

156080

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KIYIYA DİK KATI MADDE HAREKETİ SONUCU OLUŞAN
BAR PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

İnş. Yük. Müh. Murat İhsan KÖMÜRCÜ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

“Doktor”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30.12.2003

Tezin Savunma Tarihi : 28.01.2004

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ömer YÜKSEK

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hızır ÖNSOY

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Ercan KÖSE

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Trabzon 2004

ÖNSÖZ

Çeşitli dalga şartlarını, taban eğimlerini ve tabandaki malzeme özelliklerini dikkate alarak kıyıya dik katı madde hareketini incelemeye ve bu hareket sonucunda oluşan erozyon profilindeki bar parametrelerini belirlemeye yönelik bu çalışma; Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır.

Doktora Tez Danışmanlığımı üstlenerek konu seçimi ve çalışmaların yürütülmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Doç. Dr. Ömer YÜKSEK'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Doktora Tez İzleme Komitesi Hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ercan KÖSE ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman Üçüncü'ye eleştirileri ve yönlendirmelerinden dolayı teşekkür ederim.

Yapıcı eleştirilerinden yararlandığım Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı Başkanı Sayın Hocam Prof. Dr. Hızır ÖNSOY'a ve İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı Başkanı Sayın Hocam Prof. Dr. Necati Ağralıoğlu'na teşekkür ederim.

Tezin hazırlanmasında ilgilerinden ve yardımlarından dolayı Yrd. Doç Dr. İsmail Hakkı ÖZÖLÇER'e, Öğr. Gör. Servet KARASU'ya, Öğr. Gör. İlyas Barış KUKUL'a, İnş. Yük. Müh. Ahmet TOKGÖZ'e, Arş. Gör. Mehmet Aydın KÖMÜR'e, Arş. Gör. Fevzi Karslı'ya, Arş. Gör. Faruk Yıldırım'a ve İnş. Müh. Murat KANKAL'a şükranlarımı sunarım.

Ayrıca tezin fiziksel model çalışmalarında, manevi ve teknik desteklerini esirgemeyen Hidrolik Laboratuvarı teknisyenleri İsmail KAZAZ ve Selim OLCA'ya teşekkür ederim.

Murat İhsan KÖMÜRCÜ
Trabzon, 2003

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.3. Literatür Taraması.....	2
1.4. Dalgaların Genel Özellikleri.....	16
1.4.1. Dalga Mekaniği.....	17
1.4.1.1. Basit Dalga Profili.....	17
1.4.1.2. Dalga Boyu ve Dalga Hızı.....	18
1.4.1.3. Derin Deniz Dalgaları.....	18
1.4.2. Dalgaların Kıyıya Yaklaşırken Uğradığı Değişimler.....	19
1.4.2.1. Dalga Sığlaşması.....	19
1.4.2.2. Dalga Kırınımı.....	19
1.4.2.3. Dalga Yansıması.....	20
1.4.2.4. Dalga Sapması.....	20
1.4.2.4.1. Düz Paralel Konturlarda Dalga Sapması.....	20
1.4.2.4.2. Karmaşık Konturlarda Dalga Sapması.....	21
1.4.2.5. Dalga Kırılması.....	21
1.5. Kıyının Morfolojik Yapısı.....	22
1.5.1. Kıyı Bölgesinin Tanımı.....	22
1.5.2. Kıyı Hidrodinamik Dengesi ve Katı Madde Kaynakları.....	24
1.5.3. Kumsal Profil Şekilleri.....	25

1.5.3.1.	Normal Profil.....	25
1.5.3.2.	Fırtına Profili.....	25
1.5.4.	Kıyadaki Katı Maddelerin Fiziksel Özellikleri.....	26
1.5.5.	Katı Madde Taşınımını Etkileyen Faktörler.....	26
1.5.5.1.	Dalgalar.....	26
1.5.5.2.	Akıntılar.....	27
1.5.5.3.	Gel-Gitler.....	27
1.5.5.4.	Rüzgarlar.....	27
1.5.5.5.	Diğer Faktörler.....	27
1.6.	Katı Madde Taşınım Mekanizması.....	28
1.6.1.	Kıyı Bölgesinde Tabanda Hareketin Başlaması.....	28
1.6.2.	Kıyı Bölgesi Katı Madde Hareketi Başlangıcının, Taşınım Türlerinin ve Net Taşınım Yönünün Belirlenmesinde Kullanılan Parametreler.....	29
1.6.3.	Taşınım Türleri.....	30
1.6.3.1.	Taban Malzemesi Taşınımı	31
1.6.3.2.	Taban Malzemesi-Askı Malzemesi Geçışı	31
1.6.3.3.	Askı Şeklinde Malzeme Hareketi	31
1.6.3.4.	Tabaka Akımı	31
1.6.4.	Kırılma Bölgesinde Katı Madde Taşınımı.....	31
1.6.5.	Kırılma Noktası Civarındaki Katı Madde Taşınımı.....	32
1.6.6.	Tırmanma Bölgesinde Katı Madde Taşınımı.....	32
1.6.7.	Katı Madde Taşınım Bölgesinin Sınırı.....	33
1.6.8.	Katı Madde Taşınım Formüllerinin Sınıflandırılması.....	34
1.6.9.	Kıyıya Dik ve Paralel Taşınım.....	34
1.6.9.1.	Kıyıya Paralel Katı Madde Taşınımı ve Debisi.....	34
1.6.9.2.	Kıyıya Dik Katı madde Taşınımı ve Debisi.....	37
1.6.10.	Kıyı Profilinin Gelişimi.....	41
1.7.	Yapay Sınır Ağları (YSA)	42
1.7.1.	YSA'nın Genel Özellikleri.....	42
1.7.2.	YSA'nın Üstünlük ve Sakıncaları.....	43
1.7.3.	YSA'nın Yapısı ve İşlem Elemanı.....	43
1.7.3.1.	Girdiler.....	44
1.7.3.2.	Ağırlıklar.....	44

1.7.3.3.	Birleşme (Toplama) Fonksiyonu.....	44
1.7.3.4.	Transfer veya Aktivasyon Fonksiyonu.....	45
1.7.3.5.	Çıktılar.....	46
1.7.4.	Ağ Tipleri.....	46
1.7.5.	YSA Uygulamalarının Geliştirilmesi.....	47
1.7.5.1.	Tasarım.....	49
1.7.5.2.	Öğrenme Stratejileri.....	49
1.7.5.2.1.	Geriye Yayılım (Back-Propagation) Algoritması.....	50
1.7.5.2.	Test/Uygulama.....	51
1.7.6.	Çok Katmanlı Ağların Performansının Ölçülmesi.....	52
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	53
2.1.	Giriş.....	53
2.2.	Çalışma Kapsamında İrdelenen Bar Parametreleri.....	54
2.2.1.	Barın Başlangıç Noktası.....	55
2.2.2.	Barın Tepe Noktası.....	55
2.2.3.	Barın Son Noktası.....	55
2.2.4.	Bar Hacmi.....	56
2.3.	İrdelenen Bar Parametrelerinin Literatürdeki Durumu.....	56
2.4.	Fiziksel Model Çalışmaları.....	57
2.4.1.	Model Ölçeği.....	57
2.4.2.	Dalga Şartları.....	57
2.4.3.	Taban Eğimi Özellikleri.....	58
2.4.4.	Malzeme Özellikleri.....	58
2.4.5.	Deney Süreleri.....	59
2.4.6.	Dalga Kanalı ve Donanımı.....	60
2.4.7.	Ölçüm Sistemi.....	61
2.4.8.	Yapılan Deneyler.....	62
2.5.	Regresyon Analizleri.....	63
2.5.1.	Çoklu Eksponansiyel Fonksiyon.....	63
2.5.2.	Çoklu Hiperbolik Fonksiyon.....	63
2.6.	Değişkenlerin Boyutsuzlaştırılması.....	64
2.7.	Yapay Sinir Ağı (YSA) Çalışmaları.....	64
2.7.1.	YSA Tabanlı Bar Parametreleri Belirleme Modeli.....	65

2.7.1.1.	Girdiler.....	65
2.7.1.2.	YSA ₁ ve YSA ₂ Modelleri.....	66
2.7.2.	YSA Modellerinde Kullanılan Eğitim Parametreleri.....	66
2.7.3.	Bar Parametrelerini için YSA Modelinin Performansı.....	68
3.	BULGULAR.....	69
3.1.	Barın Başlangıç Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bb}).	70
3.1.1.	X_{bb} için Fiziksel Model Bulguları.....	70
3.1.2.	X_{bb} için Boyutlu Regresyon Analizleri.....	71
3.1.3.	X_{bb} için Boyutsuz Regresyon Analizleri.....	73
3.1.4.	YSA için Seçilen Deney Şartlarındaki X_{bb} Bulguları.....	75
3.2.	Barın Tepe Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bt}).....	76
3.2.1.	X_{bt} için Fiziksel Model Bulguları.....	76
3.2.2.	X_{bt} için Boyutlu Regresyon Analizleri.....	77
3.2.3.	X_{bt} için Boyutsuz Regresyon Analizleri.....	79
3.2.4.	YSA için Seçilen Deney Şartlarındaki X_{bt} Bulguları.....	82
3.3.	Barın Tepe Noktasının Sakin Su Seviyesine Düşey Uzaklığı (h_{bt}).....	83
3.3.1.	h_{bt} için Fiziksel Model Bulguları.....	83
3.3.2.	h_{bt} için Boyutlu Regresyon Analizleri.....	84
3.3.3.	h_{bt} için Boyutsuz Regresyon Analizleri.....	86
3.3.4.	YSA için Seçilen Deney Şartlarındaki h_{bt} Bulguları.....	88
3.4.	Barın Son Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bs}).....	89
3.4.1.	X_{bs} için Fiziksel Model Bulguları.....	89
3.4.2.	X_{bs} için Boyutlu Regresyon Analizleri.....	90
3.4.3.	X_{bs} için Boyutsuz Regresyon Analizleri.....	92
3.4.4.	YSA için Seçilen Deney Şartlarındaki X_{bs} Bulguları.....	95
3.5.	Bar Hacmi (V_{bh})	96
3.5.1.	V_{bh} için Fiziksel Model Bulguları.....	96
3.5.2.	V_{bh} için Boyutlu Regresyon Analizleri.....	97
3.5.3.	V_{bh} için Boyutsuz Regresyon Analizleri.....	99
3.5.4.	YSA için Seçilen Deney Şartlarındaki V_{bh} Bulguları.....	101
4.	İRDELEME.....	103
4.1.	Barın Başlangıç Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bb}).	104
4.2.	Barın Tepe Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bt}).....	106

4.3.	Barın Tepe Noktasının Sakin Su Seviyesine Düşey Uzaklığı (h_{bt}).....	108
4.4.	Barın Son Noktasının Orjinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bs}).....	110
4.5.	Bar Hacmi (V_{bh})	112
5.	SONUÇLAR.....	115
6.	ÖNERİLER.....	120
7.	KAYNAKLAR.....	122
8.	EKLER.....	129
	ÖZGEÇMİŞ.....	146



ÖZET

Kıyı bölgesindeki katı madde hareketinin belirlenmesi, bu bölgenin anlaşılması ve düzenlenmesi için oldukça önemlidir. Dalgalar, topografik yapı ve malzeme özellikleri son derece hareketli olan bu bölgedeki katı madde hareketine önemli etkilerde bulunmakta ve oluşan profillerin durumunu (erozyon-yığılma) belirlemektedir.

Bu çalışmada, kıyıya dik katı madde hareketi, dalga yüksekliği ve periyodu, taban eğimi ve tabandaki malzeme çapı dikkate alınarak fiziksel bir modelle incelenmiş ve elde edilen erozyon profili verileriyle bar parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Fiziksel model verileri kullanılarak yapılan boyutlu ve boyutsuz regresyon analizleriyle bar parametreleri için boyutlu ve boyutsuz denklemler kurulmuştur. Elde edilen boyutlu ve boyutsuz denklemlerin yanı sıra, fiziksel model verileri, yapay sinir ağı (YSA) modeliyle de irdelenmiş ve ilgili parametreler belirlenmiştir.

Çalışma yedi bölüm ve eklerden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde dalga mekaniği, kıyılarda katı madde hareketi, YSA hakkında genel bilgiler ve literatür çalışmaları verilmiştir. İkinci bölümde yapılan çalışmalar hakkında bilgiler anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, bar parametreleri için fiziksel model çalışmalarından ve bu çalışmaların verileri kullanılarak kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemlerden ve YSA modelinden elde edilen bulgular verilmiştir. Dördüncü bölümde, bar parametreleri için kurulan boyutlu, boyutsuz ve literatürdeki denklemler ve YSA model sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Beşinci ve altıncı bölümlerde sırasıyla çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler verilmiştir. Yedinci bölümde kaynaklar, eklerde ise barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı için regresyon analiz sonuçları ile tüm parametreler için deney, boyutlu, boyutsuz ve literatürdeki denklem sonuçları sunulmuştur.

Çalışmada; bar parametreleri için kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemlerin ve YSA modelinin, literatürdeki denklemlerden çok daha iyi sonuç verdiği, ve YSA modelinin, kurulan denklemlerden daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kıyıya Dik Katı Madde Hareketi, Kıyı Profilleri, Erozyon Profili Yığılma Profili, Bar Parametreleri, Regresyon Analizleri, Yapay Sinir Ağları

SUMMARY

Determination of Bar Parameters Caused by Cross-Shore Sediment Movement

In order to understand the features of coastal zone and to utilize the costal areas, it is necessary to determine the sediment movement and the resulting transport. Waves, topographic features and material parameters are the most important factors to affect the sediment movement and coastal profiles.

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 bar parameters of the resultant erosion type profile were determined. Various kinds of dimensional and non-dimensional equations were obtained by regression analyses in which the experimental results were used. The experimental results were also evaluated by using neural networks and the related bar parameters were determined.

The study comprises seven chapters and appendices. In the first chapter, general knowledge about wave mechanics, sediment transport and neural networks as well as a general literature review are presented. In the second chapter, the performed studies are given. In the third chapter, the experimental results and dimensional, non-dimensional equations and neural networks, which were obtained from resulting data of physical model studies, are presented. In the fourth chapter, the dimensional, non-dimensional and literature equations as well as neural networks results are evaluated. In the fifth and sixth chapter, the conclusions and recommendations of the study are given, respectively. In the seventh chapter, references are given. In the appendices, the results of regression analysis of the distance between coastline and equilibrium point as well as the experimental results and dimensional, non-dimensional and literature equation results of all parameters are presented.

It was concluded that the results of the dimensional, non-dimensional equations and neural networks were better than those of cited in equations literature. It was also concluded that the results of neural networks were better than those of dimensional and non-dimensional equations.

Key Words: Cross-Shore Sediment Movement, Coastal Profiles, Erosion Profile, Accretion Profile, Bar Parameters, Regression Analysis, Neural Networks

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Sünizoidal dalga profili.....	17
Şekil 1.2.	Kıyı bölgesi.....	23
Şekil 1.3.	Kıyı katı madde dengesi.....	24
Şekil 1.4.	YSA için bir işlem elemanının yapısı.....	44
Şekil 1.5.	Çok katmanlı ağ modelleri.....	47
Şekil 1.6.	YSA uygulamaları geliştirme aşamaları.....	48
Şekil 2.1.	İrdelenen erozyon profilindeki bar parametreleri.....	54
Şekil 2.2.	Deneylerde kullanılan malzemelerin elek analizi sonuçları.....	59
Şekil 2.3.	Model dalga kanalı ve kesiti.....	60
Şekil 2.4.	Ölçüm ağı planı.....	61
Şekil 2.5.	Geliştirilen YSA tabanlı bar parametrelerini belirleme modelinin genel mimarisi.....	65
Şekil 2.6.	YSA ₁ ve YSA ₂ alt modellerinin mimarileri.....	66
Şekil 2.7.	YSA modelleri için eğitim algoritmasının belirlenmesi.....	67
Şekil 2.8.	YSA ₁ modelinin eğitim ve test seti performansı (X_{bb} , X_{bt} , X_{bs}).....	68
Şekil 2.9.	YSA ₂ modelinin eğitim ve test seti performansı (V_{bh} , h_{bt}).....	68
Şekil 4.1.	X_{bb} için en iyi denklemlerin ve YSA'nın deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	105
Şekil 4.2.	X_{bt} için en iyi denklemlerin ve YSA'nın deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	107
Şekil 4.3.	h_{bt} için en iyi denklemlerin ve YSA'nın deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	110
Şekil 4.4.	X_{bs} için en iyi denklemlerin ve YSA'nın deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	112
Şekil 4.5.	V_{bh} için en iyi denklemlerin ve YSA'nın deney sonuçlarıyla karşılaştırılması.....	114

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	Kıyıya dik erozyon ve yığılma kriterleri.....	5
Tablo 1.2.	Hsu'nun deneylerinde kullandığı dalga şartları.....	10
Tablo 1.3.	YSA'nın üstünlük ve sakıncaları.....	43
Tablo 1.4.	Birleşme fonksiyonu örnekleri.....	45
Tablo 1.5.	En çok kullanılan transfer fonksiyonları.....	46
Tablo 2.1.	İrdelenen bar parametrelerinin literatürdeki durumu.....	56
Tablo 2.2.	1.46 ve 2.03 sn periyotlu dalgalar için dalga yükseklik ve diklikleri.....	58
Tablo 2.3.	Yapılan deneyler.....	62
Tablo 2.4.	YSA modelleri için eğitim algoritmasının belirlenmesi.....	67
Tablo 3.1.	X_{bb} için fiziksel model bulguları.....	70
Tablo 3.2.	X_{bb} için bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı.....	71
Tablo 3.3.	X_{bb} için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları.....	72
Tablo 3.4.	X_{bb} için boyutsuz değişken alternatiflerinden elde edilen determinasyon katsayıları.....	73
Tablo 3.5.	X_{bb} için boyutsuz bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı.....	74
Tablo 3.6.	X_{bb} için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları.....	75
Tablo 3.7.	X_{bb} için elde edilen bulgular.....	76
Tablo 3.8.	X_{bt} için fiziksel model sonuçları.....	77
Tablo 3.9.	X_{bt} için bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı.....	78
Tablo 3.10.	X_{bt} için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları.....	79
Tablo 3.11.	X_{bt} için boyutsuz değişken alternatiflerinden elde edilen determinasyon katsayıları.....	80
Tablo 3.12.	X_{bt} için boyutsuz bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı.....	80

Tablo 3.13. X_{bt} için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları.....	81
Tablo 3.14. X_{bt} için elde edilen bulgular.....	82
Tablo 3.15. h_{bt} için fiziksel model bulguları.....	83
Tablo 3.16. h_{bt} için bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı.....	84
Tablo 3.17. h_{bt} için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları.....	85
Tablo 3.18. h_{bt} için boyutsuz değişken alternatiflerinden elde edilen determinasyon katsayıları.....	86
Tablo 3.19. h_{bt} için boyutsuz bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı.....	87
Tablo 3.20. h_{bt} için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen fonksiyon katsayıları.....	88
Tablo 3.21. h_{bt} için elde edilen bulgular.....	89
Tablo 3.22. X_{bs} için fiziksel model sonuçları.....	90
Tablo 3.23. X_{bs} için bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı.....	91
Tablo 3.24. X_{bs} için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen fonksiyon katsayıları.....	92
Tablo 3.25. X_{bs} için boyutsuz değişken alternatiflerinden elde edilen determinasyon katsayıları.....	93
Tablo 3.26. X_{bs} için boyutsuz bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı.....	93
Tablo 3.27. X_{bs} için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları.....	94
Tablo 3.28. X_{bs} için elde edilen bulgular.....	95
Tablo 3.29. V_{bh} için fiziksel model sonuçları.....	96
Tablo 3.30. V_{bh} için bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı.....	97
Tablo 3.31. V_{bh} için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları.....	98
Tablo 3.32. V_{bh} için - boyutsuz değişken alternatiflerinden elde edilen determinasyon katsayıları.....	99
Tablo 3.33. V_{bh} için boyutsuz bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı.....	100
Tablo 3.34. V_{bh} için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları.....	101

Tablo 3.35. V_{bh} için elde edilen bulgular.....	102
Tablo 4.1. X_{bb} için rölatif hatalarının ortalama ve standart sapmaları.....	104
Tablo 4.2. X_{bt} için rölatif hatalarının ortalama ve standart sapmaları.....	106
Tablo 4.3. h_{bt} için rölatif hatalarının ortalama ve standart sapmaları.....	109
Tablo 4.4. X_{bs} için rölatif hatalarının ortalama ve standart sapmaları.....	111
Tablo 4.5. V_{bh} için rölatif hatalarının ortalama ve standart sapmaları.....	113
Ek Tablo 1. X_{bb} boyutlu bağımlı değişken için eksponansiyel fonksiyon regresyon katsayıları.....	129
Ek Tablo 2. X_{bb} boyutlu bağımlı değişken için hiperbolik fonksiyon regresyon katsayıları.....	129
Ek Tablo 3. $\overline{X_{bb}}$ için eksponansiyel fonksiyon regresyon katsayıları.....	130
Ek Tablo 4. X_{bb} için hiperbolik fonksiyon regresyon katsayıları.....	133
Ek Tablo 5. X_{bb} için tüm deney ve denklemlerden elde edilen sonuçlar.....	136
Ek Tablo 6. X_{bt} için tüm deney ve denklemlerden elde edilen sonuçlar.....	138
Ek Tablo 7. h_{bt} için tüm deney ve denklemlerden elde edilen sonuçlar.....	140
Ek Tablo 8. X_{bs} için tüm deney ve denklemlerden elde edilen sonuçlar.....	142
Ek Tablo 9. V_{bh} için tüm deney ve denklemlerden elde edilen sonuçlar.....	144

SEMBOLLER DİZİNİ

a	: Dalga genliği
A_{ij}	: i ve j işlem elemanları arasındaki bağlantıların ağırlığı
A_w	: Boyutsuz katsayı
A_{wb}	: Türbülansın bir fonksiyonu
b	: Sapan dalga ortogonalleri arasındaki mesafe, Regresyon katsayıları
b_0	: Derin deniz dalga ortogonalleri arasındaki mesafe
B	: Barın başlangıç noktası
c	: Eksponansiyel fonksiyon için regresyon katsayısı
C	: Dalga hızı
C_b	: Belirgin dalga yayılma hızı
C_g	: Dalga grup hızı
C_0	: Açık deniz dalga hızı
C_z	: Derinlik boyunca katı madde konsantrasyonları
C^*	: Yığılma-erozyon kriteri
C^{**}	: Yığılma-erozyon kriteri
d_0	: Tabana yakın su hareketinin dolaşım uzunluğu
d_{50}	: Taban malzemesinin medyan çapını
D	: Her bir hacim başına enerji dağılımı, Su parçacığı yörünge çapı
D_{EQ}	: Denge profili altındaki dağılım
D_o	: Iwaghi ve Noda'nın önerdiği yığılma-oyulma kriteri
e_i	: i . rölatif hata
f_w	: Dalga sürtünme faktörü
F_D	: Taşınım yönünü belirleyen fonksiyon
F_o	: Yığılma-oyulma kriteri için bir tür Froude Sayısı
g	: Yerçekimi ivmesi
G_o	: Kıyı profili parametresi
G'_o	: Dean'in önerdiği yığılma-oyulma kriteri
KGy	: Konjuge Gradyan Yöntemi
GYA	: Geriye yayılım algoritması

GY	: En hızlı azalan Gradyan Yöntemi
GWT	: Ağırlık Dalgaları Tabloları
h	: Su derinliği
h*	: Taban malzemesinin taşınabileceği derinlik
h _b	: Kırılma derinliği
h _{bb}	: Barın başlangıç noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı
h _{bs}	: Barın son noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı
h _{bt}	: Bar tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı
H	: Lokal dalga yüksekliği
H _b	: Kırılma anındaki dalga yüksekliği
H _d	: Engelin arkasında belli bir noktadaki dalga yüksekliği
H ₀	: Açık deniz dalga yüksekliği
H _{sb}	: Belirgin dalga yüksekliği
H _y	: Yansıyan dalga yüksekliği
H _{1/3}	: Belirgin dalga yüksekliği
i, j	: İşlem elemanı
k	: Deneysel katsayı
k ₃	: Sabit
K	: Boyutsuz bir katsayı, Orijinal kıyı çizgisi, Dalga sayısı
K _d	: Kırınım katsayısı
K _D	: Boyutsuz katsayı
KH	: Karesel Ortalama Hata
K _r	: Sapma katsayısı
K _s	: Sığlaşma katsayısı
K _y	: Yansıma katsayısı
l	: Kum dalgacığı boyu
L	: Lokal dalga boyu
L ₀	: Açık deniz dalga boyu
m	: Ortalama taban eğimi, YSA için örnek çıktı sayısı
MH	: Mutlak Ortalama Hata
n	: Bağımsız değişken sayısı
Net _i	: i işlem elemanına giren net girdi
N ₀	: Yığılma-oyulma kriteri için Dean sayısı

ÖKGY	: Ölçeklenmiş Konjuge Gradyan Yöntemi
P	: Enerji Akısı, Katı madde taneciklerinin porozitesi
P_{ls}	: Belirgin dalga yüksekliğine bağlı enerji akısı
q	: Birim hacimdeki katı madde debisi
q_b	: Dalga kırılma noktasındaki taşınım miktarı
q_c	: Taşınım ana akışın katkısı
q_{net}	: Net taşınım miktarı
q_r	: Dalga tırmanması sonucu oluşan taşınım
q_{sx}	: Kıyıya dik yöndeki katı madde taşınım oranı
q_{sy}	: Kıyıya paralel yöndeki katı madde taşınım oranı
q_w	: Dalga akıntı nedeniyle oluşan taşınım
$Q_{brüt}$	: Brüt toplam taşınım debisi
Q_{net}	: Net toplam taşınım debisi
$Q_{sağ}$	: Sağ yöndeki toplam taşınım debisi
Q_{sol}	: Sol yöndeki toplam taşınım debisi
r	: Korelasyon katsayısı
r^2	: Determinasyon katsayısı
s	: Katı madde taneciğinin su içerisindeki özgül ağırlık
S	: Barın son noktası
SEP	: Submarine Denge Profili
Sgn	: Signum fonksiyonu
SP	: Submarine Profilleri
SSS	: Sakin su seviyesi
S_o	: Derin (açık deniz) su dalga dikliği
t	: Zaman, YSA için örneğin gerçek çıktıları
T	: Dalga periyodu, Barın tepe noktası
$T_{1/3}$	: Belirgin dalga periyodu
$\tan\beta$	: Taban eğimi
u_b	: Taban yörünge hızı
U_b	: Tabandaki akışkan hızı
U_r	: Ursell parametresi
U_z	: Derinlik boyunca akışkan hızları
V_{bh}	: Bar hacmi

y	: Örneğin hesaplanan çıktıları, Bağımlı değişken
YSA	: Yapay Sinir Ağları
YSA ₁	: YSA alt modeli (X_{bb} , X_{bt} ve X_{bs})
YSA ₂	: YSA alt modeli (V_{bh} , h_{bt})
z	: Tabandan yükseklik
w	: Çökme hızı
W	: Açısal frekans
x	: Yatay eksen boyunca alınan mesafe, Bağımsız değişken
x_h	: Denklemlerden veya YSA'dan bulunan değer
x_j	: j işlem elemanının çıktısı
x_0	: Deneylerde ölçülen değer
X_{bb}	: Bar başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı
X_{bt}	: Bar tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı
X^*	: Katı maddenin taşınabileceği son noktanın kıyı çizgisine yatay uzaklığı
ΔF	: Birim alan başına enerji akısı dağılımı
η	: Maksimum su yüzeyi yüksekliği, Dalga profilinin durgun suya göre düşey mesafesi
α	: Sapan dalga cephelerinin kıyı çizgisiyle yaptığı açı
α_0	: Hsu'nun kullandığı başlangıç dalga açısı
α_b	: Kırılma anındaki dalga açısı
ξ_0	: Düzenlenmiş Iribarren sayısı
ρ_s	: Kum taneciğinin özgül kütlesi
ρ	: Suyun özgül kütlesi
ψ_c	: Katı madde taşınımının başladığı kritik Shields parametresi
ψ_m	: Shields parametresi
ψ'	: Akım yoğunluk parametresi
γ	: Suyun özgül ağırlığı, Kırılma indisi
γ_s	: Katı madde taneciklerinin özgül ağırlığı
τ	: Taban kayma gerilmesi
τ_{cr}	: Hareket başlangıcındaki kayma gerilmesi
ε	: Deneysel katsayı
β	: Başlangıç (düzeltilmiş) kıyı profilinin yatayla yaptığı açı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünyada meydana gelen sosyal ve ekonomik gelişmelerin bir sonucu olarak, insanların kıyılara bakış açısı değişmekte, kıyılara olan ilgi ve kıyıların kullanımı her geçen gün artmakta ve çeşitlenmektedir. Bu gelişmelere paralel olarak, kıyı mühendisliğinde de büyük gelişmeler olmakta ve kıyılara yapılan müdahaleler bilimsel kurallara dayandırılmaya başlanmaktadır.

Kıyı mühendisliği çalışmalarının kapsamına giren bütün konularda karşılaşılan problemlerin başında 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.

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. Kıyı katı madde hareketi ile ilgili önemli bir konu da kıyıdaki katı maddelerden yararlanma imkanlarının araştırılmasıdır. Kıyıda yapılacak çeşitli yapılar yardımıyla oldukça geniş kumsallar oluşturulabilir. Bu yapıların planlama ve projelendirilmelerinde, katı madde taşınım mekanizmasının bilinmesi oldukça önemlidir.

İnsanlardaki artan oranda kıyılardan yararlanma isteklerinin yanı sıra, yükselen çevre bilinci ve çevre korumacılığı, doğal dengeye mümkün olduğunca uyumlu yapı tasarımlarını özendirilmektedir. Bu nedenle doğal dengenin en önemli parçası olan kıyılarda, katı madde hareketlerinin iyi analiz edilmesi ve anlaşılması gerekmektedir. İnsanlar ve diğer etkenler tarafından kirletilen suların deşarjı, genelde göl ve deniz gibi doğal olarak ikinci derecede arıtımın sağlandığı tabii ortamlara yapılmaktadır. Deniz deşarjlarının hidrolik dizaynı; denizdeki dalga-akıntı yapısının, deniz suyu özelliklerinin ve özellikle deniz taban hareketinin bilinmesi ile mümkündür. Aksi halde deniz tabanına döşenen deşarj hatları bu etkenlerle kırılarak vahşi deşarj şekline dönüşebilir ya da istenilen şekilde çalışmayarak kıyıların kirlenmesine neden olabilir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Kıydan optimum yararlanma, kıyı gerisini koruma vb. amaçlarla yapılan kıyı yapıları genelde hareketli tabanlara oturmaktadır. Tabandaki malzeme hareketinin miktarı, yönü ve değişimi; yapılacak bir kıyı yapısının stabilitesini, maliyetini ve estetiğini önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle 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. Bu sebeple, kıyı yapılarının projelendirilmesinde en önemli faktörlerden bir tanesi kıyı profilleridir. Dalga enerjisinin büyük bir bölümünün sönmüldüğü deniz taban profilleri, zaman içerisinde ve çeşitli dalga şartlarında farklı özelliklerde oluşabilirler. Dalga şartları, taban eğimi, tabandaki malzeme özellikleri vb. parametreler, katı madde taşınımını ve bunun sonucu olarak da taban profillerinin değişimini önemli ölçüde etkilemektedir.

Yapılan bu çalışmanın amacı; dalga yükseklik ve periyodunu, taban eğimini ve tabandaki malzeme çapını dikkate alarak kıyıya dik katı madde hareketini incelemek ve bu hareket sonucunda oluşan erozyon profilindeki bar parametrelerini belirlemektir.

Konuyla ilgili literatür çalışmaları yapılarak, bar parametrelerini belirlemedeki eksiklikler araştırılmış ve çalışmaya bu doğrultuda yön verilmiştir. Literatür çalışmaları ve dikkate alınan model ölçeği doğrultusunda, dalga şartları, taban eğimleri ve tabandaki katı madde özellikleri seçilerek, Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarı iki boyutlu dalga kanalında, fiziksel model çalışmaları yapılarak ilgili parametrelere yönelik veriler elde edilmiştir. Fiziksel model verileri dikkate alınarak yapılan boyutlu ve boyutsuz regresyon analizleriyle, bar parametreleri için boyutlu ve boyutsuz denklemler kurulmuştur. Elde edilen boyutlu ve boyutsuz denklemlerin yanı sıra, fiziksel model verileri, yapay sinir ağı (YSA) tabanlı bar parametrelerini belirleme modeliyle de irdelenmiş ve ilgili parametreler belirlenmiştir. Fiziksel model verileri kullanılarak bar parametreleri için, elde edilen boyutlu, boyutsuz ve literatürdeki ilgili denklemler karşılaştırılarak en iyileri seçilmiştir. Son olarak fiziksel model, en iyi boyutlu, boyutsuz, literatürdeki denklem ve YSA model sonuçları karşılaştırılarak irdelenmiştir.

1.3. Literatür Taraması

Konuyla ilgili literatür çalışmaları özetlenerek aşağıda verilmektedir:

Daly ve Dean [1], sadece askı halindeki malzeme taşınımını dikkate alarak bir kıyıya dik taşınım formülü geliştirmiş, çeşitli katı madde ve dalga şartlarına göre formülün kıyı profilini temsil yeteneğini değerlendirmiş ve geliştirilen formülün, fırtına ve normal profili belirleyebildiği sonucuna varmışlardır.

Sunamura [2], dalga tırmanma bölgesindeki (swash zone) kıyıya dik malzeme hareketi için dalga kanalı deneylerine dayanarak bir formül geliştirmiş ve geliştirdiği formülle, bu bölgedeki malzeme hareketinin yönünün ve debisinin iyi bir şekilde belirlenebildiğini vurgulamıştır. Formülün arazi verileriyle değerlendirilmesi yapılmamıştır.

Horikawa [3], kıyıya yakın bölgenin (kıyı çizgisi ile yaklaşık 20 m derinlik arasındaki bölge) ortalama taban eğimini (m) ve taban malzemesinin medyan çapını (d_{50}) da hesaba katan bir kıyı profili parametresi tanımlamıştır:

$$G_o = (H_o/L_o) \cdot m^{0.27} \cdot (L_o/d_{50})^{0.67} \quad (1.1)$$

$G_o > 1/9$ ise yığılma

$1/9 \leq G_o \leq 1/18$ ise geçiş

$G_o < 1/18$ ise erozyon oluşmaktadır. Denklemden H_o ve L_o , sırasıyla derin deniz dalga yüksekliği ve boyudur.

Chen ve Graaff [4], kıyıya dik taşınım debisini incelemişlerdir. Taşınım debisinin akışkan hızı ve katı madde konsantrasyonuyla ilişkili olduğunu varsaymışlar ve aşağıdaki denklemi geliştirmişlerdir. Bu denklemin kullanılabilmesi için derinlik boyunca akışkan hızları (U_z) ve katı madde konsantrasyonları (C_z) ölçülmelidir.

$$q = q_c = \int_0^{h+\eta} \bar{U}(z) \cdot \bar{C}(z) \cdot dz \quad (1.2)$$

Denklemden; sırasıyla, q_c taşınım ana akımın katkısı, h su derinliği, η maksimum su yüzeyi yüksekliği, z tabandan yüksekliği göstermektedir.

Aynı araştırmacılar, ana akışın yanında salınımlı akışın katkısını da ilave ederek yeni bir denklem geliştirmişlerdir (Denklemin 1.3). Bu denklemin geçerliliğini araştırmaya

yönelik laboratuvar çalışmaları yapmışlar ve sonuç olarak, denklemin üzerine ilave çalışmaların yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

$$q^* = B \cdot q_c \quad (1.3)$$

Bu eşitlikteki B, 1-4 arasında değişen ve kıyı çizgisinden uzaklaştıkça azalan bir katsayıdır.

Steetzel [5] tarafından yapılan çalışmayla, fırtına kabarması sonucu oluşan kumul (dune) erozyonunu belirleyen bir model geliştirilmiş ve model sonuçları laboratuvar sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada taşınım debisi, katı madde konsantrasyonu ve akışkan hızı yardımıyla belirlenmiştir. Laboratuvar ve model sonuçları; dalga yüksekliği, periyodu, su seviyesi ve dune yüksekliğinin artmasının, dune erozyonunu artırdığını göstermiştir. Ayrıca suyun kabarma seviyesindeki %20'lik bir artışın erozyonda %60'lık bir artışa sebep olduğu da ortaya çıkmıştır. Bunun yanında, dalganın doğrudan dune vurmasının erozyonda %10-%15'lik ekstra bir artışa sebep olduğu ifade edilmiştir. Yapılan çalışmada, kabarma miktarı, katı madde tane çapı ve fırtına şartları dune erozyonunda en önemli parametreler olarak ortaya çıkmıştır. Yapılan küçük ölçekli testler, dune erozyonu süresince bir barın ve sel hendeğinin oluştuğunu göstermiştir. Eğer bar aktif bölgenin dışında oluşursa, bar üzerinde dalga yüksekliğinin azalmasından dolayı dune erozyonu miktarında da azalma görülmektedir. Eğer bar dunenin temeline yakın oluşursa, fırtına profilinin oluşması için gerekli kum miktarı daha az olacağından erozyon da az olmaktadır. Dune yakınlarında bir sel hendeğinin oluşması durumunda ise erozyonun çok hızlı arttığı tespit edilmiştir.

Roelvink [6], Delf Üniversite'sinde kıyıya dik morfolojik ve hidrodinamik değişim üzerine yaptığı çalışmalar sonucu, dalga grubunun değişimini tanımlayan zamana bağlı, bir boyutlu bir model sunmuştur. Model, literatürde sunulan modellere göre kullanım açısından daha basit (kolay) olmasına rağmen daha genel ve geniş bir uygulanabilirliğe sahiptir. Bununla birlikte formüllerin doğruluğu ve geçerliliği halen araştırılmaktadır.

Nairn [7], büyük bir kanalda (324 m uzunluğunda, 7 m derinliğinde ve 5 m genişliğinde) dune erozyonu üzerine çalışmıştır. Laboratuvar çalışmaları yanında büyük bir fırtına sonucu oluşan dune erozyonu konusunda arazi verileri de elde edebilmiştir. Aynı araştırmacı, sayısal bir model de geliştirmiş, fakat bu model, arazi ve laboratuvar verileriyle uyum göstermemiştir (özellikle maksimum erozyon şartında). Bunun sebepleri olarak,

dalga'nın direkt dune çarpmasının yeterli güvenlikte belirlenememesini ve açığa giden malzemenin modellenememesini göstermiştir.

Kraus vd. [8] tarafından, kıyıya dik taşınım ile ilgili mevcut olan yığılma ve erozyon kriterlerinin bir değerlendirilmesi yapılmıştır. Yığılma ve erozyon ile ilgili kriterler arasındaki ilişkiler incelenmiş ve bu kriterlerin yetersizlikleri ortaya konulmuştur. Bu araştırmada incelenen kriterler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1.1. Kıyıya dik erozyon ve yığılma kriterleri

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 çökme hızını, T dalga periyodunu ve g ise yerçekimi ivmesini göstermektedir.

Kriebel vd. [9], kıyı profillerindeki değişimleri incelemişler ve ikisi kumsal eğimini hesaba katan üç denge profili sunmuşlardır. Bu profilleri, su seviyesi yükselmesi sonucu (fırtına kabarması) oluşan maksimum erozyonun analitik çözümü için kullanmışlardır.

Zheng ve Dean [10] çalışmalarında, dengeli kıyı profili kavramına göre, katı madde taşınımının sebebi olarak, kıyının denge halinden sapmasını göstermişler ve bu teoriye dayanan bir kıyıya dik taşınım modeli önermişlerdir. Lineer olmayan bu modeli, laboratuvar ve iki büyük fırtınanın arazi verilerini kullanarak, lineer modellerle ve geliştirilen başka modellerle karşılaştırmışlardır. Çalışmacılar tarafından geliştirilen model, sadece kıyı erozyonunu kapsamakta, kıyı yığılmasını ise dikkate almamaktadır. Geliştirilen modelin kıyı erozyonu konusunda oldukça iyi sonuç verdiği, çalışmacılar tarafından vurgulanmaktadır.

Rakha vd. [11], kıyı profili değişimi için bir kıyıya dik taşınım modeli geliştirmişlerdir. Model dört alt modülden oluşmaktadır.

- a. Dalga modülü,
- b. Hidrodinamik modülü,
- c. Katı madde taşınım modülü,
- d. Batimetri modülü.

Geliştirilen modellerin sonuçları, üç farklı fiziksel model sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve oldukça iyi sonuç verdiği ifade edilmiştir.

Quick vd. [12], kıyıya paralel taşınım debisinin kıyı profili (kıyıya dik doğrultu) boyunca değişimini deneysel olarak incelemiş, çalışma sonucunda taban eğiminin ve malzeme çapının katı madde debisi ve bu debinin profil boyunca değişimine etkisi olduğunu vurgulamıştır.

Uda [13] tarafından, Japonya'daki 22 kıyı bölgesinde oluşan erozyon ve kıyı gerilemelerinin sebepleri araştırılmış ve bu sebepler, altı ana gruba ayrılarak en önemlileri olarak şunlar ifade edilmiştir:

- a. Yapılar tarafından kıyı boyu malzeme taşınımının engellenmesi,
- b. Açık deniz mendireklerinin korunmuş taraflarındaki yakın kıyı akıntılarının oluşmasıyla kumsal erozyonunun başlaması,
- c. Akarsulardan gelen katı maddenin azalması.

Çalışmada, erozyona karşı alınabilecek bazı önlemler ve bu önlemlerin olumsuzlukları da kısaca özetlenmiştir.

Hedegaard vd. [14], kıyıya dik taşınımı dikkate alarak, çeşitli dalga ve akıntı parametrelerini incelemişler; bir kıyıya dik taşınım modeli geliştirerek bar oluşumunu belirlemişler ve düzenli dalgalarla yapılmış deneylerle modeli karşılaştırmışlardır. Çalışmacılar, modelle deneyler arasında bazı farklılıkların olduğunu (modelin barı dengeye ulaştıramadığını) belirtmişlerdir.

Sato ve Mitsunobu [15], düzensiz dalga deformasyonu ve sonucunda meydana gelen kumsal profil değişimi için sayısal bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen model, uzun ve kısa dalga yayılmalarını ve değişik katı madde hareket formüllerini kullanan taşınım modüllerini kapsamaktadır. Modelin kapsadığı modüller şunlardır:

- a. Kısa dalgaların deformasyonu,
- b. Uzun ve kısa dalgalar arasındaki etkileşim,
- c. Tabana yakın hız değişiminin hesabı,
- d. Katı madde taşınım formülünün uygulaması.

Modelin geçerliliği laboratuvar verileriyle irdelenmiştir. Düzensiz dalgaların kırılma bölgesinde oluşturduğu uzun dalgaların; katı maddenin kıyıya taşınmasına katkıda bulunduğu ortaya çıkmıştır. Uzun dalgaların toplam net taşınım etkisinin, kısa dalgalardan ve geri (ters) akıntılardan daha fazla olduğu gözlenmiştir. Modelde, dalga ve akıntı hesapları doğruya yakın elde edilmesine rağmen, katı madde taşınımı aynı doğrulukta elde edilememiştir.

Wise vd. [16] tarafından, düzensiz dalgalar için kırılma ve tırmanma bölgesinde, ortalama derinlikteki hız ve serbest su yüzeyi yüksekliklerini tahmin eden bir sayısal model sunulmuştur. Sayısal model, literatürdeki Bailard'ın toplam malzeme taşınımı formülüyle birleştirilmiştir. Model, açığa doğru taşınan katı madde miktarını iyi tahmin etmesine rağmen, kıyıya doğru net katı madde taşınımını tahmin edememektedir. Hızın, ortalama bir derinlik yerine düşey bir kesit boyunca belirlenmesiyle bu sorunun giderilebileceği sonucuna varılmıştır.

Mase ve Kobayashi [17] tarafından üniform eğimli bir kumsal üzerindeki kırılma ve tırmanma bölgesinde, rüzgar ve dalga frekans bantlı düzensiz dalgaların serbest yüzey karakteristikleri deneysel olarak araştırılmış ve dalga yüksekliğinin kıyıya dik değişimini tahmin eden bir sayısal model sunulmuştur.

Leont' yev [18] tarafından yapılan çalışmayla, kıyıya dik taşınım debisi;

- a. Dalga akıntı nedeniyle oluşan taşınım (q_w),
- b. Dalga tırmanması sonucu oluşan taşınım (q_r)

şeklinde iki gruba ayrılmış ve toplam taşınımı da, bu ikisinin toplamı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada kıyı profili üç bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgeler:

1. Sığlaşma bölgesi,
2. Kırılma bölgesi,
3. Tırmanma bölgesidir.

Sığlaşma bölgesindeki toplam taşınım debisini, sadece dalga akıntı etkisiyle oluşan taşınım debisi; tırmanma bölgesindeki toplam taşınım debisini ise yalnızca dalga tırmanması nedeniyle oluşan taşınım debisi etkilemektedir. Kırılma bölgesindeki toplam taşınım debisi ise her iki etki sonucu oluşmakta ve bunların toplamı alınmaktadır. Tırmanma etkisiyle taşınım için yeni bir formül elde edilmiş; dalga akıntı etkisiyle taşınım için de Bagnold'un denklemi kullanılmıştır. Katı madde taşınım debilerine göre kıyı profilinin değişimi de modellenmiştir. Model, arazi ve laboratuvar verileriyle karşılaştırılmış ve oldukça iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Model, özellikle kısa süreli fırtınalar

durumunda kıyı erozyonu modellenmesi açısından yararlı olmaktadır. Hesaplarda malzeme çapının dikkate alınmaması modelin en büyük eksikliklerinden birisidir.

Foster vd. [19], Yeni Zellanda'nın Maunganui kumsalının katı madde dengesi ve dengeli kumsal profilleri üzerine arazi çalışmalarına dayandırılan incelemeler yapmışlardır. Gel-gitler sonucu oluşan kumsaldaki erozyon bölgeleri, Taurange Limanı tabanı taranarak elde edilen malzeme kullanılarak beslenmiştir. Besleme yapılmadan önce, besleme süresince ve beslemeden sonra batimetrik ölçümler alınmış ve değerlendirilmiştir. Ölçümler kumsal üzerinde 7 farklı kesitten ve yaklaşık 1.5 yıllık bir sürede alınmıştır. Her bir kesitin kıyıya dik boyutu 5'e bölünerek bu bölgelerdeki erozyona uğrayan veya yığılan miktarlar belirlenmeye çalışılmıştır. Besleme öncesindeki profilin, Dean'nin dengeli kumsal profiline uymadığı, besleme süresince yavaş yavaş dengeli profile yaklaştığı belirlenmiştir.

Lee vd. [20] tarafından homojen olmayan diffüzyon denklemi, hareketli sınır şartlarıyla çözülerek güvenilir ve etkili bir kumsal erozyon modeli geliştirilmiştir. Sayısal model, arazi ve deneysel verilerle karşılaştırılmasının yanı sıra Kriebel ve Dean'nin sabit sınır şartlı modeliyle de karşılaştırılarak modelin kullanılabilirliği irdelenmiştir. İrdemeler sonucu; sayısal modelin, farklı başlangıç profillerinin zamanla değişen fırtına şartları altındaki değişiminin, palye gerilemesinin ve kırılma noktasının açığa hareketinin araştırılmasında kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Larson [21], düzensiz dalgaların etkisi altında kumsal profilinin değişimini ve kıyıya dik ortalama net taşınımını hesaplayan bir sayısal model geliştirmiştir. Düzensiz dalgalar için kıyıya dik taşınım formülleri, düzensiz dalga alanını temsil yeteneğine sahip tekil dalgaların taşınımalarının toplamıyla kurulmuştur. Tekil dalgaların taşınım ilişkileri, büyük bir dalga kanalındaki düzenli dalga deneylerine dayandırılmıştır. Profil değişim olaylarının üç farklı türü çalışılmıştır. Bunlar, bar oluşumuyla dengeli erozyon, palye erozyonu ve açık deniz barının üzerinde kırılan dalgaların etkilerinin araştırılmasıdır. Yeni model, değişen kumsal profilinin tüm kısımlarında düzensiz dalgaların sürekli olarak tahlil edilmesi yeniliğini getirmiştir. Çalışmacı, kırılmış, kırılmamış ve tırmanma bölgesi dalgaları için üç farklı formül önermiştir. Önerilen formüller, düzenli dalgalarla yapılmış laboratuvar deneyleriyle irdelenmiştir. 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. Bunun sebebi olarak da, kıyıya dik kesitte, bar üzerinden geçerken dalgalarda oluşan değişimlerin iyi

temsil edilememesi gösterilmiştir. Ayrıca model, yığılma şartlarında, erozyon şartlarındaki kadar başarılı olamamıştır.

Munoz-Perez vd. [22], kaya ile korunmuş kumsallar için bir kumsal denge modeli sunmuşlardır. Modelde, birim hacimde üniform enerji dağılımının olduğu kabul edilmiş ve batık kayalar üzerinde dalga kırılmasından dolayı dalgaların etkisinin azaldığı düşünülmüştür. Oluşan kumsal profil şekli, Larson ve Kraus tarafından önerilenle benzer olmasına rağmen, profil şekil parametresinin (kumsal profilini belirlemede kullanılan bir katsayı) dalga parametresine bağlılığından dolayı, alışlagelmiş Dean denge profilinde kullanılan A (katı madde tane çapı ve çökme hızına bağlı şekil parametresi) değeriyle aynı değildir. Kayalarla korunmuş kumsallar için yeni şekil parametresiyle, kayalarla korunmamış (kumlu) kumsallar için A değeri arasındaki ilişki, Anderson ve Fredsoe 'nin dalga azalma modeli kullanılarak belirlenmiştir. Önerilen ilişkinin geçerliliği; 7 kumsalda ölçülen 50 profil değeri kullanılarak kanıtlanmıştır. Denge profil modellerinde kullanılan şekil parametresinin, katı madde tane çapı ve çökme hızının basit bir fonksiyonuyla, tüm şartları temsil edemediği sonucuna varılmıştır. Çalışma sonunda, profil boyunca dalga transformasyonunun ve taban jeolojisinin, profil şeklinin oluşmasında önemli bir rol oynadığı ortaya çıkmıştır.

Hsu [23], dalga dikliği, kırılan dalga açısı ve taban eğimi etkilerini dikkate alarak Iribarren sayısını düzenlemiş ve bunun sonucunda da fırtına kumsal profilinin geometrik karakteristikleri üzerine teorik analizler yapmıştır. Kumsal fırtına profili üzerine yapılan daha önceki çalışmalar genel olarak iki boyutlu dalga kanalında yapılmıştır. Bu çalışma ise, kıyıya herhangi bir açıyla gelen dalgaların etkisini de incelemek için üç boyutlu havuzda gerçekleştirilmiştir.

Yapılan teorik analizler sonucu; boyutsuz katı madde taşınım debisi:

$$q^* = \frac{q}{H^2 / T} = k_3 \frac{\tan \beta}{\sqrt{H/L_0}} \cos \alpha_b = k_3 \xi_0 \quad (1.4)$$

şeklinde elde edilmiştir. Denklemden; q birim hacimdeki katı madde debisini (birim zaman ve birim genişlikte), H lokal dalga yüksekliğini, $\tan \beta$ taban eğimini, α_b kırılma anındaki dalga açısını, k_3 sabiti, ξ_0 düzenlenmiş Iribarren sayısını temsil etmektedir. Çalışmacı tarafından, fırtına profilindeki bütün değişimi hesaplamak için, denklemden H yerine H_0 yazılmasının uygun olduğu belirtilmiştir.

Çalışmadaki deneyler, 16 m boyunda, 12 m genişliğinde, 0.7 m derinliğindeki üç boyutlu dalga havuzunda yapılmıştır. Deneylerde, medyan çapı 0.15 mm olan ince kömür tozu kullanılmıştır. Düzenli dalgaların kullanıldığı deneylerdeki dalga şartları, Tablo 1.2’de verilmiştir. Tabloda, α_0 başlangıç dalga açısını göstermektedir.

Tablo 1.2. Hsu’nun deneylerinde kullandığı dalga şartları

$\tan\beta$	α_0 (der)	T (s)	H_0 (cm)	H_0/L_0
1/16	0	1-1,2	2,84-9,63	0,0182-0,0493
1/25	0	1-1,2	2,32-8,28	0,0149-0,0619
1/16	30	1-1,2	2,61-10,17	0,0116-0,0597

Deney süresince, dalga hareketiyle kumsal profil karakteristikleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde, kıyıya dik gelen dalgalarla açılı gelen dalgaların kıyı profilini aynı zamanda denge şartlarına getirdiği görülmüştür. Çalışmada elde edilen denklemlerin bazıları aşağıda verilmiştir.

Bar başlangıç noktasının (denge noktası) orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bb}) için elde edilen eşitlik Denklem 1.5’te verilmiştir.

$$X_{bb}/L_0 = 1,9 \cdot \xi_0^{-1,42} \quad (1.5)$$

Bar tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bt}) için elde edilen eşitlik Denklem 1.6’da verilmiştir.

$$X_{bt}/L_0 = 0,40 \cdot \xi_0^{-1,12} \quad (1.6)$$

Lee [24], kıyı çizgisine dik deniz taban profilleri (Submarine Profilleri, SP) üzerine çalışmıştır. Submarine Denge Profili (SEP), geometrisi ve katı madde hareketi, açık deniz dalgalarıyla denge durumunda olan bir Submarine Profili’dir. Çalışmacı, daha önceki arazi gözlemlerini, laboratuvar deneylerini ve bu geometrinin (SEP) oluşmasına sebep olan ilgili mekanizmanın teorisini açıklamaktadır. Çalışmada, SEP’in geometrisini temsil eden analitik bir model kurulmuştur. Modelde kullanılan denklem, lineer olmayan regresyon analizi kullanılarak Amerika’nın etrafındaki üç deniz havzasındaki belirlenen Submarine

profilleriyle test edilmiştir. Geliştirilen model (SEP Modeli), Meksika Körfezi ve Güney Atlantik kıyılarındaki profillerle uygunluk göstermesine rağmen Pasifik Kıyısı'ndaki profillerle uygunluk göstermemiştir. Çalışmadaki deneyler, dalga kanalı içersinde ayarlanabilir gömülü bir platformda yapılmıştır. Platformun derinliği ve eğimi değiştirilerek belli bir dalga şartı ve sabit tane çapı için katı maddenin kıyıya ve açığa hareketi incelenmiştir. Fiziksel modelle sayısal modelin kalibrasyonu mümkün olmamıştır. Sayısal model, tane boyutunun değişmesi durumunda, katı madde hareketinin nasıl değiştiğini belirleyememektedir.

Hanson ve Kraus [25] tarafından kıyı çizgisi değişimi, aşağıdaki kabuller yapılarak modellenmiş ve model sonuçları arazi ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılarak modelin kullanılabilirliği araştırılmış ve ön çalışmalar için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışmada yapılan kabuller şunlardır:

- Kıyı profili sabit ve kıyı profilinin kıyı ve açıktaki sınırları önceden bellidir,
- Katı madde hareketi, kırılan dalganın bir fonksiyonudur,
- Kıyı bölgesindeki akıntılar, kıyı yapılarının planlamasında ihmal edilir,
- Kıyı çizgisi değişimi uzun bir zaman sürecinde gerçekleşir,
- Yapılardan yansıyan dalgalar ihmal edilir.

Larson ve Kraus [26], erozyon ve yığılma profillerini incelemişler ve deneysel verileri kullanarak, erozyon ve yığılma kriterleri yanında bar parametreleri için de formüller önermişlerdir. Bar parametreleri için önerilen formüller aşağıda verilmiştir.

Bar tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı (h_{bt}) için kırılma anındaki dalga yüksekliğine (H_b) göre önerilen eşitlik Denklem 1.7'de verilmiştir.

$$h_{bt}=0,66.H_b \quad (1.7)$$

Bar hacmi (V_{bh}) için önerilen eşitlik ise Denklem 1.8'de verilmiştir.

$$V_{bh}=0,088.H_0^{2.26}.w^{-1.36}.T^{0.55} \quad (1.8)$$

Larson vd. [27], büyük ölçekli dalga kanalı verilerini kullanarak, kıyıya dik taşınım yönü ve debisini belirleyen sayısal bir model sunmuşlardır. Modelin kullanılabilirliği arazi verileriyle değerlendirilmiş ve aralarında paralellik olduğu belirlenmiştir.

Silvester ve Hsu [28], literatürde var olan deney verilerini kullanarak lineer olmayan regresyon analizleriyle kıyı profili parametrelerini belirlemişlerdir. Dalga yüksekliği 0.74-1.8 m, periyodu 3-16 s, taban eğimi 1/50-1/4, malzeme tane çapı ise 0.22-0.47 mm arasında değişen toplam 20 adet deney kullanmışlardır. Çalışmada elde ettikleri denklemlerin bazıları aşağıda verilmiştir.

Bar başlangıç noktasının (denge noktası) orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı için elde edilen eşitlik Denklem 1.9'da verilmiştir.

$$X_{bt}/L_0 = 0,96.(H_0/L_0)/\tan\beta \quad (1.9)$$

—

Bar tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı için elde edilen eşitlik Denklem 1.10'da verilmiştir.

$$X_{bt}/L_0 = 0,022+1,508.(H_0/L_0)/\tan\beta+0,140.[(H_0/L_0)/\tan\beta]^2 \quad (1.10)$$

Bar tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı için elde edilen eşitlik Denklem 1.11'de verilmiştir.

$$h_{bt}/(L_0.\tan\beta) = 0,0269+0,391.X_{bt}/L_0 \quad (1.11)$$

Bar hacmi için elde edilen eşitlik Denklem 1.12'de verilmiştir.

$$V_{bt}/(H_0.L_0) = 160.(H_0/L_0).\tan\beta+11,560.[(H_0/L_0).\tan\beta]^2 \quad (1.12)$$

Watanabe vd. [29], kıyıya dik taşınımı tahmin etmek amacıyla, dalga değişim ve katı madde taşınım formüllerini kullanarak üç boyutlu sayısal model geliştirmişlerdir. Modelin dalga değişimi hesabında, dalga sapması, kırınımı ve kırılması dikkate alınmıştır. Sunulan model, literatürde var olan dalga ve akıntıların neden olduğu katı madde hareketi formülleri ile oldukça uyumlu sonuçlar vermiştir.

Tokgöz [30], belirli dalga şartları altında kıyıya dik katı madde hareketi ve kıyının bu etkiler sonucu nasıl davrandığını incelemiştir. Bunun için oluşturulan fiziksel modelde, 0.33 mm çaplı malzeme ve 1/25 sabit eğimli taban kullanılmıştır. Deneylerde dalga yükseklikleri 6.5, 11.5, 16 ve 23 cm, dalga periyotları ise 1.46 ve 2.03 s'dir. Fiziksel model

sonuçları literatürdeki ilgili sonuçlarla değerlendirilmiş ve aralarında bazı farklılıkların olduğu belirlenmiştir.

Kukul vd. [31], kıyıya dik taşınımı ve kıyı profillerini fiziksel bir modelle incelemiş ve elde edilen verileri literatürdeki çeşitli formüllerle karşılaştırmıştır. Ayrıca, erozyon ve yığılma kriterleriyle fiziksel model sonuçları değerlendirilmiştir. Deneylerde kullanılan malzemenin medyan çapı 0.18 mm, dalga yükseklikleri 6.5, 11.5 ve 16 cm, dalga periyotları ise 1.46 ve 2.03 s'dir. Çalışmada, taban eğimi 1/25 olarak seçilmiştir. Bu çalışmada, erozyon profili üzerinde oluşan barın, dalga yüksekliği ve periyodunun büyümesiyle açığa taşındığı ve hacminin de arttığı; profilin denge noktasının sakin su seviyesine ve kıyı çizgisine olan uzaklığının, dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla arttığı tespit edilmiştir.

Kömürcü vd. [32], değişik dalga şartları (6.5, 11.5, 16 ve 23 cm yükseklikli ve 1.46 ve 2.03 s periyotlu dalgalar) altında kıyıya dik taşınım mekanizmasının kıyı profilleri üzerinde oluşturduğu etkileri fiziksel model deneyleriyle araştırmıştır. Deneylerde, 1/25 taban eğimi, 0.18 ve 0.33 mm medyan çaplı malzeme kullanılmıştır. Çalışmada yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin, var olan formüllerle uygun olup olmadığı incelenmiş ve varsa farklılıklarının nedenleri ortaya konulmuştur. Ayrıca kıyıya dik malzeme hareketinin zamansal değişimi araştırılmıştır. Profilin zamanla dengeye ulaşması, katı madde hareketinin azalıyor olmasıyla da görülmüştür. Bazı saatlerde gözlenen artış eğiliminin, katı madde hareketinin genel azalma ve profilin dengeye ulaşma eğilimini etkilemediği sonucuna varılmıştır.

Kömürcü vd. [33], malzeme tane çapı değişiminin açık deniz barlı profillere etkisini, fiziksel bir modelle incelemiştir. Deneyler sonunda, malzeme tane çapı değişiminin profil parametrelerine etkisi değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Malzeme tane çapının artmasının bar tepe ve denge noktasını kıyıya taşıdığı, fakat üzerlerindeki su derinliğini arttırdığı görülmüştür.

Kömürcü vd. [34], malzeme medyan çapı (0.18, 0.26 ve 0.33 mm), dalga yüksekliği (6.5, 11.5, 16 ve 23 cm) ve dalga periyodu (1.46 ve 2.03 s) değişmesinin açık deniz barlı profillere etkisini fiziksel bir modelle incelemiş ve elde edilen veriler kendi aralarında ve literatürdeki bazı formül sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, taban profili üzerinde oluşan barın, dalga yüksekliğinin büyümesiyle açığa taşındığı ve tepe noktasının sakin su seviyesine olan uzaklığının arttığı; profilin denge noktasının sakin su seviyesine ve kıyı çizgisine olan uzaklığının dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla arttığı tespit

edilmiştir. Malzeme tane çapının azalması durumunda, bar ve denge noktasının açığa taşındığı, fakat üzerlerindeki su derinliğinin azaldığı belirlenmiştir. Deney sonuçlarının, literatürde verilen formül sonuçlarıyla karşılaştırılmasında, formüllerin, tane çapına bağlı olmamasının bir eksiklik olarak ortaya çıktığı görülmüştür.

Günaydın ve Kabdaşlı [35], düzenli ve düzensiz dalgalar kullanarak kıyı erozyon karakteristiklerini fiziksel modelle incelemişlerdir. Deneylerde 0.35 mm çaplı malzeme 1/5 taban eğimi kullanmışlardır. İncelenen erozyon karakteristikleri; erozyon boyu, erozyon derinliği, maksimum erozyon noktasının konumu ve toplam erozyon alanıdır. Erozyon karakteristikleriyle ilgili deneysel ilişkiler, boyutsuz bir parametre kullanılarak yapılan regresyon analiziyle, düzenli, düzensiz ve her ikisinden oluşan dalgalar için oluşturulmuştur. Değerlendirmeler, dalgaların düzenli veya düzensiz olmasının ve su derinliğinin erozyon karakteristiklerine önemli bir etkisinin olmadığını göstermiştir.

Günaydın ve Kabdaşlı [36], düzensiz dalgalar kullanarak açık deniz barı ve kum tepeciklerinin (ripples) yüksekliği ve genişliğini fiziksel bir modelle incelemişlerdir. Deneylerde 0.35 mm çaplı malzeme 1/5 taban eğimi kullanmışlardır. İncelenen parametreler kum tepeciği sayısı, tekil ve ortalama kum tepeciği genişliği ve yüksekliği, açık deniz barının yüksekliği ve genişliğidir. Yapılan deneyler değerlendirilmiş ve ilgili parametreler için regresyon analizleriyle denklemler kurulmuştur.

Quick [37] kıyıya dik katı madde taşınımını, dalga kırılma ve kabarma noktası arasında belirlenen kontrol hacminin zamansal ortalama davranışını dikkate alarak incelemiştir. Bunun için dalga şartları, taban eğimi ve malzeme özellikleri arasında teorik ilişkiler kurmuştur. Çalışma sonucunda, malzeme çapı artmasının taban eğimini artırdığı, kumsal geçirimsizliğinin ve çapın taban eğimine önemli derecede etki ettiği belirlenmiştir.

Roelvink ve Broker [38], kıyıya dik profil modellerini teorik temellerine göre sınıflandırmış ve modellerdeki eksiklikleri ortaya koymuşlardır. Modellerde, dik eğimler için açığa malzeme hareketinin küçük hesaplandığı, dalga tırmanma bölgesindeki (swash zone), kumul (dune) erozyonunun ve dalga kırılma noktası civarındaki akıntı alanının yeterince temsil edilemediği, arazi ve laboratuvar verileriyle karşılaştırılmalarının eksik olduğu sonucuna varmışlardır.

Schoonees ve Theron [39] tarafından kıyıya dik katı madde taşınımına ve kıyı profillerine yönelik geçerliliği olan on adet model karşılaştırılmış ve iyi, kabul edilebilir ve az uygun diye üç sınıfa ayrılmıştır. Çalışmacılar, az uygun çıkan bazı modellerin belirli şartlarda diğer modellerden oldukça iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

Rijn vd. [40], analitik ve istatistik profil modellerini anlık (bir fırtına için) ve mevsimlik arazi ve laboratuvar verileriyle değerlendirmişlerdir. Arazi verileri üç, laboratuvar verileri ise iki boyutludur. Değerlendirmelerde profil modellerinin, kırılma bölgesinde dalga yüksekliği değişimini %15 hatayla, kıyıya dik akıntıları ise %30-%50 hatayla belirleyebildikleri ve 2 boyutlu verilerle daha uyumlu oldukları sonucuna varmışlardır. Ayrıca, profil modellerinin, anlık olarak iç ve dış barın konumunu mevsimliğe göre daha iyi tahmin ettiklerini belirtmişlerdir.

Ruessink vd. [41], yakın kıyı bölgesindeki bar tepe noktasının uzun süreli değişimini, uzaktan algılama yöntemiyle belirlemeye çalışmışlardır. Kurdukları radar sistemiyle kıyı profili boyunca su derinliklerini ölçerek taban profilini çıkarmaya çalışmışlar ve çıkarttıkları profili sayısallaştırmışlardır. Su seviyesindeki değişimler (gel-git, fırtına kabarması), radar sistemiyle su derinliğinin uzun süreli ölçümleri için büyük sorun oluşturmuştur. Bunun için, radar verileri yardımıyla elde edilen bar konumuyla, arazi ölçümleri arasında yapılan regresyon analizlerinde, korelasyon katsayıları 0.30 ile 0.84 arasında çıkmıştır.

Faraci ve Foti [42], düzenli ve düzensiz dalgalarla kum tepeciklerini (ripples) deneysel olarak incelemişlerdir. Kum tepeciklerinin yüksekliği, genişliği ve dikliği deneysel formüllerle analiz edilmiştir. Kum tepesi oluşumunda, dalganın düzenli veya düzensiz oluşunun herhangi bir önemi olmadığı sonucuna varmışlardır. Kum tepesi hareket hızının literatürdeki teorik ifadelerle uyum içerisinde olduğunu belirtmişlerdir.

Black vd [43] tarafından lineer barların kıyıya doğru hareketi ve iç bükey profiller incelenmiştir. Sonuçta, ölü deniz dalgalarının barı kıyıya doğru hareket ettirdiği, taban eğimi (ince kumlu tabanlarda) azalmasının bar oluşumunu azalttığı, dalga yüksekliğinin artmasının barı açığa taşıdığı belirtilmiştir.

Rozynski [44], Güney Doğu Baltık Kıyısı'nda uzun süreli gözlem değerleriyle deneysel ortogonal fonksiyon sonuçlarını korelasyon analizleriyle değerlendirmiştir. İncelenen bölge, 0.22 mm çaplı malzemeden oluşmuş yumuşak eğimli çoklu bar sistemine sahip bir kıyıdır. Korelasyon analizleri sonucu, iç barın değişim oranı, dış bar değişiminin %60'ı kadar olduğu, fakat küçük dalgalarda bu durumun söz konusu olmadığı, çünkü dalgaların dış bardan etkilenmeden geçtiği belirtilmiştir.

1.4. Dalgaların Genel Özellikleri

Deniz yüzeyinde rüzgar etkileri ile oluşan dalgalara ilerleyen ağırlık dalgaları adı verilir. Gerçek ortamda oluşan ağırlık dalgaları hem çok düzensiz bir dizide oluşurlar, hem de su yüzeyi profili olarak değişkenlik gösterirler; matematiksel olarak ifade edilmeleri de zordur. Diğer taraftan, basit dalga durumunda çeşitli karakteristikleri veren ifadeler, belirli bir yaklaşımla değişik dalga teorilerinde verilmektedir [45]. Bunlar, küçük genlikli dalga, sığ su, akım fonksiyonu teorileri ve sayısal çözümlerdir. Bu teoriler içerisinde uygulamada en sık tercih edilen teori, küçük genlikli dalga teorisidir. Bu teoride küçük genlikli sünizoidal dalgalar göz önüne alınmaktadır. Genellikle Airy tarafından geliştirilen teori kullanılmaktadır. Bu teoride, dalga ortamı bir akım ve bir potansiyel fonksiyonu ile tanımlanmaktadır [46]. İki boyutlu dalgalar için Laplace denkleminin, yüzeydeki ve dipteki sınır koşullarının göz önüne alınarak çözülmesi ile geliştirilmiştir [47, 48, 49, 50]. Burada, hız potansiyeli fonksiyonu için Laplace Denklemi, Denklem 1.13, hız potansiyeli ise Denklem 1.14'le verilmiştir.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (1.13)$$

$$\phi = f(2) \cdot \sin(k \cdot x - W \cdot t) \quad (1.14)$$

Dalga profili ($z=0$ 'da) Denklem 1.15 ile verilmiştir. Taban ve yüzeydeki sınır şartları ($-h \leq z \leq \eta$ ve $-\infty \leq x \leq +\infty$) için Denklem 1.14'ün aldığı şekil ise Denklem 1.16 ile verilmiştir.

$$\eta = -\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (1.15)$$

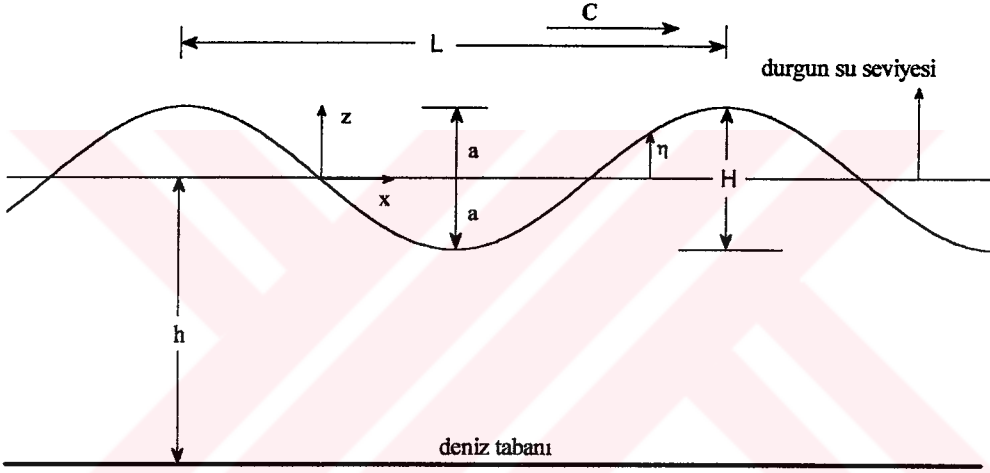
$$\phi = \frac{a \cdot W}{k} \cdot \frac{\cosh[k \cdot (z + h)]}{\sinh(k \cdot h)} \cdot \sin(k \cdot x - W \cdot t) \quad (1.16)$$

Denklemlerde, a dalga genliğini, k dalga sayısını ($2\pi/L$), L dalga boyunu, W açısal frekansı (rad/s , $2\pi/T$), h su derinliğini ve t zamanı göstermektedir.

1.4.1. Dalga Mekaniği

1.4.1.1. Basit Dalga Profili

Dalga problemlerini çözmeye teorik bir dalga formu kullanılmaktadır. İdealize edilmiş bu dalga profiline, sinüs fonksiyonu ile aynı yapıda olduğundan sünizoidal dalga ismi verilmektedir. Dalga profili zamanın ve yerin bir fonksiyonudur ve değişik su seviyelerindeki dalga profilini, su yüzeyinin düşey hareketini belirlemektedir. Sünizoidal dalga profili, Şekil 1.1’le verilmektedir.



Şekil 1.1. Sünizoidal dalga profili

Sünizoidal dalga profili Denklem 1.17’de verilmiştir.

$$\eta = a \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \left[\frac{x}{L} - \frac{t}{T}\right]\right) \quad (1.17)$$

Denklemden, η dalga profilinin durgun suya göre düşey mesafesini, x yatay eksen boyunca alınan mesafeyi göstermektedir.

1.4.1.2. Dalga Boyu ve Dalga Hızı

Dalga boyu, periyodu, su derinliği ve dalga hızı arasındaki ilişkiler Denklem 1.18 ve 1.19'da verilmiştir.

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh\left[\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right] \quad (1.18)$$

$$C = \frac{L}{T} \quad (1.19)$$

Burada verilen iki denklemden, dalga hızı (C) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh\left[\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right] \quad (1.20)$$

1.4.1.3. Derin Deniz Dalgaları

Derin deniz dalgalarının iki önemli parametresi, belirgin dalga yüksekliği ($H_{1/3}$) ve belirgin dalga periyodu ($T_{1/3}$)'tür. Derin denizde oluşan dalgalar, kıyıya doğru yaklaşırken çeşitli etkenler nedeniyle değişime maruz kalırlar. Bu değişimin başladığı derinlik, derin deniz sınırıdır. Dalgaların maruz kaldığı değişiklikler dalga yönü ve yüksekliğinde olur; dalga periyodu ise sabit kalır. Derin deniz sınırı, su derinliğinin dalga boyunun yarısına eşit olduğu yerdir ve aşağıdaki denklemle verilir [51].

$$h = 0.5 \cdot L_0 \quad (1.21)$$

Denklemdaki, açık deniz dalga boyu Denklem 1.22 ile verilebilir. Denklemden h ve L_0 , metre (m); T ise saniye (s) boyutundadır.

$$L_0 = 1.56 \cdot T^2 \quad (1.22)$$

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 (shoaling), kırınım (diffraction), yansıma (reflection), kırılma (breaking), ve sapma (refraction)'dır.

1.4.2.1. Dalga Sığlaşması

Su derinliğinin azalması nedeniyle dalgalar tabandan etkilenir. Bunun sonucu, dalga yüksekliğinde çoğu kez azalma, bazı durumlarda ise artma meydana gelir. Sığlaşma sonucu oluşan dalga yüksekliği şöyle hesaplanır [52];

$$K_s = \frac{H}{H_0} = \left[\tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right) \right]^{-0.5} \left[1 + \frac{4 \cdot \pi \cdot h / L}{\sinh(4 \cdot \pi \cdot h / L)} \right]^{-0.5} \quad (1.23)$$

Denklemden, H dalga yüksekliği, K_s ise sığlaşma katsayısıdır. K_s katsayısı, h/L_0 değerine bağlı olarak Ağırlık Dalgaları Tabloları (GWT)'den de bulunabilir [33], [34].

1.4.2.2. Dalga Kırınımı

Dalga kırınımı, kıyı mühendisliğinde önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle dalgakıran yapılarında, liman giriş ağzı yeri ve liman içi çalkantıları bu olaya bağlıdır. Dalgakıran arkasına dönen dalgaların büyüklüğü, grafik veya sayısal yöntemlerle bulunabilir [53]. Bir engele gelen H yüksekliğindeki dalga, engelin arkasında belli bir noktadaki dalga yüksekliği H_d ise, kırınım katsayısı K_d aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$K_d = \frac{H_d}{H} \quad (1.24)$$

1.4.2.3. Dalga Yansıması

Açık denizden kıyıya doğru yaklaşan dalga bir engelle karşılaştığında, eğer engelin geometrisi ve yüzey özellikleri dalganın tamamen sönmülmesine yol açmıyorsa, gelen dalga enerjisinin bir kısmı veya tamamı geri yansır.

Dalga yansıması, çeşitli kıyı problemlerinde ve özellikle liman boyutlarının ve liman yapı tiplerinin belirlenmesinde başlıca etkenlerden birisidir. Bir limanda yansıyan ve gelen dalgaların üst üste çıkışması ile büyük çalkantılar meydana gelmektedir. Yansıma katsayısı,

$$K_y = \frac{H_y^-}{H} \quad (1.25)$$

şeklinde dir.

Bu katsayı 0 ile 1 arasındadır. $K_y=1$ olduğunda dalganın tam yansıdığı, $K_y=0$ olduğunda ise tamamen sönmüldüğü söylenebilir.

1.4.2.4. Dalga Sapması

Dalga sapması, düz paralel konturlu topografyalarda analitik olarak kolayca belirlenebilmesine rağmen düzensiz topografyalarda oldukça zaman alıcı, sıkıcı, kullanımda uzmanlık gerektiren ve sonuçları kişilere bağlı olabilen grafik yöntemlerle oldukça zor belirlenebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı, günümüzde, düzensiz topografyalarda grafik yöntemler yerine sayısal yöntemler geliştirilmeye ve bilgisayar yardımıyla hesap yapılmaya başlanmıştır [54, 55, 56].

1.4.2.4.1. Düz Paralel Konturlarda Dalga Sapması

Deniz tabanındaki değişimler kompleks olmayıp düzgün ve yavaş olduğunda bu yöntem dalga sapmasının hesabında kesin sonuç vermektedir. Dalga sapması, derinlik konturları; $h/L_0=0.5, 0.4$ vb. gibi rölatif derinliklere göre Sell Kanunu uygulaması yapılarak hesaplanır.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0} = \frac{C}{C_0} \quad (1.26)$$

Denklem 1.26'dan dalga sapmasının yönü,

$$\alpha = \arcsin \left[\frac{C}{C_0} \sin \alpha_0 \right] = \arcsin \left[\frac{L}{L_0} \sin \alpha_0 \right] \quad (1.27)$$

denklemleriyle belirlenebilir. Sapma katsayısı ise;

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \quad (1.28)$$

denklemleriyle hesaplanabilir. Denklemlerde; K_r sapma katsayısını, α_0 ve α sırasıyla derin deniz ve sapan dalga cephelerinin kıyı çizgisiyle yaptığı açıyı, b_0 ve b sırasıyla derin deniz ve sapan dalga ortogonalleri arasındaki mesafeyi göstermektedir.

1.4.2.4.2. Karmaşık Konturlarda Dalga Sapması

Kıyı topografyası genellikle çok karmaşıktır, taban konturları birbirine ve kıyıya paralel değildir. Bu durum, özellikle yakın kıyıda çok daha belirgindir. Karmaşık topografya durumunda, Sell Kanunu'ndan yararlanılarak yaklaşık hesap yapan grafik yöntemler geliştirilmiştir. Bu durumlarda sapma hesabı başlıca iki yöntemle yapılmaktadır; bunlar, dalga cephesi ve ortogonal yöntemleridir [55]. Bu yöntemler dışında sayısal yöntemlerle de karmaşık konturlar için dalga sapması hesabı yapılabilmektedir [55, 56].

1.4.2.5. Dalga Kırılması

Kırılma noktasına kadar bir salınım halinde gelen dalgalar, bu noktadan itibaren bir kütle taşınımına dönüşerek enerjilerini kaybederler. Dalgaların kırılma noktası, katı madde taşınımı için önemli parametrelerden biridir. Kıyıya yaklaşan dalgalar, tabandan etkilenmeye başlarlar ve belirli bir noktaya geldikten sonra kırılırlar. Kırılma anındaki su derinliğine kırılma derinliği (h_b), dalga yüksekliğine kırılma yüksekliği (H_b) ve su derinliğinin dalga

yüksekliğine oranına da kırılma indisi (γ) adı verilmektedir. Kırılma indisini bulabilmek için deneysel ve teorik çalışmalardan çeşitli denklemler elde edilmiştir, [57, 58, 59, 60, 61, 62, 63].

$$\gamma = \frac{h_b}{H_b} = \frac{1}{b - a \frac{H_b}{g \cdot T^2}} \quad (1.29)$$

$$a = 43.75 \cdot (1 - e^{-19m}) \quad (1.30)$$

$$b = \frac{1.56}{1 + e^{-19.5m}} \quad (1.31)$$

$$H_b = (H'_0/T)^2 + 0.8 \cdot m^{0.125} \cdot T^{0.5} \cdot (H'_0)^{0.75} + 0.785 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \quad (1.32)$$

$$H'_0 = K_s \cdot K_r \cdot H_0 \quad (1.33)$$

Denklemlerde, m taban eğimini göstermektedir.

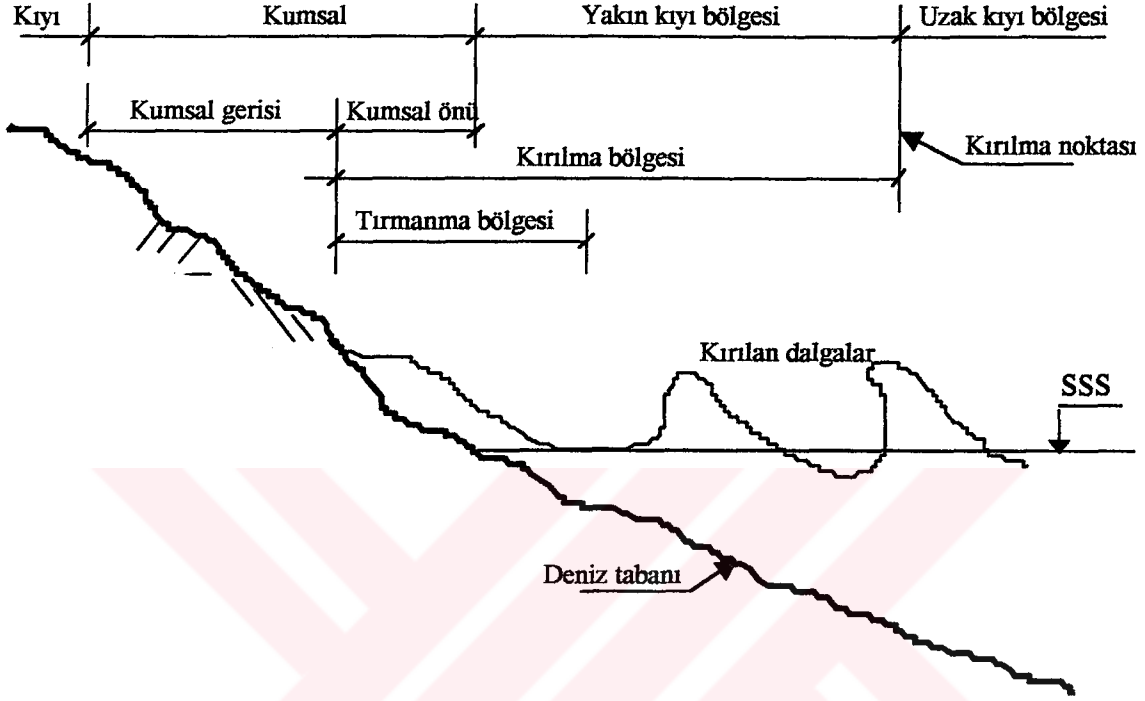
1.5. Kıyının Morfolojik Yapısı

1.5.1. Kıyı Bölgesinin Tanımı

Deniz ile karanın birleşim yerinde deniz-kara karşılıklı etkileşiminin ortaya çıktığı bölgeye, kıyı bölgesi adı verilir (Şekil 1.2). 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 değildirler. 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 sönmülerler. Kıyı bölgesindeki meteorolojik şartlara bağlı olarak, yumuşak kıyılarda

mevsimlik, aylık ve hatta günlük olarak değişimler gözlenebilir. Yumuşak kıyılar oluşturan malzeme, kum, çakıl, silt vb. katı maddelerden oluşabilir ve genel olarak kumsal veya kumsal olarak isimlendirilir. Bir kıyı profilindeki belli başlı bölgeler şunlardır [64]:



Şekil 1.2. Kıyı bölgesi hidrodinamik kısımları

Yakın kıyı bölgesi; dalgaların kırılmaya başladıkları nokta ile kıyı çizgisi (sakin su seviyesinin (SSS) kıyıyla birleştiği nokta) arasındaki bölgedir.

Uzak kıyı bölgesi; kırılma noktası ile, derin deniz sınırı arasındaki bölge (derin deniz sınırı, su derinliğinin dalga boyunun yarısının eşit olduğu yerdir ve deniz tabanı, dalgalardan bu noktadan itibaren etkilenmeye başlar). Bu bölgedeki katı madde taşınımında asıl etmen, dalgalarının yol açtığı yörüngesel harekettir.

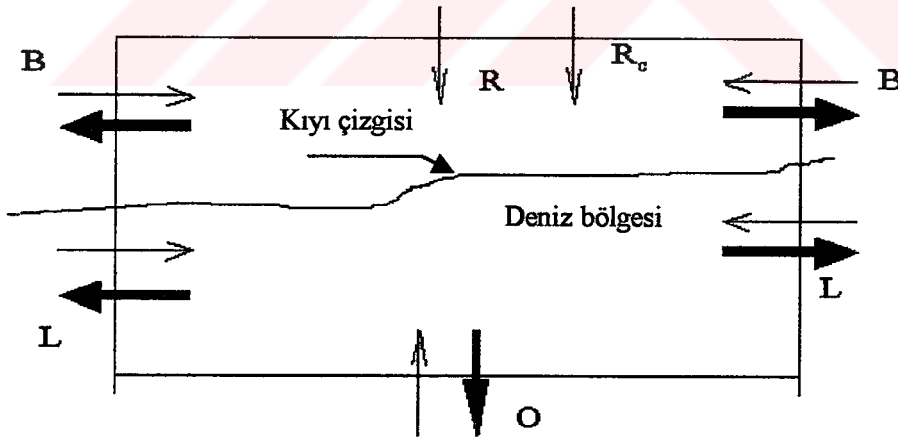
Kumsal; sakın su seviyesi ile, kıyıdaki dik ve sarp kısım arasındaki bölgedir.

Kırılma bölgesi; dalga kırılma noktası ile, dalganın kıyıda tırmandığı en uç nokta arasındaki bölgedir. Katı madde taşınımının önemli bir kısmı, dalga kırılması ve dalgaların neden olduğu akıntıların ortak etkileri sonucu bu bölgede meydana gelir.

Tırmanma bölgesi; dalgaların yükselip alçaldığı (geri çekildiği) kırılma bölgesinin karaya doğru alt kumsalıdır.

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 1.3'te bir sistem olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.3. 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. Kumsal Profil Şekilleri

Kıyıya dik yöndeki katı madde hareketi sonucunda kıyı profilindeki değişimler, gelen dalgaanın dikliğine ve kıyıyı oluşturan katı madde boyutlarına bağlıdır. Kıyı profili, değişen dalga özelliklerine bağlı olarak her dalga durumu için yeni bir şekil alır. Bununla beraber uzun dönem içerisinde, katı madde kaybı ve kazanımı birbirini dengelediği takdirde kıyının genel bir denge durumuna sahip olduğu söylenebilir. Bu nedenle, kısa dönemlerde kıyı profili değişiminin izlenmesi, araştırmacıları yanıltıcı sonuçlara götürebilir [65]. Yapılan deneysel çalışmalar ve deniz ölçümleri dalga koşullarına bağlı iki ana kıyı profili olduğunu göstermektedir.

1.5.3.1. Normal Profil

Herhangi bir kıyı ele alındığında fırtınalı havalarda dışında normal deniz koşullarında meydana gelen profile normal profil adı verilir. Normal profilin temel özelliği profilin orta bölgesinde bir basamağa sahip oluşudur. Bu nedenle normal profil, basamaklı profil veya yaz profili olarak da isimlendirilmektedir. Bu profile kıyı çizgisi önünde dik bir eğim vardır.

1.5.3.2. Fırtına Profili

Fırtınalı havalarda kıyıda oluşan profile fırtına profili veya kış profili adı verilir. Açık deniz tarafında oluşan bar, bu profilin en belirgin özelliğidir.

1.5.4. Kıyıdaki Katı Maddelerin Fiziksel Özellikleri

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

Taneciklerin çapını temsil etmek için pek çok değışken tanımlanmıştır. Bunlardan en yaygın olanı, medyan çapıdır. Kıyılarda bulunan kum ve çakıl taneciklerinin medyan çapları (d_{50}) sırasıyla 0,15-2 ve 2-50 mm arasındadır. Kıyıdaki katı madde taneciklerini sınıflandırmada kullanılan diğeri bir parametre de malzemenin özgül ağırlığıdır. Kıyıda katı maddelerinin çoğunluğu kuvarstan oluştuğundan, özgül ağırlıkları 2,60-2,75 t/m³ arasındadır.

1.5.5. 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.

1.5.5.1. Dalgalar

Kıyı değışimlerini doğuran en önemli etmen, su dalgalarıdır. Dalgaların olmaması halinde, kıyı değışimleriyle 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 kütlesinin karşılıklı etkileşimi sonucu katı madde taşınımına neden olur ve bu yolla sönümlenir.

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

1.5.5.2. Akıntılar

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

1.5.5.3. 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 kütlesinin 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.

1.5.5.4. 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.

1.5.5.5. Diğer Faktörler

Katı madde hareketini etkileyen diğer 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 taneciğini, bir dalga geçişi sırasında harekete geçiren etmen akım hızı nedeni ile tabanda oluşan kayma gerilmesidir. Kum taneciklerini harekete geçiren hız;

$$U_b = \left[8 \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \cdot g \cdot d_{50} \right]^{0.5} \quad (1.34)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Denklemden; U_b tabandaki akışkan hızını, g yerçekimi ivmesini, ρ_s kum taneciğinin özgül kütle ve ρ suyun özgül kütle göstermektedir.

Bir dalga geçişi sırasında deniz tabanında oluşan hız;

$$U_b = \frac{H \cdot \pi}{T \cdot \sinh(2\pi h / L)} \quad (1.35)$$

eşitliği ile bulunabilir.

Denklemler 1.34 ile 1.35 birbirine eşitlenir ve $\rho_s=2.65t/m^3$, $\rho=1.025t/m^3$ ve $g=9.81m/s^2$ alınırsa, hareket ettirilecek malzemenin medyan çapı;

$$d_{50} = \left[\frac{0.2816 \cdot H}{T \cdot \sinh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)} \right]^2 \quad (1.36)$$

bağıntısından elde edilebilir [66].

1.6.2. Kıyı Bölgesi Katı Madde Hareketi Başlangıcının, Taşınım Türlerinin ve Net Taşınım Yönünün Belirlenmesinde Kullanılan Parametreler

a. Boyutsuz Shields Parametresi

Taşınım hesaplarında, boyutsuz taban kayma gerilmesini ifade eden Shields parametresi önemli bir faktördür ve bir katı madde taneciğini hareket ettirmek isteyen kuvvetlerin yerçekimi dolayısıyla taneciği durdurmaya çalışan kuvvetlere oranı olarak tanımlanabilir. Shields parametresi;

$$\Psi_m = \frac{f_w \cdot U_b^2}{2sgd} \quad (1.37)$$

şeklindedir. Denklemden; Ψ_m Shields parametresini, f_w dalga sürtünme faktörünü, s katı madde taneciğinin su içerisindeki özgül ağırlığını temsil etmektedir.

b. Ursell Parametresi

Ursell parametresi; dalga yüksekliği, boyu ve su derinliğine bağlıdır ve Denklem 1.38'le verilmiştir.

$$U_r = \frac{HL^2}{h^3} \quad (1.38)$$

c. Akım Yoğunluk Parametresi

Akım yoğunluk parametresi, Denklem 1.39'la verilmiştir.

$$\psi' = \frac{(d_0 \sigma)^2}{sgd} \quad (1.39)$$

Burada; d_0 ve σ , sırasıyla Denklem 1.40 ve 1.41'le hesaplanabilir.

$$d_o = \frac{H}{\text{Sinh}\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)} \quad (1.40)$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot \pi}{T} \quad (1.41)$$

Denklemlerde; ψ' akım yoğunluk parametresini, d_o tabana yakın su hareketinin dolaşım uzunluğunu göstermektedir.

Shields parametresi, hareketin başlaması ve kum dalgacıkları oluşmasında önemli bir göstergedir. Bu parametre ile beraber, tabana yakın bölgedeki maksimum akışkan hızı (U_b)'nin katı madde taneciği çökelme hızı (w)'ya oranı da taşınım türlerini belirlemede önemlidir.

Ursell parametresi ve akım yoğunluk parametresi yardımı ile net taşınım yönleri belirlenebilir.

1. $\psi' < 17$ iken hareket olmamakta
2. $\psi' > 17$ ve $\psi' \geq 0.048.U_r^{1.5}$ ise açığa doğru taşınım
3. $\psi' > 17$ ve $\psi' < 0.048.U_r^{1.5}$ ise kıyıya doğru taşınım olmaktadır [64].

1.6.3. 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 [64].

1.6.3.1. Taban Malzemesi Taşınımı

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

1.6.3.2. Taban Malzemesi-Askı Malzemesi Geçışı

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

1.6.3.3. Askı Şeklinde Malzeme Hareketi

Bu taşınımında askı halindeki katı madde hareketi etkindir.

1.6.3.4. Tabaka Akımı

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

1.6.4. 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.

1.6.5. 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 yakınlarda yoğun konsantrasyona yol açan minimum vorteksin, derin deniz dalga dikliğine ve taban eğimine bağlı olduğunu göstermiştir.

1.6.6. 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.

1.6.7. Katı Madde Taşınım Bölgesinin Sınırı

Katı madde taneciklerinin kıyıdan ne kadar uzağa veya hangi derinliklere kadar taşınabileceği konusunda yapılan araştırmalar, taban batimetresinin, katı madde tanecik 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 0.15m/s olduğu derinlik sınırına kadar malzeme taşınımının olabileceğini varsaymıştır. Yani, maksimum hız 0.15 m/s olduğu h_* değeri aranılan 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 1.42 nolu denklemi geliştirmiştir [67].

$$h_* = 2,28H_0 - 68.5 \left(\frac{H_0^2}{gT^2} \right) \quad (1.42)$$

Denklem 1.42'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 1.43'ü önermiştir [68].

$$h_* = 1.75H_0 - 57.9 \left(\frac{H_0^2}{gT^2} \right) \quad (1.43)$$

Birkemeier'in denklemi, Hallermeier'in önerdiğinden daha küçük değerler vermektedir. Yapılan çalışmalar, Denklem 1.42'nin çok daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir [69].

Katı maddenin taşınabileceği son noktanın orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı, Denklem 1.44'le belirlenebilir.

$$X_* = m.h_* \quad (1.44)$$

1.6.8. Katı Madde Taşınım Formüllerinin Sınıflandırılması

Salınlı 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 akıntıların 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.

1.6.9. 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.

1.6.9.1. Kıyıya Paralel (Kıyıboyu) Katı Madde Taşınımı ve Debisi

Dalga enerjisinin kıyıya paralel bileşeninin neden olduğu ve yönü kıyıya paralel olan katı madde taşınımına kıyıya paralel taşınım adı verilir. Derin denizde kıyı ile belli bir α_0 açısı yapan dalgalar, sapmanın etkisi ile kıyıya yaklaştıkça, kıyıya dik gelme

eğilimindedirler. Kırılma anında bir α_b açısı yaparlar ve genellikle $\alpha_b < \alpha_o$ 'dır. Bu nedenle, dalgaların hem kıyıya paralel hem de dik bir enerjileri söz konusudur. Kıyıya paralel enerji bileşeni, kıyıya yakın bir bölgede bir su kütlesi hareketine neden olur. Bu harekete kıyı boyu akıntısı denilir. Kıyı boyu katı madde akımını doğuran asıl etmen bu kıyı boyu akıntılarıdır. Bir kıyı yöresinde, kıyı boyu katı madde taşınım yönü, kırılma anındaki dalga yönüne bağlı olduğundan, kıyı çizgisine dik bir doğrultuya göre, hem sağ ve hem sol yönde bir taşınım söz konusudur [58, 70]. Buna göre belli bir süredeki taşınım debileri;

$$Q_{net} = Q_{sağ} - Q_{sol} \quad (1.45)$$

$$Q_{brüt} = Q_{sağ} + Q_{sol} \quad (1.46)$$

şeklinde olacaktır. Burada kıyı boyu taşınım debisini hesaplamak için geçerli olan üç formül verilmiştir [64, 71, 72].

Enerji Akısı adı verilen yöntemde, açık denizde, birim boydaki bir dalga tepesinin sahip olduğu enerji akısı;

$$P = E \cdot C_g \quad (1.47)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Kırılma anındaki dalga yüksekliği H_b ve dalga açısı α_b ise, sığ sularda dalga yayılma hızının (C), dalga grup hızına (C_g) eşit olduğu varsayımıyla, kırılma noktasındaki enerji akısı,

$$P_{lb} = \frac{\gamma \cdot H_b^2 \cdot C_g}{16} \cdot \sin 2\alpha_b \quad (1.48)$$

şeklindedir.

Bu eşitliklerin tümü, sabit yükseklik ve periyoddaki dalgalar için geçerlidir. Halbuki tabiattaki dalgaların yükseklik ve periyotları değişmekte ve yükseklik dağılımlarının Rayleigh Dağılımı'na uyduğu bilinmektedir. Uygulamada genellikle belirgin dalga değerleri kullanılmaktadır. Eşitliğe belirgin dalga değerleri yazılırsa,

$$P_{ls} = \frac{\gamma \cdot H_{sb}^2 \cdot C_b}{16} \cdot \sin 2\alpha_b \quad (1.49)$$

şeklinde. Denklemdeki P_{ls} belirgin dalga yüksekliğine bağlı enerji akısını, H_{sb} belirgin dalga yüksekliğini ve C_b ise belirgin dalga yayılma hızını göstermektedir. Kıyı boyunca taşınan katı maddenin batmış ağırlığı enerji akısı ile doğru orantılıdır.

$$I = K \cdot P_{ls} \quad (1.50)$$

Denklem 1.50’de, K yaklaşık 0.39 olarak alınan boyutsuz bir katsayıdır. Kıyı boyu katı madde debisi ise Denklem 1.51’le hesaplanabilir.

$$Q = \frac{K \cdot P_{ls}}{P \cdot (\gamma_s - \gamma)} \quad (1.51)$$

Denklemde sırası ile, γ_s ve γ katı madde taneciklerinin ve suyun özgül ağırlıkları, P ise katı madde taneciklerinin porozitesidir. Bu eşitlikle kıyıda birim genişlikten, birim zamanda geçen katı madde miktarı hacımsal olarak hesaplanabilir.

Hesaplarda, deniz tabanını oluşturan malzemenin fiziksel özellikleriyle ilgili bir parametrenin bulunmadığı görülmektedir. Bu şartlarda, taban malzemesinin hareket ettirilebileceği kabulü yapılmaktadır. Gerçekte, her dalga şartlarında hareket ettirilebilecek malzemenin büyüklüğü farklıdır.

Diğer bir yöntem ise, taban malzemesi özellikleri ve taban eğimini de dikkate aldığından daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu yöntem, ayrıca, kıyı yakınlarında dalga yüksekliğinin değişimini de hesaba kattığından, kıyı yapılarının mevcut olması durumunda da başarıyla uygulanmaktadır [73, 74]. Bu yöntemde kıyı boyu katı madde taşınım debisi,

$$Q = (H^2 \cdot C_g)_b \cdot \left[a_1 \cdot \sin 2\alpha - a_2 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right]_b \quad (1.52)$$

şeklinde verilmiştir. Denklem 1.52’deki a_1 ve a_2 katsayıları Denklem 1.53 ve 1.54’te verilmiştir.

$$a_1 = \frac{K_1}{[16 \cdot (\gamma_s / (\gamma - 1)) \cdot (1 - p) \cdot 1.416^{(5/2)}]} \quad (1.53)$$

$$a_2 = \frac{K_2}{[8 \cdot (\gamma_s / (\gamma - 1)) \cdot (1 - p) \cdot \tan \beta \cdot 1.416^{(7/2)}]} \quad (1.54)$$

Denklem 1.53 ve 1.54, Denklem 1.52’de yerine konulursa Denklem 1.55 elde edilir.

$$Q = \left(H^2 \cdot h^{0.5} \right)_b \cdot \left[\frac{K_1}{11.6} \cdot \sin 2\alpha - \frac{K_2}{5.8 \cdot \tan \beta} \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right]_b \quad (1.55)$$

Denklem 1.55’teki birinci terim, kıyıya açılı gelen dalgalar nedeniyle oluşan kıyı boyu katı madde taşınımını, ikinci terim ise kırılma noktasındaki dalga yüksekliği gradyanının ($\partial H_b / \partial x$) neden olduğu taşınımı ifade etmektedir. Deneysel çalışmalar sonucu K_1 ’in 0.58-0.77, K_2 ’nin $0.5K_1$ - K_1 arasında değiştiği belirlenmiştir [75].

Kamphuis’ün verdiği bir başka formül ise Denklem 1.56’da verilmiştir[76].

$$Q = K \cdot H_b^2 \cdot T^{1.5} \cdot m^{0.75} \cdot d_{50}^{-0.25} \cdot \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad (1.56)$$

Denklemde, K bir katsayıyı göstermektedir.

1.6.9.2. Kıyıya Dik Katı madde Taşınımı ve Debisi

Kıyı ile belli bir açı yaparak gelen dalgaların enerjilerinin kıyıya paralel bileşeni kıyı boyu, kıyıya dik bileşeni ise kıyıya dik taşınımı oluşturur. Katı madde taşınımının etkin olduğu derinliğe kadar bazen erozyon bazen de dolma meydana gelir. Kıyıya dik malzeme taşınımı, birim genişlikteki bir kıyının kıyıya dik yöndeki kesiti üzerinde incelenir ve bu kesite kıyı profili adı verilir. Kıyı profilinde, hangi şartlarda erozyon (fırtına profili), hangi şartlarda yığılma (yaz profili) 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 taneciklerinin çökme hızı (w), medyan çapı (d_{50}) ve taban eğimi (m) de önemli etmenlerdir.

Kıyı profilinin durumunu belirlemede en çok kullanılan parametrelerden bazıları aşağıda verilmiştir [64, 77, 78, 79]:

Dean kıyı profilinin belirlenmesinde, Denklem 1.57 ile verilen boyutsuz bir çökme süresi parametresi tanımlamıştır.

$$F_o = \frac{H_o}{w \cdot T} \quad (1.57)$$

Çalışmacı tarafından; $F_o > 1$ olması durumunda erozyon, $F_o < 1$ olması durumunda ise yığılma profilinin olduğu belirtilmiştir.

Kriebel vd. Denklem 1.58 ile, Larson vd. Denklem 1.59'la verilen denklemleri önermişler ve laboratuvar ve arazi şartlarında denklemleri değerlendirmişlerdir.

$$C^* = \frac{g}{\pi} \cdot \frac{T}{w} \cdot \frac{H_o}{L_o} \quad (1.58)$$

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.

$$C^{**} = \frac{H_o}{L_o} \cdot \left[\frac{w \cdot T}{H_o} \right] \quad (1.59)$$

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.

Kıyıya dik katı madde taşınım miktarı ve yönü üzerine çeşitli araştırmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Değişik araştırmacıların çoğu deneysel çalışmalara dayalı ve en çok kullanılan çeşitli formülleri aşağıda verilmiştir [64, 70, 73, 80].

Watanabe, düzenli dalgalar kullanılarak yaptığı deneysel bir çalışmada, Shields parametresini ve taşınım debisini aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

$$\psi_m = \frac{\tau_b}{\rho \cdot s \cdot g \cdot d} \quad (1.60)$$

$$q = w_0 \cdot d \cdot 7 \cdot (\psi_m - \psi_c) \cdot \psi_m^2 \quad (1.61)$$

Çalışmacı, iki boyutlu dalga kanalında, 0.2 mm çapında kum kullanarak ve başlangıç taban eğimini 1/10-1/15 arasında alarak deneyleri gerçekleştirmiştir. Denklem 1.60'da; ψ_m , 0.08 ile 0.5 arasında değişmektedir. Denklemlerde, q_{net} net taşınım miktarı, ψ_c katı madde taşınımının başladığı kritik shields parametresi, ω_0 çökme hızı, ρ suyun yoğunluğu, s tanenin sudaki ağırlığı ve g yerçekimi ivmesidir.

Konuyla ilgili, Madsen ve Grant'in önerdiği formül aşağıdaki gibidir.

$$q = 12.5 \cdot w_0 \cdot d \cdot \psi_m^3 \quad (1.62)$$

Watanabe ve Dibajnia'nın, düzenli dalgalar kullanarak gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda verdikleri formül şöyledir:

$$q = \left[A_w \cdot \frac{(\tau - \tau_{cr})}{\rho \cdot g} \cdot \bar{u}_b + A_{wb} \cdot \frac{\Delta F}{\rho \cdot g} \right] \cdot F_D \quad (1.63)$$

Denklem 1.63'teki ilk terim tabandaki katı madde taşınımını, ikinci terim ise askı halindeki katı madde taşınımını göstermektedir. Denklemdaki bazı bilinmeyen parametreler,

$$\bar{u}_b = \frac{w_p \cdot H_s}{2 \cdot \sinh(K_p \cdot h)} \quad (1.64)$$

$$F_D = \tanh \left[K_D \cdot \frac{(f_w \cdot \Pi)_c - (f_w \cdot \Pi)}{(f_w \cdot \Pi)_c} \right] \quad (1.65)$$

$$\Pi = \frac{u_b^2 \cdot h}{\gamma' \cdot g \cdot d \cdot L_o} \quad (1.66)$$

$$\tau = \rho \cdot \frac{f_w \cdot u_b^2}{2} \quad (1.67)$$

şeklindedir ve, τ taban kayma gerilmesi, τ_{cr} hareket başlangıcındaki kayma gerilmesi, u_b taban yörünge hızı, A_w boyutsuz katsayı (kırılma bölgesi 0.15, açık deniz bölgesi 0.45), A_{wb} türbülansın bir fonksiyonu, ΔF birim alan başına enerji akısı dağılımı, F_D taşınım yönünü belirleyen fonksiyon ve K_D boyutsuz katsayıyı göstermektedir.

Nishihara ve Sunamura, kıyıya dik katı madde debisi için 1.68 nolu denklemi vermişlerdir.

$$q = w_0 \cdot d \cdot B \cdot u_r^{0.2} \cdot \psi \cdot (\psi - 0.13 \cdot u_r) \quad (1.68)$$

Burada $B = -1.15 \cdot 10^{-7}$ 'dir.

Larson vd., düzenli dalgalar ile deneysel bir çalışma yapmışlar ve kırılmaya bağlı olarak oluşan kıyıya dik katı madde taşınımını esas alarak, kıyıyı dört bölgeye ayırmışlardır.

Birinci bölge olarak, açık denizden kırılma noktasına kadar olan kısmı seçmişler ve bu bölgedeki taşınım için aşağıdaki formülün geçerli olduğunu belirtmişlerdir:

$$q = q_b \cdot e^{-\lambda \cdot x} \quad (1.69)$$

Burada, x kırılma noktasından mesafeyi, q_b kırılma noktasındaki taşınım miktarını göstermektedir. Denklemdaki λ ise aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır:

$$\lambda = 10.3 \cdot \left[\frac{D}{H_b} \right]^{0.47} \quad (1.70)$$

İkinci bölgenin, kırılma çizgisinden dökülme noktasına kadar olan bölge olduğunu ve bu bölgede de 1.69 nolu denklemin geçerli olduğunu ancak, λ değerinin birinci bölgeye göre %80 kadar daha küçük değer verdiğini ve x 'in hala pozitifliğini koruduğunu vurgulamışlardır. Üçüncü bölgeyi, kırılmanın tamamen geliştiği dökülme noktasından kıyı çizgisine kadar olan kısım olarak tanımlamışlar ve aşağıdaki denklemleri önermişlerdir:

$$q = k \cdot \left(D - D_{EQ} + \frac{\varepsilon}{k} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad D > D_{EQ} - \frac{\varepsilon}{k} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \quad (1.71)$$

$$q = 0 \quad D < D_{EQ} - \frac{\varepsilon}{k} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \quad (1.72)$$

Burada, ε ve k deneysel katsayılar, D her bir hacim başına enerji dağılımı ve D_{EQ} denge profili altında dağılımını göstermektedir.

Çalışmacılar, dördüncü bölgenin, kırılma bölgesinden tırmanma limitine kadar olan kısım olduğunu ve katı madde taşınımının üçüncü bölge sonundaki maksimum değerden sıfıra doğru azaldığını belirtmişlerdir.

1.6.10. Kıyı Profiline Gelişimi

Kıyı Profiline gelişimi, katı madde taşınım alanında, süreklilik denklemi ile hesaplanır [81]. İki boyutlu süreklilik denklemi Denklem 1.73'te verilmiştir. Bu denklemde hem kıyıya dik hem de paralel taşınım dikkate alınır.

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{1}{(1-p)} \cdot \left(\frac{\partial q_{sx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{sy}}{\partial y} \right) \quad (1.73)$$

Kıyıya paralel katı madde taşınımının ihmal edilmesi ve sadece kıyıya dik taşınımın dikkate alınması halindeki süreklilik denklemi Denklem 1.74'teki gibi olmaktadır.

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{1}{(1-p)} \cdot \frac{\partial q_{sx}}{\partial x} \quad (1.74)$$

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 $t + \Delta t$ adımımda taban topografyası süreklilik denkleminin kullanımı ile belirlenir.

1.7. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Çağdaş dünyada bilgisayarlar ve bilgisayar sistemleri insan hayatının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Elimizdeki cep telefonlarından, mutfaktaki buzdolaplarına kadar birçok alet bilgisayar sistemi ile çalışmaktadır. İş dünyasından kamu işlerine, çevre ve sağlık organizasyonlarından askeri sistemlere kadar hemen hemen her alanda bilgisayarlardan yararlanmak olağan hale gelmiştir [82].

Bilgisayarlar çok karmaşık sistemleri anında çözme yeteneklerine sahip olmalarına karşın, idrak etme ve tecrübeyle kazanılmış bilgileri kullanma noktasında çok yetersizdirler. Dünyanın en karmaşık makinesi olarak kabul edilen insan beyni sayısal işlemleri yapmak için çok uğraşmasına karşın, idrak etmeye dönük olayları çok kısa sürede yapabilmektedir [83]. YSA kavramı, insan beyninin çalışma ilkelerinin sayısal bilgisayarlar üzerinde taklit edilmesi fikri ile ortaya çıkmış olup ilk çalışmalar nöronların matematiksel modellenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Yapılan çalışmalar nöronların komşu nöronlarla bilgi alışverişinde bulunduğunu ortaya çıkarmıştır. Yapay sinir ağları diye isimlendirilen alan bu nöronların belli biçimlerde bir araya gelmesinden oluşmuştur. YSA, öğrenmenin yanı sıra ezberleme ve bilgiler arasında bağlantı kurma yeteneğine de sahiptir. Bütün bu benzerliklerine rağmen, insan beyninin fonksiyonlarını aynen yerine getirdiği söylenemez. Fakat yapay sinir ağlarının performansı her geçen gün artmaktadır.

YSA son yıllarda teorik gelişiminin yanında, pratik uygulamalarda da kullanılmaya başlamıştır. YSA; iş hayatından, finans, endüstri, eğitim ve mühendisliğe kadar çok geniş kullanım alanına sahiptir. YSA modelleri, algoritmik olmayan paralel ve yayılı bilgi işleme yetenekleri ile klasik modellerden farklıdır. Farklı olan bu özellikleri sayesinde YSA karmaşık ve doğrusal olmayan hesapları kolaylıkla ve hızlı bir biçimde yapabilir. Algoritmik olmayan ve çok yoğun paralel işlem yapabilen YSA, ayrıca öğrenebilme kabiliyeti ve paralel dağıtılmış hafıza ile de hesaplamada yeni bakış açılarına sebep olmuştur.

1.7.1. YSA'nın Genel Özellikleri

YSA, insan beyninin çalışma şeklini yapay olarak taklit eden sistemlerdir. Diğer bir deyişle YSA'yı oluşturan elemanlar insan beynine benzer özellikler taşırlar. Örneğin, tecrübe

ile öğrenirler, öğrenilen bilgilerden genelleme yaparak yeni sonuçlar çıkarırlar ve yeni bir bilgidен gereksiz kısımları çıkararak özü alırlar. YSA'nı genel özellikleri şöyle özetlenebilir:

- a. Örneklerden öğrenme,
- b. Paralel yapı,
- c. Bilgi saklama,
- d. Genelleme yeteneği,
- e. Biçim tanıma ve sınıflandırma,
- f. Hatalara tolerans gösterme,
- g. Kendi kendine adapte olma,
- h. Eksik bilgilerle çalışabilme.

1.7.2. YSA'nın Üstünlük ve Sakıncaları

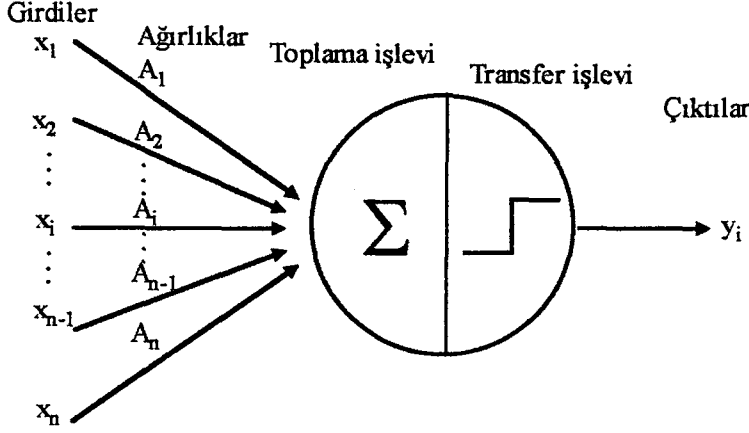
YSA'nın en büyük üstünlüğü, öğrenme kabiliyeti olması ve farklı öğrenme algoritmaları kullanabilmesidir. Bunun yanı sıra en sık belirtilen sakıncaları ise sistemin çalışmasının analiz edilememesi ve öğrenme işleminde başarılı olamama riski olmasıdır. YSA'nın üstünlük ve sakıncaları Tablo 1.3'te verilmiştir.

Tablo 1.3. YSA'nın üstünlük ve sakıncaları

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

1.7.3. YSA'nın Yapısı ve İşlem Elemanı

Yapay sinir ağları, birbirine bağlı çok sayıda işlem elemanından (düğüm) oluşmuştur. İşlem elemanı, diğer bir deyişle yapay sinir hücresi, insan beyninin en temel birimi olan sinir hücresinden (nöron) esinlenerek oluşturulmuştur. Bir işlem elemanının genel yapısı Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. YSA için bir işlem elemanının yapısı

1.7.3.1. Girdiler

Girdiler ($x_1, x_2, \dots, x_n$) çevreden (ağ dışından yada diğer işlem elemanından) aldığı bilgiyi işlem elemanına iletirler. Bazı durumlarda geri besleme ile işlem elemanı kendi kendine girdi oluşturabilir.

1.7.3.2. Ağırlıklar

Ağırlıklar ($A_1, A_2, \dots, A_n$) girdilerin işlem elemanı üzerindeki etkisini kontrol eder. Her bir giriş kendine ait bir ağırlığa sahiptir. Değişken değer alan ağırlıklar, öğrenme boyunca sürekli değişerek ağırlık girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi yakalamasına çalışırlar. Ağırlık değerinin büyük olması o girdinin işlem elemanına güçlü bağlandığı, küçük olması ise zayıf bağlandığı anlamına gelir. Ağırlıklar bir yapay sinir ağının bilgi depolarıdır.

1.7.3.3. Birleşme (Toplama) Fonksiyonu

Bir işlem elemanından gelen bilgileri birleştirme görevi yapar. Bunun için değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan ağırlıklı toplamı bulmaktır. Burada her gelen girdi kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır. Böylece ağa gelen net girdi bulunmuş olur.

Literatürde yapılan araştırmalarda değişik birleşme fonksiyonlarının kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan bazıları Tablo 1.4'te verilmektedir. Görüldüğü gibi, bazı durumlarda gelen girdilerin değeri dikkate alınırken bazı durumlarda ise gelen girdinin sayısı önemli olmaktadır. Hangi probleme hangi toplama fonksiyonunun uygun olacağı konusunda kesin bir kriter yoktur. Birleşme fonksiyonu genelde deneme yanılma yolu ile belirlenmektedir. Bir YSA'da tüm işlem elemanlarının aynı birleşme fonksiyonuna sahip olmaları gerekmez. Yani işlem elemanları farklı birleşme fonksiyonları kullanabilmektedir. Bu tamamen tasarımcının kendi öngörüsüne dayanarak verdiği bir karardır.

Tablo 1.4. Birleşme fonksiyonu örnekleri

Fonksiyon Adı	Matematiksel İfadesi	Burada;
Toplam	$Net_i = \sum_j A_{ij}x_j$	i, j : İşlem elemanı
Maksimum	$Net_i = \text{Max}(A_{ij}x_j)$	Net_i : i işlem elemanına giren net girdi
Çoğunluk	$Net_i = \sum_j \text{Sgn}(A_{ij}x_j)$	x_j : j işlem elemanının çıktısı
Çarpım	$Net_i = \prod_j A_{ij}x_j$	A_{ij} : i ve j işlem elemanları arasındaki bağlantıların ağırlığı
Minimum	$Net_i = \text{Min}(A_{ij}x_j)$	Sgn : Signum fonksiyonu
Kümülatif Toplam	$Net_{\text{yeni}} = Net_{\text{eski}} + \sum_j A_{ij}x_j$	

1.7.3.4. Transfer veya Aktivasyon Fonksiyonu

Bu fonksiyon, birleşme fonksiyonunun sonucunu değerlendirmektedir. Bunun için değişik formüller kullanılmaktadır. Birleşme fonksiyonunda olduğu gibi transfer fonksiyonunda da ağı oluşturan işlem elemanlarının tamamının aynı fonksiyonu kullanmaları gerekmez (Tablo 1.5). Bazı işlem elemanları aynı fonksiyonu, diğerleri farklı fonksiyonu kullanabilirler.

Günümüzde çok yaygın olarak kullanılan çok katmanlı YSA'da genel olarak transfer fonksiyonu olarak Sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu çalışmada da Sigmoid fonksiyonu dikkate alınmıştır.

Tablo 1.5. En çok kullanılan transfer fonksiyonları

Fonksiyon Adı	Matematiksel İfadesi	Fonksiyon Adı	Matematiksel İfadesi
Doğrusal	$f(x)=x$	Sinusoidal	$f(x)=\sin(x)$
Sigmoid	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	Adım fonksiyonu	$f(x) = \begin{cases} 1 & x > \text{eşik değeri} \\ 0 & x \leq \text{eşik değeri} \end{cases}$
Eşik mantıksal	$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ x & 0 < x < 1 \\ 1 & x \geq 1 \end{cases}$	Hiperbolik tanjant	$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$

1.7.3.5. Çıktılar

Transfer fonksiyonundan elde edilen sonuçları bağlantılı olduğu işlem elemanına veya ağ dışı kaynaklara gönderir.

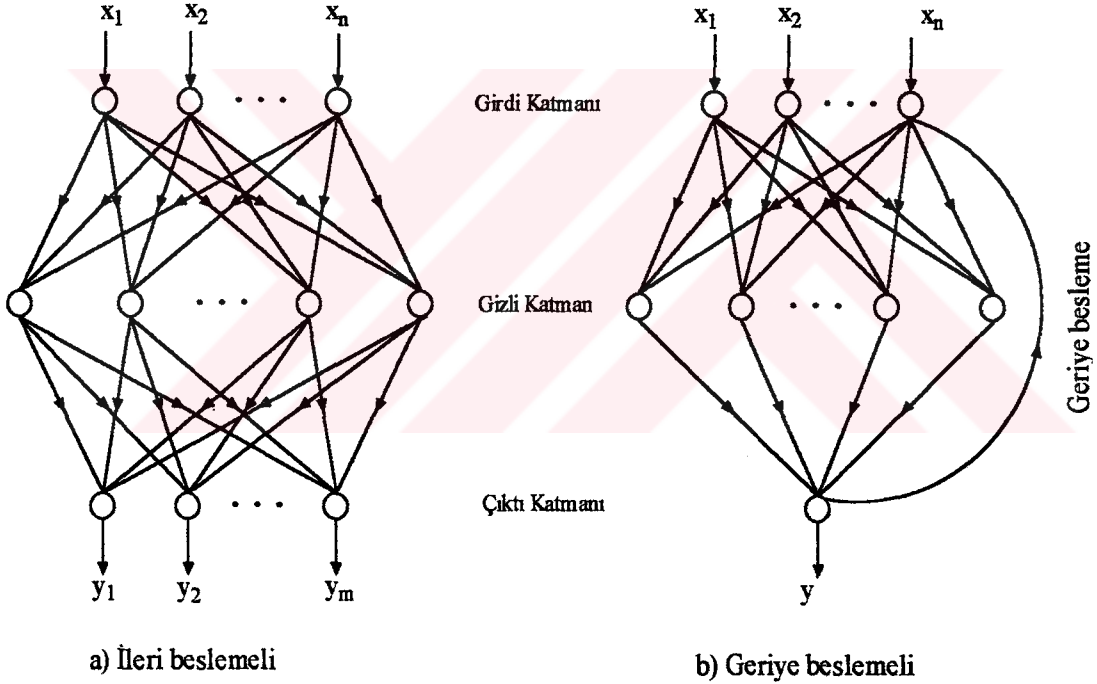
1.7.4. Ağ Tipleri

YSA uygulamalarında sıklıkla kullanılan iki çeşit ağ vardır. Bunlar ileri beslemeli ve geri beslemeli ağlardır (Şekil 1.5).

İleri beslemeli ağlar genellikle katmanlar şeklinde düzenlenmiştir. Her bir katmandaki işlem elemanları sadece önceki katmanın işlem elemanlarınca beslenir ve dolayısıyla bilgi akışı ileri doğrudur.

Geri beslemeli ağlarda en az bir işlem elemanı sonraki katmanlardaki işlem elemanlarınca beslenir. Bir katmadan diğerine veya kendisine doğru uzanan ağırlıklar yoluyla geri besleme bağlantılarına izin veren daha genel bir ağ yapısı gösterirler. Geri beslemeli ağlara örnek olarak Hopfield ağı, Elman ağı ve Jordan ağı verilebilir. Bu ağ tipleri uygulanırken değişik ağ mimarileri seçilebilir. Bunlar; düz ağlar, gizli katmanlı ağlar ve

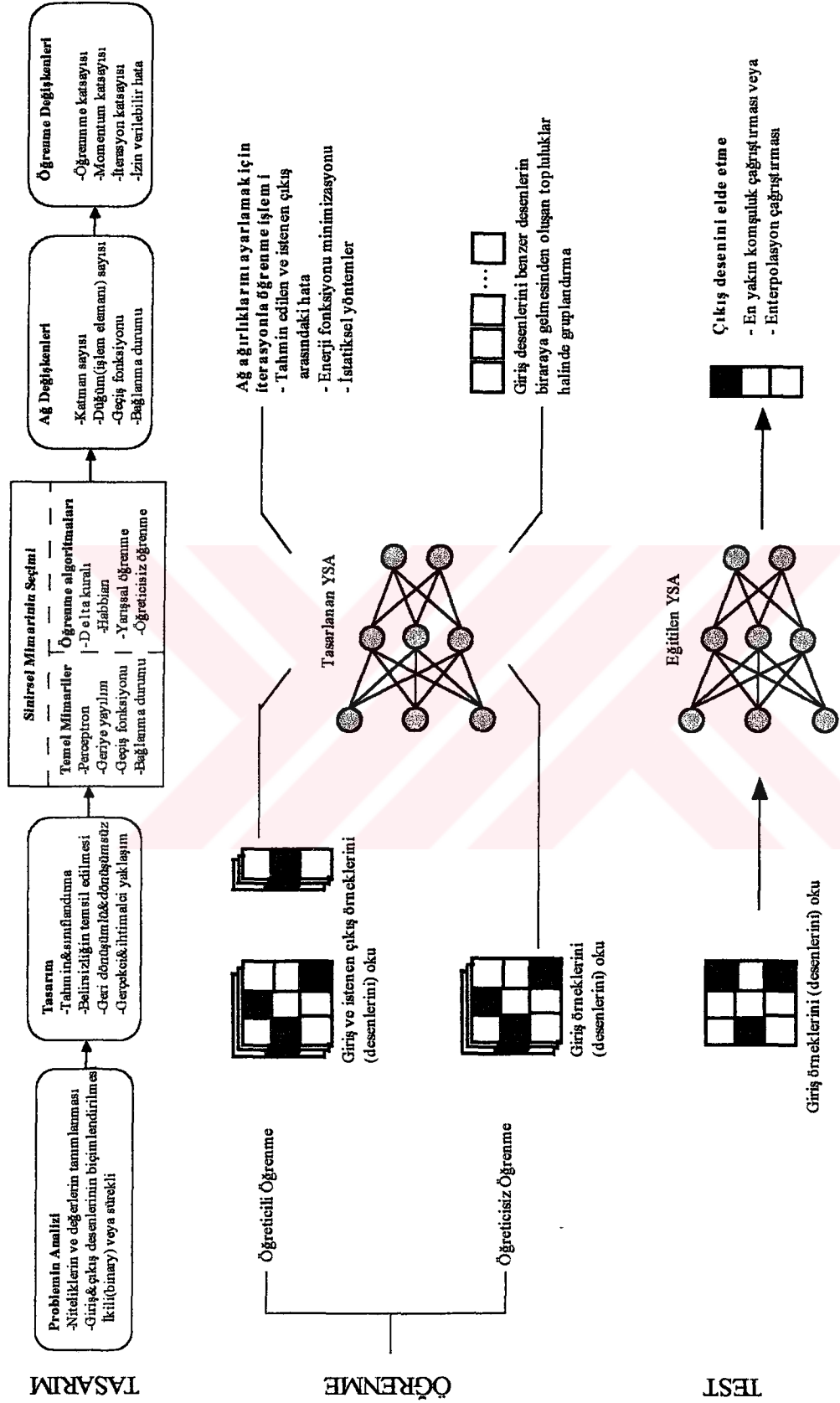
fonksiyonel bağılı ağlardır. Düz ağlar, girdi ve çıktı katmanından oluşan ağlardır ve girdi-çıktılar arasında doğrusal ilişkilerin bulunduğu problemler için uygundur; doğrusal olmayan problemlerde etkili değildirler. Gizli katmanlı ağlar, düz ağların eksik yönlerini gidermek için girdi ve çıktı katmanları arasında ilave katmanlar olarak düşünülmüştür. Aradaki bu katmanlar gizli katman olarak isimlendirilir ve gizli katman sayısı birden fazla olabilir. Bu tür ağlar doğrusal olmayan problemlerin çözümü için uygun olup çok katmanlı ağlar olarak da adlandırılırlar. Fonksiyonel bağılı ağlar, son dönemlerde önerilmiş olan yeni yaklaşımlardır. Bu ağlar, düz ağlarda karşılaşılan problemleri gidermek için geliştirilmiştir. Mimarileri düz ağinkiler ile aynıdır; fakat ağı, temel giriş büyüklüklerinin doğrusal olmayan dönüşümlerinin yer aldığı ilave giriş düğümleri eklenmiştir.



Şekil 1.5. Çok katmanlı ağ modelleri

1.7.5. YSA Uygulamalarının Geliştirilmesi

YSA uygulamalarının geliştirilme safhaları genel olarak üçe ayrılabilir (Şekil 1.6). Bunlar, tasarım, öğrenme/egitime ve test/uygulamadır [84, 85].



Şekil 1.6. YSA uygulamaları geliştirme aşamaları

1.7.5.1. Tasarım

Tasarım; problemin veya geliştirilmekte olan uygulamanın, tamamıyla kavranmasının ve anlaşılmasının gerekli olduğu önemli bir safhadır. Bunun yanında, problemin YSA ile çözülüp çözülmemeyeceği de ayrı bir noktadır. Problemin çözümüne uygun bir YSA mimarisi seçilir. Bilindiği gibi, farklı özelliklere sahip pek çok YSA mimarisi vardır. YSA mimarisi belirlendikten sonra, problemin giriş ve çıkış katmanında yer alacak parametreler kesin olarak tanımlanmalıdır. Bu parametreler, nitelik veya miktar bildiren tiplerde olabilir. Daha sonra, kullanılacak ağ mimarisinin gereklerine uygun olarak bu parametreler uygun değerlere dönüştürülür. Bu işlem, verilerin ikili (binary) veya sürekli (continuous) değerlere dönüştürülmesi ile gerçekleştirilebilir.

Giriş ve çıkış verilerindeki gerçek (reel) sayılar, ölçeklendirme, normalizasyon ve/veya fonksiyona tabi tutulma gibi ön işlemlerden geçirilebilirler.

Bu arada, ikili girişlerde YSA'nın transfer fonksiyonunun daha etkin sonuçlar üretebilmesi için; 0 yerine 0.1, 1 yerine 0.9 değerleri verilmesi uygun olmaktadır. Problemin büyüklüğüne, yani giriş ve çıkış parametrelerinin sayısına bağlı olarak, bir tek YSA veya birçok alt YSA gruplarından oluşan bir süper/global YSA kullanılabilir. Her iki değişik durumda da çıkış katmanındaki her bir eleman için, bir ağ kullanımı da düşünülebilir [86].

YSA yapısı hakkında bir karara varıldıktan sonra, gizli katman sayısı ve her bir katmandaki işlem elemanı sayısı belirlenmelidir. YSA'nın en iyi performans gösterdiği, yani ağ hatasını minimum, öğrenme hızını maksimum yapan optimum veya optimuma yakın katman ve işlem elemanı sayıları deneme-yanılma ile belirlenmektedir. Böylece, artık YSA tasarlanmıştır ve eğitime hazırdır.

1.7.5.2. Öğrenme Stratejileri

YSA'da öğrenme, istenen çıktılar elde etmek için işlem elemanları arasındaki optimum ağırlıkların bulunması sürecidir. Bilgi, ağ boyunca bağlantılarda ağırlıklar şeklinde dağıtıldığı için tek bir bağlantı anlamlı bir bilgi ifade etmez. Bundan dolayı, öğrenme faaliyetinde ağ bir bütün olarak dikkate alınır. Problemin çözümü için ağ bağlantılarının doğru ağırlık değerlerine sahip olması gerekir. Bu işlem öğrenme kuralları ile gerçekleştirilmektedir.

1950'li yıllardan bu yana bir çok araştırmacı Hebb'in kurallarını temel alarak öğrenmenin nasıl daha iyi olacağı konusunda araştırmalarını sürdürmektedir. Bu araştırmacılar genellikle çalışmalarında Hebb'in ortaya koyduğu sinirler arasındaki metabolik değişme ve sinaptik kuvvetin yani öğrenme değişkenleri ve ağırlıkların nasıl ayarlanacağı konusunu ele almışlar ve bunlara uygun öğrenme yöntemleri geliştirmişlerdir [83]. Genel olarak üç tip öğrenme stratejisinden söz edilebilir. Bunlar öğretmenli öğrenme, destekli öğrenme ve öğretmensiz öğrenmedir.

Öğretmenli (Supervised) Öğrenme: Öğretmenli öğrenmede isminden de anlaşılacağı üzere bir öğretmene ihtiyaç vardır. Öğretmen, sisteme öğrenilmesi istenen problemlerin girdi ve çıktılarını verir. Sistemin ürettiği çıktılar gerçek çıktılarla karşılaştırılır. Eğer tatmin edici (istenen hata oranında) sonuçlar elde edilememişse, ağırlıklar yeniden ayarlanır. Bu işlem (döngü), istenen sonuçlar elde edilinceye kadar devam etmektedir. Bu tip öğrenmeye örnek olarak, Delta ve Geriye yayılım öğrenme prosedürlerini verebiliriz.

Destekli (Reinforcement) Öğrenme: Destekli öğrenme, öğretmenli öğrenmenin özel bir türüdür. Bu tür stratejide de sisteme bir öğretmen yardımcı olur. Öğretmen, sisteme çıktının ne olması gerektiğini değil de doğru ya da yanlış olduğunu belirten bir sinyal gönderir. Sistem, söz konusu sinyali dikkate alarak öğrenme sürecini devam ettirir. LVQ (Linear Vektor Quantization) ağı bu öğrenmeyi kullanan sistemlere örnek olarak verilebilir.

Öğretmensiz (Unsupervised) Öğrenme: Bu tür öğrenmede bir öğretmene ihtiyaç yoktur. Diğer bir deyişle öğrenme, problemin gerçek çıktılarına ihtiyaç duyulmaksızın gerçekleşmektedir. Yani sistem istenilen çıktıları kendi kendine üretmektedir. Bu, daha çok sınıflandırma problemleri için kullanılan bir stratejidir. Bu öğrenmeye örnek olarak Hebbian ve Grossberg öğrenmelerini verebiliriz.

Karma Stratejiler: Bazı ağlar, yukarıda açıklanan stratejilerden birkaçını birlikte kullanarak öğrenme işlemini gerçekleştirirler. Burada kısmen öğretmenli, kısmen ise öğretmensiz olarak öğrenme gerçekleştiren ağlar kastedilmektedir. Radial tabanlı yapay sinir ağları (RBN) ve olasılık tabanlı ağlar (PBN) bunlara örnek olarak verilebilir [82].

1.7.5.2.1. Geriye Yayılım (Back-Propagation) Algoritması

Yapay sinir ağlarına olan ilgi, geriye yayılım algoritmasının (GYA) geliştirilmesi ile birlikte artmıştır. GYA'nın kullanıldığı ağlar girdi, çıktı ve en az bir gizli katmandan

oluşurlar. Gizli katmandaki işlem elemanlarının sayısı ve gizli katman sayısı değişebilmektedir. Bunların belirlenmesi ile ilgili kesin bir yöntem yoktur ve bu yüzden deneme yanılma yoluyla belirlenmektedirler. Ağda, işlem elemanı sayısının artması öğrenme işleminin uzamasına, hatırlama yeteneğinin ise artmasına neden olmaktadır. Ters durumda ise, öğrenme süresi kısalmakta, fakat hatırlama yeteneği azalmaktadır. Ayrıca, aynı katmandaki işlem elemanları arasında bir bağlantı yoktur.

GYA da kullanılan bir çok eğitime algoritması vardır. Bunlardan bazıları Konjuge Gradyan Yöntemi (KGY), Ölçeklenmiş Konjuge Gradyan Yöntemi (ÖKGY) ve En hızlı azalan Gradyan Yöntemi (GY) dır.

Bu çalışma kapsamında eğitime algoritması olarak, “Ölçeklenmiş Konjuge Gradyan“ yöntemi kullanılmıştır. Bunun nedeni, araştırılan problemin doğrusal olmayan bir problem olması ve bu yöntemin diğer yöntemlere göre daha kısa sürede sonuca varmasıdır.

Geriye yayılım ağ modelinde 7 öğrenme adımı vardır. Bunlardan ilk 4 adım ileri, son 3 adım ise geriye doğru işlem adımlarıdır [87];

- Ağ yapısı tanımlanır: Girdi, çıktı, ara katman, ara katman eleman sayısı
- Başlangıç ağ parametreleri belirlenir: Ağırlıklar, biaslar
- Öğrenme seti ağa tanıtılır
- Ağın son çıktısı hesaplanır
- İstenen sonuç ile ağ çıktısı arasındaki hata hesaplanır
- Aradaki hata, çıktı katmanından başlayarak ağırlıklara göre geriye doğru dağıtılır.
- Hatanın istenen seviyede olması durumunda işlem durdurulur aksi halde 3. adıma geri dönlür.

YSA belirli hata miktarları ile problemleri çözebilmektedir. YSA'nın başarısı, problemde hangi düzeydeki hatanın kabul edilebilir olduğuyla yakından ilgilidir [88].

1.7.5.3. Test/Uygulama

YSA, başarılı bir şekilde eğitildikten sonra artık danışılmaya hazır hale gelmiştir. YSA, eğitim esasında edindiği bilgileri, eğitime sırasında kullanılmamış (daha önce karşılaşmadığı) durumlar için çözümler üreterek genelleme yapar. Test işlemi sonunda YSA sonuçları istenen sonuçlara kabul edilebilir sınırlar içinde yaklaşmışsa, YSA'nın güvenilirliği onaylanmış

olur. Aksi durumda, YSA'nın mimarisinde değişiklik yapılarak eğitime ve test işlemleri yeniden yapılır. Bu işlem, yeterli yaklaşıklıkta sonuçlar elde edilene kadar devam eder. Ayrıca eğitmede kullanılan örnek sayısı ne kadar artarsa o kadar iyi sonuçlar elde edilecektir.

1.7.6. Çok Katmanlı Ağların Performansının Ölçülmesi

Bir yapay sinir ağının performansı denilince öğrenme yeteneğinin ölçülmesi anlaşılır. Ağın eğitim esasında kendisine gösterilen bütün örneklerle (eğitim seti) doğru cevaplar üretmesi, performansının iyi olduğu anlamına gelmez. Bu sadece ağın örnekleri öğrendiğini gösterir. Öğrenmenin hangi düzeyde gerçekleştiği ise test setindeki örneklerle vereceği cevaplarla anlaşılmaktadır.

Ağın performansının belirlenmesinde Karesel Ortalama Hata (KH), Mutlak Ortalama Hata (MH) vb. ifadelerinden yararlanılmaktadır. Bir örnek için KH ve MH aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$KH = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (t_i - y_i)^2 \quad (1.75)$$

$$MH = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |(t_i - y_i)| \quad (1.76)$$

Burada, t ve y sırasıyla örneğin gerçek ve hesaplanan çıktılarını, m ise örneğin çıktı sayısını göstermektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Kıydan optimum yararlanma, kıyı gerisini koruma vb. amaçlarla yapılan kıyı yapıları, genelde hareketli tabanlara oturmaktadır. Tabandaki malzeme hareketinin miktarı, yönü ve değişimi; yapılacak bir kıyı yapısının stabilitesini, maliyetini ve estetiğini önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle kıyıya dik katı madde hareketi bazı yapılarda kumlanma, bazılarında ise erozyon sonucu, stabilite sorunlarına ve dolayısıyla da yapının ekonomik ömrünün kısılmasına ve onarım maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple, kıyı yapılarının projelendirilmesinde en önemli faktörlerden bir tanesi kıyı profilleridir. Dalga şartları (yükseklik ve periyot), taban eğimi, tabandaki malzeme özellikleri vb. parametreler, katı madde taşınımını ve bunun sonucu olarak da taban profillerini önemli ölçüde etkilemektedir.

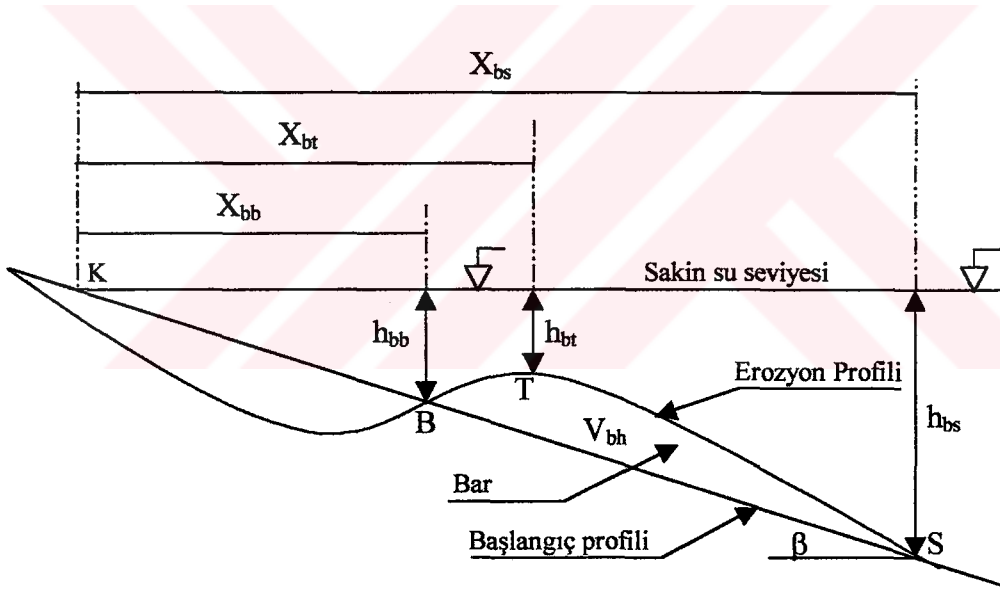
Dalga enerjisinin büyük bir bölümünün sönmüldüğü deniz tabanı profilleri, zaman içerisinde ve çeşitli dalga şartlarında farklı özelliklerdeki erozyona veya yığılmaya sebep olabilirler. Bu nedenle, kıyı koruma işlemlerinin esasını, kıyasal katı maddenin kontrolü teşkil eder. Kıyı ile ilgili çalışmaların birçok parametreye bağlı olması nedeni ile, bu tür problemlerde çoğunlukla fiziksel modelleme yolu ile çözümler aranmaktadır. Kıyı problemlerinin incelenmesinde öncelikli olarak prototip üzerindeki ölçümlerle, bunun gerçekleşemediği durumlarda ise, fiziksel ve sayısal modelleme yoluyla çözüm aranması gerekir. Yapılan çalışmalar, fiziksel ve sayısal modellerin prototip verileriyle karşılaştırılmasında, fiziksel model verilerinin prototip verileriyle daha uyumlu olduğunu, sayısal modellerin ise, kıyı hidrodinamiğinin karmaşıklığı sebebiyle yeterince uyum göstermediğini ve güvenilirliklerinin henüz araştırma aşamasında olduğunu göstermiştir [79, 89, 90, 91]. Arazi şartlarına uygulamada kolaylık sağlaması ve laboratuvar şartlarının meydana getirdiği olumsuzlukları azaltıcı nitelik taşıması sebebiyle, fiziksel model çalışmalarından elde edilen sonuçların boyutsuzlaştırılmasının gerektiği, çeşitli çalışmacılar tarafından vurgulanmıştır [92, 93, 94].

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 erozyon profilindeki bar parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Fiziksel model verileri dikkate alınarak yapılan boyutlu ve boyutsuz regresyon analizleriyle, bar parametreleri için boyutlu ve boyutsuz denklemler kurulmuştur. Kurulan denklemlerin yanı sıra, fiziksel model verileri YSA yöntemiyle irdelenmiş ve bar parametreleri belirlenmiştir. Fiziksel model, boyutlu ve boyutsuz denklem, YSA ve literatürdeki ilgili denklem sonuçları karşılaştırılmıştır.

2.2. Çalışma Kapsamında İrdelenen Bar Parametreleri

Dalga, taban topografyası ve taban malzemesi özelliklerinin karşılıklı etkileşimi sonucu, kıyı profilleri erozyon veya yığılma profili şeklinde oluşabilir. Bu çalışma kapsamında, sadece erozyon profilindeki bar parametreleri incelenmiştir. İrdelenen erozyon profilindeki bar parametreleri, Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. İrdelenen erozyon profilindeki bar parametreleri

Şekilde, K orijinal kıyı çizgisini, B barın başlangıç noktasını, T barın tepe noktasını, S barın son noktasını ve β ise başlangıç profilinin yatayla yaptığı açısı ($\tan\beta=m=\text{taban eğimi}$) göstermektedir. Çalışma kapsamında irdelenen bar parametreleri aşağıda verilmiştir:

2.2.1. Barın Başlangıç Noktası

Barın başlangıç noktası (denge noktası), başlangıç profili ile erozyon profilinin ilk kesiştiği noktadır. Bar, bu noktadan itibaren açığa doğru malzeme yığılmasıyla oluşmaktadır. Bu nokta erozyon, bölgesiyle bar bölgesini ayıran noktadır. Bar başlangıç noktası için iki parametre irdelenmektedir. Bunlar:

- Barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bb}),
- Barın başlangıç noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı (h_{bb})'dir.

Barın başlangıç noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı, bu noktanın orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı ve taban eğimine bağlı olarak aşağıdaki denklemle verilebilir:

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

2.2.2. Barın Tepe Noktası

Barın tepe noktası, erozyon profilinde oluşan barın sakin su seviyesine en yakın noktasıdır. Bu nokta için irdelenen parametreler şunlardır:

- Barın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bt}),
- Barın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı (h_{bt}).

2.2.3. Barın Son Noktası

Barın son noktası (katı madde hareketinin sona erdiği nokta), başlangıç profili ile erozyon profilinin son kesiştiği noktadır. Bar, bu noktada son bulur ve bu noktadan sonra herhangi bir malzeme hareketi söz konusu olmaz. Barın son noktası için iki parametre irdelenmektedir. Bunlar:

- Barın son noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bs}),
- Barın son noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı (h_{bs})'dir.

Barın son noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı, bu noktanın orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı ve taban eğimine bağlı olarak aşağıdaki denklemle verilebilir:

$$h_{bs}=m.X_{bs} \quad (2.2)$$

2.2.4. Bar Hacmi

Bar hacmi, erozyon profilindeki barın başlangıç, tepe ve son noktaları ile başlangıç profili arasındaki hacimdir (V_{bh}). Bar hacmi, erozyon hacmine eşittir ve kıyı bölgesinde hareket eden toplam katı madde hacmi, barın hacmine eşittir. Belli bir zamanda hareket eden katı madde miktarının debisi ise, toplam katı madde hacminin bu zamana bölümüne eşittir.

2.3. İrdelenen Bar Parametrelerinin Literatürdeki Durumu

Literatür taraması bölümünde bu konuda geniş araştırma yapılmış ve konuyla ilgili var olan denklemler verilmiştir. Yapılan çalışmaya, bu denklemler ışığında yön verilmiş ve denklemlerin eksiklikleri, yapılan fiziksel model çalışmaları sonucu kurulacak denklemlerle giderilmeye çalışılmıştır. Burada, irdelenen parametreler, için çalışmaya temel olan denklemler incelenmiş ve varsa eksiklikleri ortaya konmuştur (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. İrdelenen bar parametrelerinin literatürdeki durumu

İrdelenen Parametre	Literatürdeki Denklemler	Denklemlerdeki Değişken Durumu	
		Bulunan	Bulunmayan
X_{bb}	Denklem 1.5	H_0, T, m	d_{50}
	Denklem 1.9	H_0, m	T, d_{50}
X_{bt}	Denklem 1.6	H_0, T, m	d_{50}
	Denklem 1.10		
h_{bt}	Denklem 1.7	H_0, T, m	d_{50}
	Denklem 1.11		
X_{bs}	Denklem 1.44	H_0, T, m	d_{50}
V_{bh}	Denklem 1.8	H_0, T, d_{50}	m
	Denklem 1.12	H_0, T, m	d_{50}

Tablo 2.1'den de görüleceği üzere, 1.8 nolu denklem hariç, denklemlerde H_0, T ve m olaya etki eden değişkenler olarak dikkate alınmış, d_{50} ise hesaplara katılmamıştır. Denklem 1.8'de ise, H_0, T ve d_{50} dikkate alınmış, m ise alınmamıştır. Bunun yanında, literatür çalışmalarında ilgili parametreler için önerilen denklemlerin çok fazla veriye dayanmadığı (veri sayısı 20'den az) görülmüştür.

2.4. Fiziksel Model Çalışmaları

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

2.4.1. Model Ölçeği

Doğadaki olayları laboratuvar ortamında incelemek için çeşitli büyüklükleri belirli oranlarda küçültmek gerekmektedir. İncelenecek olaya göre, model tekniği (Froude, Reynold, Weber, Cauchy, Euler) seçilir ve bu tekniğe göre model büyüklükleri belirlenir. Yerçekimi kuvvetinin etkin olduğu kıyı modellemelerinde Froude model tekniğinin uygun olduğu belirlenmiştir. Seçilen model tekniğine göre modelde kullanılacak parametrelerin ölçeklerini belirlemeye yönelik çok sayıda çalışma literatürde verilmektedir [94, 95, 96, 97].

Seçilen model tekniğinde, ölçek büyüklüğünü belirlemede en önemli etkenler; modellenecek işin cinsi, laboratuvar düzeneğinin durumu ve kullanılacak malzemenin özellikleridir. Model ölçeğinin mümkün olduğu kadar büyük seçilmesi ve hatta bire bir modelleme yapılması ideal çözümü vermesine rağmen, ekonomiklik ve oldukça büyük zaman kayıpları da göz önüne alındığında, kıyı modellemeleri için 1/150'ye kadar küçük model ölçeklerinin kullanılabileceği belirtilmiştir [66].

Çalışmadaki bütün model deneyleri, distorsiyonsuz olarak, geometrik benzeşim içerisinde Froude model tekniğine göre hazırlanmış, denenmiş ve buna göre değerlendirilmiştir. Bu teknikle, çalışmadan optimum verim alınması için, fiziksel modelin kurulacağı kanalın boyutları, kullanılacak dalga şartları ve malzeme özellikleri dikkate alınarak, model ölçeğinin 1/25 olarak seçilmesine karar verilmiştir.

2.4.2. Dalga Şartları

Çalışma kapsamında irdelenen parametreleri genel olarak değerlendirebilmek için, dalga şartları doğada erozyon profili oluşturacak minimum ile maksimum şartlar arasından seçilmeye çalışılmıştır. Çalışmada, 1.46 s periyot için 6.5, 11.5, 16, 20, 23, 26 ve 30 cm; 2.03 s periyot için 6.5, 11.5, 16, 20 cm yüksekliğinde düzenli dalgalar kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan 1.46 ve 2.03 s periyotlu dalgalar için dalga yükseklikleri ve diklikleri Tablo 2.2’de verilmiştir. Fiziksel model çalışmaları sırasında, 2.03 s periyotlu dalgalar için 23, 26 ve 30 cm yükseklikli dalgalar, laboratuvar olanakları çerçevesinde üretilenmemiştir.

Tablo 2.2. 1.46 ve 2.03 s periyotlu dalgalar için dalga yükseklik ve diklikleri

T=1.46 s							
H ₀ (cm)	6.5	11.5	16	20	23	26	30
H ₀ /L ₀	0.0170	0.0303	0.0421	0.0527	0.0606	0.0685	0.0790
T=2.03 s							
H ₀ (cm)	6.5	11.5	16	20			
H ₀ /L ₀	0.0100	0.0179	0.0249	0.0311			

2.4.3. 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.

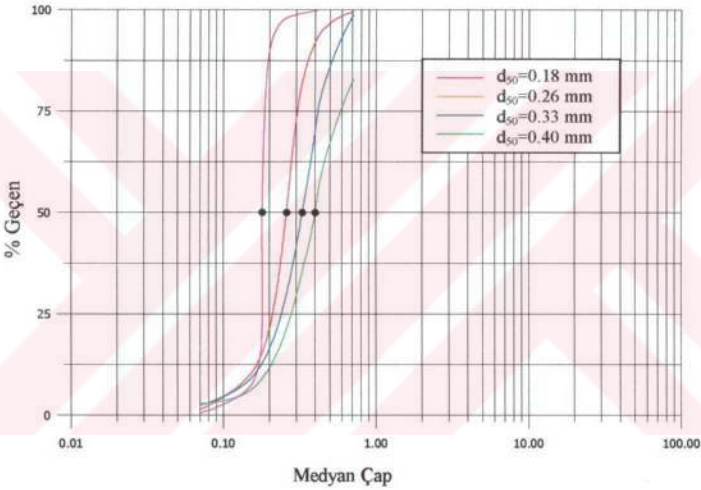
Çalışma kapsamında yukarıdaki görüşler dikkate alınarak üç farklı taban eğimiyle fiziksel model çalışmaları yapılmıştır. Bu eğimler, hem doğadaki taban eğimlerini temsil etmekte hem de laboratuvar çalışma şartlarını zorlaştırmamaktadır. Seçilen taban eğimleri sırasıyla 1/10, 1/15 ve 1/25’tir.

2.4.4. Malzeme Özellikleri

Modeldeki malzeme özelliklerinin (malzeme medyan çapı, yoğunluğu vb.) 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 [90, 93, 98, 99].

Çalışmada, medyan çapları; 0.18, 0.26, 0.33 ve 0.40 mm olan dört farklı malzeme (kum) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemelerin elek analizi sonuçları Şekil 2.2’de verilmiştir. Malzeme yoğunluğu, katı madde hareketine önemli derecede etki ettiğinden, aynı yoğunluktaki kum malzemesi kullanılmaya çalışılmıştır. Kullanılan tüm malzemelerin yoğunlukları (özellikler) yaklaşık olarak 2.55 t/m^3 ’tür.

Katı madde hareketinde, malzemelerin homojenliği de bir başka önemli konudur. Aynı çap etrafında homojen dağılan malzemeler birbirine yakın özellikte hareket edeceğinden malzeme çapları oluşturulurken buna dikkat edilmiştir.



Şekil 2.2. Deneylerde kullanılan malzemelerin granülometre eğrileri

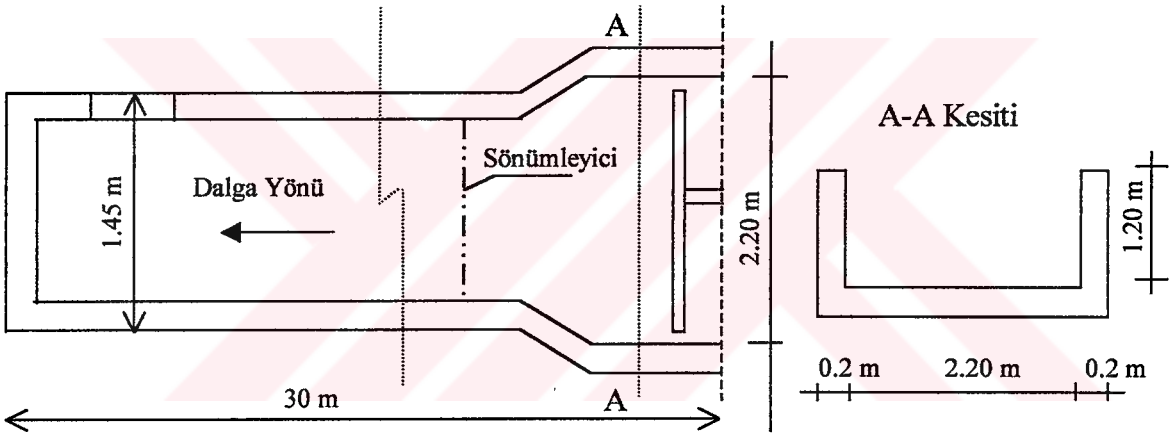
2.4.5. Deney Süreleri

İncelenen bar parametreleriyle, deney süresi arasında yakın bir ilişki vardır; deney başlarında hızlı bir bar oluşum hareketi olup, profil dengeye ulaşmaya başlayınca bu hareket yavaşlamaktadır. Deney süresi, erozyon profilinin dengeye ulaşmasına göre her taban eğimi için ön deneyler yapılarak belirlenmiştir. Bu süre belirlenirken, bar başlangıç, tepe ve son noktasının hareket etmemesi, hareket eden toplam malzeme miktarının belirli bir oranın altına düşmesi ve hareketin bir miktar daha aynı eğilimde gitmesi dikkate

alınmıştır. Deneyler devam ederken 2 saatte bir ölçüm alınarak profilin dengeye ulaşp ulaşmadığı kontrol edilmiştir. 2 saatlik ara ölçüm zamanına, ön deneyler sonunda toplam hareket eden katı madde miktarına göre karar verilmiştir. Tüm bu durumlar dikkate alınarak her bir deney için deney süreleri, 1/10 taban eğiminde 12 saat, 1/15 ve 1/25 taban eğiminde ise 14 saat olarak belirlenmiş ve uygulanmıştır.

2.4.6. 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

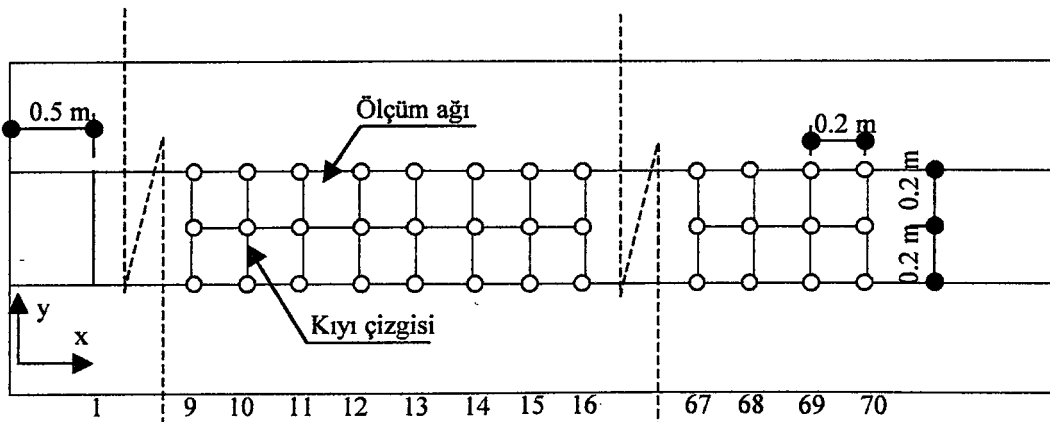
Dalga kanalında modelin kurulacağı bölgenin bir tarafında 4 m uzunluğunda pleksiglastan yapılmış şeffaf bir kısım vardır. Çalışma başlangıcında, pleksiglastan ve karşıdaki bölgenin sürtünme etkilerinin aynı olması için bu bölgeye de pleksiglastan yerleştirilmiştir. Dalga kanalındaki palet arkasında oluşan yansımanın engellenmesi için paletin arka tarafına, kırma taşlarla geçirimsiz kalın bir duvar yapılmıştır. Dalga paleti tarafından üretilen dalgaların düzenliliğini korumak için kanala dik kesitte üçgensel olarak delikli sac yerleştirilmiştir.

Kanalda kurulu bulunan dalga üretici sistem üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; alternatif akım motoru, dişli sistemi ve dalga paletidir. Kullanılan alternatif akım motoru 4 Hb gücünde olup 100 devir/dak'lık bir hıza sahiptir. Alternatif akım motoru istenildiğinde

kolayca değiştirilebilir bir şekilde dişli sistemine bağlıdır ve motorun hızı, mevcut bulunan kontrol ünitesine bağlanarak azaltılıp çoğaltılabilmektedir. Dişli sistemi, arazili bir şanzıman sisteminden ibaret olup dört ileri ve bir de geri vitesten oluşmaktadır. Bu vites sistemiyle, seçilen bir periyotta sabit olarak çalışma sağlanabilmektedir. Motorun flanşına mafsallı olarak bağlanan bir kol, diğer ucundan da dalga paletine mafsallıdır. Dalga paleti, dalga kanalı tabanına mafsallı olarak bağlıdır. Böylece palet, motor flanşının her bir devrinde ileri-geri öteleme hareketi yapmaktadır. Bu öteleme hareketi sonucu, dalga kanalında durgun halde bulunan suda bir dalga hareketi meydana gelmektedir. Motorun flanşındaki bu mafsallı kolun boyu büyültülüp-küçültülerek paletin ileri ve geri yatış açısı değiştirilebilmekte ve bu sayede istenilen dalga yüksekliği ayarlanabilmektedir. Laboratuvar kanalında sadece düzenli dalgalar üretilebilmektedir. Oluşturulan dalgaların periyodu kronometre yardımıyla, yüksekliği ise gerilim farklarından dalga yüksekliğini tespit eden elektronik cihazla ölçülmüş ve dalga şartları ayarlanmıştır.

2.4.7. Ölçüm Sistemi

Fiziksel model kapsamında yapılan deneylerde, kanalın y doğrultusundan 3, x doğrultusundan ise 1/10 taban eğiminde 52, 1/15 ve 1/25 taban eğimlerinde ise 70 noktadan ölçüm alınmıştır. Noktalar arasındaki x ve y doğrultularındaki uzaklık 20 cm' dir. Kanalın, x doğrultusundaki noktaların değeri, y doğrultusundaki noktaların ölçümlerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Model, dalga kanalı ucundan 50 cm uzağa, kıyı çizgisi ise ölçüm ağında 10 nolu hatta yerleştirilmiştir. Ölçüm ağı planı, Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Ölçüm ağı planı

2.4.8. Yapılan Deneyler

Deney kanalında, her bir eğim için hazırlanan ön taban üzerine, kullanılacak malzemeler, kırılma bölgesiyle tırmanma bölgesi arasında 30 cm, diğer bölgelerde ise 15 cm kalınlığında sabit eğimde serilerek, dalgalar verilmiştir. Deneylerde kullanılan taban eğimleri, malzeme tane çapları ve dalga şartları Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Yapılan deneyler

Deney No	m	T (s)	H ₀ (m)	d ₅₀ (m)	Deney No	m	T (s)	H ₀ (m)	d ₅₀ (m)
01	0.1000	1.46	0.065	0.00018	41	0.0667	1.46	0.160	0.00018
02	0.1000	1.46	0.065	0.00026	42	0.0667	1.46	0.160	0.00026
03	0.1000	1.46	0.115	0.00018	43	0.0667	1.46	0.160	0.00033
04	0.1000	1.46	0.115	0.00026	44	0.0667	1.46	0.160	0.00040
05	0.1000	1.46	0.115	0.00033	45	0.0667	1.46	0.200	0.00018
06	0.1000	1.46	0.160	0.00018	46	0.0667	1.46	0.200	0.00026
07	0.1000	1.46	0.160	0.00026	47	0.0667	1.46	0.200	0.00040
08	0.1000	1.46	0.160	0.00033	48	0.0667	1.46	0.230	0.00018
09	0.1000	1.46	0.160	0.00040	49	0.0667	1.46	0.230	0.00026
10	0.1000	1.46	0.200	0.00018	50	0.0667	1.46	0.230	0.00033
11	0.1000	1.46	0.200	0.00026	51	0.0667	1.46	0.260	0.00026
12	0.1000	1.46	0.200	0.00033	52	0.0667	1.46	0.260	0.00033
13	0.1000	1.46	0.200	0.00040	53	0.0667	1.46	0.260	0.00040
14	0.1000	1.46	0.230	0.00018	54	0.0667	1.46	0.300	0.00018
15	0.1000	1.46	0.230	0.00026	55	0.0667	1.46	0.300	0.00026
16	0.1000	1.46	0.230	0.00033	56	0.0667	1.46	0.300	0.00033
17	0.1000	1.46	0.230	0.00040	57	0.0667	1.46	0.300	0.00040
18	0.1000	1.46	0.260	0.00018	58	0.0667	2.03	0.115	0.00026
19	0.1000	1.46	0.260	0.00026	59	0.0667	2.03	0.115	0.00033
20	0.1000	1.46	0.260	0.00033	60	0.0667	2.03	0.160	0.00018
21	0.1000	1.46	0.300	0.00018	61	0.0667	2.03	0.160	0.00026
22	0.1000	1.46	0.300	0.00026	62	0.0667	2.03	0.160	0.00033
23	0.1000	1.46	0.300	0.00033	63	0.0667	2.03	0.200	0.00018
24	0.1000	1.46	0.300	0.00040	64	0.0667	2.03	0.200	0.00026
25	0.1000	2.03	0.115	0.00018	65	0.0667	2.03	0.200	0.00033
26	0.1000	2.03	0.115	0.00026	66	0.0400	1.46	0.065	0.00018
27	0.1000	2.03	0.115	0.00033	67	0.0400	1.46	0.065	0.00026
28	0.1000	2.03	0.160	0.00018	68	0.0400	1.46	0.115	0.00018
29	0.1000	2.03	0.160	0.00026	69	0.0400	1.46	0.115	0.00026
30	0.1000	2.03	0.160	0.00033	70	0.0400	1.46	0.115	0.00033
31	0.1000	2.03	0.160	0.00040	71	0.0400	1.46	0.160	0.00018
32	0.1000	2.03	0.200	0.00018	72	0.0400	1.46	0.160	0.00026
33	0.1000	2.03	0.200	0.00026	73	0.0400	1.46	0.160	0.00033
34	0.1000	2.03	0.200	0.00033	74	0.0400	1.46	0.230	0.00026
35	0.1000	2.03	0.200	0.00040	75	0.0400	1.46	0.230	0.00033
36	0.0667	1.46	0.065	0.00018	76	0.0400	2.03	0.115	0.00018
37	0.0667	1.46	0.065	0.00026	77	0.0400	2.03	0.115	0.00026
38	0.0667	1.46	0.115	0.00018	78	0.0400	2.03	0.160	0.00018
39	0.0667	1.46	0.115	0.00026	79	0.0400	2.03	0.160	0.00026
40	0.0667	1.46	0.115	0.00033	80	0.0400	2.03	0.160	0.00033

2.5. Regresyon Analizleri

Fiziksel model sonuçları dikkate alınarak yapılan regresyon analiz yöntemiyle çalışma kapsamında irdelenen bar parametrelerinin denklemleri kurulmuştur.

Bar tepe noktasının, orijinal kıyı çizgisine yatay ve sakin su seviyesine düşey uzaklığı (X_{bt} , h_{bt}), bar başlangıç noktasının ve bitiş noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bb} , X_{bs}) ve oluşan barın denge hacmi (V_{bh}), yapılan regresyon analizleriyle boyutlu ve boyutsuz olarak incelenmiş ve en uygun denklemler elde edilmeye çalışılmıştır.

Regresyon analiz türüne karar vermek için, bir çok ön çalışma yapılmış ve bu çalışmalar sonunda analiz türü olarak, en iyi sonuçların elde edildiği çoklu eksponansiyel ve çoklu hiperbolik fonksiyon türleri seçilmiştir.

2.5.1. Çoklu Eksponansiyel Fonksiyon

Çoklu eksponansiyel fonksiyon için aranan denklem türü aşağıda verilmiştir:

$$y = c + \exp(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + \dots + b_n \cdot x_n) \quad (2.3)$$

Denklemde; y bağımlı değişkeni, $x_1, x_2, \dots, x_n$ bağımsız değişkenleri, c ve $b_0, b_1, \dots, b_n$ regresyon katsayılarını, n ise bağımsız değişken sayısını göstermektedir.

2.5.2. Çoklu Hiperbolik Fonksiyon

Çoklu hiperbolik fonksiyon için aranan denklem türü aşağı verilmiştir:

$$y = b_0 \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \cdot x_3^{b_3} \cdot x_4^{b_4} \dots x_n^{b_n} \quad (2.4)$$

2.6. Değişkenlerin Boyutsuzlaştırılması

Mühendislik uygulamalarında, kolaylık sağlaması ve laboratuvar şartlarının meydana getirdiği olumsuzlukları azaltıcı nitelik taşıması sebebiyle, fiziksel model çalışmalarından elde edilen sonuçların boyutsuzlaştırılmasına gidilmektedir. Yapılan çalışmada elde edilecek bar parametrelerinin denklemleri için boyutsuz ifadeler de kullanılmıştır. Çalışma kapsamında irdelenen bar parametrelerinden, X_{bb} , X_{bt} , h_{bt} , X_{bs} uzunluk boyutundadır. Uzunluk boyutundaki bağımlı değişkenler olan bu değerler yine uzunluk boyutunda olan L_0 , H_0 ve d_{50} 'ye bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır. Çalışmada, bağımlı değişken olarak irdelenen V_{bh} , alan boyutundadır (m^3/m) ve L_0^2 , H_0^2 ve d_{50}^2 'ye bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır. Boyutsuz denklem kurulmasında, bağımsız değişkenler olan m , H_0/L_0 (dalga dikliği), H_0/d_{50} ve H_0/wT (boyutsuz çökme hızı parametresi)'nin, değişik varyasyonları kullanılmıştır.

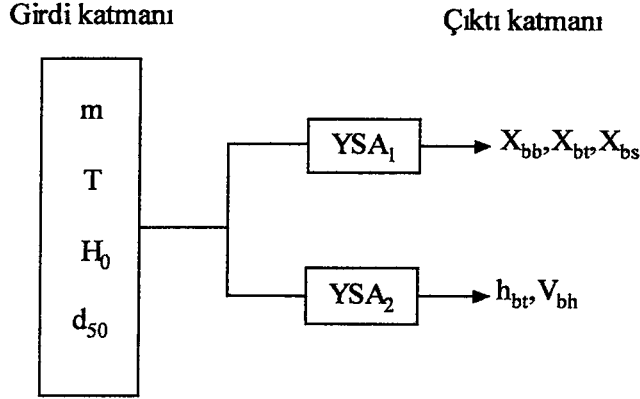
2.7. Yapay Sinir Ağı (YSA) Çalışmaları

Yapay zeka biliminin bir alt dalı olan yapay sinir ağları, insan beyninin çalışma prensibini kendine model edinen yapay sistemlerdir. Önceleri temel tıp bilimlerinde kullanılan bu yöntem, günümüzde tüm bilim dallarının ortak araştırma ve çalışma konusu olmuştur. Mevcut verileri kullanarak yeni veriler elde etme konusunda oldukça başarılı olan YSA'nın tasarım, öğrenim ve test aşaması olmak üzere üç ana aşaması bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında irdelenen parametreler için elde edilen fiziksel model sonuçları kullanılarak YSA modeli tasarlanmış, eğitilmiş ve test için önceden ayrılan fiziksel model verileriyle karşılaştırılmıştır. Fiziksel model kapsamında yapılan toplam 80 adet deneyin 65 adeti modelin eğitiminde, geriye kalan 15 adeti ise model sonuçlarının denetlenmesinde kullanılmıştır. Test için ayrılan veriler seçilirken, tüm verileri temsil etmesine ve eğitim aşamasına olumsuz etki etmemesine dikkat edilmiştir.

2.7.1. YSA Tabanlı Bar Parametreleri Belirleme Modeli

Önerilen YSA tabanlı bar parametrelerini belirleme modeli; girdiler, YSA modelleri ve çıktılardan oluşmaktadır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Geliştirilen YSA tabanlı bar parametrelerini belirleme modelinin genel mimarisi

2.7.1.1. Girdiler

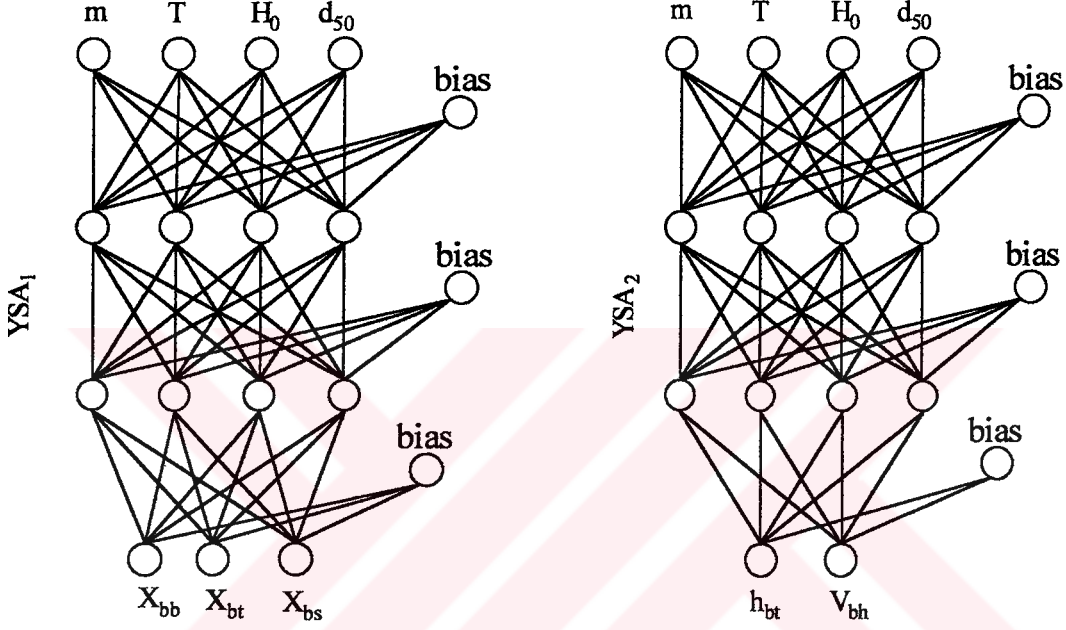
Bu çalışmada, bar parametrelerine etkidiği düşünülen 4 değişkenin farklı varyasyonlarda kullanılmasından elde edilen fiziksel model sonuçları, YSA tabanlı bar parametrelerini belirleme modeline girdi olarak verilmektedir (Tablo 2.3). Problemin değişkenleri ağa normalizasyon tekniği ile tanıtılmıştır.

YSA modellerinin tamamında transfer fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon 0-1 aralığında geçerli olduğundan, girdi ve çıktı katmanındaki verilerin bu aralıkta normalize edilmesi gerekmektedir, söz konusu işlem normalizasyon tekniği olarak adlandırılır. Bu amaçla YSA₁ modelinin girdi katmanındaki değişkenlerin her biri söz konusu katmandaki maksimum değere, çıktı katmanındaki değişkenler ise yine kendilerinin alabileceği en büyük değere bölünmüştür. YSA₂ modelinin girdi katmanı için YSA₁ modelindeki normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu modelin çıktı katmanındaki tüm değişkenler 0-1 aralığında olduğu için aynen alınmıştır.

YSA'dan elde edilen sonuçları değerlendirebilmek için normalizasyon işlemi tersine çevrilmiştir.

2.7.1.2. YSA₁ ve YSA₂ Modelleri

Geliştirilen YSA modeli, YSA₁ ve YSA₂ olmak üzere 2 alt modelden oluşmuştur. YSA₁ alt modeli X_{bb} , X_{bt} ve X_{bs} , YSA₂ alt modeli ise V_{bh} ve h_{bt} çıktı değerlerini vermektedir. Farklı çıktı değerleri veren YSA₁ ve YSA₂ alt modelleri aynı girdileri kullanmaktadırlar.

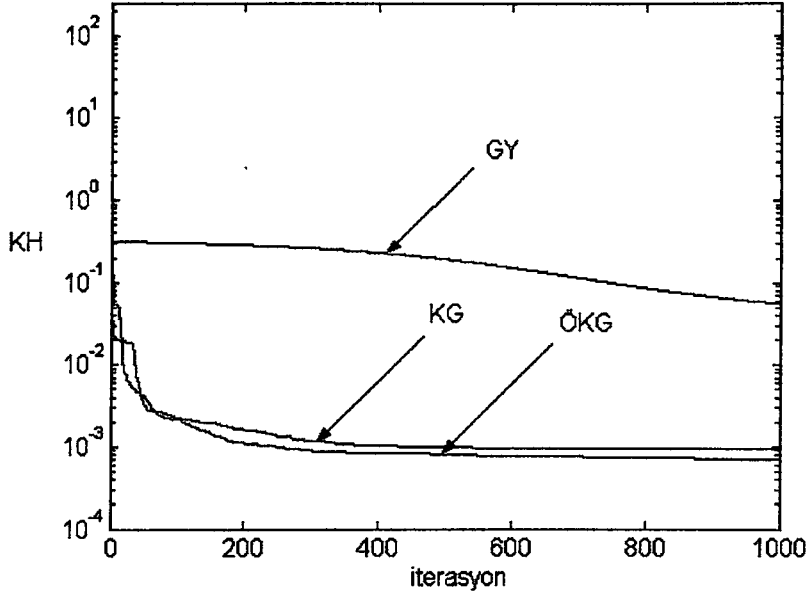


Şekil 2.6. YSA₁ ve YSA₂ alt modellerinin mimarileri

YSA₁ ve YSA₂ alt modellerinin mimarisi, girdi katmanında 4 işlem elemanından, 2 gizli katmanda yine 4 işlem elemanından, çıktı katmanında ise YSA₁ alt modeli 3 ve YSA₂ alt modeli ise 2 işlem elemanından oluşmaktadır.

2.7.2. YSA Modellerinde Kullanılan Eğitim Parametreleri

Seçilen YSA modelleri (YSA₁, YSA₂) iki gizli katmanlı olarak tasarlanmıştır. Söz konusu modellerin eğitim algoritması seçilirken YSA₂ modelinin performansı 1000 iterasyon için araştırılmış (Şekil 2.7, Tablo 2.4) ve uygun olan algoritma tüm YSA modellerine uygulanmıştır. Algoritmanın seçimi, eğitim ve test setinin performansları birlikte değerlendirilerek yapılmıştır.



Şekil 2.7. YSA modelleri için eğitim algoritmasının belirlenmesi

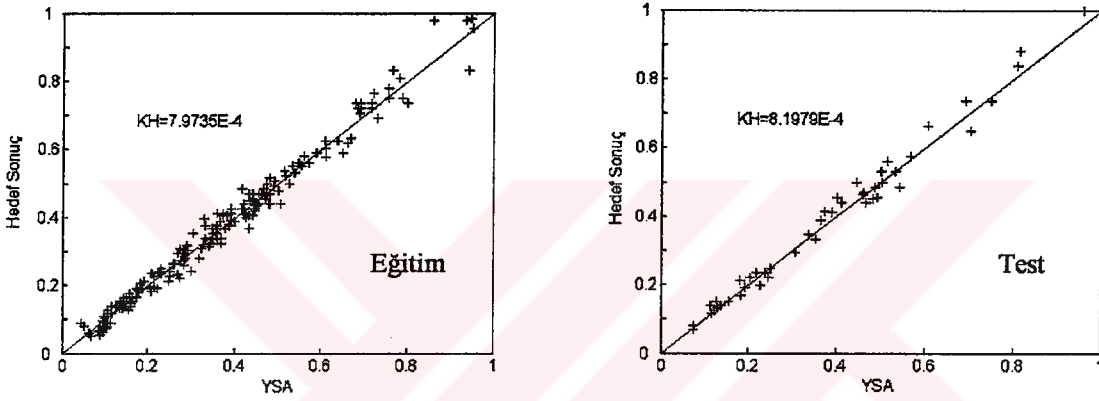
Tablo 2.4. YSA modelleri için eğitim algoritmasının belirlenmesi

Model	Eğitim algoritması	İşlem Elemanı Sayısı		Eğitim Seti	Test Seti
		I. gizli katman	II. gizli katman	KH(10^{-3})	KH(10^{-3})
YSA ₁	ÖKG	3	3	1.53	1.70
		4	3	0.822	1.20
		3	4	0.862	1.30
		4	4	0.99	1.1
		5	4	0.945	1.21
		5	5	1.12	1.70
YSA ₂	ÖKG	3	3	1.42	1.53
		4	3	0.712	0.799
		3	4	0.872	0.935
		4	4	0.679	0.703
		5	4	0.691	0.758
		5	5	0.665	0.762

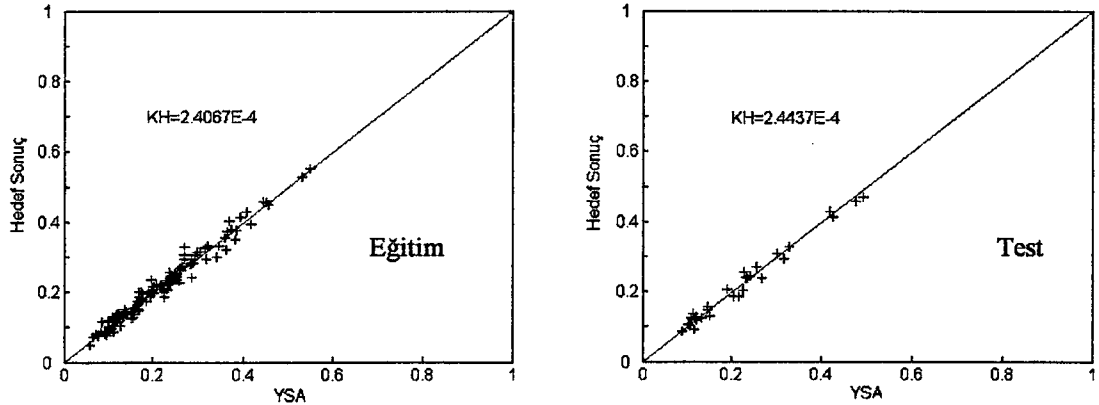
Modellerin gizli katman sayısı ve bu gizli katmanlarda bulunacak işlem elemanı sayısı ağız performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Gerek gizli katman sayısı, gerekse bu katmanlardaki işlem elemanlarının sayısının belirlenmesi ile ilgili bir yöntem bulunmamaktadır. Modellerin gizli katmanlarındaki işlem elemanlarının seçiminde 1000 iterasyon için performanslar ölçülerek uygun değerler belirlenmiştir.

2.7.3. Bar Parametreleri için YSA Modelinin Performansı

Bar parametrelerini belirlemeye yönelik yapılan fiziksel model çalışmaları Tablo 2.3'te verilmiştir. YSA modelleri için eğitim setinde 65, test setinde ise 15 olmak üzere toplam 80 deneyden yararlanılmıştır. Yapay sinir ağı çalışmalarında, fiziksel model kapsamında yapılan, 5, 7, 10, 17, 23, 29, 39, 43, 48, 52, 54, 64, 66, 75 ve 78 nolu deneyler test için kullanılan deneylerdir. YSA₁ ve YSA₂ alt modellerinin, eğitim ve test seti performanslarının belirlenmesinde Ortalama Karesel Hata (KH)'dan yararlanılmıştır (Şekil 2.8 ve Şekil 2.9).



Şekil 2.8. YSA₁ modelinin eğitim ve test seti performansı (X_{bb} , X_{bt} , X_{bs})



Şekil 2.9. YSA₂ modelinin eğitim ve test seti performansı (V_{bh} , h_{bt})

YSA₁ alt modeli için, eğitim setinin performansı 7.9735×10^{-4} , test setinin performansı ise 8.1979×10^{-4} olarak, YSA₂ alt modeli için, eğitim setinin performansı 2.4067×10^{-4} , test setinin performansı ise 2.4437×10^{-4} olarak gerçekleşmiştir.

3. BULGULAR

Bu bölümde, irdelenen bar parametrelerini belirlenmeye yönelik çalışmalardan elde edilen bulgular verilmiştir. Bu kapsamda, barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bb}), barın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bt}), barın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı (h_{bt}), barın son noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bs}) ve bar hacmi (V_{bh}) 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 yapılan boyutlu ve boyutsuz regresyon analizleriyle, bar parametreleri için boyutlu ve boyutsuz denklemler kurulmuş ve denklemlerden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Boyutlu ve boyutsuz regresyon analizleri için iki farklı analiz türü kullanılmıştır. Kullanılan analiz türleri çoklu eksponansiyel ve çoklu hiperbolik fonksiyonlardır.

Fiziksel model verileri, kurulan denklemlerin yanı sıra, YSA yöntemiyle de incelenmiş, bağımsız değişkenler (m , T , H_0 ve d_{50}) ile bağımlı değişkenler (X_{bb} , X_{bt} , h_{bt} , X_{bs} ve V_{bh}) arasındaki en iyi ağ sistemi kurularak, irdelenen bar parametreleri için elde edilen bulgular sunulmuştur.

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

YSA çalışmalarında, kurulan ağın eğitiminde fiziksel model kapsamında yapılan toplam 80 adet deneyin 65 adeti, model sonuçlarının denetlenmesinde ise 15 adeti kullanılmış, başka bir ifadeyle, yapay sinir ağı modelinden 15 adet bulgu elde edilmiştir.

İrdelenen parametrelerin YSA sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi açısından, boyutlu ve boyutsuz regresyon analizleri sonucu elde edilen ve literatürde verilen denklemlerin her biri için, YSA test aşaması için ayrılan 15 adet deney kullanılarak hesaplar yapılmış ve bulguları verilmiştir. Ayrıca, 80 adet deneyin denklem sonuçları da irdelenmiş ve bu verilere ait bulgular ekler bölümünde verilmiştir.

3.1. Barın Başlangıç Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bb})

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

3.1.1. X_{bb} için Fiziksel Model Bulguları

İlgili parametre için yapılan fiziksel model bulguları, Tablo 3.1’le verilmiştir.

Tablo 3.1. X_{bb} için fiziksel model bulguları

Deney No	X_{bb} (m)	Deney No	X_{bb} (m)	Deney No	X_{bb} (m)	Deney No	X_{bb} (m)
01	0.80	21	4.30	41	3.00	61	4.10
02	0.70	22	4.00	42	2.90	62	4.00
03	1.20	23	3.36	43	2.70	63	4.54
04	1.05	24	3.30	44	2.50	64	4.50
05	0.95	25	1.40	45	5.12	65	4.40
06	1.80	26	1.24	46	4.80	66	2.60
07	1.70	27	1.10	47	3.54	67	2.50
08	1.50	28	1.94	48	5.64	68	4.40
09	1.30	29	1.88	49	5.00	69	4.10
10	2.90	30	1.72	50	4.20	70	3.30
11	2.10	31	1.50	51	5.30	71	6.80
12	1.90	32	2.24	52	5.25	72	5.90
13	1.85	33	2.09	53	4.26	73	5.40
14	3.10	34	1.93	54	6.14	74	7.90
15	2.90	35	1.70	55	5.90	75	6.20
16	2.25	36	1.74	56	5.42	76	5.54
17	2.05	37	1.70	57	5.28	77	5.50
18	3.65	38	2.65	58	3.20	78	7.60
19	3.25	39	2.60	59	3.10	79	6.30
20	2.70	40	2.55	60	4.20	80	5.50

Tablo 3.1 incelendiğinde, X_{bb} ’nin 0.70 ile 7.60 m arasında değiştiği ve değerlerin aritmetik ortalamasının ise 3.414 m olduğu görülmektedir.

3.1.2. X_{bb} için Boyutlu Regresyon Analizleri

Barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.1) kullanılarak, boyutlu regresyon analizleri yapılmıştır. Boyutlu regresyon analizleriyle, X_{bb} 'ye m , T , H_0 ve d_{50} 'nin etkisi de incelenmiştir.

X_{bb} için Denklem 2.3 ve 2.4'de verilen fonksiyon türleri kullanılarak yapılan boyutlu regresyon analizlerinde, bağımsız değişken sayılarının azalması durumundaki determinasyon katsayıları (korelasyon katsayısının karesi, r^2) hesaplanmış ve değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısı değeri azalma oranına $((1-r_i^2/r_{en\ bilyik}^2)*100)$ etkisi incelenmiş ve Tablo 3.2'de verilmiştir. Her iki fonksiyon için bağımsız değişken sayısı azalması durumundaki regresyon katsayıları, Ek Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. X_{bb} için bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı

Bağımsız Değişken Durumu		Fonksiyon Türü			
		Çoklu Ekspansiyonel Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon	
Bulunma	Bulunmama	Determinasyon Katsayısı (r^2)	r^2 'deki Azalma Oranı (%)	Determinasyon Katsayısı (r^2)	r^2 'deki Azalma Oranı (%)
m, T, H_0, d_{50}	-	0.9463	-	0.9428	-
m, T, H_0	d_{50}	0.9052	4.34	0.9105	3.43
m, T, d_{50}	H_0	0.5285	44.15	0.4632	50.87
m, H_0, d_{50}	T	0.9239	2.37	0.9388	0.42
T, H_0, d_{50}	m	0.2449	74.12	0.2969	68.51
m, T	H_0, d_{50}	0.5243	44.59	0.4621	54.17
m, H_0	T, d_{50}	0.8811	6.89	0.9064	3.86
m, d_{50}	T, H_0	0.5284	44.16	0.4627	50.92
T, H_0	m, d_{50}	0.1824	80.73	0.2456	73.95
T, d_{50}	m, H_0	0.0222	97.65	0.0112	98.81
H_0, d_{50}	m, T	0.2376	74.89	0.2911	69.12
m	T, H_0, d_{50}	0.5242	44.61	0.4617	51.03
T	m, H_0, d_{50}	0.0001	99.99	0.0004	99.96
H_0	m, T, d_{50}	0.1756	81.44	0.2437	74.15
d_{50}	m, T, H_0	0.0219	97.69	0.0111	98.82

Tablo 3.2 incelendiğinde, değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısını azalttığı, her iki fonksiyon türünün birbirine yakın sonuçlar verdiği ve olaya en az etkiyen

parametrenin dalga periyodu olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, her iki tür fonksiyon için de, bulunmamaları halinde determinasyon katsayısında en fazla azalmaya yol açan, dolayısıyla en etkin olan parametreler, sırasıyla taban eğimi ve dalga yüksekliğidir.

En büyük determinasyon katsayılarını veren bağımsız değişkenler durumundaki her iki tür için regresyon katsayıları ve çoklu hiperbolik fonksiyon için her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkime oranları Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. X_{bb} için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları

Çoklu Ekspansiyel Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon		
$X_{bb} = c + \exp(b_0 + b_1.m + b_2.T + b_3.H_0 + b_4.d_{50})$		$X_{bb} = b_0.m^{b_1}.T^{b_2}.H_0^{b_3}.d_{50}^{b_4}$		
$r^2=0.9463$		$r^2=0.9428$		
Katsayılar	Değerler	Katsayılar	Değerler	Etki Oranı
c	-1.7882			%
b_0	1.8563	b_0	0.0202	
b_1	-12.617	b_1	-1.3751	45.68
b_2	0.1973	b_2	0.2386	3.54
b_3	3.5112	b_3	1.0271	40.55
b_4	-920.86	b_4	-0.3755	10.23

Tablo 3.3’te, çoklu hiperbolik fonksiyon için verilen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni etkime oranları incelendiğinde, taban eğiminin, barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığına, %45.68 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Dalga yüksekliği ise %40.55 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, X_{bb} değerini, %86.23 gibi bir değerle temsil ettiği görülmektedir. Bu durum, Tablo 3.2 ile de uyumluluk göstermektedir. X_{bb} değerinin büyüklüğüne, tane çapının %10.23 ve dalga periyodunun ise %3.54 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 3.3’teki değerlere göre, barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bb}) için boyutlu ekspansiyel ve hiperbolik fonksiyonlardan elde edilen denklemler aşağıda verilmiştir:

$$X_{bb} = -1,7882 + \exp(1,8563 - 12,617.m + 0,1973.T + 3,5112.H_0 - 920,86.d_{50}) \quad (3.1)$$

$$X_{bb} = 0,0202.m^{-1,3751}.T^{0,2386}.H_0^{1,0271}.d_{50}^{-0,3755} \quad (3.2)$$

3.1.3. X_{bb} için Boyutsuz Regresyon Analizleri

Barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları kullanılarak, boyutsuz regresyon analizleri yapılmıştır. Boyutsuz regresyon analizlerinde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişkenler için X_{bb}/L_0 , X_{bb}/H_0 ve X_{bb}/d_{50} , bağımsız değişkenler için ise m , H_0/L_0 , H_0/wT ve H_0/d_{50} 'dir.

X_{bb} için Denklem 2.3 ve 2.4'te verilen fonksiyon türleri kullanılarak yapılan boyutsuz regresyon analizlerinde, boyutsuz bağımlı ve bağımsız değişken alternatifleri için determinasyon katsayıları hesaplanmış ve Tablo 3.4'te verilmiştir. Her iki fonksiyon için bağımlı ve bağımsız değişken alternatifleri durumundaki regresyon katsayıları, Ek Tablo 3 ve 4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. X_{bb} için boyutsuz değişken alternatiflerinden elde edilen determinasyon katsayıları

Boyutsuz Değişken Durumu		Çoklu Ekspansiyonel Fonksiyon İçin r^2	Çoklu Hiperbolik Fonksiyon İçin r^2
Bağımlı	Bağımsız		
X_{bb}/L_0	$m, H_0/L_0, H_0/wT$	0.9489	0.9556
	$m, H_0/L_0, H_0/d_{50}$	0.9398	0.9521
	$m, H_0/d_{50}, H_0/wT$	0.7176	0.7802
X_{bb}/H_0	$m, H_0/L_0, H_0/wT$	0.9463	0.9279
	$m, H_0/L_0, H_0/d_{50}$	0.9456	0.9221
	$m, H_0/d_{50}, H_0/wT$	0.8881	0.8930
X_{bb}/d_{50}	$m, H_0/L_0, H_0/wT$	0.8547	0.9113
	$m, H_0/L_0, H_0/d_{50}$	0.9197	0.9535
	$m, H_0/d_{50}, H_0/wT$	0.8962	0.9361

Tablo 3.4'teki değerler incelendiğinde, her iki fonksiyon için de en büyük determinasyon katsayılarını, bağımlı değişkenin X_{bb}/L_0 , bağımsız değişkenlerin ise m , H_0/L_0 ve H_0/wT olduğu durumun verdiği görülmektedir. Bu durumların dikkate alındığı şarttaki, bağımsız değişken sayısı azalmasının, determinasyon katsayısı azalma oranına etkisi incelenmiş ve Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5. X_{bb} için boyutsuz bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı

Çoklu Ekspansiyon Fonksiyon					Çoklu Hiperbolik Fonksiyon				
Boyutsuz Değişken Durumu			(r^2)	r^2 Azal. Oranı (%)	Boyutsuz Değişken Durumu			(r^2)	r^2 Azal. Oranı (%)
Bağımlı	Bağımsız				Bağımlı	Bağımsız			
	Bulunma	Bulunmama				Bulunma	Bulunmama		
X_{bb}/L_0	$m,$ $H_0/L_0,$ H_0/wT	-	0.9489	-	X_{bb}/L_0	$m,$ $H_0/L_0,$ H_0/wT	-	0.9556	-
	$m,$ H_0/L_0	H_0/wT	0.9193	3.12		$m,$ H_0/L_0	H_0/wT	0.9306	2.62
	$m,$ H_0/wT	H_0/L_0	0.7204	24.08		$m,$ H_0/wT	H_0/L_0	0.7762	18.77
	$H_0/L_0,$ H_0/wT	m	0.4233	55.39		$H_0/L_0,$ H_0/wT	m	0.4478	53.14
	m	$H_0/L_0,$ H_0/wT	0.3456	63.58		m	$H_0/L_0,$ H_0/wT	0.3502	63.35
	H_0/L_0	$m,$ H_0/wT	0.4000	57.85		H_0/L_0	$m,$ H_0/wT	0.4177	56.29
	H_0/wT	$m,$ H_0/L_0	0.2837	70.10		H_0/wT	$m,$ H_0/L_0	0.3402	64.40

Tablo 3.5 incelendiğinde, boyutsuz bağımsız değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısını azalttığı ve her iki fonksiyon türünün birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Buna göre, her iki tür fonksiyon için de, bulunmaması halinde determinasyon katsayısında en fazla azalmaya yol açan (en etkin) parametreler sırasıyla taban eğimi (m) ve dalga dikliği (H_0/L_0)'dır. Boyutsuz çökme hızı parametresi (H_0/wT) ise az etkindir.

En büyük determinasyon katsayılarını veren bağımsız değişkenler durumundaki her iki tür için fonksiyon katsayıları ve çoklu hiperbolik fonksiyon için her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni etkiye oranları, Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6'da, çoklu hiperbolik fonksiyon için verilen boyutsuz bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni etkiye oranları incelendiğinde, taban eğiminin, barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığına, %46.36 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Dalga dikliği ise %39.16 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, X_{bb} değerini %85.52 gibi bir oranla temsil ettikleri görülmektedir. Bu durum, Tablo 3.5 ile de uyumludur. X_{bb} değerinin büyüklüğüne, H_0/wT 'nin %14.48 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 3.6. X_{bb} için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları

Çoklu Eksponansiyel Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon		
$\frac{X_{bb}}{L_0} = c + \exp(b_0 + b_1.m + b_2.\frac{H_0}{L_0} + b_3.\frac{H_0}{w.T})$		$\frac{X_{bb}}{L_0} = b_0.m^{b_1} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{b_2} \left(\frac{H_0}{w.T}\right)^{b_3}$		
$r^2=0.9489$		$r^2=0.9556$		
Katsayılar	Değerler	Katsayılar	Değerler	Etki Oranı %
c	-0.5803	b ₀	0.1512	
b ₀	0.6508	b ₁	-1.3775	46.36
b ₁	-11.471	b ₂	0.7391	39.16
b ₂	9.0126	b ₃	0.2848	14.48

Tablo 3.6'daki değerlere göre, barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bb}) için, boyutsuz eksponansiyel ve hiperbolik fonksiyonlardan elde edilen denklemler aşağıda verilmiştir:

$$\frac{X_{bb}}{L_0} = -0,5803 + \exp(0,6508 - 11,471.m + 9,0126.\frac{H_0}{L_0} + 0,0347.\frac{H_0}{w.T}) \quad (3.3)$$

$$\frac{X_{bb}}{L_0} = 0,1512.m^{-1,3775} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{0,7391} \left(\frac{H_0}{w.T}\right)^{0,2848} \quad (3.4)$$

3.1.4. YSA için Seçilen Deney Şartlarındaki X_{bb} Bulguları

X_{bb} için fiziksel modelden elde edilen tüm bulgular Tablo 3.1'de verilmişti. Burada fiziksel model verileri üzerine kurulan regresyon analizlerinden elde edilen boyutlu ve boyutsuz denklemlerin, literatürdeki ilgili denklemlerin ve YSA'nın karşılaştırılmasında, YSA'nın test aşaması için seçilen deneyler kullanılmıştır. Deneylerden, regresyon analizleri sonucu elde edilen boyutlu 3.1 ve 3.2 nolu, boyutsuz 3.3 ve 3.4 nolu, literatürde verilen 1.5 ve 1.9 nolu denklemlerden ve YSA'dan elde edilen bulgular, Tablo 3.7'de verilmiştir. X_{bb} 'nin tüm deney alternatifleri için deney, boyutlu, boyutsuz ve literatürdeki denklemlerden elde edilen bulgular, Ek Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 3.7. X_{bb} için elde edilen bulgular

Durum No	Deney No	Deney (m)	Denk 3.1 (m)	Denk 3.2 (m)	Denk 3.3 (m)	Denk 3.4 (m)	Denk 1.5 (m)	Denk 1.9 (m)	Y S A (m)
1	05	0.95	0.8831	1.1540	1.0006	1.1556	1.5245	1.1040	1.0280
2	07	1.70	1.5487	1.7717	1.5522	1.7625	1.9276	1.5360	1.6665
3	10	2.90	2.3454	2.5580	2.4356	2.5618	2.2585	1.9200	2.4755
4	17	2.05	1.9623	2.1879	2.2194	2.2133	2.4941	2.2080	2.1281
5	23	3.36	3.3266	3.0897	3.3828	3.0846	3.0119	2.8800	3.3919
6	29	1.88	1.9458	1.9167	1.5653	1.9057	2.3336	1.5360	1.5645
7	39	2.60	2.5487	2.2026	2.4502	2.1956	2.7097	1.6552	2.6132
8	43	2.70	2.9740	2.8272	3.0323	2.8310	3.4257	2.3029	3.0968
9	48	5.64	5.2028	5.1533	5.2476	5.1637	4.4325	3.3103	5.1056
10	52	5.25	4.9773	4.6551	4.9145	4.6541	4.8357	3.7421	4.9654
11	54	6.14	7.1507	6.7703	7.4624	6.7782	5.3528	4.3178	6.5647
12	64	4.50	4.7527	4.2066	4.6383	4.1835	4.8594	2.8786	4.8171
13	66	2.60	3.6975	2.8429	3.2423	2.8637	3.7353	1.5600	2.6141
14	75	6.20	6.7399	8.2909	6.8556	9.0297	9.1619	5.5200	6.7000
15	78	7.60	6.7810	7.7575	7.3731	7.7877	8.5725	3.8400	6.9966

X_{bb} 'nin tüm deney alternatifleri için deney, boyutlu, boyutsuz ve literatürdeki denklemlerden elde edilen bulgular, eklerde verilmiştir.

3.2. Barın Tepe Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bt})

Barın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklem, literatürdeki ilgili denklem ve YSA bulguları aşağıdaki konu başlıklarıyla verilmiştir.

3.2.1. X_{bt} için Fiziksel Model Bulguları

İlgili parametre için yapılan fiziksel model bulguları, Tablo 3.8'le verilmiştir.

Tablo 3.8. X_{bt} için fiziksel model sonuçları

Deney No	X_{bt} (m)	Deney No	X_{bt} (m)	Deney No	X_{bt} (m)	Deney No	X_{bt} (m)
01	1.00	21	4.80	41	3.30	61	4.60
02	0.90	22	4.00	42	3.15	62	4.40
03	1.40	23	4.00	43	3.00	63	6.60
04	1.20	24	3.70	44	2.60	64	6.40
05	1.10	25	1.60	45	5.60	65	6.00
06	2.00	26	1.40	46	5.40	66	3.20
07	1.90	27	1.20	47	4.00	67	3.20
08	1.60	28	2.20	48	6.20	68	5.50
09	1.50	29	2.04	49	5.50	69	5.10
10	3.20	30	1.90	50	4.60	70	3.80
11	2.60	31	1.60	51	5.80	71	8.00
12	2.20	32	2.60	52	5.60	72	7.30
13	2.00	33	2.40	53	4.60	73	6.40
14	3.60	34	2.20	54	6.80	74	8.50
15	3.40	35	2.00	55	6.40	75	7.20
16	2.60	36	2.00	56	6.00	76	6.90
17	2.30	37	1.90	57	5.60	77	5.70
18	4.15	38	3.20	58	3.60	78	9.00
19	3.72	39	3.00	59	3.40	79	7.50
20	3.10	40	2.80	60	4.80	80	7.30

Tablo 3.8 incelendiğinde, X_{bt} 'nin 0.90 ile 9.00 m arasında değiştiği ve değerlerin aritmetik ortalamasının ise 3.94 m olduğu görülmektedir.

3.2.2. X_{bt} için Boyutlu Regresyon Analizleri

Barın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.8) kullanılarak, boyutlu regresyon analizleri yapılmıştır. Boyutlu regresyon analizleriyle, X_{bt} 'ye m , T , H_0 ve d_{50} 'nin etkisi de incelenmiştir. X_{bt} için Denklem 2.3 ve 2.4'de verilen fonksiyon türleri kullanılarak yapılan boyutlu regresyon analizleriyle, bağımsız değişken sayılarının azalması durumundaki determinasyon katsayıları hesaplanmış ve bu değerler dikkate alınarak, değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısı azalma oranına etkisi incelenmiş ve Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.9. X_{bt} için bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı

Bağımsız Değişken Durumu		Fonksiyon Türü			
		Çoklu Ekspansiyon Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon	
Bulunma	Bulunmama	Determinasyon Katsayısı (r^2)	r^2 'deki Azalma Oranı (%)	Determinasyon Katsayısı (r^2)	r^2 'deki Azalma Oranı (%)
m, T, H_0 , d_{50}	-	0.9405	-	0.9406	-
m, T, H_0	d_{50}	0.8945	4.89	0.9013	4.20
m, T, d_{50}	H_0	0.5570	40.78	0.4909	47.81
m, H_0 , d_{50}	T	0.9003	4.27	0.9341	0.69
T, H_0 , d_{50}	m	0.2253	76.04	0.2767	70.58
m, T	H_0 , d_{50}	0.5502	41.50	0.4877	48.15
m, H_0	T, d_{50}	0.8522	9.39	0.8948	4.87
m, d_{50}	T, H_0	0.5552	40.97	0.4909	47.81
T, H_0	m, d_{50}	0.1549	83.53	0.2163	77.00
T, d_{50}	m, H_0	0.0307	96.74	0.0173	98.16
H_0 , d_{50}	m, T	0.2094	77.74	0.2731	70.97
m	T, H_0 , d_{50}	0.5476	41.78	0.4877	48.15
T	m, H_0 , d_{50}	0.0014	99.85	0.0000	-
H_0	m, T, d_{50}	0.1398	85.15	0.2127	77.39
d_{50}	m, T, H_0	0.0297	96.84	0.0173	98.16

Tablo 3.9 incelendiğinde, değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısını azalttığı, her iki fonksiyon türünün birbirine yakın sonuçlar verdiği, olaya dalga periyodunun oldukça az etkideği görülmüştür. Bunun yanı sıra, her iki tür fonksiyon için de, bulunmamaları halinde determinasyon katsayısında en fazla azalmaya yol açan, dolayısıyla en etkin olan parametreler, sırasıyla taban eğimi ve dalga yüksekliğidir.

En büyük determinasyon katsayılarını veren bağımsız değişkenler durumundaki her iki tür için regresyon katsayıları ve çoklu hiperbolik fonksiyon için her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkiye oranları, Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10'da, çoklu hiperbolik fonksiyon için verilen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni etkiye oranları incelendiğinde, taban eğiminin, barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığına, %45.7 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Dalga yüksekliği ise %38.74 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, X_{bt} değerini %84.44 gibi bir değerle temsil ettiği anlaşılmaktadır. Bu durum, Tablo 3.9'la da uyumludur. X_{bt} değerinin büyüklüğüne, tane çapının %11.13 ve dalga periyodunun ise %4.43 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 3.10. X_{bt} için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları

Çoklu Ekspansiyel Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon		
$X_{bt} = c + \exp(b_0 + b_1.m + b_2.T + b_3.H_0 + b_4.d_{50})$		$X_{bt} = b_0.m^{b_1}.T^{b_2}.H_0^{b_3}.d_{50}^{b_4}$		
$r^2=0.9405$		$r^2=0.9406$		
Katsayılar	Değerler	Katsayılar	Değerler	Etki Oranı %
c	-1.9728			
b_0	1.9311	b_0	0.0140	
b_1	-13.127	b_1	-1.4077	45.70
b_2	0.2706	b_2	0.3053	4.43
b_3	3.4662	b_3	1.0039	38.74
b_4	-1008.5	b_4	-0.4176	11.13

Tablo 3.10'daki değerlere göre, barın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bt}) için, boyutlu ekspansiyel ve hiperbolik fonksiyonlardan elde edilen denklemler aşağıda verilmiştir:

$$X_{bt} = -1,9728 + \exp(1,9311 - 13,127.m + 0,2706.T + 3,4662.H_0 - 1008,5.d_{50}) \quad (3.5)$$

$$X_{bt} = 0,014.m^{-1,4077}.T^{0,3053}.H_0^{1,0039}.d_{50}^{-0,4176} \quad (3.6)$$

3.2.3. X_{bt} için Boyutsuz Regresyon Analizleri

Barın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları kullanılarak, boyutsuz regresyon analizleri yapılmıştır. Boyutsuz regresyon analizlerinde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişkenler için X_{bt}/L_0 , X_{bt}/H_0 ve X_{bt}/d_{50} 'dir. X_{bt} için Denklem 2.3 ve 2.4'de verilen fonksiyon türleri kullanılarak yapılan boyutsuz regresyon analizlerinde, boyutsuz bağımlı ve bağımsız değişken alternatifleri için determinasyon katsayıları hesaplanmış ve Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11 incelendiğinde, en büyük determinasyon katsayılarını, ekspansiyel fonksiyonda, bağımlı değişkenin X_{bt}/H_0 , bağımsız değişkenlerin ise m , H_0/L_0 ve H_0/d_{50} olduğu durumun, hiperbolik fonksiyonda ise bağımlı değişkenin X_{bt}/L_0 , bağımsız değişkenlerin ise m , H_0/L_0 ve H_0/wT olduğu durumun verdiği görülmektedir.

Tablo 3.11. X_{bt} için boyutsuz değişken alternatiflerinden elde edilen determinasyon katsayıları

Boyutsuz Değişken Durumu		Çoklu Ekspansiyon Fonksiyon İçin r^2	Çoklu Hiperbolik Fonksiyon İçin r^2
Bağımlı	Bağımsız		
X_{bt}/L_0	m, H_0/L_0 , H_0/wT	0.9380	0.9528
	m, H_0/L_0 , H_0/d_{50}	0.9349	0.9481
	m, H_0/d_{50} , H_0/wT	0.7425	0.8010
X_{bt}/H_0	m, H_0/L_0 , H_0/wT	0.9555	0.9286
	m, H_0/L_0 , H_0/d_{50}	0.9557	0.9217
	m, H_0/d_{50} , H_0/wT	0.8804	0.8815
X_{bt}/d_{50}	m, H_0/L_0 , H_0/wT	0.8360	0.9121
	m, H_0/L_0 , H_0/d_{50}	0.9183	0.9514
	m, H_0/d_{50} , H_0/wT	0.8814	0.9265

Tablo 3.11'deki en iyi sonucu veren durumların dikkate alındığı şarttaki, bağımsız değişken sayısı azalmasının, determinasyon katsayısı azalma oranına etkisi incelenmiş ve Tablo 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.12. X_{bt} için boyutsuz bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı

Çoklu Ekspansiyon Fonksiyon					Çoklu Hiperbolik Fonksiyon				
Boyutsuz Değişken Durumu			(r^2)	r^2 Azal. Oranı (%)	Boyutsuz Değişken Durumu			(r^2)	r^2 Azal. Oranı (%)
Bağımlı	Bağımsız				Bağımlı	Bağımsız			
	Bulunma	Bulunmama				Bulunma	Bulunmama		
X_{bt}/H_0	$m, H_0/L_0,$ H_0/d_{50}	-	0.9557	-	X_{bt}/L_0	$m,$ $H_0/L_0,$ H_0/wT	-	0.9528	-
	$m,$ H_0/L_0	H_0/d_{50}	0.9194	3.80		$m,$ H_0/L_0	H_0/wT	0.9219	3.24
	$m, H_0/d_{50}$	H_0/L_0	0.8747	8.48		$m,$ H_0/wT	H_0/L_0	0.7975	16.30
	$H_0/L_0,$ H_0/d_{50}	m	0.1193	87.52		$H_0/L_0,$ H_0/wT	m	0.4189	56.03
	m	$H_0/L_0,$ H_0/d_{50}	0.8735	8.60		m	$H_0/L_0,$ H_0/wT	0.3781	60.32
	H_0/L_0	$m,$ H_0/d_{50}	0.1070	88.80		H_0/L_0	$m,$ H_0/wT	0.3823	59.88
	H_0/d_{50}	$m,$ H_0/L_0	0.0131	98.63		H_0/wT	$m,$ H_0/L_0	0.3314	65.22

Tablo 3.12 incelendiğinde, boyutsuz bağımsız değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısını azalttığı ve her iki fonksiyon türünün farklı bağımsız ve bağımlı değişkenlerle daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Buna göre, farklı bağımlı değişkenler durumunda ve her iki tür fonksiyon için de, bulunmaması halinde determinasyon katsayısında en fazla azalmaya yol açan (en etkin) parametreler sırasıyla, taban eğimi ve dalga dikliğidir. H_0/wT parametresi ise her iki fonksiyon için de az etkindir. Ekspansiyonel fonksiyon için, taban eğiminin oldukça etkin olduğu tablodan açık olarak anlaşılmaktadır.

Tablo 3.12’de en büyük determinasyon katsayılarını veren bağımlı ve bağımsız değişkenler durumundaki her iki tür için regresyon katsayıları ve hiperbolik fonksiyon için her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni etkime oranları Tablo 3.13’de verilmiştir.

Tablo 3.13. X_{bt} için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları

Çoklu Ekspansiyonel Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon		
$\frac{X_{bt}}{H_0} = c + \exp(b_0 + b_1.m + b_2.\frac{H_0}{L_0} + b_3.\frac{H_0}{d_{50}})$		$\frac{X_{bt}}{L_0} = b_0.m^{b_1} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{b_2} \left(\frac{H_0}{w.T}\right)^{b_3}$		
$r^2=0.9557$		$r^2=0.9528$		
Katsayılar	Değerler	Katsayılar	Değerler	Etki Oranı %
c	3.2898			
b_0	4.7781	b_0	0.1303	
b_1	-24.274	b_1	-1.4106	
b_2	-9.5035	b_2	0.6867	
b_3	0.0005	b_3	0.3158	16.08

Tablo 3.13’de, çoklu hiperbolik fonksiyon için verilen boyutsuz bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni etkime oranları incelendiğinde, taban eğiminin, barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığına, %47.51 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Dalga dikliği ise %36.41 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, X_{bt} değerini %83.92 gibi bir oranla temsil ettikleri görülmektedir. Bu durum, Tablo 3.16 ile de uyumludur (özellikle ekspansiyonel). X_{bt} değerinin büyüklüğüne, H_0/wT ’nin %16.08 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 3.13’teki değerlere göre, barın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bt}) için boyutsuz ekspansiyonel ve hiperbolik fonksiyonlardan elde edilen denklemler aşağıda verilmiştir:

$$\frac{X_{bt}}{H_0} = 3,2898 + \exp(4,7781 - 24,274.m - 9,5035 \cdot \frac{H_0}{L_0} + 0,0005 \cdot \frac{H_0}{d_{50}}) \quad (3.7)$$

$$\frac{X_{bt}}{L_0} = 0,1303.m^{-1,4106} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{0,6867} \left(\frac{H_0}{w.T} \right)^{0,3158} \quad (3.8)$$

3.2.4. YSA için Seçilen Deney Şartlarındaki X_{bt} Bulguları

X_{bt} için fiziksel modelden elde edilen tüm bulgular, Tablo 3.8’de verilmişti. Burada fiziksel model verileri üzerine kurulan regresyon analizlerinden elde edilen boyutlu ve boyutsuz denklemlerin, literatürdeki ilgili denklemlerin ve YSA’nın karşılaştırılmasında, YSA’nın test aşaması için seçilen deneyler kullanılmıştır. Deneylerden, regresyon analizleri sonucu elde edilen boyutlu 3.5 ve 3.6 nolu, boyutsuz 3.7 ve 3.8 nolu, literatürde verilen 1.6 ve 1.10 nolu denklemlerden ve YSA’dan elde edilen bulgular, Tablo 3.14’te verilmiştir. X_{bt} ’nin tüm deney alternatifleri için deney, boyutlu, boyutsuz ve literatürdeki denklemlerden elde edilen bulgular, Ek Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 3.14. X_{bt} için elde edilen bulgular

Durum No	Deney No	Deney (m)	Denk 3.5 (m)	Denk 3.6 (m)	Denk 3.7 (m)	Denk 3.8 (m)	Denk 1.6 (m)	Denk 1.10 (m)	Y S A (m)
1	05	1.10	0.9698	1.3029	1.4124	1.3027	2.6648	1.8630	1.0190
2	07	1.90	1.7181	2.0051	1.9720	1.9909	3.2061	2.5937	1.8524
3	10	3.20	2.6232	2.9249	2.7232	2.9259	3.6328	3.2576	2.9514
4	17	2.30	2.1121	2.4111	2.4239	2.4422	3.9286	3.7643	2.4846
5	23	4.00	3.6147	3.4116	3.0911	3.4064	4.5588	4.9761	4.1681
6	29	2.04	2.3336	2.2173	2.3291	2.2056	4.2849	2.6100	1.7523
7	39	3.00	2.9163	2.5452	2.8103	2.5314	4.1941	2.7983	2.7791
8	43	3.00	3.3521	3.2097	3.5656	3.2115	5.0461	3.9328	3.3383
9	48	6.20	5.9228	5.9514	6.0737	5.9593	6.1832	5.7738	5.4795
10	52	5.60	5.5581	5.2257	5.1735	5.2249	6.6226	6.5911	5.3217
11	54	6.80	8.0909	7.7708	7.8834	7.7782	7.1752	7.7075	6.8331
12	64	6.40	5.6862	4.9056	5.8056	4.8840	7.6417	4.8590	6.2897
13	66	3.20	4.3545	3.4377	3.1250	3.4535	5.4024	2.6348	3.2498
14	75	7.20	7.6633	9.4906	8.3603	10.432	10.963	10.136	7.2651
15	78	9.00	8.2887	9.3908	9.3946	9.4390	11.957	6.5219	8.2436

3.3. Barın Tepe Noktasının Sakin Su Seviyesine Düşey Uzaklığı (h_{bt})

Barın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemler, literatürdeki ilgili denklemler ve YSA bulguları aşağıdaki konu başlıklarıyla verilmiştir.

3.3.1. h_{bt} için Fiziksel Model Bulguları

İlgili parametre için yapılan fiziksel model bulguları, Tablo 3.15'te verilmiştir.

Tablo 3.15. h_{bt} için fiziksel model bulguları

Deney No	h_{bt} (m)	Deney No	h_{bt} (m)	Deney No	h_{bt} (m)	Deney No	h_{bt} (m)
01	0.0720	21	0.2100	41	0.1231	61	0.2735
02	0.0700	22	0.2050	42	0.1366	62	0.2790
03	0.1000	23	0.1850	43	0.1490	63	0.2815
04	0.0910	24	0.1800	44	0.1150	64	0.3085
05	0.0870	25	0.1310	45	0.1931	65	0.3255
06	0.1150	26	0.1170	46	0.2366	66	0.1060
07	0.1040	27	0.1110	47	0.1266	67	0.1290
08	0.1000	28	0.1350	48	0.2027	68	0.1277
09	0.0770	29	0.1275	49	0.2330	69	0.1630
10	0.1570	30	0.1180	50	0.2207	70	0.1480
11	0.1340	31	0.1150	51	0.2340	71	0.1983
12	0.1270	32	0.1530	52	0.2430	72	0.2135
13	0.1250	33	0.1410	53	0.1550	73	0.2077
14	0.1650	34	0.1400	54	0.2370	74	0.2278
15	0.1610	35	0.1240	55	0.2850	75	0.2570
16	0.1350	36	0.1120	56	0.2280	76	0.2210
17	0.1250	37	0.1090	57	0.1840	77	0.2200
18	0.1850	38	0.1200	58	0.2100	78	0.2410
19	0.1800	39	0.1190	59	0.2180	79	0.2465
20	0.1620	40	0.1150	60	0.2530	80	0.2490

Tablo 3.15 incelendiğinde h_{bt} 'nin 0.07 ile 0.3255 m arasında değiştiği ve değerlerin aritmetik ortalamasının ise 0.1706 m olduğu görülmektedir.

3.3.2. h_{bt} için Boyutlu Regresyon Analizleri

Barın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığını belirlemeye yönelik yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.15) kullanılarak, boyutlu regresyon analizleri yapılmıştır. Boyutlu regresyon analizleriyle, h_{bt} 'ye m , T , H_0 ve d_{50} 'nin etkisi de incelenmiştir.

h_{bt} için Denklem 2.3 ve 2.4'de verilen fonksiyon türleri kullanılarak yapılan boyutlu regresyon analizlerinde, bağımsız değişken sayılarının azalması durumundaki determinasyon katsayıları hesaplanmış ve bu değerler dikkate alınarak, değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısı azalma oranına etkisi incelenmiş ve Tablo 3.16'da verilmiştir.

Tablo 3.16. h_{bt} için bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı

Bağımsız Değişken Durumu		Fonksiyon Türü			
		Çoklu Ekspansiyon Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon	
Bulunma	Bulunmama	Determinasyon Katsayısı (r^2)	r^2 'deki Azalma Oranı (%)	Determinasyon Katsayısı (r^2)	r^2 'deki Azalma Oranı (%)
m, T, H_0, d_{50}	-	0.7835	-	0.7747	-
m, T, H_0	d_{50}	0.7620	2.74	0.7466	1.05
m, T, d_{50}	H_0	0.3242	58.62	0.2737	64.67
m, H_0, d_{50}	T	0.5809	25.86	0.6513	15.93
T, H_0, d_{50}	m	0.4099	47.68	0.4329	44.12
m, T	H_0, d_{50}	0.3242	58.62	0.2734	64.71
M, H_0	T, d_{50}	0.5555	29.10	0.6230	19.58
M, d_{50}	T, H_0	0.2335	70.20	0.2032	73.77
T, H_0	m, d_{50}	0.3673	53.12	0.3923	49.36
T, d_{50}	m, H_0	0.0944	87.95	0.0760	90.19
H_0, d_{50}	m, T	0.2465	68.54	0.3196	58.75
m	T, H_0, d_{50}	0.2321	70.38	0.2027	73.84
T	m, H_0, d_{50}	0.0853	89.11	0.0718	90.73
H_0	m, T, d_{50}	0.2061	73.69	0.2789	64.00
d_{50}	m, T, H_0	0.0087	98.89	0.0053	99.32

Tablo 3.16 incelendiğinde, değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısını azalttığı, her iki fonksiyon türünün birbirine yakın sonuçlar verdiği, olaya malzeme çapının oldukça az etkidiği görülmüştür. Bunun yanı sıra, her iki tür fonksiyon için de,

bulunmamaları halinde determinasyon katsayısında en fazla azalmaya yol açan, dolayısıyla en etkin olan parametreler, sırasıyla dalga yüksekliği ve taban eğimidir.

En büyük determinasyon katsayılarını veren bağımsız değişkenler durumundaki her iki tür için regresyon katsayıları ve çoklu hiperbolik fonksiyon için her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni etkimi oranları, Tablo 3.17’de verilmiştir.

Tablo 3.17. h_{bt} için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları

Çoklu Ekspansiyonel Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon		
$h_{bt} = c + \exp(b_0 + b_1.m + b_2.T + b_3.H_0 + b_4.d_{50})$		$h_{bt} = b_0.m^{b_1}.T^{b_2}.H_0^{b_3}.d_{50}^{b_4}$		
$r^2=0.7835$		$r^2=0.7747$		
Katsayılar	Değerler	Katsayılar	Değerler	Etki Oranı %
c	-0.0807			
b_0	-2.0030	b_0	0.0101	
b_1	-6.5930	b_1	-0.6489	32.03
b_2	0.4441	b_2	0.8542	18.85
b_3	2.8191	b_3	0.6807	39.94
b_4	-486.62	b_4	-0.2267	9.18

Tablo 3.17’de, çoklu hiperbolik fonksiyon için verilen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni etkiye oranları incelendiğinde, dalga yüksekliğinin, barın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığına, %39.94 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Taban eğimi ise %32.03 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, h_{bt} değerini, %71.97 gibi bir değerle temsil ettiği görülmektedir. Bu durum, Tablo 3.16 ile de uyumluluk göstermektedir. h_{bt} değerinin büyüklüğüne, dalga periyodunun %18.85 ve malzeme çapının ise %9.18 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 3.17’deki değerlere göre, barın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı (h_{bt}) için boyutlu çoklu ekspansiyonel ve hiperbolik fonksiyonlardan elde edilen denklemler aşağıda verilmiştir:

$$h_{bt} = -0,0807 + \exp(-2,003 - 6,593.m + 0,4441.T + 2,819.H_0 - 486,62.d_{50}) \quad (3.9)$$

$$h_{bt} = 0,0101.m^{-0,6489}.T^{0,8542}.H_0^{0,6807}.d_{50}^{-0,2267} \quad (3.10)$$

3.3.3. h_{bt} için Boyutsuz Regresyon Analizleri

Barın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları kullanılarak, boyutsuz regresyon analizleri yapılmıştır. Boyutsuz regresyon analizlerinde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişkenler için h_{bt}/L_0 , h_{bt}/H_0 ve h_{bt}/d_{50} 'dir.

h_{bt} için Denklem 2.3 ve 2.4'de verilen fonksiyon türleri kullanılarak yapılan boyutsuz regresyon analizlerinde, boyutsuz bağımlı ve bağımsız değişken alternatifleri için determinasyon katsayıları hesaplanmış ve Tablo 3.18'de verilmiştir.

Tablo 3.18. h_{bt} için boyutsuz değişken alternatiflerinden elde edilen determinasyon katsayıları

Boyutsuz Değişken Durumu		Çoklu Ekspansiyon Fonksiyon İçin r^2	Çoklu Hiperbolik Fonksiyon İçin r^2
Bağımlı	Bağımsız		
h_{bt}/L_0	$m, H_0/L_0, H_0/wT$	0.8417	0.8158
	$m, H_0/L_0, H_0/d_{50}$	0.8182	0.8159
	$m, H_0/d_{50}, H_0/wT$	0.5378	0.6089
h_{bt}/H_0	$m, H_0/L_0, H_0/wT$	0.7715	0.7825
	$m, H_0/L_0, H_0/d_{50}$	0.7735	0.7822
	$m, H_0/d_{50}, H_0/wT$	0.5943	0.5553
h_{bt}/d_{50}	$m, H_0/L_0, H_0/wT$	0.6810	0.7666
	$m, H_0/L_0, H_0/d_{50}$	0.8449	0.8646
	$m, H_0/d_{50}, H_0/wT$	0.7800	0.7235

Tablo 3.18'deki değerler incelendiğinde, her iki fonksiyon için de, en büyük determinasyon katsayılarını, bağımlı değişkenin h_{bt}/d_{50} , bağımsız değişkenlerin ise m , H_0/L_0 ve H_0/d_{50} olduğu durumun verdiği görülmektedir. Bu durumların dikkate alındığı şarttaki, bağımsız değişken sayısı azalmasının, determinasyon katsayısı azalma oranına etkisi incelenmiş ve Tablo 3.19'da verilmiştir.

Tablo 3.19. h_{bt} için boyutsuz bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı

Çoklu Ekspansiyel Fonksiyon					Çoklu Hiperbolik Fonksiyon				
Boyutsuz Değişken Durumu			(r ²)	r ² Azal. Oranı (%)	Boyutsuz Değişken Durumu			(r ²)	r ² Azal. Oranı (%)
Bağımlı	Bağımsız				Bağımlı	Bağımsız			
	Bulunma	Bulunmama				Bulunma	Bulunmama		
h _{bt} /d ₅₀	m, H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	-	0.8449	-	h _{bt} /d ₅₀	m, H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	-	0.8646	-
	m, H ₀ /L ₀	H ₀ /d ₅₀	0.1858	78.01		m, H ₀ /L ₀	H ₀ /d ₅₀	0.1904	77.98
	m, H ₀ /d ₅₀	H ₀ /L ₀	0.6948	17.77		m, H ₀ /d ₅₀	H ₀ /L ₀	0.6999	19.05
	H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	m	0.6243	26.11		H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	m	0.6505	24.76
	m	H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	0.1610	80.94		m	H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	0.1617	81.30
	H ₀ /L ₀	m, H ₀ /d ₅₀	0.0266	96.85		H ₀ /L ₀	m, H ₀ /d ₅₀	0.0059	99.32
	H ₀ /d ₅₀	m, H ₀ /L ₀	0.4405	47.86		H ₀ /d ₅₀	m, H ₀ /L ₀	0.4398	49,13

Tablo 3.19 incelendiğinde, boyutsuz bağımsız değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısını azalttığı ve her iki fonksiyon türünün birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Buna göre, her iki tür fonksiyon için de, bulunmaması halinde determinasyon katsayısında en fazla azalmaya yol açan (en etkin) parametreler sırasıyla, H_0/d_{50} ve taban eğimidir. H_0/L_0 ise az etkindir.

En büyük determinasyon katsayılarını veren bağımlı ve bağımsız değişkenler durumundaki her iki tür için regresyon katsayıları ve çoklu hiperbolik fonksiyon için her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkime oranları, Tablo 3.20’de verilmiştir.

Tablo 3.20’de, çoklu hiperbolik fonksiyon için verilen boyutsuz bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni etkime oranları incelendiğinde, H_0/d_{50} ’nin, barın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığına, %51.70 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Dalgı dikliği ise %25.70 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, h_{bt} değerini %77.39 gibi bir oranla temsil ettikleri görülmektedir. h_{bt} değerinin büyüklüğüne, taban eğiminin %22.61’lik bir değerle etki ettiği belirlenmiştir. Bu durum, Tablo 3.19 ile de uyumludur.

Tablo 3.20. h_{bt} için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen fonksiyon katsayıları

Çoklu Ekspansiyel Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon		
$\frac{h_{bt}}{d_{50}} = b_0 + \exp(b_1 + b_2.m + b_3.\frac{H_0}{L_0} + b_4.\frac{H_0}{d_{50}})$		$\frac{h_{bt}}{d_{50}} = b_0.m^{b_1} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{b_2} \left(\frac{H_0}{d_{50}}\right)^{b_3}$		
$r^2=0.8449$		$r^2=0.8646$		
Katsayılar	Değerler	Katsayılar	Değerler	Etki Oranı %
c	-2349.8			
b_0	8.0466	b_0	0.0116	
b_1	-2.1216	b_1	-0.6592	22.61
b_2	-2.0659	b_2	-0.4758	25.69
b_3	0.0003	b_3	1.1801	51.70

Tablo 3.20'deki değerlere göre, barın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı (h_{bt}) için boyutsuz ekspansiyel ve hiperbolik fonksiyonlardan elde edilen denklemler aşağıda verilmiştir:

$$\frac{h_{bt}}{d_{50}} = -2349,8 + \exp(8,0466 - 2,1216.m - 2,0659.\frac{H_0}{L_0} + 0,0003.\frac{H_0}{d_{50}}) \quad (3.11)$$

$$\frac{h_{bt}}{d_{50}} = 0,0116.m^{-0,6592} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-0,4758} \left(\frac{H_0}{d_{50}}\right)^{1,1801} \quad (3.12)$$

3.3.4. YSA için Seçilen Deney Şartlarındaki h_{bt} Bulguları

h_{bt} için fiziksel modelden elde edilen tüm bulgular Tablo 3.15'de verilmiştir. Burada fiziksel model verileri üzerine kurulan regresyon analizlerinden elde edilen boyutlu ve boyutsuz denklemlerin, literatürdeki ilgili denklemlerin ve YSA'nın karşılaştırılmasında, YSA'nın test aşaması için seçilen deneyler kullanılmıştır. Deneylerden, regresyon analizleri sonucu elde edilen boyutlu 3.9 ve 3.10 nolu, boyutsuz 3.11 ve 3.12 nolu, literatürde verilen 1.7 ve 1.11 nolu denklemlerden ve YSA'dan elde edilen bulgular, Tablo 3.21'de verilmiştir. h_{bt} 'nin tüm deney alternatifleri için deney, boyutlu, boyutsuz ve literatürdeki denklemlerden elde edilen bulgular, Ek Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 3.21. h_{bt} için elde edilen bulgular

Durum No	Deney No	Deney (m)	Denk 3.9 (m)	Denk 3.10 (m)	Denk 3.11 (m)	Denk 3.12 (m)	Denk 1.7 (m)	Denk 1.11 (m)	Y S A (m)
1	05	0.0870	0.0765	0.0878	0.0862	0.0866	0.1033	0.0818	0.0881
2	07	0.1040	0.1039	0.1160	0.1043	0.1140	0.1298	0.1104	0.1069
3	10	0.1570	0.1342	0.1468	0.1375	0.1426	0.1522	0.1363	0.1455
4	17	0.1250	0.1294	0.1347	0.1009	0.1363	0.1687	0.1561	0.1314
5	23	0.1850	0.1841	0.1686	0.1334	0.1701	0.2074	0.2035	0.2163
6	29	0.1275	0.1571	0.1538	0.1394	0.1561	0.1603	0.1193	0.1210
7	39	0.1190	0.1219	0.1205	0.1384	0.1180	0.0981	0.0789	0.1211
8	43	0.1490	0.1416	0.1430	0.1614	0.1427	0.1235	0.1085	0.1466
9	48	0.2027	0.2106	0.2100	0.1977	0.2055	0.1610	0.1565	0.2245
10	52	0.2430	0.2139	0.1990	0.1887	0.2009	0.1769	0.1779	0.2409
11	54	0.2370	0.2741	0.2516	0.2448	0.2478	0.1984	0.2070	0.2663
12	64	0.3085	0.2509	0.2328	0.2216	0.2385	0.1765	0.1383	0.3002
13	66	0.1060	0.1374	0.1238	0.1298	0.1182	0.0627	0.0448	0.1027
14	75	0.2570	0.2422	0.2550	0.2362	0.2581	0.1521	0.1621	0.2270
15	78	0.2410	0.2865	0.3029	0.2175	0.3051	0.1423	0.1089	0.2319

H_{bt} 'nin tüm deney alternatifleri için deney, boyutlu, boyutsuz ve literatürdeki denklemlerden elde edilen bulgular eklerde verilmiştir.

3.4. Barın Son Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bs})

Barın son noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemler, literatürdeki ilgili denklem ve YSA bulguları aşağıdaki konu başlıklarıyla verilmiştir.

3.4.1. X_{bs} için Fiziksel Model Bulguları

İlgili parametre için yapılan fiziksel model bulguları, Tablo 3.22'de verilmiştir.

Tablo 3.22. X_{bs} için fiziksel model sonuçları

Deney No	X_{bs} (m)	Deney No	X_{bs} (m)	Deney No	X_{bs} (m)	Deney No	X_{bs} (m)
01	3.80	21	8.20	41	7.60	61	10.0
02	3.65	22	8.00	42	7.50	62	9.80
03	5.00	23	7.80	43	7.20	63	10.2
04	4.80	24	7.60	44	6.20	64	10.0
05	4.70	25	5.80	45	8.00	65	9.80
06	6.10	26	5.60	46	7.85	66	6.60
07	6.00	27	5.40	47	7.60	67	6.30
08	5.80	28	6.20	48	8.80	68	9.80
09	5.60	29	6.00	49	8.60	69	8.50
10	6.60	30	5.90	50	8.50	70	7.20
11	6.40	31	5.80	51	10.4	71	10.0
12	6.20	32	6.80	52	10.0	72	8.70
13	6.00	33	6.70	53	8.40	73	7.60
14	6.80	34	6.60	54	11.4	74	12.3
15	6.50	35	6.40	55	11.0	75	11.4
16	6.40	36	5.10	56	10.6	76	13.4
17	6.30	37	5.00	57	9.40	77	13.3
18	7.40	38	7.00	58	10.0	78	13.6
19	7.20	39	6.80	59	9.60	79	13.0
20	7.10	40	6.60	60	10.2	80	11.3

Tablo 3.22 incelendiğinde X_{bs} 'nin 3.65 ile 13.6 m arasında değiştiği ve değerlerin aritmetik ortalamasının ise 7.866 m olduğu görülmektedir.

3.4.2. X_{bs} için Boyutlu Regresyon Analizleri

Barın son noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik yapılan fiziksel model çalışma verileri (Tablo 3.22) kullanılarak, boyutlu regresyon analizleri yapılmıştır. Boyutlu regresyon analizleriyle, X_{bs} 'ye m , T , H_0 ve d_{50} 'nin etkisi de incelenmiştir. X_{bs} için Denklem 2.3 ve 2.4'te verilen fonksiyon türleri kullanılarak yapılan boyutlu regresyon analizleriyle, bağımsız değişken sayılarının azalması durumundaki determinasyon katsayıları hesaplanmış ve bu değerler dikkate alınarak, değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısı azalma oranına etkisi incelenmiş ve Tablo 3.23'te verilmiştir.

Tablo 3.23. X_{bs} için bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı

Bağımsız Değişken Durumu		Fonksiyon Türü			
		Çoklu Ekspansiyon Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon	
Bulunma	Bulunmama	Determinasyon Katsayısı (r^2)	r^2 'deki Azalma Oranı (%)	Determinasyon Katsayısı (r^2)	r^2 'deki Azalma Oranı (%)
m, T, H_0 , d_{50}	-	0.9081	-	0.8979	-
m, T, H_0	d_{50}	0.8854	2.50	0.8807	2.03
m, T, d_{50}	H_0	0.5832	35.78	0.4882	45.69
m, H_0 , d_{50}	T	0.7289	19.73	0.8022	10.76
T, H_0 , d_{50}	m	0.2519	72.26	0.2960	67.07
m, T	H_0 , d_{50}	0.5822	35.89	0.4882	45.69
m, H_0	T, d_{50}	0.7036	22.52	0.7848	12.69
m, d_{50}	T, H_0	0.4764	47.54	0.4345	51.66
T, H_0	m, d_{50}	0.2141	23.58	0.2649	70.53
T, d_{50}	m, H_0	0.0947	89.58	0.0593	93.40
H_0 , d_{50}	m, T	0.1357	85.06	0.2120	76.42
m	T, H_0 , d_{50}	0.4753	47.66	0.4345	51.66
T	m, H_0 , d_{50}	0.0681	92.50	0.0550	93.88
H_0	m, T, d_{50}	0.0997	89.02	0.1808	79.89
d_{50}	m, T, H_0	0.0129	98.58	0.0053	99.41

Tablo 3.23 incelendiğinde, değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısını azalttığı, her iki fonksiyon türünün birbirine yakın sonuçlar verdiği, olaya medyan çapının oldukça az etkideği görülmüştür. Bunun yanı sıra, her iki tür fonksiyon için de, bulunmamaları halinde determinasyon katsayısında en fazla azalmaya yol açan, dolayısıyla en etkin olan parametreler, sırasıyla taban eğimi ve dalga yüksekliğidir.

En büyük determinasyon katsayılarını veren bağımsız değişkenler durumundaki her iki tür için fonksiyon katsayıları ve çoklu hiperbolik fonksiyon için her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkiye oranları, Tablo 3.24'te verilmiştir.

Tablo 3.24'te, çoklu hiperbolik fonksiyon için verilen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni etkiye oranları incelendiğinde, taban eğiminin, barın son noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığına, %41.50 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Dalga yüksekliği ise %35.26 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, X_{bs} değerini %76.76 gibi bir değerle temsil ettiği görülmektedir. Bu durum, Tablo 3.9'la da uyumludur. X_{bs} değerinin büyüklüğüne, dalga periyodunun %16.22 ve tane çapının ise % 7.03 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 3.24. X_{bs} için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen fonksiyon katsayıları

Çoklu Ekspansiyel Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon		
$X_{bs} = c + \exp(b_0 + b_1.m + b_2.T + b_3.H_0 + b_4.d_{50})$		$X_{bs} = b_0.m^{b_1}.T^{b_2}.H_0^{b_3}.d_{50}^{b_4}$		
$r^2=0.9081$		$r^2=0.8979$		
Katsayılar	Değerler	Katsayılar	Değerler	Etki Oranı %
c	2.6427	b_0	0.7151	41.50
b_0	1.1188			
b_1	-15.982	b_1	-0.6804	16.22
b_2	0.6919	b_2	0.5947	35.26
b_3	4.3465	b_3	0.4864	7.03
b_4	-893.79	b_4	-0.1404	

Tablo 3.24'teki değerlere göre, barın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bs}) için, boyutlu ekspansiyel ve hiperbolik fonksiyonlardan elde edilen denklemler aşağıda verilmiştir:

$$X_{bs} = 2,6427 + \exp(1,1188 - 15,982.m + 0,6919.T + 4,3465.H_0 - 893,79.d_{50}) \quad (3.13)$$

$$X_{bs} = 0,7151.m^{-0,6804}.T^{0,5947}.H_0^{0,4864}.d_{50}^{-0,1404} \quad (3.14)$$

3.4.3. X_{bs} için Boyutsuz Regresyon Analizleri

Barın son noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları kullanılarak, boyutsuz regresyon analizleri yapılmıştır. Boyutsuz regresyon analizlerinde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişkenler için X_{bs}/L_0 , X_{bs}/H_0 ve X_{bs}/d_{50} 'dir. X_{bs} için Denklem 2.3 ve 2.4'te verilen fonksiyon türleri kullanılarak yapılan boyutsuz regresyon analizlerinde, boyutsuz bağımlı ve bağımsız değişken alternatifleri için determinasyon katsayıları hesaplanmış ve Tablo 3.25'te verilmiştir.

Tablo 3.25 incelendiğinde, en büyük determinasyon katsayılarını, ekspansiyel fonksiyonda, bağımlı değişkenin X_{bs}/L_0 , bağımsız değişkenlerin ise m , H_0/L_0 ve H_0/wT olduğu durumun, hiperbolik fonksiyonda ise bağımlı değişkenin X_{bs}/d_{50} , bağımsız değişkenlerin ise m , H_0/L_0 ve H_0/d_{50} olduğu durumun verdiği görülmektedir.

Tablo 3.25. X_{bs} için boyutsuz değişken alternatiflerinden elde edilen determinasyon katsayıları

Boyutsuz Değişken Durumu		Çoklu Ekspansiyel Fonksiyon İçin r^2	Çoklu Hiperbolik Fonksiyon İçin r^2
Bağımlı	Bağımsız		
X_{bs}/L_0	m, H_0/L_0 , H_0/wT	0.9242	0.9098
	m, H_0/L_0 , H_0/d_{50}	0.9187	0.9047
	m, H_0/d_{50} , H_0/wT	0.6207	0.7046
X_{bs}/H_0	m, H_0/L_0 , H_0/wT	0.9120	0.9175
	m, H_0/L_0 , H_0/d_{50}	0.9100	0.9129
	m, H_0/d_{50} , H_0/wT	0.6521	0.6961
X_{bs}/d_{50}	m, H_0/L_0 , H_0/wT	0.7911	0.9129
	m, H_0/L_0 , H_0/d_{50}	0.8777	0.9258
	m, H_0/d_{50} , H_0/wT	0.7338	0.7413

Tablo 3.25'teki en iyi sonucu veren durumların dikkate alındığı şarttaki, bağımsız değişken sayısı azalmasının, determinasyon katsayısı azalma oranına etkisi incelenmiş ve Tablo 3.26'da verilmiştir.

Tablo 3.26. X_{bs} için boyutsuz bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı

Çoklu Ekspansiyel Fonksiyon					Çoklu Hiperbolik Fonksiyon				
Boyutsuz Değişken Durumu			(r ²)	r ² Azal. Oranı (%)	Boyutsuz Değişken Durumu			(r ²)	r ² Azal. Oranı (%)
Bağımlı	Bağımsız				Bağımlı	Bağımsız			
	Bulunma	Bulunmama				Bulunma	Bulunmama		
X _{bs} /L ₀	m, H ₀ /L ₀ , H ₀ /wT	-	0.9242	-	X _{bs} /d ₅₀	m, H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	-	0.9258	-
	m, H ₀ /L ₀	H ₀ /wT	0.9168	0.80		m, H ₀ /L ₀	H ₀ /d ₅₀	0.2910	68.58
	m, H ₀ /wT	H ₀ /L ₀	0.6160	33.35		m, H ₀ /d ₅₀	H ₀ /L ₀	0.7385	20.23
	H ₀ /L ₀ , H ₀ /wT	m	0.4905	46.93		H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	m	0.5994	35.26
	m	H ₀ /L ₀ , H ₀ /wT	0.2782	69.90		m	H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	0.2818	69.56
	H ₀ /L ₀	m, H ₀ /wT	0.4867	47.34		H ₀ /L ₀	m, H ₀ /d ₅₀	2.10 ⁻⁶	100.0
	H ₀ /wT	m, H ₀ /L ₀	0.2604	71.82		H ₀ /d ₅₀	m, H ₀ /L ₀	0.3512	62.07

Tablo 3.26 incelendiğinde, boyutsuz bağımsız değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısını azalttığı ve her iki fonksiyon türünün farklı bağımsız ve bağımlı değişkenlerle daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Buna göre, eksponansiyel fonksiyon için, X_{bs}/L_0 bağımlı değişken durumunda, bulunmaması halinde determinasyon katsayısında en fazla azalmaya yol açan parametreler sırasıyla, taban eğimi ve dalga dikliğidir. H_0/wT parametresi ise bu fonksiyon için oldukça az etkindir. Hiperbolik fonksiyon için, X_{bs}/d_{50} bağımlı değişken durumunda, H_0/d_{50} 'nin oldukça etkin olduğu, daha sonra taban eğimi ve dalga dikliğinin geldiği anlaşılmaktadır. Tablo 3.26'da en büyük determinasyon katsayılarını veren bağımlı ve bağımsız değişkenler durumundaki her iki tür için regresyon katsayıları ve çoklu hiperbolik fonksiyon için her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni etkime oranları, Tablo 3.27'de verilmiştir.

Tablo 3.27. X_{bs} için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları

Çoklu Eksponansiyel Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon		
$\frac{X_{bs}}{L_0} = c + \exp(b_0 + b_1.m + b_2.\frac{H_0}{L_0} + b_3.\frac{H_0}{w.T})$		$\frac{X_{bs}}{d_{50}} = b_0.m^{b_1} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{b_2} \left(\frac{H_0}{d_{50}}\right)^{b_3}$		
$r^2=0.9242$		$r^2=0.9556$		
Katsayılar	Değerler	Katsayılar	Değerler	Etki Oranı %
c	-1.2600			
b_0	1.2908	b_0	1.6901	26.48
b_1	-6.2334	b_1	-0.7115	
b_2	6.4089	b_2	-0.4433	
b_3	0.0115	b_3	1.0007	
				47.56

Tablo 3.27'de, çoklu hiperbolik fonksiyon için verilen boyutsuz bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni etkime oranları incelendiğinde, H_0/d_{50} 'nin, barın son noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığına, %47.56 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Taban eğimi ise %26.48 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, X_{bs} değerini %74.04 gibi bir oranla temsil ettikleri görülmektedir. X_{bs} değerinin büyüklüğüne, dalga dikliğinin %25.96 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir.

Tablo 3.27'deki değerlere göre, barın son noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bs}) için boyutsuz çoklu eksponansiyel ve hiperbolik fonksiyonlardan elde edilen denklemler aşağıda verilmiştir:

$$\frac{X_{bs}}{L_0} = -1,26 + \exp(1,2908 - 6,2334.m + 6,4089.\frac{H_0}{L_0} + 0,0115.\frac{H_0}{w.T}) \quad (3.15)$$

$$\frac{X_{bs}}{d_{50}} = 1,6901.m^{-0,7115} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-0,4433} \left(\frac{H_0}{d_{50}} \right)^{1,007} \quad (3.16)$$

3.4.4. YSA için Seçilen Deney Şartlarındaki X_{bs} Bulguları

X_{bs} için fiziksel modelden elde edilen tüm bulgular Tablo 3.22’de verilmişti. Burada fiziksel model verileri üzerine kurulan regresyon analizlerinden elde edilen boyutlu ve boyutsuz denklemlerin, literatürdeki ilgili denklemin ve YSA’nın karşılaştırılmasında, YSA’nın test aşaması için seçilen deneyler kullanılmıştır. Deneylerden, regresyon analizleri sonucu elde edilen boyutlu 3.13 ve 3.14 nolu, boyutsuz 3.15 ve 3.16 nolu, literatürde verilen 1.44 nolu denklemlerden ve YSA’dan elde edilen bulgular, Tablo 3.28’de verilmiştir. X_{bs} ’nin tüm deney alternatifleri için deney, boyutlu, boyutsuz ve literatürdeki denklemlerden elde edilen bulgular, Ek Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 3.28. X_{bs} için elde edilen bulgular

Durum No	Deney No	Deney (m)	Denk. 3.13 (m)	Denk. 3.14 (m)	Denk. 3.15 (m)	Denk. 3.16 (m)	Denk 1.44 (m)	Y S A (m)
1	05	4.70	4.7296	4.6178	4.0578	4.6305	2.1888	4.5857
2	07	6.00	5.3443	5.6070	4.9569	5.5872	2.8094	5.5969
3	10	6.60	6.0955	6.5809	6.0829	6.3525	3.2497	6.6240
4	17	6.30	5.8742	6.2968	6.2282	6.8349	3.5111	6.2437
5	23	7.80	7.3062	7.3617	7.9621	7.9499	3.8918	7.7114
6	29	6.00	6.6504	6.8211	6.9838	7.4836	3.2142	6.3441
7	39	6.80	6.4254	6.2898	6.0277	6.1871	3.2815	6.0521
8	43	7.20	6.9636	7.1426	6.9639	7.4406	4.2120	6.8176
9	48	8.80	9.3406	9.2785	9.3568	9.1684	5.2640	9.5813
10	52	10.0	9.3160	9.0452	9.5633	9.7828	5.5676	9.4208
11	54	11.4	11.722	10.559	11.726	10.650	5.8348	11.009
12	64	10.0	10.762	10.015	11.344	11.321	5.8204	10.206
13	66	6.60	7.6522	7.1060	6.7529	6.4700	3.3590	7.3667
14	75	11.4	11.618	12.067	11.267	13.136	8.7778	11.082
15	78	13.6	13.873	13.398	14.207	14.400	8.0356	13.061

3.5. Bar Hacmi (V_{bh})

Bar hacmini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemler, literatürdeki ilgili denklemler ve YSA bulguları aşağıdaki konu başlıklarıyla verilmiştir.

3.5.1. V_{bh} için Fiziksel Model Bulguları

İlgili parametre için yapılan fiziksel model bulguları Tablo 3.29'da verilmiştir.

Tablo 3.29. V_{bh} için fiziksel model sonuçları

Deney No	V_{bh} (m^3/m)	Deney No	V_{bh} (m^3/m)	Deney No	V_{bh} (m^3/m)	Deney No	V_{bh} (m^3/m)
01	0.0741	21	0.5637	41	0.1750	61	0.3010
02	0.0646	22	0.5275	42	0.1500	62	0.2937
03	0.1273	23	0.4696	43	0.1314	63	0.4552
04	0.1128	24	0.3773	44	0.1026	64	0.4146
05	0.0970	25	0.1912	45	0.2624	65	0.3726
06	0.1871	26	0.1750	46	0.2554	66	0.0921
07	0.1866	27	0.1513	47	0.2009	67	0.0855
08	0.1789	28	0.3019	48	0.3300	68	0.1516
09	0.1401	29	0.2382	49	0.3140	69	0.1327
10	0.3278	30	0.2314	50	0.2679	70	0.1238
11	0.3050	31	0.1154	51	0.3211	71	0.1739
12	0.2702	32	0.3500	52	0.2940	72	0.1407
13	0.1965	33	0.3300	53	0.2231	73	0.1180
14	0.3953	34	0.2800	54	0.4579	74	0.2139
15	0.3681	35	0.2000	55	0.4585	75	0.2068
16	0.3328	36	0.0823	56	0.4152	76	0.3053
17	0.2610	37	0.0738	57	0.2829	77	0.2447
18	0.4133	38	0.1362	58	0.2355	78	0.4270
19	0.3923	39	0.1253	59	0.2008	79	0.3506
20	0.3502	40	0.1173	60	0.4007	80	0.3333

Tablo 3.29 incelendiğinde V_{bh} 'nin 0.0646 ile 0.5637 m^3/m arasında değiştiği ve değerlerin aritmetik ortalamasının ise 0.2529 m^3/m olduğu görülmektedir.

3.5.2. V_{bh} için Boyutlu Regresyon Analizleri

Bar hacmini belirlemeye yönelik yapılan fiziksel model çalışmaları verileri (Tablo 3.29) kullanılarak, boyutlu regresyon analizleri yapılmıştır. Boyutlu regresyon analizleriyle, V_{bh} 'ye m , T , H_0 ve d_{50} 'nin etkisi de incelenmiştir.

V_{bh} için Denklem 2.3 ve 2.4'de verilen fonksiyon türleri kullanılarak yapılan boyutlu regresyon analizinde, bağımsız değişken sayılarının azalması durumundaki determinasyon katsayıları hesaplanmış ve bu değerler dikkate alınarak, değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısı azalma oranına etkisi incelenmiş ve Tablo 3.30'da verilmiştir.

Tablo 3.30. V_{bh} için bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı

Bağımsız Değişken Durumu		Fonksiyon Türü			
		Çoklu Ekspansiyonel Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon	
Bulunma	Bulunmama	Determinasyon Katsayısı (r^2)	r^2 'deki Azalma Oranı (%)	Determinasyon Katsayısı (r^2)	r^2 'deki Azalma Oranı (%)
m, T, H_0, d_{50}	-	0.8618	-	0.8609	-
m, T, H_0	d_{50}	0.7455	13.50	0.7829	9.06
m, T, d_{50}	H_0	0.0754	91.25	0.0847	90.16
m, H_0, d_{50}	T	0.7165	19.86	0.7452	13.44
T, H_0, d_{50}	m	0.8615	0.04	0.8596	0.15
m, T	H_0, d_{50}	0.0496	94.24	0.0760	91.17
m, H_0	T, d_{50}	0.6050	29.80	0.6668	22.55
m, d_{50}	T, H_0	0.0479	94.44	0.0306	96.45
T, H_0	m, d_{50}	0.7444	13.62	0.7801	9.32
T, d_{50}	m, H_0	0.0679	92.12	0.0611	92.90
H_0, d_{50}	m, T	0.7164	16.87	0.7744	10.05
m	T, H_0, d_{50}	0.0200	97.68	0.0206	97.61
T	m, H_0, d_{50}	0.0299	96.53	0.0551	93.60
H_0	m, T, d_{50}	0.6045	29.86	0.6648	22.78
d_{50}	m, T, H_0	0.0223	97.41	0.0071	99.18

Tablo 3.30 incelendiğinde, değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısını azalttığı, her iki fonksiyon türünün birbirine yakın sonuçlar verdiği, olaya taban eğiminin oldukça az etkidiği görülmüştür. Bunun yanı sıra, her iki tür fonksiyon için de,

bulunmamaları halinde determinasyon katsayısında en fazla azalmaya yol açan, dolayısıyla en etkin olan parametreler, sırasıyla dalga yüksekliği, periyodu ve tane çapıdır.

En büyük determinasyon katsayılarını veren bağımsız değişkenler durumundaki her iki tür için regresyon katsayıları ve çoklu hiperbolik fonksiyon için her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni etkime oranları, Tablo 3.31’de verilmiştir.

Tablo 3.31. V_{bh} için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları

Çoklu Ekspansiyel Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon		
$V_{bh} = c + \exp(b_0 + b_1.m + b_2.T + b_3.H_0 + b_4.d_{50})$		$V_{bh} = b_0.m^{b_1}.T^{b_2}.H_0^{b_3}.d_{50}^{b_4}$		
$r^2=0.8618$		$r^2=0.8609$		
Katsayılar	Değerler	Katsayılar	Değerler	Etki Oranı %
c	-0.1600			
b_0	-2.1003	b_0	0.0107	
b_1	-0.2414	b_1	-0.0589	2.36
b_2	0.4698	b_2	1.1907	21.40
b_3	4.3243	b_3	1.2196	58.28
b_4	-1286.4	b_4	-0.5443	17.96

Tablo 3.31’de, çoklu hiperbolik fonksiyon için verilen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni etkime oranları incelendiğinde, dalga yüksekliğini, bar hacmine, %58.28 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Dalga periyodu %21.40 ve tane çapı ise %17.96 oranında etki etmektedir. Bu üç değer toplamı dikkate alındığında, V_{bh} değerini %97.64 gibi bir değerle temsil ettiği görülmektedir. V_{bh} değerinin büyüklüğüne, taban eğiminin, % 2.36 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir. Bu durum, Tablo 3.30 ile de uyumluluk göstermektedir.

Tablo 31’deki değerlere göre, bar hacmi (V_{bh}) için boyutlu çoklu ekspansiyel ve hiperbolik fonksiyonlardan elde edilen denklemler aşağıda verilmiştir:

$$V_{bh} = -0,160 + \exp(-2,1003 - 0,2414.m + 0,4698.T + 4,3243.H_0 - 1286,4.d_{50}) \quad (3.17)$$

$$V_{bh} = 0,0107.m^{-0,0589}.T^{1,1907}.H_0^{1,2196}.d_{50}^{-0,5443} \quad (3.18)$$

3.5.3. V_{bh} için Boyutsuz Regresyon Analizleri

Bar hacmini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model çalışmaları kullanılarak, boyutsuz regresyon analizleri yapılmıştır. Boyutsuz regresyon analizlerinde kullanılan boyutsuz sayılar, bağımlı değişkenler için V_{bh}/L_0^2 , V_{bh}/H_0^2 ve V_{bh}/d_{50}^2 'dir.

V_{bh} için Denklem 2.3 ve 2.4'de verilen fonksiyon türleri kullanılarak yapılan boyutsuz regresyon analizlerinde, boyutsuz bağımlı ve bağımsız değişken alternatifleri için determinasyon katsayıları hesaplanmış ve Tablo 3.32'de verilmiştir.

Tablo 3.32. V_{bh} için boyutsuz değişken alternatiflerinden elde edilen determinasyon katsayıları

Boyutsuz Değişken Durumu		Çoklu Ekspansiyel Fonksiyon İçin r^2	Çoklu Hiperbolik Fonksiyon İçin r^2
Bağımlı	Bağımsız		
V_{bh}/L_0^2	m, H_0/L_0 , H_0/wT	0.9394	0.9051
	m, H_0/L_0 , H_0/d_{50}	0.8708	0.8860
	m, H_0/d_{50} , H_0/wT	0.5325	0.6719
V_{bh}/H_0^2	m, H_0/L_0 , H_0/wT	0.8981	0.8002
	m, H_0/L_0 , H_0/d_{50}	0.8783	0.7599
	m, H_0/d_{50} , H_0/wT	0.3310	0.2096
V_{bh}/d_{50}^2	m, H_0/L_0 , H_0/wT	0.8108	0.8774
	m, H_0/L_0 , H_0/d_{50}	0.9185	0.9113
	m, H_0/d_{50} , H_0/wT	0.7795	0.7080

Tablo 3.32'deki değerler incelendiğinde, en büyük determinasyon katsayılarını, çoklu ekspansiyel fonksiyonda, bağımlı değişkenin V_{bh}/L_0^2 , bağımsız değişkenlerin ise m, H_0/L_0 ve H_0/wT olduğu durumun, çoklu hiperbolik fonksiyonda ise bağımlı değişkenin V_{bh}/d_{50}^2 , bağımsız değişkenlerin ise m, H_0/L_0 ve H_0/d_{50} olduğu durumun verdiği görülmektedir. Bu durumların dikkate alındığı şarttaki, bağımsız değişken sayısı azalmasının, determinasyon katsayısı azalma oranına etkisi incelenmiş ve Tablo 3.33'te verilmiştir.

Tablo 3.33. V_{bh} için boyutsuz bağımsız değişkenlere göre determinasyon katsayısındaki azalma oranı

Çoklu Ekspansiyel Fonksiyon					Çoklu Hiperbolik Fonksiyon				
Boyutsuz Değişken Durumu			(r ²)	r ² Azal. Oranı (%)	Boyutsuz Değişken Durumu			(r ²)	r ² Azal. Oranı (%)
Bağımlı	Bağımsız				Bağımlı	Bağımsız			
	Bulunma	Bulunmama				Bulunma	Bulunmama		
V _{bh} /L ₀ ²	m, H ₀ /L ₀ , H ₀ /wT	-	0.9394	-	V _{bh} /d ₅₀ ²	m, H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	-	0.9113	-
	m, H ₀ /L ₀	H ₀ /wT	0.8988	4.32		m, H ₀ /L ₀	H ₀ /d ₅₀	0.0339	96.28
	m, H ₀ /wT	H ₀ /L ₀	0.6240	33.57		m, H ₀ /d ₅₀	H ₀ /L ₀	0.7047	22.67
	H ₀ /L ₀ , H ₀ /wT	m	0.9116	3.00		H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	m	0.9087	0.30
	m	H ₀ /L ₀ , H ₀ /wT	0.0450	95.21		m	H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	0.0004	99.96
	H ₀ /L ₀	m, H ₀ /wT	0.8824	6.07		H ₀ /L ₀	m, H ₀ /d ₅₀	0.0338	96.29
	H ₀ /wT	m, H ₀ /L ₀	0.6099	35.08		H ₀ /d ₅₀	m, H ₀ /L ₀	0.6944	23.80

Tablo 3.33 incelendiğinde, boyutsuz bağımsız değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısını azalttığı, her iki fonksiyon türünün farklı bağımsız ve bağımlı değişkenlerle daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Buna göre, ekspansiyel fonksiyon için, V_{bh}/L_0^2 bağımlı değişken durumunda, bulunmaması halinde determinasyon katsayısında en fazla azalmaya yol açan parametre dalga dikliğidir. H_0/wT ve taban eğimi parametreleri ise bu fonksiyon için oldukça az etkindir. Hiperbolik fonksiyon için, V_{bh}/d_{50}^2 bağımlı değişken durumunda, H_0/d_{50} 'nin oldukça etkin olduğu, dalga dikliğinin ise ikinci etkin değer olduğu görülmektedir. Hiperbolik fonksiyon için, taban eğiminin etkisi ihmal edilecek kadar küçüktür.

Tablo 3.33'te en büyük determinasyon katsayılarını veren bağımlı ve bağımsız değişkenler durumundaki her iki tür için regresyon katsayıları ve çoklu hiperbolik fonksiyon için her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni etkime oranları, Tablo 3.34'te verilmiştir.

Tablo 3.34. V_{bh} için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen regresyon katsayıları

Çoklu Eksponansiyel Fonksiyon		Çoklu Hiperbolik Fonksiyon		
$\frac{V_{bh}}{L_0^2} = c + \exp(b_0 + b_1.m + b_2 \cdot \frac{H_0}{L_0} + b_3 \cdot \frac{H_0}{w.T})$		$\frac{V_{bh}}{d_{50}^2} = b_0.m^{b_1} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{b_2} \left(\frac{H_0}{d_{50}} \right)^{b_3}$		
$r^2=0.9394$		$r^2=0.9113$		
Katsayılar	Değerler	Katsayılar	Değerler	Etki Oranı %
c	-0.0108			
b_0	-4.5803	b_0	0.0627	2.77
b_1	2.1717	b_1	-0.1223	
b_2	13.091	b_2	-0.8938	
b_3	0.0422	b_3	2.2587	
				65.35

Tablo 3.34’de, çoklu hiperbolik fonksiyon için verilen boyutsuz bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni etkiye oranları incelendiğinde, H_0/d_{50} oranının, bar hacmine, %65.35 gibi bir oranda etki ettiği görülmektedir. Dalga dikliği ise %31.88 oranıyla ikinci değerdir. Bu iki değer toplamı dikkate alındığında, V_{bh} değerini %97.23 gibi bir oranla temsil ettikleri görülmektedir. V_{bh} değerinin büyüklüğüne, taban eğimi, %2.77 gibi bir değerle etki ettiği belirlenmiştir. Bu durum, Tablo 3.13 ile de uyumludur.

Tablo 3.34’teki değerlere göre, bar hacmi (V_{bh}) için boyutsuz eksponansiyel ve hiperbolik fonksiyonlardan elde edilen denklemler aşağıda verilmiştir:

$$\frac{V_{bh}}{L_0^2} = -0,0108 + \exp(-4,5803 + 2,1717.m + 13,091 \cdot \frac{H_0}{L_0} + 0,0422 \cdot \frac{H_0}{w.T}) \quad (3.19)$$

$$\frac{V_{bh}}{d_{50}^2} = 0,0627.m^{-0,1223} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-0,8938} \left(\frac{H_0}{d_{50}} \right)^{2,2587} \quad (3.20)$$

3.5.4. YSA için Seçilen Deney Şartlarındaki V_{bh} Bulguları

V_{bh} için fiziksel modelden elde edilen tüm bulgular Tablo 3.29’da verilmiştir. Burada fiziksel model verileri üzerine kurulan regresyon analizlerinden elde edilen boyutlu ve boyutsuz denklemlerin, literatürdeki ilgili denklemlerin ve YSA’nın karşılaştırılmasında, YSA’nın test aşaması için seçilen deneyler kullanılmıştır. Deneylerden, regresyon

analizleri sonucu elde edilen boyutlu 3.17 ve 3.18 nolu, boyutsuz 3.19 ve 3.20 nolu, literatürde verilen 1.6 ve 1.10 nolu denklemlerden ve YSA'dan elde edilen bulgular, Tablo 3.35'te verilmiştir.

Tablo 3.35. V_{bh} için elde edilen bulgular

Durum No	Deney No	Deney (m)	Denk. 3.17 (m)	Denk. 3.18 (m)	Denk. 3.19 (m)	Denk. 3.20 (m)	Denk. 1.8 (m)	Denk 1.12 (m)	Y S A (m)
1	05	0.0970	0.0952	0.1080	0.1183	0.1011	0.0522	0.2117	0.1047
2	07	0.1866	0.1792	0.1839	0.1824	0.1687	0.1645	0.4097	0.2029
3	10	0.3278	0.2870	0.2950	0.2882	0.2516	0.5457	0.6403	0.3278
4	17	0.2610	0.2235	0.2265	0.2712	0.2477	0.1880	0.8468	0.2542
5	23	0.4696	0.4079	0.3477	0.4324	0.3741	0.4562	1.4409	0.4928
6	29	0.2382	0.2834	0.2723	0.3556	0.3041	0.1972	0.4097	0.2339
7	39	0.1253	0.1215	0.1259	0.1072	0.1130	0.0780	0.1412	0.1090
8	43	0.1314	0.1525	0.1655	0.1520	0.1667	0.1102	0.2733	0.1500
9	48	0.3300	0.3530	0.3582	0.3253	0.3199	0.7485	0.5647	0.3279
10	52	0.2940	0.3216	0.2991	0.3085	0.3233	0.3301	0.7217	0.3163
11	54	0.4579	0.5344	0.4953	0.5257	0.4598	1.3644	0.9609	0.4770
12	64	0.4146	0.3714	0.3661	0.3824	0.4333	0.3266	0.4269	0.4243
13	66	0.0921	0.0930	0.0791	0.0552	0.0607	0.0430	0.0270	0.1164
14	75	0.2068	0.2657	0.2654	0.2328	0.2912	0.2502	0.3386	0.1892
15	78	0.4270	0.3386	0.3511	0.3037	0.3741	0.3951	0.1639	0.4182

V_{bh} 'nin tüm deney alternatifleri için deney, boyutlu, boyutsuz ve literatürdeki denklemlerden elde edilen bulgular Ek Tablo 9'da verilmiştir.

4. İRDELEME

Bu bölümde, barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bb}), barın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bt}), barın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı (h_{bt}), barın son noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bs}) ve bar hacmi (V_{bh}) ile ilgili elde edilen bulguların irdelemesi sunulmaktadır.

Dalga yüksekliği, periyodu, taban eğimi ve tabandaki malzeme özelliklerinin incelenen bar parametrelerine etkisi, fiziksel model sonuçları dikkate alınarak ve irdelenmesi yapılarak sunulmuştur. Bunun yanı sıra, yapılan regresyon analizleriyle kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemlerden elde edilen bulgular da irdelenmiştir. Her bir bar parametresi için en uygun denklem belirlenmeye çalışılmış ve bu kapsamda, deney sonuçlarıyla denklemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İlgili bar parametreleri için YSA yönteminden ve konuyla ilgili literatürde verilen denklemlerden elde edilen bulgular, fiziksel model deney bulgularıyla karşılaştırılarak irdelenmiştir.

Her bir parametre için yukarıdaki irdelemeler sonucu elde edilen en iyi boyutlu, boyutsuz, literatür denklemleri ve YSA karşılaştırılarak genel bir irdeleme yapılmıştır.

İncelenen parametreler için fiziksel model sonuçları üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemlerin ve literatürde bulunan denklemlerin YSA sonuçlarıyla karşılaştırılmalarında paralellik olması adına, YSA test aşaması için ayrılan 15 adet deney şartıyla irdelemeler yapılmıştır. Bunu yanı sıra, ilgili parametreler için, regresyon analizleri sonucu kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemlerin, literatürde verilen denklemlerle ve tüm deney şartları için elde edilen deney sonuçlarıyla karşılaştırılması da yapılarak, aralarındaki rölatif hatalar hesaplanmış, rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmaları irdelenmiştir. Çalışmada i. rölatif hata hesaplanırken Denklem 4.1 kullanılmıştır.

$$e_i = \left[\frac{|(x_h - x_o)|}{x_o} \right] * 100 \quad (4.1)$$

Denklemde, x_o ve x_h sırasıyla, deneylerde ölçülen ve denklemlerden veya YSA'dan bulunan değerlerdir.

4.1. Barın Başlangıç Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bb})

Bu bölümde, barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model verileri ve bunlar üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemler, literatürdeki ilgili denklemler ve YSA bulguları irdelenerek sunulmaktadır.

X_{bb} için yapılan fiziksel model deney şartları Tablo 2.3'te, deney sonuçları ise Tablo 3.1'de daha önce verilmişti. Tablo 2.3 ve 3.1 irdelendiğinde, X_{bb} değerinin, taban eğiminin ve malzeme tane çapının artmasıyla azaldığı (kıyıya yaklaştığı), dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla ise arttığı (kıyıdan uzaklaştığı) belirlenmiştir.

Boyutlu regresyon analizleri sonucu elde edilen Denklem 3.1 ve 3.2, boyutsuz regresyon analizleri sonucu elde edilen Denklem 3.3 ve 3.4, literatürde verilen Denklem 1.5 ve 1.9 ve YSA'dan elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla karşılaştırması ve değerlendirilmesinde, YSA çalışmalarının test aşaması için seçilen deney şartlarının (15 adet) ve tüm deneylerin (80 adet) kullanılmasından elde edilen rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak Tablo 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.1. X_{bb} için rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları

X_{bb}					
Denklemler ve YSA		Tüm Deney Şartları		Seçilen Deney Şartları	
		Ortalama (%)	Standart Sapma	Ortalama (%)	Standart Sapma
Boyutlu	Denklem 3.1	9.5318	7.4180	10.179	10.150
	Denklem 3.2	10.815	7.6047	10.406	8.2071
Boyutsuz	Denklem 3.3	8.0289	6.2280	10.001	7.0075
	Denklem 3.4	10.944	7.6392	11.360	10.791
Literatür	Denklem 1.5	22.432	17.320	22.506	16.324
	Denklem 1.9	24.784	14.358	25.811	13.411
YSA	YSA	-	-	7.1313	5.2170

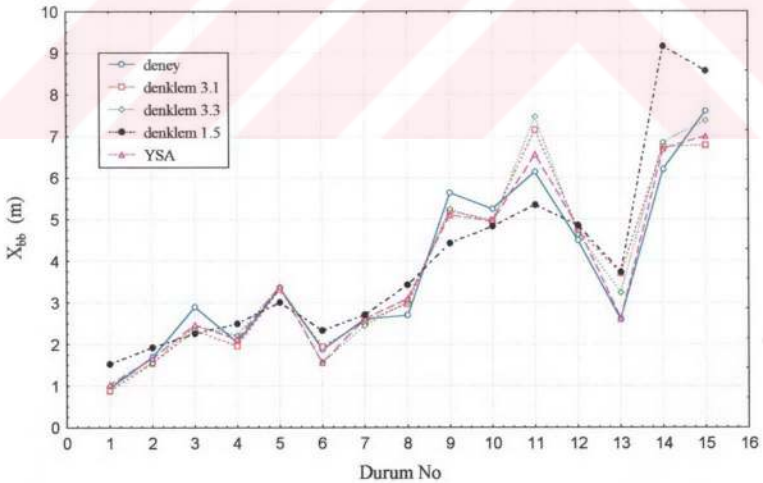
Tablo 4.1'de rölatif hataların ortalamasına göre boyutlu denklemler irdelendiğinde, Denklem 3.1'in Denklem 3.2'den, boyutsuz denklemler irdelendiğinde, Denklem 3.3'ün Denklem 3.4'ten, literatürdeki denklemler irdelendiğinde Denklem 1.5'in Denklem 1.9'dan hem tüm hem de seçilen deney şartları için daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Hem tüm hem de seçilen deney şartları için Denklem 3.1, 3.3, 1.5 ve YSA'nın rölatif hataları, ortalama ve standart sapmalarına göre karşılaştırıldığında, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır:

Tablo 4.1'de, seçilen deney şartları için rölatif hataların ortalamaları dikkate alınıp en iyi denklemler ve YSA değerlendirildiğinde, YSA'nın, literatürde verilen en iyi denklemden (Denklem 1.5) 3.16, en iyi boyutlu denklemden (Denklem 3.1) 1.43 ve en iyi boyutsuz denklemden (Denklem 3.3) ise 1.40 kat daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Bu durum Şekil 4.1'den de görülmektedir. Standart sapmalar açısından da benzer eğilim vardır.

Seçilen deney şartları için Denklem 3.1, 3.3, 1.5 ve YSA'nın deney sonuçlarıyla grafiksel incelemesi Tablo 3.7 verileri kullanılarak yapılmış ve Şekil 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1'de tüm deney şartları dikkate alınıp en iyi denklemler değerlendirildiğinde, en iyi sonucun rölatif hataların hem ortalama ve hem de standart sapmalarında boyutsuz denklemden (Denklem 3.3) elde edildiği görülmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, Denklem 3.3 boyutlu denklemden (Denklem 3.1) 1.19, literatürdeki en iyi denklemden (Denklem 1.5) ise 2.79 kat daha iyi sonuç vermektedir.



Şekil 4.1. X_{bb} için en iyi denklemlerin ve YSA'nın deney sonuçlarıyla karşılaştırılması

Tablo 4.1, tüm ve YSA test aşaması için seçilen deney şartları açısından değerlendirildiğinde, her iki durum için de sonuçların benzer eğilimde çıktığı ve YSA test aşaması için seçilen deney şartlarının uygun olduğu anlaşılmaktadır.

4.2. Barın Tepe Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bt})

Bu bölümde, barın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model verileri ve bunlar üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemler, literatürdeki ilgili denklemler ve YSA bulguları irdelenerek sunulmaktadır.

X_{bt} için yapılan fiziksel model deney şartları Tablo 2.3'te, deney sonuçları ise Tablo 3.8'de daha önce verilmiştir. Tablo 2.3 ve 3.8 irdelendiğinde, X_{bt} değerinin, taban eğiminin ve malzeme tane çapının artmasıyla azaldığı, dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla ise arttığı belirlenmiştir.

Boyutlu regresyon analizleri sonucu elde edilen Denklem 3.5 ve 3.6, boyutsuz regresyon analizleri sonucu elde edilen Denklem 3.7 ve 3.8, literatürde verilen Denklem 1.6 ve 1.10 ve YSA'dan elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla karşılaştırması ve değerlendirilmesinde, YSA çalışmalarının test aşaması için seçilen deney şartlarının ve tüm deneylerin kullanılmasından elde edilen rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak Tablo 4.2'de verilmektedir.

Tablo 4.2. X_{bt} için rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları

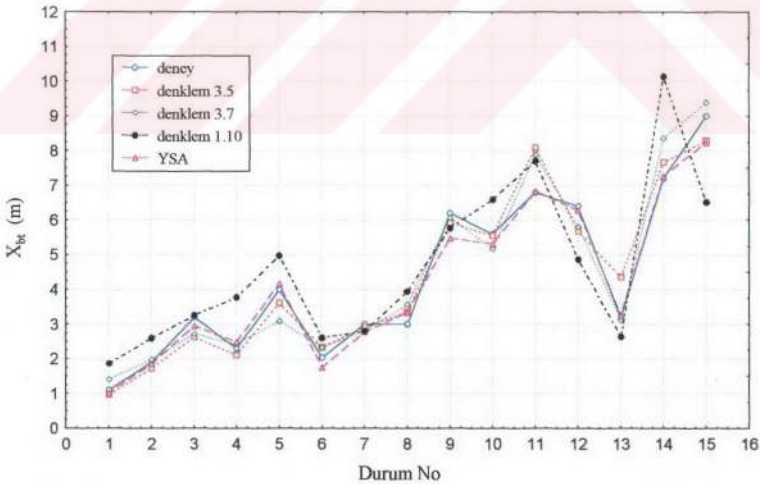
X_{bt}					
Denklemler ve YSA		Tüm Deney Şartları		Seçilen Deney Şartları	
		Ortalama (%)	Standart Sapma	Ortalama (%)	Standart Sapma
Boyutlu	Denklem 3.5	11.427	8.7658	11.462	8.4895
	Denklem 3.6	11.460	7.6693	11.657	8.0007
Boyutsuz	Denklem 3.7	11.482	8.4556	11.484	7.9853
	Denklem 3.8	11.606	7.7058	12.662	10.620
Literatür	Denklem 1.6	57.375	43.487	48.316	40.505
	Denklem 1.10	25.836	17.847	27.298	19.389
YSA	YSA	-	-	6.1517	4.2459

Tablo 4.2’de rölâtif hataların ortalamasına göre boyutlu denklemler irdelendiğinde, Denklem 3.5’in Denklem 3.6’dan, boyutsuz denklemler irdelendiğinde, Denklem 3.7’nin Denklem 3.8’den, literatürdeki denklemler irdelendiğinde Denklem 1.10’un Denklem 1.6’dan hem tüm hem de seçilen deney şartları için daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Hem tüm hem de seçilen deney şartları için Denklem 3.5, 3.7, 1.10 ve YSA’nın rölâtif hataları, ortalama ve standart sapmalarına göre karşılaştırıldığında, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır:

Tablo 4.2’de, seçilen deney şartları için rölâtif hataların ortalamaları dikkate alınıp en iyi denklemler ve YSA değerlendirildiğinde, YSA’nın, literatürde verilen en iyi denklemden (Denklem 1.10) yaklaşık olarak 4.44, denklemler arasında önemli bir fark olmamasına rağmen, en iyi boyutsuz denklemden (Denklem 3.7) 1.87 ve en iyi boyutlu denklemden (Denklem 3.5) ise 1.86 kat daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Bu durum Şekil 4.2’den de görülmektedir. Standart sapmalar açısından bakıldığında, YSA’nın tüm denklemlerden, Denklem 3.7’nin, Denklem 3.5’den daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

Seçilen deney şartları için Denklem 3.5, 3.7, 1.10 ve YSA’nın deney sonuçlarıyla grafiksel incelemesi Tablo 3.14 verileri kullanılarak yapılmış ve Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. X_{bt} için en iyi denklemlerin ve YSA’nın deney sonuçlarıyla karşılaştırılması

Tablo 4.1'de tüm deney şartları dikkate alınıp en iyi denklemler değerlendirildiğinde, önemli bir fark olmamasına rağmen, en iyi sonucun rölatif hataların ortalamasında boyutlu denklemden (Denklem 3.5), standart sapmalarda ise boyutsuz denklemden (Denklem 3.7)'den elde edildiği görülmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, Denklem 3.5 literatürdeki en iyi denklemden (Denklem 1.10) 2.26 kat daha iyi sonuç vermektedir.

Tablo 4.2, tüm ve YSA test aşaması için seçilen deney şartları açısından değerlendirildiğinde, her iki durum için de sonuçların benzer eğilimde çıktığı ve YSA test aşaması için seçilen deney şartlarının uygun olduğu anlaşılmaktadır.

4.3. Barın Tepe Noktasının Sakin Su Seviyesine Düşey Uzaklığı (h_{bt})

Bu bölümde, barın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model verileri ve bunlar üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemler, literatürdeki ilgili denklemler ve YSA bulguları irdelenerek sunulmaktadır.

h_{bt} için yapılan fiziksel model deney şartları Tablo 2.3'te, deney sonuçları ise Tablo 3.15'te daha önce verilmiştir. Tablo 2.3 ve 3.15 irdelendiğinde, h_{bt} değerinin, dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla arttığı, taban eğiminin (0.04 taban eğimi, 2.03 s dalga periyodu ve 16 cm dalga yükseklikleri hariç) artmasıyla ise azaldığı görülmektedir. Malzeme çapı değişimine göre, net bir değerlendirme yapmak mümkün değildir.

Boyutlu regresyon analizleri sonucu elde edilen Denklem 3.9 ve 3.10, boyutsuz regresyon analizleri sonucu elde edilen Denklem 3.11 ve 3.12, literatürde verilen Denklem 1.7 ve 1.11 ve YSA'dan elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla karşılaştırması ve değerlendirilmesinde, YSA çalışmalarının test aşaması için seçilen deney şartlarının ve tüm deneylerin kullanılmasından elde edilen rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak Tablo 4.3'te verilmektedir.

Tablo 4.3'te rölatif hataların ortalamasına göre boyutlu denklemler irdelendiğinde, Denklem 3.10'un Denklem 3.9'dan, boyutsuz denklemler irdelendiğinde, Denklem 3.12'nin Denklem 3.11'den, literatürdeki denklemler irdelendiğinde Denklem 1.11'in Denklem 1.7'den hem tüm hem de seçilen deney şartları için daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Tablo 4.3. h_{bt} için rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları

h_{bt}					
Denklemler ve YSA		Tüm Deney Şartları		Seçilen Deney Şartları	
		Ortalama (%)	Standart Sapma	Ortalama (%)	Standart Sapma
Boyutlu	Denklem 3.9	12.528	9.5097	11.053	8.9793
	Denklem 3.10	12.432	9.6883	10.480	8.5957
Boyutsuz	Denklem 3.11	15.439	10.332	12.754	9.4968
	Denklem 3.12	13.614	10.449	10.887	8.6821
Literatür	Denklem 1.7	30.994	22.653	25.574	12.171
	Denklem 1.11	27.345	20.657	25.287	18.240
YSA	YSA	-	-	5.8083	4.9124

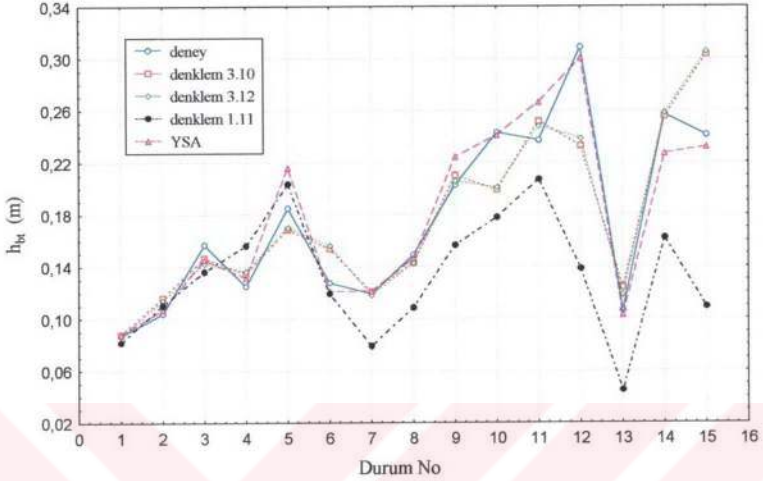
Hem tüm hem de seçilen deney şartları için Denklem 3.10, 3.12, 1.11 ve YSA'nın rölatif hataları, ortalama ve standart sapmalarına göre karşılaştırıldığında, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır:

Tablo 4.3'te, seçilen deney şartları için rölatif hataların ortalamaları dikkate alınıp en iyi denklemler ve YSA değerlendirildiğinde, YSA'nın, literatürde verilen en iyi denklem (Denklem 1.11) yaklaşık olarak 4.35, en iyi boyutsuz denklem (Denklem 3.12) 1.87 ve en iyi boyutlu denklem (Denklem 3.10) ise 1.80 kat daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Bu durum Şekil 4.3'ten de görülmektedir. Standart sapmalar açısından bakıldığında da benzer eğilim vardır.

Seçilen deney şartları için Denklem 3.10, 3.12, 1.11 ve YSA'nın deney sonuçlarıyla grafiksel incelemesi Tablo 3.21 verileri kullanılarak yapılmış ve Şekil 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3'te tüm deney şartları dikkate alınıp en iyi denklemler değerlendirildiğinde, en iyi sonucun rölatif hataların hem ortalama ve hem de standart sapmalarında boyutlu denklem (Denklem 3.10) elde edildiği görülmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, Denklem 3.10 boyutsuz denklem (Denklem 3.12) 1.10, literatürdeki en iyi denklem (Denklem 1.11) ise 2.20 kat daha iyi sonuç vermektedir.

Tablo 4.3, tüm ve YSA test aşaması için seçilen deney şartları açısından değerlendirildiğinde, her iki durum için de sonuçların benzer eğilimde çıktığı ve YSA test aşaması için seçilen deney şartlarının uygun olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.3. h_{bk} için en iyi denklemlerin ve YSA'nın deney sonuçlarıyla karşılaştırılması

4.4. Barın Son Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bs})

Bu bölümde, barın son noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığını belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model verileri ve bunlar üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemler, literatürdeki ilgili denklem ve YSA bulguları irdelenerek sunulmaktadır.

X_{bs} için yapılan fiziksel model deney şartları Tablo 2.3'te, deney sonuçları ise Tablo 3.22'de daha önce verilmiştir. Tablo 2.3 ve 3.22 irdendiğinde, X_{bs} değerinin, taban eğiminin ve malzeme tane çapının artmasıyla azaldığı, dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla ise arttığı belirlenmiştir.

Boyutlu regresyon analizleri sonucu elde edilen Denklem 3.13 ve 3.14, boyutsuz regresyon analizleri sonucu elde edilen Denklem 3.15 ve 3.16, literatürde verilen Denklem 1.44 ve YSA'dan elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla karşılaştırması ve değerlendirilmesinde, YSA çalışmalarının test aşaması için seçilen deney şartlarının ve tüm deneylerin kullanılmasından elde edilen rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak Tablo 4.4'te verilmektedir.

Tablo 4.4. X_{bs} için rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları

		X_{bs}			
Denklemler ve YSA		Tüm Deney Şartları		Seçilen Deney Şartları	
		Ortalama (%)	Standart Sapma	Ortalama (%)	Standart Sapma
Boyutlu	Denklem 3.13	7.3742	5.1956	6.3478	4.0592
	Denklem 3.14	6.7657	6.3820	4.9180	4.0494
Boyutsuz	Denklem 3.15	8.2401	5.7731	7.2049	5.7350
	Denklem 3.16	9.8036	8.8409	7.2550	6.3466
Literatür	Denklem 1.44	45.6466	10.1706	45.3038	7.6629
YSA	YSA	-	-	4.8076	3.5401

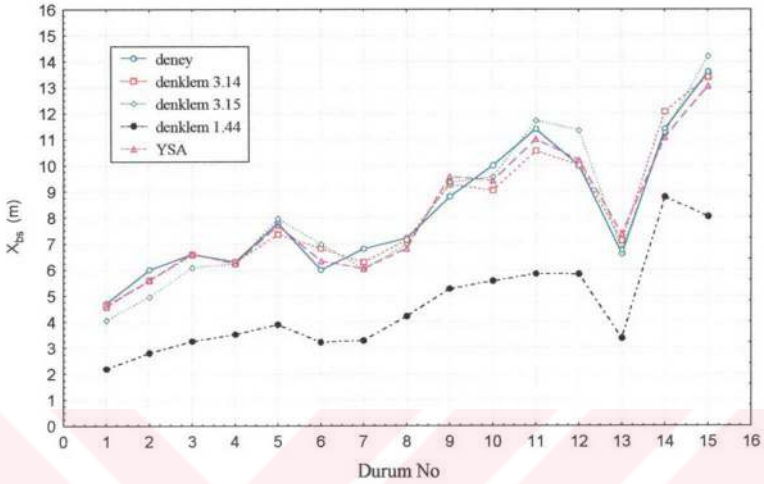
Tablo 4.4'te rölatif hataların ortalamasına göre boyutlu denklemler irdelendiğinde, Denklem 3.14'ün Denklem 3.13'ten, boyutsuz denklemler irdelendiğinde, Denklem 3.15'in Denklem 3.16'dan, hem tüm hem de seçilen deney şartları için daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Hem tüm hem de seçilen deney şartları için Denklem 3.14, 3.15, 1.44 ve YSA'nın rölatif hataları, ortalama ve standart sapmalarına göre karşılaştırıldığında, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır:

Tablo 4.4'te, seçilen deney şartları için rölatif hataların ortalamaları dikkate alınıp en iyi denklemler ve YSA değerlendirildiğinde, YSA'nın, literatürde verilen en iyi denklemden (Denklem 1.44) yaklaşık olarak 9.42, en iyi boyutsuz denklemden (Denklem 3.15) 1.50 ve en iyi boyutlu denklemden (Denklem 3.14) ise 1.02 kat daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Bu durum Şekil 4.4'ten de görülmektedir. Standart sapmalar açısından bakıldığında da benzer eğilim vardır.

Seçilen deney şartları için Denklem 3.14, 3.15, 1.44 ve YSA'nın deney sonuçlarıyla grafiksel incelemesi Tablo 3.28 verileri kullanılarak yapılmış ve Şekil 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4'te tüm deney şartları dikkate alınıp en iyi denklemler değerlendirildiğinde, en iyi sonucun rölatif hataların ortalamasında boyutlu denklemden (Denklem 3.14), standart sapmalarda ise boyutsuz denklemden (Denklem 3.15)'ten elde edildiği görülmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, Denklem 3.14 boyutsuz denklemden (Denklem 3.15) 1.22, literatürdeki en iyi denklemden (Denklem 1.44) ise 6.75 kat daha iyi sonuç vermektedir.



Şekil 4.4. X_{bs} için en iyi denklemlerin ve YSA'nın deney sonuçlarıyla karşılaştırılması

Tablo 4.4, tüm ve YSA test aşaması için seçilen deney şartları açısından değerlendirildiğinde, her iki durum için de sonuçların benzer eğilimde çıktığı ve YSA test aşaması için seçilen deney şartlarının uygun olduğu anlaşılmaktadır.

4.5. Bar Hacmi (V_{bh})

Bu bölümde, barın hacmini belirlemeye yönelik olarak yapılan fiziksel model verileri ve bunlar üzerine kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemler, literatürdeki ilgili denklemler ve YSA bulguları irdelenerek sunulmaktadır.

V_{bh} için yapılan fiziksel model deney şartları Tablo 2.3'te, deney sonuçları ise Tablo 3.29'da daha önce verilmiştir. Tablo 2.3 ve 3.29 irdelendiğinde, V_{bh} değerinin, malzeme tane çapının artmasıyla azaldığı, dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla arttığı, taban eğiminin artmasıyla 1.46 s periyotlu dalgalarda (6.5, 11.5 cm yükseklikli dalgalar hariç) arttığı, 2.03 s periyotlu dalgalarda ise azaldığı görülmektedir.

Boyutlu regresyon analizleri sonucu elde edilen Denklem 3.17 ve 3.18, boyutsuz regresyon analizleri sonucu elde edilen Denklem 3.19 ve 3.20, literatürde verilen Denklem 1.8 ve 1.12 ve YSA'dan elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla karşılaştırması ve

değerlendirilmesinde, YSA çalışmalarının test aşaması için seçilen deney şartlarının ve tüm deneylerin kullanılmasından elde edilen rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak Tablo 4.5'te verilmektedir.

Tablo 4.5. V_{bh} için rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları

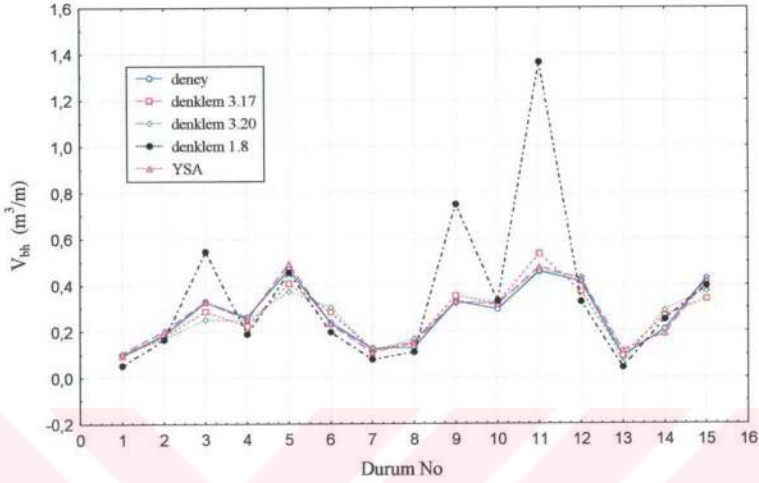
V_{bh}					
Denklemler ve YSA		Tüm Deney Şartları		Seçilen Deney Şartları	
		Ortalama (%)	Standart Sapma	Ortalama (%)	Standart Sapma
Boyutlu	Denklem 3.17	13.629	8.7378	11.831	7.7748
	Denklem 3.18	14.493	10.502	12.875	8.7400
Boyutsuz	Denklem 3.19	17.267	15.509	15.868	13.939
	Denklem 3.20	16.063	12.531	15.471	12.512
Literatür	Denklem 1.8	41.417	36.599	44.428	52.823
	Denklem 1.12	87.073	66.602	98.831	61.037
YSA	YSA	-	-	6.9918	6.8854

Tablo 4.5'te rölatif hataların ortalamasına göre boyutlu denklemler irdelendiğinde, Denklem 3.17'nin Denklem 3.18'den, boyutsuz denklemler irdelendiğinde, Denklem 3.20'nin Denklem 3.19'dan, literatürdeki denklemler irdelendiğinde Denklem 1.8'in Denklem 1.12'den hem tüm hem de seçilen deney şartları için daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Hem tüm hem de seçilen deney şartları için Denklem 3.17, 3.20, 1.8 ve YSA'nın rölatif hataları, ortalama ve standart sapmalarına göre karşılaştırıldığında, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır:

Tablo 4.5'te, seçilen deney şartları için rölatif hataların ortalamaları dikkate alınıp en iyi denklemler ve YSA değerlendirildiğinde, YSA'nın, literatürde verilen en iyi denklemden (Denklem 1.8) yaklaşık olarak 7.67, en iyi boyutsuz denklemden (Denklem 3.20) 1.82 ve en iyi boyutlu denklemden (Denklem 3.17) ise 1.13 kat daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Bu durum Şekil 4.5'ten de görülmektedir. Standart sapmalar açısından bakıldığında da benzer eğilim vardır.

Seçilen deney şartları için Denklem 3.17, 3.20, 1.8 ve YSA'nın deney sonuçlarıyla grafiksel incelemesi Tablo 3.35 verileri kullanılarak yapılmış ve Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. V_{bh} için en iyi denklemlerin ve YSA'nın deney sonuçlarıyla karşılaştırılması

Tablo 4.5'te tüm deney şartları dikkate alınıp en iyi denklemler değerlendirildiğinde, en iyi sonucun rölatif hataların ortalama ve standart sapmasında boyutlu denklemden (Denklem 3.17) elde edildiği görülmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, Denklem 3.17 boyutsuz denklemden (Denklem 3.20) 1.18, literatürdeki en iyi denklemden (Denklem 1.8) ise 3,04 kat daha iyi sonuç vermektedir.

Tablo 4.5, tüm ve YSA test aşaması için seçilen deney şartları açısından değerlendirildiğinde, her iki durum için de sonuçların benzer eğilimde çıktığı ve YSA test aşaması için seçilen deney şartlarının uygun olduğu anlaşılmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu bölümde, çalışma kapsamında incelenen bar parametreleri olan, barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bb}), barın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bt}), barın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı (h_{bt}), barın son noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı (X_{bs}) ve bar hacmi (V_{bh}) ile ilgili elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

Fiziksel model verileri dikkate alınarak; dalga yüksekliği, periyodu, taban eğimi ve tabandaki malzeme özelliklerinin, incelenen bar parametrelerine etkisine yönelik elde edilen sonuçlar, yapılan regresyon analizleriyle kurulan boyutlu, boyutsuz ve literatürdeki denklemlerden elde edilen sonuçlar, her bir bar parametresi için en uygun denklemi (boyutlu, boyutsuz ve literatür) belirlenmeye yönelik çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve ilgili bar parametreleri için YSA yönteminden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

a. Barın Başlangıç Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bb})

Barın başlangıç noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı, taban eğiminin ve malzeme tane çapının artmasıyla azalmakta (kıyıya yaklaşmakta), dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla ise artmaktadır (kıyıdan uzaklaşmaktadır).

Fiziksel model verileri kullanılarak yapılan regresyon analizleri sonucu elde edilen boyutlu denklemler dikkate alındığında; X_{bb} değerine, taban eğimi %45.68, dalga yüksekliği %40.55, tane çapı %10.23 ve dalga periyodu ise %3.54 etki etmektedir.

X_{bb} için regresyon analizlerinden elde edilen boyutlu 3.1 nolu denklem 3.2 nolu denklemden, boyutsuz 3.3 nolu denklem 3.4 nolu denklemden, literatürdeki 1.5 nolu denklem de 1.9 nolu denklemden daha iyi sonuç vermektedir.

Tüm deney şartları dikkate alınıp X_{bb} için en iyi denklemler incelendiğinde, en iyi sonuç, rölatif hataların hem ortalama ve hem de standart sapmalarında boyutsuz 3.3 nolu denklemden elde edilmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, boyutsuz 3.3 nolu denklem, boyutlu 3.1 nolu denklemden 1.19, literatürdeki 1.5 nolu denklemden ise 2.79 kat daha iyi sonuç vermektedir.

Seçilen deney şartları dikkate alınıp X_{bb} için en iyi denklemler ve YSA incelendiğinde, en iyi sonuç, rölatif hataların hem ortalama hem de standart sapmalarında YSA yönteminden elde edilmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, YSA yöntemi literatürde verilen 1.5 nolu denklemden 3.16, boyutlu 3.1 nolu denklemden 1.43 ve boyutsuz 3.3 nolu denklemden ise 1.40 kat daha iyi sonuç vermektedir. Benzer eğilim standart sapmalarda da gözlenmiştir.

b. Barın Tepe Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bt})

Barın tepe noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı, taban eğiminin ve malzeme tane çapının artmasıyla azalmakta, dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla ise artmaktadır.

Fiziksel model verileri kullanılarak yapılan regresyon analizleri sonucu elde edilen boyutlu denklemler dikkate alındığında; X_{bt} değerine, taban eğimi %45.70, dalga yüksekliği %38.74, tane çapı %11.13 ve dalga periyodu ise %4.43 etki etmektedir.

X_{bt} için regresyon analizlerinden elde edilen boyutlu 3.5 nolu denklem 3.6 nolu denklemden, boyutsuz 3.7 nolu denklem 3.8 nolu denklemden, literatürdeki 1.10 nolu denklem de 1.6 nolu denklemden daha iyi sonuç vermektedir.

Tüm deney şartları dikkate alınıp X_{bt} için en iyi denklemler incelendiğinde, önemli bir fark olmamasına rağmen en iyi sonuç, rölatif hataların ortalamalarında boyutlu 3.5 nolu denklemden, standart sapmalarında ise boyutsuz 3.7 nolu denklemden elde edilmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, boyutlu 3.5 nolu denklem literatürdeki 1.10 nolu denklemden 2.26 kat daha iyi sonuç vermektedir.

Seçilen deney şartları dikkate alınıp X_{bt} için en iyi denklemler ve YSA incelendiğinde, en iyi sonuç, rölatif hataların hem ortalama hem de standart sapmalarında YSA yönteminden elde edilmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, YSA yöntemi, literatürde verilen 1.10 nolu denklemden 4.44, denklemler arasında önemli bir fark olmamasına rağmen, boyutsuz 3.7 nolu denklemden 1.87 ve boyutlu 3.5 nolu denklemden ise 1.86 kat daha iyi sonuç vermektedir. Standart sapmalarda, 3.7 nolu denklem 3.5 nolu denklemden daha iyi sonuç vermiştir.

c. Barın Tepe Noktasının Sakin Su Seviyesine Düşey Uzaklığı (h_{bt})

Barın tepe noktasının sakin su seviyesine düşey uzaklığı, dalga yüksekliği ve periyodun artmasıyla artmakta, taban eğiminin (0.04 taban eğimi, 2.03 s dalga periyodu ve 0.16 m dalga yükseklikleri hariç) artmasıyla ise azalmaktadır. Malzeme tane çapı değişimine göre, net bir değerlendirme yapılamamaktadır.

Fiziksel model verileri kullanılarak yapılan regresyon analizleri sonucu elde edilen boyutlu denklemler dikkate alındığında; h_{bt} değerine, dalga yüksekliği %39.94, taban eğimi %32.03, dalga periyodu %18.85 ve tane çapı ise %9.18 etki etmektedir.

h_{bt} için regresyon analizlerinden elde edilen boyutlu 3.10 nolu denklem 3.9 nolu denklemden, boyutsuz 3.12 nolu denklem 3.11 nolu denklemden, literatürdeki 1.11 nolu denklem de 1.7 nolu denklemden daha iyi sonuç vermektedir.

Tüm deney şartları dikkate alınıp h_{bt} için en iyi denklemler incelendiğinde, en iyi sonuç, rölatif hataların hem ortalama ve hem de standart sapmalarında boyutlu 3.10 nolu denklemden elde edilmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, boyutlu 3.10 nolu denklem, boyutsuz 3.12 nolu denklemden 1.10, literatürdeki 1.11 nolu denklemden ise 2.20 kat daha iyi sonuç vermektedir.

Seçilen deney şartları dikkate alınıp h_{bt} için en iyi denklemler ve YSA incelendiğinde, en iyi sonuç, rölatif hataların hem ortalama hem de standart sapmalarında YSA yönteminden elde edilmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, YSA yöntemi literatürde verilen 1.11 nolu denklemden 4.35, boyutsuz 3.12 nolu denklemden 1.87 ve boyutlu 3.10 nolu denklemden ise 1.80 kat daha iyi sonuç vermektedir. Benzer eğilim standart sapmalarda da gözlenmiştir.

d. Barın Son Noktasının Orijinal Kıyı Çizgisine Yatay Uzaklığı (X_{bs})

Barın son noktasının orijinal kıyı çizgisine yatay uzaklığı, taban eğiminin ve malzeme tane çapının artmasıyla azalmakta, dalga yüksekliği ve periyodun artmasıyla ise artmaktadır.

Fiziksel model verileri kullanılarak yapılan regresyon analizleri sonucu elde edilen boyutlu denklemler dikkate alındığında; X_{bs} değerine, taban eğimi %41.50, dalga yüksekliği %35.26, dalga periyodu %16.22 ve tane çapı ise %7.03 etki etmektedir.

X_{bs} için regresyon analizlerinden elde edilen boyutlu 3.14 nolu denklem 3.13 nolu denklemden, boyutsuz 3.15 nolu denklem 3.16 nolu denklemden daha iyi sonuç vermektedir.

Tüm deney şartları dikkate alınıp X_{bs} için en iyi denklemler incelendiğinde, en iyi sonuç, rölatif hataların ortalamasında boyutlu 3.14 nolu denklemden, standart sapmalarda ise boyutsuz 3.15 nolu denklemden elde edilmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, boyutlu 3.14 nolu denklem, boyutsuz 3.15 nolu denklemden 1.22, literatürdeki 1.44 nolu denklemden ise 6.75 kat daha iyi sonuç vermektedir.

Seçilen deney şartları dikkate alınıp X_{bs} için en iyi denklemler ve YSA incelendiğinde, en iyi sonuç, rölatif hataların hem ortalama hem de standart sapmalarında YSA yönteminden elde edilmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, YSA yöntemi literatürde verilen 1.44 nolu denklemden 9.42, boyutsuz 3.15 nolu denklemden 1.50 ve boyutlu 3.14 nolu denklemden ise 1.02 kat daha iyi sonuç vermektedir. Benzer eğilim standart sapmalarda da gözlenmiştir.

e. Bar Hacmi (V_{bh})

Bar hacmi, malzeme tane çapının artmasıyla azalmakta, dalga yüksekliği ve periyodunun artmasıyla artmakta, taban eğiminin artmasıyla 1.46 s periyotlu dalgalarda (6.5, 11.5 cm yükseklikli dalgalardan hariç) artmakta, 2.03 s periyotlu dalgalarda ise azalmaktadır.

Fiziksel model verileri kullanılarak yapılan regresyon analizleri sonucu elde edilen boyutlu denklemler dikkate alındığında; V_{bh} değerine, dalga yüksekliği %58.28, dalga periyodu %21.40, tane çapı %17.96 ve taban eğimi ise %2.36 etki etmektedir.

V_{bh} için regresyon analizlerinden elde edilen boyutlu 3.17 nolu denklem 3.18 nolu denklemden, boyutsuz 3.20 nolu denklem 3.19 nolu denklemden, literatürdeki 1.8 nolu denklem de 1.12 nolu denklemden daha iyi sonuç vermektedir.

Tüm deney şartları dikkate alınıp V_{bh} için en iyi denklemler incelendiğinde, en iyi sonuç, rölatif hataların hem ortalama ve hem de standart sapmalarında boyutlu 3.17 nolu denklemden elde edilmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, boyutlu 3.17 nolu denklem, boyutsuz 3.20 nolu denklemden 1.18, literatürdeki 1.8 nolu denklemden ise 3,04 kat daha iyi sonuç vermektedir.

Seçilen deney Şartları dikkate alınıp V_{bh} için en iyi denklemler ve YSA incelendiğinde, en iyi sonuç, rölatif hataların hem ortalama hem de standart sapmalarında YSA yönteminden elde edilmektedir. Hata ortalamaları dikkate alındığında, YSA yöntemi literatürde verilen 1.8 nolu denklemden 7.67, boyutsuz 3.20 nolu denklemden 1.82 ve boyutlu 3.17 nolu denklemden ise 1.13 kat daha iyi sonuç vermektedir. Benzer eğilim standart sapmalarda da gözlenmiştir.

f. YSA Kullanılmasının Uygunluėu

Çalışma kapsamında, yapılan irdelemelerden elde edilen sonuçların benzer eğilimde çıkması sebebiyle, YSA yöntemi için seçilen deney Şartlarının tüm deney Şartlarını temsil ettiği sonucuna varılmıştır.

Bar ile ilgili olarak irdelenen parametrelerin her birinde, YSA modelinden elde edilen verilerin deney verileriyle karşılaştırılması sonucu hesaplanan rölatif hataların hem ortalamaları ve hem de standart sapmaları; yapılan boyutlu ve boyutsuz regresyon analizleri ve literatürde önerilen denklemlerden elde edilen sonuçlardan hesaplanınlara göre önemli ölçüde küçüktür. Bu sebeple, bu tür analizlerde YSA model tekniğinin başarıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

zet olarak; tüm parametreler için YSA model tekniği en iyi sonucu vermektedir. Bunun dışında, X_{bb} için 3.3 nolu; X_{bt} için 3.5 veya 3.7 nolu; h_{bt} için 3.10 nolu; X_{bs} için 3.14 nolu ve V_{bh} için ise 3.17 nolu denklemler en iyi sonucu vermektedir.

6. ÖNERİLER

Bu çalışma, KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan iki boyutlu dalga kanalında yapılan fiziksel model verilerine dayanmaktadır. Fiziksel modelde, dalga yüksekliği, periyodu, taban eğimi ve tabandaki malzeme özelliklerinin kıyıya dik katı madde hareketine etkileri incelenmiş ve elde edilen veriler kullanılarak çalışma kapsamında incelenen bar parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Fiziksel model çalışmalarında kullanılan her bir malzeme çapının homojen olmasına dikkat edilmiş ve homojenlik katsayıları düşük tutulmaya çalışılmıştır. Ancak, malzeme elek analizi sonuçlarından da görüldüğü gibi aynı homojenlik katsayısına sahip malzemeler elde edilememiştir. Malzeme çapına yönelik olarak bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda, daha homojen veya aynı homojenlik katsayısına sahip malzemelerle çalışılması, çapın etkisini daha net olarak ortaya koyması açısından daha uygun olacaktır.

Fiziksel model çalışmaları, yedi farklı dalga yüksekliği ve iki farklı dalga periyodu için yapılmıştır. Deneylerin başka periyotlar için de yapılması, periyot etkisini daha net 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.

Fiziksel model verilerine ilaveten arazi verileri alınmaya çalışılmış ve bu kapsamda belirlenen iki bölgeden ikişer aylık periyotlarda, üç yıllık bir sürede profil ölçümleri alınmıştır. Arazi verilerin fırtınasız sakin deniz ortamında alınmış olması sebebiyle, yığılma profiliyle ilgili veriler elde edilmiş ve dolayısıyla bu veriler çalışma kapsamında kullanılmamıştır. Gelecekte fırtına süresinde profil değişimini belirleyecek ölçüm sistemlerinin geliştirilmesi durumunda, elde edilecek uygun arazi verileri ile çalışma sonuçlarının karşılaştırılması ve gerekli kalibrasyonların yapılması faydalı olacaktır.

Fiziksel model kapsamında, 10 adeti ön deney olmak üzere toplam 136 deney yapılmıştır. Çalışma kapsamında oyulma profili oluşturan 80 adet deney dikkate alınmış ve bu değerlere ait bar parametreleri incelenmiştir. Diğer deneyler yığılma profili oluşturan deneylerdir. Yığılma profili ve oyulma profilindeki erozyon bölgesi özellikleri, kıyıya dik

katı madde taşınım debisi, oyulma ve yığılma kriterlerinin belirlenmesi, taşınım debisinin ve profil gelişiminin zamansal gelişimi vb. değerlendirmelerin tüm deneyler kullanılarak yapılması, çalışmanın tamamlanması açısından faydalı olacaktır.

Literatürde her ne kadar düzenli ve düzensiz dalgaların benzer şartlar oluşturduğu ve aralarında çok büyük farkların meydana gelmediği belirtilse de, fiziksel model çalışmalarının düzensiz dalgalar için de yapılması uygun olacaktır.

Çalışma kapsamında, fiziksel model verileri regresyon analizleri ve YSA modeli kullanılarak değerlendirilmiş ve incelenen bar parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Fiziksel model verilerinin yeni geliştirilen veya gelecekte geliştirilecek analiz modelleri ile de değerlendirilmesi yararlı olacaktır.



7. KAYNAKLAR

1. 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.
2. Sunamura, T., Onshore-Offshore Sediment Transport Rate in the Swash Zone of Laboratory Beaches, Coastal Engineering in Japan, 27 (1984) 205-212.
3. Horikawa, K., Nearshore Dynamics and Coastal Processes, University of Tokyo, 1987.
4. Chen, Z. ve Graaff, J. V. Modelling of Cross-Shore Transport, Coastal Sediment'91, 1991, Seattle Washington, 631-642.
5. Steetzel, H. J., A Model for Profile Changes During Storm Surges, Coastal Sediment'91, 1991, Seattle Washington, 618-630.
6. Roelvink, J. A., Modelling of Cross-Shore Flow Morphology, Coastal Sediment'91, 1991, Seattle Washington, 603-617.
7. Nairn, R. B., Problems Associated with Deterministic Modelling of Extrem Beach Erosion Events, Coastal Sediment'91, 1991, Seattle Washington, 588-602.
8. Kraus, N. C., Larson, M. ve Kriebel, D., Evaluation of Beach Erosion and Accretion Predictors, Coastal Sediment'91, 1991, Seattle Washington, 572-587.
9. Kriebel, D., Kraus, N. C. ve Larson, M., Engineering Methods for Predicting Beach Profile Response, Coastal Sediment'91, 1991, Seattle Washington, 557-560.
10. Zheng, J. ve Dean, R. G., Numerical Models and Intercomparisons of Beach Profile Evolution, Coastal Engineering, 30 (1996) 169-201.
11. Rakha, K. A., Deigaard, R. ve Broker, I., A Phase- Resolving Cross Shore Sediment Transport Model for Beach Profile Evolution, Coastal Engineering, (1997), 231-261.
12. Quick, M. C., Asce, M. ve Ametepe, J., Relationship Between Longshore and Cross-Shore Transport, Coastal Sediment'91, 1991, Seattle Washington, 184-195.
13. Uda, T., Beach Erosion in Japan and Its Classification, Coastal Sediment'91, 1991, Seattle Washington, 1856-1869.
14. Hedegaard, I. B., Deigaard, R. ve Fredsoe, J., Onshore/Offshore Sediment Transport and Morphological Modelling of Coastal Profiles, Coastal Sediment'91, 1991, Seattle Washington, 643-657.
15. Sato, S. ve Mitsunobu, N., A Numerical Model of Beach Profile Change Due to Random Waves, Coastal Sediment'91, 1991, Seattle Washington, 674-687.

16. Wise, R., Kobayashi, N. ve Wurjanto, A., Cross-Shore Sediment Transport Under Irregular Waves in Surf Zones, Coastal Sediment'91, 1991, Seattle Washington, 658-673.
17. Mase, H. ve Kobayashi, N., Transformation of Random Breaking Waves and Its Empirical Numerical Model Considering Surf Beat, Coastal Sediment'91, 1991, Seattle Washington, 688-701.
18. Leont'yev, I. O., Numerical Modelling of Beach Erosion During Storm Event, Coastal Engineering, 29 (1996) 187-200.
19. Foster, G. A., Healy, T. R., ve De Lange, W. P., Sediment Budget and Equilibrium Beach Profiles Applied to Renourishment of An Ebb Tidal Delta Adjacent Beach, Mt. Maunganui, New Zealand, Journal of Coastal Research, 10 (1994) 564-575.
20. 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.
21. Larson, M., Model of Beach Profile Change under Random Waves, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 122 (1996) 172-181.
22. Munoz-Perez, J. J., Tejedor, L., ve Medina, R., Equilibrium Beach Profile Model for Reef-Protected Beach, Journal of Coastal Research, 15 (1999) 950-957.
23. Hsu, T-W., Geometric Characteristics of Storm-Beach Profiles Caused by Inclined Waves, Ocean Engineering, 25 (1998) 69-84.
24. Lee, P. Z-F., The Submarine Equilibrium Profile: A Physical Model, Journal of Coastal Research, 10 (1994) 1-17.
25. Hanson, H. ve Kraus, N. C., Generalized Model for Simulating Shoreline Change (GENESIS), Report 1, Technical Report, CERC, Mississippi, 1989.
26. Larson, H. ve Kraus, N. C., Numerical Model for Simulating Storm-Induced Beach Change (SBEACH), Report 1, Technical Report, CERC, Mississippi, 1989.
27. Larson, H. ve Kraus, N. C. and Byrnes, M. R., Numerical Model for Simulating Storm-Induced Beach Change (SBEACH), Report 2, Technical Report, CERC, Mississippi, 1989.
28. Silvester, R. ve Hsu, J. R. C., Coastal Stabilization, Advanced Series on Ocean Engineering, World Scientific Publishing, 14, 1997.
29. Watanabe, A., Maruyama, K., Shimizu, T. ve Sakakiyama, T., Numerical Prediction Model of Three-Dimensional Beach Deformation Around a Structure, Coastal Engineering in Japan, 29 (1986) 179-194.
30. Tokgöz, A., Kıyı Profili Karakteristiklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.

31. Kukul, İ. B., Kömürçü, M. İ. ve Yüksek, Ö., Kıyı Profili Özelliklerinin İrdelenmesi, Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları III. Ulusal Konferansı, Türkiye Kıyıları 01, Kıyı Alanları Yönetimi Türkiye Milli Komitesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi, 26-29 Haziran 2001, İstanbul, 589-599.
32. Kömürçü, M. İ., Yüksek, Ö., Tokgöz, A. ve Kukul, I. B., "An Experimental Study on Coastal Profiles", Fifth International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul Technical University, 25-27 September 2002, Istanbul, 1213-1223.
33. Kömürçü, M.İ., Karasu, S., Yüksek, Ö., Özölçer İ.H ve Tokgöz, A., "Malzeme Tane Çapı Değişiminin Kıyı Profili Parametrelerine Etkisi", Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları IV. Ulusal Konferans, Türkiye Kıyıları 02, Kıyı Alanları Yönetimi Türkiye Milli Komitesi ve Dokuz Eylül Üniversitesi, 5-8 Kasım 2002, İzmir, 1177-1187.
34. Kömürçü, M. I., Yüksek, Ö., Karasu, S. ve Özölçer, I. H., "An Experimental Study on Bar Characteristics of Storm-Built Profiles", The Sixth International Conference on The Mediterranean Coastal Environment, Medcoast 2003, Ravenna, Italy.
35. Günaydın, K. ve Kabdaşlı, M. S., Characteristics of Coastal Erosion Geometry under Regular and Irregular Waves, Ocean Engineering, 30 (2003) 1579-1593.
36. Günaydın, K. ve Kabdaşlı, M. S., The Formation of Offshore Ripples in the Zone under Irregular Waves, Ocean Engineering, 30 (2003) 297-307.
37. Quick, M. C., Onshore-Offshore Sediment Transport on Beaches, Coastal Engineering, 15 (1991) 313-332.
38. Roelvink, J. A. ve Broker, I., Cross-Shore Profile Models, Coastal Engineering, 21 (1993) 163-191.
39. Schoonees, J. S. ve Theron, A. K., Evaluation of 10 Cross-Shore Sediment Transport, Morphological Models, Coastal Engineering, 25 (1995) 1-41.
40. Rijn, L. C., Walstra, D. J. R., Grasmeijer, B., Sutherland, J., Pan, S. ve Sierra, J. P., The Predictability of Cross- Shore Bed Evolution of Sandy Beaches at the Time Scale of Storms and Seasons Using Process-Based Profiles Models, Coastal Engineering, 47 (2003) 295-327.
41. Ruessink, B. G., Bell, P. S., Enckevort, I. M. J. ve Aarninkhof, S. G. J., Nearshore Bar Crest Location Quantified from Time-Averaged X-Band Radar Images, Coastal Engineering, 45 (2002) 19-32.
42. Faraci, C. ve Foti E., Geometry, Migration and Evolution of Small-Scales Bedforms Generated by Regular and Irregular Waves, Coastal Engineering, 47 (2002) 35-52.
43. Black, K. P., Gorman, R. M. ve Bryan, K. R., Bars Formed by Horizontal Diffusion of Suspended Sediment, Coastal Engineering, 47 (2002) 53-75.

44. Rozynski, G., Data-Driven Modelling of Multiple Longshore Bars and Their Interactions, Coastal Engineering, 48 (2003) 151-170.
45. CERC, Shore Protection Manuel, Fourth Edition, US Army WES, Washington, 1984.
46. Airy, G.B., On Tides and Waves, Encyclopedia, Metropolitana, 1845.
47. Eagleson, P.S., Estuary and Coastline Hydrodynamics, McGraw-Hill Book Co., New York, 1966.
48. Bruun, P., Port Engineering, Gulf Publishing Company Book Division, Second Edition, Houston, WA, 1976.
49. Kinsman, B., Wind Waves, Practice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1965.
50. Mei, C.C., The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, World Scientific Publishing Co. Pte. Hd., Singapore, 1989.
51. Yüksek, Ö., Kıyı Hidroliği Ders Notları, K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1995.
52. Dean, R.G. ve Dalrymple, R.A., Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 2, Published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. PO Box 128, Farrer Road, Singapore 9128, 1984.
53. Kaplan, H., Yüksek, Ö., ve Kömürcü, M. İ., Dalgakıran Arasındaki Dalgaların Kırınım Katsayısının Sayısal Modelleme ile Belirlenmesi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 2. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sem., 19-21 Kasım 1998, Mersin, 109-125.
54. Wiegel, R.L., Oceanographical Engineering, Prentice-Hall International Series in Theoretical and Applied Mechanics, 1964.
55. Kömürcü, M. İ., Dalga Sapmasının Sayısal Yöntemle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Ocak 1998.
56. Kömürcü, M.İ., Yüksek, Ö., Kaplan, H. ve Özölçer, İ.H., Düzenli Dalgaların Düzensiz Topoğrafya Üzerinde Sapmasının Hesabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 2. Ulusal Kıyı Mühendisliği Semp., 19-21 Kasım 1998, Mersin, 91-107.
57. Ippen, T., Estuary and Coastline Hydrodynamics, McGraw-Hill Book Co., 1964
58. Munk, W. H., The Solitary Wave Theory and Its Application to Surf Problems, Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 51, 376-462, 1949.
59. Iversen, H. W., Waves and Breakers in Shoaling Water, Proc. 3rd. Conference on Coastal Engineering, ASCE, 1953.
60. Galvin, C. J., Breaker Travel and Choise of Design Wave Height, Journal of the Waterways, Harbours and Coastal Engineering Division, ASCE, (1963), 175-200.

61. Goda, Y., A Synthesis of Breaker Indices, Transaction of the Japanese Society of Civil Engineering, Vol. 2, (1970).
62. Weggel, J. R., Maximum Breaker Height, Journal of the Waterways, Harbours and Coastal Engineering Division, ASCE, Vol. 98, (1972).
63. Birben, A. R., Kıyı Korumasında Açıkdeniz Dalgakıranların Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
64. Horikwa, K., Nearshore Dynamics and Coastal Processes, University of Tokyo, 1987.
65. Kabdaşlı, S., Kıyı Mühendisliği, İTÜ Yayını, No:1504, 1992.
66. Yüksek, Ö., Balıkçı Barınaklarının Dolma Sürecinin Araştırılması ve Uygun Proje Ölçütlerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1992.
67. Hallermeier, R. J., Uses for a Calculated Limit Depth to Beach Erosion, Proceedings of 16th Coastal Engineering, 1978, 1493-1512.
68. Birkemeier, W. A., Field Data on Seaward Limit of Profile Change, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, No.3, (1985), 598-602.
69. Karasu, S., Kömürçü, M. I., Yüksek, Ö. ve Özölçer İ. H., Yapay Besleme Performansına Aktif Derinlik ve Sediment Taşınım Katsayısının Etkisi, İnşaat Mühendisleri Odası 4. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sem. 24-27 Ekim 2002, Antalya.
70. Chiaia, G., Damania, L. ve Petrillo, A., Analysis of Cross-Shore Transport, International Conference on Coastal and Port Engineerin in Developing Countries, September 1995, 25/29, R.J. Brazil, 412-426.
71. Fredsøc, J., Deigaard, R., Mechanics of Coastal Sediment Transport, World Scientific Publ. Co. London, 1992.
72. Özölçer, İ. H., Kıyı Korumasında Mahmuzların Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
73. Larson, M., Kraus, N.C. ve Sunamura, T., Beach Profile Change: Morphology, Transport Rate, and Numerical Simulation, 21st Coastal Engineering Conference CERC/ASCE, June 1988, Costa del Sol-Malaga, Spain,
74. Kraus, N.C. ve Harikai, S., Numerical Model of the Shoreline Change at Oarai Beach, Coastal Engineering, 7 (1983), Amsterdam, 1-28.
75. Hanson, H. ve Kraus, N.C., Forecast of Shoreline Change Behind Multiple Coastal Structures, Coastal Engineering in Japan, Volume 29, 1986, 195-214.
76. Kamphuis J.W. Alongshore Sediment Transport Rate, Proc. 22nd. Coastal Engineering Conference, ASCE, 1990, 2402-2415.(Longshore)

77. Yüksek, Ö., Kıyılarda Katı Madde Hareketi Ders Notları, KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1995.
78. Kraus, N. C., Larson, M. ve Kriebel. D. L., Evaluation of Beach Erosion and Accretion Predictors, Proc. Coastal Sediments'91, 1991, Seattle Washington, ASCE, 572-587,.
79. Dean, R. G., Physical Modelling of Littoral Processes, Physical Modelling in Coastal Engineering, Ed. Dalrymple, R. A., A. A. Balk. Ut. B. V., 119-139, 1985.
80. Schoonees, J.S. ve Theron, A.K., Evaluation of 10 Cross-Shore Sediment Transport/Morphological Models, Coastal Engineering, 25 (1995), 1-41.
81. Fredsoe, J. and Deigaard, R., Mechanics of Coastal Sediment Transport, Advanced Series on Ocean Engineering, Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering Technical University of Denmark, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1992.
82. Öztemel, E., Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, I. Baskı, Isbn: 975-6797-39-8, İstanbul, Ağustos 2003.
83. Elmas, Ç., Yapay Sinir Ağları, Seçkin Yayıncılık, I. Baskı, Isbn: 975-347-612-4, Ankara, Nisan 2003.
84. Dere, Y., Yapı Analizi ve Tasarımında Yapay Sinir Ağları, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1997.
85. Alcı, M., "Gradyan Tabanlı Eğitime Dayalı Bulanık Sistemler", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 1999.
86. Aksoy, M. S., Description and Complete Listing of The Cosine: A Combined System for Symbolic and Neural Learning, Technical Note ARC43, University of College of Cardiff ELYSM, UK, 1993.
87. Çağlar, N., Yapay Sinir Ağları ile Yapıların Dinamik Analizi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kasım 2001.
88. Arslan, A., İnce, R., Yapı Mühendisliğinde Yapay Sinir Ağları ve Uygulama Potansiyeli, İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı IV. Sempozyumu, 219-228, 14-16 Haziran, 1994.
89. Kamphuis J. W., On Understanding Scale Effect in Coastal Mobile Bed Models, Physical Modelling in Coastal Engineering, Ed. Dalrymple, R. A., A. A. Balkema Uitgevers B. V., 1141-162, 1985.
90. Güler, I., A Study On Coastal Morphological Models, Master's Thesis In Civil Engineering Department, METU, Ankara, 1985.
91. Lakhan, V. C. ve Trenhaile, A. S., Applications in Coastal Modelling, Elsevier Science B. V., Amsterdam, The Netherlands, 1989.

92. Çataklı, O. N., Model Tekniği, Kutulmuş Matbaası, İstanbul, 1963.
93. Wang, X., Lin, L. H. ve Wang, H., Scaling Effects on Beach Response Physical Model, 24th Coastal Engineering Conference, ASCE, 1994.
94. Hallermeier, R. J., Unified Modelling Guidance Based on a Sedimentation Parameter for Beach Changes, Coastal Engineering, Vol. 9, (1985), 37-70.
95. Whalin, R.V. ve Chatman, C.E., Coastal Erosion, Coastal Hydraulic Models, CERC, SR-5, Mississippi, 1979, Chapter 5, 284-307.
96. Hayami, S., Ishihara, T. ve Iwagaki, Y., Some Contributions to Hydraulic Model Experiments in Coastal Engineering, Proceedings of Tenth Conference on Coastal Engineering, 1966, Tokyo, 1291-1312.
97. Wang, H., A Note on Beach Profile Scale Modelling, Praunschweig'86, Florida, 1986, 355-398.
98. Noda, E. K., Equilibrium Beach Profile Scale-Model Relationship, Journal of Waterways, Harbours and Coastal Engineering Division, ASCE, (1972), 511-527.
99. Ito, M., ve Tsuchiya, Y., Scale-Model Relationship of Beach Profile, 19th Coastal Engineering Conference, ASCE, 1386-1402, 1984.

8. EKLER

Ek Tablo 1. X_{bb} boyutlu bağımlı değişken için eksponansiyel fonksiyonun regresyon katsayıları

$y = c + \exp(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4)$									
Bağımsız Değişken Durumu		Regresyon Katsayıları							
Bulunma	Bulunmama	r	r ²	c	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
m, T, H ₀ , d ₅₀	-	0.9727	0.9463	-1.788	1.856	-12.62	0.197	3.511	-920.9
m, T, H ₀	d ₅₀	0.9514	0.9052	-2.176	1.713	-11.88	0.193	3.080	-
m, T, d ₅₀	H ₀	0.7270	0.5285	-224.4	5.4489	-0.236	-0.0003	-	-6.706
m, H ₀ , d ₅₀	T	0.9612	0.9239	-2.243	2.257	-11.46	-	3.0164	-870.5
T, H ₀ , d ₅₀	m	0.4949	0.2449	-254.9	5.548	-	0.0023	0.0510	-23.26
m, T	H ₀ , d ₅₀	0.7241	0.5243	-211.9	5.392	-0.252	-0.0002	-	-
m, H ₀	T, d ₅₀	0.9387	0.8811	-3.342	2.1940	-9.686	-	2.3637	-
m, d ₅₀	T, H ₀	0.7269	0.5284	-221.3	5.435	-0.239	-	-	-6.758
T, H ₀	m, d ₅₀	0.4270	0.1824	-180.2	5.1967	-	0.0030	0.0633	-
T, d ₅₀	m, H ₀	0.1488	0.0222	-101.5	4.6640	-	-0.001	-	-33.14
H ₀ , d ₅₀	m, T	0.4873	0.2376	-261.0	5.5752	-	-	0.0478	-22.62
m	T, H ₀ , d ₅₀	0.7240	0.5242	-210.3	5.3841	-0.254	-	-	-
T	m, H ₀ , d ₅₀	0.0111	0.0001	1.4977	0.7142	-	-0.0392	-	-
H ₀	m, T, d ₅₀	0.4190	0.1756	-188.0	5.2440	-	-	0.0581	-
d ₅₀	m, T, H ₀	0.1479	0.0219	-91.78	4.5658	-	-	-	-36.39

Ek Tablo 2. X_{bb} boyutlu bağımlı değişken için hiperbolik fonksiyonun regresyon katsayıları

$y = c \cdot x_1^{b_0} \cdot x_2^{b_1} \cdot x_3^{b_2} \cdot x_4^{b_3}$								
Bağımsız Değişken Durumu		Regresyon Katsayıları						
Bulunma	Bulunmama	r	r ²	c	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃
m, T, H ₀ , d ₅₀	-	0.9710	0.9428	0.0202	-1.3751	0.2386	1.0271	-
m, T, H ₀	d ₅₀	0.9542	0.9105	0.3845	-1.3933	0.2398	0.9701	-
m, T, d ₅₀	H ₀	0.6806	0.4632	0.0927	-1.1240	-0.0841	-	-
m, H ₀ , d ₅₀	T	0.9689	0.9388	0.0223	-1.3728	-	1.0153	-
T, H ₀ , d ₅₀	m	0.5492	0.2969	0.2223	-	0.1624	0.7742	-
m, T	H ₀ , d ₅₀	0.3798	0.4621	0.1580	-1.1299	-0.0805	-	-
m, H ₀	T, d ₅₀	0.9520	0.9064	0.4252	-1.3905	-	0.9582	-
m, d ₅₀	T, H ₀	0.6802	0.4627	0.0900	-1.1240	-	-	-
T, H ₀	m, d ₅₀	0.4955	0.2456	9.5276	-	0.1627	0.6981	-
T, d ₅₀	m, H ₀	0.1075	0.0112	0.5238	-	-0.0813	-	-
H ₀ , d ₅₀	m, T	0.5432	0.2951	0.2369	-	-	0.7666	-
m	T, H ₀ , d ₅₀	0.6795	0.4617	0.1522	-4.1298	-	-	-
T	m, H ₀ , d ₅₀	0.0187	0.0004	3.0571	-	-0.0696	-	-
H ₀	m, T, d ₅₀	0.4936	0.2437	10.157	-	-	0.6905	-
d ₅₀	m, T, H ₀	0.1053	0.0111	0.5094	-	-	-	-

Ek Tablo 3. X_{bb} için eksponansiyel fonksiyon regresyon katsayıları

$y = c + \exp(b_0 + b_1.x_1 + b_2.x_2 + b_3.x_3)$									
Boyutsuz Değişken Durumu			Regresyon Katsayıları						
Bağımlı	Bağımsız		r	r^2	c	b_0	b_1	b_2	b_3
	Bulunma	Bulunmama							
X_{bb}/L_0	m, H_0/L_0 , H_0/wT	-	0.9741	0.9489	-0.5803	0.6508	-11.47	9.0126	0.0347
	m, H_0/L_0	H_0/wT	0.9588	0.9193	-0.6033	0.6830	-11.134	10.699	-
	m, H_0/wT	H_0/L_0	0.8488	0.7204	-4.4852	1.7852	-2.7603	-	0.0298
	H_0/L_0 , H_0/wT	m	0.6506	0.4233	-25.591	3.2500	-	0.4024	0.0020
	m	H_0/L_0 , H_0/wT	0.5878	0.3456	-7.4100	2.2333	-1.5565	-	-
	H_0/L_0	m, H_0/wT	0.6324	0.4000	-7.5134	2.0511	-	1.5983	-
	H_0/wT	m, H_0/L_0	0.5326	0.2837	-11.594	2.4853	-	-	0.0111
X_{bb}/L_0	m, H_0/L_0 , H_0/d_{50}	-	0.9694	0.9398	-1.563	1.0424	-6.801	5.5381	0.0001
	m, H_0/L_0	H_0/d_{50}	0.9588	0.9193	-0.6033	0.6830	-11.134	10.699	-
	m, H_0/d_{50}	H_0/L_0	0.8311	0.6907	-2.5539	1.3657	-4.3328	-	0.0003
	H_0/L_0 , H_0/d_{50}	m	0.6415	0.4115	-2.5868	1.0373	-	3.3285	0.0001
	m	H_0/L_0 , H_0/d_{50}	0.5878	0.3456	-7.4100	2.2333	-1.5565	-	-
	H_0/L_0	m, H_0/d_{50}	0.6324	0.4000	-7.5134	2.0511	-	1.5983	-
	H_0/d_{50}	m, H_0/L_0	0.4894	0.2395	-2.6792	1.1215	-	-	0.0002
X_{bb}/L_0	m, H_0/d_{50} , H_0/wT	-	0.8471	0.7176	-2.2897	1.3420	-4.703	-0.0001	0.0643
	m, H_0/d_{50}	H_0/wT	0.8311	0.6907	-2.5539	1.3657	-4.3328	0.0003	-
	m, H_0/wT	H_0/d_{50}	0.8488	0.7204	-4.4852	1.7852	-2.7603	-	0.0298
	H_0/d_{50} , H_0/wT	m	0.5239	0.2744	-2.3651	1.0769	-	-0.0002	0.0779
	m	H_0/d_{50} , H_0/wT	0.5878	0.3456	-7.4100	2.2333	-1.5565	-	-
	H_0/d_{50}	m, H_0/wT	0.4894	0.2395	-2.6792	1.1215	-	0.0002	-
	H_0/wT	m, H_0/d_{50}	0.5326	0.2837	-11.594	2.4853	-	-	0.0111

Ek Tablo 3'ün devamı

$y = c + \exp(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3)$									
Boyutsuz Değişken Durumu			Regresyon Katsayıları						
Bağımlı	Bağımsız		r	r^2	c	b_0	b_1	b_2	b_3
	Bulunma	Bulunmama							
X_{bb}/H_0	m, H_0/L_0 , H_0/wT	-	0.9728	0.9463	1.9078	4.5637	-22.03	-8.431	0.0780
	m, H_0/L_0	H_0/wT	0.9558	0.9136	1.5151	4.6240	-21.41	-4.368	-
	m, H_0/wT	H_0/L_0	0.9405	0.8845	0.4838	4.4669	-21.55	-	0.0086
	H_0/L_0 , H_0/wT	m	0.3406	0.1160	15.271	2.7928	-	-52.977	0.2623
	m	H_0/L_0 , H_0/wT	0.9401	0.8837	0.3850	4.4845	-21.31	-	-
	H_0/L_0	m, H_0/wT	0.3060	0.0936	16.583	3.2948	-	57.496	
	H_0/wT	m, H_0/L_0	0.0805	0.0065	0.4235	3.0592	-	-	-0.024
X_{bb}/H_0	m, H_0/L_0 , H_0/d_{50}	-	0.9724	0.9456	1.8310	4.5103	-22.22	-7.480	0.0004
	m, H_0/L_0	H_0/d_{50}	0.9558	0.9136	1.5151	4.6240	-21.41	-4.368	-
	m, H_0/d_{50}	H_0/L_0	0.9411	0.8856	-0.642	4.4288	-20.50	-	0.0001
	H_0/L_0 , H_0/d_{50}	m	0.3201	0.1025	17.353	3.6023	-	-100.1	0.0013
	m	H_0/L_0 , H_0/d_{50}	0.9401	0.8837	0.3850	4.4845	-21.31	-	-
	H_0/L_0	m, H_0/d_{50}	0.3060	0.0936	16.583	3.2948	-	57.494	-
	H_0/d_{50}	m, H_0/L_0	0.0982	0.0096	19.700	5.182	-	-	-0.014
X_{bb}/H_0	m, H_0/d_{50} , H_0/wT	-	0.9424	0.8883	1.5336	4.4449	-22.60	0.0003	-0.039
	m, H_0/d_{50}	H_0/wT	0.9411	0.8856	-0.642	4.4288	-20.50	0.0001	-
	m, H_0/wT	H_0/d_{50}	0.9405	0.8845	0.4838	4.4669	-21.55	-	0.0086
	H_0/d_{50} , H_0/wT	m	0.1751	0.0307	19.191	3.0341	-	-0.036	5.6315
	m	H_0/d_{50} , H_0/wT	0.9401	0.8837	0.3850	4.4845	-21.31	-	-
	H_0/d_{50}	m, H_0/wT	0.0982	0.0096	19.700	5.182	-	-0.014	-
	H_0/wT	m, H_0/d_{50}	0.0805	0.0065	0.4235	3.0592	-	-	-0.024

Ek Tablo 3'ün devamı

$y = c + \exp(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3)$									
Boyutsuz Değişken Durumu			Regresyon Katsayıları						
Bağımlı	Bağımsız		r	r^2	c	b_0	b_1	b_2	b_3
	Bulunma	Bulunmama							
X_{bb}/d_{50}	m, H_0/L_0 , H_0/wT	-	0.9245	0.8547	-125421	10.6181	-10.139	-3.2016	0.1274
	m, H_0/L_0	H_0/wT	0.6869	0.4718	-36203	11.0845	-4.9822	2.2657	-
	m, H_0/wT	H_0/L_0	0.9096	0.8274	-12635	10.5740	-10.356	-	0.1036
	H_0/L_0 , H_0/wT	m	0.62201	0.3845	-76624	11.3413	-	-1.3140	0.0382
	m	H_0/L_0 , H_0/wT	0.6148	0.3780	-31165	11.0922	-5.0664	-	-
	H_0/L_0	m, H_0/wT	0.2126	0.0452	11248.9	6.2187	-	28.768	-
	H_0/wT	m, H_0/L_0	0.5726	0.3279	-64716	11.1615	-	-	0.0314
X_{bb}/d_{50}	m, H_0/L_0 , H_0/d_{50}	-	0.9590	0.9197	-7570.2	10.3693	-13.071	-3.763	0.0010
	m, H_0/L_0	H_0/d_{50}	0.6869	0.4718	-36203	11.0845	-4.9822	2.2657	-
	m, H_0/d_{50}	H_0/L_0	0.9426	0.8885	-9532.5	10.387	-12.401	-	0.0008
	H_0/L_0 , H_0/d_{50}	m	0.6355	0.4039	-52863	10.9642	-	-1.5051	0.0003
	m	H_0/L_0 , H_0/d_{50}	0.6148	0.3780	-31165	11.0922	-5.0664	-	-
	H_0/L_0	m, H_0/d_{50}	0.2126	0.0452	11248.9	6.2187	-	28.768	-
	H_0/d_{50}	m, H_0/L_0	0.5967	0.3560	112529	11.6554	-	-	0.0001
X_{bb}/d_{50}	m, H_0/d_{50} , H_0/wT	-	0.9467	0.8962	-5837.5	10.2549	-14.765	0.0012	-0.0505
	m, H_0/d_{50}	H_0/wT	0.9426	0.8885	-9532.5	10.387	-12.401	0.0008	-
	m, H_0/wT	H_0/d_{50}	0.9096	0.8274	-12635	10.5740	-10.356	-	0.1036
	H_0/d_{50} , H_0/wT	m	0.5962	0.3555	-87725	11.4129	-	0.0002	-0.0016
	m	H_0/d_{50} , H_0/wT	0.6148	0.3780	-31165	11.0922	-5.0664	-	-
	H_0/d_{50}	m, H_0/wT	0.5967	0.3560	112529	11.6554	-	0.0001	-
	H_0/wT	m, H_0/d_{50}	0.5726	0.3279	-64716	11.1615	-	-	0.0314

Ek Tablo 4. X_{bb} için hiperbolik fonksiyon regresyon katsayıları

$y = c.x_1^{b_0}.x_2^{b_1}.x_3^{b_2}$								
Boyutsuz Değişken Durumu			Regresyon Katsayıları					
Bağımlı	Bağımsız		r	r^2	c	b_0	b_1	b_2
	Bulunma	Bulunmama						
X_{bb}/L_0	m, H_0/L_0 , H_0/wT	-	0.9776	0.9556	0.1512	-1.3775	0.7391	0.2848
	m, H_0/L_0	H_0/wT	0.9647	0.9306	0.3791	-1.3840	0.9351	-
	m, H_0/wT	H_0/L_0	0.8810	0.7762	0.0107	-1.2641	-	0.8269
	H_0/L_0 , H_0/wT	m	0.6692	0.4478	3.1566	-	0.5669	0.3123
	m	H_0/L_0 , H_0/wT	0.5918	0.3502	0.0379	-1.1259	-	-
	H_0/L_0	m, H_0/wT	0.6463	0.4177	8.7914	-	0.7811	-
	H_0/wT	m, H_0/L_0	0.5833	0.3402	0.3267	-	-	0.7345
X_{bb}/L_0	m, H_0/L_0 , H_0/d_{50}	-	0.9758	0.9521	0.0362	-1.3955	0.7869	0.2858
	m, H_0/L_0	H_0/d_{50}	0.9647	0.9306	0.3791	-1.3840	0.9351	-
	m, H_0/d_{50}	H_0/L_0	0.8411	0.7074	7.3802	-1.2910	-	0.8996
	H_0/L_0 , H_0/d_{50}	m	0.6569	0.4315	1.3735	-	0.6615	0.2285
	m	H_0/L_0 , H_0/d_{50}	0.5918	0.3502	0.0379	-1.1259	-	-
	H_0/L_0	m, H_0/d_{50}	0.8810	0.7762	0.0107	-1.2641	-	0.8269
	H_0/d_{50}	m, H_0/L_0	0.5064	0.2565	0.0056	-	-	0.7544
X_{bb}/L_0	m, H_0/d_{50} , H_0/wT	-	0.8833	0.7842	0.0575	-1.2492	-0.2952	1.0622
	m, H_0/d_{50}	H_0/wT	0.6463	0.4177	8.7914	-	0.7811	-
	m, H_0/wT	H_0/d_{50}	0.8411	0.7074	7.3802	-1.2910	0.8996	-
	H_0/d_{50} , H_0/wT	m	0.6006	0.3607	13.385	-	-0.6653	1.2671
	m	H_0/d_{50} , H_0/wT	0.5918	0.3502	0.0379	-1.1259	-	-
	H_0/d_{50}	m, H_0/wT	0.5064	0.2565	0.0056	-	0.7544	-
	H_0/wT	m, H_0/d_{50}	0.5833	0.3402	0.3267	-	-	0.7345

Ek Tablo 4'ün devamı

$y = c.x_1^{b_0}.x_2^{b_1}.x_3^{b_2}$								
Boyutsuz Değişken Durumu			Regresyon Katsayıları					
Bağımlı	Bağımsız		r	r ²	c	b ₀	b ₁	b ₂
	Bulunma	Bulunmama						
X _{bb} /H ₀	m, H ₀ /L ₀ , H ₀ /wT	-	0.9633	0.9279	0.1512	-1.3775	-0.2609	0.2848
	m, H ₀ /L ₀	H ₀ /wT	0.9419	0.8872	0.3791	-1.3840	-0.0648	-
	m, H ₀ /wT	H ₀ /L ₀	0.9442	0.8915	0.3853	-1.4167	-	0.0934
	H ₀ /L ₀ , H ₀ /wT	m	0.3198	0.1023	3.1566	-	-0.4331	0.3123
	m	H ₀ /L ₀ , H ₀ /wT	0.9395	0.8827	0.4447	-1.4019	-	-
	H ₀ /L ₀	m, H ₀ /wT	0.2309	0.0533	8.7914	-	-0.2189	-
	H ₀ /wT	m, H ₀ /L ₀	0.0104	0.00001	17.859	-	-	-0.0103
X _{bb} /H ₀	m, H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	-	0.9603	0.9221	0.0362	-1.3955	-0.2131	0.2858
	m, H ₀ /L ₀	H ₀ /d ₅₀	0.9419	0.8872	0.3791	-1.3840	-0.0648	-
	m, H ₀ /d ₅₀	H ₀ /L ₀	0.9450	0.8930	0.1939	-1.4238	-	0.1196
	H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	m	0.2751	0.0757	1.3735	-	-0.3385	0.2285
	m	H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	0.9395	0.8827	0.4447	-1.4019	-	-
	H ₀ /L ₀	m, H ₀ /d ₅₀	0.2309	0.0533	8.7914	-	-0.2189	-
	H ₀ /d ₅₀	m, H ₀ /L ₀	0.0347	0.0012	22.945	-	-	-0.0406
X _{bb} /H ₀	m, H ₀ /d ₅₀ , H ₀ /wT	-	0.9450	0.8930	0.1730	-1.4246	0.1401	-0.0182
	m, H ₀ /d ₅₀	H ₀ /wT	0.9450	0.8930	0.1939	-1.4238	0.1196	-
	m, H ₀ /wT	H ₀ /d ₅₀	0.9442	0.8915	0.3853	-1.4167	-	0.0934
	H ₀ /d ₅₀ , H ₀ /wT	m	0.0782	0.0061	86.166	-	-0.2820	0.2155
	m	H ₀ /d ₅₀ , H ₀ /wT	0.9395	0.8827	0.4447	-1.4019	-	-
	H ₀ /d ₅₀	m, H ₀ /wT	0.0347	0.0012	22.945	-	-0.0406	-
	H ₀ /wT	m, H ₀ /d ₅₀	0.0104	0.00001	17.859	-	-	-0.0103

Ek Tablo 4'ün devamı

$y = c.x_1^{b_0}.x_2^{b_1}.x_3^{b_2}$								
Boyutsuz Değişken Durumu			Regresyon Katsayıları					
Bağımlı	Bağımsız		r	r ²	c	b ₀	b ₁	b ₂
	Bulunma	Bulunmama						
X _{bb} /d ₅₀	m, H ₀ /L ₀ , H ₀ /wT	-	0.9546	0.9113	36.993	-1.3178	-0.3215	1.1262
	m, H ₀ /L ₀	H ₀ /wT	0.7289	0.5313	1402.4	-1.3438	0.4539	-
	m, H ₀ /wT	H ₀ /L ₀	0.9372	0.8783	117.16	-1.3671	-	0.8904
	H ₀ /L ₀ , H ₀ /wT	m	0.6780	0.4597	677.11	-	-0.4862	1.1525
	m	H ₀ /L ₀ , H ₀ /wT	0.6312	0.3985	458.75	-1.2185	-	-
	H ₀ /L ₀	m, H ₀ /wT	0.2482	0.0616	29648.3	-	0.3044	-
	H ₀ /wT	m, H ₀ /L ₀	0.6187	0.3828	4738	-	-	0.7904
X _{bb} /d ₅₀	m, H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	-	0.9765	0.9535	0.0362	-1.3955	-0.2131	1.2858
	m, H ₀ /L ₀	H ₀ /d ₅₀	0.7289	0.5313	1402.4	-1.3438	0.4539	-
	m, H ₀ /d ₅₀	H ₀ /L ₀	0.9675	0.9360	0.1939	-1.4238	-	1.1196
	H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	m	0.6690	0.4476	1.3735	-	-0.3385	1.2285
	m	H ₀ /L ₀ , H ₀ /d ₅₀	0.6312	0.3985	458.75	-1.2185	-	-
	H ₀ /L ₀	m, H ₀ /d ₅₀	0.2482	0.0616	29648.3	-	0.3044	-
	H ₀ /d ₅₀	m, H ₀ /L ₀	0.6349	0.4031	22.9454	-	-	0.9595
X _{bb} /d ₅₀	m, H ₀ /d ₅₀ , H ₀ /wT	-	0.9675	0.9365	0.1730	-1.4246	1.1401	-0.0182
	m, H ₀ /d ₅₀	H ₀ /wT	0.9675	0.9360	0.1939	-1.4238	1.1196	-
	m, H ₀ /wT	H ₀ /d ₅₀	0.9372	0.8783	117.16	-1.3671	-	0.8904
	H ₀ /d ₅₀ , H ₀ /wT	m	0.6372	0.4060	86.764	-	0.7180	0.2155
	m	H ₀ /d ₅₀ , H ₀ /wT	0.6312	0.3985	458.75	-1.2185	-	-
	H ₀ /d ₅₀	m, H ₀ /wT	0.6349	0.4031	22.9454	-	0.9595	-
	H ₀ /wT	m, H ₀ /d ₅₀	0.6187	0.3828	4738	-	-	0.7904

Ek Tablo 5. X_{bb} için tüm deney ve denklemlerden elde edilen sonuçlar

Deney No	Deney Sonucu	Boyutlu		Boyutsuz		Literatür	
		Denklem 3.1	Denklem 3.2	Denklem 3.3	Denklem 3.4	Denklem 1.5	Denklem 1.9
01	0.80000	0.78495	0.80641	0.66899	0.81052	1.01684	0.62400
02	0.70000	0.60220	0.70240	0.59363	0.70078	1.01684	0.62400
03	1.20000	1.27877	1.44895	1.21937	1.45368	1.52468	1.10400
04	1.05000	1.06095	1.26208	1.05962	1.25686	1.52468	1.10400
05	0.95000	0.88309	1.15400	1.00061	1.15565	1.52468	1.10400
06	1.80000	1.80375	2.03406	1.81372	2.03854	1.92757	1.53600
07	1.70000	1.54865	1.77172	1.55216	1.76253	1.92757	1.53600
08	1.50000	1.34034	1.62000	1.45690	1.62060	1.92757	1.53600
09	1.30000	1.14504	1.50711	1.40533	1.52638	1.92757	1.53600
10	2.90000	2.34538	2.55799	2.43558	2.56181	2.25848	1.92000
11	2.10000	2.05181	2.22808	2.05771	2.21495	2.25848	1.92000
12	1.90000	1.81209	2.03729	1.92181	2.03658	2.25848	1.92000
13	1.85000	1.58734	1.89531	1.84864	1.91818	2.25848	1.92000
14	3.10000	2.80455	2.95285	2.96887	2.95593	2.49408	2.20800
15	2.90000	2.47837	2.57202	2.48448	2.55571	2.49408	2.20800
16	2.25000	2.21202	2.35177	2.31192	2.34990	2.49408	2.20800
17	2.05000	1.96230	2.18788	2.21938	2.21329	2.49408	2.20800
18	3.65000	3.31473	3.34912	3.56732	3.35130	2.72092	2.49600
19	3.25000	2.95232	2.91718	2.95693	2.89755	2.72092	2.49600
20	2.70000	2.65638	2.66737	2.74154	2.66420	2.72092	2.49600
21	4.30000	4.08420	3.87938	4.48049	3.88013	3.01190	2.88000
22	4.00000	3.66714	3.37905	3.66644	3.35478	3.01190	2.88000
23	3.36000	3.32658	3.08969	3.38281	3.08461	3.01190	2.88000
24	3.30000	3.00728	2.87438	3.23214	2.90529	3.01190	2.88000
25	1.40000	1.64383	1.56750	1.31898	1.57179	1.84588	1.10400
26	1.24000	1.40009	1.36534	1.13341	1.35898	1.84588	1.10400
27	1.10000	1.20105	1.24842	1.06416	1.24954	1.84588	1.10400
28	1.94000	2.23129	2.20048	1.84847	2.20417	2.33363	1.53600
29	1.88000	1.94583	1.91668	1.56527	1.90573	2.33363	1.53600
30	1.72000	1.71272	1.75255	1.46066	1.75226	2.33363	1.53600
31	1.50000	1.49417	1.63041	1.40368	1.65040	2.33363	1.53600
32	2.24000	2.83739	2.76728	2.36555	2.76994	2.73425	1.92000
33	2.09000	2.50888	2.41038	1.98123	2.39491	2.73425	1.92000
34	1.93000	2.24063	2.20397	1.84055	2.20204	2.73425	1.92000
35	1.70000	1.98912	2.05038	1.76422	2.07403	2.73425	1.92000
36	1.74000	2.12861	1.40734	1.87785	1.41589	1.80715	0.93553
37	1.70000	1.85043	1.22583	1.76744	1.22419	1.80715	0.93553
38	2.65000	2.88030	2.52871	2.68427	2.53943	2.70970	1.65517
39	2.60000	2.54874	2.20258	2.45021	2.19561	2.70970	1.65517
40	2.55000	2.27800	2.01396	2.36375	2.01879	2.70970	1.65517

Ek Tablo 5'in devamı

Deney No	Deney Sonucu	Boyutlu		Boyutsuz		Literatür	
		Denklem 3.1	Denklem 3.2	Denklem 3.3	Denklem 3.4	Denklem 1.5	Denklem 1.9
41	3.00000	3.67941	3.54983	3.55511	3.56112	3.42571	2.30285
42	2.90000	3.29110	3.09200	3.17187	3.07896	3.42571	2.30285
43	2.70000	2.97401	2.82722	3.03230	2.83101	3.42571	2.30285
44	2.50000	2.67672	2.63020	2.95674	2.66643	3.42571	2.30285
45	5.12000	4.50386	4.46420	4.46625	4.47520	4.01381	2.87856
46	4.80000	4.05700	3.88844	3.91259	3.86928	4.01381	2.87856
47	3.54000	3.34999	3.30769	3.60627	3.35086	4.01381	2.87856
48	5.64000	5.20281	5.15331	5.24762	5.16370	4.43254	3.31034
49	5.00000	4.70631	4.48868	4.53789	4.46456	4.43254	3.31034
50	4.20000	4.30088	4.10430	4.28506	4.10503	4.43254	3.31034
51	5.30000	5.42774	5.09105	5.23012	5.06171	4.83567	3.74213
52	5.25000	4.97727	4.65509	4.91454	4.65408	4.83567	3.74213
53	4.26000	4.55493	4.33068	4.74598	4.38352	4.83567	3.74213
54	6.14000	7.15067	6.77028	7.46242	6.77817	5.35281	4.31784
55	5.90000	6.51583	5.89711	6.26969	5.86044	5.35281	4.31784
56	5.42000	5.99743	5.39212	5.85411	5.38849	5.35281	4.31784
57	5.28000	5.51140	5.01635	5.63335	5.07524	5.35281	4.31784
58	3.20000	3.06496	2.38278	3.39606	2.37399	3.28053	1.65517
59	3.10000	2.76199	2.17874	3.29459	2.18281	3.28053	1.65517
60	4.20000	4.33021	3.84027	4.44375	3.85045	4.14738	2.30285
61	4.10000	3.89568	3.34498	4.02881	3.32912	4.14738	2.30285
62	4.00000	3.54085	3.05854	3.87554	3.06102	4.14738	2.30285
63	4.54000	5.25280	4.82945	5.20137	4.83880	4.85937	2.87856
64	4.50000	4.75274	4.20659	4.63828	4.18365	4.85937	2.87856
65	4.40000	4.34442	3.84636	4.43215	3.84674	4.85937	2.87856
66	2.60000	3.69754	2.84290	3.24230	2.86369	3.73532	1.56000
67	2.50000	3.30793	2.47625	3.09233	2.47596	3.73532	1.56000
68	4.40000	4.75032	5.10812	4.33771	5.13609	5.60086	2.76000
69	4.10000	4.28595	4.44932	4.01977	4.44068	5.60086	2.76000
70	3.30000	3.90676	4.06831	3.90232	4.08307	5.60086	2.76000
71	6.80000	5.86953	7.17084	5.52061	7.20249	7.08083	3.84000
72	5.90000	5.32567	6.24601	5.00005	6.22730	7.08083	3.84000
73	5.40000	4.88158	5.71114	4.81046	5.72581	7.08083	3.84000
74	7.90000	7.30776	9.06737	6.85559	9.02973	9.16191	5.52000
75	6.20000	6.73993	8.29091	6.51215	8.30255	9.16191	5.52000
76	5.54000	5.52859	5.52605	6.31925	5.55338	6.78075	2.76000
77	5.50000	5.00895	4.81335	5.94991	4.80148	6.78075	2.76000
78	7.60000	6.78102	7.75754	7.37305	7.78767	8.57250	3.84000
79	6.30000	6.17242	6.75704	6.80942	6.73325	8.57250	3.84000
80	5.50000	5.67547	6.17841	6.60122	6.19102	8.57250	3.84000

Ek Tablo 6. X_{bt} için tüm deney ve denklemlerden elde edilen sonuçlar

Deney No	Deney Sonucu	Boyutlu		Boyutsuz		Literatür	
		Denklem 3.5	Denklem 3.6	Denklem 3.7	Denklem 3.8	Denklem 1.6	Denklem 1.10
01	1.00000	0.90564	0.94643	0.89233	0.94824	1.93596	1.07114
02	0.90000	0.68253	0.81170	0.85567	0.80698	1.93596	1.07114
03	1.40000	1.45034	1.67818	1.57394	1.68006	2.66475	1.86304
04	1.20000	1.18501	1.43928	1.46201	1.42976	2.66475	1.86304
05	1.10000	0.96977	1.30289	1.41235	1.30266	2.66475	1.86304
06	2.00000	2.02817	2.33786	2.18384	2.33940	3.20607	2.59374
07	1.90000	1.71805	2.00506	1.97199	1.99088	3.20607	2.59374
08	1.60000	1.46648	1.81505	1.88065	1.81390	3.20607	2.59374
09	1.50000	1.23206	1.67495	1.82440	1.69735	3.20607	2.59374
10	3.20000	2.62320	2.92487	2.72316	2.92588	3.63281	3.25756
11	2.60000	2.26696	2.50851	2.39866	2.48999	3.63281	3.25756
12	2.20000	1.97797	2.27079	2.26229	2.26864	3.63281	3.25756
13	2.00000	1.70868	2.09551	2.17943	2.12287	3.63281	3.25756
14	3.60000	3.12685	3.36544	3.12593	3.36594	3.92856	3.76427
15	3.40000	2.73157	2.88636	2.70310	2.86449	3.92856	3.76427
16	2.60000	2.41092	2.61284	2.52878	2.60985	3.92856	3.76427
17	2.30000	2.11212	2.41114	2.42394	2.44215	3.92856	3.76427
18	4.15000	3.68570	3.80623	3.52723	3.80614	4.20775	4.27856
19	3.72000	3.24710	3.26440	2.99483	3.23911	4.20775	4.27856
20	3.10000	2.89131	2.95505	2.77953	2.95117	4.20775	4.27856
21	4.80000	4.52722	4.39425	4.06001	4.39328	4.55883	4.97607
22	4.60000	4.02340	3.76872	3.36496	3.73877	4.55883	4.97607
23	4.00000	3.61469	3.41158	3.09105	3.40641	4.55883	4.97607
24	3.70000	3.23385	3.14823	2.93016	3.18753	4.55883	4.97607
25	1.60000	2.02123	1.85583	1.77951	1.86128	3.56141	1.90443
26	1.40000	1.71165	1.59165	1.64834	1.58399	3.56141	1.90443
27	1.20000	1.46051	1.44082	1.59013	1.44318	3.56141	1.90443
28	2.20000	2.69543	2.58536	2.59323	2.59175	4.28488	2.60998
29	2.04000	2.33359	2.21733	2.32906	2.20564	4.28488	2.60998
30	1.90000	2.04006	2.00720	2.21516	2.00956	4.28488	2.60998
31	1.60000	1.76654	1.85226	2.14501	1.88044	4.28488	2.60998
32	2.60000	3.38969	3.23451	3.37938	3.24150	4.85521	3.24454
33	2.40000	2.97404	2.77407	2.95177	2.75858	4.85521	3.24454
34	2.20000	2.63685	2.51119	2.77206	2.51336	4.85521	3.24454
35	2.00000	2.32266	2.31734	2.66287	2.35186	4.85521	3.24454
36	2.00000	2.48376	1.67365	1.73648	1.67884	3.04702	1.58270
37	1.90000	2.13833	1.43540	1.65419	1.42872	3.04702	1.58270
38	3.20000	3.32710	2.96767	3.06145	2.97449	4.19407	2.79831
39	3.00000	2.91630	2.54522	2.81027	2.53135	4.19407	2.79831
40	2.80000	2.58305	2.30402	2.69882	2.30632	4.19407	2.79831

Ek Tablo 6'in devamı

Deney No	Deney Sonucu	Boyutlu		Boyutsuz		Literatür	
		Denklem 3.5	Denklem 3.6	Denklem 3.7	Denklem 3.8	Denklem 1.6	Denklem 1.10
41	3.30000	4.22173	4.13426	4.24597	4.14183	5.04605	3.93281
42	3.15000	3.74159	3.54573	3.77055	3.52479	5.04605	3.93281
43	3.00000	3.35209	3.20972	3.56557	3.21145	5.04605	3.93281
44	2.60000	2.98914	2.96196	3.43934	3.00510	5.04605	3.93281
45	5.60000	5.14298	5.17232	5.29258	5.18018	5.71770	4.97343
46	5.40000	4.59143	4.43603	4.56435	4.40844	5.71770	4.97343
47	4.00000	3.72708	3.70567	4.07235	3.75847	5.71770	4.97343
48	6.20000	5.92276	5.95141	6.07366	5.95929	6.18318	5.77377
49	5.50000	5.31077	5.10421	5.12476	5.07148	6.18318	5.77377
50	4.60000	4.81432	4.62051	4.73357	4.62065	6.18318	5.77377
51	5.80000	6.10894	5.77274	5.65664	5.73474	6.62261	6.59114
52	5.60000	5.55808	5.22569	5.17349	5.22494	6.62261	6.59114
53	4.60000	5.04477	4.82230	4.88583	4.88922	6.62261	6.59114
54	6.80000	8.09090	7.77076	7.88336	7.77815	7.17517	7.70747
55	6.40000	7.31085	6.66457	6.32356	6.61937	7.17517	7.70747
56	6.00000	6.67807	6.03300	5.70886	6.03094	7.17517	7.70747
57	5.60000	6.08842	5.56730	5.34780	5.64343	7.17517	7.70747
58	3.60000	3.73167	2.81466	3.22841	2.80441	5.60533	2.80617
59	3.40000	3.34285	2.54793	3.09780	2.55511	5.60533	2.80617
60	4.80000	5.25481	4.57192	5.16471	4.58862	6.74400	3.88413
61	4.60000	4.69459	3.92110	4.57187	3.90501	6.74400	3.88413
62	4.40000	4.24014	3.54952	4.31626	3.55787	6.74400	3.88413
63	6.60000	6.32970	5.71988	6.76522	5.73897	7.64165	4.85897
64	6.40000	5.68617	4.90564	5.80560	4.88398	7.64165	4.85897
65	6.00000	5.16413	4.44076	5.40231	4.44982	7.64165	4.85897
66	3.20000	4.35447	3.43769	3.12503	3.45346	5.40244	2.63483
67	3.20000	3.86404	2.94833	2.96770	2.93896	5.40244	2.63483
68	5.50000	5.55181	6.09562	5.50829	6.11869	7.43616	4.75665
69	5.10000	4.96857	5.22789	5.02805	5.20713	7.43616	4.75665
70	3.80000	4.49544	4.73247	4.81496	4.74424	7.43616	4.75665
71	7.80000	6.82198	8.49179	7.63800	8.51998	8.94675	6.77878
72	7.30000	6.14028	7.28297	6.72904	7.25068	8.94675	6.77878
73	6.40000	5.58729	6.59280	6.33713	6.60613	8.94675	6.77878
74	8.50000	8.36815	10.48410	9.10819	10.43230	10.96290	10.13610
75	7.20000	7.66331	9.49057	8.36026	9.50493	10.96290	10.13610
76	6.90000	6.80671	6.74092	6.39031	6.77871	9.93836	4.65694
77	5.70000	6.12620	5.78134	5.82750	5.76882	9.93836	4.65694
78	9.00000	8.28871	9.39077	9.39457	9.43904	11.95730	6.52187
79	7.50000	7.49333	8.05397	8.26110	8.03282	11.95730	6.52187
80	7.30000	6.84811	7.29074	7.77239	7.31874	11.95730	6.52187

Ek Tablo 7. h_{bt} için tüm deney ve denklemlerden elde edilen sonuçlar

Deney No	Deney Sonucu	Boyutlu		Boyutsuz		Literatür	
		Denklem 3.9	Denklem 3.10	Denklem 3.11	Denklem 3.12	Denklem 1.7	Denklem 1.11
01	0.07200	0.06616	0.06831	0.06371	0.06461	0.10333	0.05083
02	0.07000	0.06055	0.06285	0.06898	0.06047	0.12976	0.05083
03	0.10000	0.08839	0.10073	0.08982	0.09657	0.15220	0.08179
04	0.09100	0.08193	0.09267	0.08733	0.09038	0.16873	0.08179
05	0.08700	0.07649	0.08780	0.08624	0.08658	0.20740	0.08179
06	0.11500	0.11126	0.12612	0.11452	0.12185	0.16031	0.11036
07	0.10400	0.10393	0.11603	0.10426	0.11404	0.09811	0.11036
08	0.10000	0.09775	0.10993	0.09747	0.10925	0.12346	0.11036
09	0.07700	0.09177	0.10524	0.09156	0.10553	0.16101	0.11036
10	0.15700	0.13417	0.14681	0.13748	0.14259	0.17694	0.13632
11	0.13400	0.12597	0.13507	0.11966	0.13345	0.19843	0.13632
12	0.12700	0.11905	0.12796	0.10758	0.12784	0.17650	0.13632
13	0.12500	0.11236	0.12250	0.09688	0.12349	0.06268	0.13632
14	0.16500	0.15314	0.16146	0.15533	0.15734	0.15205	0.15613
15	0.16100	0.14421	0.14855	0.13143	0.14726	0.14225	0.15613
16	0.13500	0.13668	0.14073	0.11524	0.14107	0.14225	0.15613
17	0.12500	0.12940	0.13473	0.10089	0.13626	0.14225	0.15613
18	0.18500	0.17377	0.17551	0.17375	0.17153	0.14225	0.17624
19	0.18000	0.16406	0.16148	0.14339	0.16054	0.14225	0.17624
20	0.16200	0.15586	0.15298	0.12296	0.15379	0.14225	0.17624
21	0.21000	0.20415	0.19347	0.19924	0.18972	0.14225	0.20351
22	0.20500	0.19327	0.17800	0.15963	0.17756	0.14225	0.20351
23	0.18500	0.18410	0.16863	0.13337	0.17010	0.14225	0.20351
24	0.18000	0.17523	0.16144	0.11031	0.16430	0.14225	0.20351
25	0.13100	0.13710	0.13348	0.10782	0.13214	0.14225	0.09176
26	0.11700	0.12878	0.12281	0.11183	0.12367	0.14225	0.09176
27	0.11100	0.12177	0.11635	0.11648	0.11847	0.14225	0.09176
28	0.13500	0.16656	0.16713	0.14094	0.16674	0.14225	0.11934
29	0.12750	0.15712	0.15376	0.13942	0.15606	0.14225	0.11934
30	0.11800	0.14915	0.14567	0.14038	0.14950	0.14225	0.11934
31	0.11500	0.14145	0.13946	0.14226	0.14441	0.14225	0.11934
32	0.15300	0.19607	0.19455	0.17212	0.19512	0.14225	0.14415
33	0.14100	0.18550	0.17899	0.16483	0.18262	0.14225	0.14415
34	0.14000	0.17659	0.16957	0.16217	0.17494	0.14225	0.14415
35	0.12400	0.16797	0.16233	0.16097	0.16898	0.14225	0.14415
36	0.11200	0.10222	0.08884	0.09934	0.08438	0.14225	0.04724
37	0.10900	0.09523	0.08174	0.11875	0.07897	0.14225	0.04724
38	0.12000	0.12990	0.13100	0.12736	0.12611	0.14225	0.07895
39	0.11900	0.12186	0.12053	0.13844	0.11803	0.14225	0.07895
40	0.11500	0.11508	0.11418	0.14932	0.11307	0.14225	0.07895

Ek Tablo 7'nin devamı

Deney No	Deney Sonucu	Boyutlu		Boyutsuz		Literatür	
		Denklem 3.9	Denklem 3.10	Denklem 3.11	Denklem 3.12	Denklem 1.7	Denklem 1.11
41	0.12310	0.15839	0.16403	0.15387	0.15914	0.14225	0.10853
42	0.13660	0.14926	0.15091	0.15662	0.14894	0.14225	0.10853
43	0.14900	0.14156	0.14297	0.16137	0.14268	0.14225	0.10853
44	0.11500	0.13412	0.13687	0.16707	0.13782	0.14225	0.10853
45	0.19310	0.18693	0.19093	0.17850	0.18622	0.14225	0.13567
46	0.23660	0.17671	0.17566	0.17315	0.17428	0.14225	0.13567
47	0.12660	0.15976	0.15932	0.17278	0.16127	0.14225	0.13567
48	0.20270	0.21055	0.20999	0.19766	0.20548	0.14225	0.15654
49	0.23300	0.19943	0.19319	0.18578	0.19231	0.14225	0.15654
50	0.22070	0.19004	0.18303	0.18044	0.18423	0.14225	0.15654
51	0.23400	0.22415	0.21001	0.19861	0.20966	0.14225	0.17786
52	0.24300	0.21394	0.19896	0.18873	0.20085	0.14225	0.17786
53	0.15500	0.20407	0.19047	0.18141	0.19401	0.14225	0.17786
54	0.23700	0.27408	0.25162	0.24478	0.24777	0.14225	0.20697
55	0.28500	0.26053	0.23149	0.21604	0.23189	0.14225	0.20697
56	0.22800	0.24911	0.21931	0.19989	0.22214	0.14225	0.20697
57	0.18400	0.23806	0.20995	0.18720	0.21458	0.14225	0.20697
58	0.21000	0.18021	0.15972	0.16474	0.16151	0.14225	0.08472
59	0.21800	0.17148	0.15131	0.18177	0.15473	0.14225	0.08472
60	0.25300	0.22726	0.21736	0.18222	0.21776	0.14225	0.11283
61	0.27350	0.21550	0.19998	0.19435	0.20381	0.14225	0.11283
62	0.27900	0.20558	0.18946	0.20742	0.19524	0.14225	0.11283
63	0.28150	0.26402	0.25302	0.21568	0.25482	0.14225	0.13825
64	0.30850	0.25086	0.23278	0.22162	0.23849	0.14225	0.13825
65	0.32550	0.23975	0.22053	0.23080	0.22847	0.14225	0.13825
66	0.10600	0.13742	0.12380	0.12978	0.11820	0.14225	0.04479
67	0.12900	0.12910	0.11390	0.16128	0.11063	0.14225	0.04479
68	0.12770	0.17044	0.18255	0.15944	0.17666	0.14225	0.07797
69	0.16300	0.16085	0.16795	0.18212	0.16534	0.14225	0.07797
70	0.14800	0.15276	0.15911	0.20321	0.15839	0.14225	0.07797
71	0.19830	0.20441	0.22856	0.18749	0.22292	0.14225	0.10960
72	0.21350	0.19352	0.21028	0.20136	0.20864	0.14225	0.10960
73	0.20770	0.18434	0.19922	0.21597	0.19987	0.14225	0.10960
74	0.22780	0.25334	0.26921	0.23221	0.26940	0.14225	0.16211
75	0.25700	0.24216	0.25504	0.23615	0.25808	0.14225	0.16211
76	0.22100	0.24278	0.24191	0.17987	0.24174	0.14225	0.07975
77	0.22000	0.23043	0.22256	0.20995	0.22625	0.14225	0.07975
78	0.24100	0.28654	0.30289	0.21750	0.30505	0.14225	0.10892
79	0.24650	0.27252	0.27866	0.24129	0.28550	0.14225	0.10892
80	0.24900	0.26069	0.26400	0.26471	0.27350	0.14225	0.10892

Ek Tablo 8. X_{bs} için tüm deney ve denklemlerden elde edilen sonuçlar

Deney No	Deney Sonucu	Boyutlu		Boyutsuz		Literatür
		Denklem 3.13	Denklem 3.14	Denklem 3.15	Denklem 3.16	Denklem 1.44
01	0.80000	0.78495	0.80641	0.66899	0.81052	1.01684
02	3.80000	4.56287	3.80950	3.33847	3.37126	1.34360
03	3.65000	4.43037	3.61781	3.26541	3.36259	1.34360
04	5.00000	5.02899	5.02795	4.25699	4.65016	2.18878
05	4.80000	4.86432	4.77495	4.11250	4.63821	2.18878
06	4.70000	4.72958	4.61776	4.05782	4.63048	2.18878
07	6.10000	5.54450	5.90406	5.17909	5.60164	2.80940
08	6.00000	5.34426	5.60698	4.95686	5.58724	2.80940
09	5.80000	5.18041	5.42241	4.87316	5.57792	2.80940
10	5.60000	5.02651	5.27791	4.82719	5.57042	2.80940
11	6.60000	6.09552	6.58094	6.08291	6.35248	3.24968
12	6.40000	5.85725	6.24980	5.77924	6.33615	3.24968
13	6.20000	5.66230	6.04406	5.66534	6.32559	3.24968
14	6.00000	5.47916	5.88300	5.60289	6.31707	3.24968
15	6.80000	6.57642	7.04387	6.81756	6.87320	3.51111
16	6.50000	6.30497	6.68944	6.44420	6.85553	3.51111
17	6.40000	6.08286	6.46923	6.30458	6.84410	3.51111
18	6.30000	5.87422	6.29684	6.22815	6.83489	3.51111
19	7.40000	7.12431	7.47670	7.60473	7.36501	3.71357
20	7.20000	6.81505	7.10049	7.15350	7.34608	3.71357
21	7.10000	6.56200	6.86675	6.98530	7.33383	3.71357
22	8.20000	7.97532	8.01565	8.74256	7.98374	3.89179
23	8.00000	7.60733	7.61232	8.17338	7.96321	3.89179
24	7.80000	7.30623	7.36173	7.96209	7.94993	3.89179
25	7.60000	7.02340	7.16556	7.84677	7.93923	3.89179
26	5.80000	6.18268	6.11671	6.39618	6.22844	2.39791
27	5.60000	5.93840	5.80893	6.21740	6.21242	2.39791
28	5.40000	5.73852	5.61770	6.14952	6.20206	2.39791
29	6.20000	6.94743	7.18255	7.24648	7.50285	3.21422
30	6.00000	6.65038	6.82113	6.98380	7.48356	3.21422
31	5.90000	6.40732	6.59659	6.88440	7.47108	3.21422
32	5.80000	6.17900	6.42080	6.82969	7.46103	3.21422
33	6.80000	7.76485	8.00600	8.04410	8.50852	3.88222
34	6.70000	7.41139	7.60315	7.69942	8.48665	3.88222
35	6.60000	7.12218	7.35286	7.56938	8.47250	3.88222
36	6.40000	6.85050	7.15692	7.49790	8.46110	3.88222
37	5.10000	5.91213	5.01803	5.07515	4.49704	2.01439
38	5.00000	5.68652	4.76553	4.98524	4.48548	2.01439
39	7.00000	6.70577	6.62301	6.20556	6.20301	3.28152
40	6.80000	6.42539	6.28975	6.02774	6.18707	3.28152

Ek Tablo 8'in devamı

Deney No	Deney Sonucu	Boyutlu		Boyutsuz		Literatür
		Denklem 3.13	Denklem 3.14	Denklem 3.15	Denklem 3.16	Denklem 1.44
41	7.60000	7.58353	7.77707	7.34038	7.47222	4.21199
42	7.50000	7.24258	7.38574	7.06689	7.45301	4.21199
43	7.20000	6.96360	7.14261	6.96388	7.44059	4.21199
44	6.20000	6.70155	6.95227	6.90730	7.43057	4.21199
45	8.00000	8.52173	8.66868	8.45271	8.47379	4.87209
46	7.85000	8.11604	8.23248	8.07898	8.45201	4.87209
47	7.60000	7.47228	7.74933	7.86194	8.42656	4.87209
48	8.80000	9.34056	9.27847	9.35682	9.16840	5.26403
49	8.60000	8.87836	8.81159	8.89733	9.14483	5.26403
50	8.50000	8.50018	8.52152	8.72552	9.12958	5.26403
51	10.4000	9.74685	9.35304	9.77027	9.79918	5.56757
52	10.0000	9.31600	9.04515	9.56326	9.78284	5.56757
53	8.40000	8.91127	8.80412	9.45007	9.76968	5.56757
54	11.4000	11.72240	10.55850	11.72590	10.64980	5.83477
55	11.0000	11.09590	10.02720	11.02540	10.62240	5.83477
56	10.6000	10.58320	9.69716	10.76540	10.60470	5.83477
57	9.40000	10.10160	9.43876	10.62350	10.59040	5.83477
58	10.0000	8.25421	7.65175	9.52024	8.28697	3.59507
59	9.60000	7.91388	7.39986	9.43670	8.27315	3.59507
60	10.2000	9.97226	9.46113	10.78670	10.00830	4.81892
61	10.0000	9.46647	8.98506	10.46340	9.98258	4.81892
62	9.80000	9.05262	8.68929	10.34110	9.96593	4.81892
63	10.2000	11.36410	10.54580	11.76830	11.34980	5.82042
64	10.0000	10.76220	10.01520	11.34410	11.32060	5.82042
65	9.80000	10.26980	9.68548	11.18410	11.30180	5.82042
66	6.60000	7.65219	7.10602	6.75289	6.47033	3.35899
67	6.30000	7.30650	6.74846	6.64670	6.45370	3.35899
68	9.80000	8.86823	9.37884	8.08800	8.92488	5.47194
69	8.50000	8.43863	8.90691	7.87798	8.90194	5.47194
70	7.20000	8.08712	8.61370	7.79850	8.88710	5.47194
71	10.0000	10.21310	11.01310	9.42832	10.75100	7.02350
72	8.70000	9.69073	10.45890	9.10530	10.72340	7.02350
73	7.60000	9.26328	10.11460	898363	10.70550	7.02350
74	12.3000	12.19710	12.47810	11.26720	13.15760	8.77777
75	11.4000	11.61770	12.06730	11.06430	13.13560	8.77777
76	13.4000	11.87810	11.40980	12.97080	11.95400	5.99477
77	13.3000	11.24080	10.83560	12.71100	11.92330	5.99477
78	13.6000	13.87320	13.39790	14.20680	14.39990	8.03555
79	13.0000	13.09820	12.72370	13.82500	14.36290	8.03555
80	11.3000	12.46410	12.30490	13.68050	14.33900	8.03555

Ek Tablo 9. V_{bh} için tüm deney ve denklemlerden elde edilen sonuçlar

Deney No	Deney Sonucu	Boyutlu		Boyutsuz		Literatür	
		Denklem 3.17	Denklem 3.18	Denklem 3.19	Denklem 3.20	Denklem 1.8	Denklem 1.12
01	0.07410	0.08932	0.07490	0.07954	0.05426	0.04304	0.06761
02	0.06460	0.06494	0.06131	0.07254	0.04934	0.02148	0.06761
03	0.12730	0.14950	0.15020	0.14008	0.11822	0.15626	0.21165
04	0.11280	0.11924	0.12295	0.12416	0.10749	0.07800	0.21165
05	0.09700	0.09519	0.10799	0.11832	0.10106	0.05224	0.21165
06	0.18710	0.21599	0.22469	0.21017	0.18554	0.32959	0.40974
07	0.18660	0.17922	0.18393	0.18238	0.16871	0.16453	0.40974
08	0.17890	0.15001	0.16155	0.17237	0.15861	0.11019	0.40974
09	0.14010	0.12331	0.14549	0.16697	0.15091	0.08278	0.40974
10	0.32780	0.28699	0.29496	0.28822	0.25160	0.54574	0.64028
11	0.30500	0.24328	0.24146	0.24571	0.22877	0.27244	0.64028
12	0.27020	0.20855	0.21207	0.23064	0.21509	0.18245	0.64028
13	0.19650	0.17681	0.19099	0.22256	0.20465	0.13707	0.64028
14	0.39530	0.34890	0.34978	0.35866	0.30448	0.74845	0.84682
15	0.36810	0.29914	0.28633	0.30179	0.27685	0.37364	0.84682
16	0.33280	0.25960	0.25149	0.28185	0.26029	0.25022	0.84682
17	0.26100	0.22347	0.22649	0.27123	0.24766	0.18798	0.84682
18	0.41330	0.41940	0.40620	0.44127	0.35995	0.98741	1.08221
19	0.39230	0.36274	0.33251	0.36649	0.32728	0.49293	1.08221
20	0.35020	0.31772	0.29205	0.34057	0.30771	0.33011	1.08221
21	0.56370	0.52881	0.48365	0.57404	0.43759	1.36443	1.44094
22	0.52750	0.46145	0.39592	0.46846	0.39788	0.68114	1.44094
23	0.46960	0.40793	0.34774	0.43243	0.37408	0.45616	1.44094
24	0.37730	0.35903	0.31317	0.41345	0.35592	0.34270	1.44094
25	0.19120	0.24454	0.22238	0.29925	0.21309	0.18731	0.21163
26	0.17500	0.20498	0.18204	0.26606	0.19376	0.09351	0.21163
27	0.15130	0.17355	0.15989	0.25374	0.18217	0.06262	0.21163
28	0.30190	0.33144	0.33267	0.40802	0.33445	0.39509	0.40967
29	0.23820	0.28338	0.27233	0.35557	0.30410	0.19724	0.40967
30	0.23140	0.24520	0.23919	0.33635	0.28591	0.13209	0.40967
31	0.11540	0.21031	0.21541	0.32592	0.27203	0.09923	0.40967
32	0.35000	0.42424	0.43673	0.51796	0.45352	0.65421	0.64014
33	0.33000	0.36711	0.35751	0.44454	0.41237	0.32659	0.64014
34	0.28000	0.32172	0.31400	0.41793	0.38770	0.21872	0.64014
35	0.20000	0.28024	0.28278	0.40355	0.36888	0.16431	0.64014
36	0.08230	0.09134	0.07670	0.06566	0.05702	0.04304	0.04509
37	0.07380	0.06676	0.06279	0.05915	0.05184	0.02148	0.04509
38	0.13620	0.15200	0.15382	0.12197	0.12422	0.15626	0.14116
39	0.12530	0.12149	0.12592	0.10716	0.11295	0.07800	0.14116
40	0.11730	0.09725	0.11060	0.10174	0.10619	0.05224	0.14116

Ek Tablo 9'un devamı

Deney No	Deney Sonucu	Boyutlu		Boyutsuz		Literatür	
		Denklem 3.17	Denklem 3.18	Denklem 3.19	Denklem 3.20	Denklem 1.8	Denklem 1.12
41	0.17500	0.21902	0.23011	0.18717	0.19496	0.32959	0.27327
42	0.15000	0.18196	0.18837	0.16132	0.17727	0.16453	0.27327
43	0.13140	0.15251	0.16545	0.15201	0.16667	0.11019	0.27327
44	0.10260	0.12560	0.14900	0.14699	0.15858	0.08278	0.27327
45	0.26240	0.29060	0.30208	0.25978	0.26438	0.54574	0.42700
46	0.25540	0.24653	0.24729	0.22024	0.24039	0.27244	0.42700
47	0.20090	0.17953	0.19560	0.19871	0.21504	0.13707	0.42700
48	0.33000	0.35301	0.35823	0.32530	0.31994	0.74845	0.56474
49	0.31400	0.30284	0.29325	0.27241	0.29091	0.37364	0.56474
50	0.26790	0.26299	0.25756	0.25386	0.27351	0.25022	0.56474
51	0.32110	0.36696	0.34054	0.33259	0.34390	0.49293	0.72170
52	0.29400	0.32158	0.29910	0.30848	0.32333	0.33011	0.72170
53	0.22310	0.28011	0.26936	0.29570	0.30763	0.24800	0.72170
54	0.45790	0.53437	0.49532	0.52566	0.45980	1.36443	0.96090
55	0.45850	0.46646	0.40548	0.42745	0.41808	0.68114	0.96090
56	0.41520	0.41252	0.35613	0.39393	0.39307	0.45616	0.96090
57	0.28290	0.36321	0.32073	0.37628	0.37399	0.34270	0.96090
58	0.23550	0.20792	0.18644	0.21636	0.20359	0.09351	0.14115
59	0.20080	0.17624	0.16375	0.20490	0.19142	0.06262	0.14115
60	0.40070	0.33541	0.34070	0.34842	0.35143	0.39509	0.27324
61	0.30100	0.28696	0.27890	0.29963	0.31954	0.19724	0.27324
62	0.29370	0.24847	0.24496	0.28175	0.30042	0.13209	0.27324
63	0.45520	0.42896	0.44727	0.45069	0.47655	0.65421	0.42694
64	0.41460	0.37136	0.36614	0.38239	0.43331	0.32659	0.42694
65	0.37260	0.32561	0.32158	0.35763	0.40739	0.21872	0.42694
66	0.09210	0.09296	0.07905	0.05523	0.06070	0.04304	0.02704
67	0.08550	0.06822	0.06471	0.04909	0.05519	0.02148	0.02704
68	0.15160	0.15402	0.15853	0.10838	0.13224	0.15626	0.08465
69	0.13270	0.12331	0.12977	0.09440	0.12024	0.07800	0.08465
70	0.12380	0.09891	0.11398	0.08928	0.11305	0.05224	0.08465
71	0.17390	0.22147	0.23715	0.16990	0.20754	0.32959	0.16386
72	0.14070	0.18417	0.19413	0.14551	0.18871	0.16453	0.16386
73	0.11800	0.15453	0.17050	0.13672	0.17742	0.11019	0.16386
74	0.21390	0.30584	0.30221	0.25033	0.30968	0.37364	0.33863
75	0.20680	0.26572	0.26543	0.23283	0.29116	0.25022	0.33863
76	0.30530	0.25044	0.23471	0.20816	0.23836	0.18731	0.08464
77	0.24470	0.21030	0.19214	0.17903	0.21673	0.09351	0.08464
78	0.42700	0.33861	0.35112	0.30365	0.37411	0.39509	0.16385
79	0.35060	0.28985	0.28743	0.25761	0.34016	0.19724	0.16385
80	0.33330	0.25111	0.25245	0.24073	0.31981	0.13209	0.16385

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Trabzon ili, Yomra ilçesi, Kayabaşı Köyü'nde doğdu. İlkokulu Kayabaşı Köyü İlkokulu, ortaokulu Yomra Ortaokulu ve liseyi Trabzon Lisesi'nde 1989 yılında tamamladı. 1990 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 1994 yılında mezun oldu ve aynı yıl yüksek lisans eğitimine başladı. Ocak 1998'de "Dalga Sapmasının Sayısal Yöntemle Belirlenmesi" adlı tez ile yüksek lisansını tamamlayarak yüksek mühendis ünvanını aldı. Şubat 1998'de Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora çalışmalarına başladı. 1994-1995 yılları arasında serbest statik projeci, 1995-2003 yılları arasında ise Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. İngilizce bilmekte ve Ocak 2004 itibariyle T.C. Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığı'nda çalışmaktadır.