

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KIYIYA DİK KATI MADDE HAREKETİ SONUCU OLUŞAN YIĞILMA
PROFİLİNİN FİZİKSEL MODELLE İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Ergun UZLU

HAZİRAN 2016
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Ergun UZLU Tarafından Hazırlanan**

**KIYIYA DİK KATI MADDE HAREKETİ SONUCU OLUŞAN YIĞILMA PROFİLİNİN
FİZİKSEL MODELLE İNCELENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 24 /05/2016 gün ve 1654 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Basri ERTAŞ

Üye : Prof. Dr. Ömer YÜKSEK

Üye : Doç. Dr. İsmail Hakkı ÖZÖLÇER

Üye : Doç. Dr. Faruk YILDIRIM

Üye : Yrd. Doç. Dr. Murat KANKAL



Four handwritten signatures in blue ink are positioned to the right of the jury members' names. Each signature is written on a horizontal dotted line. The signatures are: 1. A stylized signature for Prof. Dr. Basri ERTAŞ. 2. A signature for Prof. Dr. Ömer YÜKSEK. 3. A signature for Doç. Dr. İsmail Hakkı ÖZÖLÇER. 4. A signature for Doç. Dr. Faruk YILDIRIM. 5. A signature for Yrd. Doç. Dr. Murat KANKAL.

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Çeşitli dalga şartlarını, taban eğimlerini ve tabandaki malzeme özelliklerini dikkate alarak kıyıya dik katı madde hareketini incelemeye ve bu hareket sonucunda kıyı profilinde oluşan yığılma bölgesi geometrik parametrelerini ve granülometri değişimini belirlemeye yönelik bu çalışma; Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır.

Tez Danışmanlığımı üstlenerek konu seçimi ve çalışmaların yürütülmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat KANKAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Yapıcı eleştirilerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Ömer YÜKSEK'e teşekkür ederim.

Tez çalışmaları devam ederken aramızdan ayrılarak bizi büyük acılara boğan Merhum Doç. Dr. Murat İhsan KÖMÜRCÜ'yü hasret ve minnetle anıyor, kendisine sonsuz rahmetler diliyorum.

Tez çalışmaları sırasında vermiş olduğu teknik destekten dolayı Elektrik Mühendisi Tuncay DEĞİRMENCİ'ye teşekkür ederim.

Hayatım boyunca, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim Annem Emine UZLU, Babam Burhan UZLU ve Kardeşim Ercan UZLU'ya en içten hürmet ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince burs aldığım Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na teşekkür ederim.

Ergun UZLU
Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Kıyıya Dik Katı Madde Hareketi Sonucu Oluşan Yığılma Profiline Fiziksel Modelle İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Murat KANKAL’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 24/06/2016

Ergun UZLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	XI
SUMMARY.....	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XIII
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.3. Önceki Çalışmalar.....	3
1.3.1. Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımı ile İlgili Fiziksel Model Çalışmaları.....	3
1.3.2. Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımı ile İlgili Sayısal Model Çalışmaları.....	8
1.3.3. Kıyıya Dik Profillerin Granülometrik Değişimi ile İlgili Çalışmalar....	9
1.4. Dalgaların Genel Özellikleri.....	12
1.4.1. Düzensiz Dalgaların Karakteristik Parametrelerinin Belirlenmesi.....	12
1.4.1.1. Sıfırı Aşağı/Yukarı Kesme Yöntemi (Zaman Alanında Analiz).....	13
1.4.1.2. Dalga Spektrumundan Elde Edilen Karakteristik Dalga Parametreleri..	14
1.4.1.3. Düzensiz Dalga Spektrumları.....	15
1.4.2. Dalgaların Kıyıya Yaklaşırken Uğradığı Değişimler.....	16
1.5. Kıyının Morfolojik Yapısı.....	17
1.5.1. Kıyı Bölgesinin Tanımı.....	17
1.5.2. Kıyı Hidrodinamik Dengesi ve Katı Madde Kaynakları.....	18
1.5.3. Kıyıdaki Katı Maddelerin Fiziksel Özellikleri.....	19
1.5.4. Katı Madde Taşınımını Etkileyen Faktörler.....	19
1.5.4.1. Dalgalar.....	19
1.5.4.2. Akıntılar.....	20

1.5.4.3.	Gel-Gitler.....	20
1.5.4.4.	Rüzgarlar.....	20
1.5.4.5.	Diğer Faktörler.....	20
1.6.	Katı Madde Taşınım Mekanizması.....	21
1.6.1.	Kıyı Bölgesinde Tabanda Hareketin Başlaması.....	21
1.6.2.	Taşınım Türleri.....	22
1.6.2.1.	Taban Malzemesi Taşınımı.....	22
1.6.2.2.	Taban Malzemesi-Askı Malzemesi Geçışı.....	22
1.6.2.3.	Askı Şeklinde Malzeme Hareketi.....	22
1.6.2.4.	Tabaka Akımı.....	22
1.6.3.	Kırılma Bölgesinde Katı Madde Taşınımı.....	23
1.6.4.	Kırılma Noktası Civarındaki Katı Madde Taşınımı.....	23
1.6.5.	Tırmanma Bölgesinde Katı Madde Taşınımı.....	23
1.6.6.	Katı Madde Taşınım Bölgesinin Sınırı.....	24
1.6.7.	Katı Madde Taşınım Formüllerinin Sınıflandırılması.....	25
1.6.8.	Kıyıya Dik ve Paralel Taşınım.....	25
1.7.	Kıyı Profilleri.....	26
1.7.1.	Fırtına Profili (Erozyon Profili).....	27
1.7.2.	Normal Profil (Yığılma Profili).....	27
1.7.3.	Fırtına Profili ile Normal Profilin Belirlenmesi.....	28
1.7.4.	Kıyı Önü Eğimi.....	31
1.8.	Kıyılarda Katı Madde Özelliklerinin Tanımlanması.....	31
1.9.	Regresyon Analizi.....	33
1.9.1.	Klasik Regresyon Analizi (KRA).....	33
1.9.2.	Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE).....	34
1.10.	Yapay Sinir Ağları (YSA) Yöntemi.....	36
1.10.1.	YSA'nın Üstünlük ve Sakıncaları.....	37
1.10.2.	YSA Eğitiminde Kullanılan Algoritmalar.....	37
1.10.2.1.	Geri Yayılmalı Algoritma (GYA).....	38
1.10.2.2.	Yapay Arı Kolonisi (YAK) Algoritması.....	39
1.10.2.3.	Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (ÖÖTO) Algoritması.....	41
1.10.2.4.	JAYA Algoritması.....	43
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	45

2.1.	Giriş.....	45
2.2.	Çalışma Kapsamında İncelenen Yığılma Bölgesi Geometrik Parametreleri.....	45
2.2.1.	Yığılma Bölgesinin Başlangıç Noktası.....	46
2.2.2.	Yığılma Bölgesinin Tepe Noktası.....	47
2.2.3.	Yığılma Bölgesinin Son Noktası.....	47
2.2.4.	Yığılma Bölgesinin Hacmi.....	47
2.3.	İrdelenen Yığılma Bölgesi Geometrik Parametrelerinin Geçmiş Çalışmalardaki Durumu.....	47
2.4.	Çalışma Kapsamında Granülometri Değişimi İncelenen Yığılma Bölgesi Kesitleri.....	48
2.5.	Fiziksel Model Çalışmaları.....	49
2.5.1.	Model Ölçeği.....	49
2.5.2.	Dalga Şartları.....	49
2.5.3.	Taban Eğimi Özellikleri.....	50
2.5.4.	Malzeme Özellikleri.....	51
2.5.5.	Deney Süreleri.....	52
2.5.6.	Dalga Kanalı ve Donanımı.....	52
2.5.7.	Ölçüm Sistemi.....	54
2.5.7.1.	Dalga Ölçüm Sistemi.....	54
2.5.7.1.1.	Su Yüksekliği Değişimlerinin Belirlenmesi.....	54
2.5.7.1.2.	Dalga Karakteristik Parametrelerinin Belirlenmesi İçin Oluşturulan Yazılım.....	58
2.5.7.2.	Taban Profili Ölçüm Sistemi.....	60
2.5.7.3.	Kıyı Profili Üzerindeki Taban Malzemesinin Granülometri Değişiminin Ölçümü.....	62
2.5.8.	Çalışma Kapsamında Yapılan ve Kullanılan Deneyler.....	63
2.6.	Yığılma Bölgesi Geometrik Parametreleri İçin Denklemlerin Kurulması.....	65
2.6.1.	KRA ve ÇDURE Tekniği ile Kurulan Denklemler.....	65
2.6.2.	YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Denklemler.....	66
2.7.	Yapay Sinir Ağları (YSA) Çalışmaları.....	67
2.8.	Denklemlerin Kurulmasında ve YSA Modellerinin Oluşturulmasında Kullanılan Veri Setleri.....	68
2.9.	Değişkenlerin Boyutsuzlaştırılması.....	69

3.	BULGULAR.....	70
3.1.	Yığılma Bölgesi Geometrik Parametreleri İçin Elde Edilen Bulgular...	70
3.1.1.	Yığılma Bölgesi Başlangıç Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{yb}).....	71
3.1.1.1.	X_{yb} İçin Fiziksel Model Bulguları.....	71
3.1.1.2.	X_{yb} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutlu Modeller.....	72
3.1.1.3.	X_{yb} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutsuz Modeller.....	72
3.1.1.4.	X_{yb} İçin Boyutlu ÇDURE Modeli.....	73
3.1.1.5.	X_{yb} İçin Boyutsuz ÇDURE Modeli.....	75
3.1.1.6.	X_{yb} İçin YSA Modelleri.....	76
3.1.2.	Yığılma Bölgesi Tepe Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{yt}).....	78
3.1.2.1.	X_{yt} İçin Fiziksel Model Bulguları.....	78
3.1.2.2.	X_{yt} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutlu Modeller.....	79
3.1.2.3.	X_{yt} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutsuz Modeller.....	80
3.1.2.4.	X_{yt} İçin Boyutlu ÇDURE Modeli.....	81
3.1.2.5.	X_{yt} İçin Boyutsuz ÇDURE Modeli.....	82
3.1.2.6.	X_{yt} İçin YSA Modelleri.....	84
3.1.3.	Yığılma Bölgesi Tepe Noktasının Sakin Su Seviyesine Düşey Uzaklığı (h_{yt}).....	85
3.1.3.1.	h_{yt} İçin Fiziksel Model Bulguları.....	86
3.1.3.2.	h_{yt} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutlu Modeller.....	86
3.1.3.3.	h_{yt} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutsuz Modeller.....	87
3.1.3.4.	h_{yt} İçin Boyutlu ÇDURE Modeli.....	88
3.1.3.5.	h_{yt} İçin Boyutsuz ÇDURE Modeli.....	90
3.1.3.6.	h_{yt} İçin YSA Modelleri.....	91
3.1.4.	Yığılma Bölgesinin Kıyıya Dik Genişliği (L_y).....	93
3.1.4.1.	L_y İçin Fiziksel Model Bulguları.....	93
3.1.4.2.	L_y İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutlu Modeller.....	94

3.1.4.3.	L_y İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutsuz Modeller.....	95
3.1.4.4.	L_y İçin Boyutlu ÇDURE Modeli.....	96
3.1.4.5.	L_y İçin Boyutsuz ÇDURE Modeli.....	97
3.1.4.6.	L_y İçin YSA Modelleri.....	99
3.1.5.	Yığılma Bölgesinin Hacmi (V_{yh}).....	100
3.1.5.1.	V_{yh} İçin Fiziksel Model Bulguları.....	101
3.1.5.2.	V_{yh} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutlu Modeller.....	101
3.1.5.3.	V_{yh} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutsuz Modeller.....	102
3.1.5.4.	V_{yh} İçin Boyutlu ÇDURE Modeli.....	103
3.1.5.5.	V_{yh} İçin Boyutsuz ÇDURE Modeli.....	105
3.1.5.6.	V_{yh} İçin YSA Modelleri.....	106
3.2.	Yığılma Bölgesi Granülometrik Değişimi için Elde Edilen Bulgular...	108
3.2.1.	Yığılma Bölgesi Önü (Kıyıya Doğru Olan Kısım) için Fiziksel Model Bulguları.....	108
3.2.2.	Yığılma Bölgesi Tepe Kısmı İçin Fiziksel Model Bulguları.....	111
3.2.3.	Yığılma Bölgesi Sırt Kısmı İçin Fiziksel Model Bulguları.....	114
3.2.4.	Kıyı Çizgisi İçin Fiziksel Model Bulguları.....	117
3.2.5.	Yığılma Bölgesi Topuk Kısmı İçin Fiziksel Model Bulguları.....	120
4.	İRDELEME.....	124
4.1.	Yığılma Bölgesi Geometrik Parametrelerinin İrdelenmesi.....	124
4.1.1.	Dalga Şartları, Taban Eğimi ve Malzeme Özelliklerinin Yığılma Bölgesi Geometrik Parametreleri Üzerine Etkilerinin İrdelenmesi.....	124
4.1.1.1.	Başlangıç Taban Eğiminin Etkisi.....	124
4.1.1.2.	Dalga Yüksekliği ve Periyodunun Etkisi.....	126
4.1.1.3.	Dane Çapının Etkisi.....	127
4.1.2.	Yığılma Bölgesi Geometrik Parametreleri için Kurulan Modellerin İrdelenmesi.....	129
4.1.2.1.	Yığılma Bölgesi Başlangıç Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı.....	129
4.1.2.2.	Yığılma Bölgesi Tepe Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı.....	131

4.1.2.3.	Yığılma Bölgesi Tepe Noktasının Sakin Su Seviyesine Düşey Uzaklığı.....	132
4.1.2.4.	Yığılma Bölgesinin Kıyıya Dik Genişliği.....	133
4.1.2.5.	Yığılma Bölgesinin Hacmi.....	135
4.1.2.6.	Yığılma Bölgesi Geometrik Parametreleri İçin Literatürde Verilen Denklemlerin Düzensiz Dalga Durumundaki Performansı	136
4.2.	Yığılma Bölgesi Granülometrik Değişiminin İrdelenmesi.....	136
4.2.1.	Yığılma Bölgesi Önü (Kıyıya Doğru Olan Kısım).....	137
4.2.2.	Yığılma Bölgesi Tepe Kısım.....	137
4.2.3.	Yığılma Bölgesi Sırt Kısım.....	138
4.2.4.	Kıyı Çizgisi.....	138
4.2.5.	Yığılma Bölgesi Topuk Kısım.....	139
4.2.6.	Yığılma Bölgesinin Granülometrik Değişiminin Fiziksel Olarak Açıklanması.....	139
5.	SONUÇLAR.....	142
5.1.	Yığılma Bölgesi Geometrik Parametreleri İçin Elde Edilen Sonuçlar...	142
5.2.	Yığılma Bölgesi Granülometrik Değişimi İçin Elde Edilen Sonuçlar...	143
6.	ÖNERİLER.....	145
7.	KAYNAKLAR.....	147
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

KIYIYA DİK KATI MADDE HAREKETİ SONUCU OLUŞAN YIĞILMA PROFİLİNİN
FİZİKSEL MODELLE İNCELENMESİ

Ergun UZLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Murat KANKAL
2016, 153 Sayfa

Bu çalışmada, kıyıya dik katı madde hareketi, dalga şartları, taban eğimi ve tabandaki malzeme özellikleri dikkate alınarak fiziksel bir modelle incelenmiş ve bu hareket sırasında oluşan kıyı profilindeki yığılma bölgesi geometrik parametreleri ve granülometri değişimi belirlenmiştir.

Fiziksel model verileri kullanılarak yapılan analizlerle, yığılma bölgesi geometrik parametreleri için boyutlu ve boyutsuz denklemler kurulmuştur. Denklemlerin oluşturulmasında klasik regresyon analizi ve çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri teknikleri kullanılmıştır. Ayrıca yapay arı kolonisi (YAK), öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon (ÖÖTO) ve JAYA algoritmaları regresyon fonksiyonlarına uygulanarak boyutlu ve boyutsuz denklemler elde edilmiştir. Kurulan denklemlerin yanı sıra, fiziksel model verileri yapay sinir ağı (YSA) yöntemiyle de irdelenmiştir. Boyutlu ve boyutsuz YSA modelleri, geri yayılmalı algoritma, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları kullanılarak oluşturulmuştur. Fiziksel model, kurulan denklemler, YSA ve literatürdeki ilgili denklemler sonuçları karşılaştırılmıştır. Kurulan denklemlerin ve YSA modellerinin, literatürdeki denklemlerden çok daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Aynı zamanda yığılma profilinde, yığılma bölgesinin önü, tepesi, sırtı, kıyı çizgisi ve topuğu gibi kesitler tanımlanarak bu kesitlerdeki granülometrik değişimler incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda yığılma önü, kıyı çizgisi ve yığılma topuğunda biriken malzemenin orijinal tabana göre irileşmekte olduğu, yığılma sırtında biriken malzemenin ise incelmekte olduğu belirlenmiştir. Yığılma tepesi için ise net bir değerlendirme yapılamamıştır.

Anahtar Kelimeler: Kıyıya Dik Katı Madde Hareketi, Kıyı Profilleri, Yığılma Profili, Palye, Granülometrik Değişim, Regresyon Analizi, Yapay Arı Kolonisi Algoritması, Öğretim-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon, JAYA, Yapay Sinir Ağları

PhD. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF ACCRETION PROFILE CAUSED BY CROSS-SHORE SEDIMENT
MOVEMENT WITH PHYSICAL MODEL

Ergun UZLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Murat KANKAL
2016, 153 Pages

In this study, by taking in the consideration of wave height and period, bed slope and sediment diameter, cross-shore sediment movement was studied in a physical model and various berm geometric parameters and of the resultant accretion type profile were determined. Also sorting of sediment on accretion profile were examined.

Regression analyses were made using of physical model data, then dimensional and non-dimensional equations were found for each parameter. Classical regression analyses and multivariate adaptive regression splines techniques were used to generate the equations. In addition, artificial bee colony (ABC), teaching-learning based optimization (TLBO) and JAYA algorithms were applied to regression functions to obtain dimensional and non-dimensional equations. The experimental results were also evaluated by using artificial neural networks (ANN) and the related berm geometric parameters were determined. Dimensional and non-dimensional ANN models were obtained by using back propagation, ABC, TLBO and JAYA algorithms. Results obtained from the tests were compared with results from the developed models and the equations given in the literature. It was concluded that the results of the equations and neural networks were better than those of cited in literature.

Also, foreshore of accretion zone, crest of accretion zone, ridge of accretion zone, shoreline and toe of accretion zone were determined as sections in accretion profile than sorting of sediment in these sections were determined. In consequence of this study, it was clearly understood that finer material was accumulated on the ridge of accretion profiles, but coarser grains deposited on the front, shoreline and toe sections. There was not an assessment for crest of accretion zone.

Key Words: Cross-Shore Sediment Movement, Coastal Profiles, Accretion Profile, Berm, Grain Sorting, Regression Analysis, Artificial Bee Colony Algorithm, Teaching-Learning Based Optimization, JAYA, Artificial Neural Networks

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Su yüzeyi düşey yer değiştirmesinin inceleme yöntemleri..... 13
Şekil 1.2.	Toplam dalga enerjisinin gösterimi..... 14
Şekil 1.3.	Kıyı bölgesi hidrodinamik kısımları..... 17
Şekil 1.4.	Kıyıda katı madde dengesi..... 18
Şekil 1.5.	Fırtına profili..... 27
Şekil 1.6.	Yığılma profili..... 28
Şekil 1.7.	Kıyı malzemesinin analizi..... 32
Şekil 1.8.	ÖÖTO algoritmasına ait akış diyagramı..... 42
Şekil 1.9.	JAYA algoritmasına ait akış diyagramı..... 44
Şekil 2.1.	Yığılma bölgesi geometrik parametreleri..... 46
Şekil 2.2.	Yığılma bölgesindeki granülometrik değişimi incelenen kesit yerleri... 48
Şekil 2.3.	Model dalga kanalı ve kesiti..... 52
Şekil 2.4.	Düzensiz dalga üreticinin işletim sistemi..... 53
Şekil 2.5.	Düzensiz dalga üretim düzeneği ve dalganın üretilmesi..... 55
Şekil 2.6.	Dalga üretim ara yüzü..... 55
Şekil 2.7.	Su seviyesi değişimi ölçüm sistemi ekipmanları..... 56
Şekil 2.8.	Elektronik kartın görünümü..... 57
Şekil 2.9.	Tasarlanan ölçüm alma sistemi..... 57
Şekil 2.10.	Kartın kontrolünü sağlayan yazılıma ait ara yüz..... 57
Şekil 2.11.	Oluşturulan örnek bir spektrum..... 59
Şekil 2.12.	Elde edilen zaman serisinin görünümü..... 59
Şekil 2.13.	Dokunma duyarlı iki boyutlu profil kaydedici genel şeması..... 61
Şekil 2.14.	Dokunma duyarlı iki boyutlu profil kaydedici..... 61
Şekil 2.15.	Ölçüm ağı planı..... 62
Şekil 3.1.	0.26 mm için yığılma bölgesi ön kısmının granülometrik değişimi..... 109
Şekil 3.2.	0.33 mm için yığılma bölgesi ön kısmının granülometrik değişimi..... 109
Şekil 3.3.	0.40 mm için yığılma bölgesi ön kısmının granülometrik değişimi..... 110
Şekil 3.4.	0.26 mm için yığılma bölgesi tepe kısmının granülometrik değişimi... 112

Şekil 3.5.	0.33 mm için yığılma bölgesi tepe kısmının granülometrik değişimi...	112
Şekil 3.6.	0.40 mm için yığılma bölgesi tepe kısmının granülometrik değişimi...	113
Şekil 3.7.	0.26 mm için yığılma bölgesi sırt kısmının granülometrik değişimi.....	115
Şekil 3.8.	0.33 mm için yığılma bölgesi sırt kısmının granülometrik değişimi.....	115
Şekil 3.9.	0.40 mm için yığılma bölgesi sırt kısmının granülometrik değişimi.....	116
Şekil 3.10.	0.26 mm için kıyı çizgisi granülometrik değişimi.....	118
Şekil 3.11.	0.33 mm için kıyı çizgisi granülometrik değişimi	118
Şekil 3.12.	0.40 mm için kıyı çizgisi granülometrik değişimi.....	119
Şekil 3.13.	0.26 mm için topuk kısmı granülometrik değişimi	121
Şekil 3.14.	0.33 mm için topuk kısmı granülometrik değişimi.....	121
Şekil 3.15.	0.40 mm için topuk kısmı granülometrik değişimi	122
Şekil 4.1.	Taban eğimine bağlı olarak yığılma bölgesi geometrik parametrelerinin değişimi.....	125
Şekil 4.2.	Dalga yüksekliği ve periyoduna bağlı olarak yığılma bölgesi geometrik parametrelerinin değişimi.....	127
Şekil 4.3.	Dane çapına bağlı olarak yığılma bölgesi geometrik parametrelerinin değişimi.....	128
Şekil 4.4.	X_{yb} için en iyi denklemlerin ve YSA modelinin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	130
Şekil 4.5.	X_{yt} için en iyi denklemlerin ve YSA modelinin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	132
Şekil 4.6.	h_{yt} için en iyi denklemlerin ve YSA modelinin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	133
Şekil 4.7.	L_y için en iyi denklemlerin ve YSA modelinin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	134
Şekil 4.8.	V_{yh} için en iyi denklemlerin ve YSA modelinin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	136
Şekil 4.9.	Başlangıç profilindeki danelerin dağılımı.....	140
Şekil 4.10.	Denge profilindeki danelerin dağılımı.....	140

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Spektrum analizinden elde edilen karakteristik dalga parametreleri.....	15
Tablo 1.2. Kraus vd. tarafından incelenen kıyıya dik erozyon ve yığılma kriterleri.	30
Tablo 1.3. Katı maddenin sınıflandırılması.....	33
Tablo 1.4. ÇDURE'nin üstünlük ve sakıncaları.....	36
Tablo 1.5. YSA'nın üstünlük ve sakıncaları.....	37
Tablo 2.1. İrdelenen yığılma bölgesi geometrik parametrelerinin literatürdeki durumu.....	48
Tablo 2.2. 1.57 ve 2.18 s periyotlu dalgalar için dalga yükseklik ve diklikleri.....	50
Tablo 2.3. Kullanılan malzemelerin özellikleri.....	51
Tablo 2.4. Çalışma kapsamında yapılan deneyler.....	64
Tablo 2.5. YAK, ÖÖTO ve JAYA için seçilen kontrol parametrelerinin değerleri..	67
Tablo 3.1. X_{yb} için fiziksel model bulguları.....	71
Tablo 3.2. X_{yb} boyutlu regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri.....	72
Tablo 3.3. X_{yb} boyutsuz regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri.....	73
Tablo 3.4. X_{yb} boyutlu ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar.....	74
Tablo 3.5. Her bir bağımsız değişkenin X_{yb} 'ye etki oranı.....	74
Tablo 3.6. X_{yb} boyutsuz ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar.....	75
Tablo 3.7. Her bir bağımsız değişkenin X_{yb}/L_0 'a etki oranı.....	76
Tablo 3.8. X_{yb} boyutlu YSA analizi, eğitim ve doğrulama setleri için hesaplanan OKHK değerleri.....	76
Tablo 3.9. X_{yb} boyutsuz YSA analizi, eğitim ve doğrulama setleri için hesaplanan OKHK değerleri.....	77
Tablo 3.10. X_{yb} deneme seti için elde edilen bulgular.....	78
Tablo 3.11. X_{yt} için fiziksel model bulguları.....	79
Tablo 3.12. X_{yt} boyutlu regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri.....	80
Tablo 3.13. X_{yt} boyutsuz regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri.....	80
Tablo 3.14. X_{yt} boyutlu ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar.....	81
Tablo 3.15. Her bir bağımsız değişkenin X_{yt} 'ye etki oranı.....	82
Tablo 3.16. X_{yt} boyutsuz ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar.....	83

Tablo 3.17. Her bir bağımsız değişkenin X_{yt}/L_0 'a etki oranı.....	83
Tablo 3.18. X_{yt} boyutlu YSA analizi eğitim ve doğrulama setleri için hesaplanan OKHK değerleri	84
Tablo 3.19. X_{yt} boyutsuz YSA analizi eğitim ve doğrulama setleri için hesaplanan OKHK değerleri.....	84
Tablo 3.20. X_{yt} deneme seti için elde edilen bulgular.....	85
Tablo 3.21. h_{yt} için fiziksel model bulguları.....	86
Tablo 3.22. h_{yt} boyutlu regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri.....	87
Tablo 3.23. h_{yt} boyutsuz regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri.....	88
Tablo 3.24. h_{yt} boyutlu ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar.....	89
Tablo 3.25. Her bir bağımsız değişkenin h_{yt} 'ye etki oranı.....	89
Tablo 3.26. h_{yt} boyutsuz ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar.....	90
Tablo 3.27. Her bir bağımsız değişkenin h_{yt}/L_0 'a etki oranı.....	91
Tablo 3.28. h_{yt} boyutlu YSA analizi eğitim ve doğrulama seti için hesaplanan OKHK değerleri.....	92
Tablo 3.29. h_{yt} boyutsuz YSA analizi eğitim ve doğrulama seti için hesaplanan OKHK değerleri.....	92
Tablo 3.30. h_{yt} deneme seti için elde edilen bulgular.....	93
Tablo 3.31. L_y için fiziksel model bulguları.....	94
Tablo 3.32. L_y boyutlu regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri.....	95
Tablo 3.33. L_y boyutsuz regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri.....	95
Tablo 3.34. L_y boyutlu ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar.....	96
Tablo 3.35. Her bir bağımsız değişkenin L_y 'ye etki oranı.....	97
Tablo 3.36. L_y boyutsuz ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar.....	98
Tablo 3.37. Her bir bağımsız değişkenin L_y/L_0 'a etki oranı.....	98
Tablo 3.38. L_y boyutlu YSA analizi eğitim ve doğrulama seti için hesaplanan OKHK değerleri.....	99
Tablo 3.39. L_y boyutsuz YSA analizi eğitim ve doğrulama seti için hesaplanan OKHK değerleri.....	99
Tablo 3.40. L_y deneme seti için elde edilen bulgular.....	100
Tablo 3.41. V_{yh} için fiziksel model bulguları.....	101
Tablo 3.42. V_{yh} boyutlu regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri.....	102
Tablo 3.43. V_{yh} boyutsuz regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri.....	103
Tablo 3.44. V_{yh} boyutlu ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar.....	104

Tablo 3.45.	Her bir bağımsız değişkenin V_{yh} 'ye etki oranı.....	104
Tablo 3.46.	V_{yh} boyutsuz ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar.....	105
Tablo 3.47.	Her bir bağımsız değişkenin $V_{yh}/(L_0)^2$ 'a etki oranı.....	106
Tablo 3.48.	V_{yh} boyutlu YSA analizi eğitim ve doğrulama seti için hesaplanan OKHK değerleri.....	106
Tablo 3.49.	V_{yh} boyutsuz YSA analizi eğitim ve doğrulama seti için hesaplanan OKHK değerleri.....	107
Tablo 3.50.	V_{yh} deneme seti için elde edilen bulgular.....	108
Tablo 3.51.	Yığılma bölgesi önü için elde edilen d_{50} değerleri.....	110
Tablo 3.52.	Yığılma bölgesi önü için hesaplanan standart sapma değerleri.....	111
Tablo 3.53.	Yığılma bölgesi tepesi için elde edilen d_{50} değerleri.....	113
Tablo 3.54.	Yığılma bölgesi tepesi için hesaplanan standart sapma değerleri.....	114
Tablo 3.55.	Yığılma bölgesi sırt kısmı için elde edilen d_{50} değerleri.....	116
Tablo 3.56.	Yığılma bölgesi sırt kısmı için hesaplanan standart sapma değerleri.....	117
Tablo 3.57.	Kıyı çizgisi için elde edilen d_{50} değerleri.....	119
Tablo 3.58.	Kıyı çizgisi için hesaplanan standart sapma değerleri.....	120
Tablo 3.59.	Yığılma bölgesi topuk kısmı için elde edilen d_{50} değerleri.....	122
Tablo 3.60.	Yığılma bölgesi topuk kısmı için hesaplanan standart sapma değerleri..	123
Tablo 4.1.	m , d_{50} , H_{m0} ve T_p 'nin yığılma bölgesi geometrik parametreleri üzerindeki etkisi.....	129
Tablo 4.2.	Yığılma profilinin başlangıç profiline göre granülometrik değişimi.....	141

SEMBOLLER DİZİNİ

a	: Dalga genliği
a_n	: n. dalga frekans bileşenin genliği
a_k	: k. temel fonksiyonun kat sayısı
B	: Yığılmanın başlangıç noktası
C_{wm}	: Kalibrasyon parametresi
C^*	: Yığılma-erozyon kriteri
C^{**}	: Yığılma-erozyon kriteri
d_{50}	: Taban malzemesinin medyan çapını
D	: Her bir hacim başına enerji dağılımı, su parçacığı yörünge çapı, optimize edilecek parametre sayısı
D_o	: Iwaghi ve Noda'nın önerdiği yığılma-oyulma kriteri
E	: Ortalama karesel hataların karekökü
F_o	: Yığılma-oyulma kriteri için bir tür Froude Sayısı
$f(S_{new_i})$: i. yeni bireyin amaç fonksiyonu
$f(S_{old_i})$: i. eski bireyin amaç fonksiyonu
f_i	: Amaç fonksiyonu
f_p	: Pik periyoda karşılık gelen dalga frekansı
g	: Yerçekimi ivmesi
GYA	: Geri yayımlı algoritma
G_o	: Dean'in önerdiği yığılma-oyulma kriteri
h	: Su derinliği
h^*	: Taban malzemesinin taşınabileceği derinlik
h_{yb}	: Yığılmanın başlangıç noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı
h_{yt}	: Yığılmanın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı
H	: Yerel dalga yüksekliği
H_0	: Açık deniz dalga yüksekliği
H_{m0}	: Spektrum analizinden hesaplanan belirgin dalga yüksekliği
H_E	: Ortalama enerji dalga yüksekliği
H_i	: i. dalganın yüksekliği
$H_{1/3}=H_s$: Sıfırı aşağı kesme yönteminden hesaplanan belirgin dalga yüksekliği

H_{rms}	: Dalga yüksekliklerinin karelerinin ortalamasının karekökü
k	: Düğüm sayısı
$k_{l,m}$: Düğüm değeri
K	: Boyutsuz bir katsayı, orijinal kıyı çizgisi, dalga sayısı, temel fonksiyon sayısı
K_G	: Kurtosis katsayısı
L	: Yerel dalga boyu
L_m	: Etkileşim derecesi
L_0	: Açık deniz dalga boyu
L_y	: Yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliği
m	: Ortalama taban eğimi
m_n	: Dalga spektrumunun n. derece momenti
m_0	: Dalga spektrumunun sıfıncı momenti
N	: Dalga kaydındaki dalga sayısı
N_0	: Yığılma-oyulma kriteri için Dean sayısı
ÖÖTO	: Öğrenme-Öğretme tabanlı optimizasyon
OKHK	: Ortalama karesel hataların karekökü
P_n	: Popülasyon hacmi
r	: Rastgele sayı
S_i	: i. birey (olası çözüm)
S_{new_i}	: i. yeni birey
S_{old_i}	: i. eski birey
S_p	: Palet pozisyonu
$S_v(t)$: Palet hızı
SN	: Yiyecek kaynağı sayısı
q	: Birim hacimdeki katı madde debisi
q_c	: Taşınım ana akışın katkısı
q_{sx}	: Kıyıya dik yöndeki katı madde taşınım oranı
q_{sy}	: Kıyıya paralel yöndeki katı madde taşınım oranı
R	: Akarsulardan gelen katı madde debisi
R_c	: Kayalardan aşınan malzeme debisi
R^2	: Determinasyon katsayısı
S	: Yığılmanın son noktası

S_k	: Çarpıklık katsayısı
SSS	: Sakin su seviyesi
S_o	: Derin (açık deniz) su dalga dikliği
T	: Dalga periyodu, Yığılmanın tepe noktası
$T_{m01}=T_1$: Ortalama dalga periyodu
$T_{m02}=T_02$: Ortalama dalga periyodu
T_p	: Pik periyodu
TBA	: Temel bileşen analizi
$T_{1/3}=T_s$: Belirgin dalga periyodu
$\tan\beta$: Taban eğimi
U_b	: Tabandaki akışkan hızı
V(t)	: Voltaj
V_{yh}	: Yığılma hacmi
y_i	: i. gözlem için gerçek değer
y	: Modelden hesaplanan çıktı, Bağımlı değişken
YAK	: Yapay arı kolonisi
w	: Çökme hızı
w_n	: Açısal frekans, regresyon katsayısı
x_i	: i. gözlem için modelden bulunan değer, i. bağımsız değişken
X	: Bağımsız değişken
$x_{v(1,m)}$: Bağımsız değişken değeri
X_{yb}	: Yığılmanın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı
X_{yt}	: Yığılmanın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı
X^*	: Katı maddenin taşınabileceği son noktanın kıyı çizgisine yatay uzaklığı
η	: Maksimum su yüzeyi yüksekliği, dalga profilinin durgun suya göre düşey mesafesi, öğrenme oranı
α	: Ölçek parametresi, momentum oranı
α_0	: Hsu'nun kullandığı başlangıç dalga açısı
ρ_s	: Kum taneciğinin özgül kütlesi
ρ	: Suyun özgül kütlesi
τ	: Şekil parametresi
γ	: Suyun özgül ağırlığı, Kırılma indisi, Diklik parametresi
ϕ_m	: Ortalama dane çapı

- σ : Standart sapma
- ϕ_5 : Katı madde dane boyutunun ağırlıkça %5'ten ince olan kısmı
- ϕ_{16} : Katı madde dane boyutunun ağırlıkça %16'dan ince olan kısmı
- ϕ_{50} : Katı madde dane boyutunun ağırlıkça %50'den ince olan kısmı
- ϕ_{84} : Katı madde dane boyutunun ağırlıkça %84'ten ince olan kısmı
- ϕ_{95} : Katı madde dane boyutunun ağırlıkça %95'ten ince olan kısmı
- φ_n : Rastgele faz
- ω : Enerji yoğunluk spektrumunun düşey eksen değeri
- ω_p : Enerji yoğunluk spektrumunun maksimum değeri
- β : Başlangıç (düzeltilmiş) kıyı profilinin yatayla yaptığı açı
- β_0 : Sabit terim

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Kıyı ve Liman Mühendisliği son iki yüzyılda dünya ekonomisindeki gelişmelere paralel olarak büyük atılımlar göstermiş ve İnşaat Mühendisliğinin önemli dallarından birisi haline almıştır.

Dünya yüzeyindeki deniz ve göl kıyılarının değişik amaçlar için geniş ölçüde kullanıma açılması, bunun yanı sıra gelişen toplumların yarattığı çevre kirliliği sorunları kıyı mühendisliğini birçok problemle karşı karşıya bırakmaktadır. Bu problemlerin başında kıyılardaki artan yapılaşmaya bağlı olarak, yapı ile kıyı arasındaki etkileşimin belirlenmesi gelmektedir. Genel olarak kıyı yapılarının büyük çoğunluğu dalga, akıntı, gel-git veya bunların birlikte etkileri altında bulunan yakın kıyı bölgesindeki deniz tabanına oturmaktadır. Bu bölge içerisinde deniz tabanını oluşturan malzemeler bazı kıyılarda oldukça hareketli halde bulunmakta ve çeşitli yönlerde taşınmaktadır.

Hareketli taban malzemesine sahip kıyıda öngörülecek kıyı yapısının tipi ve boyutları belirlenirken en önemli tasarım parametrelerinden biri kıyılarda oluşan katı madde hareketinin yönü, miktarı ve mevsimlik değişimidir. Kıyı yapılarının etkinliği ve ömrü büyük ölçüde katı madde hareketine bağlıdır.

Kıyı sediment hareketi ile ilgili önemli bir konuda kıyıdaki katı maddelerden yararlanma imkanlarının araştırılmasıdır. Kıyıda yapılacak çeşitli yapılar (mahmuzlar, açık deniz mendirekleri vb.) yardımıyla oldukça geniş plajlar oluşturulabilir. Ancak, insanların çeşitli ve artan oranda kıyılardan yararlanma istekleri ile yükselen çevre bilinci ve çevre korumacılığı, doğal dengeye mümkün olduğunca uyum sağlayan özelliklerde yapıların tasarlanmasını özendirir.

Bu yapıların planlama ve projelendirilmelerinde, katı madde taşınım mekanizmasının bilinmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle doğal dengenin en önemli parçalarından biri olan kıyılarda, katı madde hareketlerinin iyi analiz edilmesi, anlaşılması ve mümkün olduğunca gerçekçi bir şekilde hesaplanması gerekmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada; dalga yükseklik ve periyodu, taban eğimi ve tabandaki malzeme çapı dikkate alınarak kıyıya dik katı madde hareketi incelenmiş ve bu hareket sonucunda oluşan kıyı profilindeki yığılma bölgesi (palye) geometrik parametreleri belirlenmiştir. Bunun yanında, yığılma bölgesi farklı kesitlere ayrılarak taban malzemesinin granülometrik değişimi incelenmiştir.

Daha önce yapılmış kıyıya dik katı madde taşınımı ve bunun sonucunda meydana gelen granülometri değişimi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların birçoğunun fırtına profili geometrik parametrelerinin tahmini ve bu profildeki granülometri değişimi ile ilgili fiziksel ve sayısal model çalışmaları olduğu görülmektedir. Yığılma bölgesi ile ilgili çalışmaların ise çok az olduğu ve daha çok yığılma bölgesinin oyulmasıyla ilgili oldukları belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmaların kıyı profilinin değişimindeki şartların tamamını temsil etmedikleri ve düzenli dalgalar kullanılarak gerçekleştirildikleri gözlenmiştir. Bu nedenle bu çalışmada, yığılma profilindeki katı madde hareketinin ve granülometri değişiminin daha iyi anlaşılabilmesi için dalga şartları, taban eğimi ve tabandaki katı madde özellikleri dikkate alınarak, Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarı iki boyutlu düzensiz dalga kanalında, fiziksel model çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Fiziksel model verileri dikkate alınarak yapılan analizlerle, yığılma bölgesi geometrik parametreleri için boyutlu ve boyutsuz denklemler kurulmuştur. Denklemlerin kurulmasında klasik regresyon analizi (KRA) ve çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen denklemlerin yanı sıra, fiziksel model verileri, yapay sinir ağı (YSA) ile modellenmiş ve ilgili parametreler belirlenmiştir. YSA'nın modellenmesinde geri yayımlı algoritma (GYA), yapay arı kolonisi (YAK) algoritması, öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon (ÖÖTO) ve JAYA algoritması kullanılmıştır. Elde edilen denklemler ve YSA modelleri karşılaştırılarak en iyi model seçilmiştir. Ayrıca yığılma profili kesitlere ayrılarak granülometrik değişimi incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda yığılma profilinin geometrisinin ve granülometrik değişiminin dalga şartları, taban eğimi ve tabandaki malzeme özelliklerine bağlı olarak nasıl değiştiği belirlenmiştir. Böylece kıyıya dik katı madde taşınım mekanizmasının daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Bu mekanizma kıyı yapılarının planlanması ve projelendirilmesinde oldukça önemlidir. Çünkü kıyıya dik malzeme hareketi bazı yapılarda kumlanma, bazılarında ise erozyon sonucu stabilite sorunlarına ve dolayısıyla da yapının ekonomik ömrünün kısılmasına ve onarım maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır.

Dünyada ve ülkemizde birçok liman ve balıkçı barınağı, kumlanma nedeniyle fonksiyonlarını tam olarak yerine getirememektedir. Bunun sebebi ise, tasarım aşamasında kıyıda oluşan katı madde hareketinin tam olarak hesaplanamamasıdır. Ayrıca kıyıda yapılacak çeşitli yapılar yardımıyla oldukça geniş kumsallar oluşturulabilir. Bu yapıların planlama ve projelendirilmelerinde, katı madde taşınım mekanizmasının bilinmesi oldukça önemlidir.

1.3. Önceki Çalışmalar

Tez çalışması kapsamında konuyla ilgili yapılan daha önceki çalışmalar, kıyıya dik katı madde taşınımı ile ilgili fiziksel, sayısal model çalışmaları ve kıyı profilinin granülometrik değişimi ile ilgili çalışmalar olmak üzere üçe ayrılarak sunulmuştur.

1.3.1. Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımı ile İlgili Fiziksel Model Çalışmaları

Literatürde kıyıya dik katı madde taşınımı konusunda birçok fiziksel çalışması yapılmıştır ve bunların çoğu bar ve erozyon parametreleri [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14] ile ilgilidir. Yığılma profili ile ilgili çalışmalar özetlenerek aşağıda sunulmuştur;

Okazaki [15], arazide kapsamlı bir çalışma yaparak dalgakıran tipi, dalga yüksekliği, dane boyutu, belirgin dalga yüksekliği ile palye gelişimi arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Yapılan deneylerde dane büyüklüğü 0,22 – 0,50 mm arasındayken palye profili oluştuğu gözlenmiştir. Ayrıca dane büyüklüğünün artmasının palye hacmini ve yüksekliğini büyük oranda etkilediği belirlenmiştir.

Hine [16], Nauset Plajı'nda üç farklı palye gelişim mekanizmasını incelemiştir. Çalışma, fırtına dalgasının meydana gelmediği yaz periyodunda gerçekleştirilmiştir. On altı haftalık yaz periyodu boyunca yapılan haftalık topografik ölçümler, her bir palye gelişim mekanizmasının kıyının farklı oranlarda büyümesine neden olduğunu göstermiştir. Çalışma kapsamında, dalga parametreleri düzenli bir şekilde ölçülemediğinden dalga parametreleri ile palye mekanizması arasındaki ilişki kurulamamıştır.

Thomas ve Baba [17], küçük gel-git durumunda kıyı boyunca oluşan palye gelişim mekanizmasını incelemiştir. Çalışma alanı olarak, Hindistan'ın güney batı kıyısındaki Valiathura'daki (dalga yüksekliği nadiren 1 m'nin altına düşen ve sık sık 4 m'yi aşan muson rüzgarı dalgaları etkisindeki bir bölge) orta büyüklükteki dane çaplı kuma sahip bir kumsal

seçmişlerdir. Çalışmalarında, dalga dikliğinin 0,04'ün altına düşmesinin palye oluşumuna 0,04'ün üzerine çıkması ise bar oluşumuna neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Sunamura [18], dane büyüklüğünü dikkate alarak laboratuvar ve arazideki palye oluşumunu incelemiştir. Kaba daneli ($d_{50} > 0,69$ mm) kıyı profilinde palye, ince daneli kumsalda ise bar oluştuğunu gözlemlemiştir. Yaptığı gözlemler sonucu palye yüksekliğinin kıyı profilini oluşturan dane büyüklüğüne bağlı olduğunu tespit etmiştir.

Koomans vd. [19], doğadaki kıyı profillerinin farklı büyüklükte ve yoğunlukta yani heterojen malzemelerden oluştuğunu dikkate alarak bir kanalda gerçekleştirdikleri deneylerde, katı madde yoğunluğu değişiminin kıyıya dik katı madde taşınımına etkisini incelemiştir. Deneylerde kuvars ve hafif mineraller denilen ortalama dane dağılımları eşit fakat yoğunlukları farklı iki tür malzeme kullanmışlardır. İki seri (A ve C) deney yapmışlardır. A serisi deneyleri kuvarstan ($d_{50} = 0,129$ mm) oluşan homojen malzeme kullanarak, başlangıç eğimi 1/40 olan bir profil üzerinde gerçekleştirmişlerdir. C serisi deneyleri ise aynı başlangıç eğimine sahip fakat ağırlıkça % 40 zicron ($d_{50} = 0,115$ mm) ve % 60 kuvarstan oluşan bir profil üzerinde gerçekleştirmişlerdir. C serisi deneylerde kuvars ve zicron daneciklerini ayırt edebilmek için zicron minarelerini kırmızıya boyamışlardır. Derin deniz dalga yüksekliği 0,17 m, su derinliği 0,7 m ve dalga periyodu 2 s'dir. A ve C serisi deneyler karşılaştırıldığında, heterojen malzemedan oluşan yani C serisi deneylerde kıyı erozyonunun azaldığını, barın daha küçük ve tepe noktasının daha belirgin oluştuğunu gözlemlemiştir. Ayrıca C serisi deneylerde sabit su seviyesi üzerinde palye oluştuğu tespit edilmiştir.

Weir vd. [20], New South Wales, Avustralya'daki Avoca Kumsalı'nda yaptıkları çalışmada dalga yüksekliğini dikkate alarak küçük ve büyük gel-gitlerin hareketleri sırasında palyenin yatay ve dikey gelişimini incelemiştir. Palyenin dikey büyümesini mod 1, yatay büyümesini mod 2 olarak tanımlamışlardır. Sediment taşınım oranlarını kumsal profil boyunca uzaklığın bir fonksiyonu olarak tanımlayan şekil fonksiyonları geliştirmişlerdir. Bu şekil fonksiyonları, sayısal bir model geliştirmeye yardım etmiştir. Sayısal modeli geliştirebilmek için kıyı profili boyunca belirli noktadaki kıyıya dik net taşınım oranlarını ölçmüşlerdir. Hesaplanan 247 malzeme taşınım şekil fonksiyonunu 3 tip olarak sınıflandırmışlardır. Yatay ve dikey büyümenin hangi şekil fonksiyonlarında ve gel-gitin hangi aşamalarında meydana geldiğini ortaya koymuşlardır. Bu şekil fonksiyonlarını literatürdeki palye tanımlarıyla karşılaştırılarak benzerliklerini ve farklılıklarını tespit etmişlerdir.

Jensen vd. [21], az eğimli ve yığılmayla oluşan bir kumsalda, küçük gel-gitler sırasında palye oluşumunu ve gelişimini incelemişlerdir. Kıyı en kesitine, 2 m uzunluğunda ve 25 mm çapında sensörlü çubuklar yerleştirerek tabandaki malzemenin hacimsel değişimini kaydetmişlerdir. Çalışmada, palye oluşumunun gel-gitsel barın kıyıya doğru hareket etmesiyle oluştuğu ve gelgit yükselmeye devam ederken yeni palyenin kıyının en üst noktasına taşındığı gözlenmiştir. Palye değişimi sırasında katı madde taşınımının, büyük tırmanma değerlerinde kıyıya doğru, düşük de ise açığa doğru olduğu gözlenmiştir. Bu hızlı değişimi kontrol eden ana faktörlerin eğim, kıyı profili, rüzgar, su seviyesinin hızlı değişimi ve sızma oranları olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada, gözlenen palye gelişim aşamalarının daha önce önerilen palye tanımlarıyla uyumlu olduğu saptanmıştır.

Kobayashi vd. [22], kum tepesi ve palye erozyonunu hem de fiziksel bir model aracılığıyla incelemişlerdir. Fiziksel model çalışmalarını 30 m uzunluğunda, 1.15 m genişliğinde ve 1.5 m yüksekliğinde düzensiz dalga kanalında gerçekleştirmişlerdir. Fiziksel modelde 0.18 ve 0.20 mm medyan çaplı malzemeler kullanmışlardır. Çalışmada 2.57 s periyotlu ve yükseklikleri 17.8-19.2 cm arasında değişen düzensiz dalgalar kullanmışlardır. Fiziksel model ve numerik modelden elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır. Önerilen numerik modelin palye ve kum tepesinin erozyonunu tahmin edebildiğini ancak yığılma bölgesi parametrelerini tahmin etmede başarısız olduğunu gözlemlemişlerdir. Numerik modelin ilave laboratuvar ve arazi verileriyle doğrulanması gerektiğini belirtmişlerdir.

Russel vd. [23], kum ve çakıldan oluşan kıyılardaki palyeleri karşılaştırmak için, Fransa'nın Bordeaux ve İngiltere'nin güneyindeki Devon kıyılarında arazi ölçümleri yapmışlardır. Hem kum hem de çakıldan oluşan kıyılarda palye yüksekliklerinin yaklaşık olarak aynı (0.07 m) olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak kumdan oluşan kıyıda, palyenin kıyıya dik uzaklığın iki kat, hacminin ise altı kat daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Her iki plajda da palyenin su seviyesinin yükselmesi ile oluştuğunu belirlemişlerdir. Kum plajda palye birkaç saat içerisinde oluşurken, çakıldan oluşan plajda bu süre bir saatten daha azdır.

Suzuki ve Kuriyama [24], arazi ölçümlerini ve açık deniz dalga ölçümlerini kullanarak palye oluşumu ve erozyonu ile ilgili kıyı profili değişim modeli önermişlerdir. Çalışma bölgesi olarak Japonya'nın Hasaki kıyısını seçmişlerdir. Kıyı profili verilerini Hasaki Oşinografik Araştırma İstasyonundan elde etmişlerdir. Kıyı profilinde inceledikleri alan tam olarak, ortalama gelgit seviyesinde dalganın tırmandığı maksimum seviyeden kıyı çizgisine kadar olan bölgedir. Model sonuçlarıyla arazi ölçümlerini karşılaştırmışlardır. Sonuçlar modelin hem palye oluşumunu hem de erozyonunu iyi bir şekilde tahmin ettiğini göstermiştir.

Aynı zamanda modelin tahmin ettiği kıyı çizgisi ve eğimi değerleri arazi verileriyle örtüşmüştür.

Masselink vd. [25], ince çakıllı ($d_{50}= 2-10$ mm) bir kumsaldan hem rüzgar hem de fırtına kabarmasından oluşan dalga ve gel-git koşulları ($H=0,5-1$ m; $T=4-8$ s; gel-git aralığı 3-4 m) altında arazi bilgilerini toplayarak, tırmanma bölgesindeki sediment taşınımını ve kumsalın morfolojik davranışını incelemiştir. Kumsalda düşük diklikli ($H/L<0,01$) gel-gitler sırasında palye oluşumu ve yığılma meydana geldiği, yüksek diklikli ($H/L>0,01$) rüzgar dalgaları sonucunda ise erozyon meydana geldiği gözlenmiştir. Palye oluşumunun gel-gitin geri dönüşü sırasında yükselmesinden daha iyi geliştiği gözlenmiştir.

Uzlu [26], yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını, yığılma bölgesi tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay ve düşey uzaklığını, yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliğini ve yığılma bölgesi hacmini, kıyı profilinde yığılma bölgesi parametreleri olarak tanımlamıştır. Tanımlanan bu parametreler için altı farklı dalga yüksekliği (6.5, 7.5, 8.5, 9.5, 10.5 ve 11.5 cm), iki farklı dalga periyodu (1.46 ve 2.03 s), dört farklı taban eğimi (1/10, 1/15, 1/20 ve 1/25) ve üç farklı malzeme çapı (0.26, 0.33 ve 0.40 mm) kullanarak 31 adet deney gerçekleştirmiştir. Deneylerin, 19'u 1/20 eğiminde 2'si 1/10, 4'ü 1/15 ve 6'sı 1/25 eğiminde yapılmıştır. Fiziksel model verileri kullanılarak regresyon analizleri yapılmış ve her bir parametre için boyutlu ve boyutsuz denklemler kurulmuştur. Bunun yanında, dalga yüksekliği, periyodu, taban eğimi ve malzeme çapının yığılma bölgesi parametreleri üzerine etkileri de incelenmiştir. Çalışma sonucunda yığılma bölgesi parametrelerini en fazla etkileyen faktörlerin dalga dikliği ve ortalama dane çapı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yığılma bölgesi parametrelerinin, dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla arttığı anlaşılmıştır. Çalışmadan elde edilen denklemlerin en iyileri aşağıda verilmiştir.

Yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı için elde edilen eşitlik Denklem 1.1'de verilmiştir.

$$X_{yb} = 0.622 + \exp(-6.008 + 32.243 * m - 6812.344 * d_{50} + 1.664 * T + 23.507 * H_0) \quad (1.1)$$

Yığılma bölgesi tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı için elde edilen eşitlik Denklem 1.2'de verilmiştir.

$$X_{yt} = -0.818 + \exp(-0.450 + 6.900 * m - 1521.418 * d_{50} + 0.306 * T + 3.609 * H_0) \quad (1.2)$$

Yığılma bölgesi tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine düşey uzaklığı için elde edilen eşitlik Denklem 1.3'te verilmiştir.

$$\frac{h_{yt}}{L_0} = 3.1842 * m^{0.793} * \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{0.714} * \left(\frac{H_0}{wT}\right)^{-0.373} \quad (1.3)$$

Yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliği için elde edilen eşitlik Denklem 1.4'te verilmiştir.

$$L_y = 2177.7097 * m^{-0.513} * d_{50}^{1.093} * T^{0.574} * H_0^{0.218} \quad (1.4)$$

Yığılma bölgesi hacmi için elde edilen eşitlik Denklem 1.5'de verilmiştir.

$$V_{yh} = 3515604.405 * m^{-0.118} * d_{50}^{2.257} * T^{1.379} * H_0^{0.546} \quad (1.5)$$

Bakhtyar vd. [27], dalga kaynaklı su seviyesi değişimlerini, katı madde taşınımını ve kıyı profili değişimlerini; akışkan hacmi, türbülans kapanma modeli ve iki boyutlu Navier Stokes denklemlerini kullanarak modellemiştirlerdir. Oluşturulan model kıyıya doğru katı madde taşınımında sızmanın etkilerini ve dalga kaynaklı su seviyesi değişimlerini belirlemeye imkan sağlamıştır. Modelden elde edilen sonuçları, büyük ölçekli laboratuvar deneyleri sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Sızma kaynaklı dengenin kıyı profilinin şekillenmesinde önemli rol oynadığını ve sızmanın kıyıdaki hidrolik eğimi ve kıyıya doğru katı madde taşınımını artırdığını belirlemiştirlerdir. Çalışmada, kıyının düşük yer altı suyu seviyesinde yığılmaya, yüksek yeraltı suyu seviyesinde ise aşınmaya maruz kaldığı görülmüştür. Hem kaba hem de ince daneli kıyılarda palyenin yer altı su seviyesi düşüken sabit su seviyesinin üzerinde olduğu gözlenmiştir. Kaba ve ince daneli kumların kıyı profilleri karşılaştırıldığında, sabit su seviyesi üzerindeki palye oluşumunun ve sabit su seviyesi altındaki erozyonun, kaba daneli profilde ince daneli profilden daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Kaba daneli profilin yüzey eğiminin daha büyük olduğu görülmüştür.

Bendixen vd. [28], su seviyesi ve kıyı morfolojisi değişimlerini arazide yaptıkları ölçümlerle gözlemlemiştirlerdir. Çalışma bölgesi olarak Danimarka'daki Zealand adasının güney doğusunda bulunan Feddet Yarım Adası'nı seçmişlerdir. Palyenin, sakin dalga şartlarında, barın kıyıya doğru hareket etmesi ve suların çekilmesiyle oluştuğunu

belirlemişlerdir. Palye oluşumunun çok yavaş bir süreç olduğunu, dışarıdan temin edilen sediment miktarına, su yüksekliğine ve dalga enerjisine bağlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Uzlu vd. [29], kıyı profilindeki yığılma bölgesi parametrelerini fiziksel bir model aracılığı ile incelemişlerdir. Çalışmada 1.46 ve 2.03 s periyot için 6.5, 7.5, 8.5, 9.5, 10.5 ve 11.5 cm yüksekliğinde düzenli dalgalar kullanmışlardır. Kullandıkları taban eğimleri 1/10, 1/15, 1/20 ve 1/25'dir. Elde ettikleri fiziksel model verileri için yapay zeka teknikleri kullanarak regresyon denklemleri kurmuşlardır. Elde ettikleri denklemlerin yığılma bölgesi parametrelerini başarılı bir şekilde temsil ettiğini belirlemişlerdir.

1.3.2. Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımı ile İlgili Sayısal Model Çalışmaları

Kıyıya dik katı madde taşınımı konusunda yapılan sayısal model çalışmaları incelendiğinde bunların çoğunun çalkantı bölgesi [30, 32, 37, 39, 47], bar hareketi [31, 35, 38, 40, 41, 42, 44] ile ilgili olduğu görülmüştür. Yığılma profili oluşumunu tahmin etmeye yönelik sayısal model çalışmaları [33, 34, 36] ile ilgili özet bilgiler aşağıda sunulmaktadır;

Lee vd. [33], kırılma bölgesindeki sediment taşınımını tahmin etmek için bir sayısal model geliştirmiştir. Geliştirilen model büyük ölçekli laboratuvar deneyleri ve arazi ölçümlerinden elde edilen verilerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Yapılan çalışmada modelin palyeli kıyılardaki erozyonu ve kırılma noktasının açığa doğru hareketini oldukça iyi tahmin ettiği belirtilmiştir. Model aynı zamanda farklı özellikteki katı maddelerden oluşan plajların gelişim evrelerini tahmin etmede kullanılabilir. Model oluşturulurken bar ve kıyı boyu sediment taşınımının oluşum ve hareketi dikkate alınmamıştır.

Larson [34], düzensiz dalgaların etkisi altında, bar oluşumunu, palye erozyonunu ve açık deniz barının üzerinde kırılan dalgaların etkilerini geliştirdiği sayısal bir model aracılığıyla incelemiştir. Çalışmacı, kırılmış, kırılmamış ve tırmanma bölgesi dalgaları için geliştirdiği formülleri, düzenli dalgalarla yapılmış laboratuvar deneyleriyle irdelemiştir. İrdemeler sonucu, dengeli ve palye erozyonu için formüllerin oldukça başarılı tahminler yaptığı görülmüştür. Fakat formüllerin, açık deniz bar (özellikle dar tepeli) değişiminin belirlenmesinde başarılı olamadığı anlaşılmıştır. Ayrıca model, yığılma şartlarında, erozyon şartlarındaki kadar başarılı olamamıştır.

Larson ve Hanson [36], fırtına şartlarında palye hacminin azalmasını ve gerilemesini hesaplamak için analitik bir model geliştirmişlerdir. Modelde dalga etkisi teorisine dayalı olarak katı madde taşınımını incelemişlerdir. Deneysel taşınım katsayısını belirlemek ve

geliştirilen modeli doğrulamak için laboratuvar ve arazi çalışmalarından oluşan dört farklı veri seti kullanmışlardır. Palye gerilemesinin zamansal değişimi model tarafından iyi bir şekilde belirlenmesine rağmen, deneysel katsayı bazı durumlarda özellikle arazi verilerinde değişiklikler göstermiştir. Modelin değişen fırtına şartları ve palye geometrilerinde güvenilir sonuçlar verdiği vurgulanmıştır.

1.3.3. Kıyıya Dik Profillerin Granülometrik Değişimi ile İlgili Çalışmalar

Literatürdeki kıyıya dik profillerinin granülometrik değişimleri ile ilgili çalışmalar incelendiğinde, yapılan çalışmaların [46, 47, 49, 55, 56] fırtına profillerinde meydana gelen granülometrik değişimleri belirlemeye yönelik olduğu gözlenmiştir. Yığılma profili oluşması durumunda taban malzemesinin granülometrisinin nasıl değiştiği konusunda bir adet arazi çalışması [45] bulunmamaktadır. Kıyıya dik profil üzerindeki taban malzemesinin granülometrik değişimi ile ilgili yapılan çalışmalar özetlenerek aşağıda sunulmaya çalışılmıştır;

Sonu [45], Kuzey Carolina kıyısında gerçekleştirdikleri arazi ölçümleri sonucu palye topuğunda biriken malzemenin kabalaştığını tespit etmişlerdir.

Moutzouris [46], Yunanistan'ın Akdeniz Kıyı'sında kıyı profilinin granülometrik değişimini incelemek için arazi ölçümleri gerçekleştirmiştir. Elde ettiği verilere göre, bar çukurunda biriken malzemenin kabalaştığı, bar tepesinde biriken malzemenin ise incelendiğini gözlemlemiştir.

Boon ve Green [47], Caribbean Denizi'ndeki St. Martin Adası'nın kıyısından numuneler alarak kıyı profilinin granülometrik değişimini incelemiştir. Yaptıkları gözlemler sonucu, fırtına profilinde çalkantı bölgesi içerisindeki malzemenin kabalaştığını belirlemişlerdir.

Masselink [48], Fransa'nın Arles şehri yakınlarında bulunan Rhone nehrinin oluşturduğu Rhone deltasının kıyısındaki dane boyutu değişimi incelemiş ve elde ettiği sonuçları literatürde önerilen modelin sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Model sonuçlarına göre plajdaki malzeme ya incelmekte ve iyi sınıflanmakta ya da kabalaşmakta ve iyi sınıflanmaktadır. Arazi verilerine göre ise malzeme incelemekte ve kötü sınıflanmaktadır. Model sonuçlarıyla arazi verilerinin örtüşmemesinin modelin eksikliklerinden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Model kıyıya dışarıdan malzeme taşınımının tek kaynaktan olduğu ancak bunun birçok kaynaktan olabileceği (nehirler, erozyona uğrayan

kıyılar, kum tepeler vb.), kıyı boyu akımın iki boyutlu olduğu ancak modelde tek boyutlu olarak ele alındığı gibi eksiklikler nedeniyle modelin kullanımının oldukça sınırlı olduğunu tespit etmiştir.

Pruszek [49], Karadeniz kıyısında yaptığı arazi ölçümlerinde, kıyı çizgisinin yakınındaki çalkantı bölgesinde kaba malzemenin biriktiği, bar profilinin ise ince malzemedan oluştuğunu tespit etmiştir.

Horn [50], İrlanda Denizi'nde kıyı profilinin granülometrik değişimi belirlemeye yönelik olarak yaptığı çalışmalarda, dane boyutunun kıyıya doğru arttığını tespit etmiştir.

Medina vd. [51], dane dağılımının zamansal ve konumsal değişimini, ayrıca kıyı profilindeki değişimlerle olan ilişkisini incelemek için İspanya'nın El Puntal kıyı okundaki bir profil hattı boyunca toplanan sediment ve kıyı profili gelişim verilerini kullanmışlardır. Standart temel bileşen analizi (TBA) ve üç yönlü TBA kullanarak konumsal ve zamansal değişimi etkileyen parametreleri belirlemişlerdir. Yapılan çalışmalar dane büyüklüğü dağılımının kıyı profili boyunca hem konumsal hem de zamansal olarak belirgin bir şekilde değiştiğini göstermiştir. Ayrıca, dane büyüklüğü dağılımındaki değişimlerin kıyı profilindeki değişimlerle ve hidrodinamik etkilerle güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Katoh ve Yanagishima [52], İspanya'da Atlantik Okyanus kıyısında arazi ölçümleri yaparak kıyı profilinin granülometrik değişimini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda dane boyutunun zamana ve kıyıya olan uzaklığa bağlı olarak değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Guillen ve Hoekstra [53], Hollanda'nın kuzey kıyısındaki Terschelling adasının orta kısmında gerçekleştirilen yapay beslemenin kıyı üzerindeki sedimantolojik etkilerini (dane büyüklüğü dağılımı ve sediment dinamikleri) ve kıyıya müdahale yapılmaksızın doğal sediment değişikliğini araştırmışlardır. Çalışma sonuçları kıyıya yapılan beslemenin sediment dağılımında çok kısa süreli ve yerel bir etkiye sahip olduğunu ve beslemeden birkaç ay sonra kıyıda dane boyutu dağılımının beslemeden önceki haline döndüğünü göstermiştir. Bar tepesindeki malzemenin bar çukurundakinden daha kalın olduğunu ve daha kötü sınıflandığını tespit etmişlerdir. Ayrıca bir yıllık bir süreçte sediment doğal değişkenliğinin beslemenin yarattığı değişkenlikten çok daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Edwards [54], plaj kumlarının dane boyutunu, dane sınıflandırmasını ve bunların kıyı genişliği ile olan ilişkisini incelemişlerdir. Pasifik Okyanusu, California Körfezi, Karayipler ve Meksika Körfezi'ndeki 10,000 km uzunluğundaki 274 plajdan örnekler alarak dane boyutu ve sınıflandırması ile ilgili veriler elde etmişlerdir. Arazi çalışmaları sonucunda ortalama dane büyüklüğünün kıyıda kıyı gerisine doğru gittikçe azaldığı, suların çekildiği kıyı ve kıyı gerisindeki kumların kıyıda kumlara göre daha iyi sınıflanmaya sahip olduğu ve bu

durumun dalga ve akıntı olaylarından kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Ayrıca dane sınıflaması indeksine göre, ince çaplı katı maddelerin daha iyi bir sınıflama yapısına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Çelikoğlu vd. [55], düzenli dalga şartları altında, fırtına profilleri boyunca sediment büyüklüğünün kıyıya dik dağılımını, buna karşılık gelen kıyı profilini fiziksel model aracılığıyla incelemişlerdir. 16'sı fırtına profili, 2'si yığılma profili olmak üzere toplam 18 deney gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde 0.67 ve 0.45 mm medyan çaplı iki farklı kum ve 1/5 taban eğimi kullanmışlardır. Fırtına profili durumunda granülometrik dağılımı kıyıya paralel beş farklı kesitin dikkate alınmasıyla karakterize etmişlerdir. Bunlar kıyı, çukur, tepe, sırt ve topuk kesitleridir. Yığılma profili oluşması durumunda da benzer işlemler yapmışlardır, ancak bu profil halinde kesit sayısı kıyı, tepe, sırt, ve topuk olmak üzere kıyıya paralel dört ayrı deney kesitine indirgemişlerdir. Deneyler sonucunda, fırtına profili durumunda kıyı ve çukur kesitlerinde taban malzemesinin orijinal taban durumuna göre daha kaba olduğu, tepe kesitindeki malzemenin orijinal taban malzemesine göre oldukça incelendiği ve yine açığa doğru sırt ile topuk kesitlerinde giderek tekrar kabalaştığını belirlemişlerdir. Yığılma profili durumunda ise kıyı ve tepe kesitlerinde ince malzeme birikirken sırt ve topukta daha kaba malzeme yapılandığını tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmada dane büyüklüğü, dalga periyodu ve kırılan dalga yüksekliği kıyıya dik dane sınıflamasında en önemli parametreler olarak ortaya çıkmıştır. Elde ettikleri verilerin yığılma profili halinde sağlıklı bir yorumun yapılmasına yeterli olmadığını tespit etmişlerdir.

Srisuwan vd. [56], kıyıya dik profil gelişimine dane çapının etkisini ve profil gelişimi sonucundaki dane sınıflanmasını fiziksel bir model aracılığı ile incelemişlerdir. Fiziksel modelde, üç farklı katı madde çapı, üç farklı eğim ve üç farklı dalga şartı kullanılarak toplam 10 deney gerçekleştirilmiştir. Fiziksel model çalışmaları, yarı denge durumlarında, kıyıya dik profil boyunca ortalama dane çapının, başlangıç durumuna göre %20'ye kadar değiştiğini göstermiştir. Profilde belirledikleri bölgeleri dane sınıflanması açısından incelendiklerinde, katı madde örneklerinden en ince olan ikisinin her zaman sırasıyla açık denizde ve kıyı çizgisinde olduğunu ve bar tepesinde bar çukurundan daha kaba katı maddeler bulunduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmanın sonraki aşamasında olayda etkili tüm mekanizmaların (dalga ve hidrodinamik şartlar) dahil edildiği bir sayısal model geliştirileceği ve bu çalışmadan elde edilen fiziksel model verilerinin geliştirilen modelin doğrulanmasında kullanılacağı belirtilmiştir.

Narra vd. [57], kıyıya dik profil boyunca dane boyutu dağılımının zaman, konum, dalga iklimi ve gelgit rejimi ile nasıl değiştiğini arazi çalışması yaparak incelemişlerdir. Çalışma

bölgesi olarak Portekiz'in kuzey batısındaki Aveiro bölgesinde bulunan Barra plajını seçmişlerdir. Arazi çalışmalarını Ekim 2010 ile Mayıs 2011 tarihleri arasında gerçekleştirmişlerdir. Kıyıyı en iyi temsil eden üç profil belirlemişler ve her hafta bir profilin 5 farklı noktasından numune olarak toplam 33 hafta boyunca zeminin dane boyutu dağılımı ile ilgili veriler elde etmişlerdir. Aynı zamanda bu süreçte dalga iklim ve gelgit verilerini Portekiz Hidrografi Enstitüsünden elde etmişlerdir. Çalışma sonucunda kıyı profilinin başlangıç ve bitimine yakın noktalarından alınan numunelerin iyi sınıflanmış orta kısımdan yani çalkantı bölgesinden alınan numunelerin ise iyi sınıflanmamış olduğunu görmüşlerdir. Gelgit bölgesinde dane boyutunun kabalaştığını, kıyı profilinin başlangıç ve bitiş noktalarında ise incelendiğini tespit etmişlerdir. Dalga iklimi ile dane boyutu arasında açık bir ilişki kurulamamasına rağmen, dalga yüksekliği arttıkça kıyı profili boyunca d_{50} değerinin genellikle arttığı gözlemlenmiştir. Sediment boyutundaki en büyük artışın kışın yani dalga enerjisinin en büyük olduğu zamanlarda görüldüğünü tespit etmişlerdir. Çalkantı bölgesindeki malzemenin dane boyutunda meydana gelen ani değişimler nedeniyle, bu bölgedeki malzemenin dane boyutunun medyan çap ile temsil edilmesinin sağlıklı olmadığını gözlemlemişlerdir. Zemin dane boyutunu belirlemede medyan çapın ortalama dane boyutundan daha sağlıklı sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir.

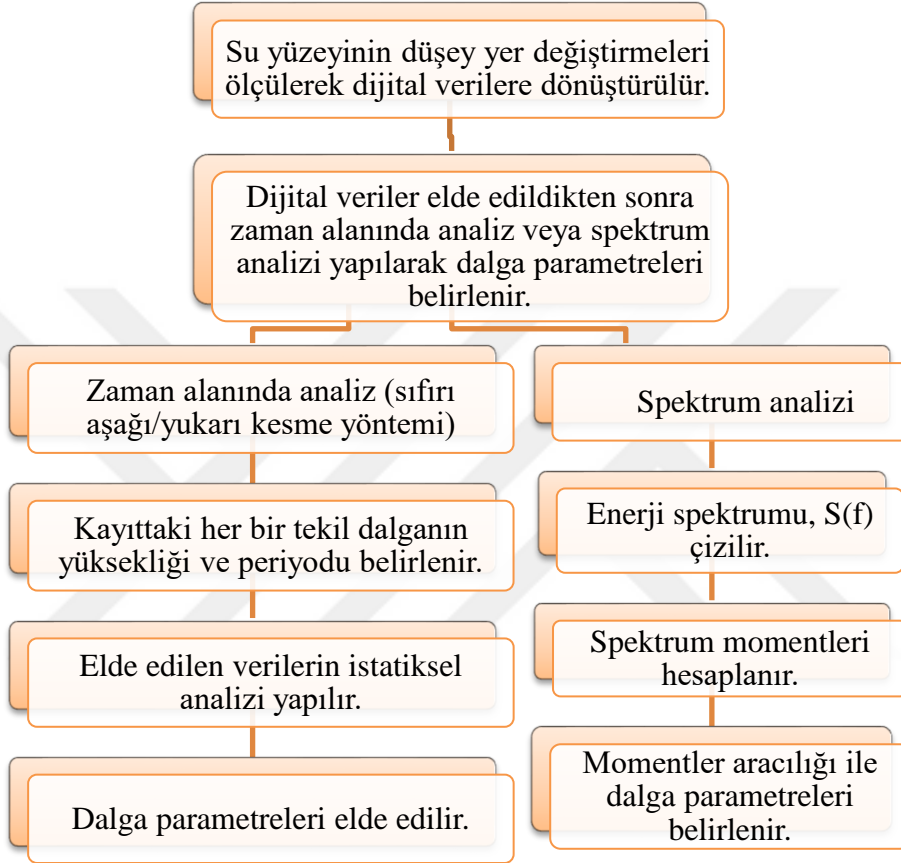
1.4. Dalgaların Genel Özellikleri

Deniz yüzeyinde rüzgar etkileri ile oluşan dalgalara ilerleyen ağırlık dalgaları denir [58]. Ağırlık dalgaları rastgele karaktere sahiptirler, rüzgar etkisiyle suyun dengesi bozulduktan sonra, dalganın rüzgara karşı ve ona ters oluşan sırtları arasında basınç farkı doğar. Böylece rüzgar enerjisi su yüzeyine geçer. Açık denizdeki, bu atmosferden su yüzeyine sürekli enerji geçişi rüzgar dalgalarını oluşturur [59].

1.4.1. Düzensiz Dalgaların Karakteristik Parametrelerinin Belirlenmesi

Su yüzeyinin sakin su seviyesine göre yapmış olduğu düşey yer değiştirmesi ile oluşan dalgalar iki temel yöntemle incelenmektedir. Bunlardan ilki zaman alanında analizdir. Burada sıfırı aşağı ya da yukarı kesme yöntemiyle kayıttaki her bir tekil dalga yüksekliği ve periyodu belirlenerek bunların istatistiksel analizi ile çeşitli karakteristik dalga parametreleri elde edilir. İkincisi ise düşey yer değiştirmelerin spektrum enerji yoğunluk fonksiyonunun elde

edilmesidir. Spektrum enerji yoğunluk fonksiyonu rasgele dalgaların potansiyel ve kinetik enerjilerinin toplamını ifade etmektedir. Burada elde edilen enerji spektrumunun momentleri yardımıyla yine çeşitli karakteristik dalga yüksekliği ve periyodu parametreleri elde edilmektedir. Şekil 1.1’de su yüzeyinin düşey yer değiştirmesinin inceleme yöntemleri şematik olarak ifade edilmektedir.



Şekil 1.1. Su yüzeyi düşey yer değiştirmesinin inceleme yöntemleri [60].

1.4.1.1. Sıfırı Aşağı/Yukarı Kesme Yöntemi (Zaman Alanında Analiz)

Sıfırı kesme yönteminden yani düzensiz dalgaların tekil dalgalar olarak incelenmesinden elde edilen en önemli karakteristik dalga parametreleri belirgin dalga yüksekliği ($H_s=H_{1/3}$), belirgin dalga periyodu ($T_s=T_{1/3}$) ve dalga yüksekliklerinin karelerinin ortalamasının kareköküdür (H_{rms}). Belirgin dalga yüksekliği dalga kaydındaki dalga yüksekliklerinin en yüksek 1/3'ünün ortalaması, belirgin dalga periyodu ise dalga kaydındaki dalga yüksekliklerinin en yüksek 1/3'üne karşılık gelen periyodların ortalamasıdır. H_{rms} değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$H_{rms} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2 \right]^{1/2} \quad (1.6)$$

Burada H_i i . dalganın yüksekliği, N ise dalga kaydındaki dalga sayısıdır.

1.4.1.2. Dalga Spektrumundan Elde Edilen Karakteristik Dalga Parametreleri

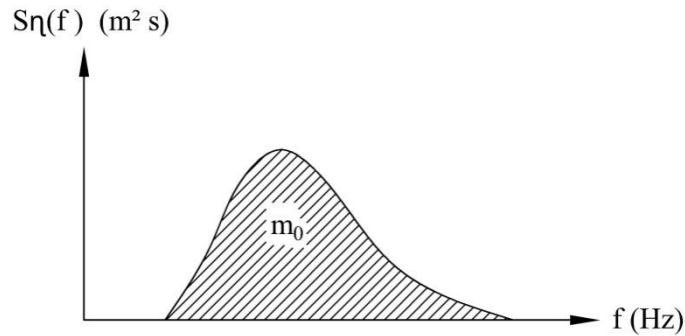
Eğer her bir basit dalganın enerjileri hesaplanır ve yön gözetilmeksizin frekansla değişimi çizilirse buna dalga spektrumu adı verilmektedir. Karakteristik dalga yüksekliklerinin ve periyotlarının dalga spektrumundan hesaplanması mümkündür. Öncelikle toplam dalga enerjisinin temsili değeri olan m_0 , dalga spektrumu integre edilerek elde edilir (Şekil 1.2) [60].

Dalga spektrumunun momentleri aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$m_n = \int_{f=0}^{f=\infty} f^n S(f) df \quad (1.7)$$

sıfırıncı moment ($n=0$) spektrumun altındaki alandır.

$$m_0 = \eta^2 = \lim_{t_0 \rightarrow \infty} \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} \eta^2 dt \quad (1.8)$$



Şekil 1.2. Toplam dalga enerjisinin gösterimi

Düzensiz dalgaların spektrum analizinden elde edilen karakteristik dalga parametrelerinden bazıları Tablo 1.1’de sunulmaktadır.

Tablo 1.1. Spektrum analizinden elde edilen karakteristik dalga parametreleri [61].

Spektrumunun n. derece momentleri	$m_n = \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} f^n S(f) df$	(1.9)
m_0	$m_0 = \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} f^0 S(f) df$	(1.10)
Spektral belirgin dalga yüksekliği, H_{m0}	$H_{m0} = 4.004 \sqrt{m_0}$	(1.11)
Ortalama enerji dalga yüksekliği, H_E	$H_E = \sqrt{8m_0}$	(1.12)
Ortalama dalga periyodu, $T_{m01}=T_1$	$T_1 = 1/f_{01} = m_0/m_1$	(1.13)
Ortalama dalga periyodu, $T_{m02}=T_2$	$T_2 = 1/f_{02} = \sqrt{m_0/m_2}$	(1.14)
Pik periyot, T_p	$T_p = \frac{1}{f_p}$	(1.15)

1.4.1.3. Düzensiz Dalga Spektrumları

Deniz yapılarının tasarımında lineer ve lineer olmayan davranışların stokastik tahmini için deniz durumunu temsil eden dalga spektrumunun bilinmesi şarttır. Düzensiz dalga koşullarını oluşturmak için bilinen belli başlı spektrum modelleri Neumann, P-M (Pierson-Moskowitz), JONSWAP (Joint North Sea Wave Project), Bretschneider, Scott, ISSC (International Ship Structures Congress), ITTC (International Towing Tank Congress) spektrumlarıdır.

Yukarıdaki paragrafta verilen mevcut ve kullanılabilen spektrum modellerinin hiçbiri diğerine göre önerilemez. Burada dikkate alınması gereken en önemli husus ise hiçbir spektrum modelinin dünyanın her yerinde ve tüm fırtına koşullarında kullanılamayacağıdır. Bu nedenle verilen bir tasarım şartı için belirli bir model seçmeden önce o alanla ilgili çevresel bir çalışma yapılmalıdır. Matematiksel modelin seçilmesine yardım edecek bölgeyi en iyi temsil eden fırtına çalışılmalıdır [60, 62, 63].

Spektrum modelleri içerisinde en çok kullanılan JONSWAP ve P-M spektrumlarıdır. Ancak JONSWAP spektrumu fırtına şartlarındaki dalgaları daha iyi temsil etmektedir [62, 63]. Bu çalışmada düzensiz dalgaları üretmek için JONSWAP spektrumu kullanıldığından sadece bu spektrum hakkında kısaca bilgi verilecektir.

JONSWAP spektrumu Hasselman ve arkadaşları tarafından Joint North Sea Wave Project ismiyle bilinen 1968-1969 yılları arasında yapılan yoğun dalga ölçümlerinden sonra geliştirilmiştir ve bu nedenle bu isim kullanılmıştır. JONSWAP spektrumunun formülü P-M spektrum modelinin değiştirilmesi ile aşağıdaki gibi verilmiştir [60, 62, 63, 64, 65].

$$S(\omega) = a g^2 \omega^{-5} \exp\left[-1.25(\omega / \omega_p)^{-4}\right] \gamma^{\exp\left[\frac{(\omega - \omega_p)^2}{2\tau^2 \omega_p^2}\right]} \quad (1.16)$$

Burada γ diklik parametresidir ve bunun değeri arttıkça spektrum darlaşmaktadır. τ şekil parametresidir ($\omega < \omega_p$ için τ_a , $\omega > \omega_p$ için τ_b). Spektrum eğrisinin sol tarafı çizilirken τ_a değeri, sağ tarafı çizilirken ise τ_b değeri denkleme yerleştirilerek denklemler elde edilmektedir. Rüzgar hızının, U_w ve feçin, X olması durumunda bunların ortalama değerleri şu şekilde verilebilmektedir.

$\gamma = 3.30$	1-7 arasında değişmektedir.
$\tau_a = 0.07$	Sabit kabul edilmektedir.
$\tau_b = 0.09$	Sabit kabul edilmektedir.
$a = 0.076(X_0)^{-0.22}$	Ölçek parametresi, $a = 0.0081$ (X bilinmediğinde)
$\omega_p = 2\pi(g / U_w)(X_0)^{-0.33}$	Normalde γ ile ilgilidir.
$X_0 = gX / U_w^2$	Boyutsuz feç, genellikle kullanılmamaktadır.
g	Yerçekimi ivmesi.
a değeri feçten bağımsız durum için P-M formülüyle aynı olarak dikkate alınmaktadır.	

1.4.2. Dalgaların Kıyıya Yaklaşırken Uğradığı Değişimler

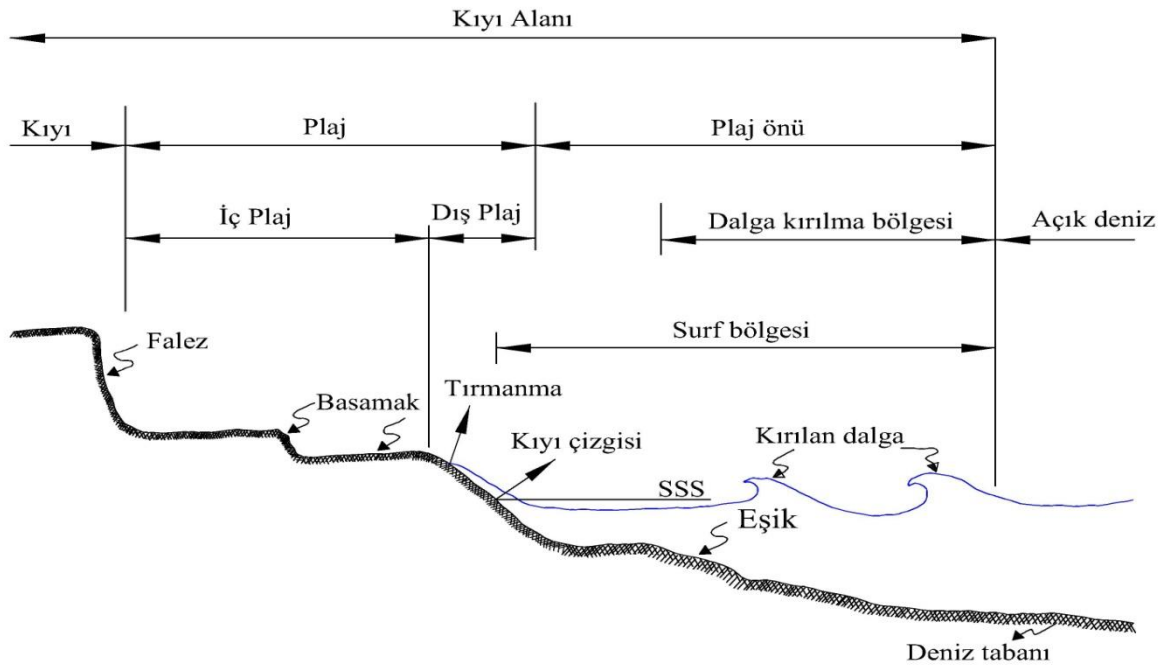
Dalgalar derin sulardan sığ sulara doğru hareket ederken, taban topografyasının değişiminden ve bir takım doğal ve yapay engellerden etkilenirler. Bu değişimler, dalga mekaniğini ve katı madde taşınım hareketini önemli ölçüde etkiler. Bunlar, sığlaşma, kırınım, yansıma, kırılma ve sapma'dır. Bu olaylar hakkında ayrıntılı bilgi önceki çalışmalarda verilmektedir [3, 66, 67, 68].

1.5. Kıyının Morfolojik Yapısı

1.5.1. Kıyı Bölgesinin Tanımı

Deniz ile karanın birleşim yerinde deniz-kara karşılıklı etkileşiminin ortaya çıktığı bölgeye, kıyı bölgesi adı verilir (Şekil 1.3). Bu bölgede, denizin normal şartlar altında kara içerisinde ulaşabildiği en iç noktaları birleştiren çizgiye ise kıyı çizgisi denir.

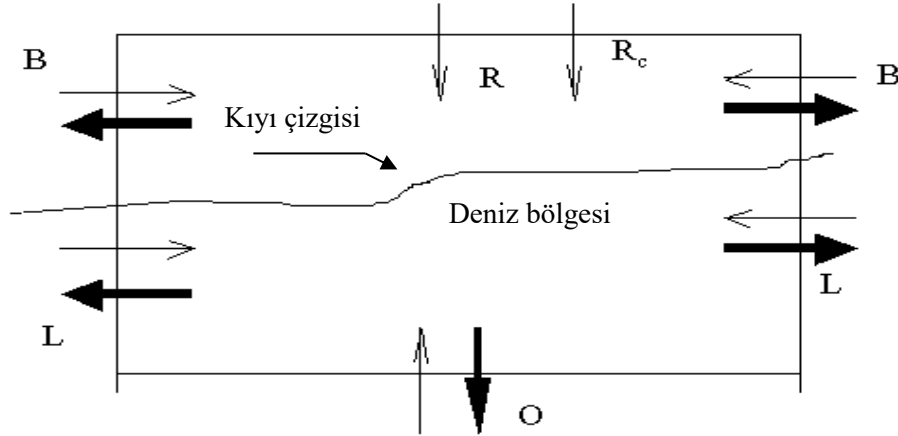
Kıyı bölgeleri, sert ve yumuşak yapıdaki kıyılar olmak üzere iki gruba ayrılır. Dalgalara karşı rijit yapıdaki dik profillerden oluşan sert kıyılar (kayalık kıyılar) kıyı mühendisliği açısından fazla öneme sahip değildir. Bu kıyılardaki değişimler, yüzyıllarla ifade edilebilecek uzun sürelerde meydana gelir. Daha ince malzemeden oluşan yumuşak kıyıların eğimleri oldukça düşüktür. Bu kıyılar, dalga enerjisini profillerindeki değişimler ile sönmürlenir. Kıyı bölgesindeki meteorolojik şartlara bağlı olarak, yumuşak kıyılarda mevsimlik, aylık ve hatta günlük olarak değişimler gözlenebilir. Yumuşak kıyıları oluşturan malzeme, kum, çakıl, silt vb. katı maddelerden oluşabilir ve genel olarak kumsal veya plaj olarak isimlendirilir [69].



Şekil 1.3. Kıyı bölgesi hidrodinamik kısımları

1.5.2. Kıyı Hidrodinamik Dengesi ve Katı Madde Kaynakları

Yumuşak yapıdaki kıyıları oluşturan kum ve çakılın ana kaynağı, karalar içerisinde çeşitli etkenlerle oluşan erozyon ve kayaların parçalanması ile oluşan malzemedir. Bu malzeme yüzeysel akış, heyelan ve akarsularla denize taşınırken iri malzemeler, kum ve çakıl boyutuna ve şekline dönüşürler. Denize dökülen katı maddeler dalga ve akıntı etkileri ile kıyı bölgesinde dağılırlar. Kıyılardaki katı maddeler, dalga etkilerinin kıyı gerisinde zaman zaman ulaştıkları sert kıyılardan kopardıkları katı maddelerden de oluşabilir. Daha küçük bir kaynak ise, açık denizden kıyıya doğru taşınan net katı maddelerdir. Çeşitli ana kaynaklardan denize ulaşan katı maddeler, kıyı bölgesinde sürekli hareket halinde olduklarından herhangi bir kıyı bölgesi ele alındığında bu bölgenin katı madde kaynağı, bitişik kıyılardan dalgalar, akıntılar ve rüzgarlar etkisi ile gelen katı maddeler olabilir. Bir kıyı bölgesinde çeşitli kaynaklardan gelen malzemeler olmasına karşın, bir kısım malzeme de başka bir kıyı bölgesine veya açık denizlere taşınabilir. Ayrıca, kıyılardan ve açıktan kum-çakıl alınması da önemli ölçüde malzeme kaybına sebep olmaktadır. Bir kıyı bölgesine giren ve çıkan malzemeler, Şekil 1.4'te bir sistem olarak gösterilmiştir [3, 26].



Şekil 1.4. Kıyıda katı madde dengesi

Şekilde; L kıyı boyu, O kıyıya dik katı madde taşınım debisini, B rüzgarların sahil üzerinde taşıdığı debiyi, R akarsulardan gelen katı madde debisini, R_c kayalardan aşınan malzeme debisini göstermektedir. Koyu renkli oklar sistemden çıkan (kayıplar), açık renkli oklar ise sisteme giren (kaynaklar) malzemeleri göstermektedir. Kıyı bölgesi, kaynak ve kayıpların durumuna göre üç değişik şekilde olabilir.

1. Kaynakların kayıplardan fazla olması durumunda yığılma,
2. Kaynakların kayıplardan az olması halinde erozyon,
3. Kaynaklarla kayıpların eşit olması halinde denge söz konusu olmaktadır.

1.5.3. Kıyıdaki Katı Maddelerin Fiziksel Özellikleri

Kıyıdaki katı maddelerin sınıflandırılmasında göz önüne alınan temel parametre danecik çapıdır. Katı maddeler daneciğin çapına göre; çakıl, kum, kil ve silt olarak adlandırılırlar, fakat kıyıda görülen katı maddelerin büyük bir kısmı kum ve çakıldan ibarettir.

Daneciklerin çapını temsil etmek için pek çok değişken tanımlanmıştır. Bunlardan en yaygın olanı, ortalama çaptır. Kıyılarda bulunan kum ve çakıl daneciklerinin ortalama çapları (d_{50}) sırasıyla 0,15-2 ve 2-50 mm arasındadır. Kıyıdaki katı madde daneciklerini sınıflandırmada kullanılan diğer bir parametre de malzemenin özgül ağırlığıdır. Kıyı katı maddelerinin çoğunluğu kuvarstan oluştuğundan, özgül ağırlıkları $2,60-2,75 \text{ t/m}^3$ arasındadır [3].

1.5.4. Katı Madde Taşınımını Etkileyen Faktörler

Kıyılardaki katı madde hareketinin önemli bir kısmı, yakın kıyı bölgesinde meydana gelir. Açık denizden gelen dalgaların kırılması sonucu oluşan akım şartları (türbülanslar, kayma gerilmeleri vb.) kıyı bölgesi içerisinde katı madde hareketine neden olmaktadır. Bu şartları doğuran faktörlerin en önemlileri aşağıda verilmiştir [26].

1.5.4.1. Dalgalar

Kıyı değişimlerini doğuran en önemli etmen, su dalgalarıdır. Dalgaların olmaması halinde, kıyı değişimleriyle ilgili sorunların büyük bir kısmı oluşmazlar. Açık denizde su yüzeyine aktarılan rüzgar enerjisi, dalgaların oluşumuna neden olarak dalga enerjisine dönüşür, kıyıya yaklaştıkça deniz tabanı ile su kütlelerinin karşılıklı etkileşimi sonucu katı madde taşınımına neden olur ve bu yolla sönümlenir.

Dalga enerjisinin büyük bir kısmı katı madde taşınımı yoluyla sönmümlenirken diğler bir kısmı da dalga tırmanması yoluyla potansiyel enerjiye dönüştür. Geri kalan kısmı ise ses, ısı gibi diğler enerji türlerine dönüştür.

1.5.4.2. Akıntılar

Dalgalar kırılma bölgesine yaklaştıkça, su içinde, dalgaların doğurduğu taban hareketi de şiddetlenir ve bu dalgalar şiddetli yerel akıntılar meydana getirirler. Dalga akıntılarında başka, gel-git akıntıları, yoğunluk akıntıları ve büyük ölçekli deniz akıntıları da ortaya çıkmaktadır.

1.5.4.3. Gel-Gitler

Gel-gitler, dünya, ay ve güneşin birbiri üzerindeki çekim etkileri sonucu su seviyesinde meydana gelen değişimlerdir. Gel-git olayı enlem derecesine bağlı olarak bazı kıyılarda yok denebilecek kadar küçük mertebelerde iken bazı kıyılarda ise yaşamı etkileyecek mertebelerde olabilmektedir. Bazı kıyılarda özellikle körfezlerde günlük seviye değişimi 7-8 m civarında olabilmektedir. Su kütleinin gel-git olayında, günlük gelip gidişi sırasında önce kıyıya doğru, sonrada açığa doğru 2,0 m/s civarında akımların doğmasına yol açar. Bu nedenle, kıyıda zaman zaman kuvvetli katı madde hareketlerinin oluşmasına sebebiyet verir.

1.5.4.4. Rüzgarlar

Rüzgarlar kumları sahilden uzağa sürükleyip kum tepecikleri halinde yığarak kıyılar üzerinde etkili olurlar. Rüzgarlar, daha çok ince malzemeleri sürükler, daha iri malzemeler ise kıyıda kalır. Bu şekilde oluşan kum tepeciklerinin en önemlisi, kıyının hemen önünde oluşan ön tepeciktir.

1.5.4.5. Diğler Faktörler

Katı madde hareketini etkileyen diğler faktörler, yörenin jeolojisi, taban malzemesinin yapısı ve insanların kıyıda yaptığı aktiviteler olarak özetlenebilir.

1.6. Katı Madde Taşınım Mekanizması

1.6.1. Kıyı Bölgesinde Tabanda Hareketin Başlaması

Derin deniz tabanındaki bir katı madde daneciğini, bir dalga geçişi sırasında harekete geçiren etmen akım hızı nedeni ile tabanda oluşan kayma gerilmesidir. Kum daneciklerini harekete geçiren hız;

$$U_b = \left[8 \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \cdot g \cdot d_{50} \right]^{0.5} \quad (1.17)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Denklemdede; U_b tabandaki akışkan hızını, g yerçekimi ivmesini, ρ_s kum daneciğinin özgül kütleini ve ρ suyun özgül kütleini göstermektedir.

Bir dalga geçişi sırasında deniz tabanında oluşan hız 1.18 eşitliği ile bulunabilir.

$$U_b = \frac{H \cdot \pi}{T \cdot \sinh(2\pi h / L)} \quad (1.18)$$

Denklem 1.17 ile 1.18 birbirine eşitlenir ve $\rho_s=2,65t/m^3$, $\rho=1,025t/m^3$ ve $g=9,81m/s^2$ alınır, hareket ettirilecek malzemenin ortalama çapı;

$$d_{50} = \left[\frac{0,2816 \cdot H}{T \cdot \sinh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)} \right]^2 \quad (1.19)$$

bağıntısından elde edilebilir [70].

1.6.2. Taşınım Türleri

Katı madde taşınım türleri, taban malzemesi taşınımı, asılı malzeme taşınımı (askı) ve tabaka akımı taşınımı şeklinde üç ana gruba ayrılır.

Ayrıca, taban ve asılı malzeme taşınımları arasında bir geçiş türü de vardır. Askı halindeki katı madde hareketi de;

a. Kum dalgacıkları yakınında katı maddenin askıda olup olmadığına,

b. Askı halindeki katı maddenin girdaplarla sınırlandırılıp sınırlandırılmadığına göre iki alt gruba ayrılır. Bu iki durum taşınım yönlerini etkiler.

Çeşitli katı madde taşınım türleri aşağıda açıklanmıştır [69].

1.6.2.1. Taban Malzemesi Taşınımı

Taban yaklaşık olarak düzdür, kum dalgacıkları ve askı halde katı madde bulutları yoktur. Katı madde danecikleri sık sık birbirine çarparak taban yüzeyi boyunca hareket etmektedir.

1.6.2.2. Taban Malzemesi-Askı Malzemesi Geçışı

Kum dalgacıkları, buldukları taban üzerinde, askı halinde katı madde bulutları oluşturur. Hem taban malzemesi hem de askı halinde malzeme taşınımı etkindir.

1.6.2.3. Askı Şeklinde Malzeme Hareketi

Bu taşınımda askı halindeki katı madde hareketi etkindir.

1.6.2.4. Tabaka Akımı

Taban kayma gerilmelerinin büyük değerlere ulaşması sonucunda kum dalgacıkları etkinliğini kaybeder. Bu durumda, katı madde danecikleri bir tabaka halinde hareket etmeye başlar. Taban malzeme hareketinde sadece yüzeydeki danecikler hareket ederken, tabaka akımında hem yüzeydeki hem de derindeki danecikler pozitif yönde hareket etmektedir.

1.6.3. Kırılma Bölgesinde Katı Madde Taşınımı

Kırılmakta olan ve kırılmış dalgalar nedeniyle tabanın oldukça çalkantılı olduğu kırılma bölgesindeki dalga hareketi düzensiz bir haldedir. Bu yoğun ve düzensiz çalkantı, özellikle dalga kırılması yakınındaki konsantrasyonu çok yüksek olan taban malzemesini yukarı doğru kaldırmaktadır.

Kırılma bölgesindeki kıyıya dik ve kıyı boyu katı madde taşınımının asıl nedeni, dalga kırılmasının neden olduğu çalkantıdır. Buradaki katı madde taşınımında etkin olan diğer iki faktör ise;

a. Kıyı boyu akıntısı ve tırmanma bölgesindeki geri dönüş akıntısı gibi orta büyüklükteki akıntılar,

b. Gel-git ile beraber oluşan su seviyesi değişimleri ve akıntılardır.

Gel-git nedeniyle kırılma noktasının derinleşmesi ve kırılma bölgesinin genişlemesi kıyı profilinde değişikliklere sebep olmaktadır.

1.6.4. Kırılma Noktası Civarındaki Katı Madde Taşınımı

Kırılma noktası civarındaki net katı madde taşınım yönünü etkileyen faktörler şunlardır:

a. Dalga dikliği (H/L),

b. Katı madde çökme hızının, dalga periyodu ve yerçekimi ivmesine oranıdır (w/Tg).

Dalga kırılma noktası civarında çok küçük dalgalar bile yüksek katı madde konsantrasyonlarına neden olur. Laboratuvar çalışmaları, kırılma noktası yakınlarında yoğun konsantrasyona yol açan minimum vorteksin, derin deniz dalga dikliğine ve taban eğimine bağlı olduğunu göstermiştir.

1.6.5. Tırmanma Bölgesinde Katı Madde Taşınımı

Kırılma bölgesi kıyısında kalan tırmanma bölgesinde, dalga hareketi tırmanma ve geri çekilme şeklindedir. Bu bölgedeki katı madde taşınımı kırılma bölgesindekinden daha fazla olduğu kabul edilmektedir. Bölgedeki taşınım debisinin tahmininde, kıyıya dik taşınımın üç türü belirlenmiş ve tahminler bu türlere göre elde edilmiştir:

a. Kuru bir tabanda ilerleyen dalgalarla taşınım,

b. Sığ suda ilerleyen dalgalarla taşınım,

c. Geri çekilen dalgalarla taşınım.

1.6.6. Katı Madde Taşınım Bölgesinin Sınırı

Katı madde daneciklerinin kıyıdan ne kadar uzağa veya hangi derinliklere kadar taşınabileceği konusunda yapılan araştırmalar, taban batimetresinin, katı madde danecik çapının ve dalga şartlarının bu konuda etkili olduğunu göstermiştir.

Normal olarak, kıyıya paralel en derin taban konturuna kadar malzeme taşınımının olduğu kabul edilir. Dalga şartlarının etkisini de dikkate alan bir başka yaklaşım ise, dalga nedeniyle meydana gelen maksimum hızın 0,15 m/s olduğu derinlik sınırına kadar malzeme taşınımının olabileceğini varsaymıştır. Yani, maksimum hız 0,15 m/s olduğu h^* değeri aranan değerdir.

Profil ölçümlerinin olmadığı yerlerde katı maddenin taşınabileceği derinliği (aktif derinlik) belirlemek için, dalgaların özelliklerine bağlı olarak bazı formüller geliştirilmiştir.

Hallermeier, taban malzemesinin taşınabileceği derinliğin tespiti için 1.20 nolu denklemi geliştirmiştir [71].

$$h_* = 2,28H_0 - 68,5 \left(\frac{H_0^2}{gT^2} \right) \quad (1.20)$$

Denklem 1.20'deki ilk terim, doğrudan dalga yüksekliğine bağlıdır ve aktif derinliğin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. İkinci terim ise dalga dikliğine bağlı olarak küçük bir düzeltme sağlamaktadır. Birkemeier, profil ölçümlerine bağlı olarak Hallermeier denkleminde küçük değişiklikler yaparak denklem 1.21'i önermiştir [72].

$$h_* = 1,75H_0 - 57,9 \left(\frac{H_0^2}{gT^2} \right) \quad (1.21)$$

Birkemeier'in denklemi, Hallermeier'in önerdiğinden daha küçük değerler vermektedir. Yapılan çalışmalar, Denklem 1.20'nin çok daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

Katı maddenin taşınabileceği son noktanın orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı, Denklem 1.22 ile belirlenebilir.

$$X_* = m.h_* \quad (1.22)$$

1.6.7. Katı Madde Taşınım Formüllerinin Sınıflandırılması

Salınımlı ve yarı üniform akımların birlikte olmasından dolayı kıyılardaki katı madde taşınım debilerini hesaplamak oldukça zordur. Katı madde taşınımı konusunda, arazi verilerini elde etme zorluklarından dolayı, akıntı ve dalga şartlarının geniş bir alanı için uygun formüllerin kurulması kolay bir iş değildir. Günümüze kadar geliştirilmiş katı madde taşınım debisini temsil eden formüller aşağıdaki özelliklere göre sınıflandırılmıştır:

- a. Katı madde hareket yönüne göre; kıyıya dik taşınım, kıyı boyu taşınım ve dalgaların ve akıntılarının ortak etkisi sonucu taşınım formülleri,
- b. Katı madde hareketi sonucu sürüklenen elemanlara göre; tabana yakın akışkan hızı, taban kayma gerilmesi ve dalga enerjisi veya dalga yüksekliği formülleri [3].

1.6.8. Kıyıya Dik ve Paralel Taşınım

Kıyı topografyasındaki değişimleri tahmin etmek için, iki boyutlu yatay bir eksen takımında her noktadaki net taşınım debisinin tahmini gereklidir. Yakın kıyı bölgesinde oluşan katı madde taşınımı, kıyıya dik ve kıyıya paralel taşınım olmak üzere iki bileşene ayrılır.

Kıyıya dik taşınımın asıl nedeni, dalganın yörüngesel hareketi olurken, kıyıya paralel taşınımı doğuran asıl etken dalgaların neden olduğu kıyı boyu akıntılardır. Kıyı boyu katı madde taşınım debisini tahmin etmek için, taşınım debisi ile dalga enerji faktörü ve katı madde taşınım hızının çarpımı arasında deneysel ilişkiler geliştirilmiştir. Bu şekilde hesaplanan debiler, ölçüm değerlerine yakın sonuçlar vermektedir. Kıyıya dik taşınım debisinin tahmin edilmesi ise zordur. Çünkü net taşınım debisi, kıyıya ve açığa doğru oluşan büyük taşınım debileri arasındaki küçük farkların toplamından oluşur. Doğru bir net taşınım debisi elde edebilmek için, bu debi miktarları doğru olarak belirlenmelidir [26].

1.7. Kıyı Profilleri

Kıyı profilinin gelişimi, katı madde taşınım alanında, süreklilik denklemi ile hesaplanır. İki boyutlu süreklilik denklemi Denklem 1.23'de verilmiştir. Bu denklemde hem kıyıya dik hem de paralel taşınım dikkate alınır [3].

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{1}{(1-p)} \cdot \left(\frac{\partial q_{sx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{sy}}{\partial y} \right) \quad (1.23)$$

Kıyıya paralel katı madde taşınımının ihmal edilmesi ve sadece kıyıya dik taşınımın dikkate alınması halindeki süreklilik denklemi Denklem 1.24'deki gibi olmaktadır.

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{1}{(1-p)} \cdot \frac{\partial q_{sx}}{\partial x} \quad (1.24)$$

Burada q_{sx} ve q_{sy} katı madde taşınım oranıdır (sırasıyla x ve y yönündeki). Pratikte, katı madde taşınım modeli ve süreklilik denkleminin sayısal olarak çözümleri gerekmektedir. Genelde bunun için sonlu farklar metodu kullanılır. Bir $t + \Delta t$ adımında taban topografyası süreklilik denkleminin kullanımı ile belirlenir.

Dalgalar genel olarak, kıyıyla belli bir açı yaparak kıyıya ulaşırlar. Bu dalgaların enerjilerinin kıyı çizgisine paralel bileşeni kıyı boyu (kıyıya paralel), kıyı çizgisine dik bileşeni ise kıyıya dik katı madde taşınımına yol açar. Kıyıya dik taşınım sonucu, kıyından başlayarak, katı madde taşınımının etkin olduğu derinliğe kadar olan bölgede bazen kıyı oyulması, bazen de kıyı yığılması meydana gelir.

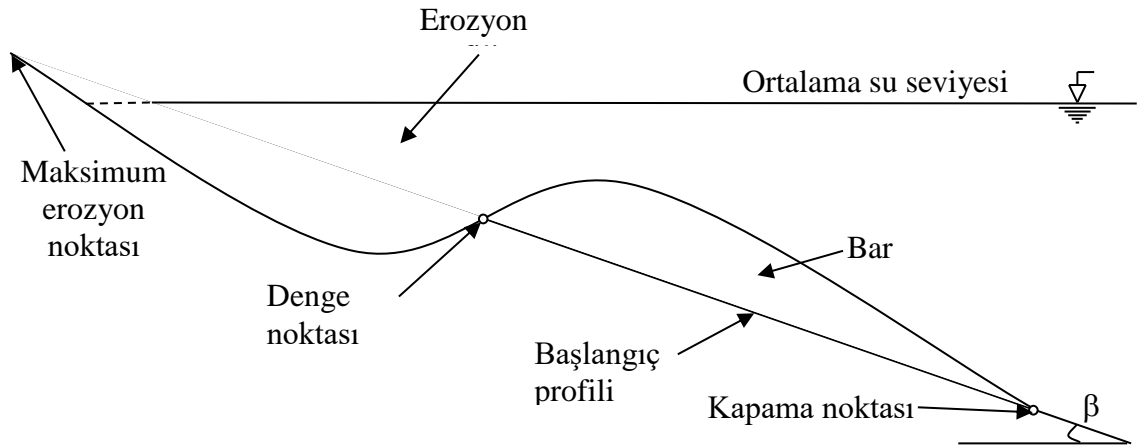
Kıyıya dik malzeme taşınımı, genellikle birim genişlikteki bir kıyının kıyıya dik yöndeki kesiti üzerinde incelenir ve bu kesit "*kıyı profili*" olarak adlandırılır. Kıyı profilini etkileyen esas parametre kıyıya dik taşınım olmakla beraber, kıyıya paralel taşınımın da etkisi bazen çok önemli olmaktadır. Özellikle, çeşitli etmenler (örneğin kıyı yapıları) sonucu kıyı boyu taşınımında dengenin bozulması durumunda kıyı profillerindeki değişim önemlidir.

Kıyı profilleri, fırtına profili ve normal profil olarak ikiye ayrılır [26].

1.7.1. Fırtına Profili (Erozyon Profili)

Kıyı profillerinin oluşumunu etkileyen en önemli faktör, dalga yüksekliği ve fırtınanın süresi olmakla beraber, yapılan çalışmalar, dalga dikliğinin (dalga yüksekliği/dalga boyu, H/L) önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Yüksek ve dik (kısa periyotlu) dalgalar halinde, hem denizin su seviyesinin ortalama su seviyesinin üzerine çıkması ve hem de kıyıya çok sık dalga gelmesi sonucu, kıyı tabanına büyük miktarda su sızar ve yer altı su seviyesi yükselir. Bunun sonucu, bir dalga geçişi sırasında zemine sızan su miktarı oldukça azalır ve dalganın tırmanması (kıyıya yaklaşması) ile geri dönüşü arasındaki su seviyeleri hemen hemen eşitlenir. Tırmanma sırasında kıyıya doğru taşınan sedimentten daha fazlası, dalganın geri dönüşü sırasında açığa doğru taşınır. Çünkü tırmanma esnasında sediment taşınımı yukarı doğru olduğu halde, geri dönüş sırasında aşağı doğru olması nedeniyle yerçekiminin de etkisiyle taşınım kolaylaşır ve kıyıda oyulma meydana gelir [73].

Erozyon yoluyla kıyidan açığa doğru çekilen maddeler açıkta bir noktada toplanmaya başlar. Dalga etkisiyle açıktan da bu noktaya sediment taşınması sonucu bir kum tepesi (longshore bar) oluşur. Bu tepecik zamanla büyüyünce, dalgalar bu tepecik üzerinde kırılmaya başlayarak enerjilerini kaybederler. Sonuçta, kıyı erozyonu sona ererek kıyı dengeye kavuşur (Şekil 1.5).

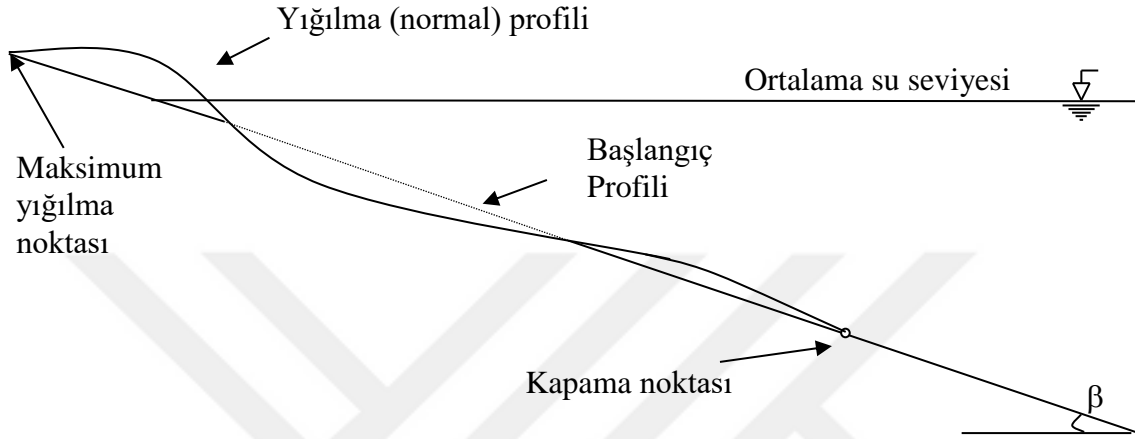


Şekil 1.5. Fırtına profili

1.7.2. Normal Profil (Yığılma Profili)

Fırtınanın mevcut olmadığı zamanlarda kıyıdaki dalgalar, küçük ve dikliği az (büyük periyotlu) olan dalgalardır. Bu dalgaların kıyıya yaklaşması durumunda, deniz su seviyesi

düşüktür. Bu nedenle, yer altı su seviyesinde bir yükselme olmayacağından, tırmanma yoluyla kıyıya taşınan suyun bir kısmı yeraltına sızar; dalgaların geri dönüşü sırasındaki su seviyesi, tırmanma sırasındakinden daha az olur. Tırmanma sırasındaki büyük su kütlesi hareketi ile kıyıya taşınan sedimentin bir kısmı zayıf dönüş akımı nedeniyle kıyıda kalır. Sonuç olarak, kıyılarda sediment yığılması olur (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Yığılma profili

1.7.3. Fırtına Profili ile Normal Profilin Belirlenmesi

Daha önce de belirtildiği gibi, hangi şartlarda oyulma (fırtına profili) ve hangi şartlarda yığılma (normal profil) oluşacağını belirlemede esas faktör dalga parametreleridir. Yapılan araştırmalar, bu konuda en etkin etmenin, derin deniz dalga dikliği (H_o/L_o) olduğunu göstermiştir. Katı madde daneciklerinin çökme hızı (w), ortalama çapı (d_{50}) ve taban eğimi (m) de önemli etmenlerdir.

Kıyı profilinin durumunu belirlemede en çok kullanılan parametrelerden bazıları aşağıda verilmiştir:

Dean, kıyı profilinin belirlenmesinde boyutsuz bir çökme süresi parametresi (F_0) tanımlamıştır [3]:

$$F_0 = \frac{H_o}{w \cdot T} \quad (1.25)$$

Burada;

F_0 : Boyutsuz çökme süresi parametresi,

- H_0 : Belirgin derin deniz dalga yüksekliği,
 w : Sediment daneciklerinin sudaki çökme hızı ve
 T : Dalga periyodudur.

$F_0 > 1$ olması halinde erozyon, $F_0 < 1$ olması halinde ise yığılma olur. w çökme hızı değeri, danenin çapı, özgül ağırlığı ve şekli ile suyun viskozitesine (sıcaklık) bağlıdır.

Kriebel vd., Denklem 1.26 ile, Larson vd., Denklem 1.27 ile verilen denklemleri önermişler ve laboratuvar ve arazi şartlarında denklemleri değerlendirmişlerdir [26].

$$C^* = \frac{g}{\pi} \cdot \frac{T}{w} \cdot \frac{H_0}{L_0} \quad (1.26)$$

C^* değerinin laboratuvar şartlarında, 1,7'den küçük olması durumunda yığılma, 1,7'den büyük olması durumunda ise erozyon, arazi şartlarında ise 8,8'den küçük olması durumunda yığılma, 8,8'den büyük olması durumunda ise erozyon profili oluşmaktadır.

$$C^{**} = \frac{H_0}{L_0} \cdot \left[\frac{w \cdot T}{H_0} \right] \quad (1.27)$$

C^{**} değerinin laboratuvar şartlarında, 0,0007'den büyük olması durumunda yığılma, 0,0007'den küçük olması durumunda ise erozyon, arazi şartlarında ise 0,00027'den büyük olması durumunda yığılma, 0,00027'den küçük olması durumunda ise erozyon profili oluşmaktadır.

Kraus vd, kıyıya dik malzeme taşınımıyla ilgili mevcut olan yığılma ve erozyon kriterlerinin bir değerlendirmesini yapmışlardır. Yığılma ve erozyonla ilgili kriterler arasındaki ilişkileri incelenmiş ve bu kriterlerin eksikliklerini tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada incelenen kriterler Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.2. Kraus vd. tarafından incelenen kıyıya dik erozyon ve yığılma kriterleri [26].

Profil Kriterleri	
$D_o=H_o/d_{50}$	Iwaghi ve Noda
$G_o=(P_i \cdot w)/(g \cdot T)$	Dean
$N_o=H_o/(w \cdot T)$	Dean sayısı
$S_o=H_o/L_o$	Derin su dalga dikliği
$F_o=w/(g \cdot H_o)^{0.5}$	Bir tür Froude sayısı

Tabloda, w çökeltme hızını, T dalga periyodunu ve g ise yerçekimi ivmesini göstermektedir.

Johnson, normal ve fırtına profili arasındaki geçiş için kritik dalga dikliğini 0,025-0,030 aralığında bulmuştur [3, 26].

Yığılma profili için $H_o/L_o < 0,025$

Geçiş profili için $0,025 < H_o/L_o < 0,030$

Fırtına profili için $H_o/L_o > 0,030$ olmaktadır.

Sunamura ve Horikawa, kıyı profillerinin ayırt edilmesi için aşağıdaki formülü önermişlerdir [3, 26].

$$\frac{H_o}{L_o} = C \cdot m^{-0,27} \cdot (D_{50}/L_o)^{0,67} \quad (1.28)$$

Denklemden;

Normal profil $C \leq 4$

Geçiş profili $8 > C > 4$

Fırtına profili $C \geq 8$ olmaktadır.

Jackson ve Nancy, kıyıya dik taşınım ile ilgili mevcut olan yığılma ve erozyon kriterlerinin bir değerlendirilmesi yapmıştır. Yaptıkları arazi ve laboratuvar ölçümleriyle kriterlerin geçerliliğini irdelemişlerdir. Ayrıca yığılma ve erozyonla ilgili kriterler arasındaki ilişkiler incelemişler ve bu kriterlerin yetersizliklerini ortaya koymuşlardır [74].

1.7.4. Kıyı Önü Eğimi

Kıyı önü eğimini ($\tan\beta$) etkileyen en önemli parametreler, taban malzemesinin dane çapı (D), dalga yüksekliği (H) ve periyodudur (T). Genel olarak, dane çapı arttıkça kıyı önü eğimi de büyür. Büyük dalgalar halinde oluşacak kıyıların eğimi, küçük dalgalar halinde oluşacak kıyı eğiminden daha küçüktür. Diğer bir ifadeyle, fırtına profilleri, normal profillere oranla daha az eğimlidir (daha yatıktır). Taban eğimi ($\tan\beta$) dalga periyodu (T) ve taban malzemesi çapı (D) arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir:

$$\tan \beta = \frac{0,12}{\left[\frac{H}{(g^{0,5} \cdot T \cdot D^{0,5})} \right]^{0,5}} \quad (1.29)$$

Kıyı malzemesinin geçirimsizliği katı madde taşınımını iki şekilde etkilemektedir. İlk olarak dalga tarafından oluşturulan taban dalgalarının formasyonunu etkiler. İkinci olarak ise ön kıyı bölgesindeki akımın hidrolik davranışını değiştirir. Geçirgen bir bölge üzerinde tırmanan dalga kıyıda büyük miktarda su tutar ve böylece geri dönen akımın büyük bir kısmı kıyı malzemesinin içinde kaldığından geri dönüş rölatif olarak zayıf olur. Geri dönüş akımı tırmanan akımdan rölatif olarak daha zayıf ise, geri dönüş akımı tırmanan akımın karaya doğru getirdiği katı madde miktarını açığa doğru götüremeyeceği için kıyı eğimi yeterince artana kadar kıyı malzemesi tırmanma çizgisine yığılacaktır. Böylece rölatif olarak kaba malzemeye sahip kıyıları ince malzemeye sahip kıyılardan daha dik olurlar. Çünkü ince malzeme göreceli olarak daha geçirimsizdir [3].

1.8. Kıyılarda Katı Madde Özelliklerinin Tanımlanması

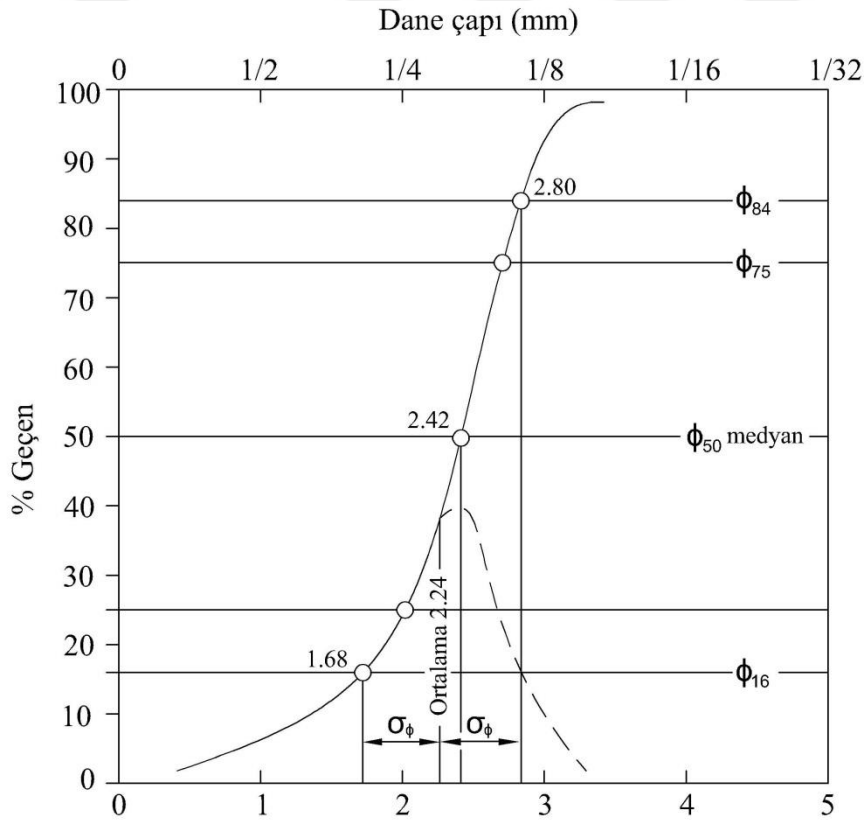
Katı malzemelerin dane boyutlarının belirlenmesi elek analizi yardımıyla yapılabilir. Bu analize göre kuru ağırlığı bilinen katı madde elek çapı küçültülerek artarda eleklerden geçirildiğinde kuru malzemenin granülometrik değişimi belirlenmiş olur. Şekil 1.7’de bir kumsala ait katı madde dane boyutlarının özelliklerini tanımlayan parametrelerle birlikte tipik granülometrik değişim örnek olarak verilmiştir. Bu şekilde ϕ_{50} medyan çapı göstermektedir. Ortalama dane çapı, standart sapma, çarpıklık ve kurtosis ise sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir [75, 76].

$$\phi_m = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \quad (1.30)$$

$$\sigma = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \quad (1.31)$$

$$Sk = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \quad (1.32)$$

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})} \quad (1.33)$$



Şekil 1.7. Kıyı malzemesinin analizi [82].

Standart sapma ortalamadan saçılma mertebesini göstermektedir [77]. ϕ_{84} , ϕ birimindeki katı madde boyutunun ağırlıkça 84%'ten ince olan kısmını göstermektedir. Katı madde boyutu lognormal dağılıma sahip ise σ , ϕ biriminde katı maddenin standart sapmasıdır. Folk ve Ward [75] katı maddenin granülometrik değişiminin sınıflanmasını standart sapma değerine göre Tablo 1.3'deki gibi belirlemiştir.

Tablo 1.3. Katı maddenin sınıflandırılması

Çok iyi sınıflanmış	$\sigma < 0.35$
İyi sınıflanmış	$0.35 < \sigma < 0.50$
Orta derecede iyi sınıflanmış	$0.50 < \sigma < 0.70$
Orta derecede sınıflanmış	$0.70 < \sigma < 1.00$
Kötü sınıflanmış	$1.00 < \sigma < 2.00$
Çok kötü sınıflanmış	$2.00 < \sigma < 4.00$
Aşırı derecede kötü sınıflanmış	$\sigma > 4.00$

1.9. Regresyon Analizi

Regresyon analizi yapılırken, gözlem değerlerinin ve etkilenilen olayların bir matematiksel gösterimle yani bir fonksiyon yardımıyla ifadesi gerekmektedir. Kurulan bu modele regresyon modeli denilmektedir [78].

Çoğu kez, bir araştırmacı ya da deney yapan kimse iki ya da daha çok değişken arasında bir ilişki olup olmadığını bulmak ve bu ilişkinin bir denklemlerle nasıl ifade edildiğini göstermek ister. Örneğin bir kıyı mühendisi kıyıda yığılan malzeme miktarı ile dalga yüksekliği ve periyodu arasındaki ilişkiyi bilmek isteyebilir.

Modelde, etkilenen değişken bağımlı, etkileyen değişkenler ise bağımsız değişken olarak adlandırılır. Regresyon, iki (ya da daha çok) değişken arasındaki ilişkinin fonksiyonel şeklini göstermekle kalmaz, bağımsız değişken(ler)in farklı değerleri için bağımlı değişkenin alacağı değer hakkında tahmin yapılmasını sağlar [78].

Bu çalışmada regresyon tekniği olarak en küçük kareler yöntemine dayalı klasik regresyon analizi ve çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri teknikleri kullanılacaktır.

1.9.1. Klasik Regresyon Analizi (KRA)

En küçük kareler yöntemine dayalı regresyon analizidir. En küçük kareler yöntemi, regresyon doğrusunun belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem kullanıldığında, elde edilen doğru, verilere uygun regresyon doğrusudur. Çünkü bu yöntem, gerçek y_i değerleri ile tahmin edilen \hat{y}_i değerleri arasındaki dikey sapmaların karelerinin toplamını ($RSS(\beta)$),

$$RSS(\beta) = \sum_{i=1}^n (y_i - x_i \beta_i)^2 \quad (1.34)$$

en küçük yapan β değerini elde ederek regresyon doğrusunu belirler. (1.34) eşitliğinde de görülebileceği gibi, $RSS(\beta)$, parametrelerin bir karesel bir fonksiyonudur, bu nedenle, bu fonksiyonun minimumu her zaman bulunabilir, ancak bu çözüm tek olmayabilir. $RSS(\beta)$ matris gösterimi ile aşağıdaki şekilde yazılır [79].

$$RSS(\beta) = (y - X\beta)^T (y - X\beta) \quad (1.35)$$

Burada X bağımsız değişkenleri içeren ($n \times p$) boyutlu matris, y bağımlı değişkenlerden oluşan n boyutlu vektördür. $RSS(\beta)$ denkleminin β 'ya göre türevinin sıfıra eşitlenmesi ile (1.36) denklemini elde edilir.

$$X^T (y - X\beta) = 0 \quad (1.36)$$

Eğer $X^T X$ matrisi singüler değilse, β tahmini eşitlik (1.37) yardımıyla hesaplanır ve tektir [79].

$$(X^T X)^{-1} X^T y \quad (1.37)$$

1.9.2. Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (ÇDURE)

ÇDURE tekniği ilk olarak 1991 yılında Stanford'da fizikçi ve istatistikçi Jerome Friedman tarafından geliştirilmiştir [78]. ÇDURE bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkiye dair varsayımlarda bulunmayan, parametrik olmayan bir regresyon yöntemidir. Bunun yerine regresyon verisinden kendisinin çıkardığı temel fonksiyonlara dayanarak kendisi bir ilişki oluşturmaktadır. Bağımsız değişkenlerin farklı aralıklarına karşılık gelen temel fonksiyonları kullanarak esnek bir regresyon modeli kurar [80].

Genel ÇDURE modeli 1.38 nolu eşitlikteki gibi tanımlanabilir [78].

$$Y = \beta_0 + \sum_{k=1}^K a_k \beta_k(X_t) + \varepsilon_i \quad (1.38)$$

Burada;

k : düğüm sayısını,

K : temel fonksiyon sayısını,

X : bağımsız değişkeni,

a_k : k. Temel fonksiyonun kat sayısı,

β_0 : modeldeki sabit terim,

$\beta_0(x_t)$: t. Bağımsız değişken için k. Temel fonksiyon

Temel fonksiyon ise aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$B_m(x) = \prod_{t=1}^{L_m} [S_{1,m}(x_{v(1,m)}) - k_{1,m}]_+ \quad (1.39)$$

Buradaki;

$k = 1, 2, \dots, K$

L_m : etkileşim derecesini

$S_{1,m} : \in [\pm 1]$

$k_{1,m}$: düğüm değerini

$x_{v(1,m)}$: bağımsız değişken değerini göstermektedir.

ÇDURE’de istenen model elde edilene kadar tekrar tekrar uygulanan iki adımlı bir süreç vardır. İlk adımda mümkün olan tüm temel fonksiyonlar oluşturulur. Çok büyük bir model bulununcaya kadar yani modelin karmaşıklığı maksimum seviyeye ulaşıncaya kadar eklenen temel fonksiyonlarla model geliştirilir. İkinci adımda oluşturulan maksimum model budanarak yani önemli bağımsız değişkenler ve bu değişkenlerin karşılıklı etkileşimleri belirlenerek, hata kareler toplamı minimum olan en uygun model oluşturulur. Budama algoritması en yaygın olarak genelleştirilmiş çapraz geçerlilik (GCV) tekniği ile yapılır. Genelleştirilmiş çapraz geçerlilik hem hata terimini hem de model karmaşasını hesaba katar. Eşitlik 1.40. ve Eşitlik 1.41 yardımıyla hesaplanır [79].

$$GCV(M) = \frac{1}{n} \frac{\sum_{m=1}^n \left(y_i - \hat{f}_M(x_i) \right)^2}{(1 - C(M)/n)^2} \quad (1.40)$$

$$C = 1 + cd \quad (1.41)$$

ÇDURE modelinin üstünlükleri ve sakıncaları Tablo 1.4’de sunulmaktadır.

Tablo 1.4. ÇDURE’nin üstünlük ve sakıncaları [79, 80].

Üstünlükler	Sakıncalar
Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin dağılımları ile ilgili herhangi bir varsayım yoktur	Henüz uygulaması yeni bir yöntem olmasından dolayı modelin yorumlanmasında dikkat etmek gerekir.
ÇDURE hızlıdır ve daha az veri gerektirir	
Kayıp değerlerden ve aşırı uç değerlerden çok az etkilenir	
Diğer regresyon yöntemleri için sorun oluşturan çoklu bağlantıdan çok az etkilenir.	

1.10. Yapay Sinir Ağları (YSA) Yöntemi

Bilindiği gibi birçok önemli buluşun temelinde doğanın taklit edilmesi gerçeği yatmaktadır ve bu yüzden insanlar sürekli doğayı taklit etmeye çalışmıştır. Bu taklit etme çabalarının yeni ürünlerinden biri de Yapay Sinir Ağları (YSA)’dır. YSA teorik gelişimini tamamlamış ve artık pratik uygulamalarda kullanılmaya başlanmış olan bir hesap modelidir [61]. Özellikle kıyı mühendisliğinin birçok alanına uygulanmıştır [10, 12, 61, 68, 81, 82, 83, 84, 85].

Bir yapay zeka teknolojisi olan YSA’nın temel prensibi, mevcut örneklerden yararlanarak olayları öğrenme ve yeni durumlara karşı uygun yanıtlar üretmeye dayanmaktadır. İnsan beyni örnek alınarak geliştirilen bu yöntemde, öğrenme yapay sinir hücreleri (nöronlar) aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Çözümü istenen probleme bağlı olarak bir sinir ağı birden fazla ara katmandan ve her katmanda değişik sayıda sinir hücresinden oluşabilir. Ağın giriş katmanında girdiler ağırlıklandırılarak uygun bir aktivasyon fonksiyonundan geçirildikten sonra ara katmandaki sinir hücrelerine iletilirler. Ara katmanda oluşan girdiler de yeniden ağırlıklandırılıp uygun aktivasyon fonksiyonu ile varsa diğer ara

katmana, yoksa çıkış katmanına iletilirler. Burada her bir katmanda farklı bir aktivasyon fonksiyonu kullanmak olasıdır [81].

Ağdan elde edilen yanıtların mevcut örnekleme değerleriyle karşılaştırılmasından elde edilen sonuçlara bağlı olarak, ağdaki ağırlıklar bir eğitim algoritması yardımıyla değiştirilmekte ve ağ bu yeni ağırlıklar kullanılarak yeni yanıtlar üretmektedir. Bu işlem, önceden belirlenen yineleme sayısına ulaşıncaya veya performans fonksiyonunun minimize edilmesine kadar sürdürülmektedir [81].

1.10.1. YSA'nın Üstünlük ve Sakıncaları

YSA'nın en büyük üstünlüğü, öğrenme kabiliyeti olması ve farklı öğrenme algoritmaları kullanabilmesidir. Bunun yanı sıra en sık belirtilen sakıncaları ise sistemin çalışmasının analiz edilememesi ve öğrenme işleminde başarılı olamama riski olmasıdır. YSA'nın üstünlük ve sakıncaları Tablo 1.5'de verilmiştir.

Tablo 1.5. YSA'nın üstünlük ve sakıncaları [3].

Üstünlükler	Sakıncalar
Matematiksel modele gerek yoktur	Sistem içinde ne olduğu bilinemez
Kabullere ihtiyaç duymazlar	Bazı ağlar hariç kararlılık analizleri yapılamaz
Öğrenme kabiliyetleri vardır	Farklı sistemlere uyarlanması zor olabilir
Farklı öğrenme algoritmaları kullanılabilir	Ağ parametrelerinin ve uygun ağ yapısının belirlenmesinde belli bir kural yoktur

1.10.2. YSA Eğitiminde Kullanılan Algoritmalar

Bu çalışmada YSA eğitiminde dört farklı algoritma kullanılmıştır. Bunlar; Geri yayımlı algoritma (GYA), yapay arı kolonisi (YAK), öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon (ÖÖTO) ve JAYA algoritmalarıdır.

YSA için kullanılan en yaygın kullanılan algoritma GYA'dır ve oldukça başarılı sonuçlar vermektedir [84]. Ancak GYA ağı eğitirken genellikle çözüm uzayındaki bir yerel optimuma takılmakta ve ezberleme sorunu ile karşı karşıya kalmaktadır. Yani eğitim seti için hata değeri sürekli azalıp ağı eğitirken, doğrulama seti için hata değeri azalmamaktadır. Bu istenmeyen bir durumdur. Bu sorunu aşmak için GYA yerine YAK, ÖÖTO ve JAYA gibi

algoritmalar kullanılabilir. Bu algoritmalar belirlenen çözüm uzayında bir değer belirleyip onun komşuluğunda daha küçük hata değeri veren başka çözümler bulmaya çalışırlar. Ancak her bir çözümün komşuluğunda arayacakları daha iyi çözümler için belli bir deneme sayısı vardır. Bu sayı aşıldığında bu çözümü terk ederek yeni çözümler aramaya başlarlar dolayısıyla bir yerel minimuma takılmamış olurlar. Literatürde YSA eğitiminde YAK ve ÖÖTO algoritmalarının GYA'dan daha iyi sonuç verdiğini gösteren çalışmalar bulunmaktadır [86, 87].

1.10.2.1. Geri Yayılmalı Algoritma (GYA)

Uygulamalarda ileri beslemeli YSA'lar için en sık kullanılan öğrenme algoritması GYA'dır. GYA bir gözetimli öğrenme algoritmasıdır ve bir gradyan inişi yöntemidir. GYA'nın temel prensibi hata teriminin küçültülmesi için ağırlıkların düzeltilmesine dayanır. İleri beslemeli YSA sonucunda bulunan hata değerine bağlı olarak ağırlıklar son katmandan ilk katmana doğru güncellenirler. Öğrenme sondan başa doğru hata teriminin yayılması ile gerçekleştiği için geri yayılmalı denmektedir [88]. Ortalama karesel hataların karekökü (OKHK) en yaygın kullanılan hata değeridir ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$OKHK = E = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \right]^{1/2} \quad (1.42)$$

Eşitlik 1.42'de x_i i . gözlem için YSA'dan elde edilen sonucu, y_i ise i . gözlem için gerçek sonucu göstermektedir.

YSA'daki ağırlıkların değişim miktarı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \quad (1.43)$$

Eşitlik 1.43'de η öğrenme oranıdır, bir başka deyişle ağırlıkların güncelleştirilmesinde kullanılan adımın büyüklüğüdür. Ağırlıkların değişiminin ne kadar büyük olacağını ortaya koyar. (0, 1) aralığında bir değer alır.

GYA, gradyan inişi algoritma olduğu için birçok avantaja sahiptir. Basit bir algoritmadır fakat yavaş yakınsayan bir algoritmadır. Bu problemi çözmek için momentum ve

adapte edilen öğrenme oranı kullanılabilir. Momentum oranının temel mantığı bir önceki değişimin miktarının şimdiki değişime yansıtılmasıdır. Her hangi bir w_i ağırlığının momentum kullanıldığında gerçekleşen değişimi aşağıda gösterilmektedir.

$$\Delta w_i^t = -\eta \frac{\partial E^t}{\partial w_i} + a \Delta w_i^{t-1}$$

(1.44)

Eşitlik 1.44'te t örneğin indeksini, a ise momentum oranını göstermektedir ve genellikle 0.5 ile 1 arasında bir değer alınır.

GYA basit ve popüler bir algoritma olmasına karşın çeşitli dezavantajlara sahiptir. Yavaş bir algoritmadır ve basit bir problemi çözmek için çok sayıda iterasyona ihtiyaç duyar. Ayrıca GYA, başlangıç ağırlıkları ile momentum oranı ve öğrenme oranına bağlıdır.

1.10.2.2. Yapay Arı Kolonisi (YAK) Algoritması

YAK algoritması bal arılarının yiyecek arama davranışları modellenerek Karaboğa tarafından 2005 yılında geliştirilmiştir [89]. Algoritmada yiyecek kaynaklarının yerleri eniyileme problemine ait olası çözümlere, kaynakların nektar miktarı ise o kaynaklarla ilgili çözümlerin kalitesine (uygunluk) karşılık gelmektedir [90].

YAK algoritması üç çeşit arı vardır bunlar: işçi, gözcü ve kaşif arılardır. Algoritmanın ilkendirme aşamasında arama uzayındaki çözümlere karşılık gelen rastgele yiyecek kaynağı yerleri üretilir (Eşitlik 1.45) ve bu yerler için nektar miktarı (uygunluk değeri) hesaplanır (Eşitlik 1.46) [29].

$$x_{ij} = x_j^{\min} + rand(0, 1)(x_j^{\max} - x_j^{\min}) \quad (1.45)$$

$$fit_i = \begin{cases} \frac{1}{1 + f_i} & \text{if } f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i) & \text{if } f_i < 0 \end{cases} \quad (1.46)$$

Burada $i = 1 \dots SN$; $j = 1 \dots D$; SN yiyecek kaynağı sayısı ve D ise optimize edilecek parametre sayısıdır. x_j^{\min} j. parametrenin alt sınırı, x_j^{\max} j. parametrenin üst sınırı, f_i ise amaç fonksiyonunun değeridir. Her işçi arı bu ilk kaynak yerlerinin komşuluğunda nektar miktarı daha fazla olan yeni kaynak yerleri bulmaya çalışır (Eşitlik 1.47) [89].

$$v_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (1.47)$$

x_i ile gösterilen her bir kaynak için bu kaynağın yani çözümün tek bir parametresi (rastgele seçilen parametresi, j) değiştirilerek x_i komşuluğunda v_i kaynağı bulunur. Burada j ve k sırasıyla $\{1,2,\dots,D\}$ ve $\{1,2,\dots,SN\}$ aralıklarında rastgele seçilen indislerdir. φ_{ij} ise $[-1,1]$ aralığında rastgele seçilen bir sayıdır [90].

Tüm görevli arılar bir çevrimde araştırmalarını tamamladıktan sonra kovana dönüp buldukları kaynakların nektar miktarları ile ilgili gözcü arılara bilgi aktarır. Gözcü arılar görevli arı tarafından sağlanan uygunluk (fit_i) değerini kullanarak bir olasılık değeri (Eşitlik 1.48) hesaplar. Bu olasılık değerine göre bir kaynak yeri seçer [29].

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{i=1}^{SN} fit_i} \quad (1.48)$$

Bir arının gidip geldiği kaynağın nektarının tükenip tükenmediğinin belirlenmesi için kullanılan eşik değeri “limit” olarak adlandırılmaktadır. Bir kaynak için çözüm geliştirememeye sayacı limit değerinin üzerindeyse, bu kaynağın görevli arısı bu çözümü bırakarak kaşif arıya dönüşür ve kendisi için daha iyi bir çözüm aramaya başlar (Eşitlik 1.45). Bulunan yeni kaynak yeri daha iyi ise eski kaynak yeri unutulur ve iyi olan hafızada tutulur. Bu döngü maksimum çevrim sayısına kadar devam eder.

YAK algoritmasında üç adet kontrol parametresi vardır. Bunlardan ilki yiyecek kaynağı sayısıdır ve popülasyonun büyüklüğünün yarısına eşittir (SN). Bu değer aynı zamanda görevli arı sayısına eşittir. İkincisi maksimum çevrim sayısı (MCN) üçüncüsü ise limit değeridir.

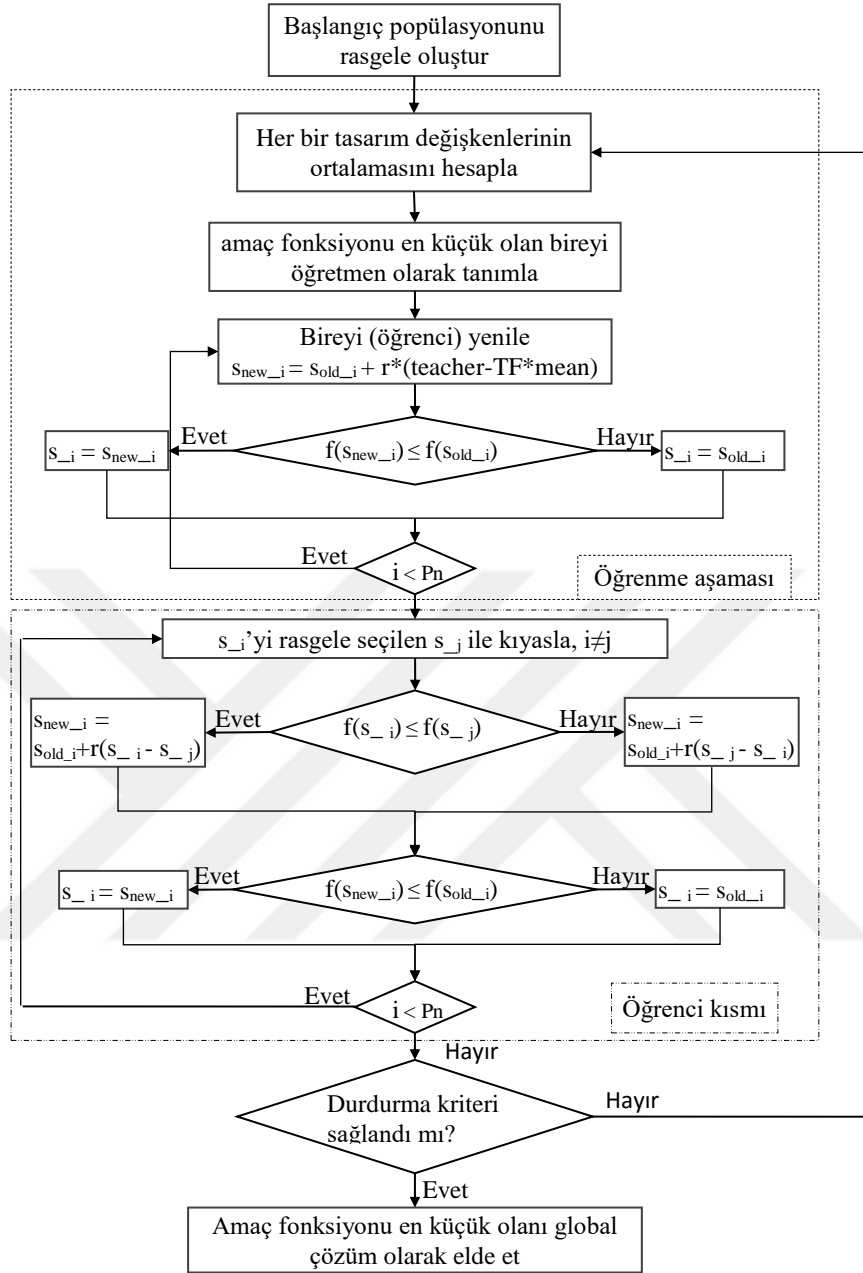
YAK algoritması kıyı mühendisliği çalışmalarında başarıyla kullanılmıştır [29]. YAK algoritması ile ilgili detaylı bilgi literatürdeki çalışmalarda [29, 89, 90] bulunabilir.

1.10.2.3. Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (ÖÖTO) Algoritması

Son yıllarda eniyileme problemlerinin daha etkin bir şekilde çözüme ulaşması için geliştirilen tekniklerden bir tanesi olan Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Tekniği (ÖÖTO) araştırmacı Rao R.V. [91] tarafından sınırlandırılmış mekanik tasarım problemleri için geliştirilmiştir. Bu tekniğin temelini, bir popülasyonda öğretmen olarak adlandırılan en bilgili bir birey ve bu öğretmenin bilgisinden yararlanarak kendisini geliştiren öğrenci olarak adlandırılan bireyler oluşturmaktadır. Öğretme-öğrenme ilişkisi ile popülasyondaki bireyler kendisini geliştirerek ele alınan problem için en ideal birey yani evrensel (global) çözüm elde edilmeye çalışılır.

ÖÖTO algoritması iki aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşama öğrenme aşaması olup bir popülasyondaki bireylerden problemin amaç fonksiyonuna göre en iyi birey öğretmen olarak seçilir. Popülasyonda geri kalan bireyler bu öğretmen bireyle etkileşim sonucu kendilerini yenilerler. Eğer bir birey yenileme sonucu amaç fonksiyonuna göre daha iyi hale gelmişse yenilenmiş haliyle, değilse eski haliyle popülasyonda varlığını sürdürür. Bu şekilde öğrenme aşamasında tüm bireyler bir önceki popülasyona göre daha iyi birer birey (çözüm) haline getirilmeye çalışılır. İkinci aşamada ise, birinci aşamada öğretmenden etkilenecek oluşturulan öğrenci bireyler birbiri ile kıyaslanarak iyi olana göre tekrar kendilerini yenilerler. Yine bu yenilemede de eğer bir bireyin yenilenmiş hali, problemin amaç fonksiyonuna dikkate alındığında, önceki halinden iyi ise bu yenilenmiş haliyle, değilse eski haliyle popülasyonda varlığını sürdürür. Anlaşılacağı üzere öğrenme aşamasında da amaç, mevcut popülasyonu bir önceki popülasyona göre daha iyi hale getirmektir. Bu şekilde sürdürülen algoritma, ele alınan eniyileme probleminin uygun bir durdurma kriterine kadar devam ettirilir. Şekil 1.8'de ÖÖTO algoritmasına ait akış diyagramı verilmektedir.

Çoğu eniyileme tekniği, Genetik algoritmadaki (GA) mutasyon oranı ve çaprazlama oranı gibi bazı eniyileme parametreleri içermektedir. Ancak, ÖÖTO algoritması, çoğu eniyileme tekniklerinin aksine böyle bir eniyileme parametresi gerektirmez. ÖÖTO algoritmasında kontrol parametresi olarak popülasyon büyüklüğü (P_n) ve maksimum yineleme sayısı vardır. Böylece, ÖÖTO algoritmasının bir eniyileme problemine uygulanması basit hale gelir. Bu özelliğinden dolayı ÖÖTO algoritması son yıllarda araştırmacılar tarafından tercih edilen bir algoritma haline gelmiştir. ÖÖTO ile detaylı bilgi literatürdeki çalışmalarda [86, 91, 92, 93] bulunabilir.



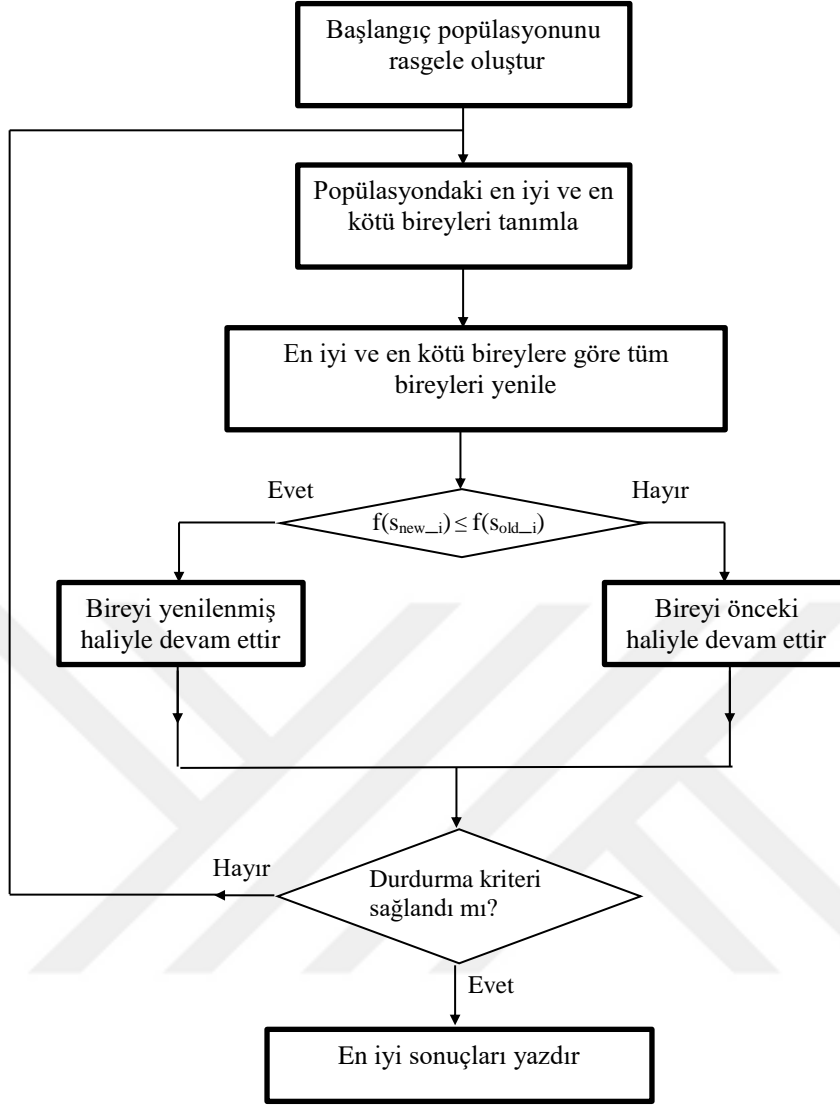
Şekil 1.8. ÖÖTO algoritmasına ait akış diyagramı

1.10.2.4. JAYA Algoritması

Çoğu evrimsel ve yapay zeka algoritmaları olasılık içeren algoritmalar olup bir problemin eniyileme süresinde popülasyon hacmi, yineleme hacmi gibi genel kontrol parametreleri gerektirmektedirler. Bu genel kontrol parametrelerinin yanı sıra, farklı algoritmalar kendi özel kontrol parametrelerini de gerektirmektedirler. Örneğin, Genetik algoritma (GA), bir eniyileme probleminin çözümünde mutasyon oranı, çaprazlama oranı ve seçim operatörlerini kullanırken, yapay arı kolonisi algoritması, seyirci arı, işçi arı, izci arı gibi kendi özel kontrol parametrelerini kullanmaktadırlar. Bu eniyileme algoritmalarının performanslı çalışması bahsedilen bu kontrol parametrelerinin doğru kullanımına bağlıdır. Bu açıdan bakıldığı zaman kontrol parametresi az olan eniyileme algoritmalarının kullanımı daha cazip hale gelecektir.

Araştırmacı Rao R.V. [94] tarafından geliştirilen ve JAYA olarak adlandırılan bir başka eniyileme algoritması, yukarıda sözü edilen kontrol parametrelerinin kullanımını en aza indirgeyerek oluşturulan bir yapay zeka algoritmasıdır. JAYA algoritmasında kontrol parametresi olarak popülasyon büyüklüğü (P_n) ve en büyük yineleme sayısı kullanılır. JAYA, araştırmacı Rao R.V. tarafından daha önce geliştirilmiş algoritma olan ÖÖTO'daki gibi öğretim ve öğrenme aşamaları yerine sadece bir popülasyondaki en iyi ve en kötü bireylerin etkileşiminden yeni bireyler oluşturmak üzerine kurulmuştur. Algoritmasının akış diyagramı Şekil 1.9'da verilmektedir. JAYA kelimesi, Sanskritçe dilinde zafer anlamına gelmektedir. Algoritmanın amacı, popülasyondaki bireylerin en başarılı bireye yaklaşması ve en kötü bireyden uzaklaşmasıdır [95].

Algoritmanın akış diyagramından görüleceği üzere yine bir rasgele başlangıç popülasyonu oluşturulur. Popülasyonda, problemin amaç fonksiyonu kullanılarak en iyi ve en kötü bireyler belirlenir. En iyi bireye yaklaşmak ve en kötü bireyden uzaklaşmak düşüncesi yapılan etkileşim ile bireyler yenilenir. Yenilenen her bir birey kendisinin yenilenmeden önceki haline ait amaç fonksiyonu dikkate alınarak bir sonraki yinelemede eski ya da yeni haliyle popülasyonda kalacağına karar verilir. Bu düşünce ile bütün bireyler yenilenecek probleme ait durdurma kriteri sağlanıncaya kadar yinelemeler sürdürülür. JAYA algoritması ile ilgili detaylı bilgi literatürdeki çalışmalarda [94, 95] bulunabilir.



Şekil 1.9. JAYA algoritmasının akış diyagramı [94, 95]

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Kıyı problemlerinin laboratuvar model çalışmalarıyla (fiziksel modelleme) incelenmesi, tüm dünyada yaygın olarak uygulanan bir tekniktir. Sayısal modelleme çalışmaları dalgaların kıyıya yaklaşırken uğradığı değişimleri ve akıntıları temsil etmede fiziksel modelleme yöntemine oranla daha az başarılıdır. Bu nedenle kıyı problemlerinin çözümünde fiziksel model yaklaşımını kullanmanın yararı büyüktür. Fiziksel yöntem beraberinde bazı hatalar getirse bile, birçok problemin çözümünde başarı ile uygulanmakta ve sayısal modellere göre daha fazla itibar görmektedir [66].

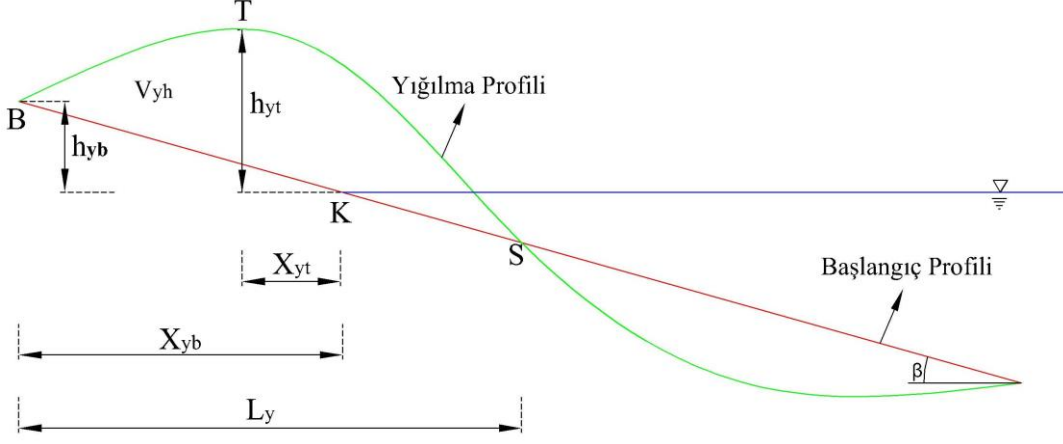
Bu çalışmada, kıyıya dik katı madde hareketi, dalga şartları, taban eğimi ve tabandaki malzeme özellikleri dikkate alınarak fiziksel bir modelle incelenmiş ve bu hareket sırasında oluşan kıyı profilindeki yığılma bölgesi geometrik parametreleri ve granülometri değişimi belirlenmeye çalışılmıştır.

Fiziksel model verileri dikkate alınarak yapılan analizlerle, yığılma bölgesi geometrik parametreleri için boyutlu ve boyutsuz denklemler kurulmuştur. Denklemlerin oluşturulmasında KRA ve ÇDURE teknikleri kullanılmıştır. Ayrıca YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları regresyon fonksiyonlarına uygulanarak boyutlu ve boyutsuz denklemler edilmiştir. Kurulan denklemlerin yanı sıra, fiziksel model verileri YSA yöntemiyle de irdelenmiştir. Boyutlu ve boyutsuz YSA modelleri, GYA, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları kullanılarak oluşturulmuştur. Fiziksel model, kurulan denklemler, YSA ve literatürdeki ilgili denklem sonuçları karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda yığılma profilinin farklı kesitlerinden alınan numuneler için elek analizleri yapılarak, yığılma profilinin granülometrik değişimi belirlenmeye çalışılmıştır.

2.2. Çalışma Kapsamında İncelenen Yığılma Bölgesi Geometrik Parametreleri

Kıyı profilleri, dalga, taban topografyası ve taban malzemesi özelliklerinin karşılıklı etkileşimi sonucu, erozyon veya yığılma profili şeklinde oluşabilir. Bu çalışma

kapsamında, kıyı profilindeki yığılma bölgesi geometrik parametreleri incelenmiştir. İncelenen geometrik parametreler, Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. Yığılma bölgesi geometrik parametreleri

Şekilde, K orijinal kıyı çizgisini, B yığılmanın başlangıç noktasını, T yığılmanın tepe noktasını, S yığılmanın son noktasını ve β ise başlangıç profilinin yatayla yaptığı açığı ($\tan\beta=m=\text{taban eğimi}$) göstermektedir. Çalışma kapsamında incelenen yığılma bölgesi parametreleri aşağıda verilmiştir.

2.2.1. Yığılma Bölgesinin Başlangıç Noktası

Yığılma bölgesinin başlangıç noktası, yığılma profili ile başlangıç profilinin ilk kesiştiği noktadır. Yığılma, bu noktadan itibaren katı maddenin başlangıç profili üzerinde birikmesiyle oluşmaktadır.

Başlangıç noktası için, yığılma bölgesinin başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{yb}) incelenmiştir.

Yığılma bölgesi başlangıç noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı (h_{yb}), bu noktanın orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı ve taban eğimine bağlı olarak aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilebileceğinden, çalışma kapsamında irdelenerek ayrı bir denklem elde edilmemiştir.

$$h_{yb}=m.X_{yb} \quad (2.1)$$

2.2.2. Yığılma Bölgesinin Tepe Noktası

Yığılma bölgesinin tepe noktası, yığılma profilinin su seviyesine göre en yüksek noktasıdır.

Bu nokta için; yığılma bölgesinin tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{yt}) ve yığılma bölgesinin tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı (h_{yt}) tanımlanarak incelenmiştir.

2.2.3. Yığılma Bölgesinin Son Noktası

Yığılma bölgesinin son noktası, başlangıç profili ile yığılma profilinin kıyı çizgisinden sonra ilk kesiştiği noktadır. Başlangıç profili üzerinde katı madde birikimi (yığılma) bu noktada son bulur ve bu noktadan sonra başlangıç profilinde oyulma başlayarak devam eder.

Çalışma kapsamında bu noktayı inceleyebilmek için yığılma bölgesi başlangıç noktasının bu noktaya mesafesi (yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliği, L_y) tanımlanarak incelenmiştir.

2.2.4. Yığılma Bölgesinin Hacmi

Yığılma bölgesinin hacmi, yığılma bölgesi başlangıç, tepe ve son noktaları ile başlangıç profili arasındaki hacimdir (V_{yh}). Belli bir zamanda hareket eden katı madde miktarının debisi ise, toplam katı madde hacminin bu zamana bölümüne eşittir.

2.3. İrdelenen Yığılma Bölgesi Geometrik Parametrelerinin Geçmiş Çalışmalardaki Durumu

Geçmiş çalışmalar bölümünde bu konuda geniş araştırma yapılmış ve yığılma bölgesi geometrik parametrelerini tahmin etmeye yönelik sadece bir çalışma [26] olduğu gözlenmiştir. Literatürdeki çalışmada irdelenen parametreler için önerilen en iyi denklemler Tablo 2.1'de sunulmaktadır.

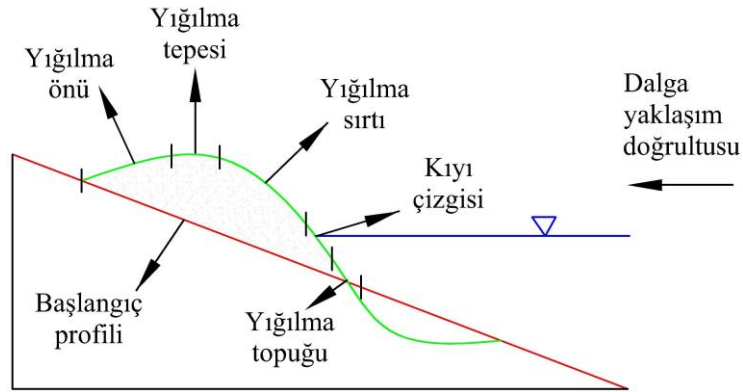
Tablo 2.1. İrdelenen yığılma bölgesi geometrik parametrelerinin geçmiş çalışmalardaki durumu

İrdelenen parametre	Geçmiş çalışmalar için en iyi denklemler
X_{yb}	Denklem 1.1
X_{yt}	Denklem 1.2
h_{yt}	Denklem 1.3
L_y	Denklem 1.4
V_{yh}	Denklem 1.5

Literatürdeki çalışmada ilgili parametreler için önerilen denklemleri elde etmek için 31 adet deney gerçekleştirilmiştir. Denklemler fiziksel model verilerine KRA uygulanarak kurulmuştur. Gerçekleştirilen deneylerin, 19'unun 1/20 eğiminde 2'sinin 1/10, 4'ünün 1/15 ve 6'sının 1/25 eğiminde yapıldığı belirlenmiştir. Çalışmada 1.46 ve 2.03 s periyotlar için 6.5, 7.5, 8.5, 9.5, 10.5 ve 11.5 cm yüksekliğinde düzenli dalgalar kullanılmıştır.

2.4. Çalışma Kapsamında Granülometri Değişimi İncelenen Yığılma Bölgesi Kesitleri

Yığılma profilinde, yığılma bölgesinin önü, tepesi, sırtı, kıyı çizgisi ve yığılma bölgesinin topuğu gibi kesitler tanımlanarak, 0.26, 0.33 ve 0.40 mm medyan çaplı kumlar için bu kesitlerdeki dane boyutu değişimleri incelenmiştir. 0.18 mm medyan çaplı kum için elek analizi işleminin gerçekleştirilmesi güç olduğundan, bu çap için dane boyutu değişimi incelenmemiştir. Her deney kesitinin genişliği, oluşan profilin büyüklüğüne göre Şekil 2.2'de görüldüğü gibi belirlenmiştir.



Şekil 2.2. Yığılma bölgesindeki granülometrik değişimi incelenen kesit yerleri

2.5. Fiziksel Model Çalışmaları

Fiziksel model çalışmaları, KTÜ İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarı'nın iki boyutlu dalga kanalında yapılmıştır.

2.5.1. Model Ölçeği

Gerçekte, mevcut olan bir problemi laboratuvarında incelemek için çeşitli büyüklüklerin (uzunluk, kuvvet, zaman vb.) belli ölçeklerde küçültülmesi gerekir. Seçilen ölçeğe göre diğer parametrelerin ölçeklerinin nasıl hesaplanacağı konusunda pek çok araştırma vardır [3, 7, 9, 26, 66].

Model ölçeğinin seçiminde etkili olan bazı faktörler vardır. Bunlar yapılan işin cinsi, laboratuvar düzeneğinin durumu, kullanılan malzemenin çalışmaya uygunluğu gibi etmenlerdir. Ancak bu ölçek laboratuvarın fiziksel olanaklarıyla sınırlıdır.

Bu çalışmada kullanılan deney kanalının uzunluğu 30 m, genişliği 1.45 m ve derinliği 1.25 m'dir. Mevcut kanal boyutları, dalga üretim koşulları ve çalışılacak sürelerin uzunluğu dikkate alındığında çalışılabilecek en büyük ölçeğin 1/25 olduğu belirlenmiştir. Literatürde bu tür kıyı problemlerinin çözümünde bu ölçeğe yakın ölçeklerin başarı ile kullanıldığı görülmüştür [3, 26]. Araştırmalar yatay ve düşey ölçeklerin aynı olması (distorsiyonsuz) durumunun daha iyi sonuç vereceğini ortaya koymuştur [66].

2.5.2. Dalga Şartları

Çalışma kapsamında irdelenen parametreleri genel olarak değerlendirebilmek için, dalga şartları doğada yığılma profili oluşturacak minimum ile maksimum şartlar arasından seçilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, Sunamura ve Horikawa [3] tarafından verilen Eşitlik 1.28'deki C ifadesine göre;

$C < 4$ yığılma profili

$4 < C < 8$ geçiş profili

$8 < C$ ise fırtına profili oluşmaktadır.

Bu nedenle deney şartları, C parametresi 8'den küçük olacak şekilde seçilmeye çalışılmıştır.

Mevcut sistem 7 cm'den yüksek düzensiz dalga üretimine izin vermediğinden, dalga yükseklikleri 4, 5, 6 ve 7 cm olarak seçilmiştir. Dalga periyodu olarak ise 1.57 ve 2.18 s kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan dalgalar için dalga yükseklikleri ve diklikleri Tablo 2.2'de verilmiştir. Seçilen dalga şartları doğada yaz profillerinde sıklıkla rastlanan yükseklik olarak 1.0-1.75 m ve periyot olarak 7.85-10.9 s aralığındaki düzensiz dalgalara karşılık gelmektedir.

JONSWAP spektrumu ve diğer dalga spektrumlarının aynı dalga yüksekliği için ürettikleri dalga katarları karşılaştırıldığında, JONSWAP spektrumunun aynı dalga yüksekliği için daha büyük tekil dalgalar ürettiği gözlenmiştir [62]. Dolayısıyla JONSWAP spektrumu doğadaki dalgaları daha gerçekçi temsil etmektedir [63]. Bu nedenle dalga spektrumu olarak JONSWAP spektrumu kullanılmıştır.

Tablo 2.2. 1.57 ve 2.18 s periyotlu dalgalar için dalga yükseklik ve diklikleri

T=1.57 s				
H_{m0} (cm)	4	5	6	7
H_{m0}/L₀	1.0402	1.3003	1.5604	1.8204
T=2.18 s				
H_{m0} (cm)	4	5	6	7
H_{m0}/L₀	0.5395	0.6744	0.8093	0.9442

2.5.3. Taban Eğimi Özellikleri

Fiziksel model kapsamında yapılacak deneylerde taban eğimi oldukça önemli bir değişkendir. Taban eğiminin dik seçilmesi, profili hızlı bir şekilde dengeye ulaştırmakta, dolayısıyla deney süresini azaltmakta ve çalışma için hem zaman hem de emek açısından büyük kolaylık sağlamaktadır. Diğer taraftan doğadaki taban eğimleri özel bölgeler hariç nispeten daha yatıktır. Örneğin Doğu Karadeniz kıyılarında taban eğimi 1/23 ile 1/30 arasında değişmektedir [66].

Çalışma yapılacak kanalın boyutları, seçilen model ölçeği, çalışılacak sürelerin uzunluğu, seçilecek taban eğimlerinin doğadaki gerçek eğimleri temsil edebilmesi dikkate alınarak, taban eğimleri 1/10, 1/15 ve 1/25 seçilmiştir. Ayrıca seçilen taban eğimlerinin üretilebilecek dalga şartları için yığılma profili oluşturabilecek nitelikte olmasına özen gösterilmiştir.

2.5.4. Malzeme Özellikleri

Modeldeki malzeme özelliklerinin belirlenmesi, kıyıyla ilgili fiziksel model çalışmalarında en önemli sorunlardan biri olarak bilinmektedir. Taban malzemesi model ölçeğinin seçimi konusunda, bugüne kadar pek çok çalışma yapılmasına rağmen, kesin bir çözüm getirilememiştir. Yapılan deneysel ve analitik çalışmalarda, farklı yoğunlukta malzeme kullanılması gibi değişik yaklaşımlar da önerilmiştir. Farklı yoğunlukta malzeme kullanma yaklaşımı çok sayıda eleştiri almış ve güvenilirliği fazlaca tartışılmıştır [3, 26, 66].

Aynı dalga şartlarında ve aynı eğimde dane boyutu iri olan katı maddeler ince olanlara göre daha fazla yığılmaktadır [26]. Bu çalışmada seçilen taban eğimleri ve üretilebilecek maksimum dalga şartları dikkate alındığında, yığılma profili oluşturabilmek için modelde kullanılacak malzemelerin medyan çaplarının 0.18 ile 0.40 mm arasında olması gerektiği belirlenmiştir. Seçilen taban eğimleri için 0.18 mm'den daha küçük çaplarda yığılma oluşmamakta, 0.40 mm'den daha büyük çaplarda ise dalga yüksekliğini artırmak gerekmektedir.

Dane boyutu değişiminin yığılma bölgesi geometrik parametrelerine ve granülometrik değişimine etkisini belirleyebilmek için fiziksel model çalışmalarında, medyan çapları; 0.18, 0.26, 0.33 ve 0.40 mm, özgül ağırlıkları yaklaşık olarak 2.55 t/m^3 olan dört farklı malzeme (kum) kullanılmıştır. Geçmişte bu çaplara yakın değerler seçilerek benzer çalışmalar yapılmıştır [7, 9, 12, 29]. Kullanılan malzemelere ait diğer özellikler Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Kullanılan malzemelerin özellikleri

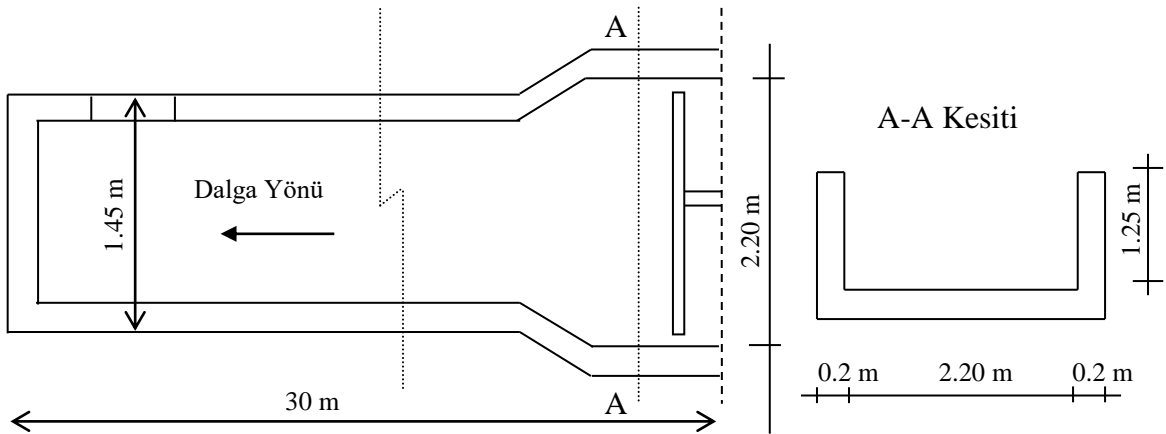
d₅ (mm)	d₁₆ (mm)	d₅₀ (mm)	d₈₄ (mm)	d₉₅ (mm)	Standart sapma (mm)	w_s (m/s)
0.09	0.11	0.18	0.26	0.30	0.069	0.058
0.14	0.17	0.26	0.38	0.45	0.099	0.047
0.16	0.22	0.33	0.49	0.78	0.161	0.035
0.22	0.27	0.40	0.63	0.86	0.187	0.021

2.5.5. Deney Süreleri

İncelenen yığılma bölgesi parametreleriyle, deney süresi arasında yakın bir ilişki vardır; deney başlarında hızlı bir yığılma oluşum hareketi olup, profil dengeye ulaşmaya başlayınca bu hareket yavaşlamaktadır. Yapılan ön deneyler sonucunda yığılmanın en fazla ilk iki saate meydana geldiği belirlenmiştir. Bu nedenle taban profili ölçüm aralıkları ilk iki saat içerisinde 10., 30., 60. ve 120. dakikalar olarak belirlenmiştir. Sonrasında ise iki saate bir ölçüm alınmıştır. 2 saatlik ara ölçüm zamanına, ön deneyler sonunda toplam hareket eden katı madde miktarına göre karar verilmiştir. İki saatlik ölçüm aralığında hareket eden katı madde miktarı toplam hareket eden katı madde miktarının %10'unun altına düştüğü anda yığılma profilinin dengeye ulaştığı kabul edilmiş ve deneyler sonlandırılmıştır. Tüm bu durumlar dikkate alınarak her bir deney için deney süresi 12 saat olarak belirlenmiş ve uygulanmıştır. Seçilen ölçüm aralıkları ve toplam deney süreleri literatürdeki benzer çalışmalarla uyum içerisinde [3, 7, 9, 26, 29].

2.5.6. Dalga Kanalı ve Donanımı

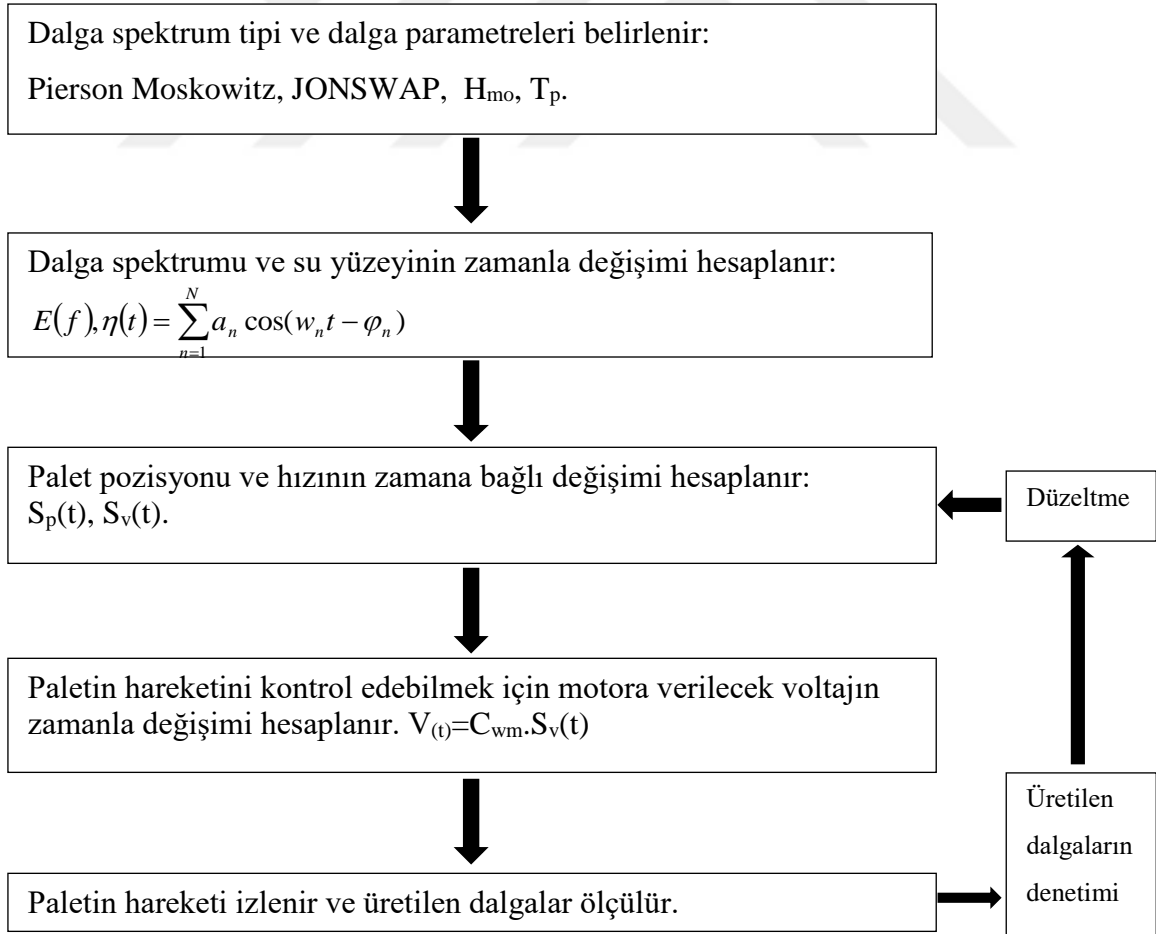
Fiziksel model çalışmaları, plan ve kesiti Şekil 2.3'te verilen iki boyutlu dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Dalga kanalı, boyu 30 m, genişliği 1.45 m ve derinliği 1.25 m olan betonarme bir yapıdır.



Şekil 2.3. Model dalga kanalı ve kesiti

Dalga kanalında modelin kurulacağı bölgenin bir tarafında 4 m uzunluğunda pleksiglastan yapılmış şeffaf bir kısım vardır. Dalga kanalındaki palet arkasında oluşan yansımanın engellenmesi için paletin arka tarafına, kırma taşlarla geçirimsiz kalın bir duvar yapılmıştır.

Deney kanalında bulunan dalga üretici düzenli ve düzensiz dalgalar üretebilmektedir. Bu çalışmada düzensiz dalgalar kullanılacaktır. Düzensiz dalga üreticinin işletim sistemi Şekil 2.4'te verilmektedir. Düzensiz dalgalar seçilen dalga spektrumuna göre anlık su yüzeyi değişimi $\eta(t)$ tahmin edilerek üretilir, daha sonra tahmin edilen su yüzeyi değişimine uygun palet pozisyonu $S_p(t)$ belirlenir. Motora verilen voltaj ve palet hareketi arasındaki ilişkiye bağlı olarak bir kalibrasyon parametresi C_{wm} tanımlanmıştır. İstenilen dalga şartlarının oluşturulabilmesi için bu parametrenin kalibre edilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde gerekli bütün kalibrasyonlar yapılarak dalga üretici düzensiz dalgalar için kullanıma hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2.4. Düzensiz dalga üreticinin işletim sistemi

Şekil 2.4'te a_n , w_n ve φ_n sırasıyla n. dalga frekans bileşenin genliği, açısal frekansı ve rastgele fazıdır. C_{wm} motora verilen voltaj $V(t)$ ve palet hızı $S_v(t)$ arasındaki ilişkiye dayalı bir kalibrasyon parametresidir. H_{mo} derindeniz dalga yüksekliği, T_p ise pik periyottur.

2.5.7. Ölçüm Sistemi

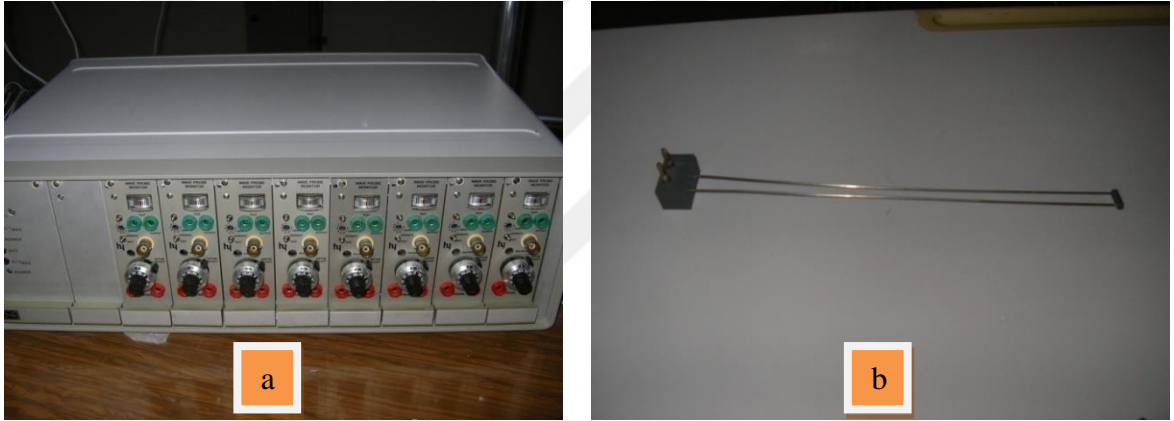
2.5.7.1. Dalga Ölçüm Sistemi

Dalga karakteristik parametrelerin belirlenmesi için bir elektronik kart ve yazılımdan oluşan dalga ölçüm sistemi kullanılarak dalga paletinden 10 m ve 15 m uzaktaki iki noktada dalga ölçümü yapılmıştır. Dalga ölçüm sistemde ilk olarak dalga kanalında meydana gelen su yüksekliği değişimleri elektronik bir kart ve bu kartı kontrol eden bir yazılım ile bilgisayar ortamına zaman serisi olarak aktarılmaktadır. Daha sonra sıfırı kesme ve spektrum analiz yöntemleri için yazılan kod sayesinde elde edilen zaman serisinden üretilen dalga özellikleri belirlenmektedir.

2.5.7.1.1. Su Yüksekliği Değişimlerinin Belirlenmesi

Kanaldaki su yüksekliği değişiminin bilgisayara zaman serisi olarak aktarılması için öncelikle kanalda düzensiz dalga üretim düzeneği tarafından dalga oluşturulmuştur (Şekil 2.5). İstenilen özelliklerde dalga üretiminin yapılabildiği ara yüz Şekil 2.6'da görülmektedir.

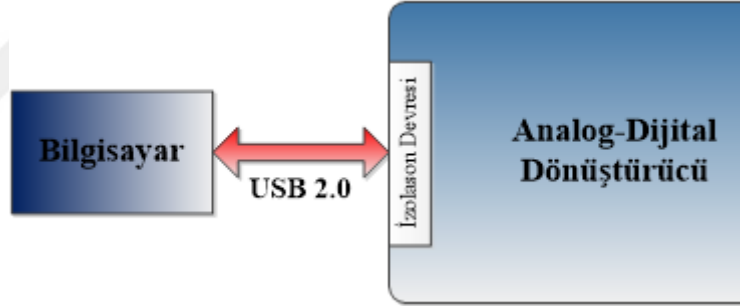
Su yüzeyi değişimini ölçmek için, gerilim farklarından dalga yüksekliğini tespit eden elektronik cihaz kullanılmıştır (Şekil 2.7a). Kanal içine yerleştirilen, birbirine paralel olarak bağlanmış iki adet paslanmaz çelik uçtan oluşan deney çubuklarından (Şekil 2.7b) gelen gerilim farkları bu elektronik cihaz tarafından algılanmaktadır. Cihaz aldığı bilgiyi dışarıya analog olarak vermektedir. Üretilen dalga özelliklerinin belirlenmesi için verilerin bilgisayar ortamında (dijital olarak) elde edilmesi gerekmektedir. Analog veriler bir elektronik kart (Şekil 2.8) sayesinde dijital veriye dönüştürülmektedir. Bu kartın çalıştırılması için gerekli yazılımla birlikte oluşturulan sisteme ait blok diyagramı Şekil 2.9’da verilmiştir. Bu sistem, bilgisayar tarafında bir ara yüz programı ve analog-dijital dönüştürücü (ADC) donanımından meydana gelmektedir. Oluşturulan programa ait ara yüz Şekil 2.10’da sunulmaktadır.



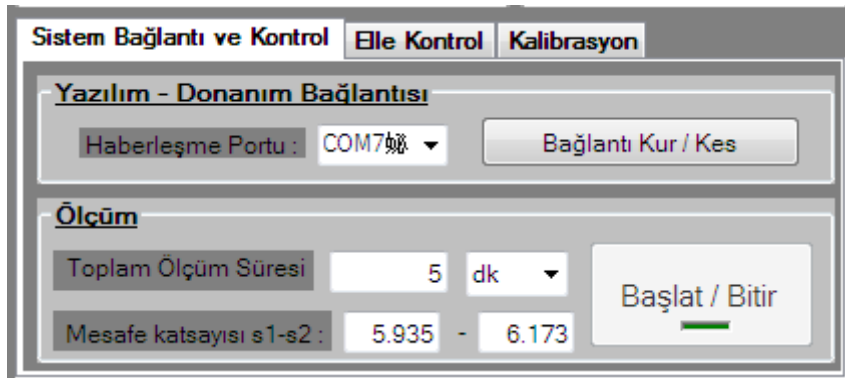
Şekil 2.7. Su seviyesi değişimi ölçüm sistemi ekipmanları



Şekil 2.8. Elektronik kartın görünümü



Şekil 2.9. Tasarlanan ölçüm alma sistemi



Şekil 2.10. Kartın kontrolünü sağlayan yazılıma ait ara yüz

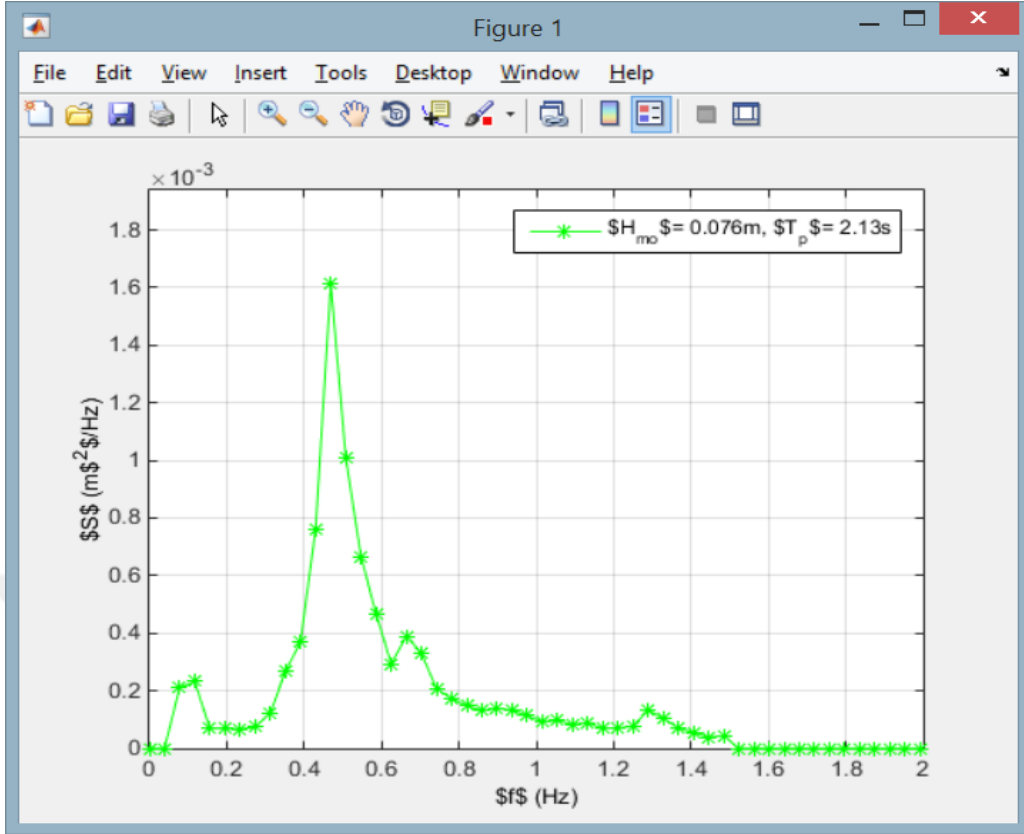
Sistemin çalışması şu şekildedir; ilk olarak ADC donanımı bilgisayara USB girişinden bağlandıktan sonra, ara yüz programı ile donanım arasındaki bağı kurulması sağlanır. Bağlantı sağlandıktan sonra, istenildiği zaman ara yüz programı üzerinden ölçüm başlatılır. Bu durumda ADC donanımı her bir kanalından eş zamanlı olarak saniyede 26'şar ölçüm alarak dijital bilgiye dönüştürür. Dijital bilgiler USB 2.0 haberleşme portu üzerinden bilgisayara gönderilir ve ara yüz yazılımı, bu ölçüm değerlerini “.txt” uzantılı olarak kayıt eder.

2.5.7.1.2. Dalga Karakteristik Parametrelerinin Belirlenmesi İçin Oluşturulan Yazılım

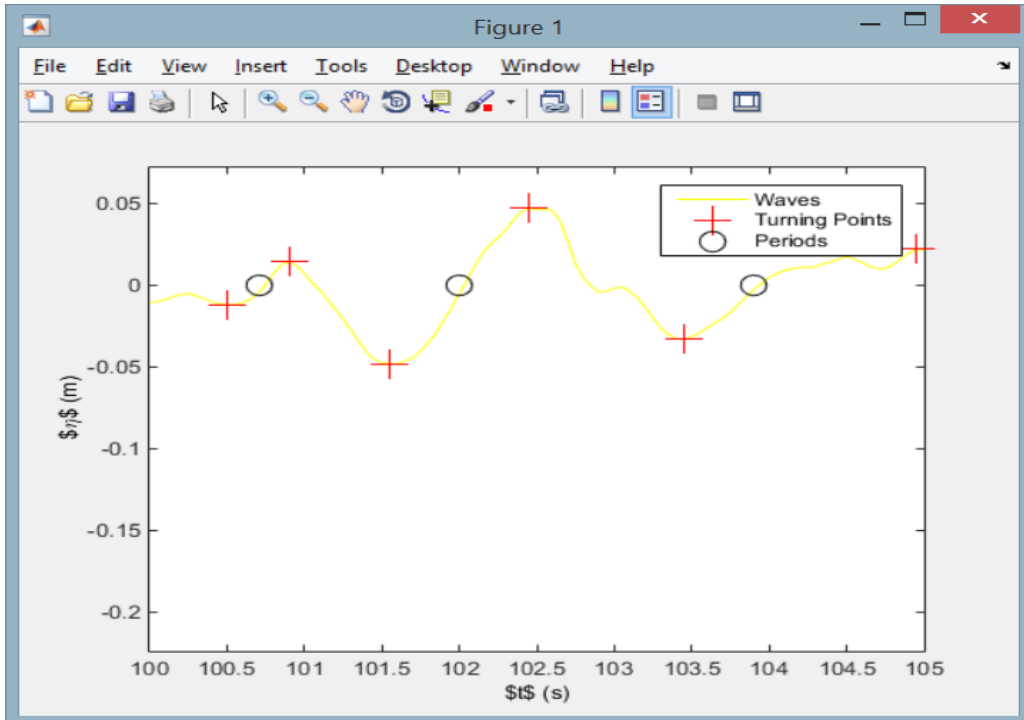
Su seviyesi değişimi bilgisayar ortamından zaman serisi olarak elde edildikten sonra, bu ham veriler bir yazılım ile işlenerek üretilen dalga özellikleri belirlenmektedir. Geliştirilen yazılım sıfırı aşağı/yukarı kesme ve dalga spektrum analizi yöntemlerini içermektedir.

Yazılımda, analizler saniyede 20 adet veri üzerinden düzenlenmiştir ($dt=0.05$ sn). “.txt” uzantılı dosyadan elde edilen veriler yazılım tarafından okunduktan sonra dt zaman aralıklarına uygun biçimde düzenlenmektedir. Santimetre ölçeğinde kaydedilmiş veriler 10^{-2} ile çarpılarak metreye dönüştürülmektedir. Su yüksekliği olarak kaydedilmiş veriler ortalamadan çıkartılarak genlik haline getirilir. Genlik değerlerinin hangi zaman dilimini temsil ettiğini gösteren matris oluşturulur ve daha sonra spektrumun elde edilmesine geçilir. Bundan sonra enerji yoğunluk spektrumu oluşturulur. Spektrumda alt ve üst limitler belirlenerek ve bu sınırların dışındaki değerler sıfır olarak alınır. Bu şekilde oluşturulan örnek spektrum Şekil 2.11’de verilmektedir. Spektrum elde edildikten sonra, bu spektrum kullanılarak en büyük (pik) periyot ve belirgin dalga yüksekliği hesaplanır.

Yazılımda son olarak zaman serisi üzerinde sıfırı kesme noktalarının, tepelerin ve çukurların görüldüğü zaman serisi (Şekil 2.12) ile Şekil 2.11’de verilen spektrum grafiği çizdirilir.



Şekil 2.11. Oluşturulan örnek bir spektrum

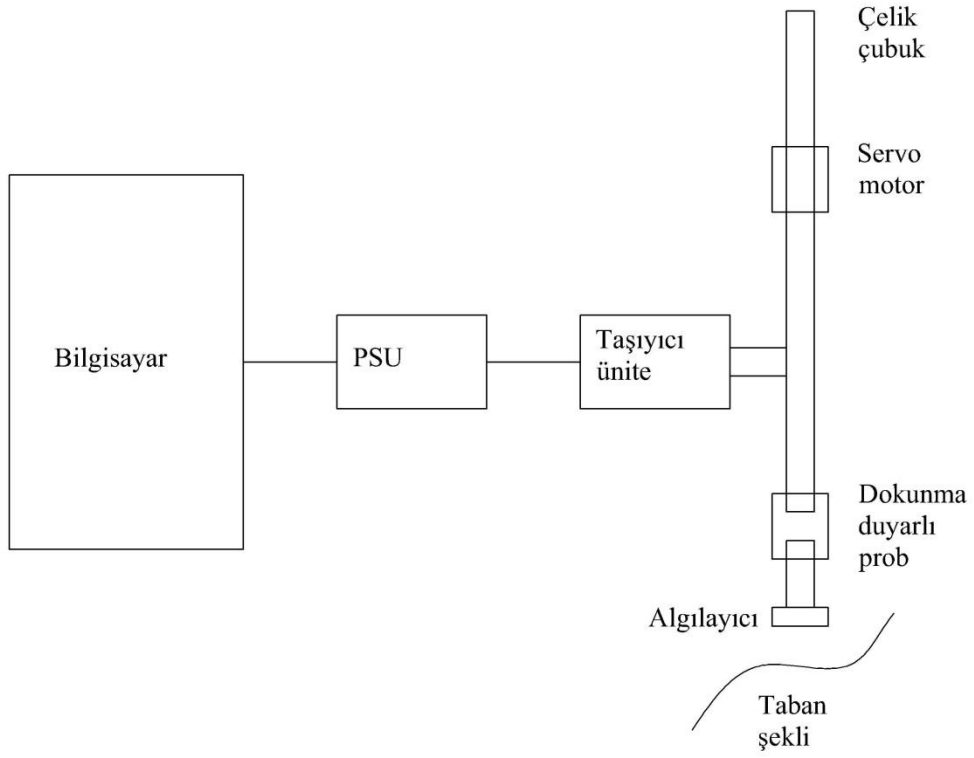


Şekil 2.12. Elde edilen zaman serisinin görünümü

Geliştirilen dalga ölçüm sistemi kullanılarak, dalga üretim sistemini doğruluğu belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı dalga parametreleri için çok kez dalga üretimi yapılarak dalga ölçümü yapılmış ve yapılan ölçümler için rölatif hatalar hesaplanmıştır. Düzensiz dalga üretici, dalga yüksekliği için yaklaşık % 3, dalga periyodu için ise yaklaşık % 0.6 rölatif hata ile dalga üretmektedir.

2.5.7.2. Taban Profili Ölçüm Sistemi

Hareketli tabanda meydana gelen kıyı profillerinin ölçümü için dokunma duyarlı iki boyutlu profil kaydedici geliştirilmiştir (Şekil 2.13, 2.14). Bu profil kaydedici kum, çakıl, toz gibi benzeri malzemelerden oluşmuş tabanlarda su altında ve üstünde herhangi bir süreksizlik oluşturmadan çalışabilmektedir. Profil kaydedici, taşıyıcı, mesafe ölçer ve düşeyde aşağı-yukarı hareket eden üç adet probdan oluşmaktadır. Problar 10 mm çapında ve kenarında dişli olan paslanmaz çelik çubuk ucuna monte edilmiştir. Bu dişli sistem taşıyıcının içinde bulunan ve düşey hareketi sağlayan servo motorlara bağlıdır. Probların alt ucundaki hafif ağırlıklı dokunmatik algılayıcılar, bir silindir içinde rahatça aşağı-yukarı hareket edebilmektedirler. Servo motorlar problemleri aşağıya doğru harekete geçirmekte ve algılayıcılar yavaşça tabana dokunarak durmaktadır. Algılayıcılar oldukça hafif olduğundan tabanda önemli deformasyonlara neden olmamaktadırlar. Böylece aynı anda üç noktadan ölçüm alınabilmektedir. Profil kaydedici, içine yerleştirilecek iki adet dönüştürücü kart ile kontrol edilmekte ve özel olarak yazılmış bir program ile çalıştırılmaktadır. Geliştirilen profil kaydedicinin hassaslığını test etmek amacıyla aynı profil iki kez ölçülmüş ve yapılan ölçümler için rölatif hatalar hesaplanmıştır. Cihaz yatayda % 0.08 düşeyde ise % 0.60 rölatif hata değeri ile ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 2.13. Dokunma duyarlı iki boyutlu profil kaydedici genel şeması



Şekil 2.14. Dokunma duyarlı iki boyutlu profil kaydedici

numuneden elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Sonuç olarak asıl tabana ait granlometre eğrisi belirlenmiştir.

Yığılma profilinin oluşması halinde ise, tabanda oluşan granülometrik dağılımın belirlenmesi için, taban farklı kesitlere ayrılmıştır. Bunlar Şekil 2.2’de görüldüğü gibi yığılma bölgesi n, tepe, sırt, kıyı çizgisi ve topuk kesitleridir. Yığılma bölgesindeki granülometrik değişimin belirlenmesi Şekil 2.2’de görülen her deney kesitinin yüzey tabakasının sıyrılarak alınmasıyla elde edilen numunelerin elek analizi deneyine tabi tutulması ile bulunmuştur [77].

2.5.8. Çalışma Kapsamında Yapılan ve Kullanılan Deneyler

Deney kanalında, her bir eğim için hazırlanan n taban üzerine, kullanılacak malzemeler, 20 cm kalınlığında sabit eğimde serilerek, dalgalar verilmiştir. Deneylerde kullanılan taban eğimleri, malzeme dane çapları ve dalga Şartları Tablo 2.4’te verilmiştir.

Tablo 2.4 incelendiğinde 1/10 ve 1/15 eğimlerinde 0.26, 0.33 ve 0.40 mm medyan çaplı kumlar kullanılarak her bir eğim için 24 deney yapılmıştır. Eşitlik 1.28’e göre 0.18 mm medyan çaplı kum seçilen dalga Şartları için bu eğimlerde yığılma profili oluşturmamaktadır. Bu nedenle 0.18 mm medyan çaplı kum 1/10 ve 1/15 eğimlerinde kullanılmamıştır. 1/25 eğim için ise tüm çaplar kullanılarak 32 adet deney yapılmıştır.

Tablo 2.4. Çalışma kapsamında yapılan deneyler

Deney No	m	T _p (s)	Hm ₀ (m)	d ₅₀ (m)	Deney No	m	T _p (s)	Hm ₀ (m)	d ₅₀ (m)
01	0,100	2,18	0,07	0,00040	41**	0,067	2,18	0,07	0,00026
02*	0,100	2,18	0,06	0,00040	42	0,067	2,18	0,06	0,00026
03	0,100	2,18	0,05	0,00040	43	0,067	2,18	0,05	0,00026
04**	0,100	2,18	0,04	0,00040	44	0,067	2,18	0,04	0,00026
05	0,100	1,57	0,07	0,00040	45**	0,067	1,57	0,07	0,00026
06**	0,100	1,57	0,06	0,00040	46	0,067	1,57	0,06	0,00026
07	0,100	1,57	0,05	0,00040	47*	0,067	1,57	0,05	0,00026
08	0,100	1,57	0,04	0,00040	48	0,067	1,57	0,04	0,00026
09	0,100	2,18	0,07	0,00033	49	0,040	2,18	0,07	0,00040
10	0,100	2,18	0,06	0,00033	50	0,040	2,18	0,06	0,00040
11	0,100	2,18	0,05	0,00033	51**	0,040	2,18	0,05	0,00040
12*	0,100	2,18	0,04	0,00033	52	0,040	2,18	0,04	0,00040
13*	0,100	1,57	0,07	0,00033	53	0,040	1,57	0,07	0,00040
14	0,100	1,57	0,06	0,00033	54*	0,040	1,57	0,06	0,00040
15	0,100	1,57	0,05	0,00033	55	0,040	1,57	0,05	0,00040
16**	0,100	1,57	0,04	0,00033	56**	0,040	1,57	0,04	0,00040
17*	0,100	2,18	0,07	0,00026	57	0,040	2,18	0,07	0,00033
18	0,100	2,18	0,06	0,00026	58	0,040	2,18	0,06	0,00033
19**	0,100	2,18	0,05	0,00026	59*	0,040	2,18	0,05	0,00033
20	0,100	2,18	0,04	0,00026	60	0,040	2,18	0,04	0,00033
21	0,100	1,57	0,07	0,00026	61**	0,040	1,57	0,07	0,00033
22*	0,100	1,57	0,06	0,00026	62	0,040	1,57	0,06	0,00033
23**	0,100	1,57	0,05	0,00026	63	0,040	1,57	0,05	0,00033
24	0,100	1,57	0,04	0,00026	64	0,040	1,57	0,04	0,00033
25	0,067	2,18	0,07	0,00040	65**	0,040	2,18	0,07	0,00026
26**	0,067	2,18	0,06	0,00040	66*	0,040	2,18	0,06	0,00026
27*	0,067	2,18	0,05	0,00040	67	0,040	2,18	0,05	0,00026
28	0,067	2,18	0,04	0,00040	68	0,040	2,18	0,04	0,00026
29	0,067	1,57	0,07	0,00040	69*	0,040	1,57	0,07	0,00026
30	0,067	1,57	0,06	0,00040	70	0,040	1,57	0,06	0,00026
31	0,067	1,57	0,05	0,00040	71	0,040	1,57	0,05	0,00026
32*	0,067	1,57	0,04	0,00040	72	0,040	1,57	0,04	0,00026
33	0,067	2,18	0,07	0,00033	73	0,040	2,18	0,07	0,00018
34	0,067	2,18	0,06	0,00033	74**	0,040	2,18	0,06	0,00018
35**	0,067	2,18	0,05	0,00033	75	0,040	2,18	0,05	0,00018
36*	0,067	2,18	0,04	0,00033	76*	0,040	2,18	0,04	0,00018
37*	0,067	1,57	0,07	0,00033	77	0,040	1,57	0,07	0,00018
38	0,067	1,57	0,06	0,00033	78**	0,040	1,57	0,06	0,00018
39	0,067	1,57	0,05	0,00033	79*	0,040	1,57	0,05	0,00018
40**	0,067	1,57	0,04	0,00033	80	0,040	1,57	0,04	0,00018

Not:
 “*” işaretlenmiş deneyler doğrulama seti için kullanılmıştır.
 “**” işaretlenmiş deneyler deneme seti için kullanılmıştır.

2.6. Yığılma Bölgesi Geometrik Parametreleri İçin Denklemlerin Kurulması

2.6.1. KRA ve ÇDURE Tekniği ile Kurulan Denklemler

Fiziksel model sonuçları dikkate alınarak yapılan regresyon analizlerinde KRA ve ÇDURE teknikleri kullanılmış ve yığılma bölgesi parametreleri için denklemler kurulmuştur.

Yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay (X_{yb}), yığılma bölgesi tepe noktasının, orijinal kıyı çizgisine yatay ve düşey uzaklığı (X_{yt} , h_{yt}), yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliği (L_y) ve oluşan yığılma bölgesi hacmi (V_{yh}) için kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemler incelenmiş ve en uygun denklemler elde edilmeye çalışılmıştır.

KRA için kullanılacak regresyon fonksiyonlarına karar vermek için, birçok ön çalışma yapılmış ve bu çalışmalar sonunda regresyon fonksiyonu olarak, en iyi sonuçların elde edildiği çoklu lineer, çoklu hiperbolik, çoklu eksponansiyel ve karesel fonksiyon türleri seçilmiştir. ÇDURE tekniği ise bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkiye dair varsayımlarda bulunmayan, parametrik olmayan bir regresyon yöntemidir. Bu nedenle herhangi bir fonksiyon seçimine gerek yoktur. Bunun yerine regresyon verisinden kendisinin çıkardığı temel fonksiyonlara dayanarak kendisi bir ilişki oluşturmaktadır.

Çoklu lineer, çoklu hiperbolik, çoklu eksponansiyel ve karesel fonksiyon için aranan denklem türleri sırasıyla aşağıda sunulmuştur:

$$y_{lineer} = w_0 + w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + \dots + w_nx_n \quad (2.1)$$

$$y_{hiperbolik} = w_0x_1^{w_1}x_2^{w_2}x_3^{w_3}x_4^{w_4} \dots x_n^{w_n} \quad (2.2)$$

$$y_{eksponansiyel} = w_0 + \exp(w_1 + w_2x_1 + w_3x_2 + w_4x_3 + w_5x_4 + \dots + w_{n+1}x_n) \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} y_{karsel} = & w_0 + w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 + w_4x_4 \\ & + w_5x_1x_2 + w_6x_1x_3 + w_7x_1x_4 + w_8x_2x_3 \\ & + w_9x_2x_4 + w_{10}x_3x_4 + w_{11}x_1^2 + w_{12}x_2^2 + w_{13}x_3^2 + w_{14}x_4^2 \end{aligned} \quad (2.4)$$

Denklemdede; y bağımlı değişkeni, x_1, x_2, \dots, x_n bağımsız değişkenleri, w_0, w_1, \dots, w_n regresyon katsayılarını, n ise bağımsız değişken sayısını göstermektedir. Karesel fonksiyon (Denklem 2.4) dört bağımsız değişken için yazılmıştır.

2.6.2. YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Denklemler

YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları KRA için belirlenen regresyon fonksiyonlarına uygulanarak (Denklem 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4) ilgili parametreler için denklemler kurulmaya çalışılmıştır.

Bu yöntemde YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları regresyon katsayılarını (w_0, w_1, \dots, w_n) eniyilemek için kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin değerlerinin oldukça farklı aralıklarda olması uygun katsayıların bulunmasını güçleştirmekte ve eniyileme işleminin çok zaman almasına neden olmaktadır. Bu nedenle veriler 0.1 ile 0.9 arasında normalize edilmiştir. Normalizasyon işlemi Denklem 2.5 kullanılarak yapılmıştır.

$$\text{Normalleştirilmiş Değer} = \left[\frac{\text{Ham değer} - \text{Minimum değer}}{\text{Maksimum değer} - \text{Minimum değer}} \right] \times (0.9 - 0.1) + 0.1 \quad (2.5)$$

Kat sayıların eniyilemesi için bir çözüm aralığı belirlemek gerekmektedir. Algoritmalar belirlenen çözüm aralığı içerisinde en uygun katsayıları bulmaya çalışmaktadır. Bu durum hem eniyileme işlemini kolaylaştırmakta hem de zamandan tasarruf sağlamaktadır. Yapılan ön çalışmalar sonucunda katsayılar için en uygun çözüm aralığının -5 ile +5 arasında olduğu tespit edilmiştir.

Algoritmaların regresyon fonksiyonlarının katsayılarını eniyilerken uyguladıkları işlemler şu şekilde özetlenebilir. Algoritma ilk iterasyonda belirlenen çözüm aralığı içerisinde w_0, w_1, \dots, w_n için rastgele değerler seçer. Bu değerleri regresyon fonksiyonunda yerine koyarak bir çıktı hesaplar. Bu değeri gerçek değer ile karşılaştırarak hata değerini bulur. Hata değerini hesaplamak için kullanılan hata fonksiyonu algoritmanın amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır. Algoritma ilk iterasyondan sonraki iterasyonlar da çözüm aralığı içerisinde farklı w_0, w_1, \dots, w_n değerleri seçerek amaç fonksiyonunun değerini azaltmaya çalışır. Yani en az hata ile tahmin yapan denklemi oluşturmaya çalışır. Bu çalışmada amaç fonksiyonu olarak OKHK (Eşitlik 1.42) seçilmiştir.

YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmalarının performansını etkileyen en önemli hususlardan biride algoritmaların kontrol parametresi değerlerinin belirlenmesidir. Daha önce yapılan çalışmalar [29, 86, 87] ve gerçekleştirilen ön çalışmalar göz önüne alınarak YAK, ÖÖTO ve JAYA için kontrol parametreleri belirlenmiş ve seçilen değerler Tablo 2.5'te sunulmuştur. Kontrol parametreleri belirlendikten sonra her bir boyutlu ve boyutsuz analiz için 30 farklı çalıştırma yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu en küçük OKHK değerini veren regresyon katsayıları (w_0, w_1, \dots, w_n) yani en iyi denklem belirlenmiştir.

Tablo 2.5. YAK, ÖÖTO ve JAYA için seçilen kontrol parametrelerinin değerleri

YAK Parametreleri				ÖÖTO ve JAYA Parametreleri	
Popülasyon değeri (NP)	SN (NP/2)	Maksimum yineleme sayısı	Limit değeri	Maksimum yineleme sayısı	Popülasyon değeri
200	100	10,000	500-1,500	10,000	50

2.7. Yapay Sinir Ağları (YSA) Çalışmaları

Çalışma kapsamında irdelenen yığılma bölgesi geometrik parametreleri için elde edilen boyutlu ve boyutsuz fiziksel model sonuçları kullanılarak YSA modelleri tasarlanmıştır. YSA modellerinde eğitim algoritması olarak GYA, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları kullanılmıştır.

Oluşturulan YSA modelleri girdi katmanı, ara katman ve çıkış katman olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır ve her bir yığılma bölgesi geometrik parametresi için ayrı model oluşturulmuştur. Geçmiş çalışmalar [86, 87] incelendiğinde bir ara katmanlı YSA modellerinin oldukça iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ayrıca tek ara katman kullanmak eniyileme sürecini kısaltmaktadır. Bu nedenle bu çalışmadaki YSA modellerinde tek ara katman kullanılmıştır.

Analizlerde giriş katmanı ile ara katman arasında logaritmik sigmoid işlemci fonksiyonu kullanılmıştır ve matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.6)$$

Ara katman ile çıkış katmanı arasında ise doğrusal fonksiyon kullanılmıştır ve matematiksel ifadesi ise şu şekildedir:

$$F(x) = A.x \quad (2.7)$$

Tanjant sigmoid -1 ile +1 aralığında geçerli olduğundan, YSA modelinin performansını artırmak için girdi ve çıktı katmanındaki veriler 0.1 ile 0.9 arasında normalize edilmiştir. YSA'dan elde edilen sonuçları değerlendirebilmek için normalize işlemi tersine çevrilmiştir. YSA eğitiminde amaç fonksiyonu olarak OKHK kullanılmıştır. YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları için kontrol parametreleri Tablo 2.5'te verildiği gibi, çözüm aralığı ise +1 ile -1 arasında seçilmiştir.

Ağın eğitimi sırasında görülen önemli problemlerden bir tanesi aşırı eğitim yani ezberlemedir. Aşırı eğitim, doğrulama verilerinin hata oranlarının eğitiminkilerle kıyaslandığında çok fazla olmasıdır. İyi bir YSA modelinde eğitim ve doğrulama gruplarının hata performansları paralellik arz etmelidir [96].

Ara katmandaki nöron sayısını belirlemek için 5, 10, 15 ve 20 değerleri girilip denemeler yapılmıştır. Ayrıca bu çalışma için iterasyon sayısı 1,000 seçilmiştir. Bunun nedeni yapılan ön çalışmalarda 1,000'den sonra doğrulama setinin hatalarının artmaya başladığının gözlenmesidir.

2.8. Denklemlerin Kurulmasında ve YSA Modellerinin Oluşturulmasında Kullanılan Veri Setleri

Elde edilen denklemlerin, YSA modellerinin ve literatürdeki ilgili denklemlerin karşılaştırılabilmesi için, geliştirilen modellerin daha önce hiç görmediği 16 adet veriden oluşan deneme seti oluşturulmuştur. Geri kalan 64 adet deney, YSA çalışmaları için 48'i eğitim seti, 16'sı doğrulama seti olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Regresyon denklemlerinin kurulmasında ise 64 deneyin tamamı modellerin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Doğrulama ve deneme için ayrılan veriler seçilirken, tüm verileri temsil etmesine ve eğitim aşamasına olumsuz etki etmemesine dikkat edilmiştir. Tablo 2.4'deki 2, 12, 13, 17, 22, 27, 32, 36, 37, 47, 54, 59, 66, 69, 76 ve 79 nolu deneyler doğrulama setini, 4, 6, 16, 19, 23, 26, 35, 40, 41, 45, 51, 56, 61, 65, 74 ve 78 nolu deneyler deneme setini, geri kalan deneyler ise eğitim setini oluşturmaktadır.

2.9. Değişkenlerin Boyutsuzlaştırılması

Mühendislik uygulamalarında, kolaylık sağlanması ve laboratuvar şartlarının meydana getirdiği olumsuzlukları azaltıcı nitelik taşıması sebebiyle, fiziksel model çalışmalarından elde edilen sonuçların boyutsuzlaştırılmasına gidilmektedir. Yapılan çalışmada elde edilecek yığılma parametrelerinin denklemleri için boyutsuz ifadeler de kullanılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen yığılma parametrelerinden, X_{yb} , X_{yt} , h_{yt} , L_y uzunluk boyutundadır. Uzunluk boyutundaki bağımlı değişkenler olan bu değerler yine uzunluk boyutunda olan L_0 'a bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır. Çalışmada, irdelenen V_{yh} alan boyutundadır (m^3/m) bu nedenle L_0^2 'ye bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır. Boyutsuz denklem ve YSA modeli kurulmasında, bağımsız değişkenler olarak m , H_0/L_0 (dalga dikliği) ve H_0/wT (boyutsuz çökme hızı parametresi) kullanılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Yığılma Bölgesi Geometrik Parametreleri İçin Elde Edilen Bulgular

Bu bölümde, incelenen yığılma bölgesi geometrik parametrelerini belirlenmeye yönelik çalışmalardan elde edilen bulgular verilmiştir. Bu kapsamda, yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{yb}), yığılma bölgesi tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay ve düşey uzaklığı (X_{yt} , h_{yt}), yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliği (L_y) ve yığılma bölgesinin hacmi (V_{yh}) çeşitli çalışmalarla incelenmiştir.

Dalga şartları, taban eğimi ve tabandaki malzeme özellikleri dikkate alınarak kıyıya dik katı madde hareketi fiziksel bir modelle incelenmiş ve irdelenen parametreler için elde edilen veriler sunulmuştur.

Fiziksel model verileri dikkate alınarak boyutlu ve boyutsuz regresyon denklemleri kurulmuştur. Regresyon yöntemi olarak, en küçük kareler yöntemine dayalı klasik regresyon analizi (KRA) ve çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) tekniği kullanılmıştır. Ayrıca YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları regresyon fonksiyonlarına uygulanarak, boyutlu ve boyutsuz denklemler kurulmuştur. Her bir parametre için kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemlerden en uygun olanı belirlenmeye çalışılmış, ve en iyi denklemlerden elde edilen bulgular sunulmuştur.

Fiziksel model verileri, kurulan denklemlerin yanı sıra, YSA-GYA, YSA-YAK, YSA-ÖÖTO ve YSA-JAYA yöntemleriyle de incelenmiş, boyutlu ve boyutsuz analizler yapılarak, kurulan en iyi YSA modellerinden elde edilen bulgular sunulmuştur.

Konuyla ilgili literatürdeki denklemler belirlenmiş, fiziksel modeldeki bağımsız değişken verileri bu denklemlerde kullanılarak elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Geliştirilen denklemlerin, YSA modellerinin ve literatürde verilen denklemlerin en iyileri için, deneme seti kullanılarak hesaplar yapılmış ve bulguları verilmiştir. Başka bir ifadeyle, geliştirilen denklemlerin, yapay sinir ağı modellerinin ve literatürdeki denklemlerin en iyileri için 16 adet bulgu elde edilmiştir.

3.1.1. Yığılma Bölgesi Başlangıç Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{yb})

Yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemler ve YSA bulguları aşağıdaki konu başlıklarıyla verilmiştir.

3.1.1.1. X_{yb} İçin Fiziksel Model Bulguları

İlgili parametre için elde edilen fiziksel model bulguları, Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. X_{yb} için fiziksel model bulguları

Deney No	X_{yb} (m)	Deney No	X_{yb} (m)	Deney No	X_{yb} (m)	Deney No	X_{yb} (m)
01	1.4	21	1.1548	41	1.7643	61	1.6854
02	1.1	22	1.0444	42	1.4281	62	1.2535
03	1.073	23	0.8153	43	1.1853	63	1.1619
04	0.8814	24	0.6897	44	1.0153	64	0.9801
05	1.0054	25	1.564	45	1.5697	65	2.2054
06	0.9	26	1.2184	46	1.2382	66	1.7729
07	0.6897	27	1.08	47	1.0705	67	1.3049
08	0.6121	28	0.9564	48	0.8656	68	1.0515
09	1.4508	29	1.4077	49	1.7979	69	1.803
10	1.2719	30	1.1312	50	1.4674	70	1.6085
11	1.0822	31	1.0286	51	1.0843	71	1.2904
12	0.8622	32	0.8108	52	1.0086	72	1.2639
13	1.1216	33	1.6715	53	1.5933	73	2.301
14	0.9367	34	1.3367	54	1.2175	74	1.8401
15	0.7836	35	1.1033	55	1.1436	75	1.3789
16	0.6322	36	0.9918	56	0.8952	76	1.1788
17	1.4864	37	1.4729	57	1.9267	77	1.8565
18	1.286	38	1.2047	58	1.6857	78	1.6951
19	1.1	39	1.0224	59	1.222	79	1.3475
20	0.9434	40	0.8526	60	1.0173	80	1.3465

Tablo 3.1 incelendiğinde, X_{yb} ’nin 0.61 ile 2.30 m arasında değiştiği ve değerlerin aritmetik ortalamasının ise 1.25 m olduğu görülmektedir.

3.1.1.2. X_{yb} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutlu Modeller

Yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.1) kullanılarak boyutlu denklemler kurulmuştur. Denklemlerin kurulması için KRA yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları Denklem 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4'te verilen regresyon fonksiyonlarına uygulanmıştır. Elde edilen modeller için hesaplanan OKHK ve determinasyon katsayısı (R^2) değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. X_{yb} boyutlu regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri

Fonksiyon	KRA		ÖÖTO		YAK		JAYA	
	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2
Lineer	0.1012	0.901	0.1018	0.895	0.1028	0.896	0.1072	0.896
Hiperbolik	0.0894	0.923	0.1166	0.864	0.1166	0.865	0.1250	0.843
Eksponansiyel	0.0826	0.934	0.0830	0.930	0.0832	0.932	0.0854	0.928
Karesel	0.0631	0.962	0.0630	0.960	0.0809	0.937	0.0842	0.932

Not: En iyi modele ait OKHK VE R^2 değeri koyu harflerle yazılmıştır.

Tablo 3.2 incelendiğinde, en büyük R^2 ve en küçük OKHK değerini veren fonksiyon türünün karesel fonksiyon, yöntemin ise KRA olduğu görülmüştür. Bu nedenle sadece KRA yöntemi ve karesel fonksiyon için elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 X_{yb} = & 1.403 - 11.035 * m + 0.389 * T_p - 15.799 * H_{mo} - 1494.051 * d_{50} + 4.331 * m * T_p \\
 & - 152.243 * m * H_{mo} + 11898.022 * m * d_{50} + 11.556 * T_p * H_{mo} + 247.958 * T_p * d_{50} \\
 & - 20713.445 * H_{mo} * d_{50} + 7.294 * m^2 - 0.291 * T_p^2 + 295.928 * H_{mo}^2 + 493803.101 * d_{50}^2
 \end{aligned} \quad (3.1)$$

3.1.1.3. X_{yb} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutsuz Modeller

Yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları kullanılarak, boyutsuz denklemler kurulmuştur. Boyutsuz analizlerde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişken için X_{yb}/L_0 , bağımsız değişkenler için ise m , H_{m0}/L_0 (dalga dikliği) ve (boyutsuz çökme hızı parametresi) H_{m0}/wT' dir.

KRA yönteminin, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmalarının Denklem 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4'te verilen regresyon fonksiyonlarına uygulanması sonucu elde edilen boyutsuz modeller için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. X_{yb} boyutsuz regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri

Fonksiyon	KRA		ÖÖTO		YAK		JAYA	
	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2
Lineer	0.1371	0.844	0.1366	0.843	0.1395	0.831	0.1769	0.818
Hiperbolik	0.0955	0.912	0.0884	0.921	0.0933	0.913	0.0965	0.908
Eksponansiyel	0.1303	0.847	0.1309	0.844	0.1381	0.821	0.1669	0.771
Karesel	0.0809	0.933	0.0811	0.932	0.0909	0.919	0.0910	0.917
Not: En iyi modele ait OKHK ve R^2 değeri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.3'teki değerlere göre, en büyük R^2 ve en küçük OKHK değerini veren fonksiyon türünün karesel fonksiyon, yöntemin ise KRA olduğu görülmüştür. Bu nedenle sadece KRA ve karesel fonksiyon için elde edilen boyutsuz denklem aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{X_{yb}}{L_0} = & -0.044 + 0.592 * m + 26.243 * \frac{H_0}{L_0} + 0.157 * \frac{H_0}{w.T} - 139.629 * m * \frac{H_0}{L_0} \\ & - 0.717 * m * \frac{H_0}{w.T} + 7.867 * \frac{H_0}{L_0} * \frac{H_0}{w.T} + 0.794 * m^2 - 359.512 * \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^2 - 0.072 * \left(\frac{H_0}{w.T}\right)^2 \end{aligned} \quad (3.2)$$

3.1.1.4. X_{yb} İçin Boyutlu ÇDURE Modeli

Yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.1) kullanılarak, ÇDURE modeli kurulmuştur. Modelde, bağımlı değişken için X_{yb} , bağımsız değişkenler için ise m , T_p , H_{m0} ve d_{50} kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin önemliliklerini dikkate alarak oluşturulan temel fonksiyonlar (Tablo 3.4) ve temel fonksiyonları kullanarak oluşturulan sonuç modeli (Denklem 3.3) aşağıda verilmektedir.

Tablo 3.4. X_{yb} boyutlu ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar

Temel fonksiyonlar	Temel fonksiyon no
$\max(0, H_{m0} - 0.04)$	TF1
$\max(0, m - 0.04)$	TF2
$\max(0, T_p - 1.57) * TF1$	TF3
$\max(0, d_{50} - 0.00018)$	TF4
$\max(0, T_p - 1.57) * TF2$	TF5
$\max(0, 0.06 - H_{m0})$	TF8
$\max(0, d_{50} - 0.00018) * TF2$	TF9
$\max(0, H_{m0} - 0.05)$	TF11
$\max(0, H_{m0} - 0.05) * TF2$	TF13
$\max(0, d_{50} - 0.00018) * TF8$	TF17

$$X_{yb} = 1.216 + 15.908 * TF1 - 7.914 * TF2 + 11.743 * TF3 - 1661.78 * TF4 + 4.557 * TF5 + 12198.2 * TF9 + 13.289 * TF11 - 221.408 * TF13 + 30014.3 * TF17 \quad (3.3)$$

Denklem 3.3 için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri sırasıyla 0.0608 m ve 0.964'dür.

ÇDURE yöntemiyle, X_{yb} 'ye m, T_p , H_{m0} ve d_{50} 'nin etkisi de incelenmiştir. Her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkime oranları Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Her bir bağımsız değişkenin X_{yb} 'ye etki oranı

Bağımsız değişken	Etki oranı (%)
m	28.00
T_p (s)	20.66
H_{m0} (m)	39.94
d_{50} (m)	11.40

Tablo 3.5 incelendiğinde, dalga yüksekliğinin, yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığına, %39.94 gibi bir oranla en fazla etkiyi yaptığı görülmektedir. Taban eğimi ise %28.00 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, X_{yb} değerini, %67.94 gibi bir değerle temsil ettiği görülmektedir. X_{yb} değerinin büyüklüğüne, dalga periyodunun %20.66 ve dane çapının ise %11.40 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

3.1.1.5. X_{yb} İçin Boyutsuz ÇDURE Modeli

Yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.1) kullanılarak, boyutsuz ÇDURE modeli kurulmuştur. Boyutsuz analizlerde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişken için X_{yb}/L_0 , bağımsız değişkenler için ise m , Hm_0/L_0 ve Hm_0/wT_p 'dir. Bağımsız değişkenlerin önemliliklerini dikkate alarak oluşturulan temel fonksiyonlar (Tablo 3.6) ve temel fonksiyonları kullanarak oluşturulan regresyon denklemi (Denklem 3.4) aşağıda verilmektedir.

Tablo 3.6. X_{yb} boyutsuz ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar

Temel fonksiyonlar	Temel fonksiyon no
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.00539538)$	TF1
$\max(0, m - 0.04) * TF1$	TF2
$\max(0, Hm_0/wT_p - 1.0919)$	TF3
$\max(0, 1.0919 - Hm_0/wT_p)$	TF4
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.00944192) * TF4$	TF5
$\max(0, 0.00944192 - Hm_0/L_0) * TF4$	TF6
$\max(0, m - 0.04)$	TF7
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.0156037)$	TF10
$\max(0, 0.0156037 - Hm_0/L_0)$	TF11
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.0104025) * TF7$	TF12
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.316356) * TF7$	TF14
$\max(0, m - 0.04) * TF11$	TF15
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.0104025)$	TF16
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.00944192) * TF7$	TF18
$\max(0, m - 0.067) * TF16$	TF20
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.585594)$	TF22

$$\begin{aligned} \frac{X_{yb}}{L_0} = & 0.178 + 39.549 * TF1 - 524.794 * TF2 + 0.074 * TF3 - 0.177 * TF4 \\ & - 7.963 * TF5 + 29.275 * TF6 + 3.785 * TF7 + 23.338 * TF10 + 1062.2 * TF12 \\ & - 1.136 * TF14 - 0.067 * TF22 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4 için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri sırasıyla 0.0479 m ve 0.978'dir. Denklem 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4'den elde edilen OKHK ve R^2 değerleri incelendiğinde, X_{yb} için elde edilen en iyi denklem ÇDURE yönteminden elde edilen boyutsuz 3.4 nolu denklemdir.

ÇDURE yöntemiyle, X_{yb}/L_0 'a m , Hm_0/L_0 ve Hm_0/wT_p 'nin etkisi de incelenmiştir. Her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkiye oranları Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Her bir bağımsız değişkenin X_{yb}/L_0 'a etki oranı

Bağımsız değişken	Etki oranı (%)
m	27.04
Hm_0/L_0	53.01
Hm_0/wT_p	19.95

Tablo 3.7 incelendiğinde, dalga dikliğinin, yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığına, %53.01 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Taban eğimi ise %27.04 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, X_{yb}/L_0 değerini %80.05 gibi bir oranla temsil ettikleri görülmektedir. X_{yb}/L_0 değerinin büyüklüğüne, Hm_0/wT_p 'nin %19.95 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

3.1.1.6. X_{yb} İçin YSA Modelleri

Yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmalarından elde edilen veriler (Tablo 3.1) kullanılarak, boyutlu ve boyutsuz YSA analizleri yapılmıştır. Yapay sinir ağlarında eğitim algoritması olarak GYA, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modellerinin eğitim ve doğrulama setleri için hesaplanan OKHK değerleri boyutlu analizler için Tablo 3.8'de boyutsuz analizler için ise Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.8. X_{yb} boyutlu YSA analizi, eğitim ve doğrulama setleri için hesaplanan OKHK değerleri

AKES	YSA-GYA		YSA-ÖÖTO		YSA-YAK		YSA-JAYA	
	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)
5	0.0681	0.0565	0.0959	0.0479	0.0889	0.0619	0.1053	0.0706
10	0.0760	0.0560	0.0934	0.0536	0.0825	0.0543	0.1582	0.1612
15	0.0587	0.0566	0.0901	0.0547	0.0802	0.0578	0.2201	0.2316
20	0.0693	0.0664	0.0808	0.0616	0.1015	0.0629	0.4126	0.2870
Not:	“AKES” ara katmandaki eleman sayısını göstermektedir. En iyi modele ait hata değerleri koyu harflerle gösterilmiştir.							

Tablo 3.9. X_{yb} boyutsuz YSA analizi, eğitim ve doğrulama setleri için hesaplanan OKHK değerleri

AKES	YSA-GYA		YSA-ÖÖTO		YSA-YAK		YSA-JAYA	
	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)
5	0.0835	0.0736	0.0895	0.0819	0.0934	0.0761	0.1533	0.1138
10	0.1013	0.0897	0.1008	0.0765	0.1021	0.0789	0.1514	0.1167
15	0.0915	0.0759	0.1054	0.0724	0.0934	0.0744	0.1456	0.1122
20	0.0842	0.0825	0.0942	0.0824	0.0918	0.0728	0.1588	0.1534
Not: "AKES" ara katmandaki eleman sayısını göstermektedir. En iyi modele ait hata değerleri koyu harflerle gösterilmiştir.								

Tablo 3.8'deki değerlere göre, eğitim seti için en küçük hata değeri ara katmanında 5 eleman bulunduran YSA-GYA modelinde bulunmasına rağmen, doğrulama seti için en küçük hata değeri yine ara katmanında 5 eleman bulunduran YSA-ÖÖTO modelinde çıkmıştır. En iyi modele doğrulama setinin hata değerine göre karar verildiğinden, boyutlu YSA analizi sonucu elde edilen en iyi model doğrulama seti için 0.0479 m OKHK değerine sahip YSA-ÖÖTO modelidir. Tablo 3.9 incelendiğinde, X_{yb} için en iyi boyutsuz YSA modeli ara katmanında 15 eleman bulunan ve doğrulama seti için 0.0724 m OKHK değerine sahip YSA-ÖÖTO modelidir. X_{yb} için elde edilen en iyi YSA modeli ise, doğrulama seti için hata değeri daha küçük olan, ara katmanında 5 eleman bulunan boyutlu YSA-ÖÖTO modelidir.

Kurulan en iyi denklem (Denklem 3.4), en iyi literatür denklemi (Denklem 1.1) ve en iyi YSA modelinden deneme seti için elde edilen bulgular Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. X_{yb} deneme seti için elde edilen bulgular

Yöntem		ÇDURE	KRA	YSA-ÖÖTO	
Analiz verileri		Boyutsuz	Boyutlu	Boyutlu	
Durum No	Deney No	Deney (m)	Denklemler 3.4 (m)	Denklemler 1.1 (m)	YSA (m)
1	04	0.8814	0.9266	0.9261	0.8061
2	06	0.9	0.8802	0.8105	0.91
3	16	0.6322	0.6313	0.8117	0.6608
4	19	1.1	1.0506	1.6204	1.0497
5	23	0.8153	0.8392	1.0087	0.8625
6	26	1.2184	1.3415	0.7899	1.2859
7	35	1.1033	1.1719	0.8358	1.1722
8	40	0.8526	0.8641	0.6875	0.8323
9	41	1.7643	1.8335	1.1733	1.7779
10	45	1.5697	1.5547	0.8355	1.574
11	51	1.0843	1.2058	0.6776	1.254
12	56	0.8952	0.9816	0.6390	0.9205
13	61	1.6854	1.7166	0.6775	1.6865
14	65	2.2054	2.1094	0.8528	2.03
15	74	1.8401	1.8668	0.9367	1.8547
16	78	1.6951	1.5103	0.7439	1.639

3.1.2. Yığılma Bölgesi Tepe Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{yt})

Yığılma bölgesi tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemler ve YSA bulguları aşağıdaki konu başlıklarıyla verilmiştir.

3.1.2.1. X_{yt} İçin Fiziksel Model Bulguları

İlgili parametre için elde edilen fiziksel model bulguları, Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11. X_{yt} için fiziksel model bulguları

Deney No	X_{yt} (m)	Deney No	X_{yt} (m)	Deney No	X_{yt} (m)	Deney No	X_{yt} (m)
01	0.655	21	0.6133	41	0.7939	61	0.7131
02	0.5108	22	0.5447	42	0.6835	62	0.4628
03	0.4285	23	0.4154	43	0.5842	63	0.4085
04	0.3624	24	0.3451	44	0.5	64	0.3245
05	0.4679	25	0.7234	45	0.7909	65	1.0297
06	0.4302	26	0.5251	46	0.5991	66	0.645
07	0.3688	27	0.5109	47	0.4954	67	0.5371
08	0.2543	28	0.3923	48	0.357	68	0.5145
09	0.7039	29	0.5649	49	0.7485	69	0.7498
10	0.5682	30	0.4439	50	0.6072	70	0.5643
11	0.4936	31	0.3795	51	0.3707	71	0.4564
12	0.4068	32	0.3038	52	0.2201	72	0.3577
13	0.5314	33	0.7628	53	0.5582	73	1.2776
14	0.4994	34	0.663	54	0.3974	74	0.6741
15	0.4049	35	0.5245	55	0.341	75	0.5889
16	0.321	36	0.4845	56	0.1942	76	0.5211
17	0.7433	37	0.6033	57	0.9819	77	1.2144
18	0.6295	38	0.5066	58	0.6207	78	0.5705
19	0.5396	39	0.4446	59	0.3983	79	0.4536
20	0.4444	40	0.346	60	0.2725	80	0.423

Tablo 3.11 incelendiğinde, X_{yt} 'nin 0.19 ile 1.28 m arasında değiştiği ve değerlerin aritmetik ortalamasının ise 0.54 m olduğu görülmektedir.

3.1.2.2. X_{yt} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutlu Modeller

Yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.11) kullanılarak boyutlu denklemler kurulmuştur. Denklemlerin kurulması için KRA yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları Denklem 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4'te verilen regresyon fonksiyonlarına uygulanmıştır. Elde edilen modeller için hesaplanan OKHK ve determinasyon katsayısı (R^2) değerleri Tablo 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.12. X_{yt} boyutlu regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri

Fonksiyon	KRA		ÖÖTO		YAK		JAYA	
	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2
Lineer	0.0890	0.901	0.0920	0.744	0.0967	0.755	0.0970	0.821
Hiperbolik	0.0709	0.923	0.0894	0.767	0.0915	0.760	0.0924	0.761
Eksponansiyel	0.0618	0.934	0.0717	0.845	0.0766	0.823	0.0796	0.820
Karesel	0.0555	0.962	0.0679	0.859	0.0777	0.825	0.0790	0.837
Not: En iyi model için OKHK ve R^2 değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.12 incelendiğinde, en büyük R^2 ve en küçük OKHK değerini veren fonksiyon türünün karesel fonksiyon, yöntemin ise KRA olduğu görülmüştür. Bu nedenle sadece KRA ve karesel fonksiyon için elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
X_{yt} = & 51.226 + 10.511 * m - 55.972 * T_p - 3.470 * H_{mo} - 1420.844 * d_{50} - 0.82 * m * T_p \\
& - 141.720 * m * H_{mo} + 10504.884 * m * d_{50} + 4.944 * T_p * H_{mo} + 100.701 * T_p * d_{50} \\
& - 40801.906 * H_{mo} * d_{50} - 47.296 * m^2 + 14.897 * T_p^2 + 267.939 * H_{mo}^2 + 2698303.959 * d_{50}^2
\end{aligned} \quad (3.5)$$

3.1.2.3. X_{yt} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutsuz Modeller

Yığılma bölgesi tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları kullanılarak, boyutsuz denklemler kurulmuştur. Boyutsuz analizlerde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişken için X_{yt}/L_0 , bağımsız değişkenler için ise m , H_{m0}/L_0 ve H_{m0}/wT_p 'dir.

KRA yönteminin, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmalarının Denklem 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4'te verilen regresyon fonksiyonlarına uygulanması sonucu elde edilen boyutsuz modeller için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri Tablo 3.13'te verilmiştir.

Tablo 3.13. X_{yt} boyutsuz regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri

Fonksiyon	KRA		ÖÖTO		YAK		JAYA	
	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2
Lineer	0.0869	0.770	0.0952	0.744	0.1060	0.662	0.1040	0.645
Hiperbolik	0.0839	0.779	0.0914	0.767	0.1006	0.705	0.1088	0.745
Eksponansiyel	0.0823	0.764	0.0948	0.728	0.1033	0.622	0.0952	0.727
Karesel	0.0744	0.801	0.0837	0.801	0.0903	0.706	0.1109	0.711
Not: En iyi model için OKHK ve R^2 değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.13'deki değerlere göre, en büyük R^2 ve en küçük OKHK değerini veren fonksiyon türünün karesel fonksiyon, yöntemin ise KRA olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle sadece KRA ve karesel fonksiyon için elde edilen boyutsuz denklem aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{X_{yt}}{L_0} = & -0.025 + 1.548 * m + 6.931 * \frac{H_0}{L_0} - 0.024 * \frac{H_0}{w.T} - 27.259 * m * \frac{H_0}{L_0} \\ & + 0.072 * m * \frac{H_0}{w.T} + 2.794 * \frac{H_0}{L_0} * \frac{H_0}{w.T} - 9.617 * m^2 - 93.711 * \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^2 + 0.031 * \left(\frac{H_0}{w.T}\right)^2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

3.1.2.4. X_{yt} İçin Boyutlu ÇDURE Modeli

Yığılma bölgesi tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.11) kullanılarak, ÇDURE modeli kurulmuştur. Modelde, bağımlı değişken için X_{yt} , bağımsız değişkenler için ise m , T_p , H_{m0} ve d_{50} kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin önemliliklerini dikkate alarak oluşturulan temel fonksiyonlar ve temel fonksiyonları kullanarak oluşturulan sonuç modeli aşağıda verilmektedir.

Tablo 3.14. X_{yt} boyutlu ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar

Temel fonksiyonlar	Temel fonksiyon no
$\max(0, H_{m0} - 0.04)$	TF1
$\max(0, 0.00033 - d_{50}) * TF1$	TF3
$\max(0, T_p - 1.57)$	TF4
$\max(0, H_{m0} - 0.06)$	TF8
$\max(0, 0.06 - H_{m0});$	TF9
$\max(0, m - 0.04) * TF8;$	TF10
$\max(0, d_{50} - 0.00018) * TF9$	TF11
$\max(0, d_{50} - 0.00018) * TF8$	TF14

$$\begin{aligned} X_{yt} = & 0.460 + 50241.2 * TF3 + 0.189 * TF4 + 42.550 * TF8 - 343.008 * TF10 \\ & - 52710.1 * TF11 - 102075 * TF14 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Denklem 3.7 için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri sırasıyla 0.0586 m ve 0.904'tür.

ÇDURE yöntemiyle, X_{yt} 'ye m , T_p , H_{m0} ve d_{50} 'nin etkisi de incelenmiştir. Her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkime oranları Tablo 3.15'te verilmiştir.

Tablo 3.15. Her bir bağımsız değişkenin X_{yt} 'ye etki oranı

Bağımsız değişken	Etki oranı (%)
m	12.05
T_p (s)	17.66
H_{m0} (m)	42.13
d_{50} (m)	28.16

Tablo 3.15 incelendiğinde, dalga yüksekliğinin, yığılma bölgesi tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığına, %42.13 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Dane çapı ise %28.16 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, X_{yt} değerini, %70.29 gibi bir değerle temsil ettiği görülmektedir. X_{yt} değerinin büyüklüğüne, dalga periyodunun %17.66 ve taban eğiminin ise %12.05 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

3.1.2.5. X_{yt} İçin Boyutsuz ÇDURE Modeli

Yığılma bölgesi tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.11) kullanılarak, boyutsuz ÇDURE modeli kurulmuştur. Boyutsuz analizlerde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişken için X_{yt}/L_0 , bağımsız değişkenler için ise m , H_{m0}/L_0 ve H_{m0}/wT_p 'dir. Bağımsız değişkenlerin önemliliklerini dikkate alarak oluşturulan temel fonksiyonlar (Tablo 3.16) ve temel fonksiyonları kullanarak oluşturulan regresyon denklemi (Denklemler 3.8) aşağıda verilmektedir.

Tablo 3.16. X_{yt} boyutsuz ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar

Temel fonksiyonlar	Temel fonksiyon no
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.316356)$	TF1
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.00944192) * TF1$	TF2
$\max(0, 0.00944192 - Hm_0/L_0) * TF1$	TF3
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.549089)$	TF4
$\max(0, 0.549089 - Hm_0/wT_p)$	TF5
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.0104025) * TF1$	TF6
$\max(0, 0.067 - m) * TF1$	TF9
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.0130031) * TF4$	TF10
$\max(0, m - 0.04) * TF5$	TF12
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.00809308) * TF1$	TF13
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.0130031) * TF1$	TF15
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.78637)$	TF17
$\max(0, 0.78637 - Hm_0/wT_p)$	TF18
$\max(0, m - 0.067) * TF18$	TF19
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.00539538) * TF17$	TF21
$\max(0, m - 0.04) * TF4$	TF22

$$\frac{X_{yt}}{L_0} = 0.0321 + 0.262 * TF1 - 72.735 * TF2 - 19.471 * TF3 - 0.166 * TF4 + 58.660 * TF6 - 0.942 * TF9 + 51.644 * TF10 + 3.551 * TF12 + 28.390 * TF13 - 31.588 * TF15 - 1.674 * TF19 - 12.078 * TF21 - 1.427 * TF22 \quad (3.8)$$

Denklem 3.8 için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri sırasıyla 0.0407m ve 0.954'dür. Denklem 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8 için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri incelendiğinde, X_{yt} için elde edilen en iyi denklem ÇDURE regresyon modelinden elde edilen boyutsuz 3.8 nolu denklemdir.

ÇDURE yöntemiyle, X_{yt}/L_0 'a m, Hm_0/L_0 ve Hm_0/wT_p 'nin etkisi de incelenmiştir. Her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkime oranları Tablo 3.17'de verilmiştir.

Tablo 3.17. Her bir bağımsız değişkenin X_{yt}/L_0 'a etki oranı

Bağımsız değişken	Etki oranı (%)
m	0.00
Hm_0/L_0	38.26
Hm_0/wT_p	61.74

Tablo 3.17 incelendiğinde, H_{m0}/w_{T_p} 'nin, yığılma bölgesi tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığına, %61.74 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Dalga dikliği ise %38.26 oranıyla ikinci değerdir. Taban eğiminin ise X_{yt}/L_0 değerinin büyüklüğüne etkisi olmadığı belirlenmiştir.

3.1.2.6. X_{yt} İçin YSA Modelleri

Yığılma bölgesi tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmalarından elde edilen veriler (Tablo 3.11) kullanılarak, boyutlu ve boyutsuz YSA analizleri yapılmıştır. Yapay sinir ağlarında eğitim algoritması olarak GYA, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modellerinin eğitim ve doğrulama setleri için hesaplanan OKHK değerleri boyutlu analizler için Tablo 3.18' de boyutsuz analizler için ise Tablo 3.19'da verilmiştir.

Tablo 3.18. X_{yt} boyutlu YSA analizi eğitim ve doğrulama setleri için hesaplanan OKHK değerleri

AKES	YSA-GYA		YSA-ÖÖTO		YSA-YAK		YSA-JAYA	
	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)
5	0.0597	0.0680	0.0798	0.0617	0.0913	0.0705	0.0788	0.0647
10	0.0870	0.0494	0.1347	0.0587	0.0573	0.0684	0.1646	0.1028
15	0.0483	0.0539	0.1224	0.0547	0.0744	0.0689	0.1749	0.1867
20	0.0572	0.0629	0.0681	0.0691	0.0693	0.0686	0.1263	0.1937
Not: "AKES" ara katmandaki eleman sayısını göstermektedir. En iyi modele ait hata değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.19. X_{yt} boyutsuz YSA analizi eğitim ve doğrulama setleri için hesaplanan OKHK değerleri

AKES	YSA-GYA		YSA-ÖÖTO		YSA-YAK		YSA-JAYA	
	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)
5	0.1121	0.0741	0.1202	0.0732	0.0979	0.0655	0.1025	0.1218
10	0.1140	0.0662	0.1006	0.0643	0.0853	0.0648	0.1028	0.1025
15	0.1128	0.0678	0.1026	0.0645	0.1005	0.0721	0.1132	0.0836
20	0.1062	0.0659	0.0893	0.0583	0.0991	0.0689	0.1236	0.1216
Not: "AKES" ara katmandaki eleman sayısını göstermektedir. En iyi modele ait hata değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.18'deki değerlere göre, X_{yt} için boyutlu YSA analizi sonucu elde edilen en iyi model doğrulama seti için 0.0494m OKHK değerine sahip ara katmanında 10 eleman bulunduran YSA-GYA modelidir. Tablo 3.19 incelendiğinde, X_{yt} için boyutsuz YSA analizi sonucu elde edilen en iyi model doğrulama seti için 0.0583m OKHK değerine sahip ara katmanında 20 eleman bulunduran YSA-ÖÖTO modelidir. X_{yt} için elde edilen en iyi YSA modeli ise, ara katmanında 10 eleman bulunan boyutlu YSA-GYA modelidir.

En iyi regresyon denklemi (Denklem 3.8), en iyi literatür denklemi (Denklem 1.2) ve en iyi YSA modelinden deneme seti için elde edilen bulgular Tablo 3.20'de verilmiştir.

Tablo 3.20. X_{yt} deneme seti için elde edilen bulgular

Yöntem		ÇDURE	KRA	YSA-GYA	
Analiz verileri		Boyutsuz	Boyutlu	Boyutlu	
Durum No	Deney No	Deney (m)	Denklem 3.8 (m)	Denklem 1.2 (m)	YSA (m)
1	04	0.3624	0.4128	0.6693	0.3696
2	06	0.4302	0.3756	0.5248	0.4238
3	16	0.321	0.3004	0.5717	0.3416
4	19	0.5396	0.5116	1.0900	0.4795
5	23	0.4154	0.4033	0.7846	0.4219
6	26	0.5251	0.5666	0.4551	0.5769
7	35	0.5245	0.5471	0.5480	0.4842
8	40	0.346	0.3492	0.2887	0.3278
9	41	0.7939	0.9692	0.8152	0.8463
10	45	0.7909	0.7666	0.5538	0.6895
11	51	0.3707	0.3454	0.2012	0.4022
12	56	0.1942	0.2329	0.0078	0.2258
13	61	0.7131	0.6208	0.2056	0.6614
14	65	1.0297	0.9610	0.5376	0.9106
15	74	0.6741	0.7234	0.6588	0.7679
16	78	0.5705	0.7764	0.4224	0.6465

3.1.3. Yığılma Bölgesi Tepe Noktasının Sakin Su Seviyesine Düşey Uzaklığı (h_{yt})

Yığılma bölgesi tepe noktasının sakın su seviyesine düşey uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemler ve YSA bulguları aşağıdaki konu başlıklarıyla verilmiştir.

3.1.3.1. h_{yt} İçin Fiziksel Model Bulguları

İlgili parametre için yapılan fiziksel model bulguları, Tablo 3.21’de verilmiştir.

Tablo 3.21. h_{yt} için fiziksel model bulguları

Deney No	h_{yt} (m)	Deney No	h_{yt} (m)	Deney No	h_{yt} (m)	Deney No	h_{yt} (m)
01	0.1353	21	0.0982	41	0.1076	61	0.0682
02	0.1307	22	0.0797	42	0.1018	62	0.0548
03	0.1147	23	0.0705	43	0.0989	63	0.0525
04	0.0982	24	0.0662	44	0.0819	64	0.0516
05	0.1079	25	0.1179	45	0.0788	65	0.0704
06	0.097	26	0.1072	46	0.0728	66	0.0663
07	0.0835	27	0.1016	47	0.0622	67	0.0591
08	0.074	28	0.0915	48	0.0621	68	0.0523
09	0.135	29	0.0803	49	0.1017	69	0.0582
10	0.129	30	0.0759	50	0.0904	70	0.0527
11	0.1042	31	0.0715	51	0.0797	71	0.0485
12	0.0972	32	0.0695	52	0.0749	72	0.0476
13	0.1019	33	0.1086	53	0.08	73	0.0722
14	0.0885	34	0.1068	54	0.0735	74	0.0667
15	0.0767	35	0.1013	55	0.0707	75	0.0523
16	0.0693	36	0.0964	56	0.0637	76	0.0519
17	0.1278	37	0.077	57	0.0799	77	0.0494
18	0.115	38	0.0729	58	0.0709	78	0.0454
19	0.099	39	0.069	59	0.0678	79	0.041
20	0.095	40	0.0627	60	0.0637	80	0.0408

Tablo 3.21 incelendiğinde, h_{yt} ’nin 0.04 ile 0.14 m arasında değiştiği ve değerlerin aritmetik ortalamasının ise 0.08 m olduğu görülmektedir.

3.1.3.2. h_{yt} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutlu Modeller

Yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.21) kullanılarak boyutlu denklemler kurulmuştur.

Denklemlerin kurulması için KRA yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları Denklem 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4'te verilen regresyon fonksiyonlarına uygulanmıştır. Elde edilen modeller için hesaplanan OKHK ve determinasyon katsayısı (R^2) değerleri Tablo 3.22'de verilmiştir.

Tablo 3.22. h_{yt} boyutlu regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri

Fonksiyon	KRA		ÖÖTO		YAK		JAYA	
	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2
Lineer	0.0069	0.919	0.0083	0.886	0.0086	0.860	0.0094	0.853
Hiperbolik	0.0057	0.946	0.0079	0.897	0.0080	0.886	0.0084	0.881
Eksponansiyel	0.0062	0.935	0.0080	0.896	0.0080	0.895	0.0088	0.873
Karesel	0.0043	0.969	0.0064	0.933	0.0078	0.904	0.0083	0.896
Not: En iyi model için OKHK ve R^2 değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.22 incelendiğinde, en büyük R^2 ve en küçük OKHK değerini veren fonksiyon türünün karesel fonksiyon, yöntemin ise KRA olduğu görülmüştür. Bu nedenle sadece KRA ve karesel fonksiyon için elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
h_{yt} = & 51.088 + 0.357 * m - 55.947 * T_p - 1.282 * H_{mo} - 71.478 * d_{50} + 0.473 * m * T_p \\
& + 9.038 * m * H_{mo} - 1466.471 * m * d_{50} + 0.376 * T_p * H_{mo} + 26.033 * T_p * d_{50} \\
& + 252.021 * H_{mo} * d_{50} - 4.957 * m^2 + 14.8914 * T_p^2 + 5.772 * H_{mo}^2 + 306962.723 * d_{50}^2
\end{aligned} \quad (3.9)$$

3.1.3.3. h_{yt} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutsuz Modeller

Yığılma bölgesi tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları kullanılarak boyutsuz denklemler kurulmuştur. Boyutsuz analizlerde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişken için X_{yt}/L_0 , bağımsız değişkenler için ise m , H_{m0}/L_0 ve H_{m0}/wT_p 'dir.

KRA yönteminin, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmalarının Denklem 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4'te verilen regresyon fonksiyonlarına uygulanması sonucu elde edilen boyutsuz modeller için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri Tablo 3.23'de verilmiştir.

Tablo 3.23. h_{yt} boyutsuz regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri

Fonksiyon	KRA		ÖÖTO		YAK		JAYA	
	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2
Lineer	0.0066	0.926	0.0077	0.897	0.0079	0.892	0.0093	0.888
Hiperbolik	0.0059	0.932	0.0081	0.873	0.0082	0.873	0.0088	0.894
Eksponansiyel	0.0066	0.923	0.0079	0.889	0.0081	0.881	0.0097	0.869
Karesel	0.0049	0.956	0.0064	0.956	0.0075	0.899	0.0085	0.883
Not: En iyi model için OKHK ve R^2 değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.23'teki değerlere göre, en büyük R^2 ve en küçük OKHK değerini veren fonksiyon türünün karesel fonksiyon, yöntemin ise KRA olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle sadece KRA ve karesel fonksiyon için elde edilen boyutsuz denklem aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{h_{yt}}{L_0} = & 0.003 + 0.111 * m + 1.342 * \frac{H_0}{L_0} - 0.014 * \frac{H_0}{w.T} + 0.277 * m * \frac{H_0}{L_0} + 0.104 * m * \frac{H_0}{w.T} \\ & - 0.797 * \frac{H_0}{L_0} * \frac{H_0}{w.T} - 0.577 * m^2 + 9.337 * \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^2 + 0.007 * \left(\frac{H_0}{w.T} \right)^2 \end{aligned} \quad (3.10)$$

3.1.3.4. h_{yt} İçin Boyutlu ÇDURE Modeli

Yığılma bölgesi tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.21) kullanılarak boyutlu ÇDURE modeli kurulmuştur. Modelde, bağımlı değişken için h_{yt} , bağımsız değişkenler için ise m , T_p , H_{m0} ve d_{50} kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin önemliliklerini dikkate alarak oluşturulan temel fonksiyonlar (Tablo 3.24) ve temel fonksiyonları kullanarak oluşturulan sonuç modeli (Denklem 3.11) aşağıda verilmektedir.

Tablo 3.24. h_{yt} boyutlu ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar

Temel fonksiyonlar	Temel fonksiyon no
$\max(0, m - 0.04)$	TF1
$\max(0, T_p - 1.57)$	TF2
$\max(0, Hm_0 - 0.04)$	TF3
$\max(0, d_{50} - 0.00018)$	TF4
$\max(0, T_p - 1.57) * TF1$	TF5
$\max(0, Hm_0 - 0.04) * TF1$	TF6
$\max(0, m - 0.067)$	TF7
$\max(0, 0.067 - m)$	TF8
$\max(0, d_{50} - 0.00033) * TF8$	TF9
$\max(0, 0.00033 - d_{50}) * TF8$	TF10
$\max(0, T_p - 1.57) * TF7$	TF11
$\max(0, T_p - 1.57) * TF3$	TF12
$\max(0, Hm_0 - 0.05)$	TF15
$\max(0, m - 0.067) * TF15$	TF17
$\max(0, 0.067 - m) * TF15$	TF18
$\max(0, m - 0.04) * TF4$	TF19

$$\begin{aligned}
h_{yt} = & 0.051 + 0.308 * TF1 + 0.016 * TF2 + 0.160 * TF3 + 1.011 * TF5 + 9.638 * TF6 \\
& - 0.339 * TF7 + 91941 * TF9 - 2700.46 * TF10 - 0.983 * TF11 + 0.453 * TF12 \\
& + 11.611 * TF17 + 12.842 * TF18 + 1385.49 * TF19
\end{aligned} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11 için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri sırasıyla 0.0025 m ve 0.989'dur.

ÇDURE yöntemiyle, h_{yt} 'ye m , T_p , Hm_0 ve d_{50} 'nin etkisi de incelenmiştir. Her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkime oranları Tablo 3.25'te verilmiştir.

Tablo 3.25. Her bir bağımsız değişkenin h_{yt} 'ye etki oranı

Bağımsız değişken	Etki oranı (%)
m	26.92
T_p (s)	34.53
Hm_0 (m)	18.99
d_{50} (m)	19.57

Tablo 3.25 incelendiğinde, dalga periyodunun, yığılma bölgesi tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığına, %34.53 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Taban eğimi ise %26.92 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, h_{yt}

değerini, %61.44 gibi bir değerle temsil ettiği görülmektedir. h_{yt} değerinin büyüklüğüne, dane çapının %19.57, dalga yüksekliğinin ise %18.99 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

3.1.3.5. h_{yt} İçin Boyutsuz ÇDURE Modeli

Yığılma bölgesi tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.17) kullanılarak, boyutsuz ÇDURE modeli kurulmuştur. Boyutsuz analizlerde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişken için h_{yt}/L_0 , bağımsız değişkenler için ise m , Hm_0/L_0 ve Hm_0/wT_p 'dir. Bağımsız değişkenlerin önemliliklerini dikkate alarak oluşturulan temel fonksiyonlar (Tablo 3.26) ve temel fonksiyonları kullanarak oluşturulan regresyon denklemi (Denklem 3.12) aşağıda verilmektedir.

Tablo 3.26. h_{yt} boyutsuz ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar

Temel fonksiyonlar	Temel fonksiyon no
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.00539538)$	TF1
$\max(0, 0.067 - m)$	TF3
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.316356)$	TF4
$\max(0, m - 0.067) * TF1$	TF5
$\max(0, 0.067 - m) * TF1$	TF6
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.78637) * TF1$	TF7
$\max(0, 0.78637 - Hm_0/wT_p) * TF1$	TF8
$\max(0, 0.873744 - Hm_0/wT_p) * TF3$	TF10
$\max(0, 0.0156037 - Hm_0/L_0)$	TF12
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.487995) * TF12$	TF15
$\max(0, 0.487995 - Hm_0/wT_p) * TF12$	TF16
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.0130031) * TF4$	TF19

$$\frac{h_{yt}}{L_0} = 0.009 - 0.293 * TF3 + 0.017 * TF4 + 14.327 * TF5 + 16.527 * TF6 - 2.176 * TF7 + 3.368 * TF8 + 0.324 * TF10 - 1.058 * TF15 + 2.174 * TF16 + 1.407 * TF19 \quad (3.12)$$

Denklem 3.12 için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri sırasıyla 0.0044 m ve 0.966'dır. Denklem 3.9, 3.10, 3.11 ve 3.12 için hesaplanan OKHK ve R^2 değerlerine göre,

h_{yt} için elde edilen en iyi denklem, ÇDURE regresyon modelinden elde edilen boyutsuz 3.11 nolu denklemdir.

ÇDURE yöntemiyle, h_{yt}/L_0 'a m , Hm_0/L_0 ve Hm_0/wT_p 'nin etkisi de incelenmiştir. Her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkime oranları Tablo 3.27'de verilmiştir.

Tablo 3.27. Her bir bağımsız değişkenin h_{yt}/L_0 'a etki oranı

Bağımsız değişken	Etki oranı (%)
m	37.16
Hm_0/L_0	40.56
Hm_0/wT_p	22.28

Tablo 3.27 incelendiğinde, Hm_0/L_0 'ın, yığılma bölgesi tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığına, %40.56 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Taban eğimi ise %37.16 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, h_{yt}/L_0 değerini %77.72 gibi bir oranla temsil ettikleri görülmektedir. h_{yt}/L_0 değerinin büyüklüğüne, Hm_0/wT_p 'nin %22.28 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

3.1.3.6. h_{yt} İçin YSA Modelleri

Yığılma bölgesi tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmalarından elde edilen veriler (Tablo 3.21) kullanılarak, boyutlu ve boyutsuz YSA analizleri yapılmıştır. Yapay sinir ağlarında eğitim algoritması olarak GYA, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modellerinin eğitim ve doğrulama setleri için hesaplanan OKHK değerleri boyutlu analizler için Tablo 3.28'de boyutsuz analizler için ise Tablo 3.29'da verilmiştir.

Tablo 3.28. h_{yt} boyutlu YSA analizi eğitim ve doğrulama seti için hesaplanan OKHK değerleri

AKES	YSA-GYA		YSA-ÖÖTO		YSA-YAK		YSA-JAYA	
	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)
5	0.0044	0.0040	0.0051	0.0047	0.0053	0.0051	0.0076	0.0099
10	0.0051	0.0052	0.0044	0.0048	0.0056	0.0046	0.0128	0.0127
15	0.0046	0.0050	0.0052	0.0053	0.0050	0.0051	0.0159	0.0156
20	0.0044	0.0044	0.0050	0.0048	0.0050	0.0052	0.0213	0.0205
Not: “AKES” ara katmandaki eleman sayısını göstermektedir. En iyi modele ait hata değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.29. h_{yt} boyutsuz YSA analizi eğitim ve doğrulama seti için hesaplanan OKHK değerleri

AKES	YSA-GYA		YSA-ÖÖTO		YSA-YAK		YSA-JAYA	
	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)
5	0.0060	0.0059	0.0068	0.0053	0.0067	0.0059	0.0085	0.0076
10	0.0062	0.0059	0.0061	0.0057	0.0057	0.0055	0.0087	0.0092
15	0.0054	0.0054	0.0061	0.0062	0.0069	0.0054	0.0096	0.0109
20	0.0059	0.0051	0.0065	0.0055	0.0066	0.0055	0.0149	0.0137
Not: “AKES” ara katmandaki eleman sayısını göstermektedir. En iyi modele ait hata değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.28’deki değerlere göre, h_{yt} için boyutlu YSA analizi sonucu elde edilen en iyi model doğrulama seti için 0.0040 m OKHK değerine sahip ara katmanında 5 eleman bulunduran YSA-GYA modelidir. Tablo 3.29 incelendiğinde, h_{yt} için boyutsuz YSA analizi sonucu elde edilen en iyi model doğrulama seti için 0.0051 m OKHK değerine sahip ara katmanında 20 eleman bulunduran YSA-GYA modelidir. h_{yt} için elde edilen en iyi YSA modeli ise, ara katmanında 5 eleman bulunan boyutlu YSA-GYA modelidir.

En iyi regresyon denklemi (Denklem 3.11), en iyi literatür denklemi (Denklem 1.3) ve en iyi YSA modelinden deneme seti için elde edilen bulgular Tablo 3.30’da verilmiştir.

Tablo 3.30. h_{yt} deneme seti için elde edilen bulgular

Yöntem			ÇDURE	KRA	YSA-GYA
Analiz verileri			Boyutlu	Boyutsuz	Boyutlu
Durum No	Deney No	Deney (m)	Denklemler 3.11 (m)	Denklemler 1.3 (m)	YSA (m)
1	04	0.0982	0.1035	0.1312	0.0988
2	06	0.097	0.0950	0.1103	0.0915
3	16	0.0693	0.0706	0.0888	0.0696
4	19	0.099	0.1020	0.1172	0.1096
5	23	0.0705	0.0721	0.0859	0.0768
6	26	0.1072	0.1079	0.1096	0.1116
7	35	0.1013	0.0983	0.0953	0.0964
8	40	0.0627	0.0648	0.0647	0.0647
9	41	0.1076	0.1096	0.0957	0.103
10	45	0.0788	0.0747	0.0701	0.0755
11	51	0.0797	0.0825	0.0684	0.0811
12	56	0.0637	0.0682	0.0465	0.0635
13	61	0.0682	0.0626	0.0520	0.0631
14	65	0.0704	0.0757	0.0636	0.0734
15	74	0.0667	0.0620	0.0499	0.0613
16	78	0.0454	0.0466	0.0365	0.0456

3.1.4. Yığılma Bölgesinin Kıyıya Dik Genişliği (L_y)

Yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliğini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemler ve YSA bulguları aşağıdaki konu başlıklarıyla verilmiştir.

3.1.4.1. L_y İçin Fiziksel Model Bulguları

İlgili parametre için elde edilen fiziksel model bulguları, Tablo 3.31’de verilmiştir.

Tablo 3.31. L_y için fiziksel model bulguları

Deney No	L_y (m)	Deney No	L_y (m)	Deney No	L_y (m)	Deney No	L_y (m)
01	1.9123	21	1.1762	41	1.7372	61	1.7799
02	1.6205	22	1.0899	42	1.5293	62	1.4916
03	1.4461	23	0.8799	43	1.3953	63	1.3011
04	1.2005	24	0.7226	44	1.2592	64	1.1738
05	1.3611	25	1.9801	45	1.3939	65	1.8239
06	1.2368	26	1.8856	46	1.1916	66	1.6738
07	1.1091	27	1.7013	47	1.0545	67	1.5254
08	0.946	28	1.2742	48	0.9525	68	1.4813
09	1.7814	29	1.9104	49	2.0019	69	1.716
10	1.5779	30	1.4956	50	1.9104	70	1.4751
11	1.4301	31	1.3722	51	1.7423	71	1.2708
12	1.1619	32	1.1978	52	1.5657	72	1.1702
13	1.333	33	1.8611	53	1.8569	73	1.6879
14	1.1268	34	1.703	54	1.6888	74	1.5947
15	0.8965	35	1.4612	55	1.5754	75	1.3689
16	0.8094	36	1.2669	56	1.2449	76	1.0301
17	1.6943	37	1.5333	57	1.8642	77	1.4374
18	1.488	38	1.2554	58	1.7126	78	1.3267
19	1.2875	39	1.0585	59	1.5604	79	1.1148
20	1.0718	40	0.9825	60	1.5003	80	1.0729

Tablo 3.31 incelendiğinde, L_y 'nin 0.72 ile 2.00 m arasında değiştiği ve değerlerin aritmetik ortalamasının ise 1.42 m olduğu görülmektedir.

3.1.4.2. L_y İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutlu Modeller

Yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliğini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.31) kullanılarak boyutlu denklemler kurulmuştur. Denklemlerin kurulması için KRA yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları Denklem 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4'te verilen regresyon fonksiyonlarına uygulanmıştır. Elde edilen modeller için hesaplanan OKHK ve determinasyon katsayısı (R^2) değerleri Tablo 3.32'de verilmiştir.

Tablo 3.32. L_y boyutlu regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri

Fonksiyon	KRA		ÖÖTO		YAK		JAYA	
	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2
Lineer	0.0850	0.919	0.0923	0.890	0.0957	0.882	0.1049	0.846
Hiperbolik	0.0981	0.892	0.1255	0.784	0.1275	0.781	0.1293	0.770
Eksponansiyel	0.0852	0.919	0.0929	0.890	0.1002	0.866	0.1166	0.829
Karesel	0.0674	0.949	0.0795	0.920	0.0956	0.895	0.1014	0.880
Not: En iyi model için OKHK ve R^2 değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.32 incelendiğinde, en büyük R^2 ve en küçük OKHK değerini veren fonksiyon türünün karesel fonksiyon, yöntemin ise klasik regresyon analizi olduğu görülmüştür. Bu nedenle sadece klasik regresyon analizi ve karesel fonksiyon için elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
L_y = & 51.781 - 18.677 * m - 55.835 * T_p - 2.949 * H_{m0} + 1616.297 * d_{50} + 6.449 * m * T_p \\
& + 40.406 * m * H_{m0} - 5462.974 * m * d_{50} + 1.998 * T_p * H_{m0} - 398.330 * T_p * d_{50} \\
& + 6020.400 * H_{m0} * d_{50} + 6.161 * m^2 + 14.909 * T_p^2 + 109.716 * H_{m0}^2 + 1297919.849 * d_{50}^2
\end{aligned} \quad (3.13)$$

3.1.4.3. L_y İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutsuz Modeller

Yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliğini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları kullanılarak boyutsuz denklemler kurulmuştur. Boyutsuz analizlerde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişken için L_y/L_0 , bağımsız değişkenler için ise m , H_{m0}/L_0 ve H_{m0}/wT_p 'dir. KRA yönteminin, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmalarının Denklem 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4'te verilen regresyon fonksiyonlarına uygulanması sonucu elde edilen boyutsuz modeller için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri Tablo 3.33'de verilmiştir.

Tablo 3.33. L_y boyutsuz regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri

Fonksiyon	KRA		ÖÖTO		YAK		JAYA	
	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2	OKHK (m)	R^2
Lineer	0.1332	0.804	0.1436	0.782	0.1388	0.784	0.1390	0.783
Hiperbolik	0.1083	0.860	0.1234	0.824	0.1256	0.822	0.1325	0.815
Eksponansiyel	0.1286	0.818	0.1330	0.799	0.1330	0.798	0.1546	0.777
Karesel	0.0956	0.884	0.1071	0.884	0.1324	0.807	0.1524	0.772
Not: En iyi model için OKHK ve R^2 değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.33'teki değerlere göre, en büyük R^2 ve en küçük OKHK değerini veren fonksiyon türünün karesel fonksiyon, yöntemin ise klasik regresyon analizi olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle sadece klasik regresyon analizi ve karesel fonksiyon için elde edilen boyutsuz denklem aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{L_y}{L_0} = & 0.109 - 0.234 * m + 32.853 * \frac{H_0}{L_0} - 0.157 * \frac{H_0}{w.T} - 186.458 * m * \frac{H_0}{L_0} + 1004 * m * \frac{H_0}{w.T} \\ & - 13.479 * \frac{H_0}{L_0} * \frac{H_0}{w.T} + 3.382 * m^2 + 480.935 * \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^2 + 0.094 * \left(\frac{H_0}{w.T}\right)^2 \end{aligned} \quad (3.14)$$

3.1.4.4. L_y İçin Boyutlu ÇDURE Modeli

Yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliğini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.31) kullanılarak, ÇDURE modeli kurulmuştur. Modelde, bağımlı değişken için L_y , bağımsız değişkenler için ise m , T_p , H_{m0} ve d_{50} kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin önemliliklerini dikkate alarak oluşturulan temel fonksiyonlar (Tablo 3.34) ve temel fonksiyonları kullanarak oluşturulan sonuç modeli (Denklem 3.15) aşağıda verilmektedir.

Tablo 3.34. L_y boyutlu ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar

Temel fonksiyonlar	Temel fonksiyon no
$\max(0, H_{m0} - 0.04)$	TF1
$\max(0, T_p - 1.57)$	TF2
$\max(0, m - 0.04)$	TF3
$\max(0, d_{50} - 0.00018)$	TF4
$\max(0, m - 0.04) * TF2$	TF9

$$L_y = 0.974 + 17.474 * TF1 + 0.322 * TF2 - 7.141 * TF3 + 1650.32 * TF4 + 6.231 * TF9 \quad (3.15)$$

Denklem 3.15 için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri sırasıyla 0.0707 m ve 0.943'tür.

ÇDURE yöntemiyle, L_y 'ye m , T_p , H_{m0} ve d_{50} 'nin etkisi de incelenmiştir. Her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkime oranları Tablo 3.35'te verilmiştir.

Tablo 3.35. Her bir bağımsız değişkenin L_y 'ye etki oranı

Bağımsız değişken	Etki oranı (%)
m	21.18
T_p (s)	24.88
Hm_0 (m)	34.59
d_{50} (m)	19.35

Tablo 3.35 incelendiğinde, dalga yüksekliğinin, yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliğini, %34.59 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Dalga periyodu ise %24.89 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, L_y değerini, %59.47 gibi bir değerle temsil ettiği görülmektedir. L_y değerinin büyüklüğüne, taban eğiminin %21.18 ve dane çapının ise %19.35 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

3.1.4.5. L_y İçin Boyutsuz ÇDURE Modeli

Yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliğini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.31) kullanılarak, boyutsuz ÇDURE modeli kurulmuştur. Boyutsuz analizlerde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişken için L_y/L_0 , bağımsız değişkenler için ise m, Hm_0/L_0 ve Hm_0/wT_p 'dir. Bağımsız değişkenlerin önemliliklerini dikkate alarak oluşturulan temel fonksiyonlar (Tablo 3.36) ve temel fonksiyonları kullanarak oluşturulan regresyon denklemi (Denklem 3.16) aşağıda verilmektedir.

Tablo 3.36. L_y boyutsuz ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar

Temel fonksiyonlar	Temel fonksiyon no
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.00539538)$	TF1
$\max(0, m - 0.04) * TF1$	TF2
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.316356)$	TF3
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.0156037) * TF3$	TF4
$\max(0, 0.0156037 - Hm_0/L_0) * TF3$	TF5
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.677599) * TF1$	TF6
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.0130031)$	TF8
$\max(0, m - 0.04)$	TF12
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.655308) * TF1$	TF13
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.0156037)$	TF15
$\max(0, 0.0156037 - Hm_0/L_0)$	TF16
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.0104025) * TF12$	TF19
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.00944192) * TF12$	TF21
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.0104025) * TF3$	TF23
$\max(0, m - 0.04) * TF16$	TF25

$$\frac{L_y}{L_0} = 0.197 + 32.026 * TF1 - 40.391 * TF2 - 0.222 * TF3 - 23.815 * TF4 + 13.712 * TF5 + 171.296 * TF6 + 8.152 * TF8 - 147.195 * TF13 + 18.064 * TF15 + 920.098 * TF19 - 1011.84 * TF21 - 15.799 * TF23 - 60.114 * TF25 \quad (3.16)$$

Denklem 3.16 için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri sırasıyla 0.0680 m ve 0.954'tür. Denklem 3.13, 3.14, 3.15 ve 3.16 için elde edilen OKHK ve R^2 değerleri incelendiğinde, L_y için elde edilen en iyi denklem ÇDURE regresyon modelinden elde edilen boyutsuz 3.16 nolu denklemdir.

ÇDURE yöntemiyle, L_y/L_0 'a m , Hm_0/L_0 ve Hm_0/wT_p 'nin etkisi de incelenmiştir. Her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkime oranları Tablo 3.37'de verilmiştir.

Tablo 3.37. Her bir bağımsız değişkenin L_y/L_0 'a etki oranı

Bağımsız değişken	Etki oranı (%)
m	42.96
Hm_0/L_0	57.04
Hm_0/wT_p	0.00

Tablo 3.37 incelendiğinde, dalga dikliğinin, yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliğini, %57.04 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Taban eğimi ise %42.96 oranıyla ikinci değerdir. L_y değerinin büyüklüğüne, boyutsuz çökme hızı parametresinin etki etmediği ettiği belirlenmiştir.

3.1.4.6. L_y İçin YSA Modelleri

Yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliğini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmalarından elde edilen veriler (Tablo 3.31) kullanılarak, boyutlu ve boyutsuz YSA analizleri yapılmıştır. YSA’da eğitim algoritması olarak GYA, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modellerinin eğitim ve doğrulama setleri için hesaplanan OKHK değerleri boyutlu analizler için Tablo 3.38’de boyutsuz analizler için ise Tablo 3.39’da verilmiştir.

Tablo 3.38. L_y boyutlu YSA analizi eğitim ve doğrulama seti için hesaplanan OKHK değerleri

AKES	YSA-GYA		YSA-ÖÖTO		YSA-YAK		YSA-JAYA	
	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)
5	0.0656	0.1019	0.0822	0.0646	0.0785	0.0694	0.1175	0.1016
10	0.0956	0.0711	0.0760	0.0690	0.1070	0.0651	0.1835	0.1512
15	0.0729	0.1080	0.0777	0.0673	0.1049	0.0689	0.1940	0.1799
20	0.0748	0.0664	0.0728	0.0716	0.0764	0.0718	0.2466	0.2284
Not: “AKES” ara katmandaki eleman sayısını göstermektedir. En iyi modele ait hata değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.39. L_y boyutsuz YSA analizi eğitim ve doğrulama seti için hesaplanan OKHK değerleri

AKES	YSA-GYA		YSA-ÖÖTO		YSA-YAK		YSA-JAYA	
	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)	Eğitim (m)	Doğrulama (m)
5	0.1072	0.1227	0.1145	0.0768	0.1135	0.0956	0.1186	0.1136
10	0.1151	0.1303	0.1394	0.1036	0.1184	0.1062	0.1611	0.1368
15	0.1095	0.1226	0.1144	0.0894	0.1064	0.0808	0.1776	0.1642
20	0.1053	0.1126	0.1114	0.0948	0.1245	0.0831	0.1688	0.1945
Not: “AKES” ara katmandaki eleman sayısını göstermektedir. En iyi modele ait hata değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.38'deki değerlere göre, h_{yt} için boyutlu YSA analizi sonucu elde edilen iyi model doğrulama seti için 0.0646 m OKHK değerine sahip ara katmanında 5 eleman bulunduran YSA-TO modelidir. Tablo 3.39 incelendiğinde, h_{yt} için boyutsuz YSA analizi sonucu elde edilen en iyi model doğrulama seti için 0.0808 m OKHK değerine sahip ara katmanında 15 eleman bulunduran YSA-YAK modelidir. L_y için elde edilen en iyi YSA modeli ise, ara katmanında 5 eleman bulunan boyutlu YSA-TO modelidir.

En iyi regresyon denklemi (Denklem 3.16), en iyi literatür denklemi (Denklem 1.4) ve en iyi YSA modelinden deneme seti için elde edilen bulgular Tablo 3.40'da verilmiştir.

Tablo 3.40 L_y deneme seti için elde edilen bulgular

Yöntem			DURE	KRA	YSA-TO
Analiz verileri			Boyutsuz	Boyutlu	Boyutlu
Durum No	Deney No	Deney (m)	Denklem 3.16 (m)	Denklem 1.4 (m)	YSA (m)
1	04	1.2005	1.1874	1.0205	1.2585
2	06	1.2368	1.2455	0.9226	1.2651
3	16	0.8094	0.9005	0.6844	0.7998
4	19	1.2875	1.2675	0.6690	1.2397
5	23	0.8799	0.8574	0.5537	0.8815
6	26	1.8856	1.8494	1.3690	1.7819
7	35	1.4612	1.5355	1.0662	1.5187
8	40	0.9825	1.0891	0.8405	1.0149
9	41	1.7372	1.7776	0.8841	1.7381
10	45	1.3939	1.4974	0.7317	1.4556
11	51	1.7423	1.7219	1.7142	1.7187
12	56	1.2449	1.3030	1.3514	1.2886
13	61	1.7799	1.8492	1.2372	1.6998
14	65	1.8239	1.8844	1.1520	1.8155
15	74	1.5947	1.4649	0.7452	1.5419
16	78	1.3267	1.2908	0.6168	1.3271

3.1.5. Yığılma Bölgesinin Hacmi (V_{yh})

Yığılma bölgesinin hacmini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemler ve YSA bulguları aşağıdaki konu başlıklarıyla verilmiştir.

3.1.5.1. V_{yh} İçin Fiziksel Model Bulguları

İlgili parametre için elde edilen fiziksel model bulguları, Tablo 3.41’de verilmiştir.

Tablo 3.41. V_{yh} için fiziksel model bulguları

Deney No	V_{yh} (m ³ /m)	Deney No	V_{yh} (m ³ /m)	Deney No	V_{yh} (m ³ /m)	Deney No	V_{yh} (m ³ /m)
01	0.0739	21	0.0261	41	0.063	61	0.042
02	0.0606	22	0.0229	42	0.058	62	0.032
03	0.0413	23	0.0169	43	0.049	63	0.027
04	0.0304	24	0.0149	44	0.041	64	0.021
05	0.0361	25	0.08	45	0.03	65	0.042
06	0.0297	26	0.068	46	0.0273	66	0.041
07	0.021	27	0.054	47	0.023	67	0.038
08	0.0191	28	0.048	48	0.0195	68	0.037
09	0.0612	29	0.048	49	0.0715	69	0.039
10	0.0491	30	0.037	50	0.059	70	0.028
11	0.0357	31	0.034	51	0.043	71	0.023
12	0.0289	32	0.03	52	0.042	72	0.021
13	0.031	33	0.074	53	0.04	73	0.035
14	0.026	34	0.061	54	0.037	74	0.033
15	0.0191	35	0.051	55	0.03	75	0.028
16	0.0165	36	0.045	56	0.023	76	0.02
17	0.0521	37	0.036	57	0.063	77	0.026
18	0.047	38	0.03	58	0.043	78	0.021
19	0.0351	39	0.025	59	0.04	79	0.02
20	0.027	40	0.022	60	0.037	80	0.015

Tablo 3.41 incelendiğinde, V_{yh} ’nin 0.01 ile 0.08 m arasında değiştiği ve değerlerin aritmetik ortalamasının ise 0.04 m olduğu görülmektedir.

3.1.5.2. V_{yh} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutlu Modeller

Yığılma bölgesinin hacmini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.41) kullanılarak boyutlu denklemler kurulmuştur. Denklemlerin kurulması için KRA yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları Denklem 2.1, 2.2, 2.3

ve 2.4'te verilen regresyon fonksiyonlarına uygulanmıştır. Elde edilen modeller için hesaplanan OKHK ve determinasyon katsayısı (R^2) değerleri Tablo 3.42'de verilmiştir.

Tablo 3.42. V_{yh} boyutlu regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri

Fonksiyon	KRA		ÖÖTO		YAK		JAYA	
	RMSE (m^3/m)	R^2	RMSE (m^3/m)	R^2	RMSE (m^3/m)	R^2	RMSE (m^3/m)	R^2
Lineer	0.0061	0.847	0.0066	0.796	0.0066	0.813	0.0073	0.742
Hiperbolik	0.0052	0.887	0.0068	0.799	0.0070	0.812	0.0080	0.770
Eksponansiyel	0.0052	0.890	0.0061	0.833	0.0065	0.783	0.0077	0.734
Karesel	0.0034	0.953	0.0047	0.899	0.0052	0.882	0.0066	0.774
Not: En iyi model için OKHK ve R^2 değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.42 incelendiğinde, en büyük R^2 ve en küçük OKHK değerini veren fonksiyon türünün karesel fonksiyon, yöntemin ise KRA olduğu görülmüştür. Bu nedenle sadece KRA ve karesel fonksiyon için elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 V_{yh} = & 85.131 + 0.740 * m - 93.233 * T_p - 2.372 * H_{mo} - 113.749 * d_{50} + 0.160 * m * T_p \\
 & + 2.505 * m * H_{mo} - 204.932 * m * d_{50} + 0.626 * T_p * H_{mo} + 79.660 * T_p * d_{50} \\
 & + 1574.490 * H_{mo} * d_{50} - 8.449 * m^2 + 24.853 * T_p^2 + 11.158 * H_{mo}^2 - 51276.647 * d_{50}^2
 \end{aligned} \quad (3.17)$$

3.1.5.3. V_{yh} İçin KRA Yöntemi, YAK, ÖÖTO ve JAYA Algoritmaları ile Kurulan Boyutsuz Modeller

Yığılma bölgesinin hacmini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları kullanılarak boyutsuz denklemler kurulmuştur. Boyutsuz analizlerde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişken için $V_{yh}/(L_0)^2$, bağımsız değişkenler için ise m , H_{m0}/L_0 ve H_{m0}/wT_p 'dir.

KRA yönteminin, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmalarının Denklem 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4'te verilen regresyon fonksiyonlarına uygulanması sonucu elde edilen boyutsuz modeller için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri Tablo 3.43'te verilmiştir.

Tablo 3.43. V_{yh} boyutsuz regresyon denklemleri için OKHK ve R^2 değerleri

Fonksiyon	KRA		ÖÖTO		YAK		JAYA	
	OKHK (m ³ /m)	R ²	OKHK (m ³ /m)	R ²	OKHK (m ³ /m)	R ²	OKHK (m ³ /m)	R ²
Lineer	0.0061	0.850	0.0084	0.757	0.0067	0.802	0.0065	0.820
Hiperbolik	0.0058	0.850	0.0074	0.790	0.0077	0.771	0.0106	0.635
Eksponansiyel	0.0062	0.837	0.0066	0.804	0.0070	0.786	0.0088	0.745
Karesel	0.0041	0.926	0.0051	0.926	0.0061	0.844	0.0075	0.771
Not: En iyi model için OKHK ve R^2 değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.43'deki değerlere göre, en büyük R^2 ve en küçük OKHK değerini veren fonksiyon türünün karesel fonksiyon, yöntemin ise klasik regresyon analizi olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle sadece klasik regresyon analizi ve karesel fonksiyon için elde edilen boyutsuz denklem aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{V_{yh}}{L_0^2} = & -0.001 + 0.037 * m + 0.205 * \frac{H_0}{L_0} - 0.001 * \frac{H_0}{w.T} - 0.886 * m * \frac{H_0}{L_0} + 0.003 * m * \frac{H_0}{w.T} \\ & - 0.085 * \frac{H_0}{L_0} * \frac{H_0}{w.T} - 0.239 * m^2 + 3.958 * \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^2 + 0.001 * \left(\frac{H_0}{w.T} \right)^2 \end{aligned} \quad (3.18)$$

3.1.5.4. V_{yh} İçin Boyutlu ÇDURE Modeli

Yığılma bölgesinin hacmini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.41) kullanılarak, ÇDURE modeli kurulmuştur. Modelde, bağımlı değişken için V_{yh} , bağımsız değişkenler için ise m , T_p , H_{m0} ve d_{50} kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin önemliliklerini dikkate alarak oluşturulan temel fonksiyonlar ve temel fonksiyonları kullanarak oluşturulan sonuç modeli aşağıda verilmektedir.

Tablo 3.44. V_{yh} boyutlu ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar

Temel fonksiyonlar	Temel fonksiyon no
$\max(0, T_p - 1.57)$	TF1
$\max(0, Hm_0 - 0.04)$	TF2
$\max(0, d_{50} - 0.00018)$	TF3
$\max(0, m - 0.067) * TF1$	TF4
$\max(0, 0.067 - m) * TF1$	TF5
$\max(0, Hm_0 - 0.04) * TF1$	TF6
$\max(0, m - 0.067)$	TF7
$\max(0, d_{50} - 0.00018) * TF1$	TF9
$\max(0, Hm_0 - 0.05)$	TF10
$\max(0, d_{50} - 0.00018) * TF10$	TF12
$\max(0, m - 0.04) * TF2$	TF13
$\max(0, m - 0.04) * TF3$	TF14

$$V_{yh} = 0.018 + 0.026 * TF1 + 0.180 * TF2 + 44.879 * TF3 - 0.243 * TF4 - 0.667 * TF5 + 0.659 * TF6 - 0.227 * TF7 + 63.552 * TF9 + 2561.41 * TF12 + 2.563 * TF13 - 225.148 * TF14 \quad (3.19)$$

Denklem 3.19 için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri sırasıyla $0.0028 \text{ m}^3/\text{m}$ ve 0.968 'dir.

ÇDURE yöntemiyle, V_{yh} 'ye m , T_p , Hm_0 ve d_{50} 'nin etkisi de incelenmiştir. Her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkime oranları Tablo 3.45'te verilmiştir.

Tablo 3.45. Her bir bağımsız değişkenin V_{yh} 'ye etki oranı

Bağımsız değişken	Etki oranı (%)
m	5.77
T_p (s)	41.56
Hm_0 (m)	33.02
d_{50} (m)	19.65

Tablo 3.45 incelendiğinde, dalga periyodunun, yığılma bölgesinin hacmini, %41.56 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Dalga yüksekliği ise %33.02 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, V_{yh} değerini, %74.58 gibi bir değerle temsil ettiği görülmektedir. V_{yh} değerinin büyüklüğüne, dane çapının %19.65 ve taban eğiminin ise %5.77 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

3.1.5.5. V_{yh} İçin Boyutsuz ÇDURE Modeli

Yığılma bölgesinin hacmini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.41) kullanılarak, boyutsuz ÇDURE modeli kurulmuştur. Boyutsuz analizlerde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişken için $V_{yh}/(L_0)^2$, bağımsız değişkenler için ise m , Hm_0/L_0 ve Hm_0/wT_p 'dir. Bağımsız değişkenlerin önemliliklerini dikkate alarak oluşturulan temel fonksiyonlar ve temel fonksiyonları kullanarak oluşturulan regresyon denklemi aşağıda verilmektedir.

Tablo 3.46. V_{yh} boyutsuz ÇDURE modeli için temel fonksiyonlar

Temel fonksiyonlar	Temel fonksiyon no
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.00539538)$	TF1
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.316356)$	TF2
$\max(0, m - 0.067)$	TF5
$\max(0, 0.067 - m)$	TF6
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.0156037) * TF2$	TF7
$\max(0, 0.0156037 - Hm_0/L_0) * TF2$	TF8
$\max(0, m - 0.067) * TF2$	TF9
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.727934) * TF6$	TF11
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.0130031)$	TF13
$\max(0, 0.0130031 - Hm_0/L_0);$	TF14
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.727934) * TF14$	TF15
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.677599) * TF1$	TF17
$\max(0, Hm_0/L_0 - 0.00674423)$	TF19
$\max(0, 0.00674423 - Hm_0/L_0);$	TF20
$\max(0, m - 0.04) * TF20;$	TF21
$\max(0, Hm_0/wT_p - 0.316356) * TF20$	TF22
$\max(0, m - 0.04) * TF14$	TF23

$$\begin{aligned} \frac{V_{yh}}{L_0^2} = & 0.0007 - 0.004 * TF2 - 0.019 * TF5 - 0.277 * TF7 + 0.396 * TF8 \\ & + 0.012 * TF9 + 0.023 * TF11 + 0.038 * TF13 - 0.179 * TF15 + 0.238 * TF17 \\ & + 0.328 * TF19 - 5.561 * TF21 - 0.496 * TF22 + 1.856 * TF23 \end{aligned} \quad (3.20)$$

Denklem 3.20 için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri sırasıyla $0.0033 \text{ m}^3/\text{m}$ ve 0.956 'dır. Denklem 3.17, 3.18, 3.19 ve 3.20 için hesaplanan OKHK ve R^2 değerleri incelendiğinde, V_{yh} için elde edilen en iyi denklem ÇDURE regresyon modelinden elde edilen boyutlu 3.19 nolu denklemdir.

ÇDURE yöntemiyle, $V_{yh}/(L_0)^2$ 'ye m , Hm_0/L_0 ve Hm_0/wT_p 'nin etkisi de incelenmiştir. Her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkime oranları Tablo 3.47'de verilmiştir.

Tablo 3.47. Her bir bağımsız değişkenin $V_{yh}/(L_0)^2$ 'a etki oranı

Bağımsız değişken	Etki oranı (%)
m	17.36
Hm_0/L_0	72.71
Hm_0/wT_p	9.93

Tablo 3.47 incelendiğinde, dalga dikliğinin, yığılma bölgesinin hacmine, %72.71 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Taban eğimi ise %17.36 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, $V_{yh}/(L_0)^2$ değerini %90.07 gibi bir oranla temsil ettikleri görülmektedir. $V_{yh}/(L_0)^2$ değerinin büyüklüğüne, boyutsuz çökme hızı parametresinin %9.91 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

3.1.5.6. V_{yh} İçin YSA Modelleri

Yığılma bölgesinin hacmini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmalarından elde edilen veriler (Tablo 3.41) kullanılarak, boyutlu ve boyutsuz YSA analizleri yapılmıştır. Yapay sinir ağlarında eğitim algoritması olarak GYA, YAK, ÖÖTO ve JAYA algoritmaları kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modellerinin eğitim ve doğrulama setleri için hesaplanan OKHK değerleri boyutlu analizler için Tablo 3.48'de boyutsuz analizler için ise Tablo 3.49'da verilmiştir.

Tablo 3.48. V_{yh} boyutlu YSA analizi eğitim ve doğrulama seti için hesaplanan OKHK değerleri

AKES	YSA-GYA		YSA-ÖÖTO		YSA-YAK		YSA-JAYA	
	Eğitim (m^3/m)	Doğrulama (m^3/m)	Eğitim (m^3/m)	Doğrulama (m^3/m)	Eğitim (m^3/m)	Doğrulama (m^3/m)	Eğitim (m^3/m)	Doğrulama (m^3/m)
5	0.0028	0.0032	0.0054	0.0039	0.0050	0.0042	0.0074	0.0072
10	0.0036	0.0040	0.0036	0.0038	0.0045	0.0038	0.0091	0.0074
15	0.0025	0.0027	0.0060	0.0043	0.0053	0.0039	0.0096	0.0078
20	0.0031	0.0032	0.0049	0.0038	0.0062	0.0036	0.0096	0.0094
Not:	“AKES” ara katmandaki eleman sayısını göstermektedir. En iyi modele ait hata değerleri koyu yazılmıştır.							

Tablo 3.49. V_{yh} boyutsuz YSA analizi eğitim ve doğrulama seti için hesaplanan OKHK değerleri

AKES	YSA-GYA		YSA-ÖÖTO		YSA-YAK		YSA-JAYA	
	Eğitim (m ³ /m)	Doğrulama (m ³ /m)	Eğitim (m ³ /m)	Doğrulama (m ³ /m)	Eğitim (m ³ /m)	Doğrulama (m ³ /m)	Eğitim (m ³ /m)	Doğrulama (m ³ /m)
5	0.0042	0.0048	0.0044	0.0048	0.0053	0.0048	0.0069	0.0067
10	0.0052	0.0044	0.0055	0.0061	0.0053	0.0055	0.0061	0.0075
15	0.0041	0.0041	0.0053	0.0057	0.0047	0.0053	0.0105	0.0103
20	0.0052	0.0064	0.0066	0.0072	0.0046	0.0049	0.0095	0.0136
Not: “AKES” ara katmandaki eleman sayısını göstermektedir. En iyi modele ait hata değerleri koyu yazılmıştır.								

Tablo 3.48’deki değerlere göre, V_{yh} için boyutlu YSA analizi sonucu elde edilen iyi model doğrulama seti için 0.0027 m³/m OKHK değerine sahip ara katmanında 15 eleman bulunduran YSA-GYA modelidir. Tablo 3.49 incelendiğinde, V_{yh} için boyutsuz YSA analizi sonucu elde edilen en iyi model doğrulama seti için 0.0041 m OKHK değerine sahip ara katmanında 15 eleman bulunduran YSA-GYA modelidir. V_{yh} için elde edilen en iyi YSA modeli ise, ara katmanında 15 eleman bulunan boyutlu YSA-GYA modelidir.

En iyi regresyon denklemi (Denklem 3.19), en iyi literatür denklemi (Denklem 1.5) ve en iyi YSA modelinden deneme seti için elde edilen bulgular Tablo 3.50’de verilmiştir.

Tablo 3.50. V_{yh} deneme seti için elde edilen bulgular

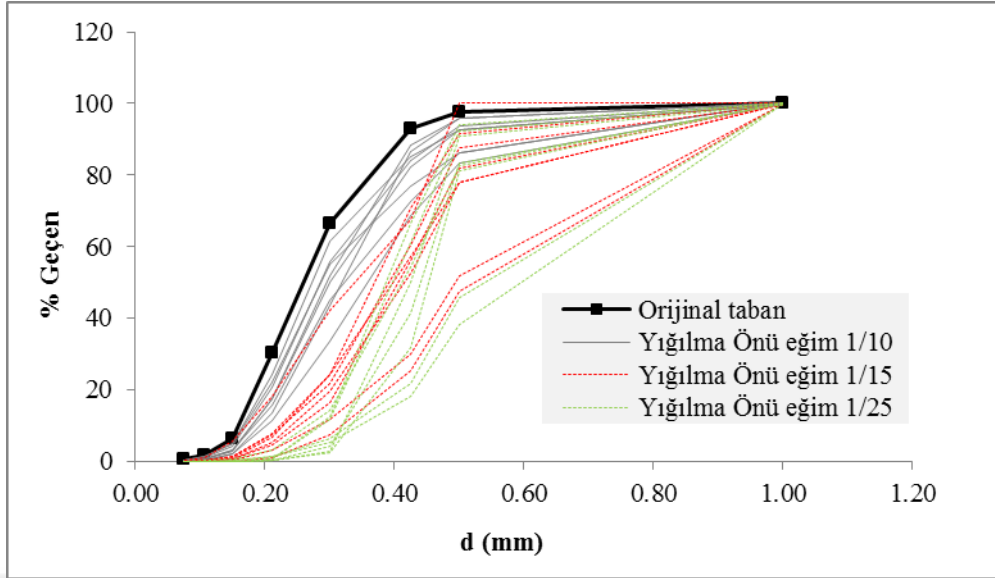
Yöntem			ÇDURE	KRA	YSA-GYA
Analiz verileri			Boyutlu	Boyutlu	Boyutlu
Durum No	Deney No	Deney (m^3/m)	Denklemler 3.19 (m^3/m)	Denklemler 1.5 (m^3/m)	YSA (m^3/m)
1	04	0.0304	0.0366	0.0452	0.8878
2	06	0.0297	0.0297	0.0358	0.8389
3	16	0.0165	0.0152	0.0186	0.6741
4	19	0.0351	0.0342	0.0193	1.1005
5	23	0.0169	0.0164	0.0123	0.818
6	26	0.068	0.0693	0.0592	1.2741
7	35	0.051	0.0517	0.0347	1.1183
8	40	0.022	0.0239	0.0195	0.8796
9	41	0.063	0.0634	0.0244	1.8164
10	45	0.03	0.0327	0.0155	1.5617
11	51	0.043	0.0468	0.0569	1.2172
12	56	0.023	0.0279	0.0320	1.0664
13	61	0.042	0.0378	0.0281	1.6576
14	65	0.042	0.0508	0.0259	2.1077
15	74	0.033	0.0342	0.0104	1.8599
16	78	0.021	0.0216	0.0066	1.6408

3.2. Yığılma Bölgesi Granülometrik Değişimi İçin Elde Edilen Bulgular

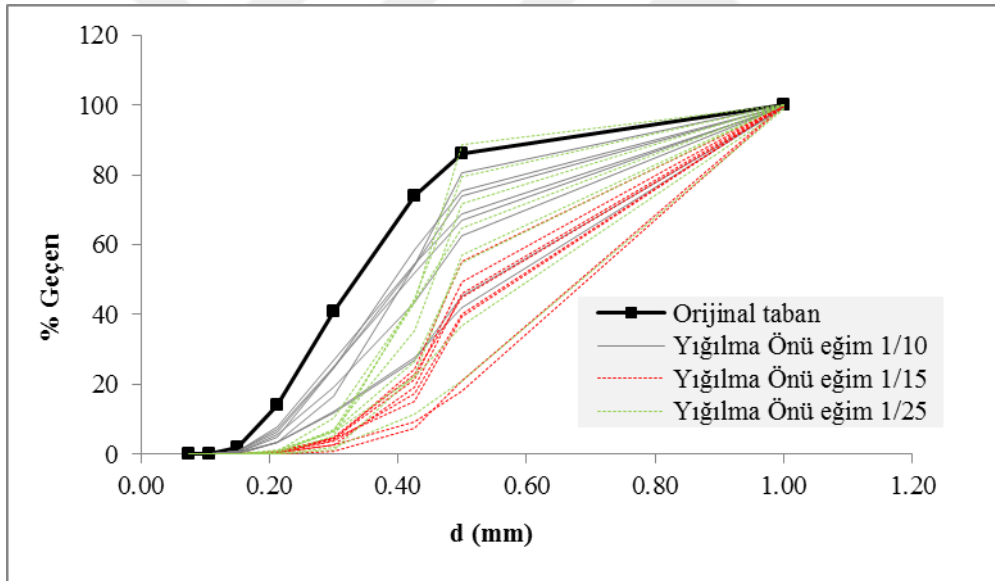
Yığılma bölgesinin granülometrik değişimini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmalarından elde edilen bulgular aşağıdaki konu başlıklarıyla sunulmaktadır.

3.2.1. Yığılma Bölgesi Önü (Kıyıya Doğru Olan Kısım) için Fiziksel Model Bulguları

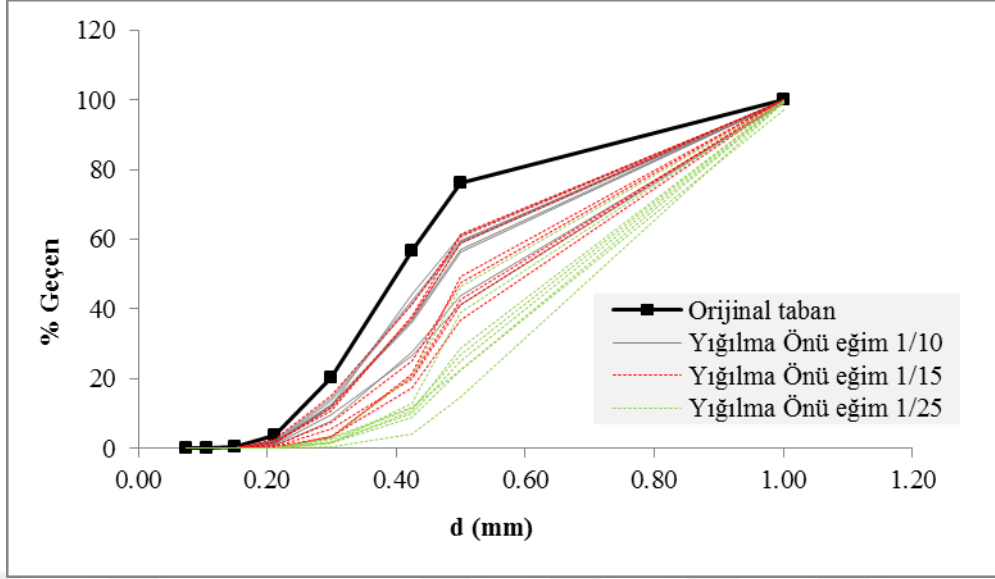
Üç farklı taban granülometrisine (medyan çapları; 0.26, 0.33 ve 0.40 mm olan üç farklı malzeme) sahip kıyı durumu için, yığılma bölgesi ön kısmının granülometrisindeki değişimler Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3'te verilmiştir. Granülometrik değişimler aynı dalga şartlarında fakat farklı eğimlerde gözlenmiştir.



Şekil 3.1. 0.26 mm için yığılma bölgesi ön kısmının granülometrik değişimi



Şekil 3.2. 0.33 mm için yığılma bölgesi ön kısmının granülometrik değişimi



Şekil 3.3. 0.40 mm için yığılma bölgesi ön kısmının granülometrik değişimi

Yığılma bölgesinin kıyıya doğru olan kısmındaki granülometrik değişimler için hesaplanan ortalama d_{50} ve standart sapma değerleri sırasıyla Tablo 3.51 ve 3.52'de sunulmaktadır.

Tablo 3.51. Yığılma bölgesi önü için elde edilen d_{50} değerleri

Eğim	Başlangıç profili	Denge profili		
	d_{50} (mm)	Minimum d_{50} (mm)	Ortalama d_{50} (mm)	Maksimum d_{50} (mm)
1/10	0.26	0.27	0.30	0.35
	0.33	0.39	0.44	0.55
	0.40	0.44	0.48	0.55
1/15	0.26	0.36	0.43	0.52
	0.33	0.49	0.56	0.66
	0.40	0.46	0.51	0.58
1/25	0.26	0.39	0.46	0.57
	0.33	0.44	0.50	0.65
	0.40	0.52	0.62	0.67

Tablo 3.51'deki verilere göre, dengeye ulaşmış yığılma profilinin ön kısmındaki ortalama d_{50} değerleri, 0.26 mm medyan çaplı kum için 0.30-0.46 mm arasında, 0.33 mm için 0.44-0.56 arasında ve 0.40 mm için ise 0.48-0.62 mm arasında değişmektedir.

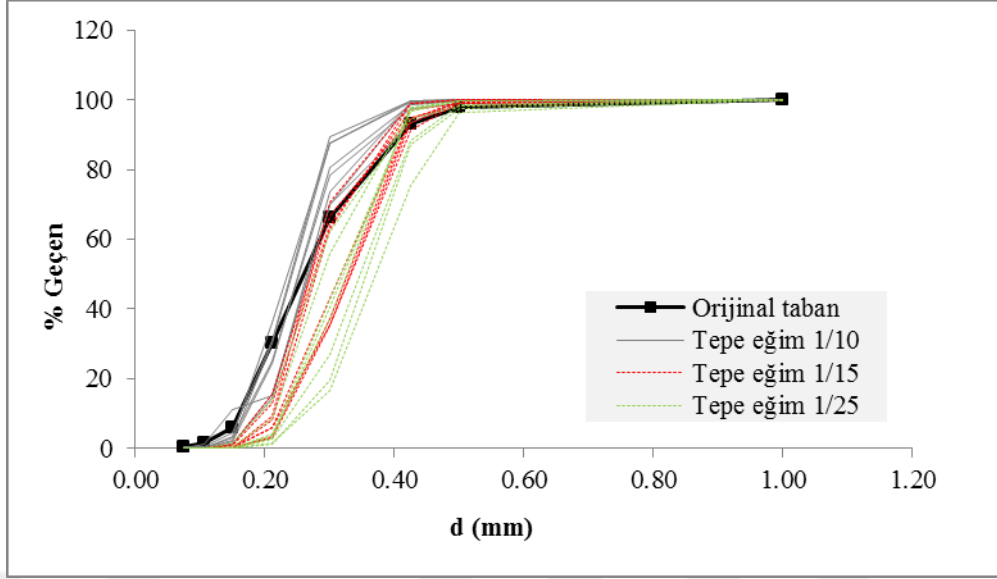
Tablo 3.52. Yığılma bölgesi önü için hesaplanan standart sapma değerleri

Eğim	d ₅₀ (mm)	Minimum (mm)	Ortalama (mm)	Maksimum (mm)	Sınıflanma
1/10	0.26	0.100	0.135	0.168	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.161	0.213	0.234	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.195	0.218	0.229	Çok iyi sınıflanmış
1/15	0.26	0.128	0.181	0.224	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.189	0.199	0.209	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.199	0.210	0.220	Çok iyi sınıflanmış
1/25	0.26	0.088	0.140	0.214	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.111	0.182	0.225	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.174	0.196	0.203	Çok iyi sınıflanmış

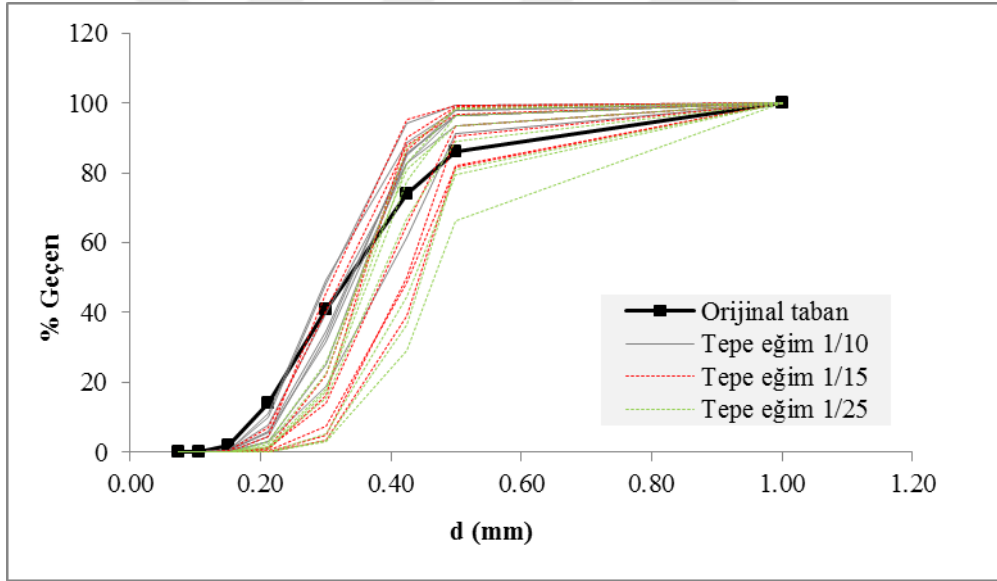
Tablo 3.52'deki verilere göre, ortalama standart sapma değerleri, 0.26 mm medyan çaplı kum için 0.135-0.181 mm arasında, 0.33 mm için 0.182-0.213 mm arasında ve 0.40 mm için ise 0.196-0.218 mm arasında değiştiği gözlenmiştir.

3.2.2. Yığılma Bölgesi Tepe Kısmı İçin Fiziksel Model Bulguları

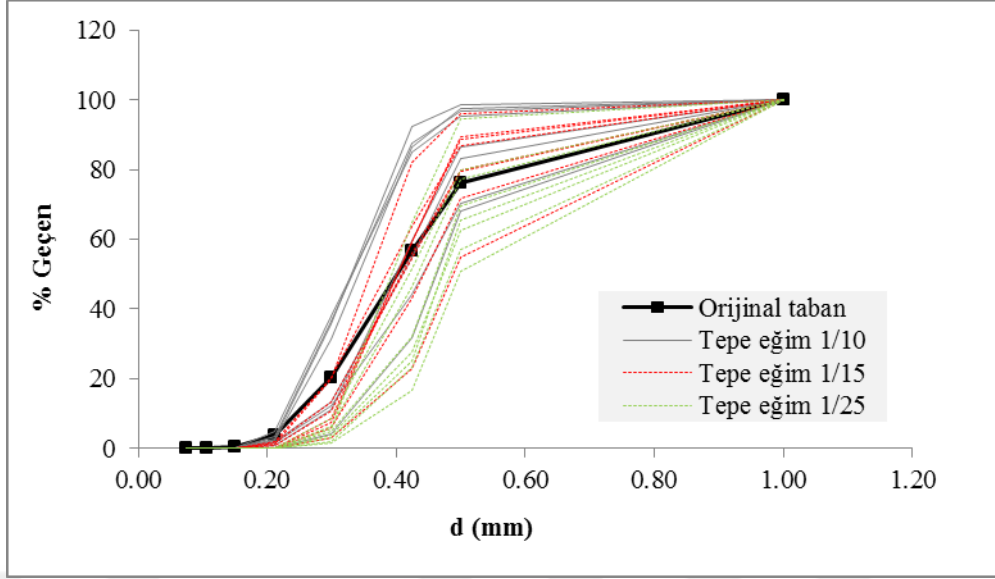
Üç farklı taban granülometrisine (medyan çapları; 0.26, 0.33 ve 0.40 mm olan üç farklı malzeme) sahip kıyı durumu için, yığılma bölgesi tepe kısmının granülometrisindeki değişimler Şekil 3.4, 3.5 ve 3.6'da verilmiştir. Granülometrik değişimler aynı dalga şartlarında fakat farklı eğimlerde gözlenmiştir.



Şekil 3.4. 0.26 mm için yığılma bölgesi tepe kısmının granülometrik değişimi



Şekil 3.5. 0.33 mm için yığılma bölgesi tepe kısmının granülometrik değişimi



Şekil 3.6. 0.40 mm için yığılma bölgesi tepe kısmının granülometrik

Yığılma bölgesinin tepe kısmındaki granülometrik değişimler için hesaplanan ortalama d_{50} ve standart sapma değerleri sırasıyla Tablo 3.53 ve 3.54’te sunulmaktadır.

Tablo 3.53. Yığılma bölgesi tepesi için elde edilen d_{50} değerleri

Eğim	Başlangıç profili	Denge profili		
	d_{50} (mm)	Minimum d_{50} (mm)	Ortalama d_{50} (mm)	Maksimum d_{50} (mm)
1/10	0.26	0.23	0.25	0.26
	0.33	0.30	0.31	0.39
	0.40	0.33	0.38	0.46
1/15	0.26	0.27	0.30	0.33
	0.33	0.31	0.38	0.44
	0.40	0.35	0.41	0.49
1/25	0.26	0.27	0.32	0.37
	0.33	0.32	0.38	0.47
	0.40	0.39	0.45	0.50

Tablo 3.53’ deki verilere göre, dengeye ulaşmış yığılma profilinin, tepe kısmındaki ortalama d_{50} değerleri 0.26 mm medyan çaplı kum için 0.30-0.46 mm arasında, 0.33 mm için 0.44-0.56 mm arasında ve 0.40 mm için ise 0.48-0.62 mm arasında değişmektedir.

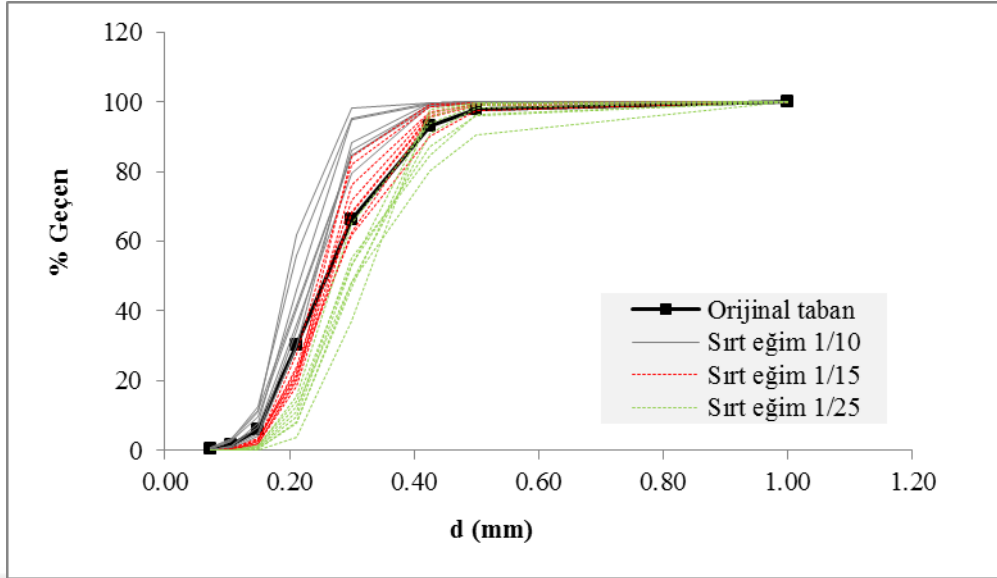
Tablo 3.54. Yığılma bölgesi tepesi için hesaplanan standart sapma değerleri

Eğim	d ₅₀ (mm)	Minimum (mm)	Ortalama (mm)	Maksimum (mm)	Sınıflanma
1/10	0.26	0.061	0.071	0.088	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.079	0.093	0.114	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.040	0.111	0.193	Çok iyi sınıflanmış
1/15	0.26	0.067	0.075	0.082	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.064	0.096	0.144	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.077	0.141	0.194	Çok iyi sınıflanmış
1/25	0.26	0.068	0.074	0.079	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.070	0.104	0.179	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.075	0.163	0.190	Çok iyi sınıflanmış

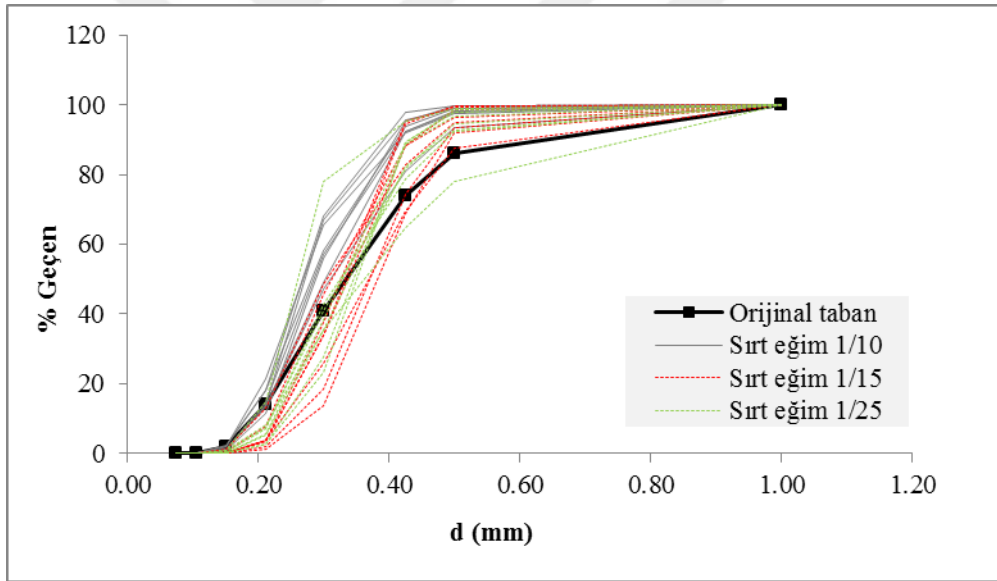
Tablo 3.54'deki verilere göre, ortalama standart sapma değerleri, 0.26 mm medyan çaplı kum için 0.071-0.075 mm arasında, 0.33 mm için 0.093-0.104 mm arasında ve 0.40 mm için ise 0.111-0.163 mm arasında değiştiği gözlenmiştir.

3.2.3. Yığılma Bölgesi Sırt Kısmı İçin Fiziksel Model Bulguları

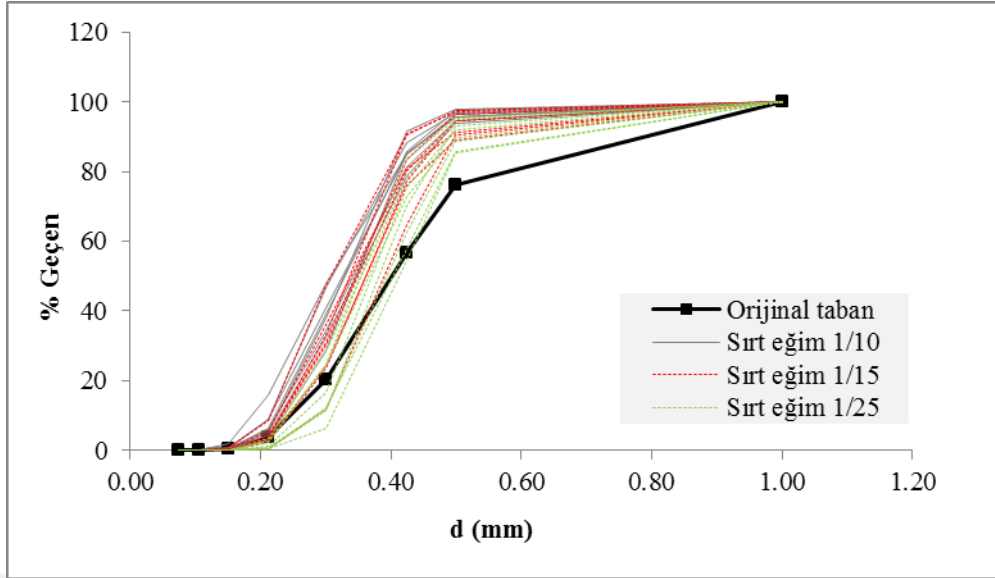
Üç farklı taban granülometrisine (medyan çapları; 0.26, 0.33 ve 0.40 mm olan üç farklı malzeme) sahip kıyı durumu için, yığılma bölgesi sırt kısmının granülometrisindeki değişimler Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9'da verilmiştir. Granülometrik değişimler aynı dalga şartlarında fakat farklı eğimlerde gözlenmiştir.



Şekil 3.7. 0.26 mm için yığılma bölgesi sırt kısmının granülometrik değişimi



Şekil 3.8. 0.33 mm için yığılma bölgesi sırt kısmının granülometrik değişimi



Şekil 3.9. 0.40 mm için yığılma bölgesi sırt kısmının granülometrik değişimi

Yığılma bölgesinin sırt kısmındaki granülometrik değişimler için hesaplanan ortalama d_{50} ve standart sapma değerleri sırasıyla Tablo 3.55 ve 3.56'da sunulmaktadır.

Tablo 3.55. Yığılma bölgesi sırt kısmı için elde edilen d_{50} değerleri

Eğim	Başlangıç profili	Denge profili		
	d_{50} (mm)	Minimum d_{50} (mm)	Ortalama d_{50} (mm)	Maksimum d_{50} (mm)
1/10	0.26	0.20	0.23	0.24
	0.33	0.26	0.28	0.31
	0.40	0.31	0.33	0.34
1/15	0.26	0.24	0.26	0.27
	0.33	0.30	0.34	0.38
	0.40	0.31	0.35	0.39
1/25	0.26	0.27	0.29	0.31
	0.33	0.26	0.33	0.36
	0.40	0.35	0.38	0.41

Tablo 3.55'deki verilere göre, dengeye ulaşmış yığılma profilinin sırt kısmındaki ortalama d_{50} değerleri 0.26 mm medyan çaplı kum için 0.23-0.29 mm arasında, 0.33 mm için 0.28-0.34 mm arasında ve 0.40 mm için ise 0.33-0.38 mm arasında değişmektedir.

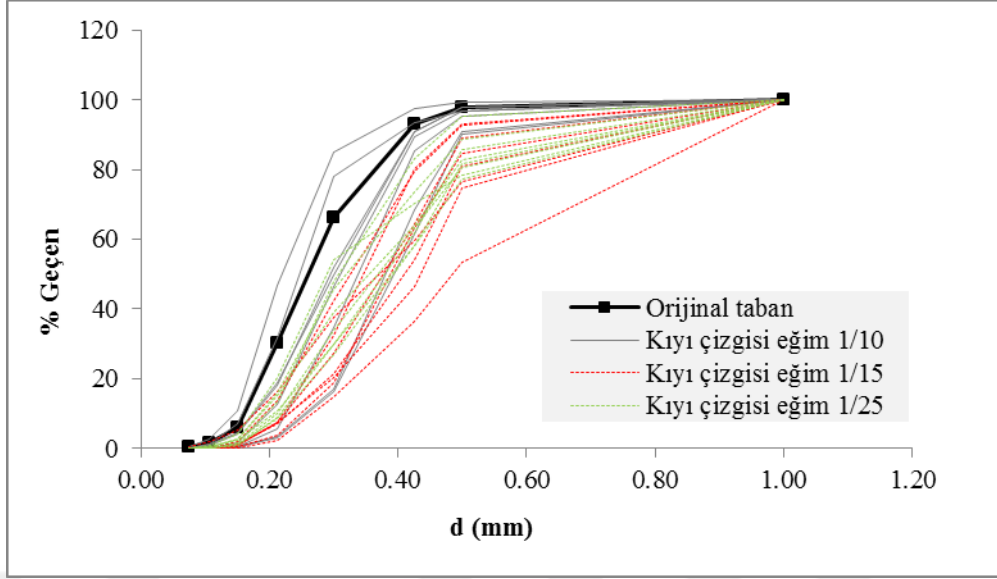
Tablo 3.56. Yığılma bölgesi sırt kısmı için hesaplanan standart sapma değerleri

Eğim	d ₅₀ (mm)	Minimum (mm)	Ortalama (mm)	Maksimum (mm)	Sınıflanma
1/10	0.26	0.051	0.066	0.081	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.078	0.090	0.120	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.079	0.093	0.107	Çok iyi sınıflanmış
1/15	0.26	0.062	0.080	0.098	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.072	0.095	0.137	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.078	0.100	0.130	Çok iyi sınıflanmış
1/25	0.26	0.072	0.091	0.138	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.070	0.106	0.198	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.085	0.110	0.129	Çok iyi sınıflanmış

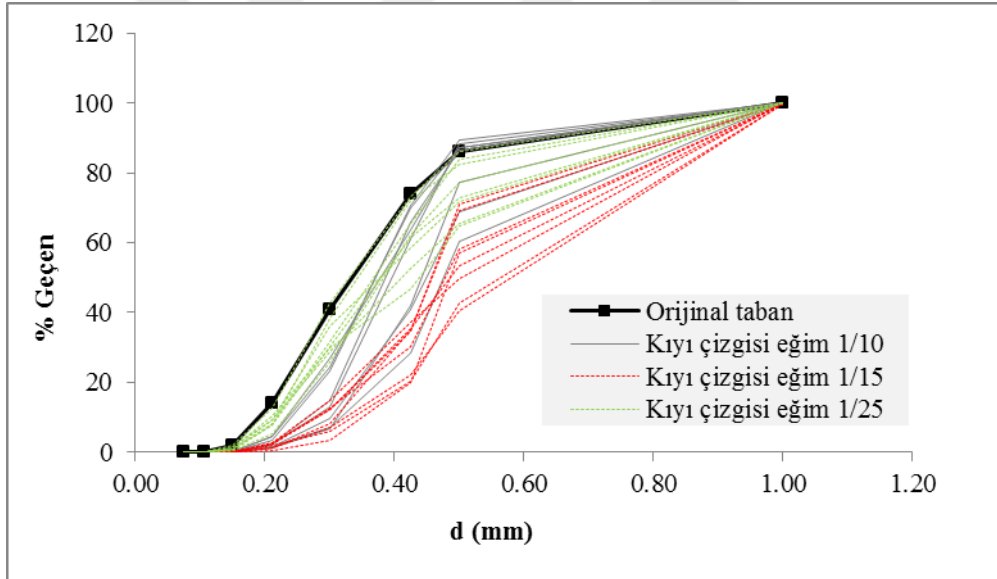
Tablo 3.56'daki verilere göre, ortalama standart sapma değerleri, 0.26 mm medyan çaplı kum için 0.066-0.091 mm arasında, 0.33 mm için 0.90-0.106 mm arasında ve 0.40 mm için ise 0.066-0.091 mm arasında değiştiği gözlenmiştir.

3.2.4. Kıyı Çizgisi İçin Fiziksel Model Bulguları

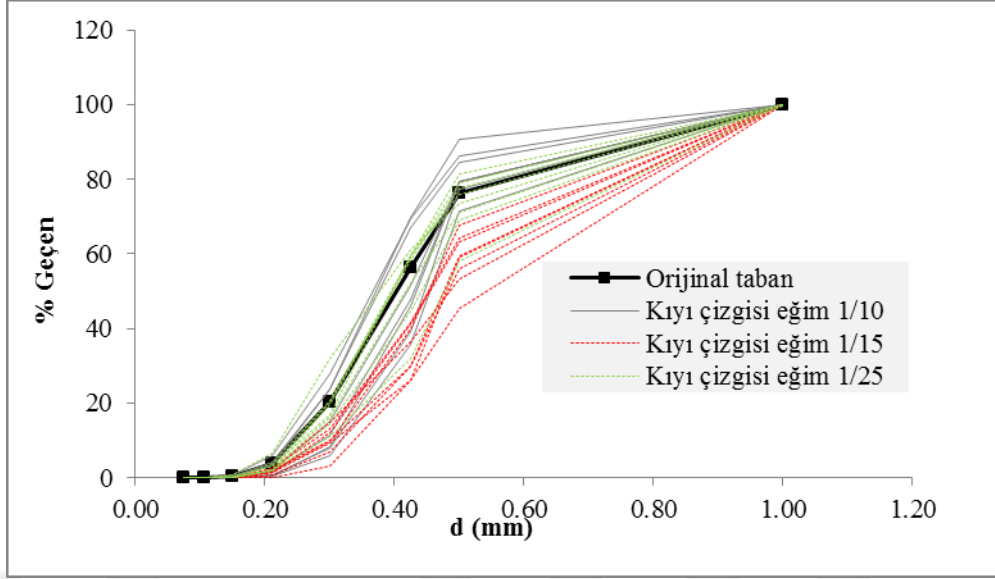
Üç farklı taban granülometrisine (medyan çapları; 0.26, 0.33 ve 0.40 mm olan üç farklı malzeme) sahip kıyı durumu için, kıyı çizgisindeki granülometrisindeki değişimler Şekil 3.10, 3.11 ve 3.12'de verilmiştir. Granülometrik değişimler aynı dalga şartlarında fakat farklı eğimlerde gözlenmiştir.



Şekil 3.10. 0.26 mm için kıyı çizgisi granülometrik değişimi



Şekil 3.11. 0.33 mm için kıyı çizgisi granülometrik değişimi



Şekil 3.12. 0.40 mm için kıyı çizgisi granülometrik değişimi

Kıy çizgisindeki granülometrik değişimler için hesaplanan ortalama d_{50} ve standart sapma değerleri sırasıyla Tablo 3.57 ve 3.58’de sunulmaktadır.

Tablo 3.57. Kıyı çizgisi için elde edilen d_{50} değerleri

Eğim	Başlangıç profili	Denge profili		
	d_{50} (mm)	Minimum d_{50} (mm)	Ortalama d_{50} (mm)	Maksimum d_{50} (mm)
1/10	0.26	0.22	0.31	0.39
	0.33	0.37	0.41	0.47
	0.40	0.36	0.44	0.66
1/15	0.26	0.32	0.39	0.48
	0.33	0.46	0.50	0.56
	0.40	0.45	0.47	0.53
1/25	0.26	0.29	0.35	0.39
	0.33	0.33	0.38	0.44
	0.40	0.37	0.41	0.48

Tablo 3.57’deki verilere göre, dengeye ulaşmış yığılma profilinin, kıyı çizgisindeki ortalama d_{50} değerleri 0.26 mm medyan çaplı kum için 0.31-0.39 mm arasında, 0.33 mm için 0.41-0.50 mm arasında ve 0.40 mm için ise 0.41-0.47 mm arasında değişmektedir.

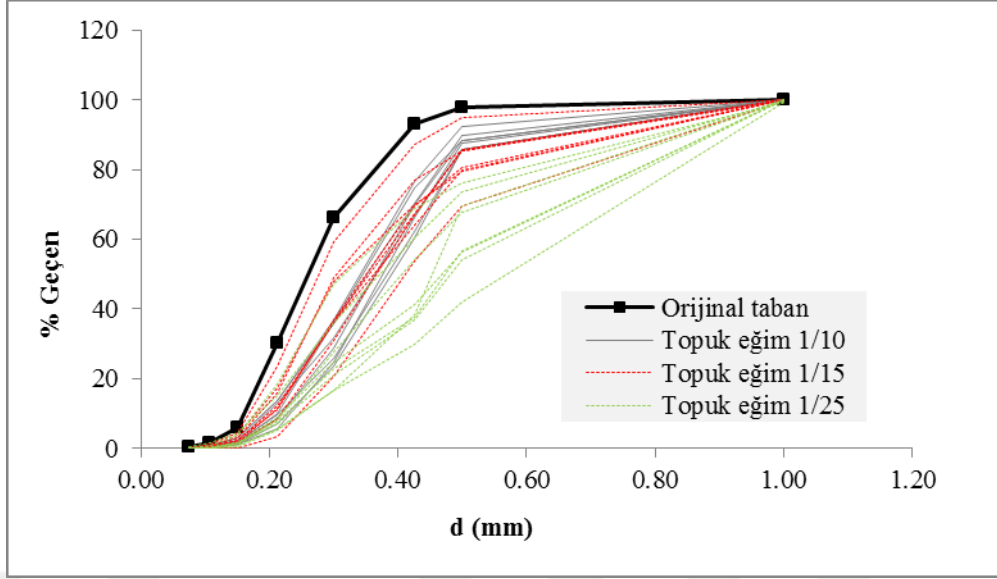
Tablo 3.58. Kıyı çizgisi için hesaplanan standart sapma değerleri

Eğim	d ₅₀ (mm)	Minimum (mm)	Ortalama (mm)	Maksimum (mm)	Sınıflanma
1/10	0.26	0.077	0.099	0.119	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.124	0.153	0.203	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.124	0.155	0.178	Çok iyi sınıflanmış
1/15	0.26	0.116	0.169	0.226	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.187	0.209	0.229	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.192	0.210	0.226	Çok iyi sınıflanmış
1/25	0.26	0.103	0.170	0.209	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.160	0.197	0.237	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.162	0.190	0.216	Çok iyi sınıflanmış

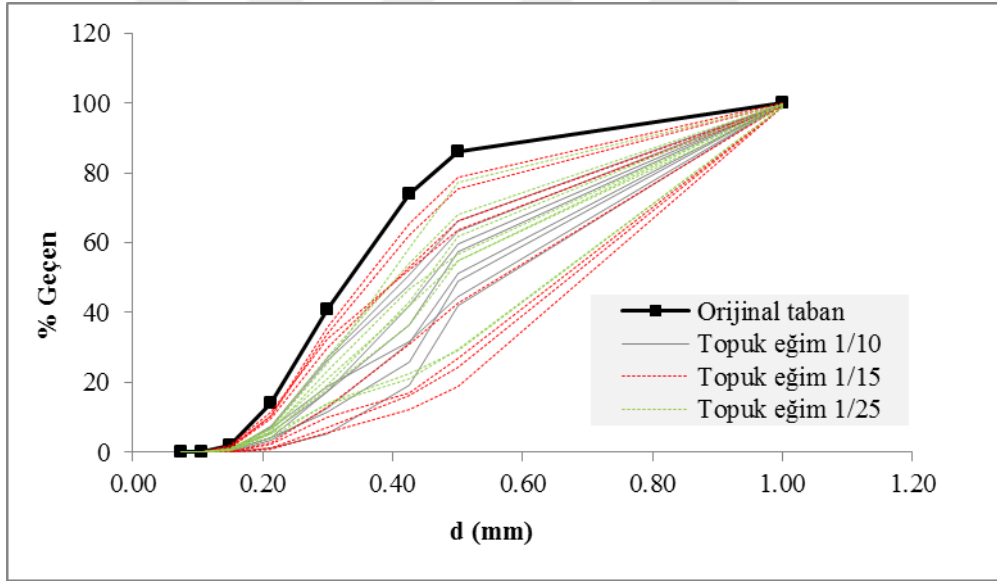
Tablo 3.58'deki verilere göre, ortalama standart sapma değerleri, 0.26 mm medyan çaplı kum için 0.099-0.170 mm arasında, 0.33 mm için 0.153-0.209 mm arasında ve 0.40 mm için ise 0.155-0.210 mm arasında değiştiği gözlenmiştir.

3.2.5. Yığılma Bölgesi Topuk Kısmı İçin Fiziksel Model Bulguları

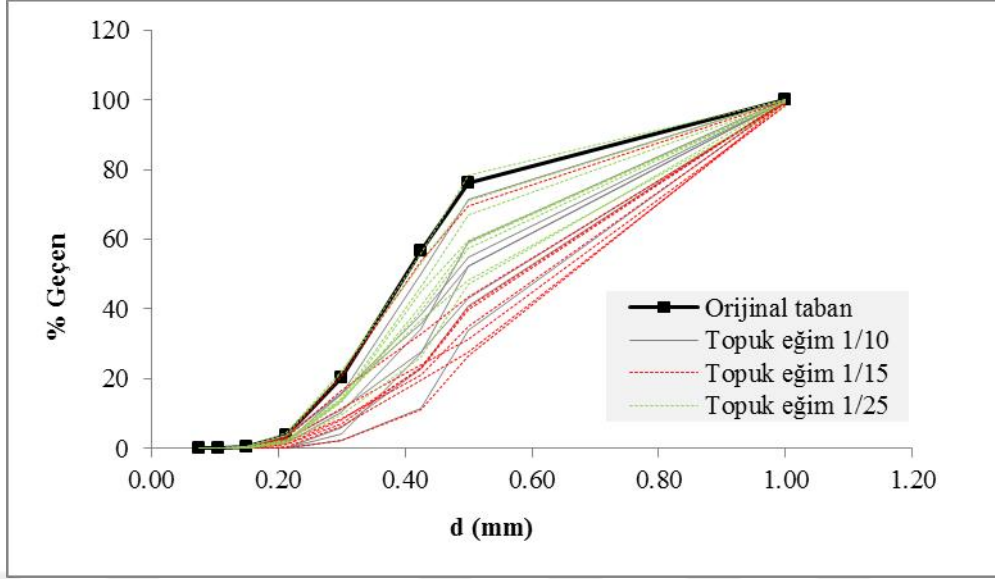
Üç farklı taban granülometrisine (medyan çapları; 0.26, 0.33 ve 0.40 mm olan üç farklı malzeme) sahip kıyı durumu için, yığılma bölgesi topuk kısmının granülometrisindeki değişimler Şekil 3.13, 3.14 ve 3.15'te verilmiştir. Granülometrik değişimler aynı dalga şartlarında fakat farklı eğimlerde gözlenmiştir.



Şekil 3.13. 0.26 mm için topuk kısmı granülometrik değişimi



Şekil 3.14. 0.33 mm için topuk kısmı granülometrik değişimi



Şekil 3.15. 0.40 mm için topuk kısmı granülometrik değişimi

Yığılma bölgesinin topuk kısmındaki granülometrik değişimler için hesaplanan ortalama d_{50} ve standart sapma ve değerleri sırasıyla Tablo 3.59 ve 3.60'da sunulmaktadır.

Tablo 3.59. Yığılma bölgesi topuk kısmı için elde edilen d_{50} değerleri

Eğim	Başlangıç profili	Denge profili		
	d_{50} (mm)	Minimum d_{50} (mm)	Ortalama d_{50} (mm)	Maksimum d_{50} (mm)
1/10	0.26	0.34	0.36	0.39
	0.33	0.42	0.48	0.55
	0.40	0.43	0.51	0.59
1/15	0.26	0.27	0.34	0.41
	0.33	0.35	0.50	0.66
	0.40	0.41	0.57	0.63
1/25	0.26	0.31	0.44	0.55
	0.33	0.39	0.48	0.62
	0.40	0.40	0.46	0.52

Tablo 3.59'daki verilere göre, dengeye ulaşmış yığılma profilinin, topuk kısmındaki ortalama d_{50} değerleri 0.26 mm medyan çaplı kum için 0.34-0.44 mm arasında, 0.33 mm için 0.48-0.50 mm arasında ve 0.40 mm için ise 0.46-0.57 mm arasında değişmektedir.

Tablo 3.60. Yığılma bölgesi topuk kısmı için hesaplanan standart sapma değerleri

Eğim	d ₅₀ (mm)	Minimum (mm)	Ortalama (mm)	Maksimum (mm)	Sınıflanma
1/10	0.26	0.131	0.147	0.163	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.111	0.214	0.249	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.195	0.214	0.234	Çok iyi sınıflanmış
1/15	0.26	0.114	0.173	0.211	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.193	0.220	0.244	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.200	0.224	0.243	Çok iyi sınıflanmış
1/25	0.26	0.206	0.232	0.249	Çok iyi sınıflanmış
	0.33	0.196	0.232	0.247	Çok iyi sınıflanmış
	0.40	0.178	0.214	0.238	Çok iyi sınıflanmış

Tablo 3.60'daki verilere göre, ortalama standart sapma değerleri, 0.26 mm medyan çaplı kum için 0.147-0.232 mm arasında, 0.33 mm için 0.214-0.232 mm arasında ve 0.40 mm için ise 0.214-0.224 mm arasında değiştiği gözlenmiştir.

4. İRDELEME

4.1. Yığılma Bölgesi Geometrik Parametrelerinin İrdelenmesi

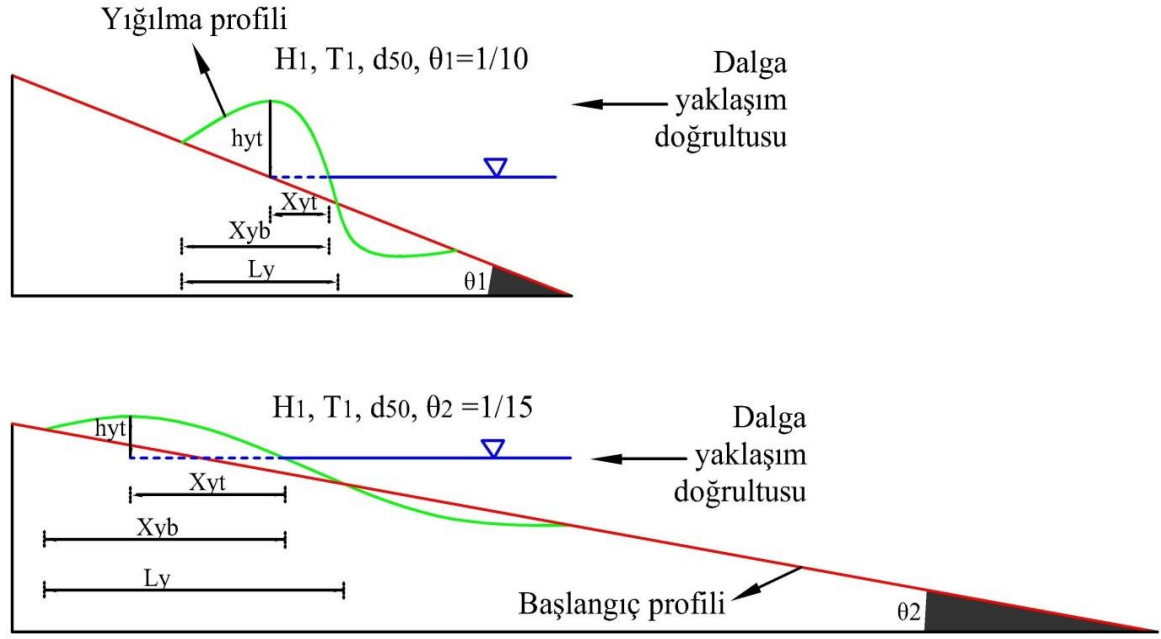
Bu bölümde, yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{yb}), yığılma bölgesi tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay ve düşey uzaklığı (X_{yt} , h_{yt}), yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliği (L_y) ve yığılma bölgesinin hacmi (V_{yh}) ile ilgili elde edilen bulguların irdelenmesi yapılarak sunulmaktadır.

4.1.1. Dalga Şartları, Taban Eğimi ve Malzeme Özelliklerinin Yığılma Bölgesi Geometrik Parametreleri Üzerine Etkilerinin İrdelenmesi

Dalga yüksekliği, periyodu, taban eğimi ve tabandaki malzeme özelliklerinin incelenen yığılma bölgesi parametrelerine etkisi, fiziksel model sonuçları dikkate alınarak irdelenmiştir.

4.1.1.1. Başlangıç Taban Eğiminin Etkisi

Taban eğimi azaldıkça dalganın kıyı üzerindeki tırmanma mesafesi ve dolayısıyla danelerin taşınma mesafesi artmaktadır. Taban eğiminin azalması durumunda, danelerin artan taşınma mesafesine bağlı olarak yığılma daha geniş bir bölgede (kıyı çizgisinden daha uzakta) oluşmaktadır [62, 63]. Şekil 4.1'de taban eğiminin azalması durumunda yığılma bölgesi geometrik parametrelerinin değişimi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Taban eğimine bağlı olarak yığılma bölgesi geometrik parametrelerinin değişimi

Yığılma bölgesi geometrik parametreleri için seçilen deney şartları Tablo 2.4'te, deney sonuçları ise Tablo 3.1, 3.11, 3.21, 3.31 ve 3.41'de verilmiştir. Tablolar irdelendiğinde, taban eğiminin azalması durumunda X_{yb} ve L_y (53 nolu deney hariç) artmakta, h_{yt} ise azalmaktadır. Taban eğiminin X_{yt} üzerindeki etkisi incelendiğinde ise eğimin 1/10'dan 1/15'e azalması ile X_{yt} değerinin arttığı, 1/15'den 1/25'e azalmasıyla çoğunlukla azaldığı (49, 50, 53, 57, 61, 65, 68 ve 72 nolu deneyler hariç) belirlenmiştir. Taban eğiminin V_{yh} üzerindeki etkisi incelendiğinde de benzer bir durumla karşılaşılmıştır. V_{yh} değerinin, eğimin 1/10'dan 1/15'e azalması ile arttığı, 1/15'den 1/25'e azalması durumunda ise genellikle azaldığı (61, 62, 63, 69, 70, 71 ve 72 nolu deneyler hariç) tespit edilmiştir. Bu nedenle taban eğiminin X_{yt} ve V_{yh} üzerindeki etkisi için de net bir değerlendirme yapmak mümkün olmamaktadır. Şekil 4.1'den de görüldüğü gibi eğim azaldıkça yığılmanın tepe bölgesi düzleşmektedir. Ayrıca, taban profili ölçülürken kıyıya dik doğrultuda 20 cm aralıklarla ölçüm alınmıştır. Bu durumlar yığılmanın tepe noktasının tespitini güçleştirmektedir. Taban eğiminin X_{yt} üzerindeki etkisinin tam olarak belirlenememesi, yığılmanın tepe noktasının hassas biçimde tespit edilememesinden kaynaklanmaktadır.

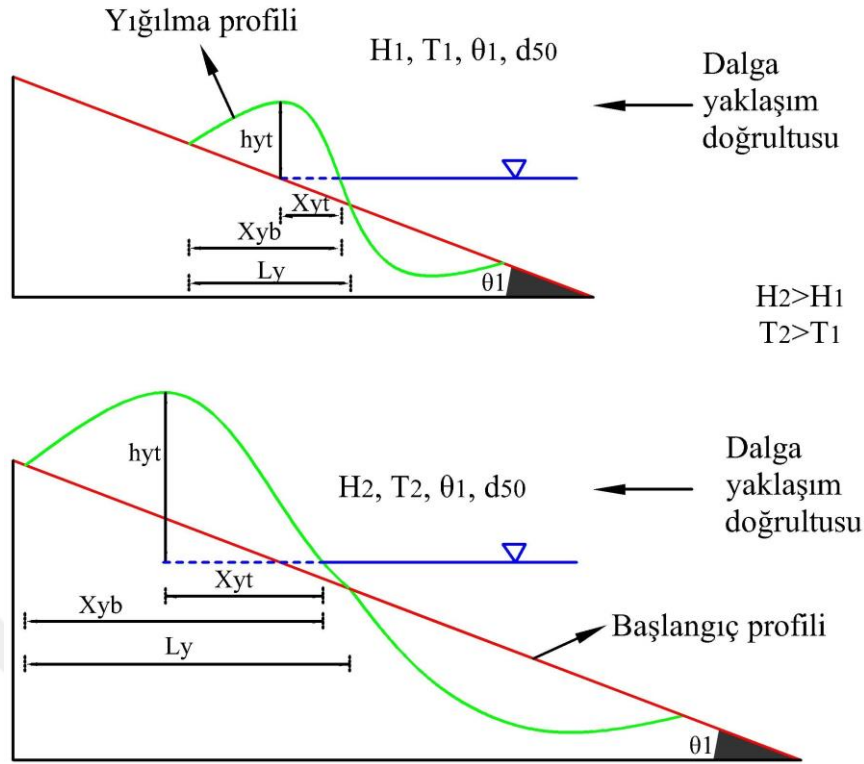
4.1.1.2. Dalga Yüksekliği ve Periyodunun Etkisi

Yaz profili oluşan bir kıyıda, kıyıya ulaşan dalgalar uzun periyotlu ve küçük dalga yüksekliğine sahiptir. Bu tür dalgalar kıyı yakınlarında kırıldıktan sonra kıyı profili üzerinde tırmanırlar [60].

Dalga yüksekliğinin artması ile birlikte tabandaki danelere etkiyen kuvvet artmakta, bunun sonucunda daha fazla katı madde harekete geçmektedir. Ayrıca dalga yüksekliğinin artması ile birlikte dalga enerjisi de artmaktadır, bunun sonucunda da dalganın kıyı üzerinde kat ettiği tırmanma mesafesi artmaktadır. Bu durum hem yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliğini hem de yığılma hacmini artırmaktadır [73].

Dalga periyodunun artması durumunda, dalgalar kıyıya daha az sıklıkla ulaştığı için yeraltı su seviyesinde yükselme olmaz ve dalga tırmanması sırasında suyun bir kısmı yer altına sızar. Böylece tırmanma sırasındaki su seviyesi ile geri dönüş arasındaki su seviyesi arasında oldukça önemli bir fark oluşur. Tırmanma sırasındaki büyük su kütlesi hareketi ile kıyıya doğru taşınan katı maddelerin bir kısmı zayıf geri dönüş akımı nedeniyle kıyıda kalır, geri taşınmaz. Bu oluşum sonucunda yığılma bölgesinde biriken malzeme miktarı artar [3, 60, 73].

Yukarıda belirtildiği gibi dalga periyodunun artması kıyıda biriken malzeme miktarını artırmaktadır. Dalga yüksekliği ise belli bir yüksekliğe kadar kıyıda biriken malzeme miktarını artırmakta sonrasında ise kıyıda biriken malzeme açığa taşınmaktadır [3, 60, 62, 63, 73]. Yığılma bölgesi geometrik parametreleri için seçilen deney şartları (Tablo 2.4) ve deney sonuçları (Tablo 3.1, 3.11, 3.21, 3.31 ve 3.41) incelendiğinde, dalga yüksekliğinin artması tüm yığılma bölgesi geometrik parametrelerini artırmaktadır (Şekil 3.2). Dalga periyodunun artması ise, X_{yb} için 55, 68 ve 80 nolu deneyler hariç, X_{yt} için 63 ve 64 nolu deneyler hariç, L_y için 80 nolu deney hariç, tüm yığılma bölgesi geometrik parametrelerini artırmaktadır.



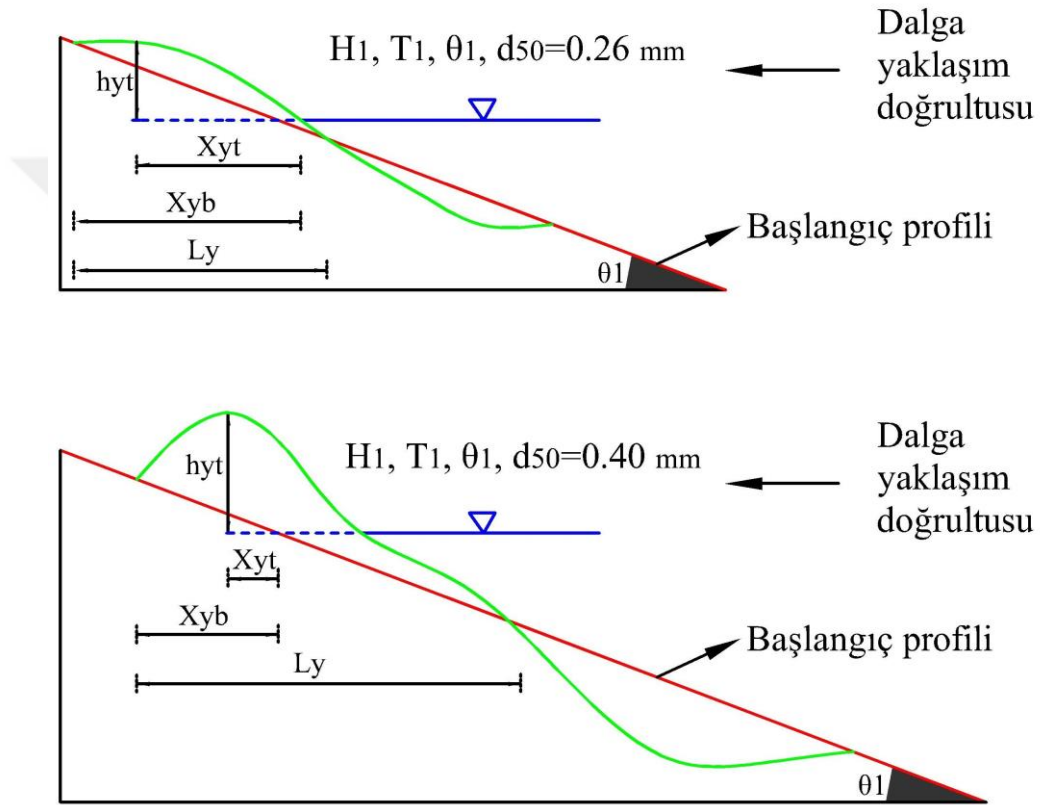
Şekil 4.2. Dalga yüksekliği ve periyoduna bağlı olarak yığılma bölgesi geometrik parametrelerinin değişimi

4.1.1.3. Dane Çapının Etkisi

Dalga tırmanması ile kıyıda ilerleyen su kütesinin önemli bir miktarı taban malzemesini oluşturan daneler arasındaki boşluklara sızmaktadır. Bu nedenle tırmanma sırasındaki su seviyesi ile geri dönüş arasındaki su seviyesi arasında önemli bir fark oluşur. Tırmanma sırasındaki büyük su kütlesi hareketi ile kıyıya doğru taşınan katı maddelerin bir kısmı zayıf geri dönüş akımı nedeniyle kıyıda kalır, geri taşınmaz [3, 62]. Dane çapı arttıkça daneler arasındaki boşlukta artacağından, yeraltına sızan su miktarı artacak, geri dönüş akımı daha da zayıflayacaktır. Bu da V_{yh} 'nin artmasına neden olacaktır. Ancak dane çapının artması ile birlikte daneye etkiyen yer çekimi kuvveti de artırmaktadır. Küçük boyutlu daneler daha uzak mesafelere taşınabilirken iri daneler daha yakın mesafelere taşınabilmektedir [77]. Dolayısıyla dane çapı arttıkça, daneler kıyı çizgisine daha yakın mesafelere taşınacağından, X_{yb} azalmaktadır. Yığılma bölgesinin tepesi yığılma başlangıç noktasının gerisinde olduğundan, X_{yt} 'de dane çapı arttıkça azalacaktır. Dane çapı arttıkça danelerin hareket etme mesafesi azaldığından yığılma profili hem kıyı önüne hem de açığa

doğru oluşur. Dolayısıyla X_{yb} 'nin azalmasına ve V_{yh} 'nin artmasına bağlı olarak, L_y ve h_{yt} artacaktır (Şekil 4.3).

Yığılma bölgesi geometrik parametreleri için seçilen deney şartları (Tablo 2.4) ve deney sonuçları (Tablo 3.1, 3.11, 3.21, 3.31 ve 3.41) incelendiğinde, dane çapının artması h_{yt} (45, 73 ve 74 nolu deneyler hariç), L_y ve V_{yh} 'yi (61 nolu deney hariç) artırırken X_{yb} (12 ve 31 nolu deneyler hariç) ve X_{yt} 'yi (71 nolu deney hariç) azaltmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 4.3. Dane çapına bağlı olarak yığılma bölgesi geometrik parametrelerinin değişimi

Dalga yüksekliği, dalga periyodu, taban eğimi ve dane çapının, değişiminin yığılma bölgesi geometrik parametreleri üzerindeki etkisi ve bu parametrelere etkime oranı Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1. m , d_{50} , H_{m0} ve T_p 'nin yığılma bölgesi geometrik parametreleri üzerindeki etkisi

Bağımsız değişken	Değişim	m		d_{50}		T_p		H_{m0}	
		Etki oranı	Değişim	Etki oranı	Değişim	Etki oranı	Değişim	Etki oranı	Değişim
X_{yb}	↑	28.00	↓	11.40	↓	20.66	↑	39.94	↑
X_{yt}	↑	12.05	—	28.16	↓	17.66	↑	42.13	↑
h_{yt}	↑	26.92	↑	19.57	↑	34.53	↑	18.99	↑
L_y	↑	21.18	↓	19.35	↑	24.88	↑	34.59	↑
V_{yh}	↑	5.77	—	19.65	↑	41.56	↑	33.02	↑

Not: Etki oranı en büyük olan bağımsız değişkenler koyu yazılmıştır.

Tablo 4.1 incelendiğinde, X_{yb} , X_{yt} ve L_y 'yi etkileyen en önemli parametre dalga yüksekliği, h_{yt} ve V_{yh} 'yi etkileyen en önemli parametre dalga periyodudur.

4.1.2. Yığılma Bölgesi Geometrik Parametreleri İçin Kurulan Modellerin İrdelenmesi

Her bir parametre için elde edilen en iyi regresyon denklemi, literatür denklemi ve en iyi YSA modeli karşılaştırılarak genel bir irdeleme yapılmıştır.

İncelenen parametreler için fiziksel model sonuçları üzerine kurulan en iyi denklemlerin, YSA modellerinin ve literatürde bulunan en iyi denklemlerin sonuçlarının karşılaştırılmalarında paralellik olması adına, hem YSA modellerinin hem de denklemlerin oluşturulmasında hiç kullanılmayan 16 adet deney şartıyla irdelemeler yapılmıştır.

4.1.2.1. Yığılma Bölgesi Başlangıç Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı

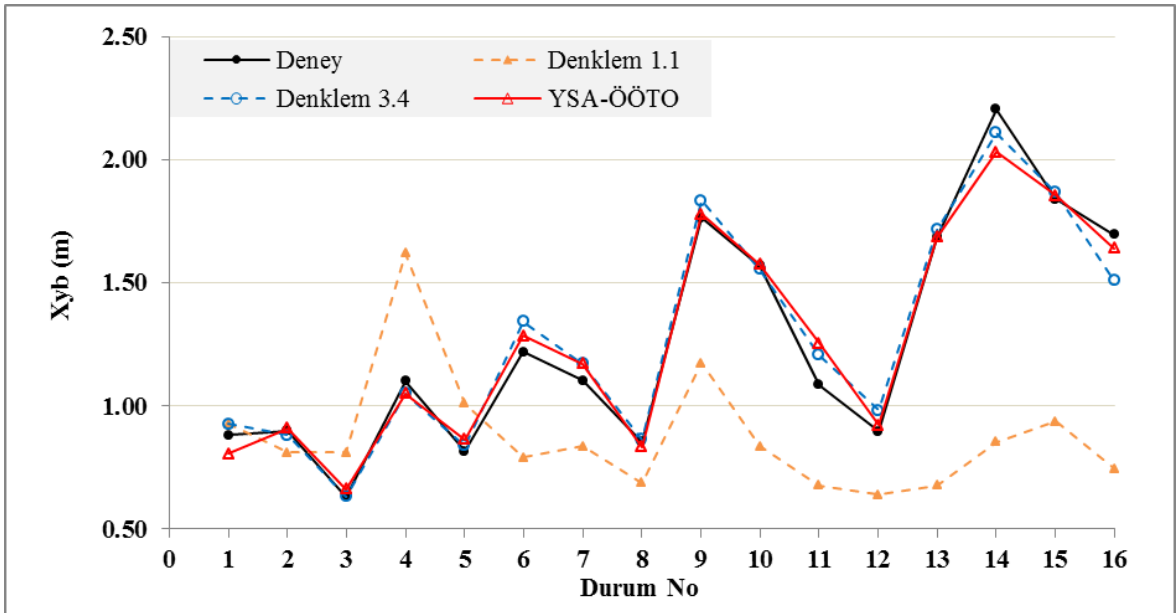
Bu bölümde, yığılmanın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak elde edilen fiziksel model verileri ve bunlar üzerine kurulan en uygun denklem, en iyi YSA modeli ve literatürdeki en iyi denklem bulguları irdelenerek sunulmaktadır.

Yapılan analizler sonucu elde edilen en uygun denklemin ÇDURE modelinden elde edilen boyutsuz Denklem 3.4, en iyi YSA modelinin ise ara katmanında 5 eleman bulunan boyutlu YSA-ÖÖTO modeli olduğu belirlenmiştir.

Denklem 3.4, literatürde verilen Denklem 1.1 ve YSA-ÖÖTO'dan elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla karşılaştırması ve değerlendirilmesinde, deneme seti için seçilen deney şartlarının (16 adet) kullanılmasından elde edilen OKHK değerleri sırasıyla 0.0782, 0.6280 ve 0.0728 m'dir.

Deneme seti için hesaplanan OKHK değerleri dikkate alınıp en iyi denklemler ve YSA modeli değerlendirildiğinde, YSA-ÖÖTO ve Denklem 3.4, arasında çok önemli bir fark olmadığı, ancak YSA-ÖÖTO'nun, literatürde verilen en iyi denklemden (Denklem 1.1) 8.63 ve kurulan en iyi denklemden (Denklem 3.4) 1.07 kat daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Seçilen deney şartları için Denklem 3.4, Denklem 1.1 ve YSA-ÖÖTO'nun deney sonuçlarıyla grafiksel incelemesi, Tablo 3.10 verileri kullanılarak yapılmış ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde, YSA-ÖÖTO ve Denklem 3.4'den elde edilen bulguların deney sonuçlarına yakınlığını ayırt etmek zor olsada, hesaplanan hata değerleri dikkate alındığında, YSA-ÖÖTO'nun deney sonuçlarına daha yakın değerler verdiği belirlenmiştir. Literatürde verilen Denklem 1.1'in ise 1 nolu durum hariç deney sonuçlarından oldukça uzak kaldığı şekilde açıkça görülmektedir.



Şekil 4.4. X_{yb} için en iyi denklemlerin ve YSA modelinin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması

4.1.2.2. Yığılma Bölgesi Tepe Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı

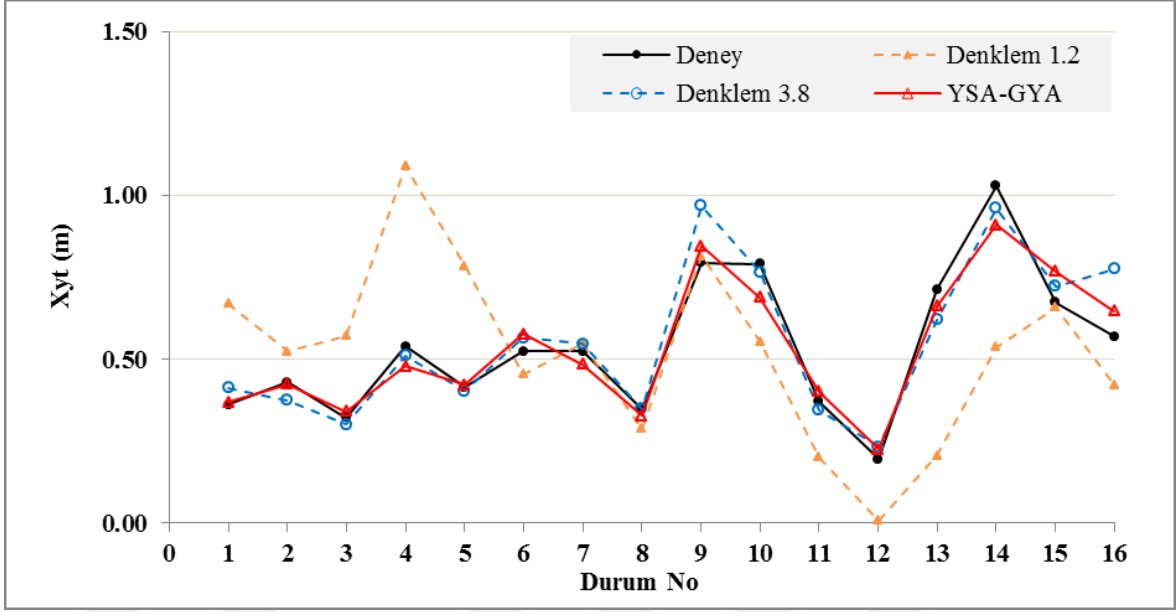
Bu bölümde, yığılmanın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak elde edilen fiziksel model verileri ve bunlar üzerine kurulan en uygun denklem, en iyi YSA modeli ve literatürdeki en iyi denklem bulguları irdelenerek sunulmaktadır.

Yapılan analizler sonucu elde edilen en uygun denklemin ÇDURE modelinden elde edilen boyutsuz Denklem 3.8, en iyi YSA modelinin ise ara katmanında 10 eleman bulunan boyutlu YSA-GYA modeli olduğu belirlenmiştir.

Denklem 3.8, literatürde verilen Denklem 1.2 ve YSA-GYA'dan elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla karşılaştırması ve değerlendirilmesinde, deneme seti için seçilen deney şartlarının kullanılmasından elde edilen OKHK değerleri sırasıyla 0.0793, 0.2802 ve 0.0588 m'dir.

Deneme seti için hesaplanan OKHK değerleri dikkate alınıp en iyi denklemler ve YSA modeli değerlendirildiğinde, YSA-GYA ve Denklem 3.8 arasında çok önemli bir fark olmadığı, ancak YSA-GYA'nın, literatürde verilen en iyi denklemden (Denklem 1.2) 3.53 ve kurulan en iyi denklemden (Denklem 3.8) 1.35 kat daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Seçilen deney şartları için Denklem 3.8, Denklem 1.2 ve YSA-GYA'nın deney sonuçlarıyla grafiksel incelemesi, Tablo 3.20 verileri kullanılarak yapılmış ve Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.5 incelendiğinde, YSA-GYA ve Denklem 3.8'in her ikisinde deney sonuçlarına oldukça yakın tahminler yapsada, hesaplanan hata değerleri dikkate alındığında, YSA-GYA'nın deney sonuçlarına daha yakın değerler verdiği belirlenmiştir. Literatürde verilen Denklem 1.2'nin ise 7, 8, 9 ve 15 nolu durumlar için deney sonuçlarına çok yaklaştığı, diğer durumlar için ise deney sonuçlarından oldukça uzak kaldığı şekilden açıkça görülmektedir.



Şekil 4.5. X_{yt} için en iyi denklemlerin ve YSA modelinin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması

4.1.2.3. Yığılma Bölgesi Tepe Noktasının Sakin Su Seviyesine Düşey Uzaklığı

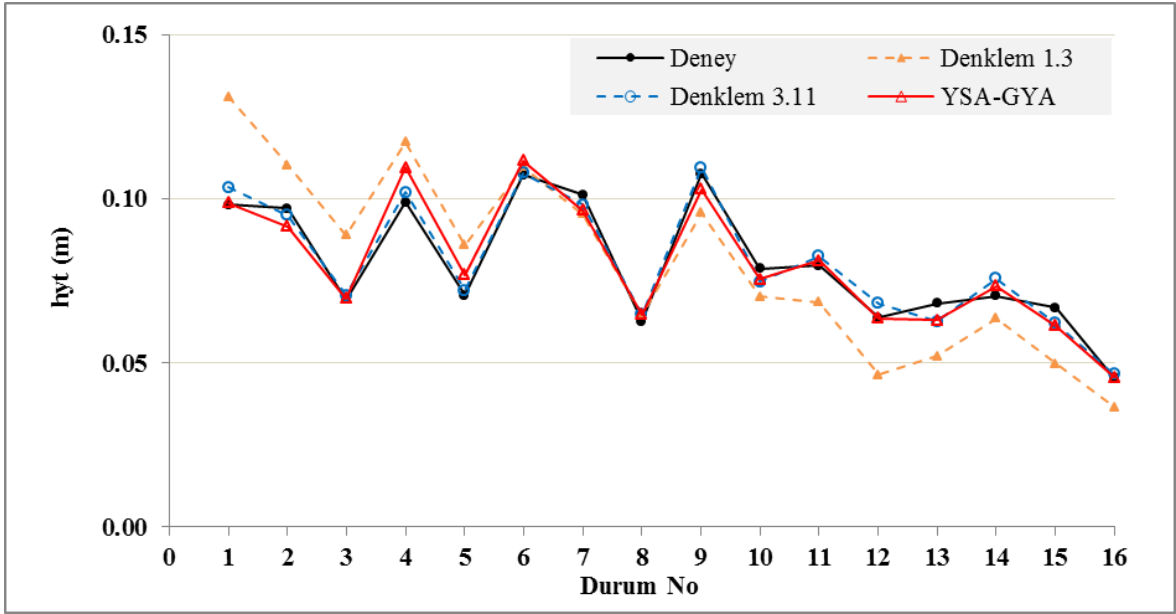
Bu bölümde, yığılmanın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığını belirlemeye yönelik olarak elde edilen fiziksel model verileri ve bunlar üzerine kurulan en uygun denklem, en iyi YSA modeli ve literatürdeki en iyi denklem bulguları irdelenerek sunulmaktadır.

Yapılan analizler sonucu elde edilen en uygun denklemin ÇDURE modelinden elde edilen boyutlu Denklem 3.11, en iyi YSA modelinin ise ara katmanında 5 eleman bulunan boyutlu YSA-GYA modeli olduğu belirlenmiştir.

Denklem 3.11, literatürde verilen Denklem 1.3 ve YSA-GYA'dan elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla karşılaştırması ve değerlendirilmesinde, deneme seti için seçilen deney şartlarının kullanılmasından elde edilen OKHK değerleri sırasıyla 0.0035, 0.0150 ve 0.0045 m'dir.

Deneme seti için hesaplanan OKHK değerleri dikkate alınıp en iyi denklemler ve YSA modeli değerlendirildiğinde, YSA-GYA ve Denklem 3.11 arasında çok önemli bir fark olmadığı, ancak Denklem 3.11'in, literatürde verilen en iyi denklemden (Denklem 1.3) 4.29 ve YSA-GYA'den 1.29 kat daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Seçilen deney şartları için Denklem 3.11, 1.3 ve YSA-GYA'nın deney sonuçlarıyla grafiksel incelemesi, Tablo 3.30 verileri kullanılarak yapılmış ve Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.6 incelendiğinde, YSA-GYA ve Denklem 3.11'den elde edilen bulguların deney sonuçlarına yakınlığını ayırt etmek zor olsada, hesaplanan hata değerleri dikkate alındığında, Denklem 3.11'in deney sonuçlarına daha yakın değerler verdiği belirlenmiştir. Literatürde verilen Denklem 1.3'ün ise 6, 7 ve 8 nolu durumlar hariç deney sonuçlarından oldukça uzak kaldığı şekilden açıkça görülmektedir.



Şekil 4.6. h_{yt} için en iyi denklemlerin ve YSA modelinin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması

4.1.2.4. Yığılma Bölgesinin Kıyıya Dik Genişliği

Bu bölümde, yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliğini belirlemeye yönelik olarak elde edilen fiziksel model verileri ve bunlar üzerine kurulan en uygun denklem, en iyi YSA modeli ve literatürdeki en iyi denklem bulguları irdelenerek sunulmaktadır.

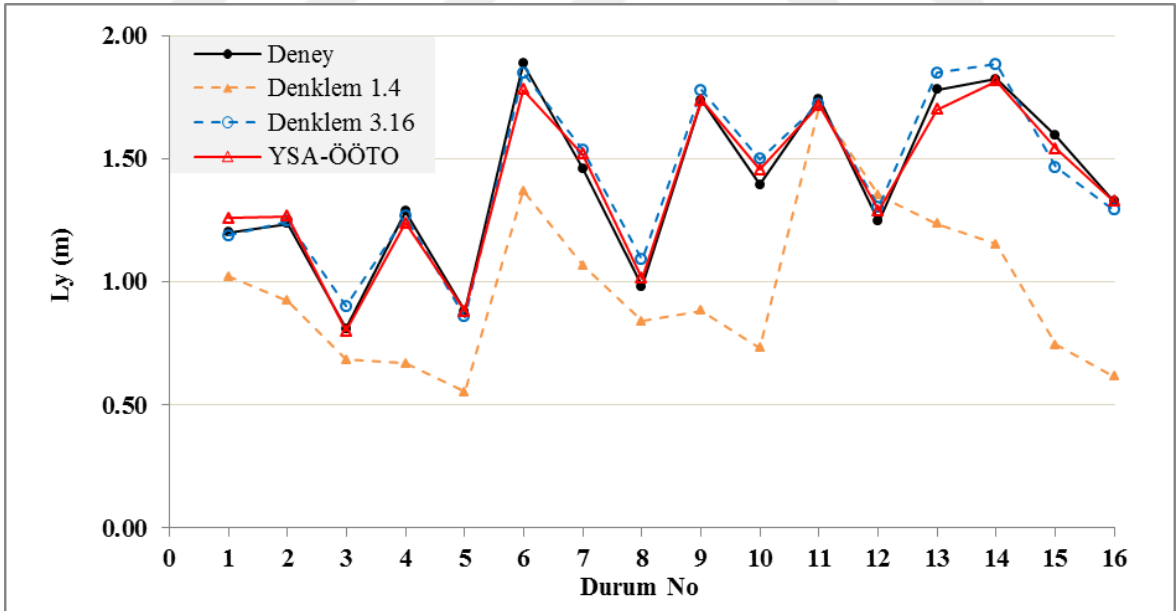
Yapılan analizler sonucu elde edilen en uygun denklemin ÇDURE regresyon modelinden elde edilen boyutsuz Denklem 3.16, en iyi YSA modelinin ise ara katmanında 5 eleman bulunan boyutlu YSA-ÖÖTO modeli olduğu belirlenmiştir.

Denklem 3.16, literatürde verilen Denklem 1.4 ve YSA-ÖÖTO'dan elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla karşılaştırması ve değerlendirilmesinde, deneme seti için

seçilen deney şartlarının (16 adet) kullanılmasından elde edilen OKHK değerleri sırasıyla 0.0663, 0.5141 ve 0.0482 m'dir.

Deneme seti için hesaplanan OKHK değerleri dikkate alınıp en iyi denklemler ve YSA modeli değerlendirildiğinde, YSA-ÖÖTO ve Denklem 3.16 arasında çok önemli bir fark olmadığı, ancak YSA-ÖÖTO'nun, literatürde verilen en iyi denklemden (Denklem 1.4) 7.75 ve kurulan en iyi denklemden (Denklem 3.16) 1.38 kat daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Bu durum Şekil 4.7'den de görülmektedir.

Seçilen deney şartları için Denklem 3.16, Denklem 1.4 ve YSA-ÖÖTO'nun deney sonuçlarıyla grafiksel incelemesi, Tablo 3.40 verileri kullanılarak yapılmış ve Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.7 incelendiğinde, YSA-ÖÖTO ve Denklem 3.16'dan elde edilen bulguların deney sonuçlarına yakınlığını ayırt etmek zor olsada, hesaplanan hata değerleri dikkate alındığında, YSA-ÖÖTO'nun deney sonuçlarına daha yakın değerler verdiği belirlenmiştir. Literatürde verilen Denklem 1.4'ün ise 3, 11 ve 12 nolu durumlar için deney sonuçlarına oldukça yaklaştığı diğer durumlar için deney sonuçlarından oldukça uzak kaldığı şekilden açıkça görülmektedir.



Şekil 4.7. L_y için en iyi denklemlerin ve YSA modelinin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması

4.1.2.5. Yığılma Bölgesinin Hacmi

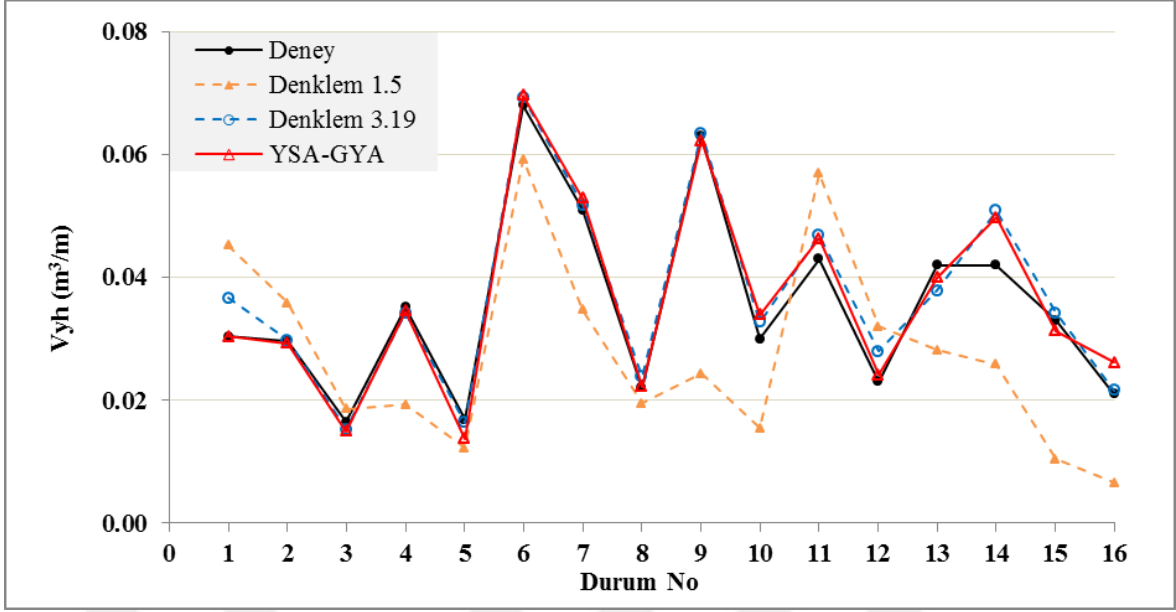
Bu bölümde, yığılma bölgesinin hacmini belirlemeye yönelik olarak elde edilen fiziksel model verileri ve bunlar üzerine kurulan en uygun denklem, en iyi YSA modeli ve literatürdeki en iyi denklem bulguları irdelenerek sunulmaktadır.

Yapılan analizler sonucu elde edilen en uygun denklemin ÇDURE modelinden elde edilen boyutlu Denklem 3.19, en iyi YSA modelinin ise ara katmanında 15 eleman bulunan boyutlu YSA-GYA modeli olduğu belirlenmiştir.

Denklem 3.19, literatürde verilen Denklem 1.5 ve YSA-GYA'dan elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla karşılaştırması ve değerlendirilmesinde, deneme seti için seçilen deney şartlarının kullanılmasından elde edilen OKHK değerleri sırasıyla 0.0035, 0.0159 ve 0.0030 m³/m' dir.

Deneme seti için hesaplanan OKHK değerleri dikkate alınıp en iyi denklemler ve YSA modeli değerlendirildiğinde, YSA-GYA ve Denklem 3.19'un birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği, ancak YSA-GYA'nın, literatürde verilen en iyi denklemden (Denklem 1.5) ve kurulan en iyi denklemden (Denklem 3.19) 1.17 kat daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Bu durum Şekil 4.5'ten de gözükmektedir.

Seçilen deney şartları için Denklem 3.19, 1.5 ve YSA-GYA'nın deney sonuçlarıyla grafiksel incelemesi, Tablo 3.50 verileri kullanılarak yapılmış ve Şekil 4.8'de verilmiştir. Şekil 4.8 incelendiğinde, YSA-GYA ve Denklem 3.19'dan elde edilen bulguların deney sonuçlarına yakınlığını ayırt etmek zor olsada, hesaplanan hata değerleri dikkate alındığında, YSA-GYA'nın deney sonuçlarına daha yakın değerler verdiği belirlenmiştir. Literatürde verilen Denklem 1.5'in ise 3, 5 ve 8 nolu durumlar için deney sonuçlarına oldukça yaklaştığı, diğer durumlar için deney sonuçlarından oldukça uzak kaldığı şekilden açıkça görülmektedir.



Şekil 4.8. V_{yh} için en iyi denklemlerin ve YSA modelinin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması

4.1.2.6. Yığılma Bölgesi Geometrik Parametreleri İçin Literatürde Verilen Denklemlerin Düzensiz Dalga Durumundaki Performansı

Literatürde verilen Denklem 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 ve 1.5'in bu çalışmada elde edilen fiziksel model sonuçlarından oldukça uzak kalması, denklemlerin düzensiz dalgalar için ilgili parametreleri tahmin etmede yetersiz kalmasından kaynaklanmaktadır. Denklemlerin kurulması için gerçekleştirilen fiziksel model çalışmaları [15] incelendiğinde, gerçekleştirilen deneylerin, 19'unun 1/20 eğiminde 2'sinin 1/10, 4'ünün 1/15 ve 6'sının 1/25 eğiminde yapıldığı yani çok fazla veriye dayanmadığı, deney sayısının, taban eğimi ve malzeme medyan çapı değişiminin ilgili parametre üzerindeki etkisini belirlemeye yetecek homojenlikte olmadığı, seçilen deney şartlarının yığılma profilinden çok geçiş ve fırtına profiline daha yakın olduğu, bu nedenle hata değerlerinin yüksek olduğu gözlenmiştir.

4.2. Yığılma Bölgesi Granülometrik Değişiminin İrdelenmesi

Bu bölümde, Bölüm 3.2'de sunulan yığılma bölgesinin granülometrik değişimini belirlemeye yönelik olarak elde edilen fiziksel model bulguları, irdelenerek aşağıdaki konu başlıklarıyla sunulmaktadır.

4.2.1. Yığılma Bölgesi Önü (Kıyıya Doğru Olan Kısım)

Yığılma bölgesinin ön kısmı için, başlangıç profilinin granülometrisinde meydana gelen değişimlerin grafiksel gösterimi Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3’de, numerik değerleri ise Tablo 3.51 ve 3.52’de daha önce verilmişti.

Tablo 3.51 ve şekiller incelendiğinde, yığılma bölgesi ön kısmında biriken taban malzemesinin orijinal taban malzemesine göre bütün eğim ve çaplarda daha kaba olduğu görülmektedir. 0.26 ve 0.40 mm çaplı malzemelerin granülometrilerinin 1/25 eğiminde, 0.33 mm çaplı malzemenin ise 1/15 eğiminde daha fazla değişime uğradığı belirlenmiştir. Tablo 3.52’deki verilere göre ise 0.40 ve 0.33 mm çaplı kumlar 1/25 eğiminde, 0.26 mm çaplı kum ise 1/10 eğiminde daha iyi sınıflanmıştır.

Yığılma bölgesinin ön kısmında biriken malzemenin dalga yüksekliği ve periyodunun azalması ile genellikle incelendiği gözlenmiştir. Ayrıca eğim azaldıkça malzemelerin daha iyi sınıflandığı (0.26 mm çaplı kum hariç) görülmüştür.

4.2.2. Yığılma Bölgesi Tepe Kısmı

Yığılma bölgesinin tepesi için, başlangıç profilinin granülometrisinde meydana gelen değişimlerin grafiksel gösterimi Şekil 3.4, 3.5 ve 3.6’da, numerik değerleri de Tablo 3.53 ve 3.54’te daha önce verilmişti.

Tablo 3.53 ve şekiller incelendiğinde, yığılma bölgesi tepe kısmında taban malzemesi orijinal taban malzemesine göre, 1/10 eğiminde bütün çaplar için incelmektedir. 1/15 eğiminde 0.26 ve 0.33 mm için genellikle kabalaşmakta, 0.40 mm için ise net bir şey söylemek mümkün olmamaktadır. 1/25 eğiminde ise bütün çaplar için genellikle kabalaşmaktadır. Buradan eğim azaldıkça yığılmanın tepe kısmında biriken malzemenin kalınlaşma eğiliminde olduğu söylenebilir. Ayrıca yığılma bölgesi tepe kısmında biriken malzemenin dalga yüksekliği ve periyodu arttıkça incelendiği gözlenmiştir.

Üç farklı malzeme için granülometrideki değişimlerin en fazla 1/25 eğiminde olduğu, en iyi sınıflanmanın 1/10 eğiminde olduğu ve eğim arttıkça malzemelerin daha iyi sınıflandığı belirlenmiştir.

4.2.3. Yığılma Bölgesi Sırt Kısmı

Yığılma bölgesinin sırtı için, başlangıç profilinin granülometrisinde meydana gelen değişimlerin grafiksel gösterimi Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9'da, numerik değerleri de Tablo 3.55 ve 3.56'da daha önce verilmişti.

Tablo 3.55 ve şekiller incelendiğinde, yığılma bölgesi sırt kısmı için taban malzemesi orijinal taban malzemesine göre, 1/10 eğiminde bütün çaplar için incelmektedir. 1/15 eğiminde 0.26 mm için değişmediği, 0.33 mm için net bit şey söylemenin mümkün olmadığı, 0.40 mm için ise incelendiği söylenebilir. 1/25 eğiminde ise 0.26 için kabalaştığı, 0.33 mm için ise önemli bir değişim olmadığı ve 0.40 mm için ise incelendiği görülmüştür. Buradan eğim arttıkça yığılmanın sırt kısmında biriken malzemenin genellikle incelleme eğiliminde olduğu söylenebilir. Aynı zamanda yığılmanın sırt kısmında biriken malzemenin dalga yüksekliği ve periyodu azaldıkça incelendiği gözlenmiştir.

Üç farklı malzeme için hem en iyi sınıflanmanın hem de granülometrideki değişimlerin en fazla olduğu eğim 1/10'dur. Eğim arttıkça malzemelerin daha iyi sınıflandığı görülmüştür.

4.2.4. Kıyı Çizgisi

Kıyı çizgisi için, başlangıç profilinin granülometrisinde meydana gelen değişimlerin grafiksel gösterimi Şekil 3.10, 3.11 ve 3.12'de, numerik değerleri de Tablo 3.57 ve 3.58'de daha önce verilmişti.

Tablo 3.57 ve şekillerden, kıyı çizgisi için taban malzemesinin orijinal taban malzemesine göre değişimi incelendiğinde, 1/25 eğimindeki 0.40 mm çaplı malzeme için net bir şey söylemek mümkün olmamaktadır, fakat geriye kalan bütün eğim ve çaplar için kıyı çizgisinde biriken malzemenin kalınlaştığı görülmektedir. Buradan hareketle kıyı çizgisinde biriken malzeme genellikle kalınlaşmaktadır. Ayrıca kıyı çizgisinde biriken malzemenin periyot arttıkça genellikle incelendiği, dalga yüksekliğinin artması ile kalınlaştığı gözlenmiştir.

Üç farklı malzeme için granülometrideki değişimlerin en fazla 1/15 eğiminde olduğu, en iyi sınıflanmanın 1/10 eğiminde ve eğim arttıkça malzemelerin genellikle daha iyi sınıflandığı belirlenmiştir.

4.2.5. Yığılma Bölgesi Topuk Kısmı

Yığılma bölgesinin topuğu için, başlangıç profilinin granülometrisinde meydana gelen değişimlerin grafiksel gösterimi Şekil 3.13, 3.14 ve 3.15'te, numerik değerleri de Tablo 3.59 ve 3.60'da daha önce verilmişti.

Tablo 3.59 ve şekiller incelendiğinde, yığılma bölgesinin topuk kısmı için, taban malzemesi orijinal taban malzemesine göre, bütün eğim ve çaplarda kalınlaşmaktadır. Ayrıca yığılmanın topuk kısmında biriken malzemenin periyot azaldıkça incelendiği, dalga yüksekliğinin azalması ile genellikle kalınlaştığı gözlenmiştir.

0.33 ve 0.40 mm çaplı malzemeler için granülometrideki değişimlerin en fazla 1/15 eğiminde, 0.26 mm çaplı malzeme için ise 1/25 eğiminde olduğu, en iyi sınıflanmanın ise 1/10 eğiminde olduğu ve eğim arttıkça malzemelerin daha iyi sınıflandığı görülmüştür.

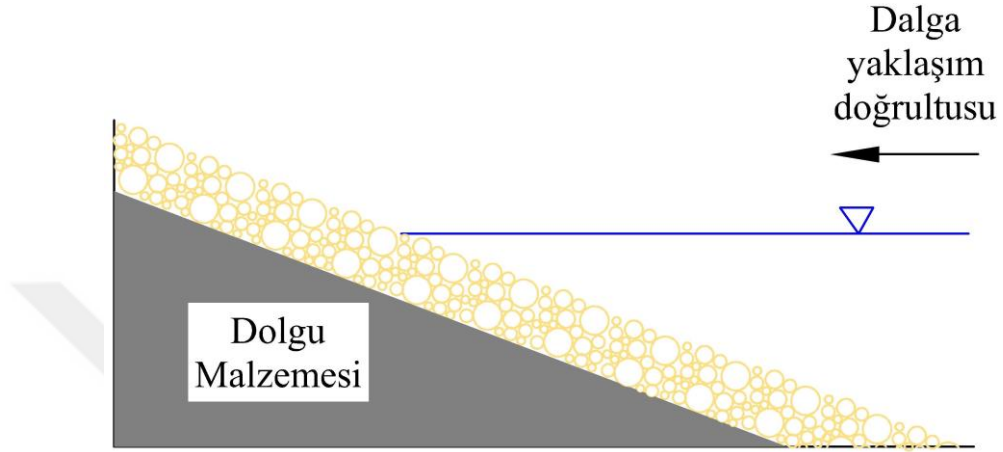
4.2.6. Yığılma Bölgesinin Granülometrik Değişiminin Fiziksel Olarak Açıklanması

Deney başlangıcında kıyı profili düz bir tabana sahip olduğundan, dalgaların tabandaki danelere etki ettirdiği kuvvet en fazla olmakta dolayısıyla, dalga tırmanması sırasında en iri daneler en uzak noktaya yani yığılma profilinin ön kısmına taşınmaktadır. Tırmanan su kütlelerinin bir kısmı yeraltına sızdığından, geri dönüş akımı daha zayıf olmaktadır. Bu nedenle iri daneler kıyı önünde kalmakta daha ince daneler ise açığa doğru taşınmaktadır [77]. Sonuç olarak yığılma bölgesinin ön kısmında biriken malzeme kabalaşmaktadır.

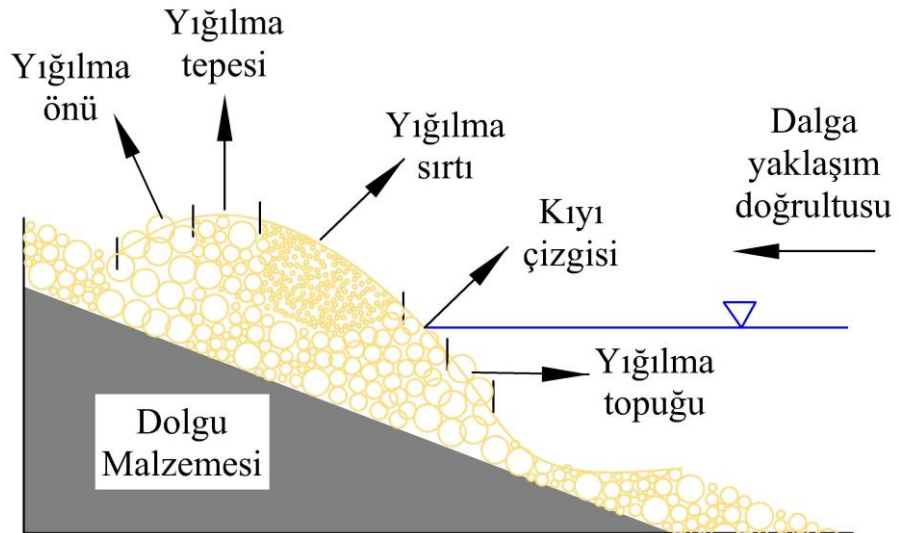
Yığılma bölgesinin tepe kısmında hem zayıf geri dönüş akımı nedeniyle kıyı önünden gelen ince daneler hem de dalga tırmanması sırasında iri daneler birikmektedir. Bu nedenle yığılma bölgesinin tepe kısmı için net bir değerlendirme yapmak mümkün olmamaktadır.

Kıyı profili dengeye ulaştıkça, kıyıda biriken malzeme nedeniyle yığılma profilinin sırt kısmının eğimi orijinal taban eğimine göre artmaktadır [60, 77]. Eğim artışı danelerin dalga etkisiyle hareket etmelerini güçleştirmektedir. İri danelerin çökme hızının yüksek olması nedeniyle kolay taşınabilen ince daneler yığılma sırtında, iri daneler ise kıyı çizgisi ve topuk kısmında birikmektedir. Sonuç olarak yığılma sırtındaki malzeme orijinal tabana göre incelirken kıyı çizgisi ve topuk kısmındaki malzeme kabalaşmaktadır. Yığılma

profilinin ön, tepe, sırt, kıyı çizgisi ve topuk kısımlarındaki malzemelerin başlangıç ve denge profilindeki dağılımları Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da şematik olarak gösterilmiştir. Ayrıca bu kısımlardaki malzemelerin başlangıç profiline göre granülometrik değişimi Tablo 4.2'de sunulmaktadır.



Şekil 4.9. Başlangıç profilindeki danelerin dağılımı



Şekil 4.10. Denge profilindeki danelerin dağılımı

Tablo 4.2. Yığılma profilinin başlangıç profiline göre granülometrik değişimi

Yığılma kesiti	Başlangıç profiline göre granülometrik değişim
Yığılma önü	İrileşmekte
Yığılma tepesi	Net değil
Yığılma sırtı	İncelmekte
Kıyı çizgisi	İrileşmekte
Yığılma topuğu	İrileşmekte



5. SONUÇLAR

5.1. Yığılma Bölgesi Geometrik Parametreleri İçin Elde Edilen Sonuçlar

Bu bölümde, çalışma kapsamında incelenen yığılma bölgesi parametreleri olan, yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{yb}), yığılma bölgesi tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay ve düşey uzaklığı (X_{yt} , h_{yt}), yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliği (L_y) ve yığılma bölgesi hacmi (V_{yh}) ile ilgili elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

a. Yığılma Bölgesi Başlangıç Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı

Yığılma bölgesi başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığının, taban eğiminin ve malzeme dane çapının artmasıyla genellikle azaldığı, dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla ise arttığı ve X_{yb} 'yi etkileyen en önemli parametrenin dalga yüksekliği olduğu belirlenmiştir. X_{yb} için elde edilen en iyi model ara katmanında 5 eleman bulunan boyutlu YSA-ÖÖTO modelidir.

b. Yığılma Bölgesi Tepe Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı

Barın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığının, malzeme dane çapının artmasıyla azaldığı, dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla ise arttığı belirlenmiştir. Taban eğimi değişimine göre ise net bir değerlendirme yapmak mümkün değildir. X_{yt} 'yi etkileyen en önemli parametrenin dalga yüksekliği olduğu belirlenmiştir. X_{yt} için elde edilen en iyi model ara katmanında 10 eleman bulunan boyutlu YSA-GYA modelidir.

c. Yığılma Bölgesi Tepe Noktasının Sakin Su Seviyesine Düşey Uzaklığı

Yığılma bölgesi tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı, taban eğimi, malzeme dane çapı, dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla çoğunlukla artmaktadır. h_{yt} 'yi etkileyen en önemli parametrenin dalga periyodu olduğu belirlenmiştir. h_{yt} için elde edilen en iyi model ÇDURE modelinden elde edilen boyutlu Denklem 3.11'dir.

d. Yığılma Bölgesinin Kıyıya Dik Genişliği

Yığılma bölgesinin kıyıya dik genişliğinin, taban eğiminin artmasıyla genellikle azaldığı, malzeme dane çapı, dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla ise arttığı belirlenmiştir. L_y 'yi etkileyen en önemli parametrenin dalga yüksekliği olduğu belirlenmiştir. L_y için elde edilen en iyi model ise ara katmanında 5 eleman bulunan boyutlu YSA-ÖÖTO modelidir.

e. Yığılma Bölgesinin Hacmi

Yığılma bölgesinin hacmi, malzeme dane çapı, dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla çoğunlukla artmaktadır. Taban eğimi değişimine göre ise, net bir değerlendirme yapılamamıştır. V_{yh} 'yi etkileyen en önemli parametrenin dalga periyodu olduğu belirlenmiştir. V_{yh} için elde edilen en iyi model ara katmanında 15 eleman bulunan boyutlu YSA-GYA modelidir.

5.2. Yığılma Bölgesi Granülometrik Değişimi İçin Elde Edilen Sonuçlar

Bu bölümde, çalışma kapsamında incelenen yığılma bölgesi kesitleri olan, yığılma bölgesinin ön, tepe, kıyı çizgisi, sırt ve topuk kısımlarındaki malzemelerin başlangıç durumuna göre granülometrik değişimleri ile ilgili elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

a. Yığılma Bölgesi Önü

Yığılma bölgesi ön kısmında biriken malzemenin orijinal taban malzemesine göre irileştiği tespit edilmiştir. Bu bölgede biriken malzemenin dalga yüksekliği ve periyodunun azalması ile genellikle incelmeye eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca eğim azaldıkça yığılma bölgesi ön kısmında biriken malzemenin daha iyi sınıflandığı belirlenmiştir.

b. Yığılma Bölgesi Tepesi

Yığılma bölgesi tepe kısmında biriken malzemenin orijinal taban malzemesine göre değişimi için net bir değerlendirme yapmak mümkün olmamaktadır. Ancak bu bölgede

biriken malzemenin taban eğimi, dalga yüksekliği ve periyodunun artması ile incelendiği gözlenmiştir. Ayrıca eğim arttıkça yığılma bölgesi tepesinde biriken malzemenin daha iyi sınıflandığı tespit edilmiştir.

c. Yığılma Bölgesi Sırtı

Yığılma bölgesi sırt kısmında biriken malzemenin orijinal taban malzemesine göre genellikle incelendiği gözlenmiştir. Bu bölgede biriken malzemenin eğim arttıkça incelendiği, dalga yüksekliği ve periyodu arttıkça ise irileştiği belirlenmiştir. Ayrıca eğim azaldıkça yığılma bölgesi ön kısmında biriken malzemenin daha iyi sınıflandığı tespit edilmiştir.

d. Kıyı Çizgisi

Kıyı çizgisinde biriken malzemenin orijinal taban malzemesine göre genellikle irileşmektedir. Bu bölgede biriken malzemenin periyot arttıkça genellikle incelendiği, dalga yüksekliğinin artması ile irileştiği gözlenmiştir. Ayrıca eğim arttıkça kıyı çizgisinde biriken malzemenin daha iyi sınıflandığı tespit edilmiştir.

e. Yığılma Bölgesi Topuğu

Yığılma bölgesi topuk kısmında biriken malzemenin orijinal taban malzemesine göre irileşmektedir. Bu bölgede biriken malzemenin periyot azaldıkça incelendiği, dalga yüksekliğinin azalmasıyla ise genellikle irileştiği gözlenmiştir. Ayrıca eğim arttıkça yığılma bölgesi ön kısmında biriken malzemenin daha iyi sınıflandığı tespit edilmiştir.

6. ÖNERİLER

Yığılma bölgesi geometrik parametrelerinin belirlenmesi ve yığılma bölgesindeki granülometrik değişimin belirlenmesi amacıyla, dalga şartları, taban eğimi ve malzeme özelliklerini dikkate alarak deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneyler KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında bulunan iki boyutlu dalga kanalında gerçekleştirilmiştir.

Fiziksel model çalışmaları, dört farklı dalga yüksekliği (4, 5, 6 ve 7 cm) ve iki farklı dalga periyodu (1.57 ve 2.18 s) için yapılmıştır. Çalışmada dalga yüksekliği artırılmak istenmiş ancak, fiziksel imkanlar buna müsaade etmemiştir. Yığılma profili oluşturabilecek daha yüksek dalgalarda çalışılması kurulan denklemlerin geçerliliğini arttıracaktır. Benzer şekilde, deneylerin başka periyotlar için de yapılması, periyot etkisini daha net bir şekilde ortaya koyacaktır.

Taban eğiminin dik seçilmesi, profilin dengeye ulaşmasını ve dolayısıyla deney süresini azaltması açısından oldukça yararlı olmaktadır. Diğer taraftan doğada çok dik kumlu taban eğimleri bulunmamaktadır. Bu açıdan bakıldığında ve örnek olarak Karadeniz'de taban eğiminin ortalama 1/33 olduğu dikkate alındığında, 1/25 eğiminden daha yatık eğimlerde de çalışılması faydalı olacaktır.

Elde edilecek uygun arazi verileri ile çalışma sonuçlarının karşılaştırılması ve gerekli kalibrasyonların yapılması faydalı olacaktır.

Bu çalışmada sadece dalga yüksekliği, periyodu, taban eğimi ve malzeme özellikleri dikkate alınarak yığılma profilinin gelişimi ve granülometrik değişimi incelenmiştir. Çalkantı bölgesi içerisinde farklı noktalardan dalga hızını ölçen cihazlar ile ölçümler alınarak, dalga hızının yığılma profili gelişimine etkisi incelenebilir. Benzer şekilde çalkantı bölgesinde sediment ölçümleri yapılarak yığılma profilinin gelişimi daha net bir şekilde ortaya konabilir.

Çalışma kapsamında, yığılma bölgesi geometrik parametreleri için elde edilen fiziksel model verileri KRA, ÇDURE, YSA-GYA, YSA-YAK, YSA-ÖÖTO ve YSA-JAYA analiz teknikleri kullanılarak değerlendirilmiş ve incelenen parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. Fiziksel model verilerinin yeni geliştirilen veya gelecekte geliştirilecek analiz teknikleri ile de değerlendirilmesi yararlı olacaktır.

Çalışmadan elde edilen fiziksel model verilerinin kıyı profilinin gelişimini ve granülometrik değişimini belirlemek için geliştirilecek sayısal model çalışmalarına önemli derecede katkısı olacaktır.



7. KAYNAKLAR

1. Hsu T., W., Geometric Characteristics of Storm–Beach Profiles Caused by Inclined Waves, Ocean Engineering, 25 (1998) 69–84.
2. Günaydın, K. ve Kabdaşlı, M., S., The Formation of Offshore Ripples in the Zone Under Irregular Waves. Ocean Engineering, 30 (2003) 297–307.
3. Kömürçü, M., İ., Kıyıya Dik Katı Madde Hareketi Sonucu Oluşan Bar Parametrelerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2003.
4. Günaydın, K. ve Kabdaşlı, M., S., Characteristics of Coastal Erosion Geometry Under Regular and Irregular Waves, Ocean Engineering 30 (2003) 1579–1593.
5. Kankal, M., Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımının Zamansal Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2004.
6. Demirci, M., Kıyıya Dik Profil Değişimlerinin Deneysel İncelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006.
7. Kömürçü, M., İ., Özölçer, İ., H., Yüksek, Ö. ve Karasu, S., Determination of Bar Parameters Caused by Cross–Shore Sediment Movement, Ocean Engineering, 34 (2007) 685–695.
8. Özölçer, İ., H., An Experimental Study on Geometric Characteristics of Beach Erosion Profiles, Ocean Engineering 35 (2008) 17–27.
9. Kömürçü, M., İ., Tutkun, N., Özölçer, İ., H. ve Akpınar, A., Estimation of the Beach Bar Parameters Using the Genetic Algorithms, Applied Mathematics and Computation, 195 (2008) 49–60.
10. Kankal, M., Kömürçü, M., İ., Yüksek, Ö. ve Akpınar, A., Artificial Neural Networks for Estimation of Temporal Rate Coefficient of Equilibrium Bar Volume, Indian Journal of Marine Sciences, 41 (2012) 45–55.
11. Demirci, M. ve Aköz, M., S., An Investigation on the Formation of Submerged Bar Under Surges in Sandy Coastal Region, China Ocean Engineering, 26 (2012) 535–546.
12. Kömürçü, M., İ., Kömür, M., A., Akpınar, A., Özölçer, İ., H. ve Yüksek, Ö., Prediction of Offshore Bar–Shape Parameters Resulted by Cross–Shore Sediment Transport Using Neural Network, Applied Ocean Research, 40 (2013) 74–82.
13. Demirci, M. ve Aköz, M., S., Investigation of Bar Parameters Occurred by Cross–Shore Sediment Transport, International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 5 (2013) 277–286.

14. Demirci, M., Aköz, M., S. ve Üneş, F., Experimental Investigation of Cross–Shore Sandbar Volumes, Journal of Coastal Conservation, 18 (2014) 11–16.
15. Okazaki, S., A., Study of Berms on Sandy Beaches, Science Report. Geoscience, University of Tsukuba, Tsukuba, Section A, 17, 1970, 60.
16. Hine, A., C., Mechanisms of Berm Development and Resulting Beach Growth Along a Barrier Spit Complex, Sedimentology, 26 (1979) 333–351.
17. Thomas, K., V. ve Baba, M., Berm Development on a Monsoon Influenced Microtidal Beach, Sedimentology, 33 (1986) 537–546.
18. Sunamura, T., Sandy Beach Geomorphology Elucidated by Laboratory Modeling, Elsevier Oceanography Series, 49 (1989) 159–213.
19. Koomans, R., L. ve Meijer, R., J., Density Gradation in Cross–Shore Sediment Transport, Coastal Engineering, 51 (2004) 1105–1115.
20. Weir, F., M., Hughes, M., G. ve Baldock, T. E., Beach Face and Berm Morphodynamics Fronting a Coastal Lagoon, Geomorphology, 82 (2006) 331–346.
21. Jensen, S., G., Aagaard T., Baldock, T., E., Kroon, A. ve Hughes, M., Berm Formation and Dynamics on a Gently Sloping Beach; The Effect of Water Level and Swash Overtopping, Earth Surface Processes and Landforms, 34, 11 (2009) 1533–1546.
22. Kobayashi, N., Buck, M., Payo, A. ve Johnson, B., D., Berm and Dune Erosion During Astorm, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 135 (2009) 1–10.
23. Russell, P., E., Masselink, G. ve Blenkinsopp, C., A Comparison of Berm Accretion in The Swash Zone on Sand and Gravel Beaches at the Timescale of Individual Waves, Journal of Coastal Research, 56 (2009) 1791–1795.
24. Suzuki, T. ve Kuriyama, Y., Short–Term Swash Zone Beach Profile Change Model Focusing on Berm Formation and Erosion, Coastal Engineering Proceedings, 32 (2010) 1–10.
25. Masselink, G., Rusell P., Blenkinsopp, C. ve Turner, L., Swash Zone Sediment Transport, Step Dynamics and Morphological Response on a Gravel Beach, Marine Geology, 274 (2010) 50–68.
26. Uzlu, E., Kıyı Profilindeki Yığılma Bölgesi Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2010.
27. Bakhtyar, R., Brovelli, A., Barry, D., A. ve Li, L., Wave–Induced Water Table Fluctuations, Sediment Transport and Beach Profile Change: Modeling and Comparison with Large–Scale Laboratory Experiments, Coastal Engineering, 58 (2011) 103–118.

28. Bendixen, M., Clemmensen, L., B. ve Kroon, A., Sandy Berm and Beach–Ridge Formation in Relation to Extreme Sea–Levels: A Danish Example in a Micro–Tidal Environment, Marine Geology, 344 (2013) 53–64.
29. Uzlu, E., Kömürcü, M., İ., Kankal, M., Dede, T. ve Öztürk H., T., Prediction of Berm Geometry Using a Set of Laboratory Tests Combined with Teaching–Learning–Based Optimization and Artificial Bee Colony Algorithms, Applied Ocean Research, 48 (2014) 103–113.
30. Dally, W., R. ve Dean, R., G., Suspended Sediment Transport and Beach Profiles Evolution, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 110 (1984) 15–33.
31. Wise, R., Kobayashi, N. ve Wurjanto, A., Cross–Shore Sediment Transport Under Irregular Waves in Surf Zones, ASCE, 1991, In Coastal Sediments, 658–673.
32. Sato, S. ve Mitsunobu, N., A Numerical Model of Beach Profile Change due to Random Waves, ASCE, 1991, In Coastal Sediments, 674–687.
33. Lee, C., E., Kim M., H. ve Edge, B., L., Numerical Model for on–Offshore Sediment Transport with Moving Boundaries, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 122 (1996) 84–92.
34. Larson, M., Model of Beach Profile Change Under Random Waves, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 122 (1996) 172–181.
35. Black, K., P., Gorman, R., M. ve Bryan, K., R., Bars Formed by Horizontal Diffusion of Suspended Sediment, Coastal Engineering, 47 (2002) 53–75.
36. Larson, M., Erikson, L. ve Hanson, H., An Analytical Model to Predict Dune Erosion due to Wave Impact, Coastal Engineering, 51 (2004) 675–696.
37. Alsina, J., M., Baldock, T., E., Hughes, M., G., Weir, F. ve Sierra, J., P., Sediment Transport Numerical Modelling in the Swash Zone Coastal Dynamics, ASCE, 2005, Coastal Dynamics, 1–14.
38. Cambazoğlu, M., K., Numerical Modeling of Cross–Shore Sediment Transport and Sand Bar Migration, Doktora Tezi, Georgia Institute of Technology, Georgia, 2009.
39. Van der Werf, J., Nomden, H., Ribberink, J., Walstra, D., J. ve Kranenburg, W., Application of a New Sand Transport Formula within the Cross–Shore Morphodynamic Model Unibest–TC. Coastal Engineering Proceedings, 33 (2012) 1–15.
40. Srisuwan, C., Size–Selective Sediment Transport and Cross–Shore Profile Evolution in the Nearshore Zone, Doktora Tezi, Georgia Institute of Technology, Georgia, 2012.
41. Williams, J., J., Alegria–Arzaburu A., R., McCall, R., T. ve Dongeren, A., V., Modelling Gravel Barrier Profile Response to Combined Waves and Tides Using Xbeach: Laboratory and Field Results, Coastal Engineering, 63 (2012) 62–80.

42. Castelle, B., Dubarbier, B., Tissier, M., Bonneton, P., Conley, D., Ruessink, G. ve Masselink, G., Testing Numerical Hydrodynamic and Morphodynamic Models Against Bardex II Experiment Data Sets, Journal of Coastal Research, 65 (2013) 1745–1750.
43. Nabi, M., Vriend, H., J., Mosselman, E., Sloff, C., J. ve Shimizu, Y., Detailed Simulation of Morphodynamics: 3. Ripples and Dunes, Water Resources Research, 49 (2013) 5930–5943.
44. Zheng, J., Zhang, C., Demirbilek, Z. ve Lin, L., Numerical Study on Sandbar Migration Under the Interaction of Waves and Undertow, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 140 (2014) 146–159.
45. Sonu, C., J., Bimodal Composition and Cyclic Characteristics of Beach Sediment in Continuously Changing Profiles, Journal of Sedimentary Petrology, 42 (1972) 852–857.
46. Moutzouris, C., I., Longshore Sediment Transport Rate Versus Cross–Shore Distribution of Sediment Grain Size, International Conference on Coastal Engineering, 1988, Malaga, Spain, 1959–1973.
47. Boon, J., D. ve Green, M., O., Caribbean Beach Face Slopes and Beach Equilibrium Profiles, 21st International Conference on Coastal Engineering, 1988, Malaga, Spain, 1618–1630.
48. Masselink, G., Longshore Variation of Grain Size Distribution Along the Coast of the Rhbne Delta, Southern France: A Test of the "McLaren Model". Journal of Coastal Research 8 (1992) 286–291.
49. Pruszek, Z., The Analysis of Beach Profile Changes Using Dean's Method and Empirical Orthogonal Functions, Coastal Engineering, 19 (1993) 245–261.
50. Horn, D., P., Sediment Dynamics on a Macrotidal Beach: Isle of Man, UK, Journal of Coastal Research, 9 (1993) 189–208.
51. Medina, R., Losada, M., A., Losada, I., J. ve Vidal, C., Temporal and Spatial Relationship Between Grain Size and Beach Profile, Marine Geology, 118 (1994) 195–206.
52. Katoh, K. ve Yanagishima, S. Changes of Sand Grain Distribution in Surf Zone, Proceedings Coastal Dynamics, 1995, Gdansk, Poland, 639–649.
53. Guillen, J. ve Hoekstra, P., Sediment Distrubition in the Nearshore Zone: Grain Size Evolution in Response to Shoreface Nourishment (Island of Terschelling, The Netherlands), Estuarine Coastal and Shelf Science, 45 (1997) 639–652.
54. Edwards, A., C., Grain Size and Sorting in Modern Beach Sands, Journal of Coastal Research, 17 (2001) 38–52.

55. Çelikoğlu, Y., Yüksel, Y. ve Kabdaşlı, M., S., Cross–Shore Sorting on a Beach Under Wave Action, Journal of Coastal Research, 22 (2006) 487–501.
56. Srisuwan, C., Kömürcü, M., İ., Work, P., A., Karasu, S. ve Özölçer, İ., H., Kıyıya Dik Profil Gelişiminin Fiziksel Modellenmesi ve Tane Sınıflaması, 7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Kasım 2011, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 137–143.
57. Narra, P., Coelho, C. ve Fonseca J., Sediment Grain Size Variation Along a Cross–Shore Profile–Representative d_{50} , Journal of Coastal Conservation, 19 (2015) 307–320.
58. Kabdaşlı, S., Kıyı Mühendisliği, İ.T.Ü. Yayını No:1504, İstanbul, 1992.
59. Yüksel, Y., Çevik, E. ve Çelikoğlu, Y., Kıyı ve Liman Mühendisliği, TMMOB, Ankara, 1998.
60. Yüksel, Y. ve Çevik, E., Ö., Kıyı Mühendisliği, Beta Yayınları, İstanbul, 2009.
61. Kızıloz, B., Denizaltı Boru Hatları Altındaki Yerel Oyulmanın Düzensiz Dalga Etkisinde Modellenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.
62. CERC, Coastal Engineering Manual (CEM), U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, USA, 2002.
63. CERC, Shore Protection Manuel, Fourth Edition, US Army WES, Washington, 1984.
64. Özger, M., Dalga Enerjisi Tahmini ve Stokastik Modelleme, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
65. Akpınar, A., Karadeniz’de Dalga Modellemesi ve Dalga Gücü Potansiyelinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012.
66. Özölçer, İ., H., Kıyı Korumasında Mahmuzların Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
67. Karasu, S., Yapay Besleme Performansına Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2004.
68. Kankal, M., Liman İçi Çalkantıların Fiziksel ve Sayısal Modellenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2010.
69. Horikawa, K., Nearshore Dynamics and Coastal Processes, University of Tokyo, 1987.
70. Yüksek, Ö., Balıkçı Barınaklarının Dolma Sürecinin Araştırılması ve Uygun Proje Ölçütlerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1992.

71. Hallermeier, R., J., Uses for a Calculated Limit Depth to Beach Erosion, Proceedings of 16th Coastal Engineering, 1978, 1493–1512.
72. Birkemeier, W. A., Field Data on Seaward Limit of Profile Change, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 3 (1985) 598–602.
73. Yalçın, Y., Deniz Tabanı Hidrodinamiği ve Kıyı Morfolojisi, 2. Baskı, Arıkan, İstanbul, 2005.
74. Jackson, Nancy, L., Evaluation of Criteria for Predicting Erosion and Accretion on an Estuarine Sand Beach, Delaware, Estuaries, 22 (1999) 215–223.
75. Folk, R., L. ve Ward, W., C., Brazos River Bar: A Study in The Significance of Grain Size Parameters, Journal of Sedimentary Petrology, 27 (1957) 3–26.
76. Blott, J.,S. ve Pye, K., Gradıstat: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments, Earth Surface Processes and Landforms, 26 (2001) 1237–1248.
77. Çelikoğlu, Y., Kıyı Profilleri Üzerindeki Taban Malzemesinde Granülometrik Değişimin Hidrodinamik Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998.
78. Özfalcı, Y., Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Kesitleri: Mars, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
79. Toprak, S., Çok Değişkenli Uyarlamalı Regresyon Eğrileri ve Konik Programlama ile Zaman Serilerinin Modellenmesi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 2011.
80. Ünal, B., Çok Değişkenli Uyarlamalı Regresyon Uzanımları, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
81. Arı H., A., İstatiksel Bir Dalga Modeli Kurulumu ve Kıyı Boyu Katı Madde Taşınımının Modellenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
82. Browne, M., Castelle, B., Strauss, D., Tomlinson, R., Blumenstein, M. ve Lane C., Near-shore Swell Estimation from a Global Wind-Wave Model: Spectral Process, Linear, and Artificial Neural Network Models, Coastal Engineering, 54 (2007) 445–460.
83. Demirci, M., Üneş, F., ve Aköz, M., S., Prediction of Cross-Shore Sandbar Volumes Using Neural Network Approach, Journal of Marine Science and Technology, 20 (2015) 171–179.
84. Kankal, M. ve Yüksek, Ö., Artificial Neural Network for Estimation of Harbor Oscillation in a Cargo Harbor Basin, Neural Computing and Applications, 25 (2014) 95–103.

85. Kankal, M. ve Yüksek, Ö., Artificial Neural Network Approach for Assessing Harbor Tranquility: The case of Trabzon Yacht Harbor, Turkey. *Applied Ocean Research*, 38 (2012) 23–31.
86. Uzlu, E., Kankal, M., Akpınar, A. ve Dede, T., Estimates of Energy Consumption in Turkey Using Neural Networks with the Teaching–Learning–Based Optimization Algorithm, *Energy*, 75 (2014) 295–303.
87. Uzlu, E., Akpınar, A., Öztürk, H. T., Nacar, S. ve Kankal, M., Estimates of Hydroelectric Generation Using Neural Networks with the Artificial Bee Colony Algorithm for Turkey, *Energy*, 69 (2014) 638–647.
88. Çınar, D., Hidroelektrik Enerji Üretimini Hibrid Bir Model ile Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
89. Karaboga, D., An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization. Technical Report–TR06, Erciyes University, Engineering Faculty of Computer Engineering Department, 2005.
90. Akay, B., Numerik Optimizasyon Problemlerinde Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony) Algoritmasının Performans Analizi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2009.
91. Rao, R., V., Savsani, V., J. ve Vakharia, D., P., Teaching–Learning–Based Optimization: A Novel Method For Constrained Mechanical Design Optimization Problems, *Computer–Aided Design*, 43 (2011) 303–315.
92. Dede, T., Optimum Design of Grillage Structures to LRFD–AISC with Teaching–Learning Based Optimization, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48 (2013) 955–964.
93. Dede, T. ve Ayvaz, Y., Structural optimization with teaching–learning–based optimization algorithm, *Structural Engineering and Mechanics*, 47 (2013) 495–511.
94. Rao, R., V., Jaya: A Simple and New Optimization Algorithm For Solving Constrained and Unconstrained Optimization Problems, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7 (2016) 19–34.
95. Rao, R., V. ve Waghmare, G., G., A New Optimization Algorithm for Solving Complex Constrained Design Optimization Problems, *Engineering Optimization*, (2016)1–24.
96. Doğan, E., Katı Madde Konsantrasyonunun Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Tahmin Edilmesi, *Teknik Dergi*, 20 (2009) 4567–4582.

ÖZGEÇMİŞ

Ergun UZLU 1985 yılında Trabzon'da doğmuştur. İlkokulu 24 Şubat İlköğretim Okulu, ortaokulu Cumhuriyet İlköğretim Okulu ve liseyi Trabzon Lisesi'nde 2002 yılında tamamlayarak, 2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazanmıştır. 2008 yılında bu bölümden birinci olarak mezun olmuş ve aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. Aralık 2010'da "Kıyı Profilindeki Yığılma Bölgesi Parametrelerinin Belirlenmesi" adlı tez ile yüksek lisansını tamamlayarak yüksek mühendis unvanını almıştır. Ocak 2011'de Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora çalışmalarına başlamıştır. 2009-2011 yılları arasında Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi, 2011-2012 yılları arasında Devlet Su İşleri 22. Bölge Müdürlüğü'nde İnşaat Yüksek Mühendisi, 2013-2016 yılları arasında ise Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı kapsamında Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmıştır. TÜBİTAK yurt içi yüksek lisans ve doktora burslarını kazanmış olup orta derecede İngilizce bilmektedir.