

756068

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KIYIYA DİK KATI MADDE TAŞINIMININ ZAMANSAL DEĞİŞİMİ**

**İnş. Müh. Murat KANKAL**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“İnşaat Yüksek Mühendisi”  
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28.06.2004  
Tezin Savunma Tarihi : 21.07.2004**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ömer Yüksek**

**Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hızır ÖNSOY**

**Jüri Üyesi : Doç. Dr. Ercan KÖSE**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ**

**Trabzon 2004**

## ÖNSÖZ

Belirli tane çapları, taban eğimleri ve dalga şartları altında kıyıda meydana gelen katı madde hareketinin zamansal olarak değişimini belirlemeye yönelik bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır.

Tez danışmanlığımı üstlenerek konu seçimi ve çalışmaların yürütülmesi esnasında yardımlarını esirgemeyen sayın Doç. Dr. Ömer YÜKSEK'e en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Yüksek lisans öğrenimim sırasında tecrübelerinden ve bilgisinden faydalandığım sayın Prof. Dr. Hızır ÖNSOY'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Tezin hazırlanması esnasında bilgi ve birikiminden faydalandığım Dr. Murat İhsan KÖMÜRCÜ'ye ilgisinden ve yardımlarından dolayı şükranlarımı sunuyorum.

Aileme ve aynı evi paylaştığım dostlarım Arş Gör. Jeo. Müh. Enver AKARYALI'ya, Hüseyin ÖMEROĞLU'na, Gökmen POLAT'a ve Abdurrahman BEKAR'a bana verdikleri maddi ve manevi destekten dolayı teşekkür ediyorum.

Murat KANKAL  
Trabzon,2004

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.3. Literatür Taraması.....	2
1.4. Dalga Mekaniği.....	9
1.4.1. Basit Dalga Profili.....	9
1.4.2. Dalga Boyu ve Dalga Hızı.....	10
1.4.3. Derin Deniz Dalgaları.....	11
1.5. Dalgaların Kıyıya Yaklaşırken Uğradığı Değişimler.....	11
1.5.1. Dalga Sığlaşması.....	12
1.5.2. Dalga Kırınımı.....	12
1.5.3. Dalga Yansıması.....	12
1.5.4. Dalga Sapması.....	13
1.5.4.1. Düz Paralel Konturlarda Dalga Sapması.....	13
1.5.4.2. Karmaşık Konturlarda Dalga Sapması.....	14
1.5.5. Dalga Kırılması.....	14
1.6. Kıyının Morfolojik Yapısı.....	15
1.6.1. Kıyı Bölgesinin Tanımı.....	15
1.6.2. Kıyı Hidrodinamik Dengesi ve Katı Madde Kaynakları.....	16
1.6.3. Kumsal Profil Şekilleri.....	17

1.6.3.1.	Normal Profil.....	18
1.6.3.2.	Fırtına Profili.....	18
1.6.4.	Kıyıdaki Katı Maddelerin Fiziksel Özellikleri.....	18
1.6.5.	Katı Madde Taşınımını Etkileyen Faktörler.....	19
1.6.5.1.	Dalgalar.....	19
1.6.5.2.	Akıntılar.....	19
1.6.5.3.	Gel-Gitler.....	19
1.6.5.4.	Rüzgarlar.....	20
1.6.5.5.	Diğer Faktörler.....	20
1.7.	Kıyıya Dik ve Paralel Taşınım.....	20
1.7.1.	Kıyıya Paralel Katı Madde Taşınımı ve Debisi.....	21
1.7.2.	Kıyıya Dik Katı madde Taşınımı ve Debisi.....	23
1.8.	Kıyı Profilinin Gelişimi.....	27
1.9.	Kıyı Denge Profili.....	28
1.9.1.	Giriş.....	28
1.9.2.	Dean'in Kıyı Denge Profili.....	28
1.9.3.	Dean'in Geliştirilmiş Kıyı Denge Profili.....	31
1.9.4.	Eğimli Kıyı Yüzeyinde Genel Denge Profili.....	32
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	34
2.1.	Fiziksel Model Çalışmaları.....	34
2.1.1.	Model Ölçeğinin Belirlenmesi.....	34
2.1.2.	Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi.....	35
2.1.3.	Taban Eğimi.....	35
2.1.4.	Dalga Şartları.....	35
2.1.5.	Model Dalga Kanalı ve Donanımı.....	36
2.1.6.	Deney Süreleri.....	36
2.1.7.	Ölçüm Sistemi.....	37
2.1.8.	Yapılan Deneyler.....	37
2.2.	Çalışma Kapsamında İncelenen Parametreler.....	37
2.2.1.	Bar Hacminin Zamansal Değişimi.....	39
2.2.2.	Katı Madde Taşınım Debisinin Zamansal Değişimi.....	40
2.3.	Regresyon Analizleri.....	41

3.	BULGULAR.....	42
3.1.	Bar Hacminin Zamansal Değişimi.....	42
3.1.1.	$\alpha_1$ İçin Fiziksel Model Bulguları.....	42
3.1.2.	$\alpha_1$ İçin Regresyon Analizleri.....	43
3.2.	Katı Madde Taşınım Debisinin Zamansal Değişimi.....	45
3.2.1.	$\alpha_2$ İçin Fiziksel Model Bulguları.....	45
3.2.2.	$\alpha_2$ İçin Regresyon Analizleri.....	46
3.2.3.	$\alpha_3$ İçin Fiziksel Model Bulguları.....	48
3.2.4.	$\alpha_3$ İçin Regresyon Analizleri.....	48
3.3.	Genel Değerlendirme.....	50
4.	İRDELEME.....	51
4.1.	$\alpha_1$ Katsayısı.....	51
4.2.	$\alpha_2$ Katsayısı.....	52
4.3.	$\alpha_3$ Katsayısı.....	52
4.4.	Genel Değerlendirme.....	53
5.	SONUÇLAR.....	54
6.	ÖNERİLER.....	56
7.	KAYNAKLAR.....	57
8.	EKLER.....	61
	ÖZGEçMİş.....	64

## ÖZET

Kıyı bölgesinde yapılacak olan yapıların projelendirilmesi, kıyı bölgesinin anlaşılabilmesi ve kıyı bölgesinden en iyi şekilde faydalanılabilmesi için bu bölgedeki katı madde taşınım mekanizmasının son derece iyi bilinmesi gerekmektedir. Çok karmaşık yapıya sahip bu bölgede kıyı profillerinin nasıl oluşacağı, dalga yüksekliği, taban eğimi, malzeme çapı ve dalga periyodu vb. parametrelere bağlı olarak belirlenmektedir.

Bu çalışmada, kıyı profilinin denge profiline ulaşma süreci; dalga yüksekliği, tane çapı, taban eğimi ve dalga periyodu dikkate alınarak yapılan fiziksel model çalışması verileriyle incelenmiş ve kıyıya dik katı madde taşınımının zamansal değişimini açıklamada kullanılan  $\alpha$  katsayıları belirlenmeye çalışılmıştır. Fiziksel model verileri kullanılarak yapılan regresyon analizleri ile  $\alpha$  katsayıları için denklemler kurulmuştur.

Çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; dalga mekaniği, katı madde taşınımı ve kıyı denge profili hakkında genel bilgiler ve literatür araştırmaları verilmiştir. İkinci bölümde, yapılan çalışmalar ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Üçüncü bölümde,  $\alpha$  katsayıları için fiziksel model çalışmalarından ve bu çalışmaların verileri kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucu ortaya çıkan denklemlerden elde edilen bulgular verilmiştir. Dördüncü bölümde, fiziksel model verilerinden ve elde edilen denklemlerden bulunan  $\alpha$  katsayılarının karşılaştırılması yapılmış ve  $\alpha$  katsayılarının bağımsız değişkenlere bağlılıkları irdelenmiştir. Beşinci bölümde, çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Altıncı bölümde, yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar ışığında çeşitli öneriler sunulmuştur. Eklerde, bazı deney şartları için kıyı profillerinin zamansal değişimlerinin grafikleri sunulmuştur.

Çalışma sonucunda, kıyı profilinin dengeye ulaşma sürecini belirlemede kullanılan  $\alpha$  katsayıları üzerinde en etkin parametrenin dalga yüksekliği olduğu belirlenmiştir. Dalga yüksekliği ve taban eğiminin artmasının kıyı profilini daha hızlı dengeye ulaştırdığı, malzeme çapı büyüklüğünün ve dalga periyodunun artmasının kıyı profilini daha yavaş dengeye ulaştırdığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımı, Oyulma Profili, Bar Hacmi, Denge Profili, Zamansal Değişim.

## SUMMARY

### Temporal Variation of Cross-Shore Sediment Transport

In order to understand the features of coastal zone and to utilize the coastal 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, the temporal variation cross-shore sediment transport was studied in a physical model and temporal rate coefficients ( $\alpha$ ) were determined by regression analysis.

The study comprises seven chapters and appendices. In the first chapter, general knowledge about wave mechanics, sediment transport and equilibrium beach profile as well as a general literature review are presented. In the second chapter, the performed studies are given. In the third chapter, the results obtained from both experimental studies and regression analysis are presented. In the fourth chapter, the temporal rate coefficients obtained from both experiments regression equations are compared and the dependency of  $\alpha$  values the independent variables are studied. In the fifth chapter, the conclusions of the study are given. In the sixth chapter, the recommendations for future studies are presented. In the appendices, the temporal variations of coastal profiles for selected experiments, are graphically given.

It was concluded that, the wave height was the most important parameter on  $\alpha$  values. It was also concluded that, an increase in wave height and bed slope resulted in increase, and an increase in sediment diameter and wave period resulted in decrease, in the speed at which equilibrium beach profile was attained.

**Key Words:** Cross-Shore Sediment Transport, Erosion Profiles, Bar Volume, Equilibrium Profile, Temporal Variation

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Sünizoidal dalga profili.....	10
Şekil 1.2. Kıyı bölgesi.....	16
Şekil 1.3. Kıyı hidrodinamik dengesi.....	17
Şekil 1.4. Medyan tane çapına ve çökme hızına bağlı olarak A parametresi.....	30
Şekil 2.1. Model dalga kanalı ve kesiti.....	36
Şekil 2.2. Oyulma Profilinin Dengeye Ulaşma Süreci.....	37
Ek Şekil 1. 24 no'lu deney için kıyı profilinin zamansal değişimi.....	61
Ek Şekil 2. 47 no'lu deney için kıyı profilinin zamansal değişimi.....	62
Ek Şekil 3. 75 no'lu deney için kıyı profilinin zamansal değişimi.....	63



## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Kıyıya dik erozyon ve yığılma kriterleri.....	3
Tablo 2.1. Yapılan deneyler.....	38
Tablo 3.1. $\alpha_1$ katsayısı için fiziksel model bulguları.....	42
Tablo 3.2. $\alpha_1$ için m, $d_{50}$ , T ve H bağımsız değişkenlerine göre determinasyon ve regresyon katsayıları.....	43
Tablo 3.3. m, $d_{50}$ ve T bağımsız değişkenlerinin sabit olması durumunda determinasyon katsayıları.....	44
Tablo 3.4. $\alpha_1$ için m, w, T ve H bağımsız değişkenlerine göre determinasyon ve regresyon katsayıları.....	44
Tablo 3.5. m ve T bağımsız değişkenlerinin sabit olması durumunda determinasyon katsayıları.....	45
Tablo 3.6. $\alpha_2$ katsayısı için fiziksel model bulguları.....	45
Tablo 3.7. $\alpha_2$ için m, $d_{50}$ , T ve H bağımsız değişkenlerine göre determinasyon ve regresyon katsayıları.....	46
Tablo 3.8. m, $d_{50}$ ve T bağımsız değişkenlerinin sabit olması durumunda determinasyon katsayıları.....	47
Tablo 3.9. $\alpha_2$ için m, w, T ve H bağımsız değişkenlerine göre determinasyon ve regresyon katsayıları.....	47
Tablo 3.10. m ve T bağımsız değişkenlerinin sabit olması durumunda determinasyon katsayıları.....	48
Tablo 3.11. $\alpha_3$ katsayısı için fiziksel model bulguları.....	48
Tablo 3.12. $\alpha_3$ için m, $d_{50}$ , T ve H bağımsız değişkenlerine göre determinasyon ve regresyon katsayıları.....	49
Tablo 3.13. m, $d_{50}$ ve T bağımsız değişkenlerinin sabit olması durumunda determinasyon katsayıları.....	49
Tablo 4.1. $\alpha_1$ için rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları.....	52
Tablo 4.2. $\alpha_3$ için rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları.....	53

## SEMBOLLER DİZİNİ

$a$	: Dalga genliği
$A$	: Deneysel katsayı
$A^*$	: Deneysel katsayı
$A_t$	: Deneysel katsayı
$A_w$	: Boyutsuz katsayı
$A_{wb}$	: Türbülansın bir fonksiyonu
$b$	: Sapan dalga ortogonalleri arasındaki mesafe, Regresyon katsayıları
$b_0$	: Derin deniz dalga ortogonalleri arasındaki mesafe
$C$	: Dalga hızı
$C_b$	: Belirgin dalga yayılma hızı
$C_g$	: Dalga grup hızı
$C^*$	: Yığılma-erozyon kriteri
$C^{**}$	: Yığılma-erozyon kriteri
$d_{50}$	: Taban malzemesinin medyan apı
$D$	: Her bir hacim başına enerji dağılımı
$D_e$	: Birim hacimdeki dalga enerji yayılmasının denge değeri
$D_{EQ}$	: Denge profili altındaki dağılım
$D_o$	: Iwaghi ve Noda'nın önerdiği yığılma-oyulma kriteri
$e_i$	: i. rölatif hata
$f_w$	: Dalga sürtünme faktörü
$F$	: Sığ sudaki dalga enerji akısı
$F_D$	: Taşınım yönünü belirleyen fonksiyon
$F_0$	: Yığılma-oyulma kriteri için bir tür Froude Sayısı
$g$	: Yerçekimi ivmesi
$G_0'$	: Dean'in önerdiği yığılma-oyulma kriteri
$GWT$	: Ağırlık Dalgaları Tabloları
$h$	: Su derinliği
$h_b$	: Kırılma derinliği
$H$	: Lokal dalga yüksekliliği

$H_b$	: 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
$k$	: Deneysel katsayı
$k_3$	: Sabit
$K$	: Boyutsuz bir katsayı
$K_d$	: Kırınım katsayısı
$K_D$	: Boyutsuz katsayı
$K_r$	: 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
$n$	: Bağımsız değişken sayısı
$N_0$	: Yığılma-oyulma kriteri için Dean sayısı
$P$	: Dalrymple'nin önerdiği yığılma-oyulma kriteri, Enerji akısı, Katı madde taneciklerinin porozitesi
$P_{1s}$	: Belirgin dalga yüksekliğine bağlı enerji akısı
$q$	: Birim hacimdeki katı madde debisi
$q_b$	: Dalga kırılma noktasındaki taşınım miktarı
$q_{xm}$	: Kıyıya dik katı madde taşınım debisi
$q_{x0}$	: Maksimum kıyıya dik katı madde taşınım debisi
$q_{sx}$	: Kıyıya dik yöndeki katı madde taşınım debisi
$q_{sy}$	: Kıyıya paralel yöndeki katı madde taşınım debisi
$Q$	: Katı madde taşınım debisi
$Q_{brüt}$	: Brüt toplam taşınım debisi
$Q_{net}$	: Net toplam taşınım debisi

$Q_{sağ}$	: Sağ yöndeki toplam taşınım debisi
$Q_{sol}$	: Sol yöndeki toplam taşınım debisi
$Q_{max}$	: Maksimum katı madde taşınım debisi
$r$	: Korelasyon katsayısı
$r^2$	: Determinasyon katsayısı
$s$	: Katı madde taneciğinin su içerisindeki özgül ağırlığı, katı maddenin özgül ağırlığı
$S_0$	: Derin (açık deniz) su dalga dikliği
$t$	: Zaman
$T$	: Dalga periyodu
$T_{1/3}$	: Belirgin dalga periyodu
$\tan\beta$	: Taban eğimi
$u_b$	: Taban yörünge hızı
$U_r$	: Ursell parametresi
$V$	: Belli bir zamandaki bar hacmi
$V_{bh}$	: Bar hacmi
$V_{eq}$	: Denge bar hacmi
$y$	: Bağımlı değişken
$w$	: Çökme hızı
$x$	: Yatay eksen boyunca alınan mesafe, Bağımsız değişken
$\eta$	: Dalga profilinin durgun suya göre düşey mesafesi
$\alpha$	: Deneysel katsayı, Sapan dalga cephelerinin kıyı çizgisiyle yaptığı açı
$\alpha_1$	: Deneysel katsayı
$\alpha_2$	: Deneysel katsayı
$\alpha_3$	: Deneysel katsayı
$\alpha_0$	: Hsu'nun kullandığı başlangıç dalga açısı
$\alpha_b$	: Kırılma anındaki dalga açısı
$\theta_b$	: Kırılma anındaki dalga açısı
$\xi_0$	: Düzenlenmiş Iribarren sayısı
$\rho$	: Suyun özgül kütlesi
$\psi_c$	: Katı madde taşınımının başladığı kritik Shields parametresi
$\psi_m$	: Shields parametresi

- $\gamma$  : Kırılma indisi, Suyun özgül ağırlığı  
 $\gamma_s$  : Katı madde taneciklerinin özgül ağırlığı  
 $\tau$  : Taban kayma gerilmesi  
 $\tau_{cr}$  : Hareket başlangıcındaki kayma gerilmesi  
 $\varepsilon$  : Deneysel katsayı, dalga kırılması nedeniyle oluşan birim hacimdeki enerji yayılması  
 $\kappa$  : Kırılma indisi  
 $\beta$  : Başlangıç (düzeltilmiş) kıyı profilinin yatayla yaptığı açı  
 $\sigma'$  : Katı maddenin batık özgül ağırlığı



# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Dünyada bir çok alanda meydana gelen hızlı değişimlere paralel olarak, kıyılara olan ilgi ve kıyıların kullanımını her geçen gün artmaktadır. Bu gelişmeler sonucunda, kıyı ve liman mühendisliğinde önemli ilerlemeler kaydedilmekte, kıyı ile ilgili yapılan çalışmalar bilimsel verilere dayandırılmaktadır.

Genelde kıyı yapıları, çok karmaşık bir yapıya sahip olan yakın kıyı bölgesindeki kıyı tabanına oturmaktadır. Bu bölge içerisinde, özellikle kumsal kıyılarda, kıyı tabanını oluşturan malzemeler çeşitli yönlerde hareket etmektedir. Bu nedenle, kıyıda yapılacak olan çalışmaların tümünde, yapı ile kıyı arasındaki etkileşimin çok iyi bilinmesi gerekmektedir.

Kıyılarda bilinçsizce yapılan yapılar, çeşitli nedenlerle görevlerini tam olarak yerine getirememektedir. Deniz tabanında meydana gelen katı madde hareketlerinin iyi irdelenmemesi nedeniyle, liman ve barınaklarda kumlanma meydana gelmekte ve sonuçta kullanım zorlukları oluşmaktadır. Ayrıca, kıyı bölgesinde yapılacak çeşitli yapılarla, daha geniş bir kullanım alanı oluşturularak hem sosyal hem de ekonomik açıdan kıyıların daha etkin kullanılması sağlanabilir.

Rüzgarların etkisiyle oluşan dalgalar, kıyıda meydana gelen katı madde hareketinde başlıca etkidir. Bu nedenle, dalga mekaniğinin iyi anlaşılması ve kıyıda meydana gelen hareketlerin bu bilgiler ışığında yorumlanması gerekmektedir.

Dünyamız hem görüntü hem de çevresel olarak hızla kirlenmektedir. Kıyılar bu kirlenmenin en yoğun yaşandığı bölgelerin başında gelmektedir. Bu sebeple, kıyılarda doğal dengeye uygun tasarımlı yapıların yapılması, çeşitli nedenlerle kirlenen suların ve katı atıkların kıyılardan uzak tutulması gerekmektedir.

## 1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

8500 km'lik deniz kıyısına sahip ülkemizin bir çok bölgesinde kıyıların korunması ve yeni kumsal alanlarının oluşturulması istenmektedir. Bunun için yapılacak olan kıyı yapıları, çeşitli yönlerde malzeme taşınımının olduğu hareketli tabanlara oturmaktadır. Yapıların maliyeti ve emniyeti açısından, özellikle kıyıya dik katı madde taşınımı ve bu taşınımın zamansal değişimi çok önemlidir. Kıyı profilinin zamanla değişmesi, yapının stabilite sorunları yaşamasına ve ekonomik ömrünün kısılmasına neden olmaktadır.

Yapılan bu çalışmanın amacı; dalga yükseklik ve periyodunu, taban eğimini ve tabandaki malzemenin çapını (veya çökme hızını) dikkate alarak, kıyıya dik katı madde hareketinin zamansal değişimini ve bu hareket sonucunda oluşan oyulma profilinin denge profiline ulaşma sürecini irdelemektir.

Konuyla ilgili literatür çalışması yapılarak, kıyıya dik katı madde taşınımı ve denge profiline ulaşma süreci ile ilgili bilgiler araştırılmıştır. Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarı iki boyutlu dalga kanalında Dr. Murat İhsan KÖMÜRÇÜ tarafından yapılan fiziksel model çalışmalarından ilgili parametrelere yönelik veriler elde edilmiştir. Literatürde var olan, kıyıya dik katı madde taşınım debisinin zamanla azalmasını ve bar hacminin zamanla artmasını tanımlayan en iyi matematiksel modeller seçilmiştir. Bu matematiksel modellerdeki ilgili katsayılar fiziksel model verileri kullanarak belirlenmiştir. Belirlenen katsayıların regresyon analizleri yapılmış bağımsız değişkenlere bağlı olarak denklemleri kurulmuştur. Fiziksel model verileri ve bulunan denklem sonuçları karşılaştırılarak irdelenmiştir.

## 1.3. Literatür Taraması

Konu kapsamındaki literatür çalışmaları özetlenerek aşağıda verilmektedir:

Kraus vd. [1], dalgaların etkisi sonucu ortaya çıkan kıyıya dik taşınımında, kıyının oyulma veya yığılma profili oluşumlarını tahmin etmek için kullanılan basit kriterlerin yeterliliğini sınamıştır. Çalışmada arazi ölçüm verileri ve laboratuvar verileri kullanılmıştır. Bu araştırmada incelenen boyutsuz kriterler Tablo 1.1'de sunulmaktadır.

Tablo 1.1 Kıyıya dik erozyon ve yığılma kriterleri

Profil Kriterleri	
$D_0=H_0/d_{50}$	Iwaghi ve Noda
$G_0'=(\pi \cdot w)/(g \cdot T)$	Dean
$N_0=H_0/(w \cdot t)$	Dean sayısı
$S_0=H_0/L_0$	Derin su dalga dikliği
$F_0=w/(g \cdot H_0)^{0.5}$	Bir tür Froude sayısı

Yukarıda belirtilen Dean sayısına bağlı olarak kıyı profilleri davranışı şu şekilde tahmin edilmektedir:

$N_0 < 2.4$  ise büyük bir olasılıkla yığılma,

$N_0 < 3.2$  ise yığılma olası,

$N_0 \geq 3.2$  ise oyulma olası,

$N_0 > 4.0$  ise büyük bir olasılıkla oyulma,

Dean sayısı ve dalga dikliğine bağlı olarak yapılan tahminler şu şekildedir:

$S_0 > 0,00014$   $N_0^3$  ise büyük bir olasılıkla yığılma,

$S_0 > 0,00027$   $N_0^3$  ise yığılma olası,

$S_0 \leq 0,00027$   $N_0^3$  ise oyulma olası,

$S_0 < 0,00054$   $N_0^3$  ise büyük bir olasılıkla oyulmadır.

Kömürcü vd. [2], değişik dalga şartları (6.5, 11.5, 16 ve 23 cm yükseklik ve 1.46 ve 2.03 sn periyotlu dalgalar) altında kıyıya dik taşınım mekanizmasının kıyı profilleri üzerinde oluşturduğu etkileri fiziksel model deneyleri ile araştırmışlardır. Deneylerde, 1/25



taban eğimi, 0.18 ve 0.33 mm ortalama tane çaplı malzeme kullanılmıştır. Çalışmada yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin, var olan formüllerle uygun olup olmadığı incelenmiş ve varsa farklılıklarının nedenleri ortaya konmuştur. 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. [3], malzeme ortalama tane 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 sn) 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 azalma 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 [4], düzenli ve düzensiz dalgalar etkisinde kıyı oyulma geometrisini araştırmışlardır. Deneylerde ortalama tane çapı 0.35 mm olan doğal kıyı kumu kullanmışlardır. Kıyı başlangıç taban eğimi olarak 1/5 seçmişlerdir. Deneylerde kıyı oyulma profilinin oyulma uzunluğu, oyulma derinliği, maksimum oyulma noktasının yeri ve toplam oyulma alanı gibi karakteristiklerini incelemişlerdir. Kıyı oyulmasını yöneten en önemli parametreleri, deneysel sonuçları ve daha önce yapılan araştırmaları dikkate alarak, belirlemişlerdir. Düzenli yada düzensiz dalga tiplerinin ve su derinliğinin kıyı oyulmasının geometrik karakterlerini açıklamada etkili olmadığı sonucuna varmışlardır.

Hsu [5], fırtına kıyı profillerinin geometrik karakteristikleri ile kıyı eğimi, kırılan dalga açısı ve dalga dikliği faktörleri arasındaki ilişkiyi yenilenmiş Iribarren sayısı ile tanımlamıştır. Deneyler üç boyutlu havuzda (16 m boyunda, 12 m genişliğinde, 0.7 m derinliğinde), iki farklı başlangıç eğimi (1/16 ve 1/25), 0.15 mm ortalama tane çapına sahip ince kömür tozu ile yapılmıştır. İki gelen dalga açısıyla ( $0^\circ$  ve  $30^\circ$ ), fırtına profili oluşturacak birkaç dalga dikliği seçilmiştir.

Yapılan teorik analizler sonucu; boyutsuz katı madde taşınım debisi:

$$q^* = \frac{q}{H^2/T} = k_3 \frac{\tan \beta}{\sqrt{H/L_0}} \cos \theta_b = k_3 \xi_0 \quad (1.1)$$

şeklinde elde edilmiştir. Denklemden;  $q$  birim hacim katı madde debisinin (birim zaman ve birim genişlikte),  $H$  lokal dala yüksekliğini,  $\tan \beta$  taban eğimini,  $\theta_b$  kırılma anındaki kırılma açısını,  $k_3$  sabiti,  $\xi_0$  düzenlenmiş Iribarren sayısını temsil etmektedir. Çalışmacı tarafından, fırtına profilindeki bütün değişimi hesaplamak için, denklemden  $H$  yerine  $H_0$  yazılmasının uygun olduğu belirtilmiştir.

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.

Silvester ve Hsu [6], literatürde var olan büyük dalga tanklarında gerçekleştirilmiş deney verilerini kullanarak kıyı profil parametrelerini belirlemiştir. Değerlendirmeye alınan 20 adet deneyde periyodu 3-16 sn, dalga yüksekliği 0.74-1.8m, kıyı eğimi 1:50-1:4 ve kullanılan malzeme tane çapı 0.22-0.47 m arasında değişen şartlar kullanılmışlardır. Çalışmada elde ettikleri eşitliklerin bazıları aşağıda verilmiştir:

Bar hacmi için elde edilen eşitlik şu şekildedir:

$$V_{bh}/(H_0.L_0) = 160.(H_0.L_0).\tan\beta + 11,560.[(H_0.L_0).\tan\beta]^2 \quad (1.2)$$

Çökme hızı, dalga yüksekliği ve periyoda bağlı olarak kıyı profilinin bar veya berm oluşundaki sınır şu şekilde ifade edilmiştir:

$$H_b/(w.T) \quad (1.3)$$

$H_b/(w.T) > 4,1$  ise bar profili,

$H_b/(w.T) < 4,1$  ise berm profili oluşmaktadır.

Larson [7], düzensiz dalgalar etkisi altında kumsal profilinin değişimi 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. İrdeme 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 dalgalarla oluşan değişimlerin iyi temsil edilmemesi gösterilmiştir. Ayrıca model, yığılma şartlarında, erozyon şartlarındaki kadar başarılı olamamıştır.

Larson vd. [8], kıyı denge şartlarını belirleyen, kırılan dalga etkisinde hesaplanmış bir teorik model ile kırılmış dalga etkisinde hesaplanmış üç teorik model incelemiştir. Elde edilen arazi ve laboratuvar verileri bu modeller aracılığıyla karşılaştırılmıştır. Laboratuvar verileri büyük ölçekli dalga kanalında gerçekleştirilen deneylerden elde edilmiştir. Arazi verileri ise Amerika Birleşik Devletleri'nin farklı bölgelerinde yapılan ölçümlerden elde edilmiştir. Laboratuvar ve arazi verilerinin karşılaştırılması, teorik modellerin büyük su derinliklerinde ölçülen profilleri iyi açıkladığını ortaya koymaktadır.

Dalrymple [9], daha önce Larson ve Kraus'un bulduğu, düzenli dalgalarla büyük ölçekli dalga tanklarında yapılan deney sonuçlarını kullanarak elde edilen, dalga ve katı madde özelliklerini kapsayan, fırtına ve normal profillerini birbirinden ayrılabilen iki boyutsuz parametreyi, mevcut sonuçları yeniden düzenleyerek tek parametreye düşürmeyi amaçlamıştır. Kraus ve Larson tarafından gerçekleştirilen büyük dalga tankı deneyleri toplam 32 adettir. Deneylerde dört farklı tane çapı (0.22, 0.27, 0.40 ve 0.47mm), 3 ile 16 sn arasında değişen 16 farklı periyot ve 0.44 ile 1.78 arasında değişen farklı dalga yükseklikleri kullanılmıştır. Normal ve fırtına profilini birbirinden ayrılması boyutsuz parametre yardımıyla şu şekilde belirlenmiştir:

$$P = \frac{g H_0^2}{w^3 T} \quad (1.4)$$

$$P = \frac{g H_0^2}{w^3 T} > 10400 \quad \text{oyulma profili (Kraus ve Larson'a ait bulgular için)}$$

$$P = \frac{g H_0^2}{w^3 T} > 9000 \quad \text{oyulma profili (Dean'e ait bulgular için)}$$

$$P = \frac{g H_0^2}{w^3 T} < 10400 \quad \text{yığılma profili (Kraus ve Larson'a ait bulgular için)}$$

$$P = \frac{g H_0^2}{w^3 T} < 9000 \quad \text{yığılma profili (Dean'e ait bulgular için)}$$

Dean ve Kraus ve Larson'un kullandığı veriler birbiriyle aynı olduğundan çıkan sonuçlar birbirine çok yakın olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışma, büyük dalga tankı verileri kullanılarak normal ve fırtına profilini birbirinden ayırabilen, derin deniz dalga karakteristiklerine dayanan tek bir parametre olabileceğini ortaya koymaktadır.

Kriebel vd. [10], kıyı profillerindeki değişimi incelemişlerdir 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.

Larson ve Kraus [11], büyük dalga tanklarında düzenli dalgalarla yapılmış deneysel verileri kullanarak, oyulma ve yığılma profilinin kriterlerini belirlemişlerdir. Aynı zamanda bar ve berm parametreleri içinde formüller önermişlerdir. Bazı bar parametreleri için önerilen formüller aşağıda verilmiştir:

Bar hacmi ( $V_{bh}$ ) için önerilen eşitlik şu şekildedir:

$$V_{bh} = 0,088 \cdot H_0^{2.26} \cdot w^{-1.36} \cdot T^{0.55} \quad (1.5)$$

Bar hacminin zamansal değişimi belirlemek için önerilen eşitlik şu şekildedir:

$$V = V_{eq} \cdot (1 - e^{-\alpha t}) \quad (1.6)$$

Burada  $t$  zaman,  $\alpha$  ise ampirik bir katsayıdır.  $\alpha$  ile dalga ve kıyı profil elemanları arasında yapılan korelasyon çoğunlukla düşük olarak çıkmaktadır (korelasyon katsayısı

0.5'ten küçük). Mantıksal olarak,  $\alpha$ 'nın çökme hızıyla artmasının, dalga periyodu ve dalga yüksekliği ile azalmasının beklendiğini belirtmişlerdir. Büyük dalga yükseklikleri için, katı maddenin daha uzağa taşınacağını, dolayısıyla daha fazla zaman alacağı için küçük  $\alpha$  değerlerinin oluşacağını belirtmişlerdir.

Zheng ve Dean [12], kıyıda bulunan katı madde hareketinin sebebini, kıyının denge halinden sapması olarak göstermişler ve bu teoriye dayanan bir kıyıya dik katı madde taşınım modeli önermişlerdir. Doğrusal olmayan bu modeli, doğrusal modellerle ve bu konuda geliştirilmiş diğer modellerle karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırmayı iki büyük fırtınada ölçülen arazi verileri ve laboratuvar verilerini kullanarak yapmışlardır. Çalışmacılar tarafından geliştirilmiş bu model, kıyı yığılmasını dikkate almamış ve sadece kıyı oyulmasına yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmacılar bu modelin kıyı erozyonunun tahmini konusunda çok iyi sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır.

Sawaragi [13], kıyı deformasyonunun tahmininde ve kıyı ve açık deniz yapılarının tasarımında dış kuvvetlerin tam olarak etkisini belirlemek için dalga karakteristiklerini anlamaya ve açığa kavuşturmaya çalışmıştır. Kıyıya dik katı madde taşınımının geçen zamanın artmasıyla azalacağını ve kıyı profilinin dengeye ulaşacağını belirtmiştir. Maksimum kıyıya dik katı madde taşınım debisinin ( $q_{xm}$ ) azalmasını şu şekilde ifade etmektedir:

$$q_{xm}(t) = q_{x0} \cdot \exp(-A_t \cdot t/T) \quad (1.7)$$

Burada  $q_{x0}$ ,  $t/T=0$  (başlangıç) anındaki maksimum katı madde taşınım debisi ve  $A_t$  ise bir katsayıdır. Bir çok araştırmacının yaptığı deneysel sonuçlar kullanılarak  $A_t$  katsayısının belirlenmesinde  $N_s (=H_0/(T \cdot \sigma' \cdot g \cdot d_{50})^{1/2})$  değeri kullanılmıştır. Burada  $\sigma'$  katı maddenin batık özgül ağırlığı olarak ifade edilmektedir. Deneysel sonuçlar  $A_t$  ve  $N_s$  için grafik olarak verilmiştir.  $N_s$  değerinin 0.3'ten 1.3'e çıkması  $A_t$  değerinin  $2.5 \cdot 10^{-6}$ 'dan  $2.0 \cdot 10^{-4}$ 'e çıkmasına neden olmaktadır. Kıyıda yığılma olaylarında değerler oyulma olaylarındaki değerlerden fazla çıkmaktadır. Bu ise, yığılma olaylarında dengeye ulaşma hızının oyulma olaylarındakinden daha çabuk olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, kıyının aynı dalga şartlarına uzun süre maruz kaldığında dengeye ulaşacağı, ancak doğada sürekli olarak yeni denge şartlarının oluştuğu ve bu nedenle doğada denge profiline rastlanmadığı belirtilmektedir.

Tokgöz [14], kıyıya dik katı madde taşınımının, belirlenen dalga şartları altında nasıl gerçekleştiğini fiziksel model çalışmalarıyla araştırmıştır. Bu modelde 0.33 mm çaplı malzeme, 1/25 sabit eğim, 6.5, 11.5, 16 ve 23 cm dalga yükseklikleri ve 1.46 ve 2.03 sn'lik dalga periyotları kullanılmıştır. Fiziksel model çalışmasının sonuçları literatürdeki ilgili sonuçlarla değerlendirilmiş ve aralarında bazı farklılıkların olduğu belirlenmiştir.

Kukul [15], değişik dalga şartları altında kıyıya dik taşınım mekanizmasının ne tür kıyı profilleri oluşturduğunu araştırmıştır. Yapmış olduğu fiziksel model çalışmasında taban eğimini 1/25 ve ortalama tane çapını da 0.18 mm olarak seçmiştir. Deneysel 6.5, 11.5, 16 cm olmak üzere üç farklı dalga yüksekliği ve 1.46 ve 2.03 sn olmak üzere iki farklı dalga periyodu kullanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen profil verilerinin, formüllerle teorik olarak belirlenen profillere uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Sonuç olarak, yapılan deneylerden elde edilen bulguların, literatürde önerilen yöntemler ve formüllerle genelde bir uyum içerisinde olduğu saptanmıştır.

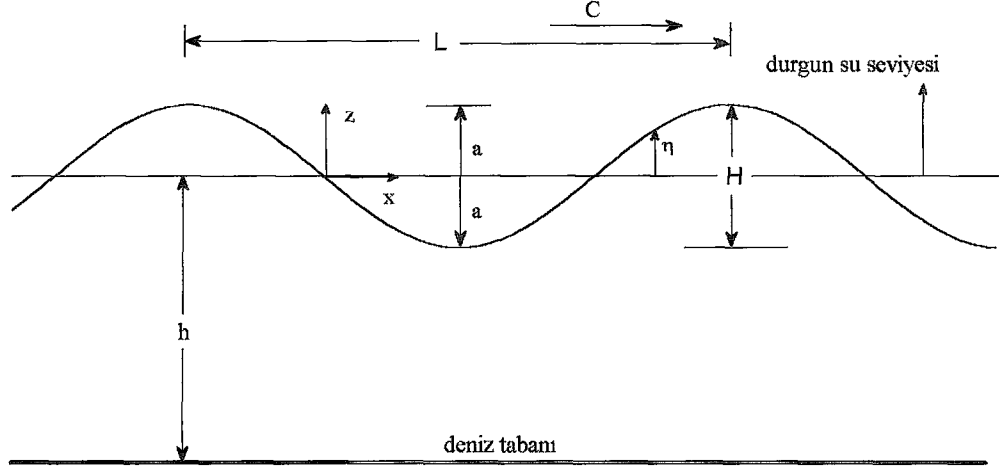
Kömürcü [16] çeşitli dalga şartlarını, taban eğimlerini ve tabandaki malzeme özelliklerini dikkate alarak kıyıya dik katı madde hareketini incelemeye ve bu hareket sonucunda oluşan erozyon profilindeki bar parametrelerini belirlemeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bunun için oluşturulan fiziksel modelde, ortalama tane çapları 0.18, 0.26, 0.33 ve 0.40 mm olan dört farklı malzeme (kum), 1/10, 1/15 ve 1/25 değerinde üç farklı taban eğimi, 1.46 ve 2.03 sn olmak üzere iki farklı periyot ve 6.5 cm ile 30 cm arasında değişen yedi farklı dalga yüksekliği kullanılmıştır. Fiziksel model verileri kullanarak 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 ağları (YSA) modeliyle de irdelenmiş ve ilgili parametreler belirlenmiştir. İrdelenen tüm parametreler için yapay sinir ağları model tekniğinin daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır.

## **1.4. Dalga Mekaniği**

### **1.4.1. Basit Dalga Profili**

Dalga problemlerini çözmeye teorik bir dalga formu kullanılmaktadır. İdealize edilmiş bu dalga profiline, sinüs fonksiyonu ile aynı yapıda olduğundan sinüzoidal dalga ismi verilmektedir. Dalga profili zamanın ve yerin bir fonksiyonudur ve değişik su

seviyelerindeki dalga profilini, su yüzeyinin düşey hareketini belirlemektedir. Sinüzoidal dalga profili, Şekil 1.1’le verilmektedir.



Şekil 1.1. Sinüzoidal dalga profili

Sinüzoidal dalga profili Denklem 1.8’de verilmiştir.

$$\eta = a \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \left[\frac{x}{L} - \frac{t}{T}\right]\right) \quad (1.8)$$

Denklemden,  $\eta$  dalga profilinin durgun suya göre düşey mesafesini,  $x$  yatay eksen boyunca alınan mesafeyi,  $T$  dalga periyodunu ve  $L$  de dalga boyunu göstermektedir.

#### 1.4.2. Dalga Boyu ve Dalga Hızı

Dalga boyu, periyodu, su derinliği ve dalga hızı arasındaki ilişkiler Denklem 1.9 ve 1.10’da verilmiştir.

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh\left[\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right] \quad (1.9)$$

$$C = \frac{L}{T} \quad (1.10)$$

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

$$C = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh \left[ \frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L} \right] \quad (1.11)$$

### 1.4.3. 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 [17]:

$$h = 0.5 \cdot L_0 \quad (1.12)$$

Denklemdaki, açık deniz dalga boyu Denklem 1.13 ile verilebilir. Denklemden h ve  $L_0$ , metre (m); T ise saniye (s) boyutundadır.

$$L_0 = 1.56 \cdot T^2 \quad (1.13)$$

### 1.5. 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 sapmadır (refraction).



### 1.5.1. 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 [18]:

$$K_s = \frac{H}{H_0} = \left[ \tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right) \right]^{-0.5} \left[ 1 + \frac{4 \cdot \pi \cdot h / L}{\sinh(4 \cdot \pi \cdot h / L)} \right]^{-0.5} \quad (1.14)$$

Denklemden, H dalga yüksekliği,  $K_s$  ise sığlaşma katsayısıdır.  $K_s$  katsayısı,  $h/L_0$  değerine bağlı olarak Ağırılık Dalgaları Tabloları (GWT)'den de bulunabilir [3], [19].

### 1.5.2. 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 [20]. Bir engelle gelen H yüksekliğindeki dalga, engelin arkasında belli bir noktadaki dalga yüksekliği  $H_d$  ise, kırınım katsayısı  $K_d$  aşağıdaki denklemle hesaplanabilir:

$$K_d = \frac{H_d}{H} \quad (1.15)$$

### 1.5.3. 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 çakışması ile büyük çalkantılar meydana gelmektedir. Yansımaya katsayısı,

$$K_y = \frac{H_y}{H} \quad (1.16)$$

şeklindedir.

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

#### 1.5.4. 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 [21, 22, 23].

##### 1.5.4.1. 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 Snell Kanunu uygulaması yapılarak hesaplanır.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0} = \frac{C}{C_0} \quad (1.17)$$

Denklem 1.17'dan dalga sapmasının yönü,

$$\alpha = \arcsin \left[ \frac{C}{C_0} \sin \alpha_0 \right] = \arcsin \left[ \frac{L}{L_0} \sin \alpha_0 \right] \quad (1.18)$$

denklemlerle belirlenebilir. Sapma katsayısı ise;

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \quad (1.19)$$

denklemlerle hesaplanabilir. Denklemlerde;  $K_r$  sapma katsayısını,  $\alpha_0$  ve  $\alpha$  sırasıyla derin deniz ve sapan dalga cephelerinin kıyı çizgisiyle yaptığı açığı,  $b_0$  ve  $b$  sırasıyla derin deniz ve sapan dalga ortogonalleri arasındaki mesafeyi göstermektedir.

#### 1.5.4.2. 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, Snell Kanunu'ndan yararlanılarak yaklaşık hesap yapan grafik yöntemler geliştirilmiştir. Bu durumlarda sapma hesabı başlıca iki yöntemle yapılmaktadır; bunlar, dalga cephesi ve ortogonal yöntemleridir [22]. Bu yöntemler dışında sayısal yöntemlerle de karmaşık konturlar için dalga sapması hesabı yapılabilmektedir [22, 23].

#### 1.5.5. 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 dalga yüksekliğinin su derinliğine oranına da kırılma indisi ( $\gamma$ ) adı verilmektedir. Kırılma indisini bulabilmek için deneysel ve teorik çalışmalardan çeşitli denklemler elde edilmiştir [24].

$$\gamma = \frac{H_b}{h_b} = b - a \frac{H_b}{gT^2} \quad (1.20)$$

$$a = 43.75 \cdot (1 - e^{-19m}) \quad (1.21)$$

$$b = \frac{1.56}{1 + e^{-19.5m}} \quad (1.22)$$

$$H_b = \left(\frac{H'_0}{T}\right)^2 + 0.8 \cdot m^{0.125} \cdot T^{0.5} \cdot (H'_0)^{0.75} + 0.785 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \quad (1.23)$$

$$H'_0 = K_s \cdot K_r \cdot H_0 \quad (1.24)$$

Denklemlerde, m taban eğimini göstermektedir.

## 1.6. Kıyının Morfolojik Yapısı

### 1.6.1. 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 sönmürlükler. Kıyı bölgesindeki meteorolojik şartlara bağlı olarak, yumuşak kıyılarda mevsimlik, aylık ve hatta günlük olarak değişimler gözlenebilir. Yumuşak kıyıları oluşturan malzeme, kum, çakıl, silt vb. katı maddelerden oluşabilir ve genel olarak plaj veya kumsal olarak isimlendirilir. Bir kıyı profilindeki belli başlı bölgeler şunlardır [25]:

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

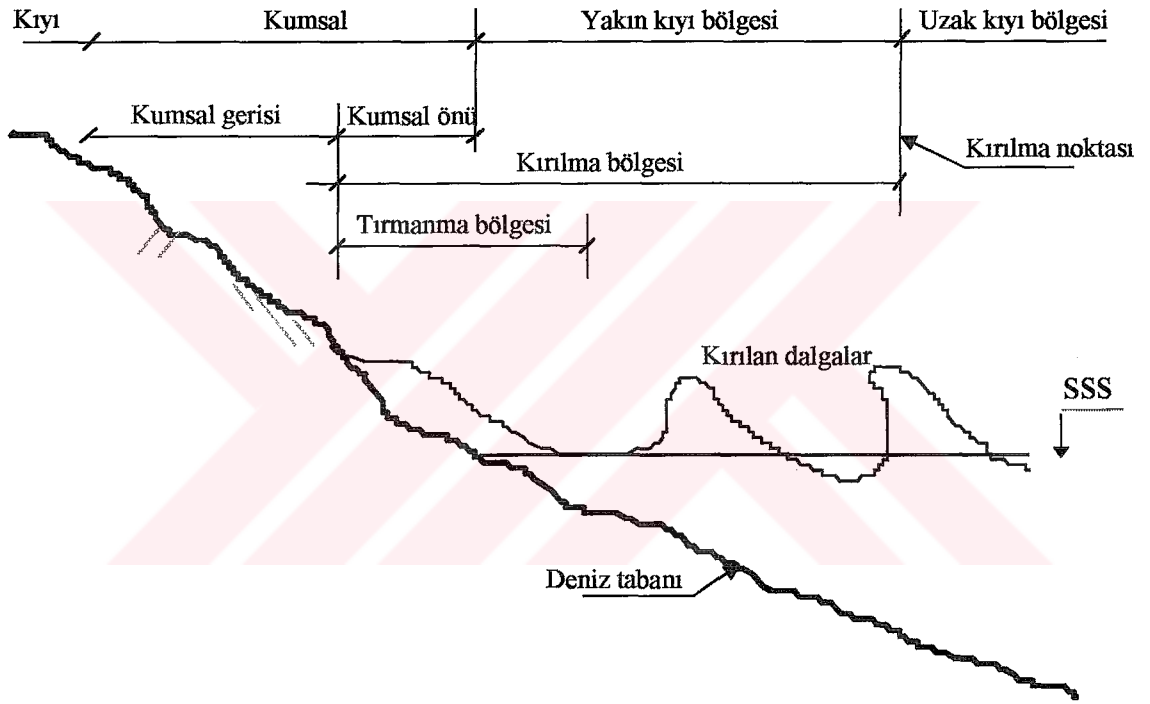
Uzak kıyı bölgesi; kırılma noktası ile, derin deniz sınırı arasındaki bölge (derin deniz sınırı, su derinliğinin dalga boyunun yarısının eşit olduğu yerdir ve deniz tabanı,

dalgalardan bu noktadan itibaren etkilenmeye başlar). Bu bölgedeki katı madde taşınımında asıl etmen, dalgalarının yol açtığı yörüngesel harekettir.

Kumsal; saikin 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.

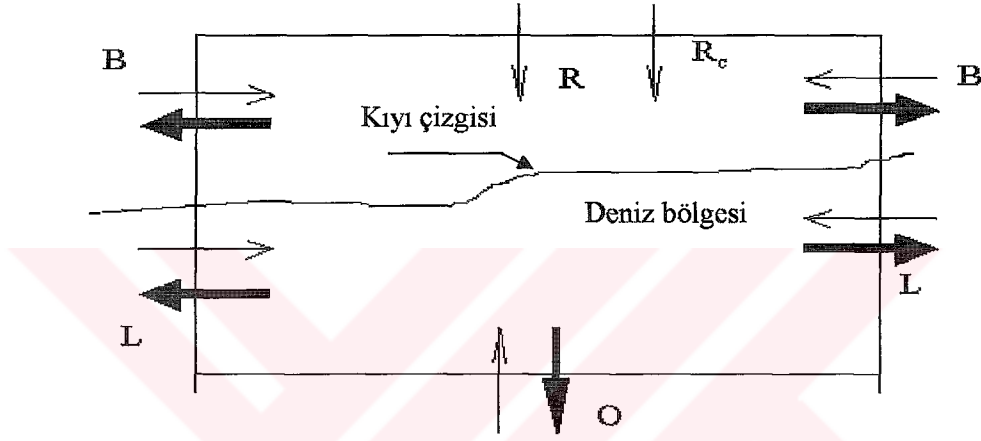


Şekil 1.2. Kıyı bölgesi

### 1.6.2. 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. Kıyı Hidrodinamik 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.

### 1.6.3. Kumsal Profil Şekilleri

Kıyıya dik yöndeki katı madde hareketi sonucunda kıyı profilindeki değişimler, gelen dalganın 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 [26]. Yapılan deneysel çalışmalar ve deniz ölçümleri dalga koşullarına bağlı iki ana kıyı profili olduğunu göstermektedir.

#### **1.6.3.1. 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 profilede kıyı çizgisi önünde dik bir eğim vardır.

#### **1.6.3.2. Fırtına Profili**

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

#### **1.6.4. Kıyıda Katı Maddelerin Fiziksel Özellikleri**

Kıyıda 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 değişken 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. Kıyıda katı madde taneciklerini sınıflandırmada kullanılan diğer bir parametre de malzemenin özgül ağırlığıdır. Kıyı katı maddelerinin çoğunluğu kuvarstan oluştuğundan, özgül ağırlıkları  $2,60-2,75 \text{ t/m}^3$  arasındadır.

### **1.6.5. 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.

#### **1.6.5.1. Dalgalar**

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

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

#### **1.6.5.2. Akıntılar**

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

#### **1.6.5.3. 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 kütlelerinin 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.

#### **1.6.5.4. Rüzgarlar**

Rüzgarlar kumları sahilden uzağa sürükleyip kum tepecikleri halinde yığarak kıyıları 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.

#### **1.6.5.5. Diğer Faktörler**

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

### **1.7. 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.

### 1.7.1. 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  $\alpha_0$  açısı yapan dalgalar, sapmanın etkisi ile kıyıya yaklaştıkça, kıyıya dik gelme eğilimindedirler. Kırılma anında bir  $\alpha_b$  açısı yaparlar ve genellikle  $\alpha_b < \alpha_0$ '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 akıntılardır. 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 [27]. Buna göre belli bir süredeki taşınım debileri;

$$Q_{net} = Q_{sağ} - Q_{sol} \quad (1.25)$$

$$Q_{brüt} = Q_{sağ} + Q_{sol} \quad (1.26)$$

şeklinde olacaktır. Burada kıyı boyu taşınım debisini hesaplamak için geçerli olan üç formül verilmiştir [25,28,29].

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

$$P = E \cdot C_g \quad (1.27)$$

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

$$P_{lb} = \frac{\gamma \cdot H_b^2 \cdot C_g}{16} \cdot \sin 2\alpha_b \quad (1.28)$$

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,

$$P_{ls} = \frac{\gamma \cdot H_{sb}^2 \cdot C_b}{16} \cdot \sin 2\alpha_b \quad (1.29)$$

şeklindedir. Denklemdaki  $P_{ls}$  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.

$$I = K \cdot P_{ls} \quad (1.30)$$

Denklemler 1.30'da,  $K$  yaklaşık 0.39 olarak alınan boyutsuz bir katsayıdır. Kıyı boyu katı madde debisi ise Denklem 1.31'le hesaplanabilir.

$$Q = \frac{K \cdot P_{ls}}{P \cdot (\gamma_s - \gamma)} \quad (1.31)$$

Denklemlerde sırası ile,  $\gamma_s$  ve  $\gamma$  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 [30, 31]. Bu yöntemde kıyı boyu katı madde taşınım debisi,

$$Q = \left( H^2 \cdot C_g \right)_b \cdot \left[ a_1 \cdot \sin 2\alpha - a_2 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right]_b \quad (1.32)$$

şeklinde verilmiştir. Denklem 1.32'deki  $a_1$  ve  $a_2$  katsayıları Denklem 1.33 ve 1.34'te verilmiştir.

$$a_1 = \frac{K_1}{\left[ 16 \cdot (\gamma_s / (\gamma - 1)) \cdot (1 - p) \cdot 1.416^{(5/2)} \right]} \quad (1.33)$$

$$a_2 = \frac{K_2}{\left[ 8 \cdot (\gamma_s / (\gamma - 1)) \cdot (1 - p) \cdot \tan \beta \cdot 1.416^{(7/2)} \right]} \quad (1.34)$$

Denklem 1.33 ve 1.34, Denklem 1.32'de yerine konulursa Denklem 1.35 elde edilir.

$$Q = \left( H^2 \cdot h^{0.5} \right)_b \cdot \left[ \frac{K_1}{11.6} \cdot \sin 2\alpha - \frac{K_2}{5.8 \cdot \tan \beta} \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right]_b \quad (1.35)$$

Denklem 1.35'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 [32].

Kamphuis'ün verdiği bir başka formül ise Denklem 1.36'da verilmiştir [33].

$$Q = K \cdot H_b^2 \cdot T^{1.5} \cdot m^{0.75} \cdot d_{50}^{-0.25} \cdot \sin^{0.6} (2\alpha_b) \quad (1.36)$$

Denklemden, K bir katsayıyı göstermektedir.

### 1.7.2. 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 (firtına profili), hangi şartlarda yığılma (yaz profili) oluşacağını belirlemede esas faktör dalga parametreleridir. Yapılan araştırmalar, bu konuda en etkin etmenin, derin deniz dalga dikliği ( $H_0/L_0$ ) 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 [1, 25, 34, 35]:

Dean kıyı profilinin belirlenmesinde, Denklem 1.37 ile verilen boyutsuz bir çökme süresi parametresi tanımlamıştır.

$$F_0 = \frac{H_0}{w \cdot T} \quad (1.37)$$

Çalışmacı tarafından;  $F_0 > 1$  olması durumunda erozyon,  $F_0 < 1$  olması durumunda ise yığılma profilinin oluştuğu belirtilmiştir.

Kriebel vd. Denklem 1.38 ile, Larson vd. Denklem 1.39'la verilen denklemleri önermişler ve laboratuvar ve arazi şartlarında denklemleri değerlendirmişlerdir.

$$C^* = \frac{g}{\pi} \cdot \frac{T}{w} \cdot \frac{H_0}{L_0} \quad (1.38)$$

$C^*$  değerinin laboratuvar şartlarında, 1.7'den küçük olması durumunda yığılma, 1.7'den büyük olması durumunda ise erozyon, arazi şartlarında ise 8.8'den küçük olması durumunda yığılma, 8.8'den büyük olması durumunda ise erozyon profili oluşmaktadır.

$$C^{**} = \frac{H_0}{L_0} \cdot \left[ \frac{w \cdot T}{H_0} \right] \quad (1.39)$$

$C^{**}$  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 [25,27,30,36]:

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

$$\Psi_m = \frac{\tau_b}{\rho \cdot s \cdot g \cdot d} \quad (1.40)$$

$$q = w_0 \cdot d \cdot 7 \cdot (\Psi_m - \Psi_c) \cdot \Psi_m^2 \quad (1.41)$$

Çalışmacı, iki boyutlu dalga kanalında, 0.2 mm çapında kum kullanarak ve başlangıç taban eğimini 1/10-1/15 arasında alarak deneyleri gerçekleştirmiştir. Denklem 1.40'da;  $\Psi_m$ , 0.08 ile 0.5 arasında değişmektedir. Denklemlerde,  $q_{net}$  net taşınım miktarı,  $\Psi_c$  katı madde taşınımının başladığı kritik Shields parametresi,  $w_0$  çökme hızı,  $\rho$  suyun yoğunluğu,  $s$  tanenin sudaki özgül ağırlığı ve  $g$  yerçekimi ivmesidir.

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

$$q = 12.5 \cdot w_0 \cdot d \cdot \Psi_m^3 \quad (1.42)$$

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

$$q = \left[ A_w \cdot \frac{(\tau - \tau_{cr})}{\rho \cdot g} \cdot \bar{u}_b + A_{wb} \cdot \frac{\Delta F}{\rho \cdot g} \right] \cdot F_D \quad (1.43)$$

Denklem 1.43'teki ilk terim tabandaki katı madde taşınımını, ikinci terim ise askı halindeki katı madde taşınımını göstermektedir. Denklemdeki bazı bilinmeyen parametreler,

$$\bar{u}_b = \frac{w_p \cdot H_s}{2 \cdot \text{Sinh}(K_p \cdot h)} \quad (1.44)$$

$$F_D = \tanh \left[ K_D \cdot \frac{(f_w \cdot \Pi)_c - (f_w \cdot \Pi)}{(f_w \cdot \Pi)_c} \right] \quad (1.45)$$

$$\Pi = \frac{u_b^2 \cdot h}{\gamma' \cdot g \cdot d \cdot L_o} \quad (1.46)$$

$$\tau = \rho \cdot \frac{f_w \cdot u_b^2}{2} \quad (1.47)$$

şeklindedir ve,  $\tau$  taban kayma gerilmesi,  $\tau_{cr}$  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,  $\Delta F$  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 1.48 nolu denklemi vermişlerdir.

$$q = w_o \cdot d \cdot B \cdot u_r^{0.2} \cdot \psi \cdot (\psi - 0.13 \cdot u_r) \quad (1.48)$$

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:

$$q = q_b \cdot e^{-\lambda \cdot x} \quad (1.49)$$

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

$$\lambda = 10.3 \cdot \left[ \frac{D}{H_b} \right]^{0.47} \quad (1.50)$$

İkinci bölgenin, kırılma çizgisinden dökülme noktasına kadar olan bölge olduğunu ve bu bölgede de 1.49 nolu denklemin geçerli olduğunu ancak,  $\lambda$  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:

$$q = k \cdot \left( D - D_{EQ} + \frac{\varepsilon}{k} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad D > D_{EQ} - \frac{\varepsilon}{k} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \quad (1.51)$$

$$q = 0 \quad D < D_{EQ} - \frac{\varepsilon}{k} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \quad (1.52)$$

Burada,  $\varepsilon$  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.

### 1.8. Kıyı Profiline Gelişimi

Kıyı Profiline gelişimi, katı madde taşınım alanında, süreklilik denklemi ile hesaplanır [37]. İki boyutlu süreklilik denklemi Denklem 1.53'te verilmiştir. Bu denklemde hem kıyıya dik hem de paralel taşınım dikkate alınır.

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{1}{(1-p)} \cdot \left( \frac{\partial q_{sx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{sy}}{\partial y} \right) \quad (1.53)$$

Kıyıya paralel katı madde taşınımının ihmal edilmesi ve sadece kıyıya dik taşınımın dikkate alınması halindeki süreklilik denklemi Denklem 1.54'teki gibi olmaktadır.

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{1}{(1-p)} \cdot \frac{\partial q_{sx}}{\partial x} \quad (1.54)$$



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

## 1.9. Kıyı Denge Profili

### 1.9.1. Giriş

Aynı dalga şartlarına maruz kalan bir kıyı, bir süre sonra şeklinde önemli bir değişime uğramadan dalga enerjisini sönmlemeye başlamaktadır. Bu da kıyıda bir denge profilinin varlığına işaret etmektedir. Eğer bu denge profilinin varlığı olmasaydı, kıyı devamlı oyulmaya veya yığılmaya maruz kalacaktı.

Yakın kıyıda dalga, su seviyesi, su sıcaklığı ve akıntı şartlarının sürekli olarak değişmesi nedeniyle denge profilinin doğada gerçekleşme ihtimali çok azdır. Ancak, kıyı profilinde oyulma veya yığılma şeklinde oluşan katı madde hareketi, kıyının denge profilinden uzaklaşması sonucunda meydana geldiğinden, denge profili kavramı kıyı ile ilgili yapılacak çalışmalar açısından önemli bir yer teşkil etmektedir.

Belirli dalga şartları ve malzeme tane çapı için başlangıç kıyı profili ile denge profili arasında büyük farklılıklar gözlenmektedir. Bu da kıyıda büyük miktarda malzemenin taşındığı anlamına gelmektedir. Kıyıda katı madde hareketi başlangıçta büyük miktarda olmakta ve giderek yavaşlamaktadır. Sonuçta kıyı profilinde önemli bir değişim olmadan dalga enerjisini sönmlemeye başlamaktadır. Dalga enerjisinin sönmlemesi sırasında profilde küçük ölçekli değişimler yaşanmaktadır; ancak, olaya büyük ölçekte bakıldığında dikkate değer bir net katı madde taşınımının varlığının olmadığı anlaşılmaktadır.

Kıyı denge profili konusunda çeşitli araştırmacılar tarafından farklı öneriler yapılmakta olup, bunların en önemlileri aşağıda özetlenmiştir:

### 1.9.2. Dean'in Kıyı Denge Profili

Bugüne kadar kıyı denge profil biçimiyle ilgili olarak bir çok teori ortaya konmasına rağmen bunlardan en yaygın olanı, Dean'in [38,39] teorisi olarak gösterilmektedir. Dean,

kırılma bölgesinde, birim hacimdeki dalga enerjisinin üniform olarak yayılmasının denge profili ile ilişkili olduğu varsayımından şu eşitliği önermektedir:

$$\frac{1}{h} \frac{dF}{dx} = D_e \quad (1.55)$$

Burada  $D_e$  birim hacimdeki dalga enerji yayılmasının denge değeri,  $h$  kıyı çizgisinden  $x$  kadar uzaktaki su derinliği ve  $F(= \rho g H^2 \sqrt{gh} / 8)$  ise sığ sudaki dalga enerji akısı (dalga enerjisi \* dalga hızı) olarak verilmektedir. Dean, aynı zamanda sığ suda kırılan dalga yüksekliğinin, su derinliği ile orantılı olduğunu ( $H_b = h_b \cdot \kappa$ ) varsaymaktadır. Bu varsayımlar ile eşitlik 1.55'in integrali alınır aşağıdaki eşitlikler elde edilir:

$$x = \left( \frac{h}{A} \right)^{2/3} \quad (1.56)$$

veya daha basit bir biçimde;

$$h = Ax^{2/3} \quad (1.57)$$

elde edilir. Burada

$$A = \left( \frac{24D_e}{5\rho g^{3/2} \kappa^2} \right)^{2/3} \quad (1.58)$$

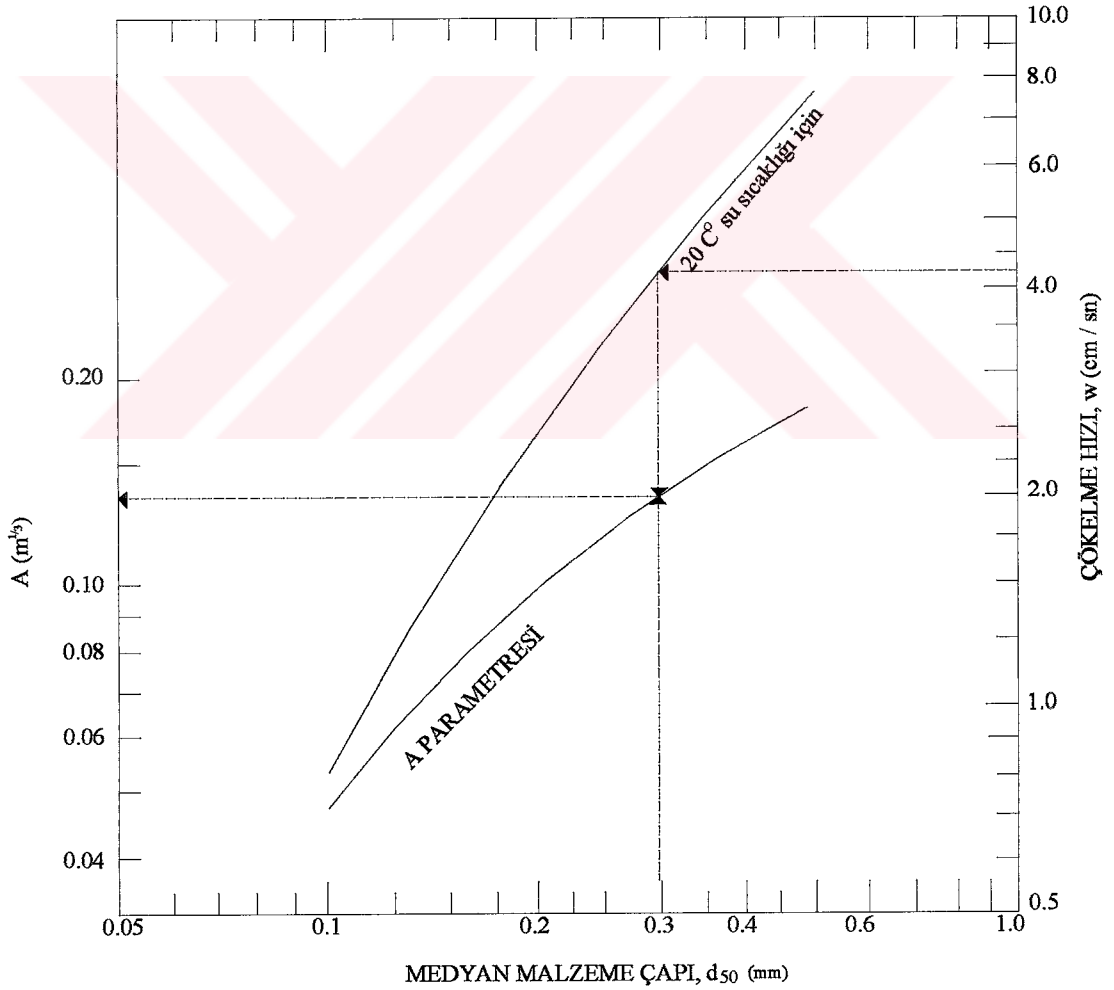
şeklinde ifade edilen bir parametredir.  $A$  parametresi  $D_e$ 'nin bir fonksiyonu olarak profil dikliğini yönlendirmektedir. Burada  $\rho$  yoğunluk ve  $g$  yer çekimi ivmesidir. Daha sonra yapılan çalışmaların büyük bir bölümünde diğer parametrelere bağlı olarak  $A$  parametresine odaklanılmıştır. Bu konudaki en yaygın yöntem, Moore [40] tarafından belirlenmiştir. Moore Şekil 1.4'te  $A$  ile medyan malzeme çapı ( $d_{50}$ ) ve çökme hızı ( $w$ ) arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Kriebel vd. [10]  $A$  parametresi için şu öneride bulunmuşlardır:

$$A = \left( \frac{24\beta(s-1)}{5\epsilon\kappa^2} \right)^{2/3} \left( \frac{w^2}{g} \right)^{1/3} \quad (1.59)$$

Burada  $\beta$  bilinmeyen konsantrasyon faktörü,  $s$  katı maddenin özgül ağırlığı ve  $\epsilon$  ise dalga kırılması nedeniyle oluşan birim hacimdeki enerji yayılması olarak tanımlanmaktadır. Burada  $A$  parametresi, şekil 1.4'teki Moore'un grafiğinden yararlanarak, yaklaşık olarak şu şekilde ifade edilmiştir:

$$A = 2.25 \left( \frac{w^2}{g} \right)^{1/3} \quad (1.60)$$



Şekil 1.4 Medyan tane çapına ve çökeltme hızına bağlı olarak  $A$  parametresi

### 1.9.3 Dean'in Geliştirilmiş Kıyı Denge Profili

Eşitlik 1.56 ve 1.57'de Dean'in denge kıyı profil biçiminin, kıyı çizgisinde sonsuz eğime sahip olması teorik bir eksiklik olarak belirtilmektedir. Bununla birlikte, pratik uygulamalarda Dean'in profil biçimini tüm kırılma bölgesine uygulayıp, yalnız durgun su seviyesi üzerinde ve kıyı çizgisi yakınlarında kıyının doğrusal olduğunu kabul ederek, kıyı denge profili şu şekilde açıklanabilir:

$$x = \begin{cases} h/m & , h < h_T \text{ ise} \\ x_0 + (h/A)^{3/2} & , h > h_T \text{ ise} \end{cases} \quad (1.61)$$

Burada  $x_0$  kıyı çizgisindeki sakin su seviyesinden denge profil merkezine olan mesafe ve  $h_T$  ise denge kıyı profilinde doğrusal olarak kabul edilen kısmın bitimindeki su derinliği olarak tanımlanmaktadır.  $x_0$  uzaklığının,  $(A \cdot x^{2/3})$  profiline teğet olan doğrusal kıyı yüzü eğimi ve  $h_T$  derinliği ile bağıntısı şu şekilde ifade edilmektedir:

$$x_0 = \frac{h_T}{m} - \left( \frac{h_T}{A} \right)^{3/2} \quad (1.62)$$

Burada

$$h_T = \frac{4 A^3}{9 m^2} \quad (1.63)$$

olarak verilmektedir.

Bu yenilenmiş denge profil biçimi ile Şekil 1.4'te belirlenen A değerleri kırılma bölgesindeki profil şeklini açıklamak için kullanılmaktadır. Kıyı eğimi (m), arazi gözlemlerinden elde edilebilmektedir. Örneğin Sunamura [41] arazi şartları için eğim ile ilgili şu öneride bulunmuştur:

$$m = 0.12 \left( \frac{g^{1/2} d_{50}^{1/2} T}{H} \right)^{1/2} \quad (1.64)$$

Sunamura [41] katı madde çökme hızına bağlı olarak grafik yardımıyla verilerini yeniden düzenlemiştir. En az saçılma gösteren eğriyi şu bağıntı ile ifade etmektedir:

$$m = 0.15 \left( \frac{w\Gamma}{H} \right)^{1/2} \quad (1.65)$$

#### 1.9.4 Eğimli Kıyı Yüzeyinde Genel Denge Profili

Eğimli kıyı yüzeyinde denge profilinin biçimiyle ilgili genel bilgi Larson ve Kraus [11] tarafından verilmektedir. Birim hacimdeki dalga enerji sönümlenmesi Dally vd.'nin [42] sönümlenme modelinde belirtildiği gibi şu şekilde varsayılmıştır:

$$D_e = \frac{K}{h^2} (F - F_s) \quad (1.66)$$

Burada K uzunluk ölçeği ile ilgili bir katsayı ve  $F_s = (1/8)\rho g^{3/2} \Gamma^2 h^{5/2}$  olarak tanımlanmaktadır.  $\Gamma$  ise dalga yüksekliği ile su derinliği arasındaki orandır. Dally vd. [42] kıyı eğimini dikkate alarak  $0.35 < \Gamma < 0.475$  ve  $0.1 < K < 0.275$  değerlerini önermişler ve bu değerler içinde en uygun olanları  $\Gamma = 0.4$  ve  $K = 0.15$  olarak belirlemişlerdir. Dengedeki kıyı için eşitlik (1.66) herhangi bir derinlikte kırılma yüksekliğinin bulunması açısından çözüm olabilir ve şu şekilde ifade edilebilir:

$$H = \left( \Gamma^2 h^2 + \frac{8D_e}{\rho g^{3/2K}} h^{3/2} \right)^{1/2} \quad (1.67)$$

Bu dalga yüksekliği ile ilgili yapılan açıklamaya dayanılarak eşitlik (1.55), kırılma bölgesi üzerinde sınır şartlar  $h=0$  ve kıyı çizgisi  $x=0$  ile integre edilebilir. Denge kıyı profili biçimi şu şekilde ifade edilebilir:

$$x = \frac{2}{K} h + \frac{5\rho g^{3/2} \Gamma^2}{24D_e} h^{3/2} \quad (1.68)$$

Bu eşitlik şu şekilde yeniden yazılabilir:

$$x = \frac{h}{m} + \left( \frac{h}{A_*} \right)^{3/2} \quad (1.69)$$

Bu eşitlik Dean'in [43] önerdiği geliştirilmiş denge profili şeklinin aynısıdır. Eşitlikteki ilk terim, yerçekimi kuvvetlerinin etkisini ifade etmektedir.



## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Fiziksel Model Çalışmaları:**

Kıyı mühendisliğinde karşılaşılan problemlerin çözümleri; arazi çalışmaları ve sayısal (matematik) ve fiziksel modelleme çalışmaları yapılarak aranmaktadır. Arazi çalışmalarının yapılması, büyük miktarda para ve zaman harcanmasını gerektirir; bunun yanı sıra, her zaman gerçekleştirilebilmeleri imkansızdır. Kıyı bölgesinin karmaşık bir yapıya sahip olması, yapılan sayısal çözümlerde çok kesin sonuçlara varılmasını engellemektedir. Fiziksel modeller ise, kullanılan ölçek ve laboratuvar şartlarına göre daha iyi sonuç vermektedir. Fiziksel model çalışmaları, Dr. Murat İhsan KÖMÜRCÜ tarafından 'Kıyıya Dik Katı Madde Hareketi Sonucu Oluşan Bar Parametrelerinin Belirlenmesi' [16] adlı doktora tezi kapsamında KTÜ İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarı'nın iki boyutlu dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Bu tezde kullanılan tüm veriler, adı geçen tez kapsamındaki deneysel çalışmalardan elde edilmiştir.

#### **2.1.1. Model Ölçeğinin Belirlenmesi**

Çözüm aranan problemlerin laboratuvar ortamına taşınması sırasında, doğada mevcut bulunan büyüklüklerin belli bir oranda küçültülmesi zorunluluğu ile karşı karşıya kalınmaktadır. İdeal olan çözümde, laboratuvar ortamı ile doğadaki büyüklüklerin bire bir örtüşmesi istenmektedir. Ancak büyük zamansal ve ekonomik kayıplar nedeniyle mevcut laboratuvar şartlarına uyan en uygun model ölçekleri tercih edilmektedir.

Çalışmadaki bütün model deneyleri Froude model tekniğine göre hazırlanmıştır. Bu teknikte, çalışmadan en üst düzeyde verim alınabilmesi için, fiziksel modelin kurulacağı kanalın boyutları, dalga şartları ve malzeme özellikleri de dikkate alınarak model ölçeği 1/25 olarak seçilmiştir.

### 2.1.2. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

Kıyı bölgesinde yapılan fiziksel model çalışmaları sırasında karşılaşılan en büyük sorun, modelde kullanılacak olan malzeme özelliklerinin belirlenmesidir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar, kullanılacak taban malzemesinin model ölçeği konusunda net bir sonuç ortaya koyamamaktadır. Yapılan çalışmalar farklı yoğunlukta malzemelerin kullanılması fikrini ortaya koymaktadır. Ancak; Farklı yoğunlukta malzemelerin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar çokça eleştirilmiş ve güvenilirliği tartışılmıştır.

Bu çalışmada, 0.18, 0.26, 0.33 ve 0.40 mm ortalama tane çaplarına sahip 4 farklı tane çapı kullanılmıştır. Malzeme yoğunluğunun katı madde hareketini etkilemesi göz önüne alınarak kullanılan tüm malzemelerin aynı yoğunlukta ( $2.65 \text{ t/m}^3$ ) olmasına dikkat edilmiştir.

### 2.1.3. Taban Eğimi

Taban eğimi, fiziksel model çalışmaları kapsamında yapılan deneylerde önemli bir değişken olarak dikkate alınmaktadır. Doğada, taban eğimleri çok özel bölgeler dışında genelde yatıktır. Deneylerde taban eğiminin yatık tercih edilmesi sonucu profil daha geç dengeye ulaşacağından, deneylerin daha uzun ve zahmetli olacağı açıktır.

Bu çalışmada, yukarıdaki görüşler ışığında, hem çalışmanın zorlaşmasını engelleyecek hem de doğadaki taban eğimini temsil edecek üç taban eğimi seçilmiştir. Seçilen taban eğimleri 1/10, 1/15 ve 1/25'tir.

### 2.1.4. Dalga Şartları

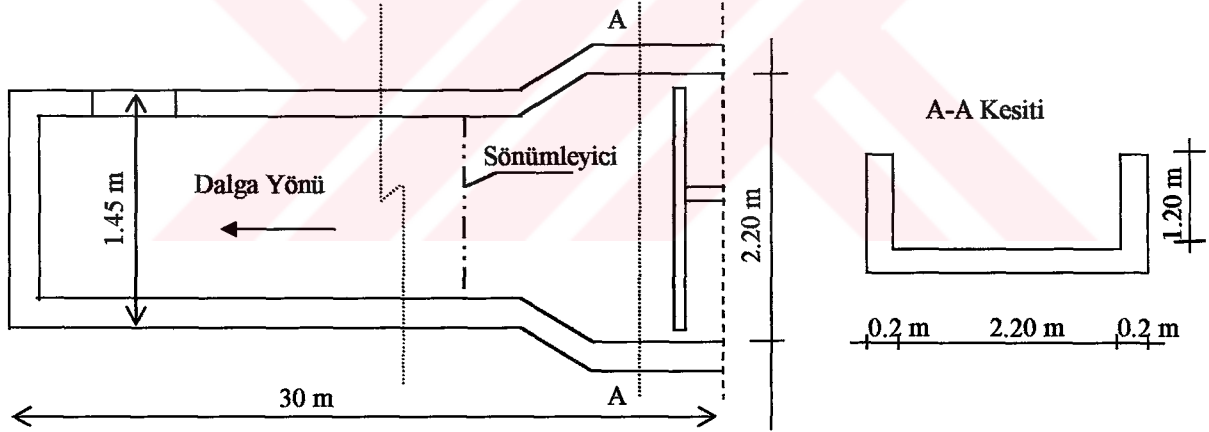
Çalışma kapsamında irdelenen parametreleri değerlendirebilmek için özellikle erozyon profili oluşturacak dalga şartları seçilmeye çalışılmıştır. Çalışmada, 1.46 sn periyot için 6.5, 11.5, 16, 20, 23, 26 ve 30 cm ve 2.03 sn periyot için 6.5, 11.5, 16, 20 cm yüksekliğinde düzenli dalgalar kullanılmıştır.



### 2.1.5. Model Dalga Kanalı ve Donanımı

Fiziksel model çalışmaları, plan ve kesiti Şekil 2.1'de verilen iki boyutlu dalga kanalında yapılmıştır. Kanal 30 m boyunda, 1.45 m genişliğinde ve 1.25 m derinliğinde betonarme bir yapıya sahiptir.

Dalga kanalında, modelin kurulacağı bölgenin bir tarafında 4 m uzunluğunda pleksiglastan yapılmış şeffaf bir kısım mevcuttur. Kanalda kurulu bulunan dalga üretici sistem üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; dalga paleti, dişli sistemi ve alternatif akım motorudur. Alternatif akım motoru 4 Hb'lik güce ve 100 devir/dak'lık bir hıza sahiptir. Alternatif akım motoru istenildiği takdirde kolayca değiştirilebilir şekilde dişli bir sisteme bağlıdır. Motorun hızı mevcut bulunan dişli sisteme bağlanarak azaltılıp çoğaltılabilmektedir. Dişli sistemi ise arazili bir şanzıman sisteminden oluşmaktadır. Motorun flanşına mafsallı olarak bağlı olan bir kol diğer ucundan da dalga paletine mafsaldır. Dalga paleti ise dalga kanalına alttan mafsallıdır.



Şekil 2.1 Model dalga kanalı ve kesiti

### 2.1.6. Deney Süreleri

Deney başlangıcında hızlı bir bar oluşum hareketi olup profil git gide dengeye ulaşmaya başladıkça bu hız azalmaktadır. Deney süreleri profilin dengeye ulaşmasına göre her bir taban eğimi için ön deneyler yapılarak belirlenmiştir. Deneyler devam ederken 2 saate bir ölçüm alınarak profilin değişimi gözlenmiştir. Ara ölçüm zamanına, ön deneyler

sonunda toplam hareket eden katı madde miktarına göre karar verilmiştir. Deney süreleri 1/10 taban eğiminde 12 saat, 1/15 ve 1/25 taban eğiminde ise 14 saat olarak belirlenmiştir.

### 2.1.7. Ölçüm Sistemi

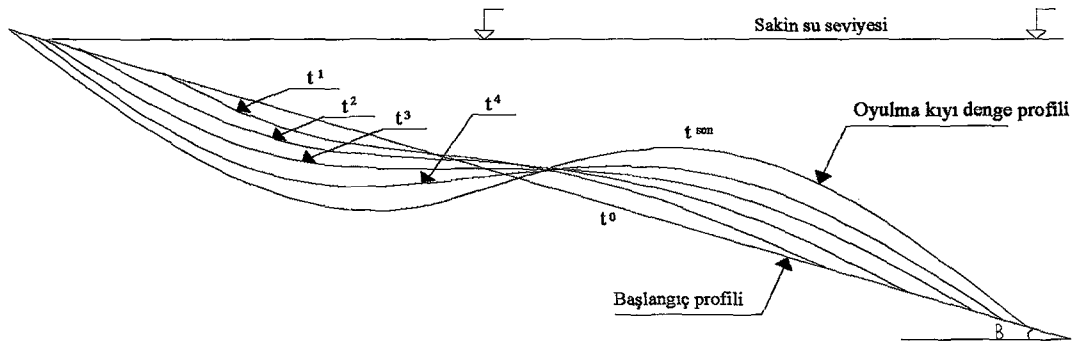
Fiziksel model kapsamında yapılan deneylerde, 1/10 taban eğiminde her kesit arası 20 cm olan 52 kesitte, 1/15 ve 1/25 taban eğimlerinde ise her kesit arası 20 cm olan 70 kesitte ölçüm yapılmıştır. Her bir kesitte üç adet ölçüm yapılarak ortalama değer alınmıştır.

### 2.1.8. Yapılan Deneyler

Kanalda hazırlanan ön taban üzerine, kullanılacak malzemeler kırılma bölgesi ile tırmanma bölgesi arası 30 cm, diğer kısımlarda 15 cm kalınlığında olmak üzere serilmiştir. Gerçekleştirilen 81 deneyde kullanılan malzeme tane çapları, taban eğimleri ve dalga şartları Tablo 2.1'de verilmektedir.

### 2.2. Çalışma Kapsamında İncelenen Parametreler

Dalga şartları, kıyı eğimi ve taban malzemesinin karşılıklı etkileşimi sonucunda, kıyı profilleri oyulma veya yığılma profili şeklinde oluşabilir. Bu çalışma kapsamında, sadece oyulma profilinin denge profiline ulaşma süreci incelenmiştir. Şekil 2.2'de irdelenen oyulma profilinin zamana bağlı olarak hareketi görülmektedir.



Şekil 2.2. Oyulma profilinin dengeye ulaşma süreci

Tablo 2.1. Yapılan Deneyler

Deney No	Taban Eğimi	Tane Çapı (m)	Dalga Per. (sn)	Dalga Yük. (m)	Deney No	Taban Eğimi	Tane Çapı (m)	Dalga Per. (sn)	Dalga Yük. (m)
1	0.1000	0.00018	1.46	0.065	42	0.0667	0.00018	2.03	0.160
2	0.1000	0.00018	1.46	0.115	43	0.0667	0.00018	2.03	0.200
3	0.1000	0.00018	1.46	0.160	44	0.0667	0.00026	1.46	0.065
4	0.1000	0.00018	1.46	0.200	45	0.0667	0.00026	1.46	0.115
5	0.1000	0.00018	1.46	0.230	46	0.0667	0.00026	1.46	0.160
6	0.1000	0.00018	1.46	0.260	47	0.0667	0.00026	1.46	0.200
7	0.1000	0.00018	1.46	0.300	48	0.0667	0.00026	1.46	0.230
8	0.1000	0.00018	2.03	0.115	49	0.0667	0.00026	1.46	0.260
9	0.1000	0.00018	2.03	0.160	50	0.0667	0.00026	1.46	0.300
10	0.1000	0.00018	2.03	0.200	51	0.0667	0.00026	2.03	0.115
11	0.1000	0.00026	1.46	0.065	52	0.0667	0.00026	2.03	0.160
12	0.1000	0.00026	1.46	0.115	53	0.0667	0.00026	2.03	0.200
13	0.1000	0.00026	1.46	0.160	54	0.0667	0.00033	1.46	0.115
14	0.1000	0.00026	1.46	0.200	55	0.0667	0.00033	1.46	0.160
15	0.1000	0.00026	1.46	0.230	56	0.0667	0.00033	1.46	0.200
16	0.1000	0.00026	1.46	0.260	57	0.0667	0.00033	1.46	0.230
17	0.1000	0.00026	1.46	0.300	58	0.0667	0.00033	1.46	0.260
18	0.1000	0.00026	2.03	0.115	59	0.0667	0.00033	1.46	0.300
19	0.1000	0.00026	2.03	0.160	60	0.0667	0.00033	2.03	0.115
20	0.1000	0.00026	2.03	0.200	61	0.0667	0.00033	2.03	0.160
21	0.1000	0.00033	1.46	0.115	62	0.0667	0.00033	2.03	0.200
22	0.1000	0.00033	1.46	0.160	63	0.0667	0.00040	1.46	0.160
23	0.1000	0.00033	1.46	0.200	64	0.0667	0.00040	1.46	0.200
24	0.1000	0.00033	1.46	0.230	65	0.0667	0.00040	1.46	0.260
25	0.1000	0.00033	1.46	0.260	66	0.0667	0.00040	1.46	0.300
26	0.1000	0.00033	1.46	0.300	67	0.0400	0.00018	1.46	0.065
27	0.1000	0.00033	2.03	0.115	68	0.0400	0.00018	1.46	0.115
28	0.1000	0.00033	2.03	0.160	69	0.0400	0.00018	1.46	0.160
29	0.1000	0.00033	2.03	0.200	70	0.0400	0.00018	2.03	0.115
30	0.1000	0.00040	1.46	0.160	71	0.0400	0.00018	2.03	0.160
31	0.1000	0.00040	1.46	0.200	72	0.0400	0.00026	1.46	0.065
32	0.1000	0.00040	1.46	0.230	73	0.0400	0.00026	1.46	0.115
33	0.1000	0.00040	1.46	0.300	74	0.0400	0.00026	1.46	0.160
34	0.1000	0.00040	2.03	0.160	75	0.0400	0.00026	1.46	0.230
35	0.1000	0.00040	2.03	0.200	76	0.0400	0.00026	2.03	0.115
36	0.0667	0.00018	1.46	0.065	77	0.0400	0.00026	2.03	0.160
37	0.0667	0.00018	1.46	0.115	78	0.0400	0.00033	1.46	0.115
38	0.0667	0.00018	1.46	0.160	79	0.0400	0.00033	1.46	0.160
39	0.0667	0.00018	1.46	0.200	80	0.0400	0.00033	1.46	0.230
40	0.0667	0.00018	1.46	0.230	81	0.0400	0.00033	2.03	0.160
41	0.0667	0.00018	1.46	0.300					

Şekil 2.2'de t zamanı ifade etmektedir ve  $t_0=0 < t_1 < t_2 < t_3 < t_4 < t_{son}$  dur.

Bu çalışmada, denge profiline ulaşma sürecini açıklamak için, bar hacminin zamanla artmasını ve katı madde taşınım debisinin zamanla azalmasını belirlemede etkin olan parametreler incelenmiştir. Çalışma kapsamında incelenen parametreler aşağıda verilmiştir:

### 2.2.1. Bar Hacminin Zamansal Değişimi

Kıyı profilinin denge profiline ulaşma sürecinde, bar hacmi zamana bağlı olarak artmaktadır. Bar hacmindeki artış hızı zamanla azalmaktadır. Bu azalmayı en iyi temsil eden fonksiyon eksponansiyel fonksiyon olarak belirlenmiştir. Buna bağlı olarak en iyi matematiksel model araştırılmış ve literatürde [11] var olan şu eşitlik seçilmiştir:

$$V = V_{eq} (1 - e^{-\alpha_1 t}) \quad (2.1)$$

Burada V herhangi bir zamandaki bar hacmi,  $V_{eq}$  denge bar hacmi, t zaman ve  $\alpha_1$  ise bir katsayıdır. Bu çalışmada denge bar hacmi ( $V_{eq}$ ) her bir deney şartı için, ölçülen son kıyı profilindeki bar hacmi olarak alınmıştır.  $\alpha_1$  katsayısı ise Eşitlik 2.1'de yalnız bırakılarak şu şekilde yazılabilir.

$$\alpha_1 = -\frac{1}{t} \ln\left(1 - \frac{V}{V_{eq}}\right) \quad (2.2)$$

$\alpha_1$  katsayısının hesabı için, kıyı profilinin denge bar hacmine ulaşma sürecinde iki saat aralıklarla yapılan ölçümlerden ilgili saatteki bar hacmi hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Eşitlik 2.2'de yerine koyularak, deney süresine bağlı olarak birden fazla  $\alpha_1$  katsayısı elde edilmiştir. Bulunan bu  $\alpha_1$  katsayılarından, her bir deney şartı için, en küçük kareler yöntemiyle tek bir  $\alpha_1$  katsayısı belirlenmiştir.

Bar hacminin değişimi ile ilgili olarak, Eşitlik 2.1'den farklı eşitlikler de irdelenmiş, ancak zamansal değişimi temsil eden anlamlı bir sonuç elde edilememiştir.

### 2.2.2. Katı Madde Taşınım Debisinin Zamansal Değişimi

Katı madde taşınım debisi, kıyı profili denge profiline yaklaştıkça azalmaktadır. Debinin azalmasını en iyi ekponansiyel fonksiyonun temsil ettiği belirlenmiştir. Buna bağlı olarak en iyi matematiksel model araştırılmış ve Eşitlik 1.7'ye benzer bir biçimde eşitlik şu şekilde belirlenmiştir:

$$Q = Q_{\max} e^{(-\alpha_2 t)} \quad (2.3)$$

Burada  $Q$  herhangi bir andaki debi,  $Q_{\max}$  maksimum taşınım debisi,  $t$  zaman ve  $\alpha_2$  ise bir katsayıdır.  $Q_{\max}$  değeri 2. saatte ölçülen bar hacmi dikkate alınarak ( $Q_{\max} = V_{2\text{saat}}/2$ ) belirlenmiştir.  $\alpha_2$  katsayısı Eşitlik 2.3'te yalnız bırakılarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$\alpha_2 = -\frac{1}{t} \ln\left(\frac{Q}{Q_{\max}}\right) \quad (2.4)$$

$\alpha_2$  katsayısının hesabı için, kıyı profilinin denge bar hacmine ulaşma sürecinde 2 saat aralıklarla yapılan ölçümlerden ilgili saatteki bar hacmi hesaplanmıştır. Yapılan ölçüm aralıklarındaki hacim değişimi dikkate alınarak hesaplanan  $Q(=\Delta V/\Delta t)$  değerleri Eşitlik 2.4'de yerine koyularak, deney süresine bağlı olarak birden fazla  $\alpha_2$  katsayısı elde edilmiştir. Bulunan bu  $\alpha_2$  katsayılarından, her bir deney şartı için, en küçük kareler yöntemiyle tek bir  $\alpha_2$  katsayısı belirlenmiştir.

Bir diğer inceleme,  $Q_{\max}$  değerini, beşinci dakikada oluşan bar hacmi değeri dikkate alınarak yapılan incelemedir. Deneyler sırasında ikinci saatten önce ölçüm yapılmamıştır. Ancak, beşinci dakikadaki bar hacmi, belirli deney şartları için bulunan  $\alpha_1$  değerlerinin Eşitlik 2.1'de yerine konmasıyla elde edilebilmektedir. Yeni  $Q_{\max}$  değeri belirlendikten sonra  $\alpha_2$  katsayısına benzer bir biçimde bulunan  $\alpha$  katsayısı  $\alpha_3$  olarak adlandırılmıştır.

### 2.3. Regresyon Analizleri

Fiziksel model sonuçları dikkate alınarak yapılan regresyon analizi yöntemiyle, çalışma kapsamında irdelenen matematiksel modellerdeki  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  ve  $\alpha_3$  katsayılarının en uygun denklemleri elde edilmiştir.

Bar hacminin zamansal değişimini belirlemede kullanılan  $\alpha_1$  katsayısı ve katı madde hareketi debisinin zamanla azalmasını belirlemede kullanılan  $\alpha_2$  katsayısının ; taban eğimi (m), dane çapı (d) veya çökme hızı (w), dalga periyodu (T) ve dalga yüksekliği (H) bağımsız değişkenlerine bağlı olarak en uygun denklemleri elde edilmiştir.

$\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  ile ilgili analizlerde, dane çapı ve çökme hızı arasında dikkate değer bir fark gözlenmediği için, katı madde hareketi debisinin zamanla azalmasını belirlemede kullanılan  $\alpha_3$  katsayısının sadece; taban eğimi (m), dane çapı (d) , dalga periyodu (T) ve dalga yüksekliği (H) bağımsız değişkenlerine bağlı olarak en uygun denklemi bulunmuştur.

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

Çoklu hiperbolik fonksiyon için aranan denklem türü şu şekilde verilmiştir:

$$y = b_0 \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \cdot x_3^{b_3} \cdot \dots \cdot x_n^{b_n} \quad (2.5)$$

Burada y bağımlı değişken;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  bağımsız değişkenler,  $b_0, b_1, \dots, b_n$  ise regresyon katsayılarıdır.

### 3. BULGULAR

Bu bölümde, irdelenen parametrelere yönelik olarak yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular verilmiştir. Bu kapsamda, bar hacminin zamanla artmasını belirlemede kullanılan  $\alpha_1$  katsayısı ve katı madde hareketi debisinin zamanla azalmasını belirlemede kullanılan  $\alpha_2$  ve  $\alpha_3$  katsayıları için denklemler kurulmuş ve denklemlerden elde edilen sonuçlar verilmiştir .

Taban eğimi (m), tane çapı (d), dalga yüksekliği (H) ve dalga periyodu (T) dikkate alınarak kıyı profilinin dengeye ulaşma süreci incelenmiş ve irdelenen parametreler için elde edilen veriler sunulmuştur.

#### 3.1. Bar Hacminin Zamansal Değişimi

Bar hacminin zamansal değişimini belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarda irdelenen  $\alpha_1$  katsayısı ile ilgili fiziksel model bulguları ve regresyon analizleri aşağıda verilmektedir:

##### 3.1.1. $\alpha_1$ İçin Fiziksel Model Bulguları

$\alpha_1$  katsayıları, Bölüm 2.2.1’de açıklandığı gibi hesaplanıp, Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1.  $\alpha_1$  katsayısı için fiziksel model bulguları

Deney No	$\alpha_1$ Katsayısı	Deney No	$\alpha_1$ Katsayısı	Deney No	$\alpha_1$ Katsayısı	Deney No	$\alpha_1$ Katsayısı
1	0,137	21	0,157	44	0,145	65	0,377
2	0,163	22	0,215	45	0,146	66	0,514
4	0,319	23	0,202	47	0,270	68	0,360
5	0,267	24	0,206	48	0,282	69	0,257
6	0,420	27	0,176	50	0,372	70	0,177
7	0,428	30	0,230	52	0,095	71	0,361
8	0,167	31	0,159	53	0,260	73	0,144
9	0,469	32	0,259	54	0,139	74	0,256
10	0,503	33	0,592	56	0,290	76	0,158
11	0,293	35	0,331	58	0,175	78	0,261
13	0,288	36	0,156	59	0,338	79	0,160
15	0,245	37	0,178	60	0,115	81	0,189
17	0,368	41	0,384	61	0,180		
18	0,136	42	0,107	62	0,272		
19	0,344	43	0,224	63	0,213		

### 3.1.2. $\alpha_1$ İçin Regresyon Analizleri

Bar hacminin zamansal değişimini belirlemeye yönelik incelenen  $\alpha_1$  katsayısı ile ilgili fiziksel model bulguları Tablo 3.1 kullanılarak, regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizleriyle,  $\alpha_1$ 'e m,  $d_{50}$  veya w, T ve H'nın etkisi de incelenmiştir.

$\alpha_1$  katsayısı için Eşitlik 2.5'te verilen fonksiyon kullanılarak yapılan regresyon analizlerinde, bağımsız değişken sayılarının azalması durumundaki regresyon ve determinasyon katsayıları (kolerasyon katsayısının karesi,  $r^2$ ) hesaplanmış, değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısı değeri azalma oranına  $((1 - (r_1^2 / r_{en\ büyük}^2)) * 100)$  etkisi incelenmiş, her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etki oranları ile birlikte Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2.  $\alpha_1$  için m,  $d_{50}$ , T ve H bağımsız değişkenlerine göre determinasyon ve regresyon katsayıları

Bağımsız Değişken Durumu		Deney sayısı (n)	Korelasyon Katsayısı (r)	Determinasyon katsayısı ( $r^2$ )	$r^2$ 'deki Azalma Oranı (%)	$\alpha_1 = b_0 \cdot m^{b_1} \cdot d_{50}^{b_2} \cdot T^{b_3} \cdot H^{b_4}$ (Çoklu Hiperbolik Fonksiyon)					Etki Oranı (%)			
Bulunma	Bulunmama					$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	m	$D_{50}$	T	H
m, $d_{50}$ , T, H	-	57	0,646	0,417	-	0,113	0,105	-0,280	-0,282	0,645	8,24	19,10	10,05	62,61
$d_{50}$ , T, H	m	57	0,640	0,410	1,68	0,091	-	-0,277	-0,298	0,660	-	20,34	11,78	67,88
m, T, H	$d_{50}$	57	0,618	0,382	8,3	1,010	0,097	-	-0,223	0,610	10,24	-	10,78	78,98
m, $d_{50}$ , H	T	57	0,638	0,407	2,4	0,118	0,114	-0,263	-	0,661	9,86	19,93	-	70,21
T, H	m, $d_{50}$	57	0,614	0,377	9,5	0,112	-	-	-0,238	0,621	-	-	13,12	86,88
$d_{50}$ , H	m, T	57	0,632	0,399	4,3	0,093	-	-0,250	-	0,673	-	21,79	-	78,21

Tablo 3.2 incelendiğinde,  $\alpha_1$  katsayısı üzerinde en etkili olan parametreler sırasıyla dalga yüksekliği (%62.61), medyan dane çapı (%19.10), dalga periyodu (%10.05) ve taban eğimi (%8.24) olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.2'de verilen değerlere göre,  $\alpha_1$  için elde edilen denklem aşağıda verilmiştir:

$$\alpha_1 = 0,113 \cdot m^{0,105} \cdot d_{50}^{-0,280} \cdot T^{-0,282} \cdot H^{0,645} \quad (3.1)$$



Tüm H değerleri için; m, d<sub>50</sub> ve T bağımsız değişkenlerinden birinin sabit diğerlerinin değişken olmaları durumundaki determinasyon katsayıları Tablo 3.3'te verilmektedir.

Tablo 3.3. m, d<sub>50</sub> ve T bağımsız değişkenlerinin sabit olması durumunda determinasyon katsayıları

	m			d <sub>50</sub> (mm)				T (sn)	
	1/10	1/15	1/25	0.18	0.26	0.33	0.40	1.46	2.03
n	25	22	10	18	16	15	8	39	18
r <sup>2</sup>	0,441	0,665	0,364	0,448	0,495	0,373	0,739	0,479	0,384

$\alpha_1$  katsayısı için ayrıca, bağımsız değişken medyan tane çapı (d<sub>50</sub>) yerine çökme hızı (w) kullanılarak regresyon analizi yapılmıştır. Elde edilen determinasyon ve regresyon katsayıları Tablo 3.4'te verilmektedir.

Tablo 3.4  $\alpha_1$  için m, w, T ve H bağımsız değişkenlerine göre determinasyon ve regresyon katsayıları

Bağımsız Değişken Durumu		Deney sayısı (n)	Korelasyon Katsayısı (r)	Determinasyon katsayısı (r <sup>2</sup> )	r <sup>2</sup> 'deki Azalma Oranı (%)	$\alpha_1 = b_0 \cdot m^{b_1} \cdot w^{b_2} \cdot T^{b_3} \cdot H^{b_4}$ (Çoklu Hiperbolik Fonksiyon)					Etki Oranı (%)			
Bulunma	Bulunmama					b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	m	d <sub>50</sub>	T	H
m, w, T, H	-	57	0,647	0,419	-	0,532	0,103	-0,224	-0,283	0,650	8,07	19,92	9,96	62,05
w, T, H	m	57	0,643	0,413	1,4	0,420	-	-0,222	-0,299	0,660	-	21,21	11,66	67,13
m, w, H	T	57	0,640	0,409	2,3	0,507	0,112	-0,211	-	0,661	9,65	20,83	-	69,52
w, H	m, T	57	0,634	0,402	4,0	0,390	-	-0,208	-	0,674	-	21,79	-	78,21

Tablo 3.4 incelendiğinde,  $\alpha_1$  katsayısı üzerinde en etkili olan parametreler sırasıyla dalga yüksekliği (%62.05), çökme hızı (%19.92), dalga periyodu (%9.96) ve taban eğimi (%8.07) olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.4'de verilen değerlere göre,  $\alpha_1$  için elde edilen denklem aşağıda verilmiştir:

$$\alpha_1 = 0,532 \cdot m^{0,103} \cdot w^{-0,224} \cdot T^{-0,283} \cdot H^{0,650} \quad (3.2)$$

Tablo 3.2 ve Tablo 3.4'ün karşılaştırılması sonucunda, bağımsız değişken olarak medyan çapı (d<sub>50</sub>) yerine çökme hızının (w) kullanılmasının, determinasyon katsayısını az da olsa arttırdığı belirlenmiştir.

Tüm H değerleri için, medyan tane çapı ( $d_{50}$ ) yerine çökme hızı ( $w$ ) dikkate alındığında,  $m$  ve  $T$  bağımsız değişkenlerinden birinin sabit diğerlerinin değişken olmaları durumundaki determinasyon katsayıları Tablo 3.5'te verilmektedir.

Tablo 3.5.  $m$  ve  $T$  bağımsız değişkenlerinin sabit olması durumunda determinasyon katsayıları

	m			T (sn)	
	1/10	1/15	1/25	1.46	2.03
n	25	22	10	39	18
$r^2$	0,441	0,665	0,364	0,479	0,384

### 3.2. Katı Madde Taşınım Debisinin Zamansal Değişimi

Katı madde taşınım debisinin zamansal değişimini belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarda irdelenen  $\alpha_2$  katsayısı ile ilgili fiziksel model bulguları ve  $\alpha_2$  ve  $\alpha_3$  katsayıları ile ilgili regresyon analizleri aşağıda verilmektedir:

#### 3.2.1. $\alpha_2$ İçin Fiziksel Model Bulguları

$\alpha_2$  katsayıları, Bölüm 2.2.2'de açıklandığı gibi hesaplanıp, Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6.  $\alpha_2$  katsayısı için fiziksel model bulguları

Deney No	$\alpha_2$ Katsayısı	Deney No	$\alpha_2$ Katsayısı	Deney No	$\alpha_2$ Katsayısı	Deney No	$\alpha_2$ Katsayısı
1	0,181	21	0,147	43	0,146	63	0,222
2	0,256	22	0,211	44	0,099	65	0,263
4	0,309	23	0,127	45	0,118	66	0,327
5	0,133	24	0,147	47	0,235	68	0,308
6	0,393	27	0,093	48	0,246	69	0,128
7	0,396	30	0,109	50	0,247	71	0,177
9	0,381	31	0,146	53	0,270	73	0,150
10	0,496	32	0,171	54	0,107	75	0,393
11	0,226	33	0,506	56	0,276	76	0,142
13	0,263	35	0,242	58	0,235	78	0,178
15	0,222	36	0,057	59	0,234	79	0,142
17	0,304	37	0,271	61	0,086	81	0,025
19	0,370	41	0,382	62	0,307		

### 3.2.2. $\alpha_2$ İçin Regresyon Analizleri

Katı madde taşınım debisinin zamansal değişimini belirlemeye yönelik incelenen  $\alpha_2$  katsayısı ile ilgili fiziksel model bulguları Tablo 3.6 kullanılarak, regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizleriyle,  $\alpha_2$ 'ye m,  $d_{50}$  veya w, T ve H'nin etkisi de incelenmiştir.

$\alpha_2$  katsayısı için Eşitlik 2.5'te verilen fonksiyon kullanılarak yapılan regresyon analizlerinde, bağımsız değişken sayılarının azalması durumundaki regresyon ve determinasyon katsayıları (kolerasyon katsayısının karesi,  $r^2$ ) hesaplanmış, değişken sayısı azalmasının determinasyon katsayısı değeri azalma oranına  $((1 - (r_i^2 / r_{en\ büyük}^2)) * 100)$  etkisi incelenmiş, her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkime oranları ile birlikte Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7  $\alpha_2$  için m,  $d_{50}$ , T ve H bağımsız değişkenlerine göre determinasyon ve regresyon katsayıları

Bağımsız Değişken Durumu		Deney sayısı (n)	Korelasyon Katsayısı (r)	Determinasyon katsayısı ( $r^2$ )	$r^2$ 'deki Azalma Oranı (%)	$\alpha_2 = b_0 \cdot m^{b_1} \cdot d_{50}^{b_2} \cdot T^{b_3} \cdot H^{b_4}$ (Çoklu Hiperbolik Fonksiyon)					Etki Oranı (%)			
Bulunma	Bulunmama					$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	m	$d_{50}$	T	H
m, $d_{50}$ , T, H	-	51	0,594	0,353	-	0,014	0,334	-0,590	-0,370	0,667	18,34	27,65	8,29	45,71
$d_{50}$ , T, H	m	51	0,561	0,315	1,68	$7 \cdot 10^{-3}$	-	-0,584	-0,433	0,705	-	32,12	11,78	56,10
m, T, H	$d_{50}$	51	0,514	0,264	8,39	1,515	0,326	-	-0,305	0,588	27,29	-	11,25	61,46
m, $d_{50}$ , H	T	51	0,587	0,345	2,40	0,014	0,347	-0,581	-	0,669	20,62	29,88	-	49,50
T, H	m, $d_{50}$	51	0,477	0,228	9,59	0,710	-	-	-0,368	0,625	-	-	16,22	83,78
$d_{50}$ , H	m, T	51	0,550	0,303	4,32	$6 \cdot 10^{-3}$	-	-0,572	-	0,709	-	36,28	-	63,72

Tablo 3.7 incelendiğinde,  $\alpha_2$  katsayısı üzerinde en etkili olan parametreler sırasıyla dalga yüksekliği (%45.71), medyan tane çapı (%27.65), taban eğimi (%18.34) ve dalga periyodu (%8.29) olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.7'de verilen değerlere göre,  $\alpha_2$  için elde edilen denklem aşağıda verilmiştir:

$$\alpha_2 = 0,014 \cdot m^{0,334} \cdot d_{50}^{-0,590} \cdot T^{-0,370} \cdot H^{0,667} \quad (3.3)$$

Tüm H değerleri için, m,  $d_{50}$  ve T bağımsız değişkenlerinden birinin sabit diğerlerinin değişken olmaları durumundaki determinasyon katsayıları Tablo 3.8'de verilmektedir.

Tablo 3.8. m,  $d_{50}$  ve T bağımsız değişkenlerinin sabit olması durumunda determinasyon katsayıları

	m			$d_{50}$ (mm)				T (sn)	
	1/10	1/15	1/25	0.18	0.26	0.33	0.40	1.46	2.03
n	23	19	9	15	14	14	8	39	12
$r^2$	0,400	0,635	0,463	0,364	0,536	0,367	0,680	0,392	0,568

$\alpha_2$  katsayısı için ayrıca, bağımsız değişken medyan tane çapı ( $d_{50}$ ) yerine çökme hızı (w) kullanılarak regresyon analizi yapılmıştır. Elde edilen determinasyon ve regresyon katsayıları Tablo 3.9'da verilmektedir.

Tablo 3.9  $\alpha_2$  için m, w, T ve H bağımsız değişkenlerine göre determinasyon ve regresyon katsayıları

Bağımsız Değişken Durumu		Deney sayısı (n)	Korelasyon Katsayısı (r)	Determinasyon katsayısı ( $r^2$ )	$r^2$ 'deki Azalma Oranı (%)	$\alpha_1 = b_0 \cdot m^{b_1} \cdot w^{b_2} \cdot T^{b_3} \cdot H^{b_4}$ (Çoklu Hiperbolik Fonksiyon)					Etki Oranı (%)			
Bulunma	Bulunmama					$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	m	$d_{50}$	T	H
m, w, T, H	-	51	0,594	0,353	-	0,394	0,327	-0,455	-0,368	0,664	18,15	27,78	8,33	45,74
w, T, H	m	51	0,562	0,316	10,48	0,184	-	-0,453	-0,431	0,702	-	32,19	11,80	56,01
m, w, H	T	51	0,587	0,345	2,27	0,354	0,342	-0,448	-	0,666	20,42	30,03	-	49,55
w, H	m, T	51	0,551	0,304	13,88	0,157	-	-0,444	-	0,706	-	36,36	-	63,64

Tablo 3.9 incelendiğinde,  $\alpha_2$  katsayısı üzerinde en etkili olan parametreler sırasıyla dalga yüksekliği (%45.74), çökme hızı (%27.78), taban eğimi (%18.15) ve dalga periyodu (%8.33) olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.7'de verilen değerlere göre,  $\alpha_2$  için elde edilen denklem aşağıda verilmiştir:

$$\alpha_2 = 0,394 \cdot m^{0,327} \cdot w^{-0,455} \cdot T^{-0,368} \cdot H^{0,664} \quad (3.4)$$

Tablo 3.7 ve Tablo 3.9'un karşılaştırılması sonucunda, bağımsız değişken olarak medyan çapı ( $d_{50}$ ) yerine çökme hızınının (w) kullanılmasının, determinasyon katsayısını değiştirmedeği belirlenmiştir.

Tüm H değerleri için medyan tane çapı ( $d_{50}$ ) yerine çökme hızı ( $w$ ) dikkate alındığında, m ve T bağımsız değişkenlerinden birinin sabit diğerlerinin değişken olmaları durumundaki determinasyon katsayıları Tablo 3.10'da verilmektedir.

Tablo 3.10 m ve T bağımsız değişkenlerinin sabit olması durumunda determinasyon katsayıları

	m			T (sn)	
	1/10	1/15	1/25	1.46	2.03
n	23	19	9	39	12
$r^2$	0,400	0,635	0,454	0,393	0,563

### 3.2.3. $\alpha_3$ İçin Fiziksel Model Bulguları

$\alpha_3$  katsayıları, Bölüm 2.2.2'de açıklandığı gibi hesaplanıp, Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11  $\alpha_3$  katsayısı için fiziksel model bulguları

Deney No	$\alpha_3$ Katsayısı	Deney No	$\alpha_3$ Katsayısı	Deney No	$\alpha_3$ Katsayısı	Deney No	$\alpha_3$ Katsayısı
1	0,147	21	0,148	43	0,193	63	0,220
2	0,207	22	0,216	44	0,118	65	0,349
4	0,356	23	0,170	45	0,125	66	0,458
5	0,212	24	0,169	47	0,273	68	0,377
6	0,438	27	0,132	48	0,287	69	0,206
7	0,491	30	0,177	50	0,333	71	0,271
9	0,486	31	0,146	53	0,289	73	0,127
10	0,620	32	0,226	54	0,091	75	0,369
11	0,279	33	0,660	56	0,315	76	0,138
13	0,301	35	0,310	58	0,219	78	0,230
15	0,241	36	0,102	59	0,309	79	0,148
17	0,377	37	0,211	61	0,135	81	0,130
19	0,421	41	0,452	62	0,323		

### 3.2.4. $\alpha_3$ İçin Regresyon Analizleri

Katı madde taşınım debisinin zamansal değişimini belirlemeye yönelik incelenen  $\alpha_3$  katsayısı ile ilgili fiziksel model bulguları Tablo 3.11 kullanılarak, regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizleriyle,  $\alpha_3$ 'e m,  $d_{50}$ , T ve H'nin etkisi de incelenmiştir.

$\alpha_3$  katsayısı için Eşitlik 2.5'te verilen fonksiyon kullanılarak yapılan regresyon analizlerinde, bağımsız değişken sayılarının azalması durumundaki regresyon ve determinasyon katsayıları (korelasyon katsayısının karesi,  $r^2$ ) hesaplanmış, değişken sayısı

azalmasının determinasyon katsayısı değeri azalma oranına  $((1 - (r_i^2 / r_{en\ büyük}^2)) * 100)$  etkisi incelenmiş, her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkene etkime oranları ile birlikte Tablo 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.12  $\alpha_3$  için m,  $d_{50}$ , T ve H bağımsız değişkenlerine göre determinasyon ve regresyon katsayıları

Bağımsız Değişken Durumu		Deney sayısı (n)	Korelasyon Katsayısı (r)	Determinasyon katsayısı ( $r^2$ )	$r^2$ ’deki Azalma Oranı (%)	$\alpha_1 = b_0 \cdot m^{b_1} \cdot d_{50}^{b_2} \cdot T^{b_3} \cdot H^{b_4}$ (Çoklu Hiperbolik Fonksiyon)					Etki Oranı (%)			
Bulunma	Bulunmama					$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	m	$d_{50}$	T	H
m, $d_{50}$ , T, H	-	51	0,701	0,492	-	0,021	0,200	-0,510	0,228	0,755	12,01	26,41	5,62	55,96
$d_{50}$ , T, H	m	51	0,688	0,473	3,86	0,014	-	-0,506	0,189	0,778		29,75	5,28	64,97
m, T, H	$d_{50}$	51	0,633	0,401	18,50	5,388	0,195	-	0,284	0,687	16,65		10,16	73,19
m, $d_{50}$ , H	T	51	0,699	0,488	0,81	0,022	0,195	-0,516	-	0,754	12,34	28,13		59,53
T, H	m, $d_{50}$	51	0,597	0,357	27,44	1,330	-	-	0,246	0,709			10,45	89,55
$d_{50}$ , H	m, T	51	0,686	0,470	4,47	0,014	-	-0,512	-	0,777		31,44		68,56

Tablo 3.12 incelendiğinde,  $\alpha_3$  katsayısı üzerinde en etkili olan parametreler sırasıyla dalga yüksekliği (%55.96), medyan tane çapı (%26.41), taban eğimi (%12.01) ve dalga periyodu (%5.62) olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.12’de verilen değerlere göre,  $\alpha_3$  için elde edilen denklem aşağıda verilmiştir:

$$\alpha_3 = 0,021 \cdot m^{0,200} \cdot d_{50}^{-0,510} \cdot T^{0,228} \cdot H^{0,755} \quad (3.5)$$

Tüm H değerleri için, m,  $d_{50}$  ve T bağımsız değişkenlerinden birinin sabit diğerlerinin değişken olmaları durumundaki determinasyon katsayıları Tablo 3.13’te verilmektedir.

Tablo 3.13. m,  $d_{50}$  ve T bağımsız değişkenlerinin sabit olması durumunda determinasyon katsayıları

	m			$d_{50}$ (mm)				T (sn)	
	1/10	1/15	1/25	0.18	0.26	0.33	0.40	1.46	2.03
n	23	19	9	15	14	14	8	39	12
$r^2$	0,487	0,746	0,478	0,552	0,616	0,377	0,726	0,507	0,680

$\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  katsayıları için, medyan çap yerine çökme hızı kullanılarak yapılan analizlerde determinasyon katsayısında önemli bir değişim belirlenmediğinden  $\alpha_3$  için bu tür bir analiz yapılmamıştır.

### 3.3 Genel Değerlendirme

Bar hacminin zamansal değişimini belirlemede kullanılan  $\alpha_1$  katsayısı ile katı madde taşınım debisini belirlemede kullanılan  $\alpha_2$  ve  $\alpha_3$  katsayıları üzerinde en etkin parametre dalga yüksekliği olarak belirlenmiştir ( $\alpha_1$  için %62.61,  $\alpha_2$  için %45.71 ve  $\alpha_3$  için %55.96). İkinci en etkin parametre olarak medyan malzeme çapı belirlenmiştir ( $\alpha_1$  için %19.10,  $\alpha_2$  için %27.65 ve  $\alpha_3$  için %26.41). Diğer iki parametre olan taban eğimi ve dalga periyodunun etkisinin daha az olduğu belirlenmiştir. Medyan malzeme çapı yerine çökme hızının kullanılması denklemlerin güvenilirliğini hemen hemen hiç etkilememiştir.

#### 4. İRDELEME

Bu bölümde, bar hacminin zamansal değişimini belirlemede kullanılan  $\alpha_1$  ve katı madde taşınım debisinin zamansal değişimini belirlemede kullanılan  $\alpha_2$  ve  $\alpha_3$  katsayıları ile ilgili elde edilen bulguların irdelemesi sunulmaktadır.

Dalga yüksekliği, periyodu, taban eğimi ve taban malzemesi özelliklerinin  $\alpha$  katsayıları üzerindeki etkileri, fiziksel model verileri dikkate alınarak ve irdelemesi yapılarak sunulmuştur.

$\alpha_1$  ve  $\alpha_3$  katsayıları için, regresyon analizi sonucunda kurulan denklemlerin, seçilen ve tüm deney şartları için elde edilen deney sonuçları ile karşılaştırılması yapılarak, aralarındaki rölatif hatalar hesaplanmış, rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmaları incelenmiştir. Bu çalışmada rölatif hatalar şu şekilde hesaplanmıştır:

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

Eşitlikte,  $x_o$  ve  $x_h$  sırasıyla, deneylerde ölçülen ve denklemlerden bulunan değerlerdir.

##### 4.1 $\alpha_1$ Katsayısı

Bu bölümde, bar hacminin zamansal değişimini belirlemede kullanılan  $\alpha_1$  katsayısının belirlemek için elde edilen fiziksel model verileri ve regresyon analizleriyle kurulan denklemler irdelenerek sunulmaktadır.

$\alpha_1$  katsayısını belirlemek için yapılan fiziksel model deney şartları Tablo 2.1'de ve deney sonuçları ise Tablo 3.1'de verilmişti. Tablo 2.1 ve 3.1 irdelendiğinde, taban eğimi ve dalga yüksekliği arttıkça ile  $\alpha_1$ 'in de arttığı, medyan dane çapı ve periyot arttıkça  $\alpha_1$ 'in azaldığı belirlenmiştir.

Regresyon analizi sonucu bulunan Eşitlik 3.1'den elde edilen  $\alpha_1$  katsayıları, Eşitlik 2.1'de yerine konularak ilgili saatteki hacim değerleri belirlenmiştir. Bu hacim değerleri ile deneylerden alınan hacim değerlerinin karşılaştırılması ve değerlendirilmesinde elde edilen rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak Tablo 4.1'de verilmektedir. Hacim değerlerinin karşılaştırılması, 2 saat arayla yapılan ölçüm değerlerine göre yapılmış



ve her deney şartı için deney süresine bağlı olarak birden fazla hata bulunmuştur. Her bir deney şartı için dikkate alınan hata değeri, bulunan hataların ortalaması olarak alınmıştır.

Tablo 4.1.  $\alpha_1$  için rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları

$\alpha_1$				
Eşitlik	Tüm Deney Şartları		Seçilen Deney Şartları	
	Ortalama (%)	Standart Sapma	Ortalama (%)	Standart Sapma
Eşitlik 2.1	16.08	10.79	13.45	8.44

#### 4.2 $\alpha_2$ Katsayısı

$\alpha_1$  katsayısını belirlemek için yapılan fiziksel model deney şartları Tablo 2.1’de ve deney sonuçları ise Tablo 3.6’da verilmişti. Tablo 2.1 ve 3.6 irdelendiğinde, taban eğimi ve dalga yüksekliği arttıkça  $\alpha_2$ ’nin de arttığı, medyan tane çapı ve periyot arttıkça  $\alpha_2$ ’nin azaldığı belirlenmiştir.  $\alpha_3$  için hesaplanan determinasyon katsayıları,  $\alpha_2$  için hesaplanarlardan daha büyük olduğundan,  $\alpha_2$  değerleri için rölatif hatalar hesaplanmamıştır.

#### 4.3 $\alpha_3$ Katsayısı

Bu bölümde, katı madde taşınım debisinin zamansal değişimini belirlemede kullanılan  $\alpha_3$  katsayısını belirlemek için elde edilen fiziksel model verileri ve regresyon analizleriyle kurulan denklemler irdelenerek sunulmaktadır.

$\alpha_3$  katsayısını belirlemek için yapılan fiziksel model deney şartları Tablo 2.1’de ve deney sonuçları ise Tablo 3.11’de verilmişti. Tablo 2.1 ve 3.11 irdelendiğinde,  $\alpha_3$  katsayısının taban eğimi, dalga yüksekliği ve dalga periyodu arttıkça  $\alpha_3$ ’ün de arttığı, medyan tane çapı arttıkça  $\alpha_3$ ’ün azaldığı belirlenmiştir.

Regresyon analizi sonucu bulunan Eşitlik 3.5’ten elde edilen  $\alpha_3$  katsayıları, Eşitlik 2.3’te yerine konularak ilgili saatteki debi değerleri belirlenmiştir. Bu debi değerleri ile deneylerdeki ölçüm saatleri arasındaki hacim değişiminden hesaplanan debi değerlerinin karşılaştırılması ve değerlendirilmesinde elde edilen rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak Tablo 4.2’de verilmektedir. Debi değerlerinin karşılaştırılmasında,

her bir deney için, deney süresine bağlı olarak birden çok hata bulunmuştur. Her bir deney şartı için dikkate alınan hata değeri, bulunan hataların ortalaması olarak alınmıştır.

Tablo 4.2.  $\alpha_3$  için rölatif hataların ortalama ve standart sapmaları

$\alpha_3$		
Eşitlik	Seçilen Deney Şartları	
	Ortalama (%)	Standart Sapma
Eşitlik 2.3	38.81	12.96

Tüm deney şartları için meydana gelen hatalar, seçilen deney şartlarından daha büyük bir hata oranına sahip olması beklentisi ve  $Q_{max}$  değerini belirlemede kullanılan  $\alpha_1$  katsayısının tüm deney şartları için hesaplanmamış olması nedeniyle Tablo 4.2'de verilmemiştir.

#### 4.4 Genel Değerlendirme

$\alpha_2$  katsayısı için hesaplanan rölatif hataların ortalaması tüm deneyler için %16.08, seçilen deneyler için ise %13.45 olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin çok büyük olmadığı ve kabul edilebilir sınırlar içerisinde bulunduğu kanaatine varılmıştır.

$\alpha_3$  katsayısı için hesaplanan rölatif hata değerleri ise beklendiği gibi oldukça büyüktür. Bunun sebebi şöyle açıklanabilir: Yapılan fiziksel model çalışmalarından hesaplanan debi değerleri için, ölçüm aralıklarının 2 saat gibi uzun bir süre olması nedeniyle, gerçeğe yakın değerler elde edilememiştir. Özellikle deney başlangıcında debi değerleri hızla azaldığından, 2 saatlik ortalama alınarak hesaplanan ölçüm değerlerinde önemli derecede hatalar olduğu açıktır. Bu hataları azaltmak için, daha sık zaman aralıklarında ölçüm alınmalıdır.

## 5. SONUÇLAR

Bu bölümde, çalışma kapsamında incelenen bar hacminin zamanla artmasını belirlemede kullanılan  $\alpha_1$  ve katı madde taşınım debisinin zamanla azalmasını belirlemede kullanılan  $\alpha_2$  ve  $\alpha_3$  katsayıları ile ilgili elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

### a. $\alpha_1$ Katsayısı

$\alpha_1$  katsayısı, taban eğimi ve dalga yüksekliği arttıkça artmakta, medyan dane çapı (veya çökme hızı) ve periyodun artmasıyla azalmaktadır.

Fiziksel model çalışmaları sonucu elde edilen verilerle yapılan regresyon analizleri sonucunda;  $\alpha_1$  katsayısına, dalga yüksekliğinin %62.61, medyan tane çapının %19.10, dalga periyodunun %10.05 ve taban eğiminin %8.24 oranında etki ettiği belirlenmiştir. Bağımsız değişken olarak medyan dane çapı yerine çökme hızı kullanılması durumunda,  $\alpha_1$  katsayısına etki oranlarında önemli bir değişim olmamıştır.

Eşitlik 2.1 ile hesaplanan değerlerle, fiziksel model ölçümlerinden hesaplanan değerler karşılaştırıldığında rölatif hatalar, seçilen deney şartları için %13.45 ve tüm deney şartları için %16.08 bulunmuştur. Bu hata oranlarının kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu söylenebilir.

### b. $\alpha_2$ Katsayısı

$\alpha_2$  katsayısı,  $\alpha_1$  katsayısında olduğu gibi taban eğimi ve dalga yüksekliği arttıkça artmakta, medyan tane çapı (veya çökme hızı) ve periyodun artmasıyla azalmaktadır.

Fiziksel model çalışmaları sonucu elde edilen verilerle yapılan regresyon analizleri sonucunda;  $\alpha_2$  katsayısına, dalga yüksekliğinin %45.71, medyan tane çapının %27.65, taban eğiminin %18.34 ve dalga periyodunun %8.29 oranında etki ettiği belirlenmiştir. Bağımsız değişken olarak medyan tane çapı yerine çökme hızı kullanılması durumunda,  $\alpha_2$  katsayısına etki oranlarında önemli bir değişim olmamıştır.

### c. $\alpha_3$ Katsayısı

$\alpha_3$  katsayısı, taban eğimi, dalga yüksekliği ve dalga periyodu arttıkça artmakta, medyan tane çapı (veya çökelme hızı) artmasıyla azalmaktadır.

Fiziksel model çalışmaları sonucu elde edilen verilerle yapılan regresyon analizleri sonucunda;  $\alpha_3$  katsayısına, dalga yüksekliğinin %55.96, medyan tane çapının %26.41, taban eğiminin %12.01 ve dalga periyodunun %5.62 oranında etki ettiği belirlenmiştir.

Eşitlik 2.3 ile hesaplanan değerlerle, fiziksel model ölçümlerinden hesaplanan değerler karşılaştırıldığında rölatif hatalar, seçilen deney şartları için %38.81 bulunmuştur. Ancak, yapılan fiziksel model çalışmalarından hesaplanan debi değerleri için, ölçüm aralıklarının 2 saat gibi uzun bir süre olması nedeniyle, gerçeğe yakın değerler elde edilememiştir. Bu sebeple, hesaplanan hata değerlerinin bu kadar büyük çıkması beklenen bir durumdur.

### d. Genel Değerlendirme

Çalışma kapsamında incelenen bar hacminin zamanla artmasını belirlemede kullanılan  $\alpha_1$ , katı madde taşınım debisinin zamanla azalmasını belirlemede kullanılan  $\alpha_2$  ve  $\alpha_3$  katsayılarının üçünde de en etkin parametre dalga yüksekliği ve ikinci en etkin parametre malzeme çapı olarak gözükmektedir. Diğer iki parametre taban eğimi ve dalga periyodunun etkisi daha az gözükmektedir.

Dalga yüksekliği ve taban eğiminin artmasıyla  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  katsayıları artmakta ve dolayısıyla kıyının denge hacmine ulaşma süreci daha hızlı olmaktadır. Bunun tersi olarak, malzeme çapı ve dalga periyodunu artmasıyla  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  katsayıları azalmakta ve dolayısıyla kıyının denge hacmine ulaşma süreci daha yavaş olmaktadır.  $\alpha_3$  katsayısının ise dalga yüksekliği, taban eğimi ve dalga periyodu arttıkça arttığı, medyan tane çapının artmasıyla azaldığı belirlenmiştir.

## 6. ÖNERİLER

Bu çalışma, K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen fiziksel model verilerine dayanmaktadır. Fiziksel modelde, dalga yüksekliği, malzeme çapı, taban eğimi ve dalga periyodunun kıyıya dik katı katı madde taşınımının zamansal değişimine etkisi incelenmiş ve zamansal değişimi belirlemeye yönelik incelenen  $\alpha$  katsayıları belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bilgiler ışığında, konu ile ilgili yapılacak çalışmalarda aşağıdaki öneriler dikkate alınmalıdır:

Kıyı profillerinin dengeye ulaşma sürecinde, kıyıda katı madde taşınımı başlangıçta çok hızlı oluşmakta ve bu taşınım zamanla azalmaktadır. Fiziksel model çalışmalarında, katı madde hareketinin zamansal değişimini daha iyi açıklayabilmek için, özellikle hareketin çok hızlı olduğu başlangıç saatlerinde daha sık aralıklarla ölçüm alınmalıdır.

Çalışma kapsamında, fiziksel model verileri regresyon analizleri ile incelenmiş ve  $\alpha$  katsayıları belirlenmeye çalışılmıştır. Fiziksel model verilerinin, regresyon analizinden farklı analiz modelleri (örneğin Yapay Sinir Ağları) ile de değerlendirilmesi yararlı olacaktır.

Yapılan fiziksel model çalışmaları düzenli dalgalarla gerçekleştirilmiştir. Doğadaki dalgaları daha iyi temsil etmesi bakımından fiziksel model çalışmalarının düzensiz dalgalar için de yapılması uygun olacaktır.

Bu çalışma, sadece kıyı profillerinin oyulmaya maruz kaldığı deney şartları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Kıyıya dik katı madde taşınımının zamansal değişimini tam olarak açıklanmasını sağlamak açısından, yığılma profilinin olduğu deney şartlarının da aynı şekilde incelenmesi faydalı olacaktır.

Fiziksel model verilerinin yanı sıra, arazi verileri de elde edilip, bu verilerden hesaplanacak  $\alpha$  katsayılarının, bu çalışmada hesaplanan  $\alpha$  katsayıları ile karşılaştırılması faydalı olacaktır.

## 7. KAYNAKLAR

1. Kraus, N. C., Larson, M. ve Kriebel, D., Evaluation of Beach Erosion and Accretion Predictors, Coastal Sediment'91, 1991, Seattle Washington, 572-587.
2. Kömürcü, M.  ., Yüksek,  ., Tokgöz, A. ve Kukul,  . B., "An Experimental Study on Coastal Profiles", Fifth International Congress on Advances in Civil Engineering, İstanbul Technical University, 25-27 September 2002, İstanbul, 1213-1223.
3. Kömürcü, M. I., Yüksek,  ., Karasu, S. ve  z l er, I. H., "An Experimental Study on Bar Characteristics of Storm-Built Profiles", The Sixth International Conference on The Mediterranean Coastal Environment, Medcoast 2003, Revenna, Italy.
4. G naydın, K. ve Kabtaşlı, M. S., Characteristics of Coastal Erosion Geometry Under Regular and Irregular Waves, Ocean Engineering, 30 (2003), 1579-1593.
5. Hsu, T-W., Geometric Characteristics of Storm-Beach Profiles Caused By Inclined Waves, Ocean Engineering, 25 (1998), 69-84.
6. Silvester, R. ve Hsu, J. R. C., Coastal Stabilization, Advanced Series on Ocean Engineering. World Scientific Publishing, 14, 1997.
7. Larson, M., Model of Beach Profile Change Under Random Waves, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 122 (1996), 172-181.
8. Larson, M., Kraus, N. C. ve Wise R. A., Equilibrium Beach Profiles Under Breaking and Non-Breaking Waves, Coastal Engineering, 36 (1999), 59-85.
9. Dalrymple, R. A., Prediction of Storm/Normal Beach Profile, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 118 (1992), 193-200.
10. Kriebel, D., Kraus, N. C. ve Larson, M., Engineering Methods for Predicting Beach Profiles Response, Coastal Sediment'91, 1991, Seattle Washington, 557-560.
11. Larson, H. ve Kraus, N. C., Numerical Model for Simulating Storm-Induced Beach Change (SBEACH), Report 1, Technical Report, CERC, Mississippi, 1989.
12. Zheng, J. ve Dean, R. G., Numerical Models and Intercomparisons of Beach Profile Evolution, Coastal Engineering, 30 (1996), 169-201.
13. Sawaragi, T., Coastal Engineering-Waves, Beaches, Wave-Structure Interactions, Elsevier, Amsterdam, 1995.

14. Tokgöz, A., Kıyı Profili Karakteristiklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2002.
15. Kukul, İ. B., Kıyıya Dik Sediment Taşınımı ve Kıyı Profili Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2000.
16. Kömürcü, M. İ., Kıyıya Dik Katı Madde Hareketi Sonucu Oluşan Bar Parametrelerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2003.
17. Yüksek Ö., Kıyı Hidroliği Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1995.
18. 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.
19. Kömürcü, 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.
20. 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.
21. Wiegel, R.L., Oceanographical Engineering, Prentice-Hall International Series in Theoretical and Applied Mechanics, 1964.
22. Kömürcü, M. İ., Dalga Sapmasının Sayısal Yöntemle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Ocak 1998.
23. 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.
24. Birben, A. R., Kıyı Korumasında Açıkdeniz Dalgakıranların Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
25. Horikawa, K., Nearshore Dynamics and Coastal Processes, University of Tokyo, 1987.
26. Kabdaşlı, S., Kıyı Mühendisliği, İTÜ Yayını, No:1504, 1992.

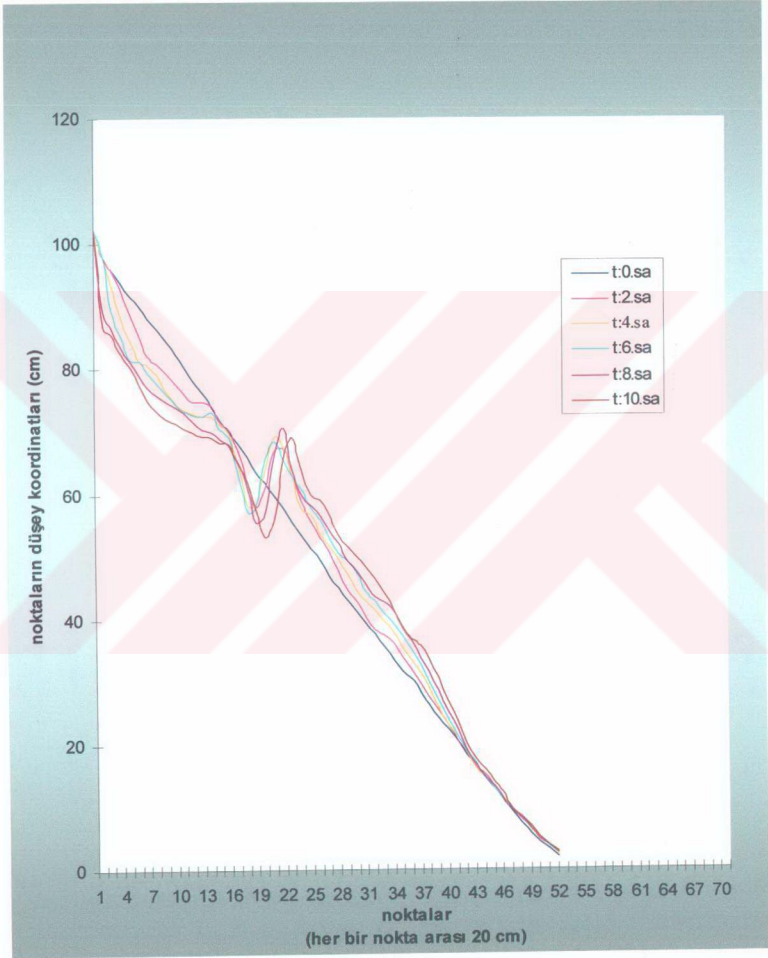
27. Chiaia, G., Damania, L. ve Petrillo, A., Analysis of Cross-Shore Transport, International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, September 1995, 25/29, R.J. Brazil, 412-426.
28. Fredsoe, J., Deigaard, R., Mechanics of Coastal Sediment Transport, World Scientific Publ. Co. London, 1992.
29. Özölçer, İ. H., Kıyı Korumasında Mahmuzların Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
30. Larson, M., Kraus, N.C. ve Sunamura, T., Beach Profile Change: Morphology, Transport Rate, and Numerical Simulation, 21<sup>st</sup> Coastal Engineering Conference CERC/ASCE, June 1988, Coasta del Sol-Malaga, Spain.
31. Kraus, N.C. ve Harikai, S., Numerical Model of the Shoreline Change at Oarai Beach, Coastal Engineering, 7 (1983), Amsterdam, 1-28.
32. Hanson, H. ve Kraus, N.C., Forecast of Shoreline Change Behind Multiple Coastal Structures, Coastal Engineering in Japan, Volume 29, 1986, 195-214.
33. Kamphuis J.W. Alongshore Sediment Transport Rate, Proc. 22<sup>nd</sup>. Coastal Engineering Conference, ASCE, 1990, 2402-2415.
34. Yüksek, Ö., Kıyılarda Katı Madde Hareketi Ders Notları, KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1995.
35. 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.
36. Schoonees, J.S. ve Theron, A.K., Evaluation of 10 Cross-Shore Sediment Transport/Morphological Models, Coastal Engineering, 25 (1995), 1-41.
37. 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.
38. Dean R. G., Beach Erosion: Causes, Processes, and Remedial Measures, CRC Critical Review of Environmental Control, CRC Pres, 1976.
39. Dean R. G., Equilibrium Beach Profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coasts, Ocean Engr. Rpt, No. 12, Univ. of Delaware, Newark, 1977.
40. Moore, B., Beach Profile Evolution in Response to Changes in Water Level and Wave Height, M.S. Thesis, University of Delaware, 1982.



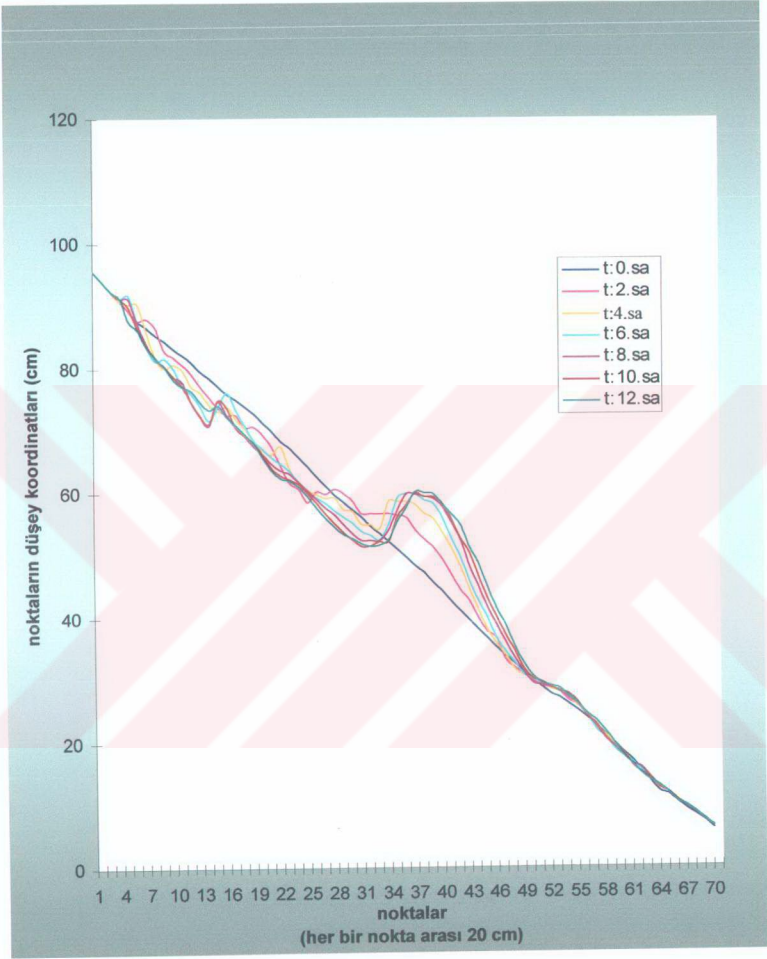
41. Sunamura, T., Quantitative Prediction of Beach-Face Slope, Geol. Soc. of America Bulletin, 95 (1984).
42. Dally, W., Dean, R., and Dalrymple, R., Wave Height Variation Across Beaches of Arbitrary Profile, Journal of Geophysical Research, 90 (C6),1985,11917-11927.
43. Dean, R., G., Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications, Journal of Coastal Research, 7 (1), 1991,53-84.



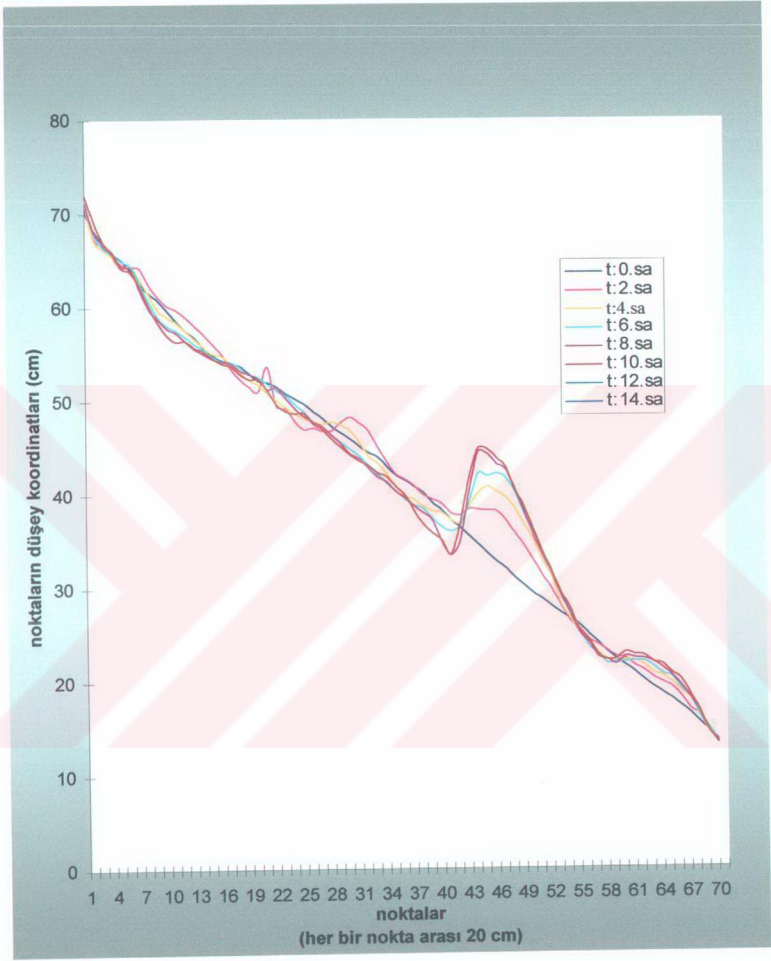
## 8. EKLER



Ek Şekil 1. 24 no'lu deney için kıyı profilinin zamansal değişimi



Ek Şekil 2. 47 no'lu deney için kıyı profilinin zamansal değişimi



Ek Şekil 3. 75 no'lu deney için kıyı profilinin zamansal değişimi

## ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Ankara'da doğdu. İlkokulu Ankara Malazgirt İlkokulu, ortaokulu Ankara Kurtuluş Ortaokulu ve Liseyi Ankara Kurtuluş Lisesinde 1996 yılında tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. Bu bölümü 2000 yılında tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Yüksek lisans öğrenimi sırasında özel bir şirkette inşaat mühendisi olarak çalıştı. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.

