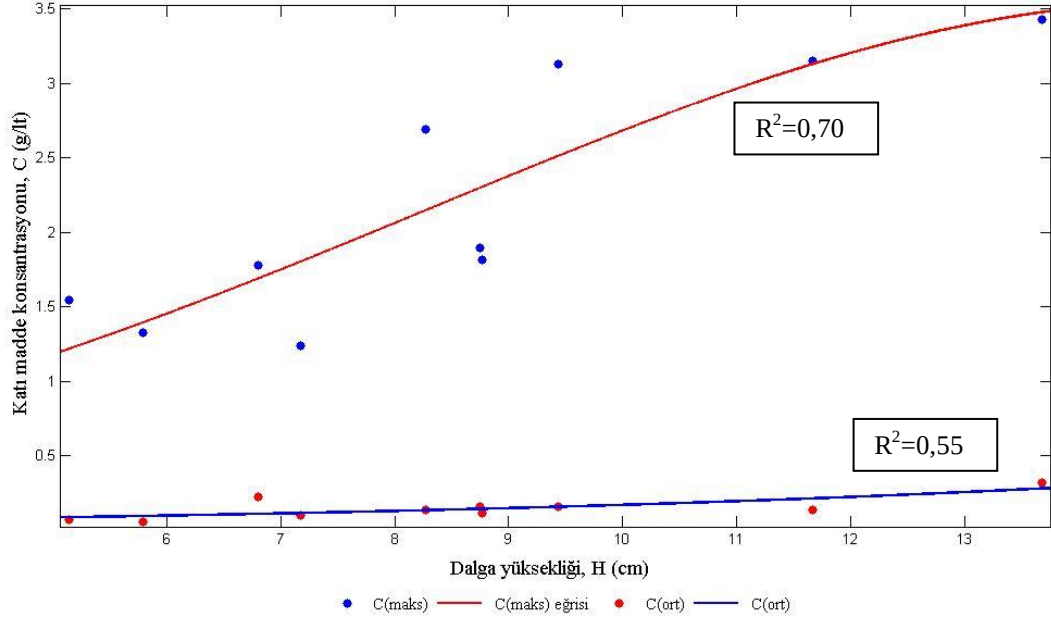


Şekil A.6 : $H=13,68$ cm'lik tsunami tipi dalga etkisinde sediment bulutunun durumu ($X= 350$ cm'de) ve oluşan 2. tabaka sediment.

EK B: Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon ilişkisi

Çizelge B.1 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri($X=76$ cm $z_1=-17$ cm).

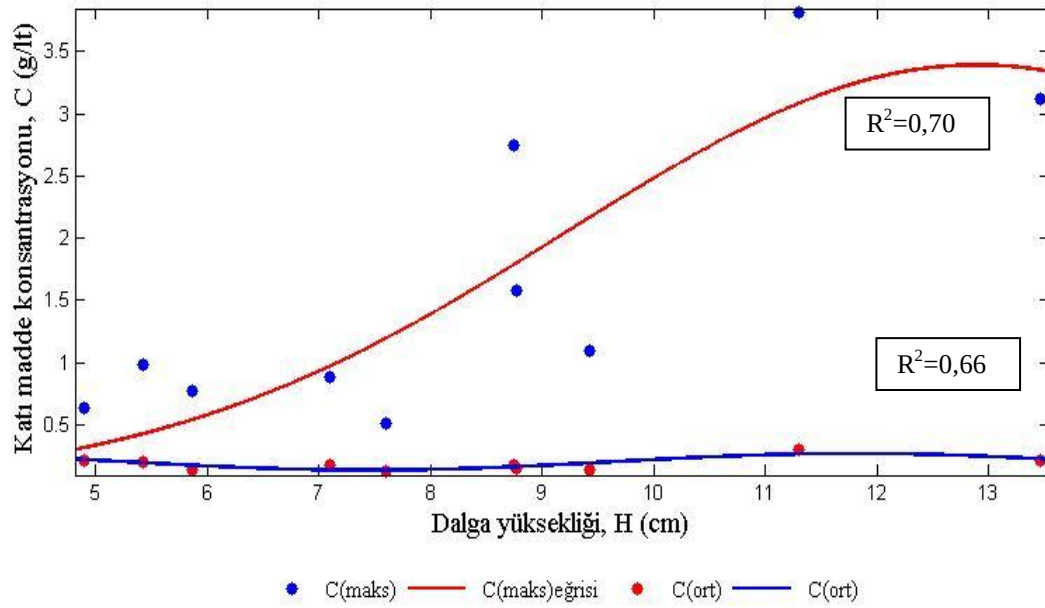
$X=76$ cm	$z_1 = -17$ cm	
H	C_{maks}	C_{ort}
cm	g/lt	g/lt
5.15	1.55	0.07
5.79	1.33	0.06
6.80	1.78	0.23
7.18	1.24	0.10
8.27	2.69	0.14
8.75	1.90	0.16
8.77	1.82	0.12
9.43	3.13	0.16
11.66	3.15	0.14
13.67	3.43	0.32



Şekil B.1 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($z_1=-17$ cm $X=76$ cm).

Çizelge B.2 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri ($X=76$ cm $z_1=-8$ cm).

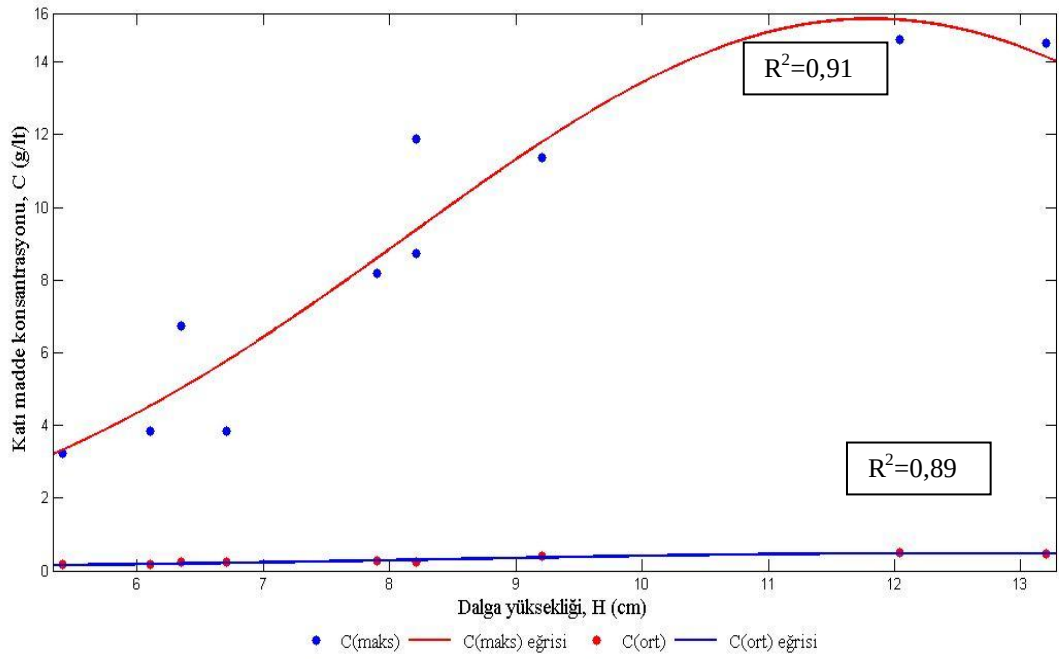
$X=76$ cm	$z_1 = -8$ cm	
H	C_{maks}	C_{ort}
cm	g/lt	g/lt
4.90	0.63	0.21
5.42	0.98	0.20
5.86	0.77	0.14
7.10	0.88	0.18
7.60	0.51	0.13
8.75	2.75	0.18
8.77	1.58	0.15
9.43	1.09	0.14
11.30	3.81	0.30
13.46	3.12	0.21



Şekil B.2 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($z_1=-8$ cm $X=76$ cm).

Çizelge B.3 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri (X=200 cm $z_1=-32$ cm).

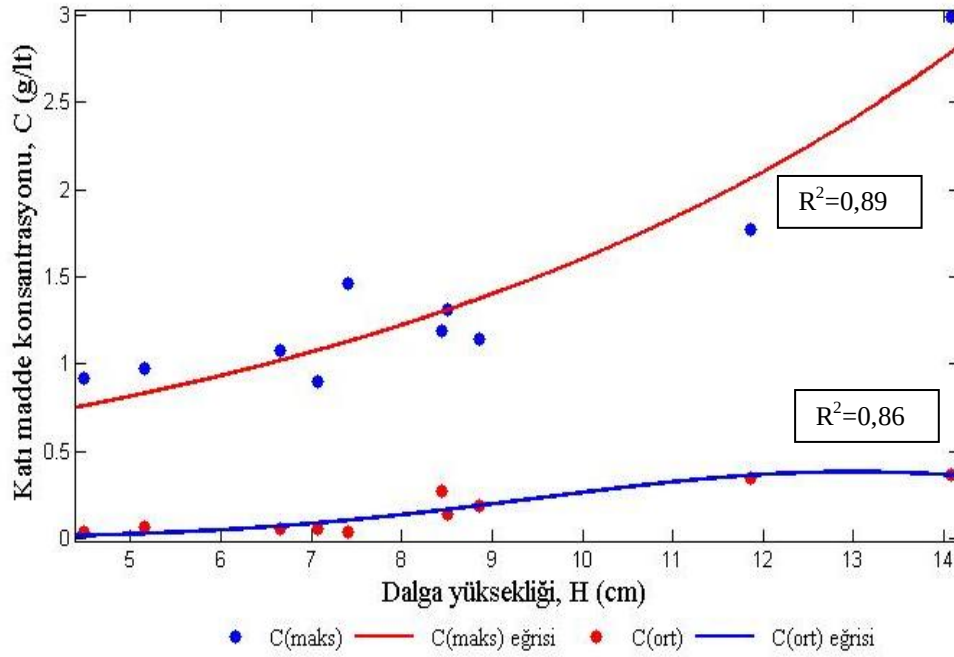
X= 200 cm	$z_1 = - 32$ cm	
H	C_{maks}	C_{ort}
cm	g/lt	g/lt
5.41	3.17	0.10
6.10	3.78	0.11
6.35	6.68	0.16
6.71	3.76	0.16
7.90	8.11	0.21
8.21	8.65	0.16
8.21	11.81	0.18
9.21	11.29	0.34
12.04	14.55	0.44
13.20	14.46	0.38



Şekil B.3 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($z_1=-32$ cm X=200cm).

Çizelge B.4 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri ($X=200$ cm $z_1=-27$ cm).

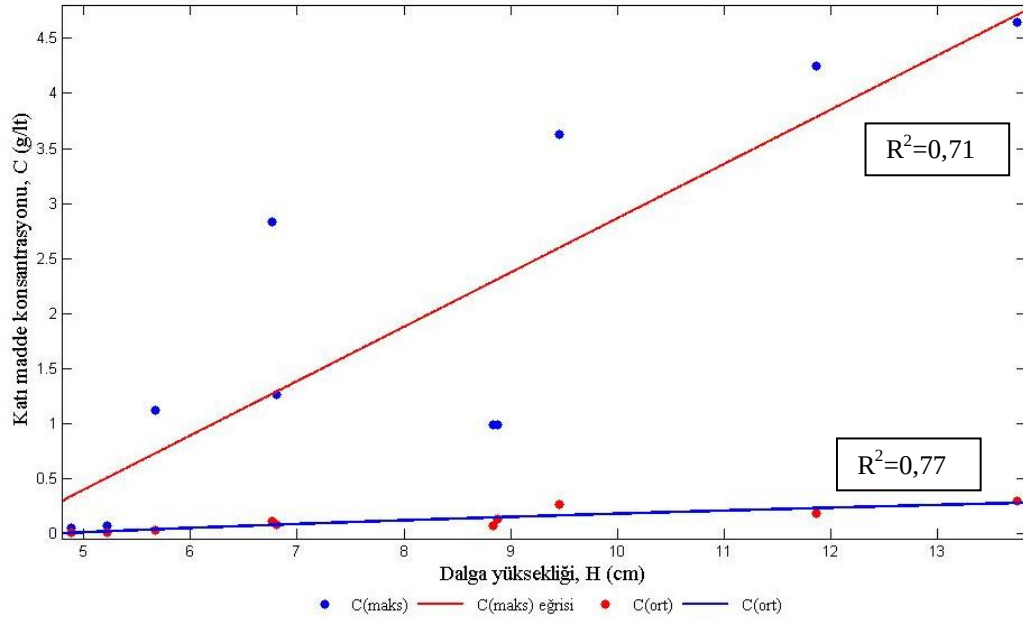
$X=200$ cm	$z_1 = -27$ cm	
H	C_{maks}	C_{ort}
cm	g/lt	g/lt
4.49	0.92	0.04
5.15	0.98	0.07
6.66	1.08	0.06
7.07	0.90	0.06
7.41	1.46	0.04
8.44	1.19	0.27
8.51	1.31	0.14
8.85	1.14	0.19
11.86	1.77	0.35
14.07	2.99	0.37



Şekil B.4 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($z_1=-27$ cm $X=200$ cm).

Çizelge B.5 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri($X=200$ cm $z_1=-24$ cm).

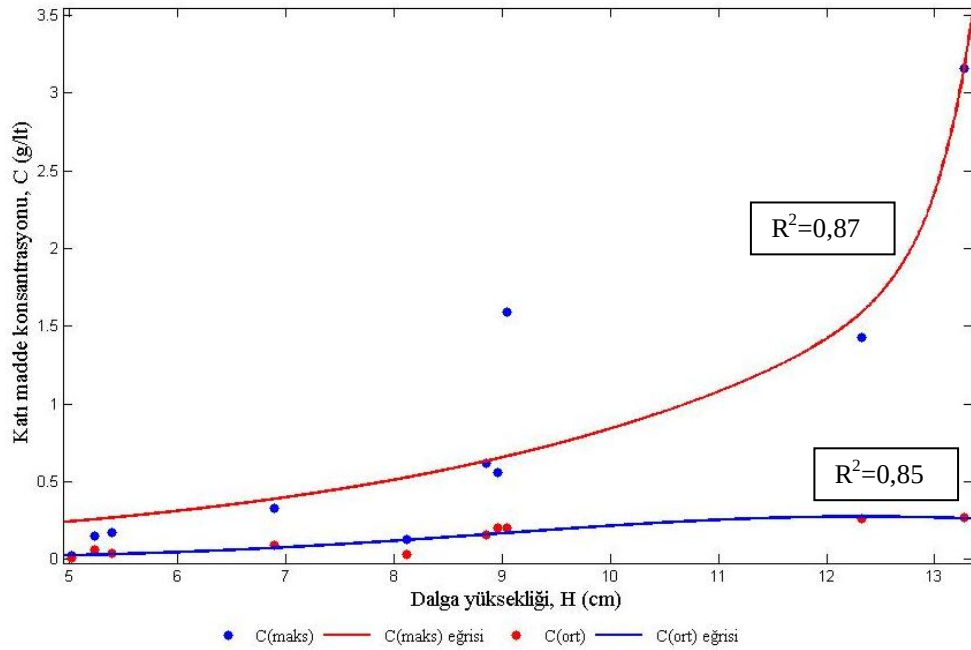
$X=200$ cm	$z_1 = -24$ cm	
H	C_{maks}	C_{ort}
cm	g/lt	g/lt
4.88	0.05	0.01
5.22	0.07	0.01
5.67	1.12	0.03
6.76	2.83	0.11
6.81	1.26	0.08
8.88	0.99	0.13
8.84	0.99	0.07
9.46	3.63	0.27
11.87	4.25	0.18
13.75	4.65	0.30



Şekil B.5 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($z_1=-24$ cm $X=200$ cm).

Çizelge B.6 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri($X=200$ cm $z_1=-17$ cm).

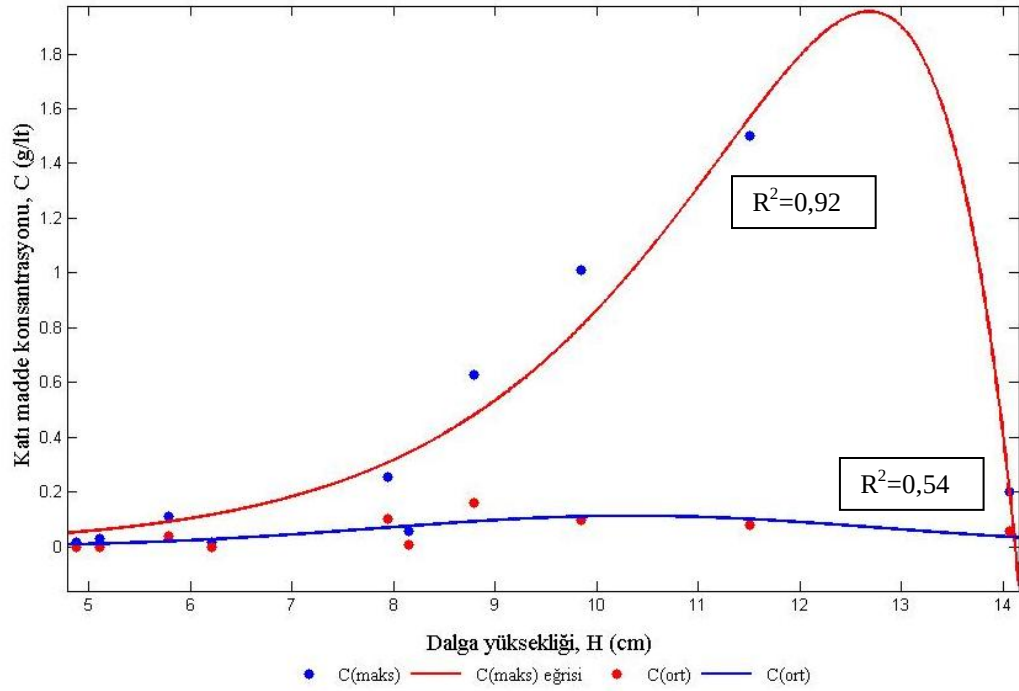
$X=200$ cm	$z_1 = -17$ cm	
H	C_{maks}	C_{ort}
cm	g/lt	g/lt
9.04	1.59	0.20
5.02	0.02	0.01
5.39	0.17	0.04
5.23	0.15	0.06
6.89	0.33	0.09
8.12	0.13	0.03
8.96	0.56	0.20
8.85	0.62	0.16
12.32	1.43	0.26
13.27	3.16	0.27



Şekil B.6 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($z_1=-17$ cm $X=200$ cm).

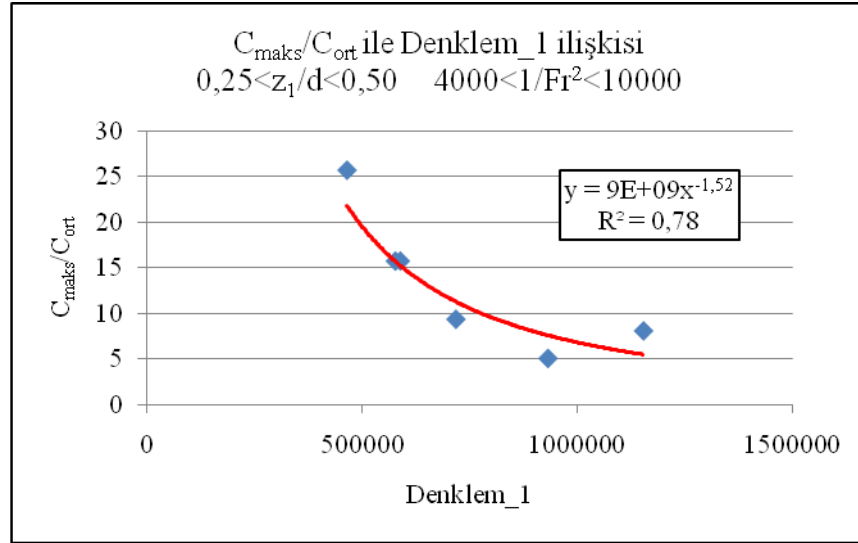
Çizelge B.7 : Dalga yüksekliğine göre maksimum ve ortalama konsantrasyon değerleri($X=200$ cm $z_1=-8$ cm).

$X= 200$ cm	$z_1 = - 8$ cm	
H	C_{maks}	C_{ort}
cm	g/lt	g/lt
4.88	0.02	0.00
5.11	0.03	0.00
5.79	0.11	0.04
6.21	0.02	0.00
7.94	0.26	0.10
8.15	0.06	0.01
8.79	0.63	0.16
9.85	1.01	0.10
11.51	1.50	0.08
14.06	0.20	0.06

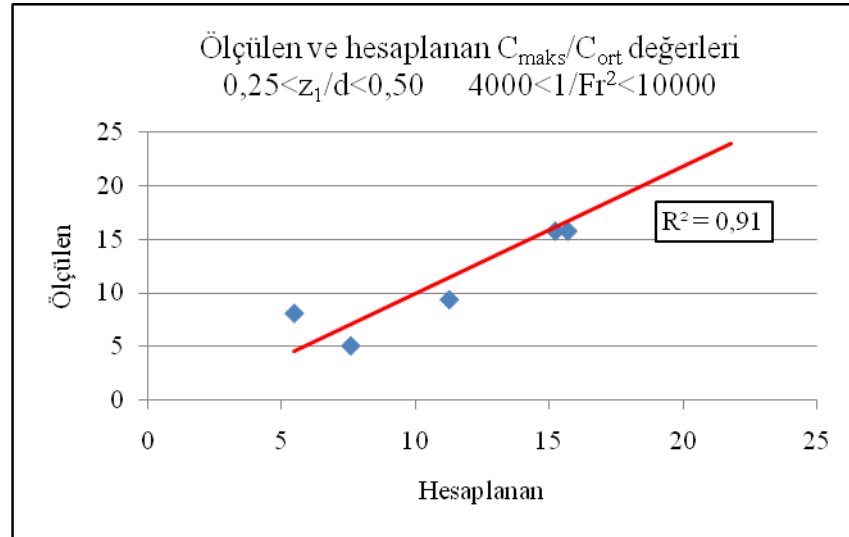


Şekil B.7 : Dalga yüksekliği ile maksimum ve ortalama konsantrasyonun değişimi ($z_1=-8$ cm $X=200$ cm).

EK C: Oluşturulan amprik denklem ve C_{maks}/C_{ort} ilişkisi



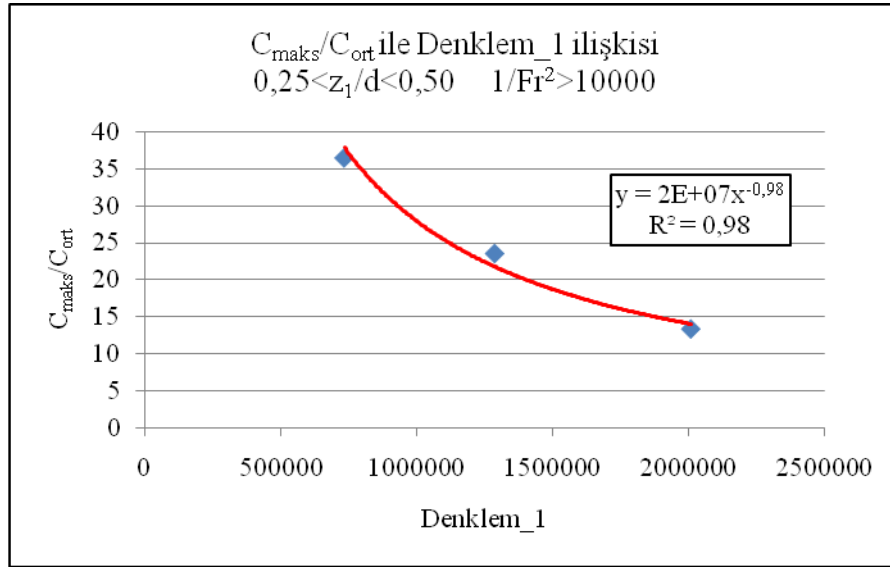
Şekil C.1: Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ($0,25 < z_1/d < 0,50$ - $4000 < 1/Fr^2 < 10000$).



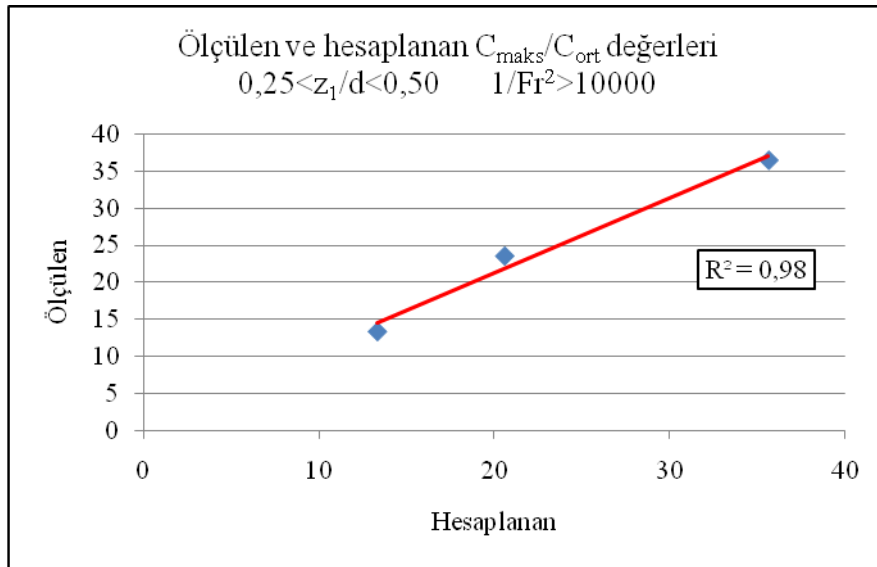
Şekil C.2: Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ($0,25 < z_1/d < 0,50$ - $4000 < 1/Fr^2 < 10000$).

Çizelge C.1: Boyutsuz büyüklükler ($0,25 < z_1/d < 0,50$ - $4000 < 1/Fr^2 < 10000$).

C_{maks}/C_{ort}	ub/ws	H/d	H/D	$g*d/u^2$	x/d	z_1/d	x/z_1	Denklem_1	Hesaplanan
9	0,17	0,26	135,08	8013	6,06	0,82	7,41	718451	11
5	0,18	0,36	188,25	6939	6,06	0,82	7,41	931740	8
8	0,18	0,43	223,33	7555	6,06	0,82	7,41	1153420	5
16	0,18	0,20	106,35	6875	6,06	0,73	8,33	589429	15
26	0,23	0,20	107,30	4219	6,06	0,73	8,33	465890	22
16	0,19	0,21	108,10	6395	6,06	0,73	8,33	577805	16



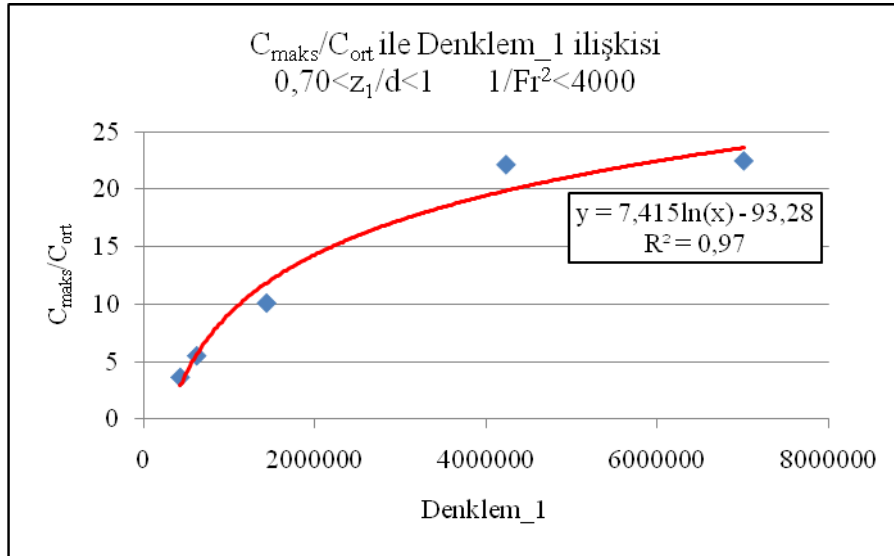
Şekil C.3: Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ($0,25 < z_1/d < 0,50$ - $1/Fr^2 > 10000$).



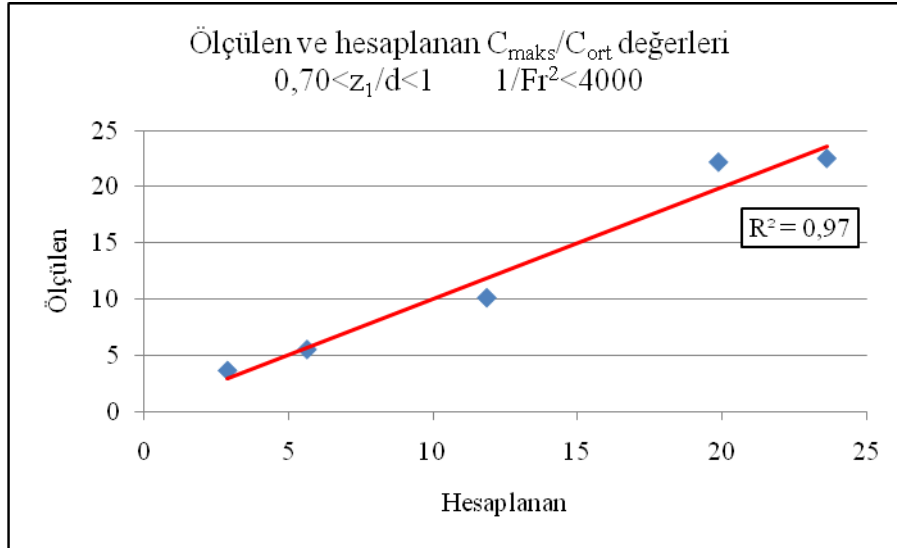
Şekil C.4: Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ($0,25 < z_1/d < 0,50$ - $1/Fr^2 > 10000$).

Çizelge C.2: Boyutsuz büyüklükler ($0,25 < z_1/d < 0,50$ - $1/Fr^2 > 10000$).

C_{maks}/C_{ort}	u_b/ws	H/d	H/D	$g*d/u^2$	x/d	z_1/d	x/z_1	Denklem_1	Hesaplanan
37	0,14	0,22	117,62	11071	6,06	0,82	7,41	735336	36
13	0,08	0,29	150,16	39967	6,06	0,73	8,33	2006619	13
24	0,15	0,36	188,41	10451	6,06	0,73	8,33	1287521	21



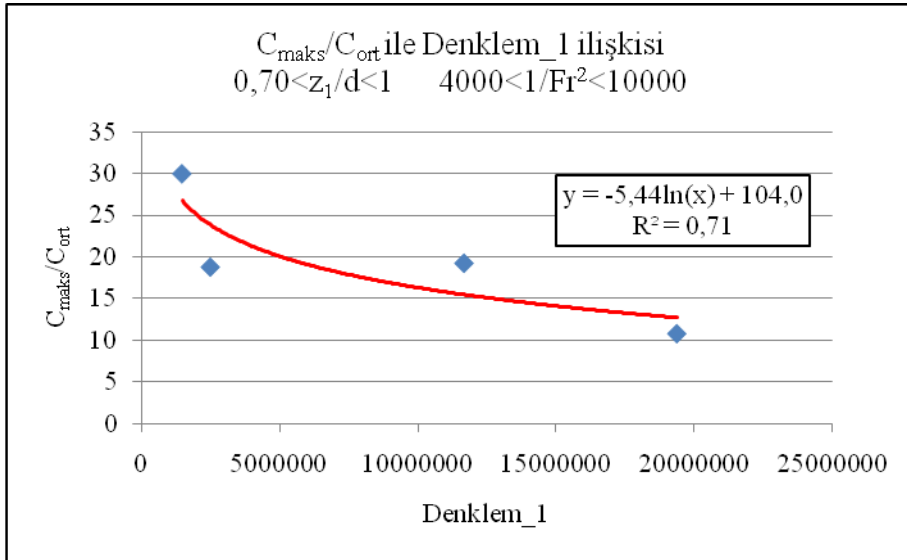
Şekil C.5: Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1$ - $1/Fr^2 < 4000$).



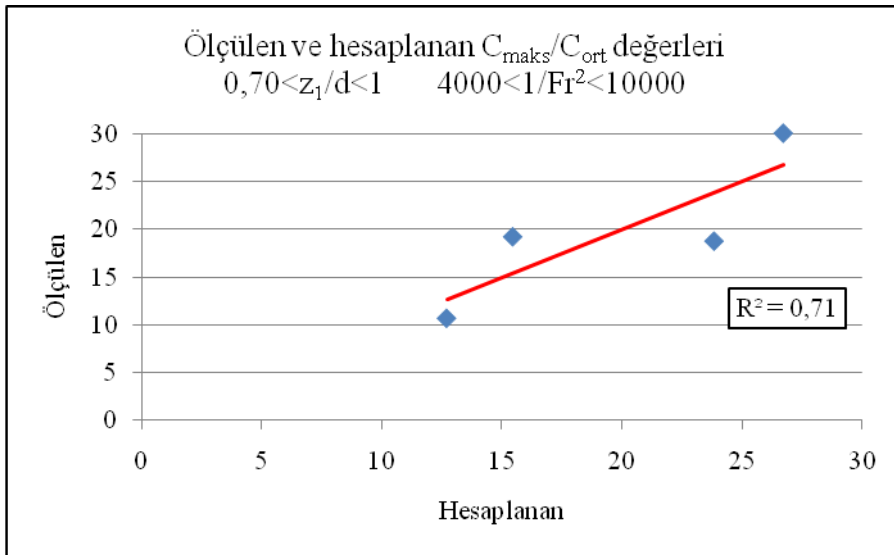
Şekil C.6: Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1$ - $1/Fr^2 < 4000$).

Çizelge C.3: Boyutsuz büyüklükler ($0,70 < z_1/d < 1$ - $1/Fr^2 < 4000$).

C_{maks}/C_{ort}	ub/ws	H/d	H/D	g^*d/u^2	x/d	z_1/d	x/z_1	Denklem_1	Hesaplanan
4	0,39	0,22	116,83	1523,28	6,06	0,52	11,76	430284	3
6	0,45	0,37	195,56	1139,54	6,06	0,52	11,76	622963	6
10	0,33	0,30	156,35	2106,74	6,06	0,24	25,00	1439089	12
22	17,07	0,26	91,90	1148,14	3,45	0,77	4,47	4235055	20
23	20,76	0,53	185,08	775,74	3,45	0,77	4,47	7010372	24



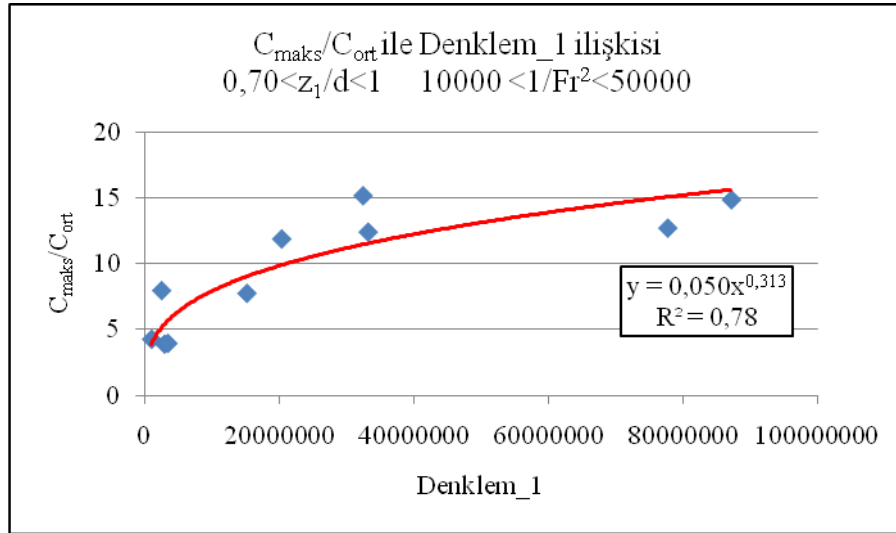
Şekil C.7: Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1$ - $4000 < 1/Fr^2 < 10000$).



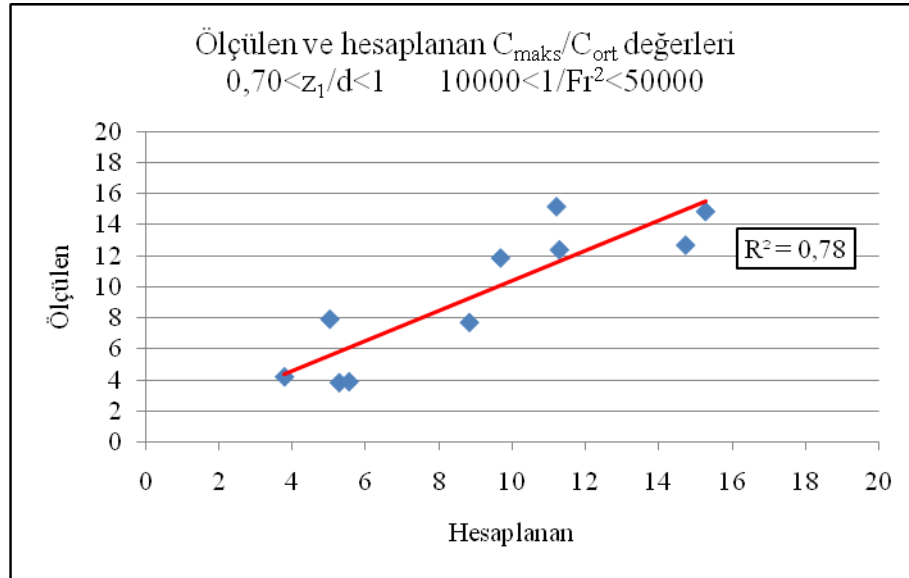
Şekil C.8: Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1$ - $4000 < 1/Fr^2 < 10000$).

Çizelge C.4: Boyutsuz büyüklükler ($0,70 < z_1/d < 1$ - $4000 < 1/Fr^2 < 10000$).

C_{maks}/C_{ort}	ub/ws	H/d	H/D	g^*d/u^2	x/d	z_1/d	x/z_1	Denklem_1	Hesaplanan
30	0,17	0,15	81,11	8258	6,06	0,24	25,00	1478064	27
19	0,22	0,35	182,70	4680	6,06	0,24	25,00	2506439	24
19	8,84	0,38	131,27	4281	3,45	0,77	4,47	11680135	15
11	8,81	0,62	216,98	4312	3,45	0,77	4,47	19377289	13



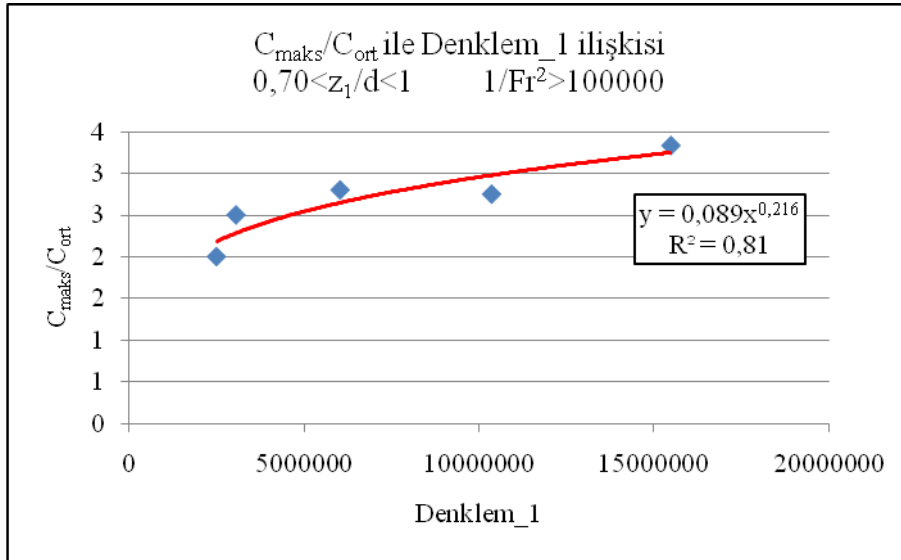
Şekil C.9: Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1$ - $10000 < 1/Fr^2 < 50000$).



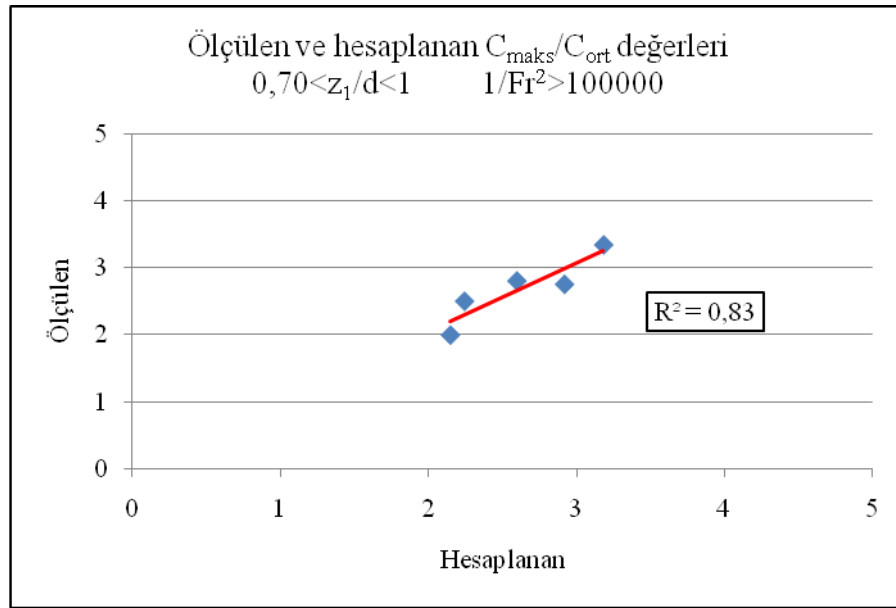
Şekil C.10: Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1$ - $10000 < 1/Fr^2 < 50000$).

Çizelge C.5: Boyutsuz büyüklükler ($0,70 < z_1/d < 1$ - $10000 < 1/Fr^2 < 50000$).

C_{maks}/C_{ort}	ub/ws	H/d	H/D	g^*d/u^2	x/d	z_1/d	x/z_1	Denklem_1	Hesaplanan
4	0,07	0,27	140,48	49342	6,06	0,52	11,76	2944672	5
8	0,08	0,27	143,49	34406	6,06	0,52	11,76	2511744	5
4	0,12	0,16	85,56	16055	6,06	0,52	11,76	1023008	4
4	0,12	0,27	139,52	15187	6,06	0,24	25,00	3448050	6
8	5,59	0,31	107,94	10693	3,45	0,77	4,47	15178705	9
12	2,70	0,33	113,97	45880	3,45	0,77	4,47	33198634	11
12	5,37	0,40	138,89	11608	3,45	0,77	4,47	20350104	10
15	3,37	0,40	139,21	29363	3,45	0,77	4,47	32440337	11
13	3,86	0,51	179,37	22481	3,45	0,36	9,50	77719714	15
15	4,10	0,61	213,65	19934	3,45	0,36	9,50	87172963	15



Şekil C.11: Denklem_1 ve C_{maks}/C_{ort} değerleri arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1$ - $1/Fr^2 > 100000$).



Şekil C.12: Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ilişki ($0,70 < z_1/d < 1$ - $1/Fr^2 > 100000$).

Çizelge C.6: Boyutsuz büyüklükler ($0,70 < z_1/d < 1$ - $1/Fr^2 > 100000$).

C_{maks}/C_{ort}	ub/ws	H/d	H/D	$g*d/u^2$	x/d	z_1/d	x/z_1	Denklem_1	Hesaplanan
3	0,04	0,43	223,17	119723	6,06	0,24	25,00	15485297,89	3
3	0,03	0,18	91,90	316143	6,06	0,24	25,00	10362538,87	3
2	0,05	0,15	79,68	111019	6,06	0,52	11,76	2505466,557	2
3	0,04	0,16	83,02	152991	6,06	0,52	11,76	3064238,113	2
3	0,03	0,27	142,22	202331	6,06	0,52	11,76	6037076,389	3

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Aysun KÖROĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: Antakya, 27.08.1979

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

Yayın Listesi:

- **Köroğlu, A.**, Kabdaşlı, M.S. 2011. “Experimental investigation on the stability of the coastal embankments under tsunami effect”. *Journal of Coastal Research* (yayında)
- **Köroğlu, A.**, Kabdaşlı, M.S. 2011. “An oil spill and response activities scenarios after the fuel tank seepage in a port: Haydarpasa port case study”. *30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE 2011)* (yayında)
- Kabdaşlı, M. S., **Köroğlu, A.**, “Kıyılardaki Dolgu Alanlarının Tsunami Etkisi Altındaki Stabilitésinin Deneysel Araştırılması”, *Türkiye Kıyı ve Deniz Alanları Ulusal Kongresi*, Trabzon, 26.04.2010-30.04.2010.
- Kabdasli M.S., Kacmaz E., Elginöz Yasa N., Bas B., **Köroğlu A.**, " İstanbul Boğazı'nda Kıyı Kullanım Çeşitliliğinin ve Ortaya Çıkardığı Sorunların Araştırılması", *Türkiye'nin Kıyı Ve Deniz Alanları VII. Ulusal Kongresi*, Ankara, 27.05.2008 - 30.05.2008.