

154361

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIYI ÇİZGİSİNİN SAYISAL MODELLEMESİ ÜZERİNE
BİR ÇALIŞMA; KARABURUN ÖRNEĞİ**

İnş. Müh. H. Anıl ARI

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	i
KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Problemin Tanımı.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı.....	2
2. KATI MADDE TAŞINIMININ MODELLENMESİ.....	3
2.1 Katı Madde Modellerinin Tanımı.....	3
2.1.1 Kıyı Profili Modeli.....	3
2.1.2 Kıyı Çizgisi Değişim Modeli.....	3
2.1.3 Üç Boyutlu Kıyı Gelişim Modeli.....	4
2.2 Kıyı Boyu Katı Madde Taşınımı.....	5
2.3 Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımı.....	7
2.4 Katı Madde Bütçesi.....	8
2.5 Kıyı Çizgisinin Modellenmesi.....	11
2.5.1 Giriş.....	11
2.5.2 1-D Morfoloji Denklemi.....	12
2.5.3 Katı Madde Taşınımı.....	13
2.5.3.1 Potansiyel Katı Madde Taşınımı.....	13
2.5.3.2 Gerçek Katı Madde Taşınım Miktarı.....	14
2.5.4 Dalga Değişim Hesabı.....	15
2.5.4.1 Dalga Sıgılaşması, Sapması ve Kırılması.....	15
2.5.4.2 Dalga Dönmesi.....	15
2.5.5 Kıyı Morfolojisinin Analitik Hesabı.....	17
2.5.5.1 Basitleştirmeler ve Kabuller.....	17
2.5.5.2 Tam Bariyer Çözümü.....	19
2.5.5.3 Bypass Bariyer Çözümü.....	21
2.5.6 Sayısal Çözümler.....	23
2.5.6.1 Temel Kavramlar.....	23
2.5.6.2 Açık Sonlu Farklar Şeması.....	23
2.5.6.3 Kapalı Sonlu Farklar Şeması.....	25
2.5.6.4 Sınır Şartları.....	28
2.5.6.5 Kıyı Eğimi.....	29

2.5.6.6	Geniş Kıyı Çizgisi Eğrilikleri.....	30
2.6	Konu İle İlgili Çalışmalar.....	31
3.	KARABURUN BALIKÇI BARINAĞI'NDA KUMLANMA ve KIYI ÇİZGİSİ DEĞİŞİMİNİN TANIMI ve SAHA ÖLÇÜMLERİ	34
3.1	Karaburun Balıkçı Barınağı.....	34
3.2	Problemin Tanımı.....	35
3.3	Rüzgar ve Dalga İklimi.....	36
3.3.1	Rüzgar İklimi ve İstatistiği Çalışması.....	36
3.3.2	Dalga İklimi ve İstatistiği Çalışması.....	40
3.3.2.1	Uzun Dönem Dalga İstatistiği.....	41
3.3.2.2	Ekstrem Dalga İstatistiği.....	47
3.4	Saha Etütleri.....	52
3.4.1	Batimetri.....	52
3.4.2	Jeolojik Yapı.....	54
3.4.3	Katı Madde Özellikleri.....	54
4.	KARABURUN KATI MADDE TAŞINIMININ BELİRLENMESİ ve KIYI ÇİZGİSİ DEĞİŞİMİNİN MODELLENMESİ	56
4.1	Katı Madde Miktarının Belirlenmesi.....	56
4.1.1	CERC Yöntemi.....	56
4.1.2	SandCalc Yazılımı.....	60
4.2	Kıyı Çizgisinin Modellenmesi.....	65
4.2.1	Analitik Çözüm.....	65
4.2.2	Sayısal Modelleme.....	69
4.2.2.1	Mevcut Durumun Değerlendirilmesi ve Sayısal Modelleme.....	69
4.2.2.2	Analitik ve Sayısal Çözümlerin Karşılaştırılması.....	74
4.2.2.3	Sayısal Modelleme İle Karaburun Kıyı Çizgisi Uygulaması.....	75
4.3	Kıyı Çizgisi Değişiminde Yapısal Çözüm; Mahmuz Boyutlandırması.....	81
4.3.1	Hudson (1961) Metodu.....	82
4.3.2	Van Der Meer (1997) Metodu.....	84
5.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	87
	KAYNAKLAR.....	89
	ÖZGEÇMİŞ.....	93

SİMGE LİSTESİ

a'	Katı madde hacminin toplam hacme oranı
A_i	ONELINE bilgisayar programının katsayısı
A_p	Kıyı profil katsayısı
B_i	ONELINE bilgisayar programının katsayısı
c_1	Katsayı
c_2	Katsayı
c_3	Katsayı
c_4	Katsayı
C_g	Grup dalga hızı
C_Q	Kalibrasyon katsayısı
d_{10}	Katı madde danelerinin % 10'unun geçtiği çap
d_{16}	Katı madde danelerinin % 16'sının geçtiği çap
d_{35}	Katı madde danelerinin % 35'inin geçtiği çap
d_{50}	Katı madde danelerinin % 50'sinin geçtiği çap
d_{65}	Katı madde danelerinin % 65'inin geçtiği çap
d_{84}	Katı madde danelerinin % 84'ünün geçtiği çap
d_{90}	Katı madde danelerinin % 90'ının geçtiği çap
$\underline{D}$	Difüzyon katsayısı
D_{n50}	Taşın ortalama çapı
f	H_0 yüksekliğinde α_0 açısına sahip dalganın bir yılda kıyıda etki etme yüzdesi
$F(\alpha_0)$	Yön terimi
g	Yerçekimi ivmesi
h_b	Kırılma derinliği
h_d	Eşik derinliği
h_k	Kapama derinliği
$h_{k,max}$	Maksimum kapama derinliği
h_p	Profil derinliği
H	Dalga yüksekliği
H_b	Kırılma derinliğindeki dalga yüksekliği
H_d	Dizayn dalga yüksekliği
H_i	Gelen dalga yüksekliği
H_o	Derin deniz dalga yüksekliği
H_{ort}	Ortalama dalga yüksekliği
H_{rms}	Potansiyel dalga yüksekliği
H_s	Belirgin dalga yüksekliği
H_{sb}	Kırılma derinliğindeki belirgin dalga yüksekliği
H_{srb}	Kırılma derinliğindeki sığlaşma ve sapmaya uğramış dalga yüksekliği
$\bar{H}$	Ortalama dalga yüksekliği
K	Boyutsuz katsayı
K'	CERC (1984) formülü katsayısı
K_d	Dönme katsayısı
K_D	Hudson formülünde stabilite katsayısı
K_Δ	Tabaka katsayısı
m_b	Kırılma derinliğindeki kıyı eğimi
$\bar{m}$	Ortalama kıyı eğimi
W_{50}	VanderMeer formülünde taş ağırlığı
n	Taş kaplama sırası
N	Fırtına süresi

q_0	Kıyı boyu doğrultusunda birim mesafede kıyıya dik net katı madde taşınım debisi
Q	Kıyı boyu katı madde taşınım debisi
Q_a	Gerçek katı madde taşınım debisi
Q_{by}	Bypass eden katı madde taşınım debisi
Q_i	i düğüm noktasındaki katı madde taşınım debisi
Q_i^*	i düğüm noktasındaki yeni katı madde taşınım debisi
Q_{net}	Kıyı boyu net katı madde taşınım debisi
Q_p	Potansiyel katı madde taşınım debisi
$Q_{sağ-sol}$	Sağdan sola taşınan kıyı boyu katı madde debisi
$Q_{sol-sağ}$	Soldan sağa taşınan kıyı boyu katı madde debisi
Q_{top}	Toplam katı madde taşınım debisi
r	Çevirme faktörü
P	Geçirimlilik
r_n	Koruyucu tabaka kalınlığı
R_p	Yinelenme dönemi
R_s	Stabilite katsayısı
S	Kumun yoğunluğunun suyun yoğunluğuna oranı; hasar seviyesi
S_e	Efektif yapı uzunluğu
S_i	ONELINE bilgisayar programında bilinen terimlerin gruplandırılması
S_{om}	Dalga dikliği
S_s	Yapı uzunluğu
t	Zaman
t_{dolu}	Yapının katı madde ile dolma süresi
t_f	Final zamanı
t_l	Başlangıç zamanı
T	Dalga periyodu
T_m	Ortalama dalga periyodu
T_p	Spektrumun pik noktasına karşılık gelen dalga periyodu
T_s	Belirgin dalga periyodu
W	Mahmuzlarda her bir taşın ağırlığı
x	Kıyı çizgisinden açık denize doğru olan uzaklık
x_c	Kıyı çizgisinden kapama derinliğine olan mesafe
x_i	Kıyı çizgisinin pozisyonu
x_i^*	Kıyı çizgisinin yeni pozisyonu
x_s	Yapının arkasındaki katı madde yığılma uzunluğu
x_o	Yapıdaki kıyı çizgisi pozisyonu
α	x eksenine göre dalga geliş açısı
α_b	Kırılma derinliğindeki dalga açısı
α_{bd}	Kırılma derinliğinde, dönmeye uğramış dalga açısı
α_{bo}	Mahmuz sonundaki dalga kırılma açısı
α_{bs}	Kırılan dalganın kıyı çizgisi ile yaptığı açı
α_e	Efektif yerel dalga açısı
α_m	Dalga morfoloji açısı
α_o	Derin deniz dalga geliş açısı
α_s	Kıyı çizgisi açısı
α_S	Dalğanın yapıyla yaptığı açı
β	Şev eğimi
γ	Dalga kırılma yüksekliğinin dalga kırılma anındaki su derinliğine oranı
γ_s	Taşın özgül ağırlığı
γ_w	Deniz suyunun özgül ağırlığı
Δ	Taşın rölatif özgül ağırlığı

ΔQ_{fic}	Katkı debisi
ΔP	Dalga yüksekliğine karşılık gelen olasılık değeri
Δt	Zaman aralığı
Δx	Kıyı çizgisi değişim miktarı
Δy	Ağ aralığı
ξ	Iribarren sayısı
θ	Dalga doğrultusunun korunan bölge sınır çizgisi ile yaptığı açı



KISALTMA LİSTESİ

CERC	Coastal Engineering Research Center
DLH	Demiryolları, Limanlar ve Havameydanları
DMİGM	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
E	East
ENE	East North East
erf	Error Function
erfc	Complimentary Error Function
GENESIS	Generalized Model for Simulating Shoreline Change
GPS	Global Positioning System
Kbf	Karaburun Formasyonu
N	North
NE	North East
NNE	North North East
NNW	North North West
NW	North West
OLSS	Online Shoreline Sections
OLST	Online Shoreline Trend
PIANC	The International Navigation Association
SPM	Shore Protection Manual
WNW	West North West
1-D	1 Dimensional
2DH	2 Dimensional Horizontal
2DV	2 Dimensional Vertical
3-D	3 Dimensional

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Kıyısız katı madde bütçesi (Van Rijn, 1998).....	10
Şekil 2.2	Koordinat eksenleri (Kamphius, 2000)	12
Şekil 2.3	1-D modeli için kütleli korunumu şeması (Kamphius, 2000).....	13
Şekil 2.4	Hesap şeması (Kamphius, 2000).....	15
Şekil 2.5	Mahmuz yanında dönme ve sapma (Kamphius, 2000).....	17
Şekil 2.6	İki-çizgi modeli (Kamphius, 2000).....	19
Şekil 2.7	Tam bariyer için analitik çözüm (Kamphius, 2000)	19
Şekil 2.8	Hata fonksiyonu (Kamphius, 2000).....	21
Şekil 2.9	Etkili uzunluk (Kamphius, 2000).....	22
Şekil 2.10	1-D modeli için bölünmüş kıyı çizgisi (a) (Kamphius, 2000)	24
Şekil 2.11	1-D modeli için bölünmüş kıyı çizgisi (b) (Kamphius, 2000)	25
Şekil 2.12	Bypass hesabı için tanımlamalar (Kamphius, 2000).....	29
Şekil 3.1	Karaburun mevkiî	34
Şekil 3.2	Karaburun Balıkçı Barınağı planı	35
Şekil 3.3	Karaburun Balıkçı Barınağı'nın genel görünümü ve kumlanma	36
Şekil 3.4	Yönlere göre rüzgar esme süreleri (Kilyos Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan 1976-2001 yılları arası saatlik rüzgar verilerine göre)	37
Şekil 3.5	Şiddetlerine göre ağırlığı alınmış rüzgar esme süreleri (Kilyos Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan 1976-2001 yılları arası saatlik rüzgar verilerine göre).....	37
Şekil 3.6	Karaburun kıyısını etkileyen yönler için rüzgar olasılık dağılımı (Kilyos Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan saatlik rüzgar verilerine göre, 1976-2001).....	38
Şekil 3.7	"Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası"na göre rüzgar iklimi (Özhan ve Abdallah, 1999)	39
Şekil 3.8	Karaburun Balıkçı Barınağı kabarma alanı uzunlukları	40
Şekil 3.9	Uzun dönem olasılık dağılımı (Sarıyer Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan 1998- 2001 yılları arası saatlik rüzgar verilerine göre)	42
Şekil 3.10	Uzun dönem olasılık dağılımı (Kilyos Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan 1976- 2001 yılları arası saatlik rüzgar verilerine göre)	43
Şekil 3.11	Uzun dönem olasılık dağılımı (Şile Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan 1993- 2002 yılları arası saatlik rüzgar verilerine göre)	44
Şekil 3.12	"Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası"na göre uzun dönem dalga istatistiği (Özhan ve Abdalla, 1999).....	45
Şekil 3.13	"Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası"ndan elde edilen uzun dönem dalga istatistiği (Özhan ve Abdalla, 1999)	46
Şekil 3.14	Karaburun Balıkçı Barınağı yönden bağımsız ekstrem dalga istatistiği (1986-2000, Sarıyer Meteoroloji İstasyonu rüzgar verilerine göre)	49
Şekil 3.15	Karaburun Balıkçı Barınağı ekstrem dalga istatistiği (1986-2000, Sarıyer Meteoroloji İstasyonu rüzgar verileri ve yönlere göre)	49
Şekil 3.16	Karaburun Balıkçı Barınağı yönden bağımsız ekstrem dalga istatistiği (1976-2001, Kilyos Meteoroloji İstasyonu rüzgar verilerine göre)	51
Şekil 3.17	Karaburun Balıkçı Barınağı ekstrem dalga istatistiği (1986-2000,Kilyos Meteoroloji İstasyonu rüzgar verileri ve yönlere göre)	51
Şekil 3.18	Karaburun kıyısında enlem ve boylama göre GPS ölçümleri.....	52
Şekil 3.19	Karaburun yakın kıyı batimetrisi	53
Şekil 3.20	Katı maddenin granülometrik değişimi.....	55
Şekil 4.1	Karaburun kıyısını etkileyen dalga yönleri.....	57
Şekil 4.2	SandCalc programı için akış diyagramı	63
Şekil 4.3a	Karaburun balıkçı barınağı ve yakın kıyısı	67

Şekil 4.3b İdealleştirilmiş barınak ve yakın kıyısı	67
Şekil 4.4 Analitik çözümle elde edilmiş kıyı çizgisi değişimi ve yapı yanındaki yığılma	69
Şekil 4.5 Sayısal model için kullanılan başlangıç kıyı çizgisi	70
Şekil 4.6 Sayısal model bilgisayar programı için akım şeması	72
Şekil 4.7 Sayısal çözümün analitik çözümle karşılaştırılması (2 ^o lık kırılma açısıyla yaklaşan sabit dalga koşulunda yapı yanında yığılma için)	75
Şekil 4.8 Karaburun kıyı modellemesi için çözüm ağ şeması	76
Şekil 4.9 Karaburun kıyı çizgisi değişimi (1 ve 2 yıl için)	77
Şekil 4.10 Karaburun kıyı çizgisi değişimi (Tek mahmuz hali için)	77
Şekil 4.11 Tek mahmuzun Karaburun kıyı çizgisine etkisi	78
Şekil 4.12 Beşli mahmuz sisteminin planı	79
Şekil 4.13 Karaburun kıyı çizgisi değişimi (Beşli mahmuz sistemi için)	79
Şekil 4.14 Beşli mahmuz sisteminin kıyı çizgisine etkisi	80
Şekil 4.15 Mahmuz kesitlerinin şematik gösterimi	81
Şekil 4.16 A-A kesiti (1 ve 5 nolu mahmuzlar için kafa kesiti)	83
Şekil 4.17 B-B kesiti (2, 3 ve 4 nolu mahmuzlar için kafa kesiti)	83
Şekil 4.18 C-C kesiti (1, 2, 3, 4 ve 5 nolu mahmuzlar için gövde kesiti)	83
Şekil 4.19 D-D kesiti (1, 2, 3, 4 ve 5 nolu mahmuzlar için gövde kesiti)	84



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Kıyı boyu katı madde taşınımının genel sınıflandırması (Yüksel, 2003)	7
Çizelge 3.1	Kabarma alanı (feç) uzunlukları	41
Çizelge 3.2	Uzun dönem derin deniz belirgin dalga yüksekliği olasılık denklemleri (Şekil 3.13'e göre).....	46
Çizelge 3.3	Karaburun bölgesi ortalama derin deniz dalga yükseklikleri, dönemleri, bir yıl içinde oluşma süreleri ve oluşma yüzdeleri	47
Çizelge 3.4	Sarıyer bölgesi için 1986-2000 yılları arası (15 yıl) anlık rüzgar verilerine dayanan en büyük derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ve periyotları	48
Çizelge 3.5	Karaburun Balıkçı Barınağı için çeşitli yinelenme dönemleri için derin deniz en en büyük belirgin dalga yükseklikleri (Sarıyer).....	48
Çizelge 3.6	Kilyos Bölgesi için 1976-2001 yılları arası (25 yıl) anlık rüzgar verilerine dayanan en büyük derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ve periyotları	50
Çizelge 3.7	Karaburun Balıkçı Barınağı için çeşitli yinelenme dönemleri için derin deniz en en büyük belirgin dalga yükseklikleri (Kilyos).....	50
Çizelge 3.8	Elek analizi sonuçları.....	54
Çizelge 3.9	Katı maddenin granülometrik özellikleri	55
Çizelge 3.10	Katı maddenin diğer özellikleri.....	55
Çizelge 4.1	CERC (1984) metodu ile yönler göre katı madde taşınım miktarları	58
Çizelge 4.2	Devam	59
Çizelge 4.3	SandCalc programında kullanılan deniz suyu girdileri.....	61
Çizelge 4.4	SandCalc programında kullanılan taban malzemesi özelliklerinin girdi ve hesaplanan değerleri.....	61
Çizelge 4.5	Shields parametresinin hesaplamasında kullanılan girdiler ve elde edilen çıktı. 61	
Çizelge 4.6	SandCalc programında Damgaard ve Soulsby (1997) yönteminde kullanılan girdiler ve elde edilen çıktılar.....	62
Çizelge 4.7	SandCalc programında CERC (1984) yönteminde kullanılan girdiler ve elde edilen çıktılar.....	64
Çizelge 4.8	Farklı yöntemlerle elde edilen Karaburun kıyısındaki katı madde taşınım miktarları	65
Çizelge 4.9	Tek çizgi teorisinin analitik çözümünde kullanılan kabuller ve sınırlamalar (Dabees, 2000)	66
Çizelge 4.10	Yapı yakınındaki yıllara ve kıyı boyu doğrultusundaki mesafelere göre yığılma miktarları ve bypass eden kum miktarları	68
Çizelge 4.11	Sayısal model programında kullanılan dalga verileri	70
Çizelge 4.12	Mahmuz tasarımı dikkate alınan dizayn dalga yükseklikleri	81
Çizelge 4.13	Mahmuz sistemindeki taş ağırlıkları (Hudson, 1961).....	82
Çizelge 4.14	Mahmuz sistemindeki tabaka kalınlıkları	83
Çizelge 4.15	Mahmuz sistemindeki taş ağırlıkları (Van Der Meer, 1997)	86
Çizelge 4.16	Mahmuz sistemindeki taş ağırlıklarının iki yöntem için karşılaştırılması	86

ÖNSÖZ

Sadece tez çalışmasında değil lisans ve yüksek lisans öğrenimim ve çalışma hayatım süresince her türlü tecrübesini, bilgisini ve desteğini esirgemeyen, öneri ve bilgisine her zaman ihtiyaç duyacağım hocam Sayın Prof. Dr. Yalçın Yüksel'e tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Lisans, yüksek lisans ve tez çalışmam süresince bilgilerini ve tecrübesini benimle paylaşan, her kapısını çalışmada içtenlikle sorunlarıma çözüm arayan hocam Doç. Dr. Esin Çevik'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında engin tecrübe ve bilgilerinden faydalandığım, arazi ve sayısal modelleme çalışmalarımda büyük destek aldığım Dr. Işıktan Güler ve Doç. Dr. Ahmet Cevdet Yalçın'er'e teşekkür ederim.

İki senedir benimle acı tatlı anlarımı paylaşan, tüm sıkıntılı zamanlarımda manevi desteklerini esirgemeyen sevgili çalışma arkadaşlarıma ve özellikle programlama konusunda yardımını esirgemeyen oda arkadaşım Burak Aydoğan'a yürekten teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, desteklerinden dolayı YTÜ Araştırma Fonu Başkanlığı ve DLH Genel Müdürlüğü ile DLH 4. Bölge Müdürü Dr. Haluk İbrahim Özmen'e teşekkür ederim.

Arada kilometreler olsa da sevgi ve desteklerini her zaman yanımda hissettiğim sevgili ailem; bana verdiğiniz emek ve sevgi için size ne kadar teşekkür etsem azdır...

ÖZET

Kıyı çizgisinin modellenmesi; karmaşık bir fiziğe sahip olması, girdilerinin belirsizlik içermesi ve elde edilmesinin zorluğundan dolayı oldukça güç bir konudur. Kıyı çizgisinin belirlenmesi, etkin kıyı alanı yönetimi için önemli olup, çevrenin korunması ve sürdürülebilir gelişme için de gereklidir. Kıyı morfolojisinin sayısal modellemesinde bir çok yöntem geliştirilmiştir. Bunlar karmaşık 3-boyutlu modellerden basit 1-boyutlu modellere kadar değişmektedir. Pratik model uygun yaklaşım sağlayandır, yani girdinin niteliği ile uygunluk sağlayan ve çözümleme süresinin kısa olanıdır.

Bu çalışmada; Karadeniz kıyısında bulunan Karaburun Balıkçı Barınağı'ndaki kumlanma ve Karaburun kıyısında meydana gelen kıyı çizgisi değişimine çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Yöreye ait dalga iklimi ve istatistiği çalışması farklı meteoroloji istasyonlarından (Sarıyer, Kilyos ve Şile) elde edilen rüzgar verileri ve dalga atlası (Özhan ve Addalla, 1999) kullanılarak detaylı olarak incelenmiş, balıkçılar ve yöre halkından elde edilen bilgilere göre en uygun dalga istatistiği oluşturulmuştur. Katı madde özellikleri elde edildikten sonra CERC (1984) metodu ve SandCalc bilgisayar programıyla katı madde taşınım yönü ve miktarı belirlenmiştir. Tek-çizgi metodunu esas alan sayısal model yardımıyla yazılan bilgisayar programı koşturularak Karaburun kıyısında iki senede meydana gelen kıyı çizgisi değişimi görülmüştür. Sayısal çözüm ve analitik çözüm karşılaştırılması yapılmış, sayısal model programının geçerliliği onaylanmıştır. Karaburun kıyısında meydana gelen erozyon, yığılma ve Karaburun Balıkçı Barınağı'nda oluşan kumlanma problemine çözüm olarak iki alternatif mahmuz sistemi sunulmuş ve bu sistemlerin boyutlandırılması yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kıyı çizgisi değişimi, kıyı boyu katı madde taşınımı, kumlanma, erozyon, Karaburun, mahmuz

ABSTRACT

Beach evolution modelling is a challenge because coastal processes are complex and input data is either scarce or contains large uncertainties. Long-term prediction of beach evolution is an essential tool for effective coastal management, environmental protection and sustainable development. Several categories of numerical models of coastal morphology have been developed, ranging from sophisticated 3-D models to simple 1-D models for idealized conditions. A practical model provides reliable predictions, compability with the quality of the input data and reasonable execution time.

In this work, a solution is investigated for the problem of siltation in Karaburun Fisher Port and shoreline change existing at the Karaburun coast. Wave climate and statistics of area is investigated by analysing the wind data from three different meteorological stations (Sarıyer, Kilyos and Şile) and wave atlas (Özhan and Abdalla, 1999) then the most appropriate wave statistics is determined by the information received from the fishers of Karaburun. After achieving the sediment properties, longshore sediment transport rate and direction is determined. Shoreline change existing at the coast of Karaburun is designated for two years by running the program which is written according to the one-line theory. Numerical and analytical solution is compared and numerical model program is verified. Two different groin systems are presentated for the problem of siltation in Karaburun Fisher Port and shoreline change existing at the Karaburun coast and structure analysis of this groin systems has been done.

Keywords: Shoreline change, longshore sediment transport, siltation, erosion, Karaburun, groin

1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

Erozyon yeryüzü kabuğunu biçimlendiren en önemli nedenlerden biridir. Türkiye’de 1950 yılından bu yana erozyon nedeniyle her saat 7.5 dönüm arazi yok olmaktadır. Bu erozyonun önemli bir kısmı kıyılarımızda meydana gelmektedir. Ayrıca kıyılarda yeni plaj oluşumları, limanlar, denizaltı boru hatları, dolfinler gibi tüm deniz yapıları, deniz tabanındaki hareketler nedeniyle zarar görebilmekte ve önemli ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Bu sebeple kıyı çizgisinin belirlenmesi, etkin kıyı alanı yönetimi için önemli olup, çevrenin korunması ve sürdürülebilir gelişme için de gereklidir. Fakat kıyı çizgisi değişimini belirlemek için tasarlanan sayısal modellerde kullanılan verilerin doğru olması gerekmektedir. Bu verilerin yetersizliği ve kıyı yapılarının yanlış projelendirilmesi kıyı alanlarında geri dönüşü olmayan bazı sorunlar yaratmaktadır. Bu sorunlara en çarpıcı örnek Karaburun Balıkçı Barınağı ve Karaburun kıyısıdır.

Karaburun Balıkçı Barınağı İstanbul Boğazı’nın Karadeniz’e açıldığı kesimin batısında yaklaşık 40 km mesafede yer almaktadır. İnşaatına 1966 yılında başlanarak 1979 yılında tamamlanan Karaburun Balıkçı Barınağı’nda 412 m uzunluğunda ana dalgakıran ve 110 m uzunluğunda ikincil dalgakıran bulunmaktadır. Taşdolgu tipinde yapılan dalgakıranlar mevcut durumda küp ve ocak taşı ile imal edilmişlerdir. Liman içinde 417 m uzunluğunda çeşitli derinliklerde rıhtımlar mevcuttur. Barınaktan yaklaşık 50 yerli tekne yararlanmaktadır, ancak bu av dönemlerinde yabancı teknelerle 100’e kadar ulaşmaktadır. Korunan su alanı 32400 m²’dir. Balıkçılardan alınan bilgilere göre barınağı ziyaret eden en uzun tekne boyu 60 m’dir. Karadeniz kıyısında bulunan barınak, yapılan kıyı ve açık deniz balıkçılığı ile İstanbul gibi bir hinterlanda hizmet etmesi açısından bölge halkı için oldukça önemli bir ekonomik yatırımdır. Ancak barınaktaki projelendirme hatası dışında hatalı kıyı uygulamaları sonucu kumlanma problemi oluşmuş ve barınak 1998 yılından itibaren hizmet veremez duruma gelmiştir. Ayrıca yaklaşık 4000 m sahil şeridinde sahip Karaburun kıyı çizgisinde kum taşınımı nedeniyle değişim meydana gelmektedir.

Barınağın yaklaşık olarak 4.5 km doğusunda kömür ocaklarından çıkan toprak dökülerek 500 m uzunluğunda bir yapay burun oluşturulmuştur.

Oluşturulan yapay burun ve barınağın hatalı projelendirilmesi nedeniyle yukarı kıyıda erozyon, aşağı kıyıda ikincil dalgakıranın yanında yığılma meydana gelmektedir. Bu yığılma sebebiyle barınağın ağzı ve navigasyon kanalı kapanmış durumdadır.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada Trakya bölgesinde Karadeniz kıyısında yer alan ve Terkos gölüne yakın Karaburun kıyı alanı, saha verileri için örnek bölge olarak seçilmiştir. Karaburun kıyı çizgisi değişimi ve buna neden olan kıyı hidrodinamiği açısından çalışmaya önemli katkı sağlayacak bir kıyı alanıdır. Çünkü bu kıyı alanındaki deniz tabanı katı madde taşınımı, erozyon ve mevcut balıkçı barınağındaki kumlanma problemi çalışmaya istenilen veriyi sağlayacaktır.

Çalışmanın amacı, Karaburun kıyısında meydana gelen erozyon, yığılma ve Karaburun Balıkçı Barınağı'nın kumlanma sorununun sebeplerini incelemek ve bu sorunları önlemek için çeşitli çözümler geliştirmektir. Çalışmada yöreye ait dalga iklimi ve istatistiği çalışması rüzgar verileri ve dalga atlası (Özhan ve Addalla, 1999) kullanılarak detaylı olarak incelenmiş, balıkçılar ve yöre halkından elde edilen bilgilere göre en uygun dalga istatistiği oluşturulmuştur. Elde edilen dalga istatistiğine göre kum taşınım yönü ve miktarı belirlenmiştir. İkinci Bölümde genel esasları verilen kıyı çizgisi değişimi çalışması, tek-çizgi teorisine dayanan Dr. Işıksan Güler'den temin edilen bilgisayar programı geliştirilerek yapılmıştır. Böylece barınağın kumlanma problemi ve kıyı çizgisi değişimine ait çözüm aranmıştır.

2. KATI MADDE TAŞINIMININ MODELLENMESİ

2.1 Katı Madde Modellerinin Tanımı

Kıyı morfolojisinin gelişimi karmaşık fiziksel işlemleri içermektedir ve matematiksel ifadelerle tam olarak tanımlanamamaktadır. Modelleme ifadeleri, bilinen fiziksel kurallarla bulunan deterministik bağıntılar veya laboratuvar ya da saha ölçümlerine dayanan ampirik formüller olabilmektedir. Kıyı gelişimi, basit tek boyutlu nümerik modellerden gelişmiş üç boyutlu modellere kadar değişmektedir. Her tipin uygulanabilirliği, problemin gerektirdiği uzamsal ve zamansal ölçeklere göre değişiklik göstermektedir. Gelişmiş bir 3-D modeli, kıyı profilinin kısa dönem gelişimi çalışmasında kullanılırken, basit bir 1-D modeli kıyı çizgisinin uzun dönem değişiminin zamandan bağımsız simulasyonlarında kullanılmaktadır. Mevcut modeller üç ana kategoride sınıflandırılmaktadır (Dabees, 2000):

- Kıyı profili modeli
- Kıyı çizgisi değişimi modeli
- 3-D kıyı değişim modeli

2.1.1 Kıyı Profili Modeli

Kıyı profili değişim modelleri, fırtına nedeniyle oluşan kıyı erozyonu ve yenilenmesi ile dalga hareketine karşı plaj malzemesinin başlangıçtaki davranışını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu tip bir model, kıyıya dik katı madde hareketi ile oluşan kısa dönem profil gelişimini modellemektedir. Kıyı boyu doğrultusundaki katı madde taşınım değişimleri dikkate alınmamaktadır. Eşik oluşumundan ötürü kırılan dalgalara dayanan kıyı profili değişimini tahmin etmekte kullanılan birçok model geliştirilmiştir (Dally ve Dean, 1984; Kriebel ve Dean, 1984; Larson ve Kraus, 1989). Deterministik kıyıya dik taşınım modelleri dalga transformasyonunu ve profil boyunca ortalama hızları hesaplamaktadır. Böylelikle katı madde taşınımı, Bailard'ın (1981) enerji yaklaşımı yardımıyla, yatay hızların ve yerel taban şartlarının fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır.

2.1.2 Kıyı Çizgisi Değişim Modeli

Kıyı çizgisi değişiminin analitik modeli, zamana ve konuma göre sabit dalga koşulları altında katı madde taşınımı için basitleştirilmiş diferansiyel formdaki süreklilik denkleminin kapalı çözümüdür. Kıyı çizgisi değişiminin ilk matematiksel modeli Pelnard-Considere'in (1956) tek

çizgi teorisi ile verilmiştir. Bu teoride ilk yaklaşım kıyı profilinin, belirgin bir katı madde taşınımının olmadığı kapama derinliğine kadar kendisine paralel olarak hareket ettiğidir. Kıyı profili değişimi olmadığı düşünüldüğü için (kıyı çizgisi değişimi kıyı boyu katı madde taşınım diferansiyelleri ile verilmektedir) kıyıya dik katı madde hareketi uzun dönemde dikkate alınmamaktadır. Tek çizgi teorisi aynı zamanda yaklaşan dalgaların ve kıyı çizgisi değişiminin küçük açılı olduğunu kabul etmektedir. Pelnard-Considere, teorisini geçirimsiz bir mahmuz yanındaki kıyı çizgisi değişimi için uygulamıştır. Analitik çözümler, birçok mühendislik uygulamaları için kıyı çizgisi davranışının ilk tahmininde basit ve çabuk bir yaklaşım sağlamaktadır. Buna karşılık karmaşık sınır şartları içeren durumlarda kıyı çizgisinin nümerik modellemesi yapılmaktadır.

Kıyı çizgisi değişiminin nümerik modellemesi analitik kıyı çizgisi değişim modellerinin genelleştirilmiş halidir. Bu tip bir model, kıyı çizgisi gelişiminin zamanla ve konumla değişimini, kıyı yapısını, dalga iklimini ve sınır şartlarını geniş kapsamda benzeştirmektedir.

2.1.3 Üç Boyutlu Kıyı Gelişim Modeli

Üç boyutlu kıyı gelişim modelleri gelişmiş 3-D modellerinden, gelişmiş tek çizgi teorisi modellerine kadar değişiklik göstermektedir. Hidrodinamik ve morfolojik değişimi hesaplayan tam donanımlı 3-D modelleri pek kullanışlı olmamaktadır. 3-D modelleri arasında en kullanışlısı yarı 3-D modelleridir. Bunlar yakın kıyı sirkülasyonunu, katı madde taşınımını ve taban değişimlerini belirlemek için geliştirilmiş iki boyutlu düşey modeli (2DV), hız profillerini hesaplayan iki boyutlu yatay modelle (2DH veya kıyı alanı modeli) birleştirmektedir (Briand ve Kamphius, 1990; Roelvink vd., 1994). Bu tip bir model, kısa dönem tahminlerinde (1 fırtınadan 1 yıla kadar) kullanılmaktadır ve ayrıca hesaplama kapsamlı ve modelin doğrulanması için detaylı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Daha geleneksel bir 3-D model ile, katı madde taşınımı ve kıyı değişimini hesaplamak için iki boyutlu yatay bir modelin (2DH) hesapladığı yakın kıyı akıntı bilgileri kullanılmaktadır.

Daha önce bahsedilen 3-D kıyı gelişim modelleri bilinen fiziksel kurallarla bulunan tamamen deterministik modellerdir. Böyle modeller uzun bilgisayar çalışma zamanına ve detaylı girdi bilgisine gerek duymaktadır. Bu modellerin yüksek derecedeki gelişmiş hesaplarına ve karmaşıklığına karşı, sonuçlarının doğruluğunda hala soru işaretleri mevcut olmaktadır. Diğer taraftan, laboratuvar ve saha ölçümlerinden elde edilen ampirik ifadelerin kullanıldığı daha basit modeller yaklaşık ancak daha doğru sonuçlar sağlamaktadır.

Pratikteki uygulamalar için, kıyı çizgisini modellemede tek çizgi yöntemi daha basit ancak daha güçlü bir yöntemdir. 3-D kıyı gelişimini şematik 3-D modelleriyle verebilmek için tek çizgi teorisine birçok çalışma uyarlanmıştır. Bu modeller, kıyı profilinin şeklini kısıtlayan bazı basitleştirici kabuller altında kıyı boyu ve kıyıya dik doğrultudaki taban yüksekliklerinin değişimini tarif etmektedir. Bakker (1968), Pelnard-Considere'in tek çizgi teorisini geliştirmiş ve mahmuzların yanındaki kıyı çizgisi değişimini ve mahmuz alanlarının performansını belirlemek için iki-eşderinlik-çizgi modelini geliştirmiştir. Yakın kıyı ve açık deniz arasındaki katı madde taşınımını modellemek için Bakker (1968) kıyı profilini birbirine paralel olması gerekmeyen iki eşderinlik çizgisine bölmüştür. Perlin ve Dean (1987), Bakker'ın (1968) iki çizgi modelini N-çizgi modeline çevirmişlerdir. Bu eşderinlik çizgi modelleri kıyıya dik katı madde taşınımının eklendiği bir grup tek çizgi modeli olarak görülebilmektedir. Katı madde taşınımı mevcut profil ve dengedeki şekli arasındaki farktan hesaplanabilmektedir. Kullanılabilir çok çizgili modeller, kıyı basamakları ve yakın kıyı eşikleri gibi yerel profil şekil değişikliklerini gösterememektedirler. Fakat son zamanlarda geliştirilen çok çizgi modeli (N Çizgi), karmaşık kıyı/yapı konfigürasyonlarında uzun dönem 3-D morfolojik değişimleri benzeştirmekte ve eşik ve basamak gibi yerel profil oluşumlarını göstermektedir.

2.2 Kıyı Boyu Katı Madde Taşınımı

Yakın kıyıda kırılma derinliğinde kırılan dalgalar kıyıya dik ve kıyıya paralel akıntılarla birleşmekte ve bu katı madde taşınımına sebep olmaktadır. Bazen bu taşınım kumun eşik ve çukurlara veya kıyıyı paralel parçalara bölen bir seri koya dönmesi ile sonuçlanmaktadır. Kıyı boyu katı madde taşınımı kıyı morfolojisini kontrol eden ve kıyının erozyona veya yığılmaya uğrayıp uğramayacağını belirleyen en önemli yakın kıyı olaylarından biridir. Bu sebeple kıyı boyu katı madde taşınımını belirleyebilmek bir kıyı mühendisi için oldukça önemlidir.

Yakın kıyı bölge sirkülasyonları ile ilişkili olan akıntılar sadece katı maddenin yerel yer değiştirmesine sebep olmaktadır. Rip akıntıları ise kıyıya dik taşınımında etkili olmalarına karşın kıyı boyunca katı madde taşınımında çok az etkiye sahiptirler. Kıyı boyu katı madde taşınımında en önemli unsur kıyıya belli bir açıyla yaklaşıp kırılan dalgalar ve bunların yarattığı akıntılardır.

Kıyısız taşınım, aynı zamanda kırılan dalgaların kıyı boyu gradyanlarıyla oluşan dönme akıntıları olarak isimlendirilen akıntılardan meydana gelmektedir. Bu taşınım, katı maddenin mahmuz, dalgakıran gibi yapılardaki hareketinin (dönme akıntılarını yaratan hareket) göstergesidir. Sonuçta yapının mansap tarafına dalganın geliş yönünde taşınım oluşmaktadır.

Belli bir sürede taşınan katı madde miktarına kıyı boyu katı madde debisi denmektedir. Genellikle bir yıllık dönem göz önüne alınarak yıllık katı madde taşınım debisi belirlenmektedir. Yıl içinde değişik yönlerden gelen dalgalara göre hesaplanan kıyı boyu katı madde debileri birbirlerine göre farklı olduklarından, net katı madde taşınımı kıyıdan açık denize bakıldığında ve sağ sol tanımları yapıldığında (Yüksel vd., 1998)

$$Q_{net} = (Q_{sağ-sol} - Q_{sol-sağ}) \quad (2.1)$$

ifadesi ile bulunmaktadır. Göz önüne alınan kıyıda, kıyı boyu katı madde hareketine katılan katı maddenin miktarı toplam kıyı boyu katı madde taşınımı olarak adlandırılır.

$$Q_{top} = (Q_{sağ-sol} + Q_{sol-sağ}) \quad (2.2)$$

Toplam katı madde taşınımının büyüklüğü o kıyıdaki deniz tabanının hareketliliğini karakterize eder, çünkü Q_{net} sıfır olsa bile Q_{top} 'ın büyük olması o kıyıda kıyı yapıları açısından şiddetli bir katı madde hareketinin söz konusu olduğunu gösterir.

Temel Mekanizma

Kıyı boyu katı madde taşınımının genel hatları ile temel mekanizması;

- 1- Dalganın yörüngesel hareketi ile katı taneler hareketlendirilir, salınımlı hareket yaparlar.
- 2- Dalga etkisinde hareketlendirilen katı taneler akıntı doğrultusunda taşınırlar.

20. yüzyılın başlarında kıyı boyu katı madde taşınımının gel-git ve akıntılardan çok dalgalar tarafından oluşturulduğu kabul edilmiştir ve kıyı boyu katı madde taşınımını dalga yüksekliği ve yönüne bağlayan formül ilk defa 1938'de Munch-Petersen tarafından sunulmuştur. Bu formül CERC (1984) formülünün öncüsü olarak düşünülmektedir (Perlin ve Kit, 1999).

Son zamanlarda, dalgaları ve bunlara uyumlu gerilme akısı alanları detaylı olarak analiz eden daha kapsamlı taşınım modelleri geliştirilmiştir.

Kıyı boyu katı madde taşınımı genel bir sınıflandırmayla özet olarak Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Kıyı boyu katı madde taşınımının genel sınıflandırması (Yüksel, 2003)

Model	Sınıflandırma
CERC (1984)	Enerji modeli
Davies ve Kamphius (1985)	Enerji modeli, tane boyutu ve kıyı eğimini içerir
Sayao, Nairn ve Kamphuis (1985)	Enerji modeli, tane boyutu ve kıyı eğimini içerir
Bijker (1971)	Akıntıyla sürüntü ve askı malzemesi konsantrasyonunu esas alır. Hareketin başlangıç kriteri yoktur.
Engelund-Hansen (Swart, 1976)	Akıntıyla sürüntü ve askı malzemesi konsantrasyonunu esas alır. Hareketin başlangıç kriteri yoktur.
Fleming (1977)	Akıntıyla sürüntü ve askı malzemesi konsantrasyonunu esas alır. Hareketin başlangıç kriteri vardır.
Ackers-White (Van de Graaf ve Van Overeem, 1979)	Hareketin başlangıç kriteri vardır.
Ackers-White (Fleming ve Swart, 1985)	Dalga ve akıntı şartlarının geniş bir aralığından türetilen harekete başlangıç kriteri vardır.
Nielsen (1979, 1985)	Akıntıyla sürüntü ve askı malzemesi konsantrasyonunu esas alır. Hareketin başlangıç kriteri vardır.
Kamphuis (1991)	Kıyı eğimi, taban malzemesi özelliklerini dikkate alır.

2.3 Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımı

Dalgalar kıyı çizgisiyle belli bir açı yaparak kırıldıklarında oluşan enerjinin kıyı çizgisine paralel bileşeni kıyı boyu katı madde taşınımına, kıyı çizgisine dik bileşeni ise kıyıya dik yönde katı madde taşınımına yol açmaktadır. Kıyıya dik katı madde taşınımı kıyı çizgisine dik ortalama bir doğrultuya sahiptir. Herhangi bir dalga etkisi altında kıyıya dik yönde net taşınım açık denize doğru ise kıyıda erozyon, kıyıya doğru ise yığılma meydana gelmektedir.

Surf bölgesi dışında kıyıya dik katı madde taşınımı kıyıya doğrudur. Surf bölgesi içinde ise net yörüngesel hızın etkisi ve net geri dönüş akımı arasındaki dengeye bağlı olarak kıyıya veya açık denize doğru yönü değişmektedir. Fırtına sırasında taşınım kıyı çizgisinin geri çekilmesine sebep olacak şekilde açık denize doğru olmaktadır ve erozyona uğrayan katı madde kırılma bölgesinde yakın kıyıdaki bir eşikte yığılmaktadır. Genellikle katı maddeyi kıyıya geri taşıyan ve kıyı basamağını yeniden oluşturan normal soluşan koşullarında kıyı yenilenmektedir. Fırtınanın sebep olduğu erozyon ve kıyı yenilenmesini içeren mevsimlik değişimler nispeten kısa sürelerde oluşmaktadır. Kıyıya dik katı madde taşınımını kıyı çizgisi

değişim modellerinin dışında tutmakla bu modellerde değişimlerin mevsimlik değil süre olarak en az yıllarla inceleneceği kabulü yapılmaktadır. Birçok durumda kıyıya dik katı madde taşınımının kıyı çizgisi değişiminde uzun dönem etkisi olmaktadır. Örneğin, ekstrem olaylarda ve kıyı materyalinin ince olduğu durumlarda fırtına dalgaları askı durumundaki katı maddeyi öyle açığa taşımaktadır ki soluğan ile bile geriye taşınım sağlanamamaktadır. Bu yüzden kıyıya dik katı madde taşınımını modellemede dikkate almak, kıyı çizgisini daha doğru tahmin edebilmek ve kısa dönem değişimleri belirlemek amacıyla modelin süre limitini genişletmek oldukça önemlidir (Dabees, 2000).

2.4 Katı Madde Bütçesi

2.4.1 Giriş

Katı madde bütçesi tahminleri, doğal oluşumların (gel-gitle oluşan doğal ağızlar,..vb) civarında oluşabilecek kıyı erozyonu derecesini ve önemini belirlemek ve insanların doğaya müdahalesi nedeniyle (dalgakıranların ve barajların inşaatı,...vb) oluşabilecek muhtemel etkilerin değerlendirilmesi için önemlidir.

Belirlenmiş bir alan için yapılan katı madde bütçesi tespiti, depolanma ve erozyonla sonuçlanan değişken katı madde kaynak ve kayıplarının göreceli olan önemini vermektedir. Katı madde bütçesi; temelde giren ve çıkan kütlenin dengesidir. Kütlenin veya hacmin bir bölgedeki zamanla değişimi, giren katı madde ve çıkan katı madde arasındaki farka eşit olmaktadır.

Kıyıya dik katı madde bütçesi, mümkün olduğu kadar açığa uzanabilmekte ve sonunda geçiş derinliğindeki kıyı alanını (20 m derinliğe kadar) kaplamaktadır. Böylece kırılma bölgesi ve kıyı alanı arasındaki bağlantı tespit edilmektedir (katı madde alışverişi).

Muhtemel katı madde kaynakları (Şekil 2.1’de de görülebilir, Van Rijn, 1998):

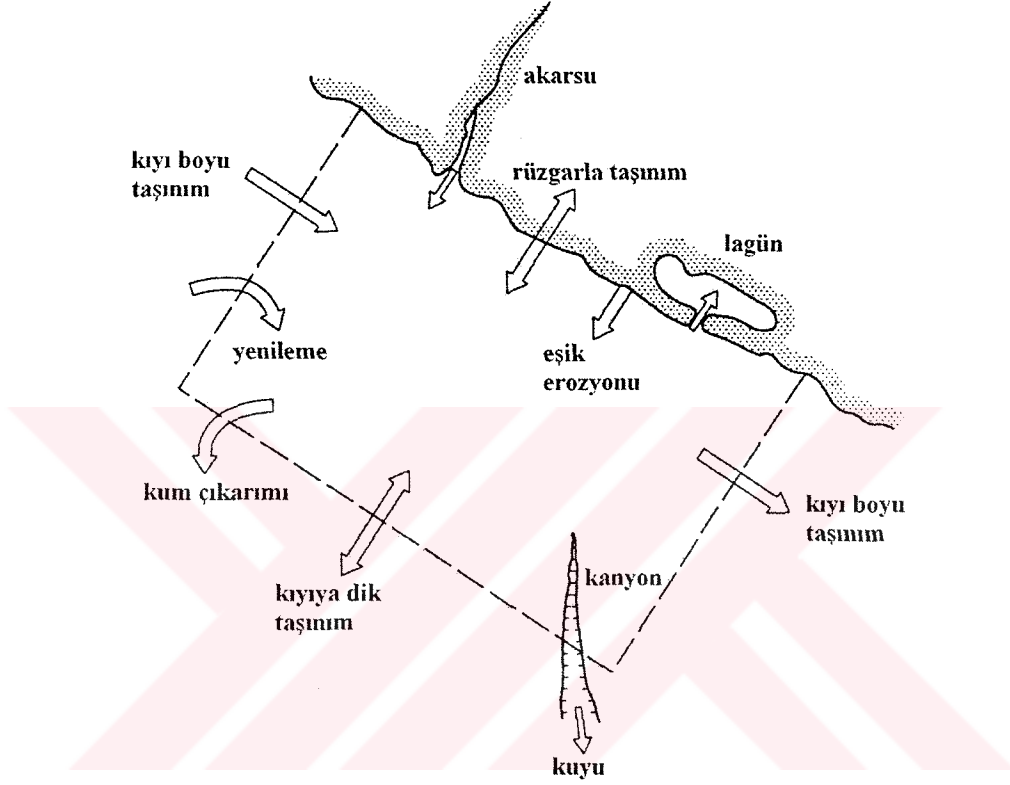
- *Akarsular*; nehir drenaj havzası doğasına, bitki yoğunluğuna, iklime (yağış) katı madde tipine (çamur, silt, kum), baraj olmasına veya kum çıkarımı olmasına (denize giren katı madde kaynağındaki azalma) bağlıdır.
- *Akıntılar*; yoğunluk veya gel-git akımları kıyı alanına alüvyal katı madde taşıyabilmektedirler.

- *Eşik erozyonu /yamaç erozyonu;* dalganın akıntı ile kombinasyonu fırtına sırasında kıyı çizgisinin oldukça geri çekilmesine neden olabilmektedir (10 m/olay); dalga eşiklerin veya yamaçların altını oymaktadır. Gel-gitle oluşan doğal ağızlara yakın olan kıyı alanları (kuyu gibi davranmaktadırlar) özellikle önemlidir; eğer yamaçlar kil ve siltten oluşuyorsa, kıyı alanına katkısı minimum olacaktır çünkü katı maddenin çoğu derin sulara taşınacak veya komşu havzanın içinde tutulacaktır; erozyon hacmini tahmin edebilmek için aşınan tabakaların boyu ve uzunluğu, yamaç maddesinin kum yüzdesinin bilinmesi gerekmektedir.
- *Açık deniz kıta sahanlık alanı (yerel kum basamakları);* kıyıya doğru taşınım işlemleri kıta sahanlığından kıyı alanına doğru kum taşıyabilmektedir.
- *Kıyı yenilemesi;* sahilde veya kıyı yüzeyinde kumun pompalanarak suni depolanması ve erozyona tampon yaratmak ve böylece kıyı çizgisinin daha fazla geri çekilmesinin engellenmesi amacıyla komşu açık deniz alanlarından, göl ve karasal alanlardan kumun taranması
- *Biyolojik depolama;* tropikal alanlarda biyolojik üretimin katkısı (deniz mercan kabukları)
- *Hidrolojik depolama;* deniz suyundan doğrudan çökelme nedeniyle maddenin oluşumu (kalsiyum-karbonat tanecikleri)
- *Rüzgarla taşınan kum;* esen rüzgar genelde sahilde katı madde kaybına neden olmaktadır, bu materyalin asıl kısmı eşik alanında depolanmaktadır, sahilden azalan bu kumun miktarı kumul alanında gözlenen hacim değişikliğinden tahmin edilebilmektedir (stereo fotoğraflama teknikleri)

Muhtemel katı madde kayıpları:

- *Koy, göl ve iç denizlerde kumun tutulması;* gel-git, rüzgar ve yoğunlukla oluşan net sirkülasyonlar kıyı alanında kayba neden olmaktadır
- *Kum çıkarımı;* ticari amaçlar için kumun sahil ve kıyı yüzeyi alanından çıkarılması sadece sıkça yığılma olan alanlarda mümkündür
- *Derin açık deniz alanlarında/ çukur alanlarda ve deniz altı alanlarda kumun tutulması;* özellikle küçük tanecikler askı halinde bölgeden taşınabilmektedirler.
- *Rüzgarla kıyıda kumullara taşınan kum*

- *Çözünme ve aşınma*; kıyı boyu eğimi, aşınma ve ayırıcı taşınım işlemleri yüzünden katı madde kaybının sonucu olabilmektedir; katı maddelerin dereceli aşınımı kayba sebep olabilmektedir çünkü küçük tanecikler askı maddesi olarak alandan taşınabilmektedirler; rölatif olarak kısa mesafelerde (10 km) aşınım sadece kaba malzemeler için belirgindir (çakıl ve taş); deniz ve mercan kabuğu gibi katı maddeler aşınım ve çözünmeye karşı daha dayanıksız olmaktadır.



Şekil 2.1 Kıyısız katı madde bütçesi (Van Rijn, 1998)

Kaynak ve kayıpların yanında depo ve yığılmalar da ayrılmalıdır. Depolar, kıyı sisteminde taşınan veya hareketsiz olan kum/çakıl eşik veya basamakları olabilmektedir. Belli bir zaman için katı madde taneleri buralarda depolanabilmektedirler fakat tekrar taşınım işleminde yer almak için hareketlenmektedirler.

Karasal yığılmalar:

- Çakıl bariyer sahilleri
- Ağızlardaki diller
- Yarımaya çıkıntılar (burunlar)
- Kumul sistemleri

formunu almaktadırlar.

Deniz yığılmaları gel-git özellikleri ile bağıntılıdır, bunlar:

- Ağız girişleri
- Kapalı kanallar
- Burundan yansıyan gel-git nedeniyle oluşan vortisite kabarmaları

Net kıyı boyu taşınım hacmi, mahmuzlar, dalgakıranlar, batık açık deniz dalgakıranları, burunlar gibi insan eliyle yapılmış yapıların veya dil, tombolo gibi formların etrafında meydana gelen yığılmanın şeklinden tahmin edilebilmektedir.

Bütçe analizinde net uzun dönem değerleri gerekli olduğu için rüzgar ve dalga ile üretilen kıyı boyu ve kıyıya dik taşınım debilerinin bulunması gerekmektedir fakat doğrudan metotlarla bu oldukça zor olmaktadır. Bu yüzden net kıyı boyu ve kıyıya dik taşınım debilerini tahmin etmek için dolaylı metotlar kullanılmaktadır. Kıyı boyu taşınımının yönü ve niceliği;

- Mahmuz ve dalgakıranların yanındaki yığılma hacminden
- 10 yılın üzerinde zaman ölçeğindeki kıyı çizgisinin değişiminden tayin edilebilmektedir.

Bu veriler muhtemel kıyı boyu taşınım modellerinin kalibrasyonunda ve böylece uzun dönem net taşınım debilerinin tahmininde kullanılabilir. Net taşınım debilerinin küçük olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır çünkü bu debiler, dalgalar farklı yönde geldikleri için, yukarı ve aşağıdaki tüm yönlerin katkılarının toplamıdır.

2.5 Kıyı Çizgisinin Modellenmesi

2.5.1 Giriş

Kıyı boyu katı madde taşınımı nedeniyle kıyı çizgisi boyunca yığılma ya da erozyon meydana gelebilmektedir. Erozyon ve yığılma nedeniyle kıyı çizgisinde meydana gelecek değişim “Tek Çizgi Teorisi” yardımıyla hesaplanabilmektedir.

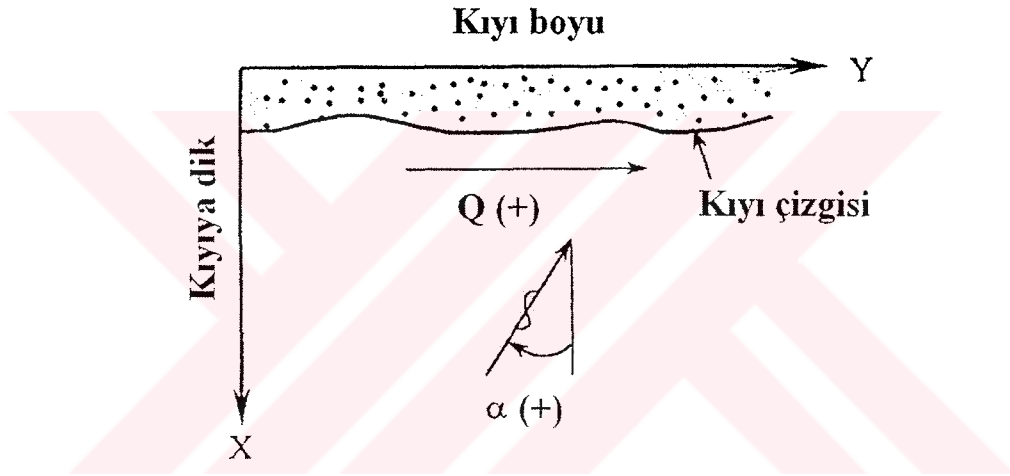
Bir boyutlu (1-D veya tek çizgi) kıyı morfoloji modeli tüm sayısal kıyı modellerinin içinde en pratik olanıdır. Bu modelde, Şekil 2.2’de gösterilen koordinat sistemi kullanılmaktadır. Bir 1-D modeli iki basit 1-D denklemini çözmektedir. Birinci denklem (1-D morfoloji denklemi) kütlenin korunumunu tariflemekte ve kıyı boyu değişimini uzaklığın fonksiyonu olarak

belirlemektedir. İkinci denklem katı madde hareketi denklemidir. Bu denklem, dalga iklimi ve kıyı parametrelerinin fonksiyonu olarak kıyı boyu hacimsel katı madde miktarını belirlemektedir (Kamphius, 2000).

2.5.2 1-D Morfoloji Denklemi

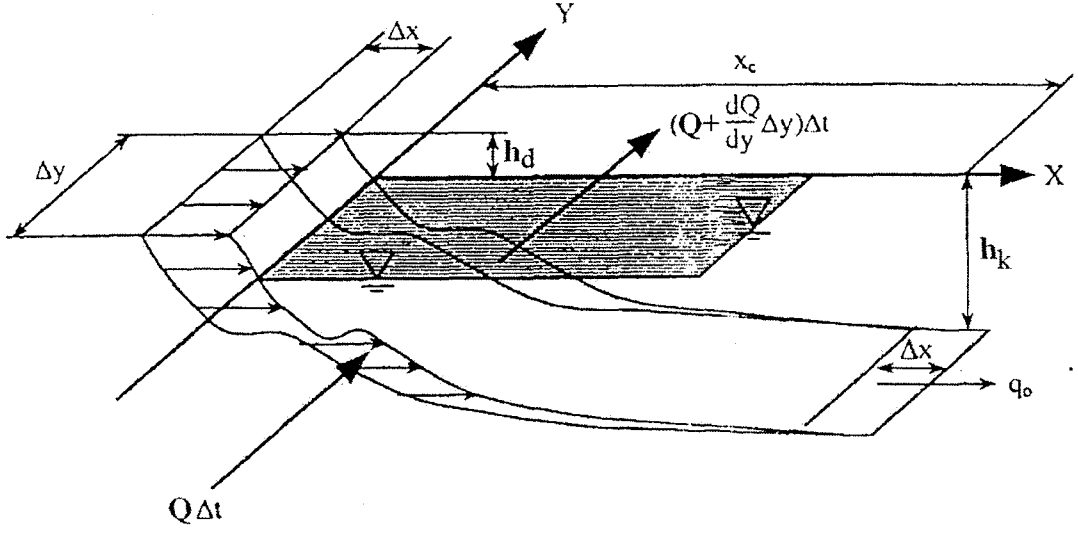
Bir boyutlu morfoloji denklemi, sabit şekilli kıyı profilinin kapama derinliğinde (h_k) tabanın yatay olduğunu kabul etmektedir. Bu Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Kapama derinliği (h_k): Normal koşullarda oluşan dalga şartlarında kıyı profilinin değişmediği derinliktir. Bu derinlik kıyı profillerinden veya hidrografik grafiklerden ölçülebilmektedir. Aynı zamanda dalga ikliminden de tahmin edilebilmektedir.



Şekil 2.2 Koordinat eksenini (Kamphius, 2000)

Erozyon, profilin kıyı tarafına kaymasına, yığılma ise deniz tarafına kaymasına sebep olmaktadır. Profil aynı kaldığından dolayı tüm eşderinlik eğrileri aynı mesafeyi katetmektedir ve bir eşderinlik eğrisi tüm kıyı hareketini simgelemektedir. Bu nedenle 'tek çizgi' metodu olarak da bilinmektedir.



Şekil 2.3 1-D modeli için kütlenin korunumu şeması (Kamphius, 2000)

Kıyı boyu kütle korunumunu gösteren denklemi;

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{1}{h_p} \left\{ \frac{dQ}{dy} - q_0 \right\} = -\frac{1}{(h_d + h_k)} \left\{ \frac{dQ}{dy} - q_0 \right\} \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

burada;

x: Kıyı çizgisinden açık denize doğru olan uzaklık

h_p : Toplam profil derinliği

h_d : Eşik derinliği

h_k : Kapama derinliği

Q: Kıyı boyu katı madde taşınım debisi

q_0 : Kıyı boyu doğrultusunda birim mesafede kıyıya dik net kum taşınımıdır.

2.5.3 Katı Madde Taşınımı

2.5.3.1 Potansiyel Katı Madde Taşınımı

Daha önce geliştirilen hacimsel ifadelerle kıyı boyu katı madde taşınımı hesaplanabilmektedir. Bu ifadelerin basitleştirilmesi ile birçok hesap uzun zaman

gerektirmeden yapılabilmektedir. Bu sebeple uzun dönem dalga verileri bir 1-D modelini tanımlayacaktır. Kıyı parametreleri ve dalga verileri büyük ölçüde belirsizlik içerdiğinden, hacimsel katı madde taşınım ifadeleri kullanarak basitleştirme gerçekleştirilmektedir.

Hacimsel katı madde taşınımı için CERC (1984) veya Kamphius (1991) ifadeleri kullanılabilmektedir.

Kamphius'ün (1991) ifadesi ile katı madde taşınım debisi aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$Q = 7.3 H_{sb}^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} d_{50}^{-0.25} \sin^{0.6} \alpha_b \quad (\text{m}^3/\text{yıl}) \quad (2.4)$$

Eğer yapıların koruma bölgesinde olduğu gibi dalga yüksekliğinde kıyı boyu gradyanı mevcutsa dalga açısı terimi değiştirilerek dikkate alınabilmektedir.

$$\left[\sin^{c_1} 2\alpha_b - \frac{c_2}{m_b} \cos \alpha_b \frac{dH_{sb}}{dx} \right] \quad (2.5)$$

$c_1 = 1$ (CERC ifadesi)

$c_1 = 0.6$ (Kamphius ifadesi)

$c_2 = 1-2$ (Hanson ve Kraus, 1989)

2.5.3.2 Gerçek Katı Madde Taşınım Miktarı

Katı madde taşınım ifadeleri potansiyel katı madde taşınımını hesaplamaktadır. Pratikte, fırtına koşulları hızlı değişmektedir ve kumun hacim olarak değişimini hesaplamak sınırlıdır. Bu sebeple daha önceden verilen debi denklemleri gerçek katı madde taşınımını tahmini olarak hesaplamaktadır.

$$Q_a = C_Q \cdot Q_p \quad (2.6)$$

burada;

Q_a = Gerçek debi

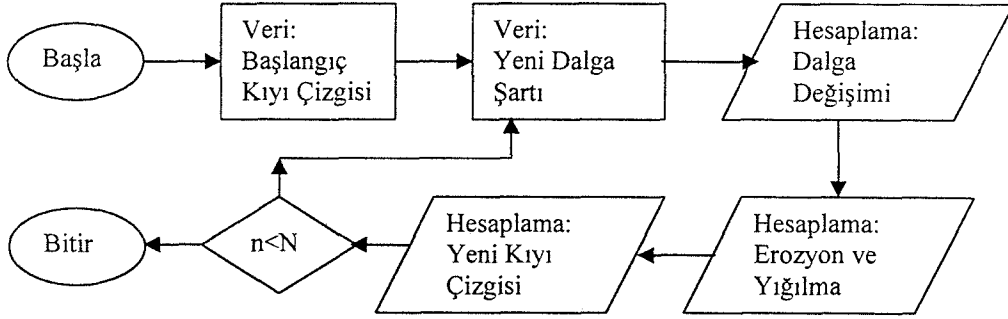
Q_p = Potansiyel debi

C_Q = İkinci kalibrasyon sayısıdır.

$$0 \leq C_Q \leq 1$$

2.5.4 Dalga Değişim Hesabı

2.5.4.1 Dalga Sığlaşması, Sapması ve Kırılması



Şekil 2.4 Hesap şeması (Kamphius, 2000)

Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, kıyı morfolojisi problemlerini çözmek için bir seri hesabın olası her dalga şartı için tekrar yapılması gerekmektedir. Başlangıç zamanında (t_1), ilk olarak bir kıyı çizgisi tanımlanır. Daha sonra yeni dalga şartlarına göre dalga değişimi ve bu değişmiş dalgalardan Δt süresindeki erozyon ve yığılma hesaplanabilmektedir. Bunlar kıyı şeklini biraz değiştirmekte ve $(t_1 + \Delta t)$ süresinde yeni kıyı şeklini meydana getirmektedir. Tüm bu işlemler yeni dalga şartında da yapılır ve $t_f = N \cdot \Delta t$ süresinde sonlanır. Hesapların sürekli tekrarlanmasından dolayı bir 1-D modeli, basit dalga değişim hesaplarını kullanmaya ihtiyaç duymaktadır. Daha karmaşık sapma hesapları kullanılabilmektedir fakat bu daha fazla zaman gerektirecektir (Kamphius, 2000).

2.5.4.2 Dalga Dönmesi

Dönme hesapları oldukça kapsamlıdır ve 1-D modeline uygulanmadan önce basitleştirilmeye gerek duymaktadır. Paralel açık deniz dalgakıranları Perlin ve Dean (1983), Hanson ve Kraus (1989) tarafından GENESIS modeli ile tartışılmıştır. Dabees ve Kamphius (1998) ve Dabees (2000) ise dönmeyi tek çizgi modelinde kapsamlı olarak dikkate almışlardır. Burada örnek olarak (dönme ve sapma hesaplarının basitleştirilmesine) mahmuzlardan dolayı oluşan sapma ve dönme verilmiştir.

Goda (1985), dönmeyi gelen dalganın yönsel dağılımını kullanarak hesaplamaktadır. Bir engelin, gelen doğrusal dalga spektrumu enerjisinin bir bölümünü tuttuğu kabul edilmektedir. Goda'nın metodunu kullanarak ve bazı ilave kabullerle bir mahmuzun arkasındaki dönme ve sapma için basit ifadeler üretilmektedir. Şekil 2.5'te gelen dalga ışınının S_s uzunluğundaki yapıyla α_s ve ortalama dalga doğrultusunun da (AO) korunan bölge sınır çizgisi ile θ açısı

yaptığı görülmektedir. Goda (1985), $\alpha_s < \alpha_m$ için doğrusal spektrumdaki tüm enerjinin yapı tarafından alındığını ve spektrumdan kaldırıldığını kabul etmektedir. Bu, korunan bölge sınır çizgisi boyunca gelen dalga enerjisinin yarısını kaldıracaktır. Korunan bölge sınır çizgisi boyunca H için $0.71 H_i$ bulunmuştur. H_i , gelen dalga yüksekliğidir. Böylece korunan bölge sınır çizgisi boyunca dönme katsayısı $K_d = 0.71$ 'dir. Aynı zamanda P noktasına θ açısıyla ulaşan dalga enerjisi ile ilgili regresyon bağıntısı aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$0 \geq \theta \geq -90 \text{ için} \quad K_d = 0.71 - 0.0093.\theta + 0.000025.\theta^2 \quad (2.7)$$

$$40 \geq \theta > 0 \text{ için} \quad K_d = 0.71 + 0.37.\sin\theta \quad (2.8)$$

$$90 \geq \theta > 40 \text{ için} \quad K_d = 0.83 + 0.17.\sin\theta \quad (2.9)$$

Dalga kırılma yüksekliği şu denklemden bulunabilmektedir;

$$H_{sb} = K_d H_{srb} \quad (2.10)$$

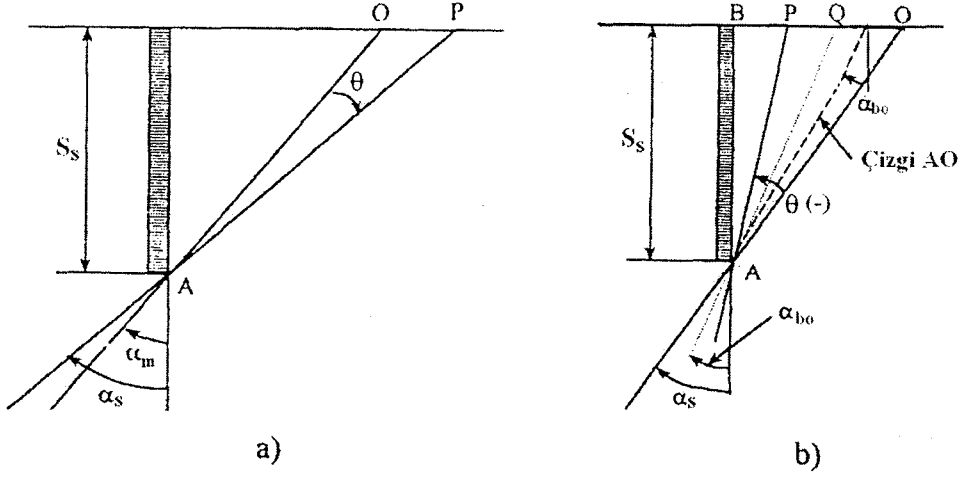
H_{srb} , dönme olmaksızın sığlaşma, sapma ve kırılmayla oluşan dalga yüksekliğidir. K_d 'nin hesaplanmış değerleri yapı gerisindeki dalga yüksekliğini azaltacağından aynı zamanda kırılma açısı da küçülecektir. Dönmenin dalga kırılma açısına etkisi S_s , α_s , T_p , h_k ve H_b üzerinde araştırılmıştır ve dönmeye göre kırılma açısı (α_{bd}) düzeltilmiştir ve K_d 'ye göre basit bir bağıntı bulunmuştur.

$$\alpha_{bd} = \alpha_b K_d^{0.375} \quad (2.11)$$

(2.11) eşitliği, korunan bölgenin hem içi hem dışı için geçerlidir. Korunan bölgenin içindeki dalga kırılmasının sonucu olarak kırılma açısında meydana gelecek daha fazla azalma dikkate alınmalıdır. (2.11)'e göre mahmuz sonundaki kırılma açısı aşağıdaki gibidir:

$$\alpha_{bo} = \alpha_b (0.71)^{0.375} \quad (2.12)$$

Burada mahmuzun sonunda dalga ışınının koruma bölgesi sınır çizgisi (AO) ile AQ hattı arasındaki bölgenin tam ortasına ulaştığı kabul edilmektedir. Bu mahmuzla α_{bo} açısını yapmaktadır. Yapıdaki kırılma açısı sıfır olduğundan basit bir bağıntı vermek mümkün olabilir.



Şekil 2.5 Mahmuz yanında dönme ve sapma (Kamphius, 2000)

$$\theta < 0 \text{ ve } \frac{PB}{S_s} < \frac{1}{2} \{ \tan \alpha_s + \tan (0.88 \alpha_b) \} \quad (2.13)$$

Düzeltilmiş kırılma açısı:

$$\alpha_{bd} = \alpha_b K_d^{0.375} \left[\frac{2 PB}{S_s \{ \tan \alpha_s + \tan (0.88 \alpha_b) \}} \right] \quad (2.14)$$

2.5.5 Kıyı Morfolojisinin Analitik Hesabı

2.5.5.1 Basitleştirmeler ve Kabuller

Basit sınır şartlarında analitik çözümler elde edebilmek için denklemlerin basitleştirilmesi gerekmektedir. Basit çözümler, kıyı çizgisi çözümü ile ilgili çabuk ve masrafsız izlenim vermektedir ve nümerik modellere ölçüt olarak kullanılabilir.

Kıyı çizgisi başlangıçta y eksenini boyunca doğru olarak ve sabit şekilde bir kıyı profilinin, h_k derinliğinde, yığılma sırasında denize doğru ilerlediği kabul edilmektedir. Bu nedenle, yığılma ve erozyon x ekseninde değişime neden olmaktadır.

Herhangi bir zamanda, orijinal doğrusal kıyı çizgisine göre yerel kıyı çizgisi doğrultusu dx/dy 'dir ve dönen kıyı çizgisine göre efektif yerel kırılma açısı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\alpha_e = \alpha_b - \frac{dx}{dy} \quad (2.15)$$

Böylece kıyı boyu taşınan katı madde miktarı aşağıdaki gibi yazılmalıdır;

$$Q = q \sin 2\alpha_e = q \sin 2\left(\alpha_b - \frac{dx}{dy}\right) \quad (2.16)$$

burada q daha önce CERC veya Kamphuis tarafından verilen kıyı boyu katı madde debisidir.

Analitik olarak morfoloji problemini çözmek için α_e çok küçük kabul edilmektedir.

$$\sin 2\alpha_e \rightarrow 2\alpha_e \quad (2.17)$$

(2.16) eşitliği şu hale gelmektedir:

$$Q = 2q \left(\alpha_b - \frac{dx}{dy}\right) \quad (2.18)$$

(2.18)'in diferansiyelinin alınması aşağıdaki sonucu vermektedir.

$$\frac{dQ}{dy} = -2q \frac{d^2x}{dy^2} \quad (2.19)$$

$Q_0 = 0$ kabul edilerek, (2.3)'te yerine konmasıyla difüzyon denklemi elde edilmektedir.

$$\frac{dx}{dt} - \underline{D} \frac{d^2x}{dy^2} = 0 \quad (2.20)$$

burada;

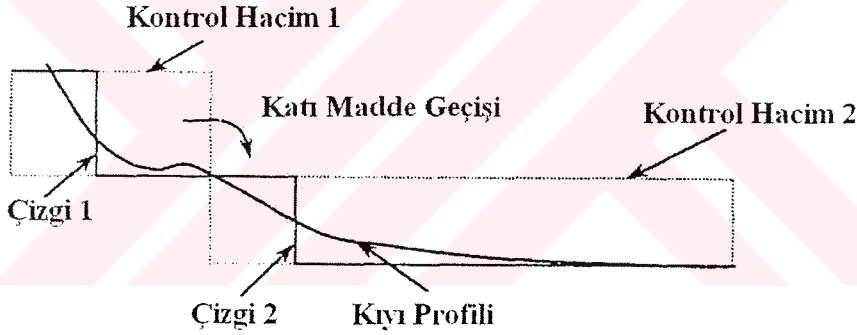
$$\underline{D} = \frac{2q}{h_p} = \frac{Q}{\alpha_b h_p} \quad (2.21)$$

$Q = m^3/\text{saat}$, $\underline{D} = m^2/\text{saat}$ 'tir.

Pelnard-Considere (1956), üç basit sınır şartı için bu difüzyon denklemini çözmüştür. Sınır şartları; kıyı boyu taşınımını tamamen engelleyen bir bariyer, bir bypass bariyeri ve kumun bir kıyıda ani geçişidir. Le Mehaute ve Brebner (1960) bu denklemin analitik çözümlerini ele

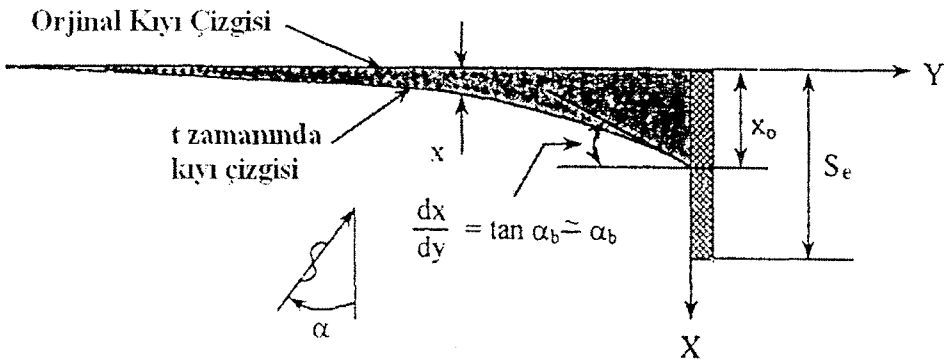
almışlardır. Daha sonra Larson vd. (1987) bu konu üzerinde çalışmışlardır. Kıyı yenilemesi ve akarsu debisinden sağlanan kum kaynağı ile ilgili birçok örnek ele almışlar ve kıyı çizgisi değişimini mahmuz, ayrık dalgakıran ve kıyı duvarlarıyla çözmüşlerdir. Dean ve Yoo (1993), bu kavramı aynı zamanda suni kıyı yenileme gelişimi için kullanmışlardır.

Bu 1-D analitik çözümü aynı zamanda tek çizgi analitik çözümü olarak da bilinmektedir çünkü profil bir birim olarak hareket etmektedir ve tek eşderinlik çizgisi ile temsil edilmektedir. Willis (1978) dönen bir profil önermiştir. Bakker (1968), iki çizgi analitik çözümünün, bir kıyıdaki analitik etkisini belirlemek için özel olarak geliştirmiştir. Temel olarak, iki tek çizgi modeli düşeyde birbirleri arasında kıyıya dik katı madde taşınımı olacak biçimde birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Bakker mevcut kıyı profillerinin ve bunların denge şartları arasında lineer bir ilişki olduğunu kabul etmiştir. Bakker bu denklemleri kıyıya dik doğrultudaki dış kaynaklardan gelen katı madde girişinin sıfır olduğunu kabul ederek çözmüştür. Dönme ve sapmayı da içine alan, 1-D denklemlerinin diğer analitik çözümleri, Le Mehaute ve Soldate (1978) tarafından incelenmiştir.



Şekil 2.6 İki-çizgi modeli (Kamphius, 2000)

2.5.5.2 Tam Bariyer Çözümü



Şekil 2.7 Tam bariyer için analitik çözüm (Kamphius, 2000)

$Y=0$ 'da yerleştirilmiş bir tam bariyer sınır şartı

$$Q_0=0 \quad (2.22)$$

dır. Bu eşitlik, (2.18)'de yerine konulduğunda aşağıdaki ifade elde edilmektedir:

$$\left[\frac{dx}{dy} \right]_0 = \alpha_b \cong \tan \alpha_b \quad (2.23)$$

(2.20)'deki x için genel çözüm, y ve t 'nin fonksiyonu olmaktadır. Değişken şu şekilde tanımlanmaktadır;

$$u = \frac{y}{\sqrt{4Dt}} \quad (2.24)$$

Sınır şartı olarak, (2.22) ifadesi ile birlikte (2.20)'nin çözümü aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$x = \sqrt{\frac{4Dt}{\pi}} \tan \alpha_b \left[e^{-u^2} - u\sqrt{\pi} \operatorname{erfc}(u) \right] \quad (2.25)$$

$$\operatorname{erfc}(u) = 1 - \operatorname{erf}(u) \quad (2.26)$$

$\operatorname{erf}(u)$ = u 'nun hata fonksiyonu

$\operatorname{erfc}(u)$ = u 'nun tamamlayıcı hata fonksiyonu

Sayısal yaklaşımlar Abromowitz ve Stegun (1965) tarafından verilmiştir.

Parantez içindeki terim şu şekilde belirlenebilmektedir:

$$F(u) = \left[e^{-u^2} - u\sqrt{\pi} \operatorname{erfc}(u) \right] \quad (2.27)$$

Şekil 2.8'de $\operatorname{erf}(u)$, $\operatorname{erfc}(u)$ ve $F(u)$ görülmektedir. Fonksiyon değerleri (u) ve $(-u)$ için aynıdır.

(2.25), x 'in y 'den bağımsız, $\sqrt{t}$ ile arttığını göstermektedir. Herhangi bir zamanda yığılmanın yüzey alanı;

$$A_s = \frac{Q t}{h_p} \quad (2.28)$$

dır. Q ve h_p sabit ve A_s , x ve y 'nin çarpımı olduğu için, A_s aynı zamanda x ile doğru orantılı, y 'den bağımsızdır.

Yapıda; $y=0$ ve $u=0$

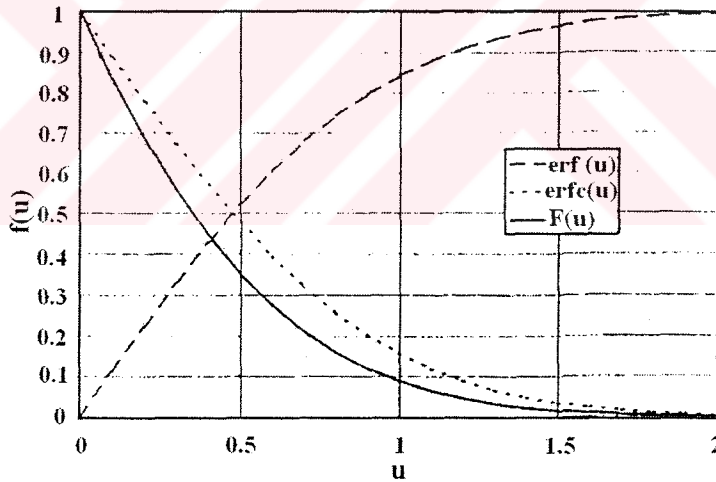
$$x_0 = \sqrt{\frac{4Dt}{\pi}} \tan \alpha_b \quad (2.29)$$

dır. (2.25) ifadesi aşağıdaki şekilde olmaktadır:

$$x = x_0 F(u) \quad (2.30)$$

$\tan \alpha_b \cong \alpha_b$ kabul edilip, (2.21) eşitliği (2.29)'da yerine konulduğunda şu sonuç elde edilmektedir;

$$x_0 = 2 \sqrt{\frac{Qt}{\pi h_p}} \tan \alpha_b \quad (2.31)$$



Şekil 2.8 Hata fonksiyonu (Kamphius, 2000)

2.5.5.3 Bypass Bariyer Çözümü

Bir yapı çok uzun olmadığında, bir süre sonra sınır şartı geçersiz olacaktır ve katı madde yapıdan geçmeye başlayacaktır. Yapının dolması için gereken zaman aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$x_0 = S_e \quad (2.32)$$

S_e = Yapının etkili uzunluğu

(2.29) ve (2.31) eşitlikleri şu sonucu vermektedir;

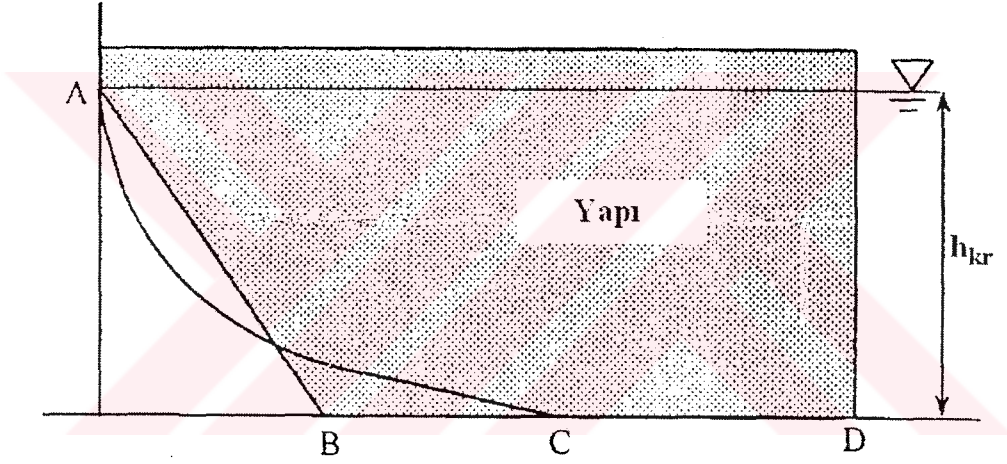
$$t_{dolu} = \frac{\pi S_e^2}{4D \tan^2 \alpha_b} = \frac{\pi h_p S_e^2}{4Q \tan \alpha_b} \quad (2.33)$$

Bir kez t_{dolu} 'ya ulaşırsa (2.22) geçersiz olmaktadır ve bariyerdeki yeni sınır şartı;

$$x_0 = S_e \quad (2.34)$$

olarak bulunmakta ve aşağıdaki sonuca ulaşılmaktadır.

$$x = S_e \operatorname{erfc}(u) \quad (2.35)$$



Şekil 2.9 Etkili uzunluk (Kamphius, 2000)

Yapının etkili uzunluğu; kıyı profilinin h_k ile kesiştiği yerden yapının sonuna kadar olan mesafedir. Şekil 2.9'a bakıldığında, eğer basit eğim düşünülürse (AB gibi), etkili uzunluk $S_e = BD$ olacaktır. Eğer kıyı eğimi düşünülürse (AC gibi), etkili uzunluk $S_e = CD$ olacaktır. h_k 'nin seçimine göre C noktasının pozisyonu çok hassastır ve S_e değerinin bulunmasında zorluk çıkarmaktadır. Bu yüzden ortalama kıyı eğimi (AB) kabulü yapıp S_e 'nin hesaplanması gerekmektedir.

Bariyeri geçen katı madde debisi şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$Q_{by} = 2 q \alpha_b \left[1 - \sqrt{\frac{t_{dolu}}{t}} \right] = Q \left[1 - \sqrt{\frac{t_{dolu}}{t}} \right] \quad (2.36)$$

(2.25), (2.35) ve (2.36) eşitlikleri yapının yeteri kadar uzun olduğunu kabul etmektedir, bu yüzden S_e pozitifdir. Kısa mahmuzlarda S_e eksi olabilir ve bu durumda denklemler çözümsüz olmaktadır. Bu yüzden bu metot sadece uzun mahmuz, mendirek ve dalgakıranlarda kullanılabilir.

Analitik çözümlerde, bir çok açık sınırlama vardır. Bu çözüm, bir (ortalama) dalga koşulundaki yaklaşık olarak yığılmayı vermekte ve birçok basitleştirici kabul içermektedir. Genelde büyük yapılarda ön analiz için bu çözüm şekli kullanılmaktadır.

Eğer kum yapı yanında yığılıyorsa, yapının öteki tarafında kıyıda erozyon olması gerekmektedir.

2.5.6 Sayısal Çözümler

2.5.6.1 Temel Kavramlar

Pratikteki problemlerde analitik çözümlerin geçerli olabilmesi için dalga şartları verisi ve sınır şartları normal olarak basitleştirilememektedir. Bu durumda katı madde taşınım debisi ifadeleri ile birlikte (2.3) ve (2.6) sayısal olarak çözülmektedir.

ONELINE isimli 1-D programı (2.3) ve (2.6) eşitliklerini kullanmaktadır. Aşağıdaki tartışmalar bir tek dalga şartını (H , T ve α 'nın bir kombinasyonu) içermektedir fakat normalde tek çizgi hesapları birden çok dalga şartını veya gelen dalga şartlarında bütün dalga iklimini kapsamaktadır (Şekil 2.4).

İlk olarak, kıyı çizgisi sonlu uzunlukta bir seri bölüme ayrılmıştır (Şekil 2.10). Eğer kıyı çizgisi biraz kıvrılıyorsa, dalga açısı (α_b), bir y eksenine (ortalama kıyı çizgisi doğrultusu veya orijinal kıyı çizgisi doğrultusu) bağlı olarak açıklanabilmektedir. Eğer fazla kıvrılmış orijinal kıyı çizgisi ise, Şekil 2.11'de görüldüğü gibi her kıyı çizgisi bölümü gelen aynı dalga için farklı α_b açılarında belirtilmektedir.

2.5.6.2 Açık Sonlu Farklar Şeması

Yapılan hesapta sonlu farklar metodu ve Δt zaman aralığı kullanılmaktadır. Sonlu farklar metodu, Abbott (1979) ve Hoffman (1992)'ın yaptığı gibi birçok standart metinde anlatılmıştır. Programlama için en basit sonlu farklar şeması, açık sonlu farklar şemasıdır. Bu şemada yeni bir $(t+\Delta t)$ zamanındaki her yeni Q ve x değeri, bir önceki t zamanındaki Q ve x

değerinden açık olarak hesaplanmaktadır. Buna rağmen, açık şema kolayca kararsız hale gelebilmektedir (hatalar sonsuza kadar büyümektedir). (2.3) ifadesinin açık sonlu farklar şeması (Hanson ve Kraus, 1986) aşağıdaki gibi yazılmıştır:

$$x_i^* = \frac{\Delta t}{2 h_p \Delta y} 2(Q_i - Q_{i+1}) + x_i$$

veya

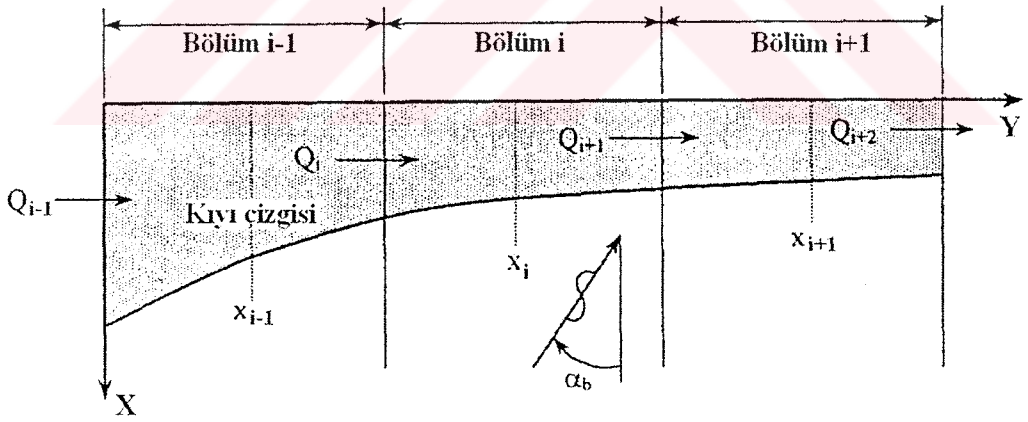
$$x_i^* = 2 B (Q_i - Q_{i+1}) + x_i \quad (2.37)$$

burada;

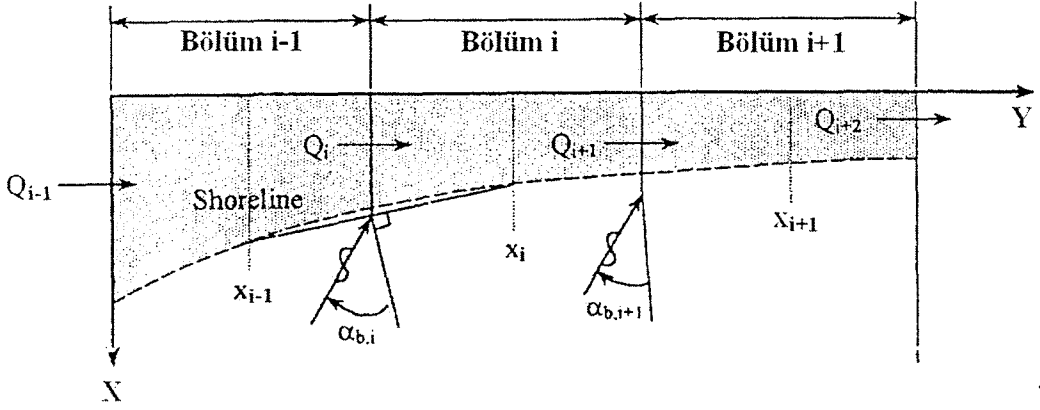
$$B = \frac{\Delta t}{2 h_p \Delta y} \quad (\text{s/m}^2) \text{ ve } * \text{ işareti } (t+\Delta t) \text{ zamanında hesaplanan değerdir.}$$

Stabilite şartı:

$$\left[\frac{Q}{\alpha h_p} \frac{\Delta t}{\Delta y^2} \right] < \frac{1}{2} \quad (2.38)$$



Şekil 2.10 1-D modeli için bölünmüş kıyı çizgisi (a) (Kamphius, 2000)



Şekil 2.11 1-D modeli için bölünmüş kıyı çizgisi (b) (Kamphius, 2000)

2.5.6.3 Kapalı Sonlu Farklar Şeması

Proglama için kapalı sonlu farklar şeması daha zordur, fakat Δt üzerinde aynı sınırlamaları getirmemektedir. Böyle bir şemada, $(t+\Delta t)$ zamanındaki Q ve x 'in yeni değerleri kıyı boyunca simultane olarak hesaplanmaktadır. Bu metot lineer matris cebrine dayandığı için (2.3) ve (2.4), x ve Q sırasında belirtilmelidir.

(2.3) eşitliği, her N bölümü için sonlu farklar formunda yazılmaktadır. Muhtemel formlardan bir tanesi;

$$\frac{x_i^* - x_i}{\Delta t} = -\frac{1}{(h_p)_i} \left\{ \frac{Q_{i+1}^* - Q_i^*}{\Delta y} - q_0 \right\} \quad (2.39)$$

dır. * işareti $(t+\Delta t)$ zamanında hesaplanan değerleri belirtmektedir. (2.39) ifadesi aşağıdaki şekilde de yazılabilmektedir:

$$-A_i Q_i^* + x_i^* + A_i Q_{i+1}^* = S_i \quad (2.40)$$

Denklemin sol tarafında $(t+\Delta t)$ zamanında bilinmeyen değerler mevcuttur.

$$A_i = \frac{\Delta t}{(h_p)_i \Delta y} \quad (2.41)$$

Denklemin sağ tarafı ise t zamanında bilinen değerleri içermektedir.

$$S_i = x_i + A_i \Delta y q_0 \quad (2.42)$$

Q ile biten tüm sınır şartı olarak belirtilebildiği gibi (2.4) ve (2.5) eşitlikleri kullanılarak da hesaplanabilmektedir. Kapalı çözüm, küçük bir efektif kırılma açısı kabulü yapmaktadır. Bununla birlikte, küçük açı opsiyonu (SA) diye adlandırılan bu basit doğrusallaştırma sadece gelen küçük dalga açılarında ve küçük kıyı çizgisi doğrultu açılarında geçerli olmaktadır. Sonlu α_b ve dx/dy değerleri için kesin olmayan sonuçlar vermektedir.

Perlin ve Dean (1978)'in örneği incelendiğinde, $\sin 2\alpha_e$ terimini genişletmek mümkün olacaktır, böylece α_e 'nin küçük olmasına gerek kalmamaktadır.

$$\sin 2\alpha_e = \sin 2(\alpha_b - \frac{dx}{dy}) = \sin 2(\alpha_b - \alpha_s) \quad (2.43)$$

α_s kıyı çizgisi açısıdır ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\alpha_s = \tan^{-1} (dx/dy) \quad (2.44)$$

(2.43) ifadesi şu şekilde genişletilmektedir:

$$\begin{aligned} \sin 2\alpha_e &= \sin 2\alpha_b \cos 2\alpha_s - \cos 2\alpha_b \sin 2\alpha_s \\ &= \sin 2\alpha_b \cos 2\alpha_s - 2 \cos 2\alpha_b \cos \alpha_s \sin \alpha_s \\ &= \sin 2\alpha_b \cos 2\alpha_s - 2 \cos 2\alpha_b \cos \alpha_s \left[\frac{dx}{ds} \right] \end{aligned} \quad (2.45)$$

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (2.46)$$

(2.45), bir sonlu fark denklemi olarak yazılabilmektedir.

$$\sin 2\alpha_e = (\sin 2\alpha_b \cos 2\alpha_s) - 2 (\cos 2\alpha_b) (\cos \alpha_s) \left[\phi \frac{(x_i^* - x_{i-1}^*)}{ds} + (1 - \phi) \frac{(x - x_{i-1})}{ds} \right] \quad (2.47)$$

Kapalı şemada $\phi=1$, açık şemada ise $\phi=0$ olmaktadır. ONELINE isimli yazılımda, eski ve yeni değerlerin etkisini dikkate alarak $\phi=0.5$ alınmaktadır (Kamphius, 2000). Kıyı çizgisi açısı, α_s , (2.47)'nin türetilmesinde rölatif olarak küçük kabul edilmektedir fakat bu fazla sınırlayıcı değildir. Yine de, ONELINE bu açığı her zaman küçük tutmaktadır.

Gerçek katı madde taşınım miktarı için (2.4) ve (2.6) eşitlikleri şu şekilde birleştirilmektedir:

$$Q_i = (c_3)_i \sin^{0.6} 2\alpha_e \quad (2.48)$$

$$(c_3)_i = 7.3 C_Q (H_{sb})_i^2 (T_p)_i^{1.5} (m_b)_i^{0.75} (d_{50})^{-0.025} \quad (2.49)$$

C_Q = Kalibrasyon katsayısı

ONELINE, (2.48) ifadesini şu şekilde değerlendirmektedir:

$$Q_i = \frac{(c_3)_i \sin 2\alpha_e}{(\sin^{0.4} 2\alpha_e)} = (c_4)_i \sin 2\alpha_e \quad (2.50)$$

(2.47) ve (2.50)'nin birleştirilmesi;

$$-B_i x_{i-1}^* + Q_i^* + B_i x_i^* = R_i \quad (2.51)$$

sonucunu vermektedir. Denklemin sol tarafındaki bilinmeyenler:

$$B_i = \frac{(c_4)_i}{ds} \cos 2\alpha_b \cos \alpha_s \quad (2.52)$$

dır. Ve sağ tarafta bilinenler toplanmıştır;

$$R_i = (c_4)_i (\sin 2\alpha_b \cos 2\alpha_s - \cos 2\alpha_b \cos \alpha_s \sin 2\alpha_s) \quad (2.53)$$

Eğer sınır şartları bilinen Q değerleri olarak yerleştirilirse, (2.40) ve (2.51), üç diyagonalli matriste yer alan sınır şartlarıyla beraber her N kıyı çizgisi bölümü için aynı anda belirtilebilmektedirler.

$$\begin{bmatrix} 1 & & & & & & & & & & \\ -A_1 & 1 & A_1 & & & & & & & & \\ & -B_2 & 1 & B_2 & & & & & & & \\ & & -A_2 & 1 & A_2 & & & & & & \\ & & & -B_3 & 1 & B_3 & & & & & \\ & & & & -B_{N-2} & 1 & B_{N-2} & & & & \\ & & & & & -A_{N-1} & 1 & A_{N-1} & & & \\ & & & & & & -B_{N-1} & 1 & B_{N-1} & & \\ & & & & & & & -A_N & 1 & A_N & \\ & & & & & & & & & 1 & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1^* \\ x_1^* \\ Q_2^* \\ x_2^* \\ Q_3^* \\ \vdots \\ Q_{N-1}^* \\ x_{N-1}^* \\ Q_N^* \\ x_N^* \\ Q_{N+1}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ S_1 \\ R_2 \\ S_2 \\ R_3 \\ \vdots \\ R_{N-1} \\ S_{N-1} \\ R_N \\ S_N \\ R_{N+1} \end{bmatrix} \quad (2.54)$$

Boşluklar sıfırı göstermektedir. İlk ve son satır sınır şartlarıdır. R_1 ve R_{N+1} , modelin sonundaki katı madde taşınım miktarlarıdır. Bu matris, yeni Q ve x değerlerini

belirleyebilmek için her zaman aralığında çözülmesi gerekmektedir. R ve S'nin tüm değerleri, bir önceki adımda bilinen değerlere dayanmaktadır.

2.5.6.4 Sınır Şartları

Sınır şartları, modelin çevresel bağlantılarını sağlamakta ve modelin dışından tanımlanmaktadır. Bu yüzden hesabın sınırları modelde olacak herhangi bir değişiklikten yeterince uzak olmalıdır böylece sınır şartları bu değişiklikten etkilenmeyecektir.

Sınır şartlarının genel seti aşağıdaki gibidir:

$$Q_1 = R_{1,0}; \quad Q_{N+1} = R_{N+1,0} \quad (2.55)$$

$R_{i,0}$ = Orijinal kıyı çizgisi için hesaplanmış katı madde taşınım miktarı

Bir başka sınır şartı da tam bariyerdir.

$$Q_i = 0 \quad (2.56)$$

Bu şart, geçen herhangi bir katı maddeden korumak amacıyla yeterince uzun olan bir yapı veya jeolojik formu tarif etmektedir. Buna rağmen zamanla yapıda oluşan yığılma nedeniyle (2.56) ifadesi geçersiz duruma gelecektir ve bir bypass şartına ihtiyaç duyulacaktır.

Aktif profilin sonundaki denize doğru olan mesafe (aktif profilin h_k ile kesiştiği yer) aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir.

$$x_c = \left[\frac{h_k}{A_p} \right]^{3/2} \quad (2.57)$$

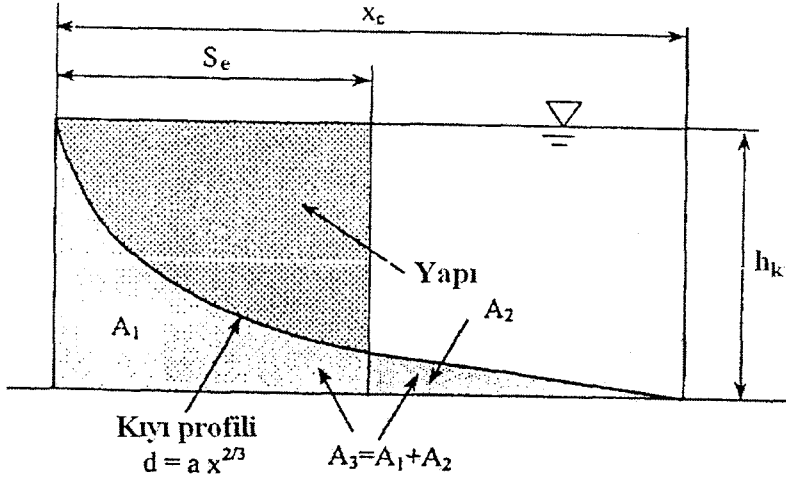
Herhangi bir zamanda, yapı aşağıdaki şekilde ifade edilen S_e efektif uzunluğuna sahiptir.

$$S_e = S_s - x_s \quad (2.58)$$

S_s = Yapı uzunluğu

x_s = Yapıdaki katı madde yığılması

Bypass eden katı madde miktarının, yapının sonuna kadar genişleyen (Şekil 2.12'deki A_2) yani h_k derinliğine kadar uzayan aktif kıyı profili ile bağlantılı olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 2.12 Bypass hesabı için tanımlamalar (Kamphius, 2000)

Profilin integrasyonu bypass eden katı madde taşınım oranının belirlenmesini sağlamaktadır.

$$\frac{Q_{by}}{Q} = \frac{A_2}{A_3} = \left[1 - \frac{A_1}{A_3} \right] = 1 - \left\{ \frac{S_e h_k - 3/5 A_p S_e^{5/3}}{x_c h_k - 3/5 A_p x_c^{5/3}} \right\} \quad 0 < S_e < x_c \quad (2.59)$$

$$Q_{by} = 0 \quad S_e \geq x_c \text{ için}; \quad Q_{by} = Q \quad S_e \leq 0 \text{ için} \quad (2.60)$$

Q = Yapıya gelen debi

Eğer mahmuz dolarsa $S_e = 0$, tüm katı madde mahmuzdan geçer. (2.57) ve (2.60) ifadeleri sınır şartlarıdır fakat model içinde yapıları betimlemek için de kullanılmaktadır.

Yukarıdaki sınır şartları Q değerlerini açıklamaktadır. Q 'nun değişim miktarı (dQ/dy) aynı zamanda tanımlanabilmektedir, örneğin $dQ/dy=0$, sınırdaki Q 'nun her zaman gerçek katı madde miktarına eşit olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, sınırlar x 'in hesaplandığı yere konmalıdır. Son şart, yavaş aşınan burunların benzerini yapmak için ONELINE'da kullanılmaktadır.

2.5.6.5 Kıyı Eğimi

Kıyılar düz eğime sahip değildirler. Genelde kıyının şekli kıyı profili olarak tanımlanmaktadır. Bruun (1954) ve Dean'in (1977) tanımladıkları uzun dönem ortalama profillere dayanarak aşağıdaki ifade elde edilmektedir:

$$h = A_p x^{2/3} \quad (2.61)$$

burada;

h = Su derinliği

x = Kıyıdan açık denize, sakin su seviyesine olan uzaklık

A_p = Tane boyutunun fonksiyonudur.

Eğer hesapta (2.61)'deki gibi tanımlanmış bir profil kullanılıyorsa, bu aynı zamanda katı madde taşınım miktarı ve dalga değişimi için kıyı eğimlerini açıklamakta da kullanılmaktadır. Dalga kırılma kriteri için kırılmanın hemen açığındaki eğime ihtiyaç duyulmaktadır.

(2.61)'in diferansiyeli alınırsa;

$$m_x = \frac{d(h)}{dx} = \frac{2}{3} A_p x^{-1/3} \quad (2.62)$$

ifadesi elde edilir ve kırılmadaki eğimi hesaplamak için;

$$m_b = \frac{2}{3} A_p x_b^{-1/3} = \frac{2}{3} A_p^{3/2} h_b^{-1/2} \quad (2.63)$$

ifadesinden yararlanılmaktadır.

Tüm profilin ortalama eğimi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\bar{m} = \frac{h_k}{x_c} = \frac{h_k}{h_k^{3/2}} A_p^{3/2} = \frac{A_p^{3/2}}{h_k^{1/2}} \quad (2.64)$$

2.5.6.6 Geniş Kıyı Çizgisi Eğrilikleri

(2.47)'nin oluşumu, orijinal kıyı çizgisi ile ilgili geniş kıyı çizgisi doğrultu açılarına müsaade etmektedir. Doğrusal kıyıları için hesap düz bir y eksenine veya kıyı çizgisi eğilimine göre yapılmaktadır. Örneğin α_b 'nin tek değeri ayrı dalga şartları ve tüm kıyı için kullanılmaktadır (Şekil 2.10). ONELINE'da bu (Tek çizgi), Kıyı Çizgisi Eğilimi Versiyonu (OLST) olarak adlandırılmaktadır.

Eğer kıyı çizgisi çok eğriyse, dx/dy (düz çizgi kıyı çizgisi eğilimi ile ilgili) OLST versiyonunun kullanılamayacağı kadar büyük olmaktadır. Bu özellikle, uzun mesafeleri ve süreleri kapsayan L-tipi problemlerde geçerli olan bir durumdur. Şekil 2.11'de olduğu gibi, hesabın ana hattı olarak düz bir kıyı çizgisi eğimi yerine orijinal kıyı çizgisini tanımlamak

mümkündür. Bu, mevcut kıyı çizgisini bölündüğü ve α_b 'nin her kıyı çizgisi bölümü için hesaplandığı anlamına gelmektedir. (2.4) ve (2.6), sonsuz uzunlukta ve düz kıyı çizgisi kabulü yapılsa bile Q'nun hesabı için kullanılmaktadır. Basit bir düzeltme fonksiyonu, bitişik kıyı çizgisi bölümlerinin etkilerinin tanımlanmasına yardım etmektedir. ONELINE'nın bu varyasyonu (tek çizgi) Kıyı Çizgisi Bölümleri Versiyonu (OLSS) olarak adlandırılmaktadır.

OLSS versiyonunda, orjinal kıyı çizgisi ve y eksenini arasındaki mesafe de x olarak tanımlanmaktadır. Eğer hesapta ana çizgi olarak kıyı çizgisi kullanılacaksa, hesap kapalı olarak, yeni kıyı çizgisi ve orjinal kıyı çizgisi arasındaki x ile belirtilen (x'ten ayırmak için) mesafe hesaplanmaktadır. Herhangi bir hesabın başında (dx'/dy) değerleri sıfırdır. Hesap ilerledikçe, (dx'/dy)'nin değerleri izlenmektedir ve bir limiti aşarsa, hesap yanlış olmaktadır. x', x'e eklenmektedir ve son hesaplanan kıyı çizgisi yeni "orjinal" kıyı çizgisi olmaktadır.

2.6 Konu İle İlgili Diğer Çalışmalar

Hanson ve Kraus (1985), araştırmalarında sayısal kıyı çizgisi modelinde (tek çizgi) deniz duvarı etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar çalışmada tek çizgi modelinin temel denklemleri çerçevesinde deniz duvarını içeren yeni bir yöntem sunmuşlardır. Kullanılan temel denklemler:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = -\frac{1}{D} \frac{\partial Q}{\partial y} \quad (2.65)$$

Açık sonlu farklar şemasında (2.65) aşağıdaki formda yazılmıştır:

$$x_i^* = x_i + \frac{\Delta t}{D \Delta y} (Q_i - Q_{i+1}) \quad (2.66)$$

Birçok çalışmada deniz duvarı etkisi tek çizgi sayısal modelinde dikkate alınmıştır. Bu çalışmalarda ya kıyı boyu katı madde taşınımı kıyı çizgisinin deniz duvarı ile kesiştiği yerde sıfır alınmış ya da keyfi bir işlem uygulanmıştır. Hanson ve Kraus'un (1985) amacı ise tek çizgi modelinde deniz duvarı etkisini gösteren yöntemin ana hatlarını belirtmek olmuştur. Deniz duvarı etkisinin dikkate alınması metodunu diğerlerinden ayıran özellik kum hacmini ve kıyı boyu kum hacmi taşınım yönünü korumasıdır.

Hanson ve Kraus (1985) çalışmalarında dalga yansımaları ve oturma, oyulma, ötelenme ve mümkün deniz duvarı çökmesini dikkate almamışlardır. Tek çizgi modelinde deniz duvarının

bulunduğu alanda net kum kazanımı olmamaktadır fakat böyle bir alanda sınır şartlarından geçen katı madde hareketi gözlenmektedir. Bu sebeple bu bölgede net kıyı boyu taşınım miktarını sıfıra eşitlemek yanlış olmaktadır. Taşınım debisi, toplam katı madde hacmini ve taşınım yönünü korumak amacıyla, katı maddeyi transfer eden deniz duvarı civarındaki bölgelerin hesaplaması yapılacak şekilde ayarlanmalıdır. Araştırmacılar, deniz duvarında kıyı seviyesi su seviyesinin altına düşerse metodun uygulanamayacağını vurgulamışlardır.

Araştırmacılar, kıyının deniz duvarının arkasına çekilmesi veya erozyonu durumunda hesaplama bölgesinden sanal katı madde taşınımı olacağını not etmişler ve bu katkı debisini ΔQ_{fic} olarak adlandırmışlardır. (2.66)'da eski durum olarak x_i yerine x_{si} ve yeni durum olarak x_i^* yerine x_i konulmuş;

$$\Delta Q_{fic} = \frac{D\Delta y}{\Delta t} (x_{si} - x_i) \quad (2.67)$$

ve (2.67) ifadesi elde edilmiştir.

Bulunan ΔQ_{fic} değeri bölgeden ayrılan taşınım debisinden çıkartılmıştır çünkü ayarlama kütlenin korunumu denkleminde göre yani kum hacmini koruyacak şekilde yapılmıştır.

Katı madde her zaman kıyı boyunca aynı yönde hareket etmemektedir. Bazı bölgelerde ters yönde de hareketi mevcuttur. Böyle bir durum deniz duvarında meydana gelirse Q_i ve Q_{i+1} debileri (2.65)'i sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır.

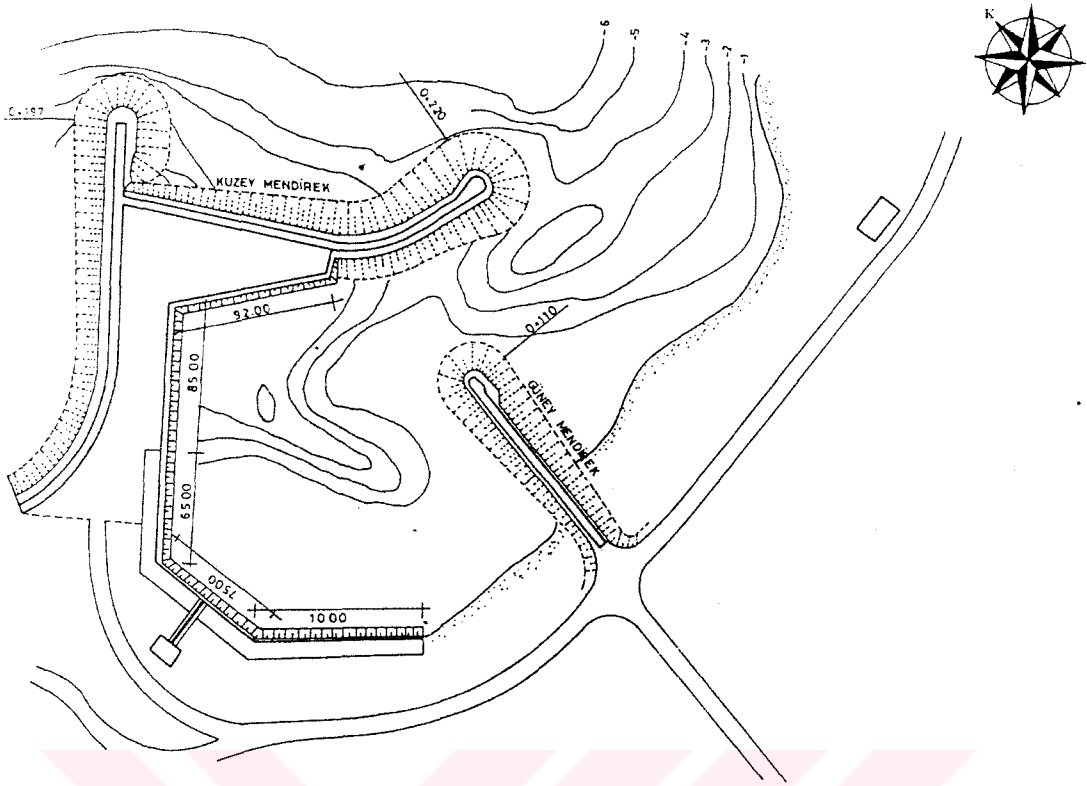
Sonuç olarak, araştırmacıların sunduğu bu metod yardımıyla yapılacak olan kıyı çizgisi sayısal modelinde deniz duvarını içeren durumlarda modeli geliştirmeyi sağlayacak esaslar ortaya çıkmıştır. Örneğin kıyı değişiminin çok çizgili modellerinde, deniz duvarının önünde oluşacak kıyı eğimi değişimlerini açıklamak bu metotla mümkün olmaktadır.

Jayakumar ve R. Mahadevan (1993), çalışmalarında tek çizgi model denkleminin çözümü için iki sayısal yöntemden faydalanmışlardır. Bunlar açık ve kapalı sonlu farklar yöntemidir. Ayrıca araştırmacılar kıyı çizgisi gelişiminde, belirli bir düzen izlemeyen dalga yüksekliği, yönü ve periyodu gibi açık deniz parametreleri kombinasyonunun oluşma sırasının etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada Hindistan'ın doğu ve batı sahillerinde bulunan Madras ve Beypore limanları yanındaki kıyı çizgisi gelişimi sunulmuş ve kıyı çizgisi gelişimi tahmininde kullanılan tek çizgi benzeşim modelindeki sınırlamalar belirtilmiştir.

Yapılan çalışmada, Lemehaute ve Soldate (1980) ve Kraus ve Harikai'nin (1983) kıyı çizgisi benzeşimi için kullandıkları sayısal şemalar tekrar edilmiştir. Kıyı çizgisi gelişiminin tahmininde sayısal şemalar kullanıldığında dalga istatistiği tahmini zaman serisi formunda gerekmektedir. Fakat açık denizde dalga parametrelerinin hangi sırada oluşacağını bilmek pek mümkün değildir. Bu sebeple modelin dalga parametrelerindeki sıra değişimine gösterdiği tepki sayısal deneylerle çalışılmaktadır.

Araştırmacılar iki örnek saha üzerinde çalışmışlar (Madras ve Beypore limanı) ve belirli dalga parametreleri verisinde kıyı çizgisi gelişimindeki kararsızlığı gözlemlemişlerdir. Bu çalışmalar için dalga parametreleri (α , T , H_0) zaman serisi formunda veri olarak gerekmektedir. Bu pek mümkün olamadığı için araştırmacılar gereken bilgiyi aylık istatistiksel verilerden ve yakın kıyı rejimindeki dalga güllerinden elde etmişlerdir. Bu aylık veriler ortalama dalga yüksekliği, yönü ve periyodu belirlemek için kullanılmıştır. Ortalamalar elde edilirken parametrelerin hangi sırada olduğu gözden kaçırılmıştır.

Modelin dalga parametrelerindeki sıra değişimine gösterdiği tepkiyi incelemek için yapılan tüm sayısal deneylerde başlangıç kıyı çizgisi kıyıya paralel ve bağlı olan bir dalgakıranla beraber düz ve $q=0$ olarak alınmıştır. Deneyler parametrelerden birini değiştirip diğerlerinin sabit tutulmasıyla gerçekleştirilmiş ve sonuç olarak dalgakırana yakın kıyı çizgisinin gelişiminde dalga geliş yönü sırasının belirgin bir etkisi olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3.2 Karaburun Balıkçı Barınağı planı

3.2 Problemin Tanımı

Barınağın inşaatı sırasında hasar görmesi nedeniyle projede revizyon yapılmış ve ikincil dalgakıran ana dalgakırana buna karşın ise ana dalgakıran ikincil dalgakırana dönüştürülmüştür.

Barınağın yaklaşık olarak 4.5 km doğusunda kömür ocaklarından çıkan toprak dökülerek 500 m uzunluğunda bir yapay burun oluşturulmuştur.

Barınağın yaklaşık 500 m doğusunda bulunan 250 m uzunluğundaki mahmuz, hasar gördüğünden ortadan kalkmıştır.

E-W yönünde net kıyı boyu katı madde taşınımı 4.5 km doğudaki yapay burundan etkilenmiştir. Böylece kıyı çizgisinde değişim başlamıştır. Burnun batı tarafında erozyon başlamıştır.

Ortadan kaldırılan mahmuz nedeniyle E-W yönünde taşınan kıyı boyu katı madde barınağın ikincil dalgakıranın doğusunu tamamen doldurduktan sonra liman içine girerek ikincil dalgakıranın tamamen karada kalmasına ve liman ağzının kapanmasına neden olmuştur. Böylece barınak baseninde tekneler mahsur kalmışlardır.



Şekil 3.3 Karaburun Balıkçı Barınağı'nın genel görünümü ve kumlanma

Karaburun'da balıkçıların birleşerek kurdukları “Karaburun Köyü Su Ürünleri Kooperatifi” kendi imkanları ile barınak ağzında bir teknenin geçebileceği kadar tarama yapılmasını sağlamıştır. 2002 yılı eylül ayında ise İstanbul İl Özel İdaresi ihaleye çıkarak kumun taranmasını istemiştir.

Kamu kuruluşlarının arasındaki koordinasyonsuzluk nedeniyle kumlanma ve erozyon problemi çözümlenememiştir. Bu amaçla DLH Genel Müdürlüğü Karaburun Balıkçı Barınağı'nı öncelikli projeler arasına almıştır.

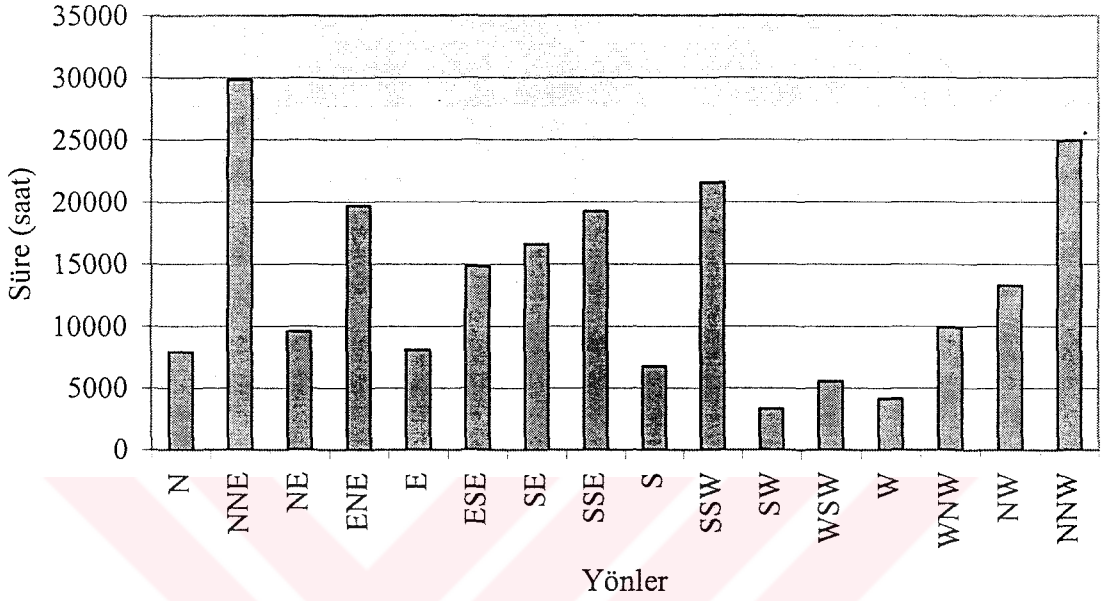
3.3 Rüzgar ve Dalga İklimi

3.3.1 Rüzgar İklimi ve İstatistiği Çalışması

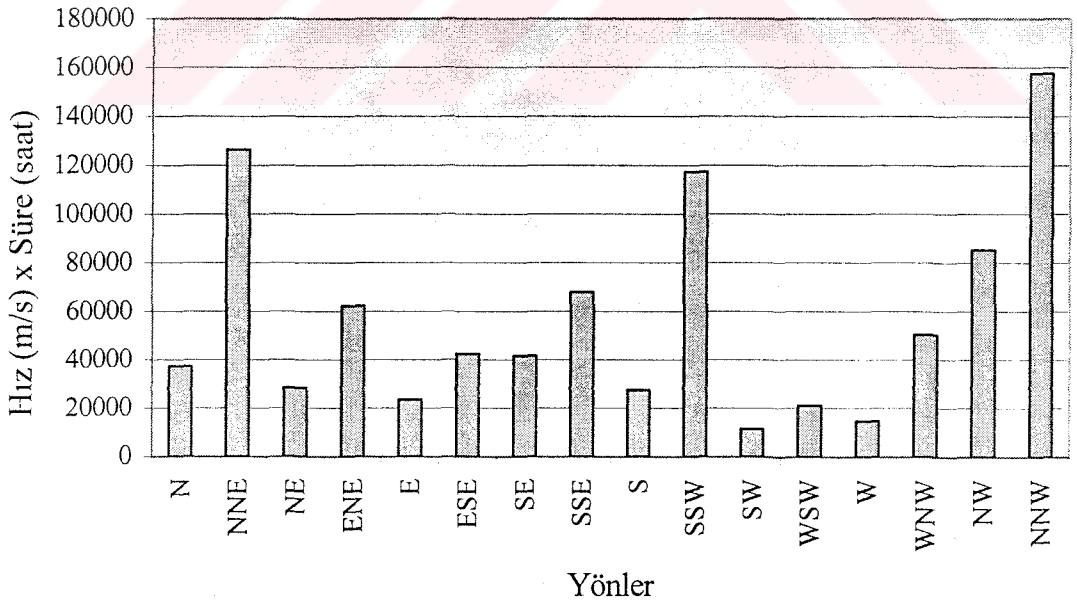
Kilyos Meteoroloji İstasyonu

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Kilyos Meteoroloji İstasyonunda saatlik ortalama rüzgar hız ve yönleri ölçülmektedir. Bu ölçümlerden 1976-2001 yılları arası olmak üzere 25 yıllık dönemi kapsayan saatlik rüzgar verileri kullanılarak rüzgar istatistiği yapılmıştır. Bu rüzgar verileri, yönlere göre gruplandırılmış ve her bir yönden esen rüzgarlar, hızları esas

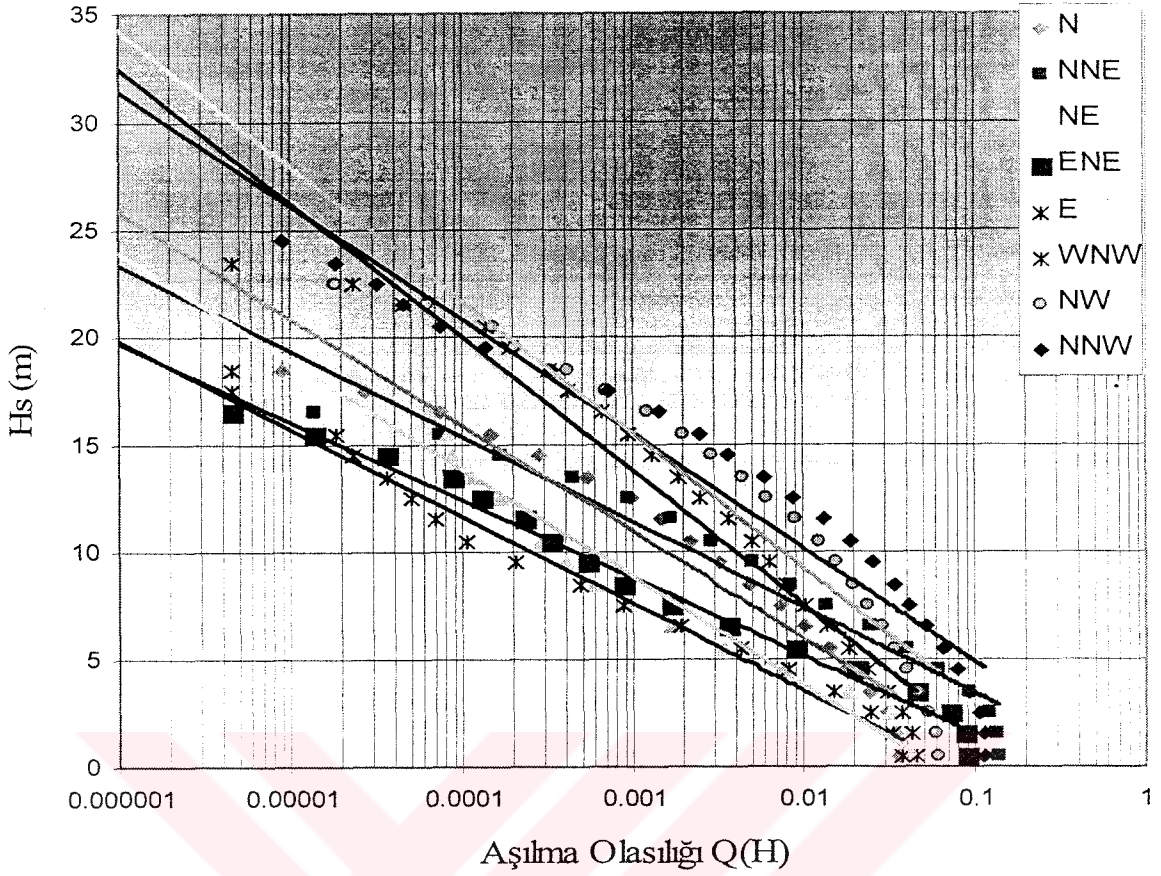
alınarak 0.5 m/s'lik aralıklara ayrılmıştır. Bu veriler logaritmik eksenli bir grafikte ifade edilmiştir. Şekil 3.4'ten görüldüğü üzere bu bölgede rüzgarlar en uzun süre ile NNE yönünden, ikinci olarak NNW yönünden esmektedir. Çalışmada kullanılan 25 yıllık dönemde ise en şiddetli rüzgarların NNW yönünden estiği görülmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.4 Yönler göre rüzgar esme süreleri (Kilyos Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan 1976-2001 yılları arası saatlik rüzgar verilerine göre)



Şekil 3.5 Şiddetlerine göre ağırlığı alınmış rüzgar esme süreleri (Kilyos Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan 1976-2001 yılları arası saatlik rüzgar verilerine göre)



Şekil 3.6 Karaburun kıyısını etkileyen yönler için rüzgar olasılık dağılımı (Kilyos Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan saatlik rüzgar verilerine göre, 1976-2001)

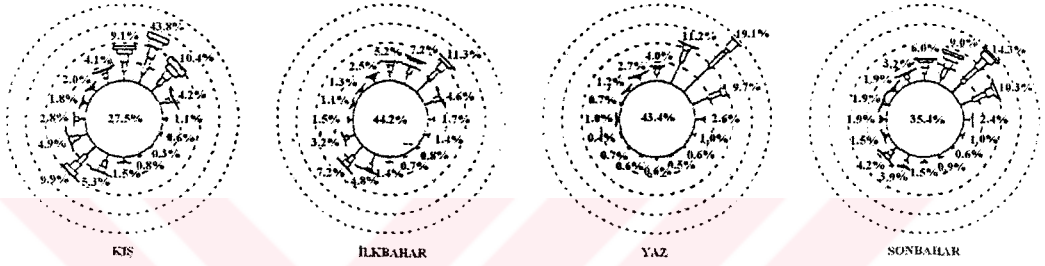
Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (1999)

Özhan ve Abdalla'ya (1999) göre Karaburun'un bulunduğu 41.50° N, 28.40° E enlem ve boylamında, yıllık ve mevsimsel rüzgar güllerine göre en fazla esen rüzgar yönü NNE'dir. Bu rüzgar iklimi çalışmasındaki yıllık en büyük rüzgar hızlarının en büyük değer istatistiğinde etken yön dilimi ise NNE-ENE olmaktadır (Şekil 3.7).

Rüzgar İklimi: 41.50° N, 28.40° E

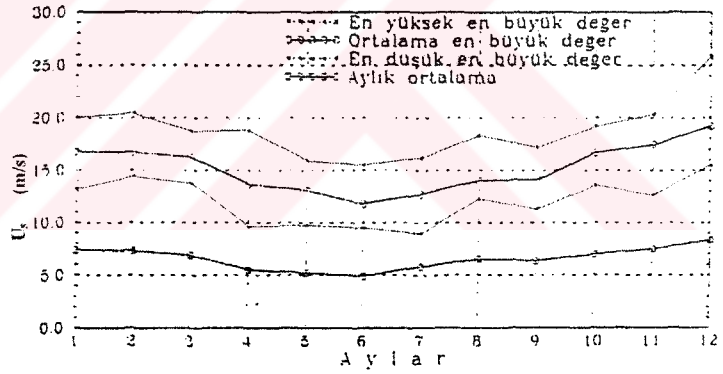


1. Yıllık rüzgar gülü



2. Mevsimsel rüzgar gülleri

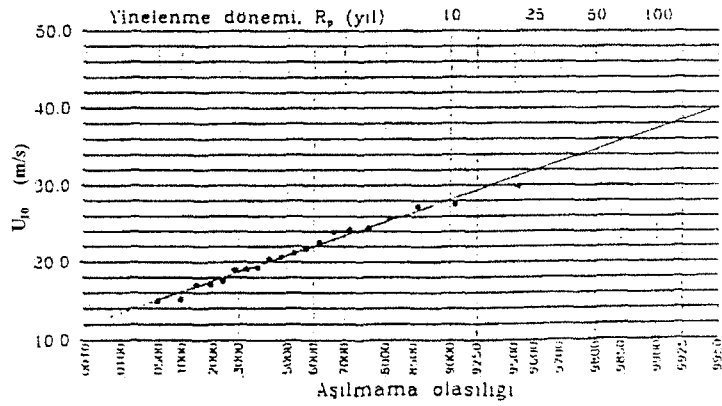
3. Aylık ortalama ve en yüksek rüzgar hızları (en büyük, en küçük ve ortalama değerleri).



4. Yıllık en büyük rüzgar hızlarının en büyük değer istatistiği.

Etken yön dilimi:
NNE-ENE

İkincil yön dilimi:



Şekil 3.7 “Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası”na göre rüzgar iklimi (Özhan ve Abdalla, 1999)

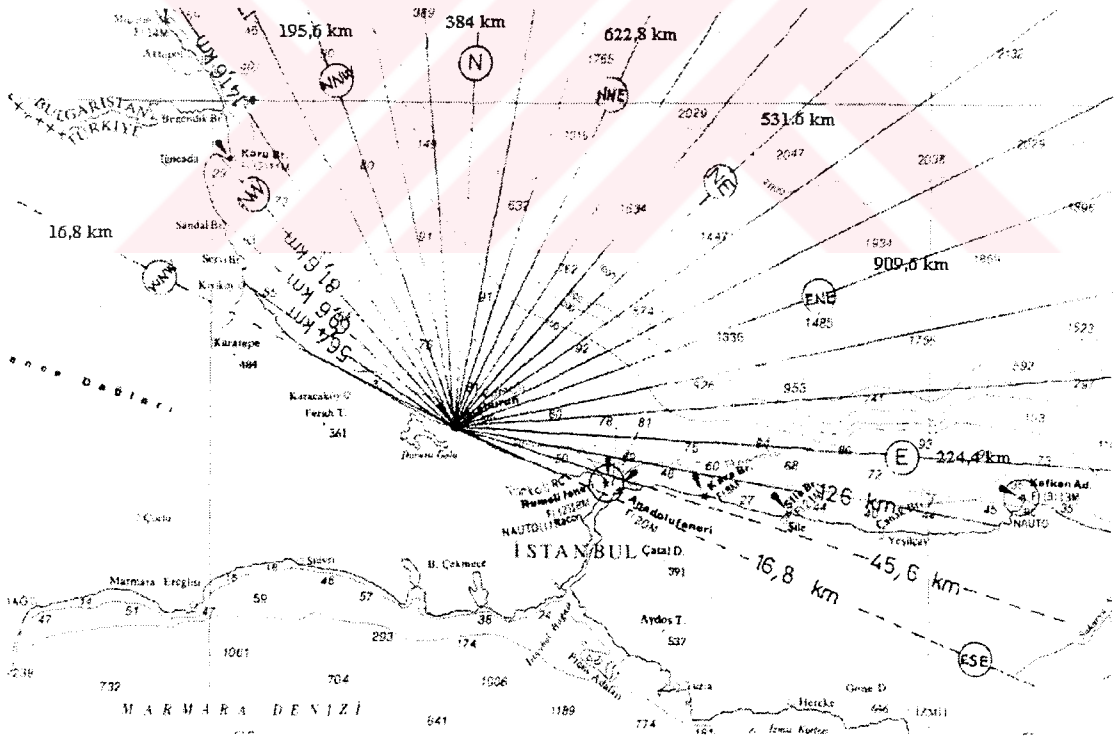
3.3.2 Dalga İklimi ve İstatistiği Çalışması

Karaburun yöresinde düzenli dalga ölçümleri yapılmamaktadır. Bu nedenle, balıkçı barınağını etkileyen dalga verilerini oluşturmak amacıyla, geçmişteki fırtınalarda yaratılmış olan dalga özelliklerinin tahmin edilmesi gerekmektedir.

Karaburun Balıkçı Barınağı açıklarında oluşan dalgalar E ve WNW arasında kalan yönlerden gelmektedir. Dalga tahminleri için, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİGM) tarafında bilgisayar ortamına girilmiş bulunan Sarıyer, Kilyos (Kumköy) ve Şile Meteoroloji İstasyonlarının rüzgar verileri (saatlik rüzgar cetvelleri) incelenmiştir.

Karaburun Balıkçı Barınağını etkileyebilir dalga yönleri; Doğu (E), Doğu Kuzeydoğu (ENE), Kuzeydoğu (NE), Kuzey Kuzeydoğu (NNE), Kuzey (N), Kuzey Kuzeybatı (NNW), Kuzeybatı (NW) ve Batı Kuzeybatı (WNW)'dır.

Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı tarafından yayınlanan Karadeniz Haritasından feç uzunlukları ölçülmüş ve her yön için efektif feçler bulunmuştur. Sonuçlar Çizelge 3.1 verilmiş ve Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Karaburun Balıkçı Barınağı kabarma alanı uzunlukları

Çizelge 3.1 Kabarma alanı (feç) uzunlukları

Yön	F _{eff} (km)
N	373.14
NNE	526.95
NE	666.82
ENE	636.01
E	350.40
ESE	54.82
WNW	30.58
NW	100.87
NNW	198.26

3.3.2.1 Uzun Dönem Dalga İstatistiği

Sarıyer Meteoroloji İstasyonu

Sarıyer Meteoroloji İstasyonu verilerine göre uzun dönem dalga istatistiği, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden Sarıyer Bölgesi'ne ait saatlik olarak ölçülmüş ortalama rüzgar hızlarını gösteren tablolardan faydalanılarak yapılmıştır.

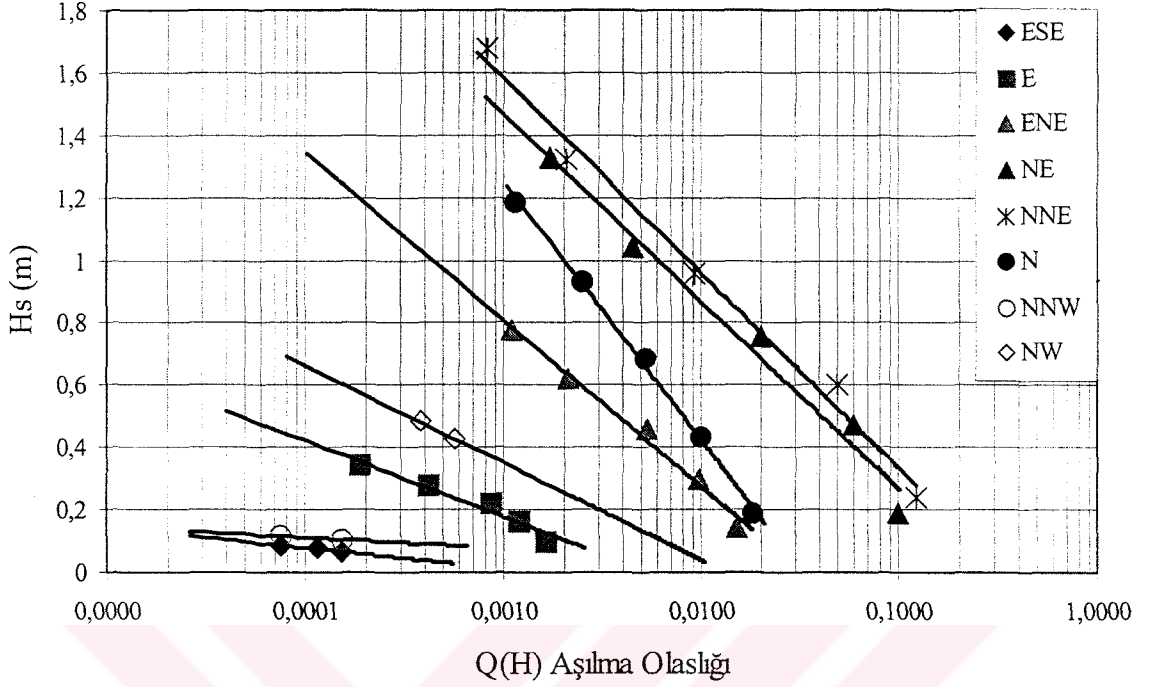
Meteorolojik tablolardan son üç yıla ait (Kasım, 1998-Kasım, 2001) veriler dikkate alınarak, hızları 3 m/s ve daha büyük olan rüzgarlar belirlenmiştir. Daha sonra bu rüzgarlar da kendi içlerinde hızları 1 m/s'den fazla farklı olmamak üzere ayrılarak yönlere göre tasnif edilmiş ve böylece fırtınalar elde edilmiştir.

Belirlenmiş olan fırtınalar ve hesaplanmış olan efektif feç uzunlukları yardımıyla derin su şartlarında gelişmekte olan ve tam gelişmiş deniz durumları için belirgin dalga karakteristikleri (CERC, 1984) formülleri kullanılarak belirgin dalga yükseklikleri ve periyotları hesaplanmıştır.

Yönlere göre ayrılmış ve belirlenmiş olan belirgin dalga yükseklikleri periyotlarıyla birlikte büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır.

Sıralanmış olan belirgin dalga yükseklikleri belirli sayıda sınıflara bölünmüş ve her sınıfın ortalama dalga yüksekliği ve kümülatif esme süreleri belirlenmiştir. Kümülatif esme süreleri 3 yıl içerisindeki toplam saate bölünerek kümülatif olasılıklar elde edilmiştir. Ortalama dalga

yüksekliklerine karşılık gelen kümülatif olasılıklar grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3.9). Bu şekilden hakim dalga yönünün NNE olduğu görülmektedir.



Şekil 3.9 Uzun dönem olasılık dağılımı (Sarıyer Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan 1998-2001 yılları arası saatlik rüzgar verilerine göre)

Ancak, Sarıyer Meteoroloji İstasyonu rüzgar verilerinden elde edilen dalga tahminleri Karaburun Balıkçı Barınağında görülen dalgaları yeterince yansıtmamaktadır. Bunun sebebi Sarıyer Bölgesinin Karadeniz kıyısından içerde olmasıdır. Elde edilen dalga yükseklikleri barınağa gelen dalga yüksekliklerine göre daha küçük çıkmıştır. Bu sebeple Karadeniz kıyısında bulunan Karaburun'a daha yakın mesafede olan Kilyos (Kumköy) Meteoroloji İstasyonundan elde edilen rüzgar verilerinden faydalanılarak tekrar uzun dönem dalga istatistiği çalışması yapılmıştır.

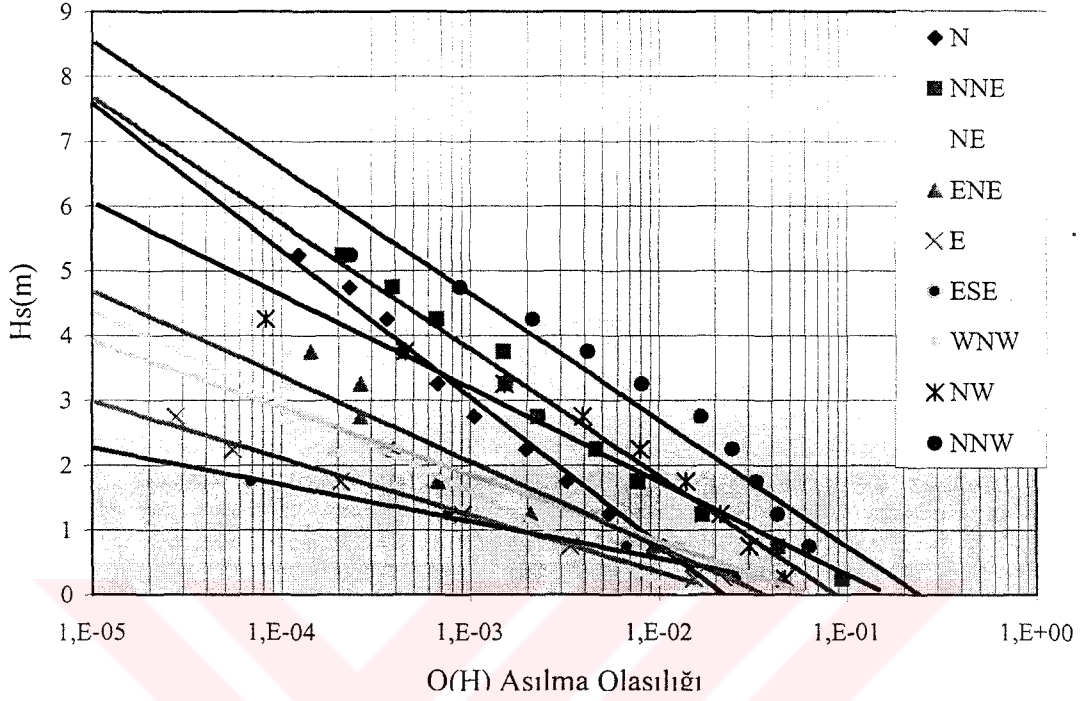
Kilyos (Kumköy) Meteoroloji İstasyonu

Kilyos Bölgesinin uzun dönem dalga istatistiği, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden Kilyos (Kumköy) Bölgesi'ne ait saatlik olarak ölçülmüş ortalama rüzgar hızlarını gösteren tablolardan faydalanılarak yapılmıştır.

Meteorolojik tablolardan 25 yıllık (1976-2001) rüzgar verileri dikkate alınarak, Sarıyer meteorolojik verilerinde uygulanan yöntem kullanılmıştır.

Bilinen feç mesafelerine göre (Çizelge 3.1) kıyıda dalga yaratacak yönlerin dışında kalan yönler hesaplarda dikkate alınmamıştır.

CERC (1984) yöntemi ile bütün yönlerde belirlenen fırtınaların belirgin dalga yükseklikleri H_s ve periyotları T_s hesaplanmıştır. Kümülatif olasılıklar hesaplanarak bunlara ait uzun dönem olasılık dağılımlarının grafikleri çizilmiştir.



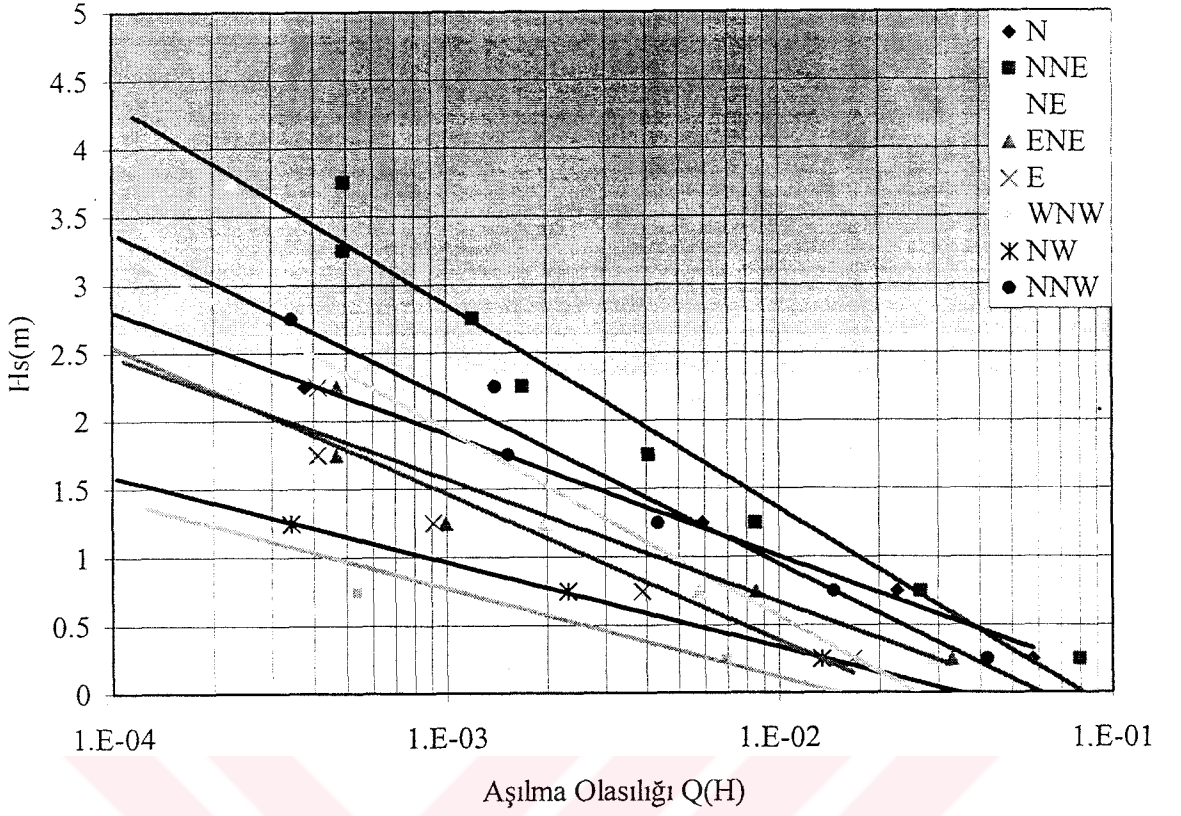
Şekil 3.10 Uzun dönem olasılık dağılımı (Kilyos Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan 1976-2001 yılları arası saatlik rüzgar verilerine göre)

Yapılan bu çalışmada uzun dönemde hakim rüzgar yönünün NNW olduğu görülmektedir (Şekil 3.10) fakat Karaburun yöresinde yapılan saha çalışması ile balıkçılardan elde edilen bilgiye ve Özhan ve Abdalla'ya (1999) göre hakim yön NNE yönüdür.

Şile Meteoroloji İstasyonu

Şile Bölgesinin uzun dönem dalga istatistiği, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden Şile Bölgesi'ne ait saatlik olarak ölçülmüş ortalama rüzgar hızlarını gösteren tablolardan faydalanılarak yapılmıştır.

Meteorolojik tablolardan 9 yıllık (1993-2002) rüzgar verileri dikkate alınarak, Sarıyer ve Kilyos meteorolojik verilerinde uygulanan yöntem kullanılmıştır.



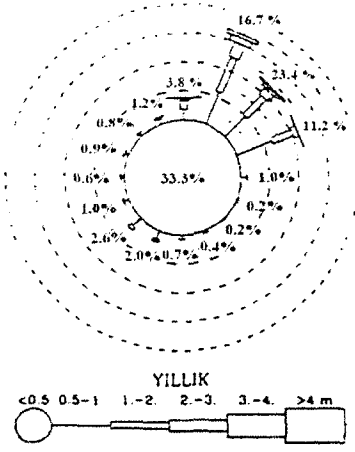
Şekil 3.11 Uzun dönem olasılık dağılımı (Şile Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan 1993- 2002 yılları arası saatlik rüzgar verilerine göre)

Şile bölgesi için yapılan çalışmada uzun dönemde hakim rüzgar yönünün NNE ikincil yönün ise NNW olduğu görülmektedir.

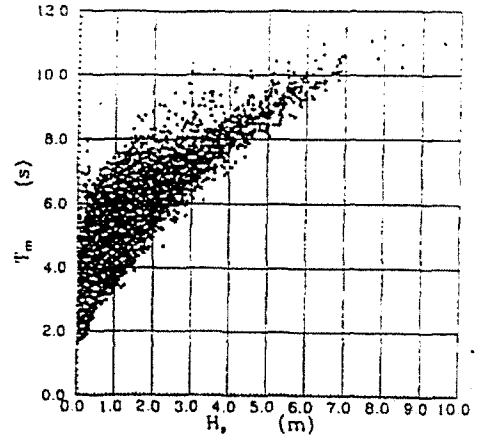
Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (1999)

Özhan ve Abdalla'ya (1999) göre Karaburun'un bulunduğu 41.50° N, 28.40° E enlem ve boylamında yapılmış olan yıllık ve mevsimlik dalga güllerinden elde edilen uzun dönem dalga istatistiğine göre hakim yönün Kuzey Kuzeydoğu (NNE) ikincil yönün ise kuzeydoğu (NE) olduğu görülmektedir (Şekil 3.12 ve 3.13).

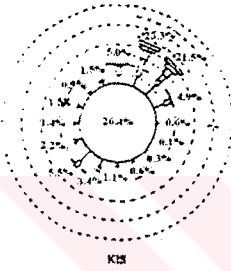
Dalga İklimi: 41.50° N, 28.40° E



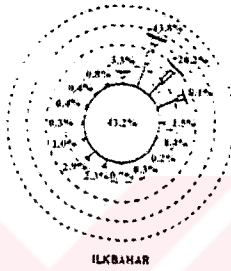
5. Yıllık dalga gücü



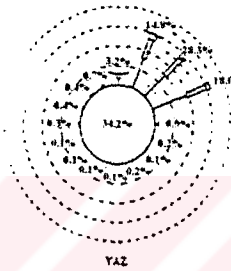
6. T_m ve H_s arasındaki bağıntı



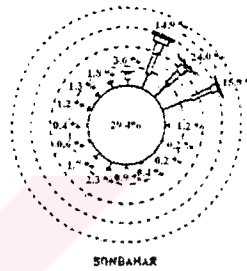
KİŞ



İLKBAHAR



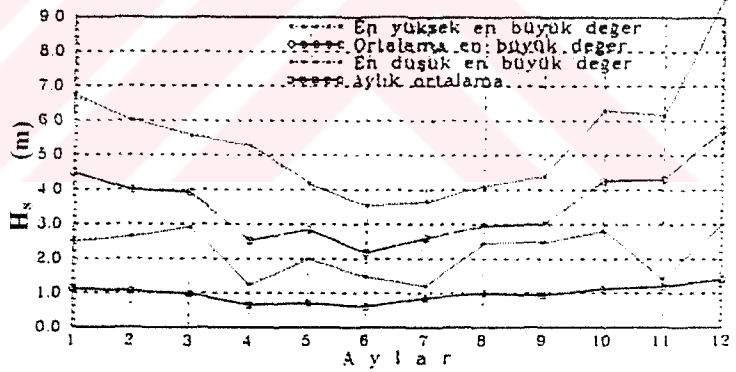
YAZ



SONBAHAR

7. Mevsimsel dalga gülleri

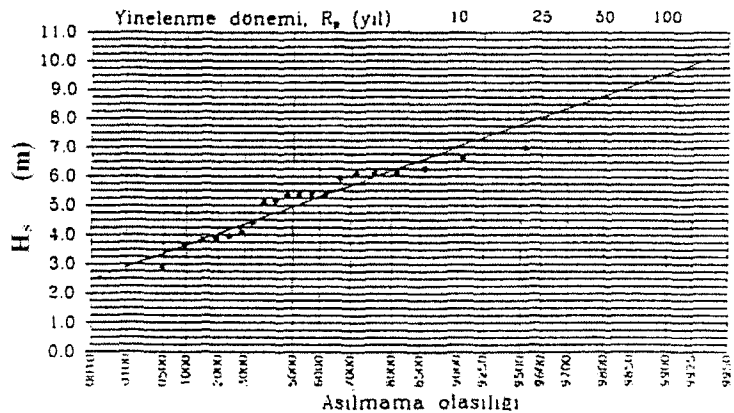
8. Aylık ortalama ve en yüksek (en yüksek, en küçük ve ortalama) belirgin dalga yükseklikleri (H_s).



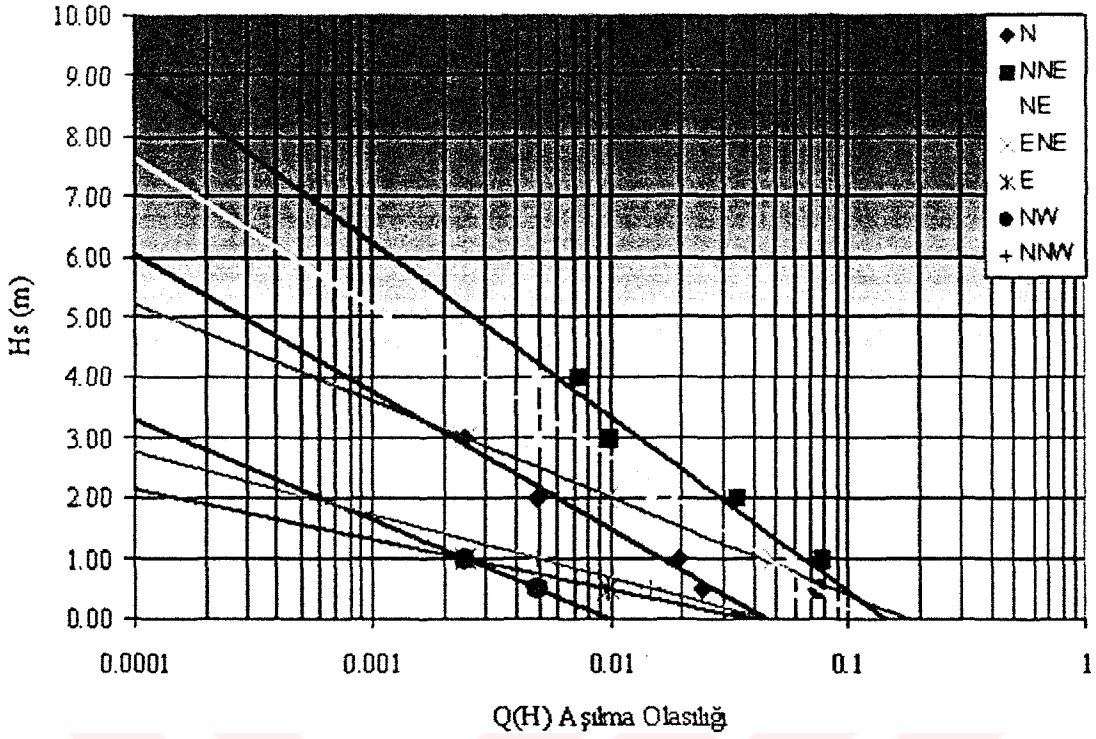
9. Yıllık en büyük belirgin dalga yükseklerinin en büyük değerler istatistiği.

Etkin yön dilimi:
N-NNE

İkincil yön dilimi:



Şekil 3.12 “Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası”na göre uzun dönem dalga istatistiği (Özhan ve Abdalla, 1999)



Şekil 3.13 “Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası”ndan elde edilen uzun dönem dalga istatistiği

Uzun Dönem Dalga İstatistiklerinin Karşılaştırılması

Karaburun bölgesi için uzun dönem dalga istatistiğinin belirlenebilmesi amacıyla, bölgeye yakın üç meteoroloji istasyonunun rüzgar verileri ve Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Atlası (1999) kullanılmıştır. Bu verilerden tahmin edilen uzun dönem dalga istatistikleri incelendiğinde Dalga Atlası, Sarıyer ve Şile için etkin yönün NNE olmasına karşın Kilyos için NNW olduğu görülmektedir. Saha çalışmalarından da etkin yönün NNE-NE olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle dalga ölçüm verilerine de dayanan Dalga Atlası'nın verileri bu çalışmada esas alınmıştır (Şekil 3.13, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3).

Çizelge 3.2 Uzun dönem derin deniz belirgin dalga yüksekliği olasılık denklemleri (Şekil 3.13'e göre)

Yön	Derin Deniz Belirgin Dalga Yüksekliği Denklemi (m)
N	$H_s = -0.9899 \ln Q(H_s) - 3.0692$
NNE	$H_s = -1.2576 \ln Q(H_s) - 2.4432$
NE	$H_s = -1.0855 \ln Q(H_s) - 2.3375$
ENE	$H_s = -0.6992 \ln Q(H_s) - 1.2059$
E	$H_s = -0.3607 \ln Q(H_s) - 1.1679$
NNW	$H_s = -0.4553 \ln Q(H_s) - 1.4213$
NW	$H_s = -0.7213 \ln Q(H_s) - 3.3359$

Çizelge 3.3 Karaburun bölgesi ortalama derin deniz dalga yükseklikleri, dönemleri, bir yıl içinde oluşma süreleri ve oluşma yüzdeleri

Yön	Dalga Yüksekliği H (m)	Dalga Periyodu T (s)	Bir Yılda Oluşma Süresi t (saat)	Oluşma Yüzdesi (-)
N	1.72	5.12	70	0.00794
NNE	2.12	5.69	232	0.0265
NE	2.00	5.52	162	0.0185
ENE	1.50	4.78	183	0.0209
E	1.00	3.91	21	0.00245
NNW	1.00	3.91	21	0.00245
NW	1.00	3.91	43	0.0049

Bir yörede oluşan tüm dalgalar, o yörede kum taşınım rejiminde etken olmaktadır. Kıyı çizgisi değişimi belirlenirken her yönden gelecek en büyük dalga yüksekliği değerlerinden çok, ortalama dalga yükseklikleri değerleri kullanılmaktadır. Ortalama dalga yüksekliği aşağıda verilen bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır (Güler vd., 2002):

$$\bar{H} = \frac{(\sum H_i \times \Delta P)}{\sum \Delta P} \quad (3.1)$$

burada;

H_i : Dalga yüksekliği

ΔP : Dalga yüksekliğine karşılık gelen olasılık değeridir.

Ortalama dalga yüksekliğinin daha hassas olarak elde edilmesi için H_i değerinin %5 aşağısı ve yukarısına karşılık gelen olasılık değerleri bulunmuş, birbirinden çıkarılarak H_i dalga yüksekliğine karşılık gelen ΔP olasılık değeri elde edilmiştir.

3.3.2.2 Ekstrem Dalga İstatistiği

Sarıyer Bölgesi Meteoroloji İstasyonu

Proje dalgası özelliklerinin seçilebilmesi için en büyük değer dalga yükseklikleri dağılımının elde edilmesi gerekmektedir. Bunun için Sarıyer Meteoroloji İstasyonu anlık rüzgar

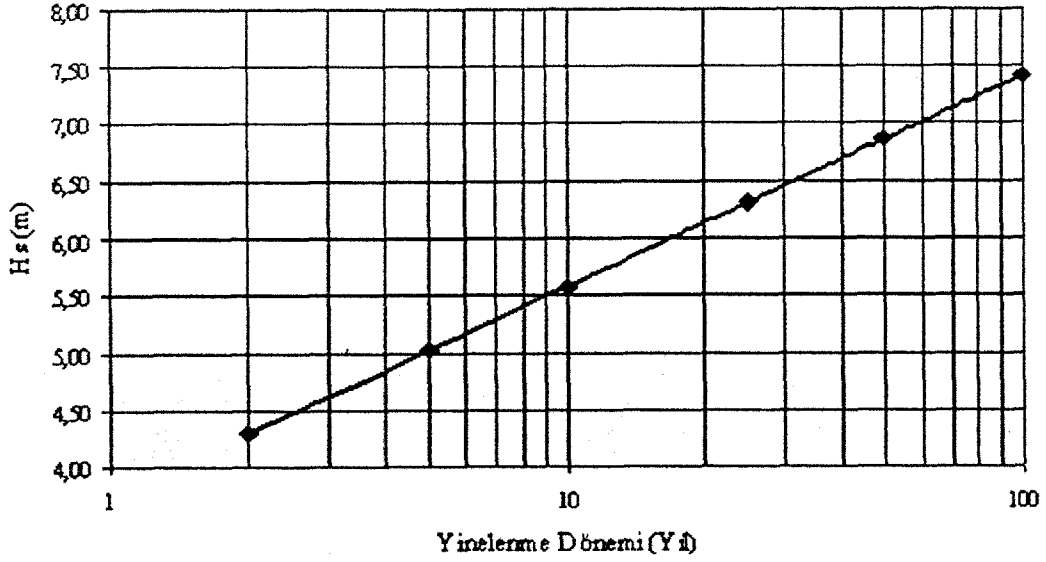
verilerinden (1986-2000 yılları arası) faydalanılarak yönden bağımsız en büyük değer dalga tahminleri yapılmıştır (Çizelge 3.4, Çizelge 3.5 ve Şekil 3.14).

Çizelge 3.4 Sarıyer Bölgesi için 1986-2000 yılları arası (15 yıl) anlık rüzgar verilerine dayanan en büyük derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ve periyotları

m	Yıl	Yön	H _s (m)	T _s (s)
1	1986	N	5.10	10.10
2	1987	NNE	4.54	9.64
3	1988	N	4.56	9.67
4	1989	NNW	4.00	9.16
5	1990	N	4.54	9.64
6	1991	N	6.00	10.78
7	1992	NNE	3.84	9.02
8	1993	NNE	3.18	8.36
9	1994	NNE	3.78	8.97
10	1995	NNE	4.29	9.43
11	1996	N	3.07	8.25
12	1997	NNE	3.84	9.02
13	1998	NNE	3.60	8.79
14	1999	NE	4.76	9.83
15	2000	N	3.10	8.28

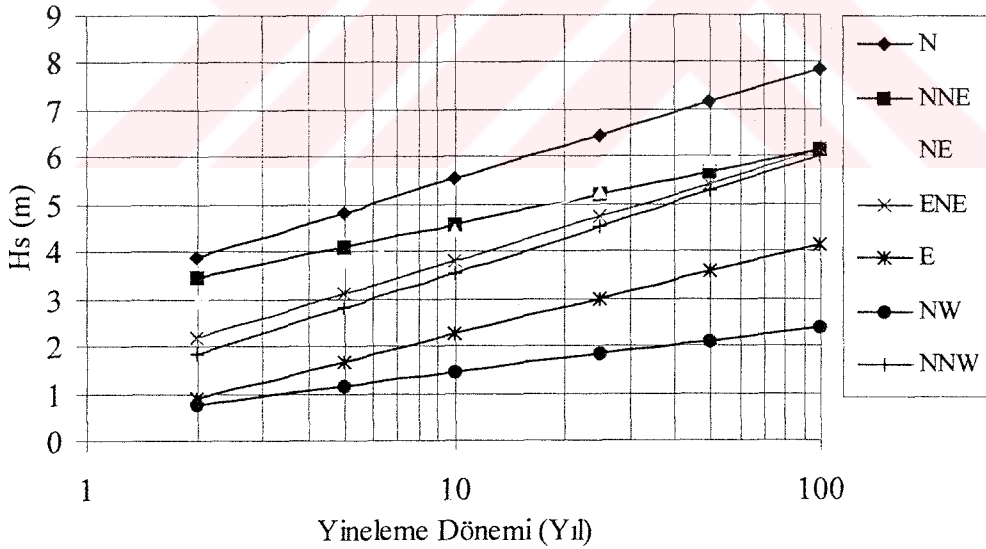
Çizelge 3.5 Karaburun Balıkçı Barınağı için çeşitli yinelenme dönemleri için derin deniz en büyük belirgin dalga yükseklikleri (Sarıyer)

Yinelenme Dönemi R _p (Yıl)	H _s	T _s
2	4.29	8.92
5	5.01	9.53
10	5.56	9.98
25	6.28	10.59
50	6.82	11.05
100	7.37	11.51



Şekil 3.14 Karaburun Balıkçı Barınağı yönden bağımsız ekstrem dalga istatistiği (1986-2000, Sarıyer Meteoroloji İstasyonu rüzgar verilerine göre)

Sarıyer Meteoroloji İstasyonundan alınan anlık rüzgar verilerine göre (1986-2000) ekstrem dalga istatistiği yönsele değerlendirilmesi yapıldığı zaman birinci hakim dalga yönünün N, ikinci hakim yönün ise NNE olduğu görülmektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Karaburun Balıkçı Barınağı ekstrem dalga istatistiği (1986-2000, Sarıyer Meteoroloji İstasyonu rüzgar verileri ve yönlerine göre)

Kilyos (Kumköy) Bölgesi Ekstrem Dalga İstatistiği

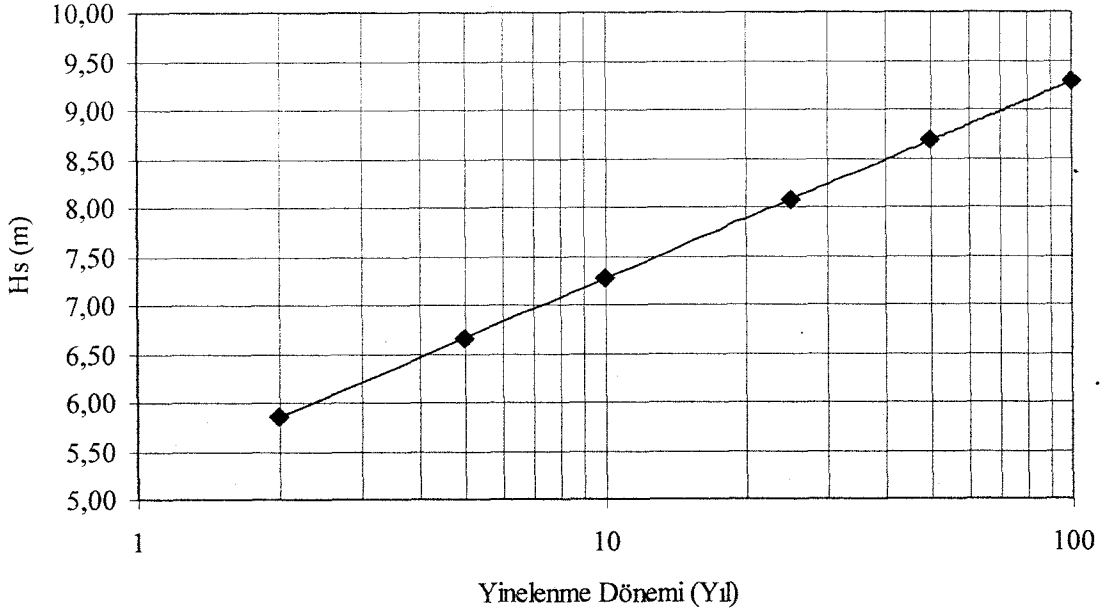
Kilyos Meteoroloji İstasyonu anlık rüzgar verilerinden (1976-2001 yılları arası) faydalanılarak önce yönden bağımsız en büyük değer dalga tahminleri yapılmıştır ve sonuçlar Çizelge 3.6, Çizelge 3.7 ile Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 Kilyos Bölgesi için 1976-2001 yılları arası (25 yıl) anlık rüzgar verilerine dayanan en büyük derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ve periyotları

m	Yıl	Yön	H _s (m)	T _s (m)
1	1976	NW	5.88	10.16
2	1977	NNW	5.68	10.02
3	1978	NNW	6.12	10.33
4	1979	NNW	5.33	9.77
5	1980	NNW	6.21	10.39
6	1981	NW	5.38	9.81
7	1982	NNW	5.62	9.98
8	1984	WNW	5.04	9.55
9	1985	WNW	7.51	11.21
10	1986	NNE	5.21	9.68
11	1987	NNW	5.15	9.64
12	1988	NNE	4.59	9.20
13	1989	NNW	4.70	9.29
14	1990	NW	3.63	8.38
15	1991	NW	6.27	10.43
16	1992	N	5.04	9.55
17	1993	NW	7.01	10.90
18	1994	NNW	5.56	9.94
19	1995	NW	7.57	11.25
20	1996	NW	5.97	10.22
21	1997	NNW	5.38	9.81
22	1998	NW	5.56	9.94
23	1999	NW	6.09	10.31
24	2000	NNW	4.56	9.18
25	2001	NNW	7.35	11.11

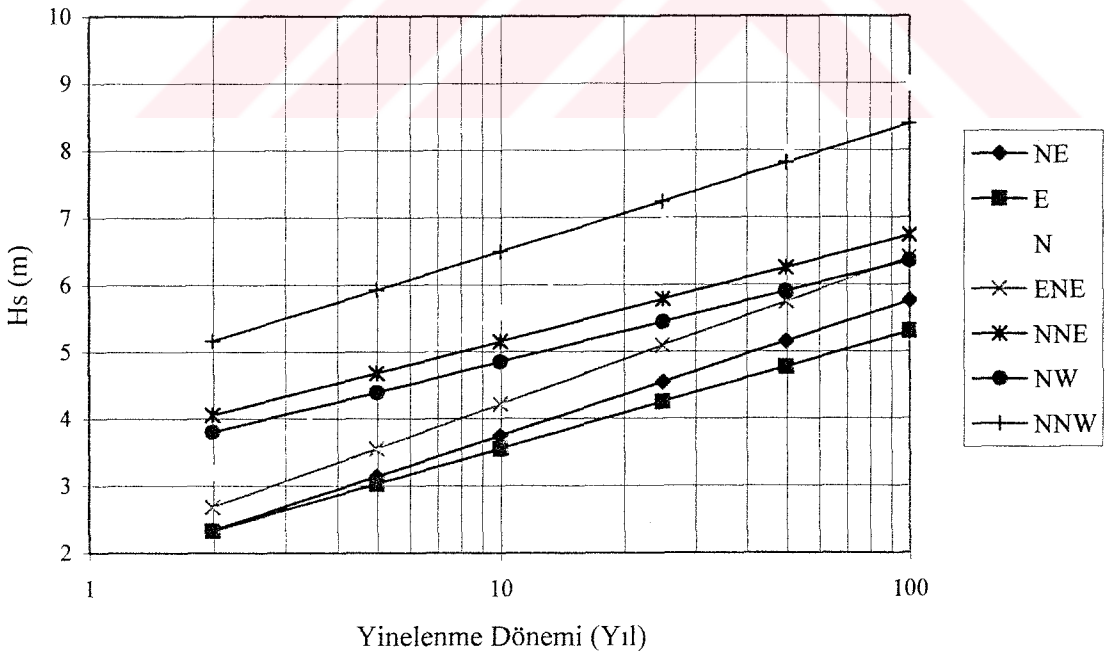
Çizelge 3.7 Karaburun Balıkçı Barınağı için çeşitli yinelenme dönemleri için derin deniz en büyük belirgin dalga yükseklikleri (Kilyos)

Yinelenme Dönemi R _p (Yıl)	H _s	T _s
2	5.84	10.10
5	6.64	10.67
10	7.25	11.09
25	8.05	11.66
50	8.65	12.09
100	9.26	12.51



Şekil 3.16 Karaburun Balıkçı Barınağı yönden bağımsız ekstrem dalga istatistiği (1976-2001, Kilyos Meteoroloji İstasyonu rüzgar verilerine göre)

Kilyos Meteoroloji İstasyonundan alınan anlık rüzgar verilerine göre (1976-2001) ekstrem dalga istatistiği yönleri göre ayrı ayrı yapıldığı zaman etkin dalga yönünün 50 yıllık tekerrür süresine kadar NNW, 50 yıldan sonra N olduğu görülmektedir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Karaburun Balıkçı Barınağı ekstrem dalga istatistiği (1976-2001, Kilyos Meteoroloji İstasyonu rüzgar verileri ve yönleri göre)

Görüldüğü gibi Kilyos (Kumköy) Meteoroloji İstasyonunun verileri Sarıyer Meteoroloji İstasyonunun verilerinden daha büyük çıkmaktadır.

Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (1999)

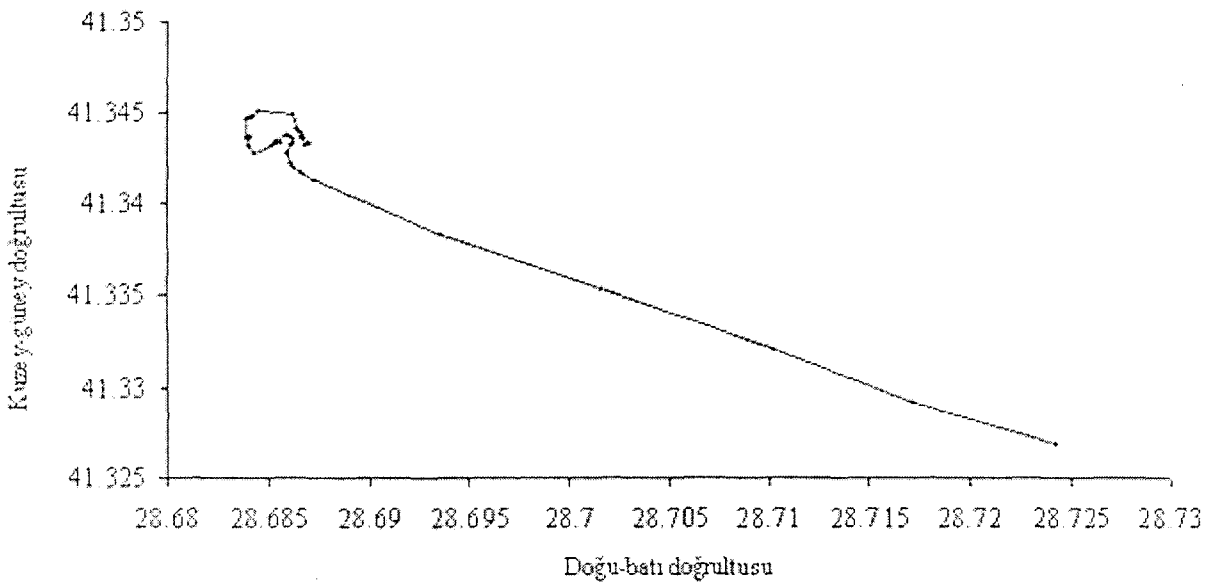
Özhan ve Abdalla'ya (1999) göre Karaburun'un bulunduğu 41.50° N, 28.40° E enlem ve boylamında yapılmış olan yıllık en büyük belirgin dalga yüksekliklerinin en büyük değerler istatistiğinde etken yön dilimi N-NNE bulunmakta ve 100 yıllık tekerrür periyodu için belirgin dalga yüksekliği $H_s=9.5$ m çıkmaktadır (Şekil 3.12). Bu sonuçtan Kilyos Meteoroloji İstasyonundan alınan verilerle yapılan en büyük değer dalga istatistiğine uygun olduğu görülmüştür.

Ancak hakim dalga yönü için iki istasyondan elde edilen sonuçlar ile Şekil 3.12'de verilen Özhan ve Abdalla (1999) çalışması karşılaştırıldığında etkin yönün N yönü etrafında değiştiği anlaşılmaktadır. Saha çalışmalarından ekstrem dalga için etkin yönün NNW-N olduğu belirlenmiştir.

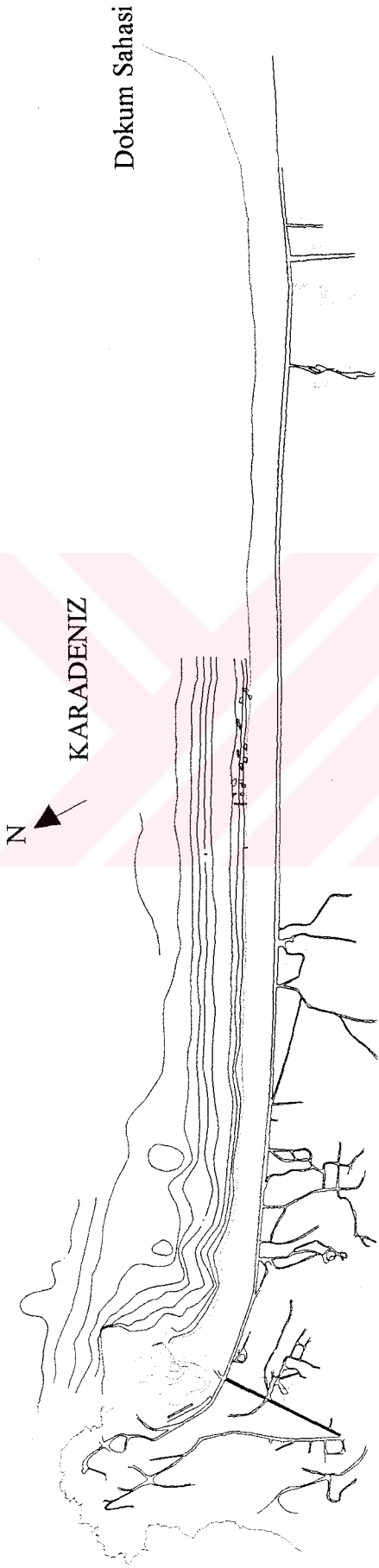
3.4 Saha Etütleri

3.4.1 Batimetri

Karaburun Balıkçı Barınağı'ndan itibaren 4.3 km doğu istikametinde olmak üzere eylül ayında DLH 4. Bölge Müdürlüğüne batimetri ölçümleri yapılmıştır. Bölgeye ait batimetri ve kıyı çizgisi ölçümü Şekil 3.19'da gösterilmiştir. Batimetrik çalışmadan bölgeye ait kıyı eğimi $1/20$ 'dir. Ayrıca barınak içi ve barınaktan itibaren 4 km boyunca GPS ölçümleri yapılmıştır. Şekil 3.18'e göre kıyı çizgisi WNW-ESE doğrultusundadır.



Şekil 3.18 Karaburun kıyısında enlem ve boylama göre GPS ölçümleri



Şekil 3.19 Karaburun yakın kıyı batimetrisi

3.4.2 Jeolojik Yapı

İstanbul yarımadasında, Küçükçekmece kıyılarında başlayarak Büyükçekmece Gölü kuzeyine kadar geniş alanlarda ve Terkos Gölü çevresinde kıyıyı izleyen genişçe bir şerit halindeki grup Karaburun Formasyonu (Kbf) olarak adlandırılmaktadır. Alt birimi Kilyos ile Yalıköy arasındaki yüzeylerdir. Bu birimin alt plaj fasiyesi dışındaki tüm kesimi zayıf zemin nitelikli killerin egemenliğindedir. Bu nedenle mostra alanlarında günümüzde izlenen topoğrafya tümüyle irili-ufaklı dönel kayma türü kütle hareketleriyle gelişmiştir. Bunun en güzel örnekleri Karaburun beldesiyle Yeniköy arasındaki yamaçlarda görülmektedir. Bu yamaçlar birbiri ile kademeli gelişmiş dönel-kayma türü kütle hareketleriyle kaplıdır. Karaburun Formasyonu'nun delta istifinden oluşan en üst kömürlü fasiyesinde bu tür deformasyonlar çok yaygındır. Bu kesimlerin yapılaşmaya açılması, yapı tiplerinin ve özelliklerinin çok iyi seçilmesi, ancak 1-2 katlı ve seyrek yapılara müsaade edilmesi tavsiye edilmektedir.

3.4.3 Katı Madde Özellikleri

Karaburun Balıkçı Barınağı yanındaki kıyıda alınan kumun granülometrik özelliklerinin belirlenmesi için Yıldız Teknik Üniversitesi Malzeme Laboratuvarında elek analizi deneyleri yapılmıştır.

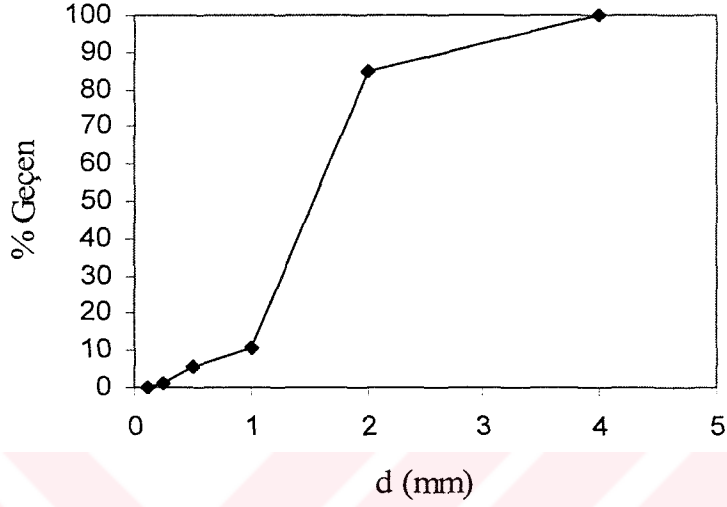
Elek analizi tamamen kuru numunelerle yapılmaktadır, bu sebeple deneylere başlamadan önce kum etüvde kurutularak hazır hale getirilmiştir. İlk önce 4 mm'lik elek ile eleme işlemine başlanmıştır. Daha sonra sıra ile 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm ve 0.125 mm'lik elekler kullanılmıştır. Bu yapılan deneylerle kumun granülometrik özellikleri ve değişimi belirtilmiştir (Çizelge 3.8, Çizelge 3.9 ve Şekil 3.20).

Çizelge 3.8 Elek analizi sonuçları

1000 gr kum için				
Elek (mm)	Kalan (gr)	Geçen (gr)	% Geçen	100-% Geçen
4	1	999	99.9	0.1
2	151.6	847.4	84.74	15.26
1	738.2	109.2	10.92	89.08
0.5	54	55.2	5.52	94.48
0.25	42	13.2	1.32	98.68
0.125	12.3	0.9	0.09	99.91
0.125 altı	0.9	-	-	-

Çizelge 3.9 Katı maddenin granülometrik özellikleri

d_{16} (mm)	d_{35} (mm)	d_{50} (mm)	d_{65} (mm)	d_{84} (mm)	d_{90} (mm)
1.19	1.83	2.33	2.83	3.47	3.67



Şekil 3.20 Katı maddenin granülometrik değişimi

Kumun diğer özelliklerinin belirlenebilmesi için birim hacim ağırlık deneyleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10 Katı maddenin diğer özellikleri

Kuru	Özgül Ağırlık (gr/cm^3) (Boşluksuz Birim Hacim Ağırlık)	2.61
	Yoğunluk (gr/cm^3) (Boşluklu Birim Hacim Ağırlık)	1.79
Suya Doygun Yüzeyi Kuru	Özgül Ağırlık (gr/cm^3) (Boşluksuz Birim Hacim Ağırlık)	2.86
	Yoğunluk (gr/cm^3) (Boşluklu Birim Hacim Ağırlık)	1.88
	İncelik Modülü (-)	3.98

Kum içeriğinin anlaşılması için bir miktar kuma sülfirik asit damlatılmıştır. Köpürme meydana geldiği için katı maddenin silis esaslı kalker karışık kum olduğu görülmüştür.

4. KARABURUN KIYI BOYU KATI MADDE TAŞINIMININ BELİRLENMESİ ve KIYI ÇİZGİSİ DEĞİŞİMİNİN MODELLENMESİ

4.1 Kıyı Boyu Katı Madde Taşınım Miktarının Belirlenmesi

4.1.1 CERC Yöntemi

Bir dalga enerji modeli olan CERC (1984) ifadesi, kırılma bölgesinin birim genişliği için toplam kum taşınımını tanımlayan bir formüldür. En yaygın kullanılan ifade olmasına rağmen taban malzemesi, kıyı eğimi özellikleri ve kırılma bölgesi genişliğini dikkate almadığı için bazı problemler için uygun olmayan sınırlamalara sahiptir.

$$Q = 2.03 \cdot 10^6 \cdot H_0^{5/2} \cdot \sin 2\alpha_0 \quad (\text{m}^3/\text{yıl}) \quad (4.1)$$

Göz önüne alınan kıyı bölgesinde dalga iklimindeki değişimler nedeniyle bir yıllık bir dönemde etkin kıyı boyu katı madde taşınımını belirlemek için katı madde hareketine yol açacak dalgaların yükseklikleri, yönleri ve etki süreleri belirlenmelidir. Böylece H_0 yüksekliğinde α_0 açısına sahip dalganın bir yılda kıyıda etki etme yüzdesi f ise (4.1) ifadesi aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir (SPM, 1984):

$$Q = 2.03 \cdot 10^6 \cdot f \cdot H_0^{5/2} \cdot F(\alpha_0) \quad (4.2)$$

burada;

$$F(\alpha_0) = \left[(\cos \alpha_0)^{1/4} (\sin 2\alpha_0) \right] \quad (4.3)$$

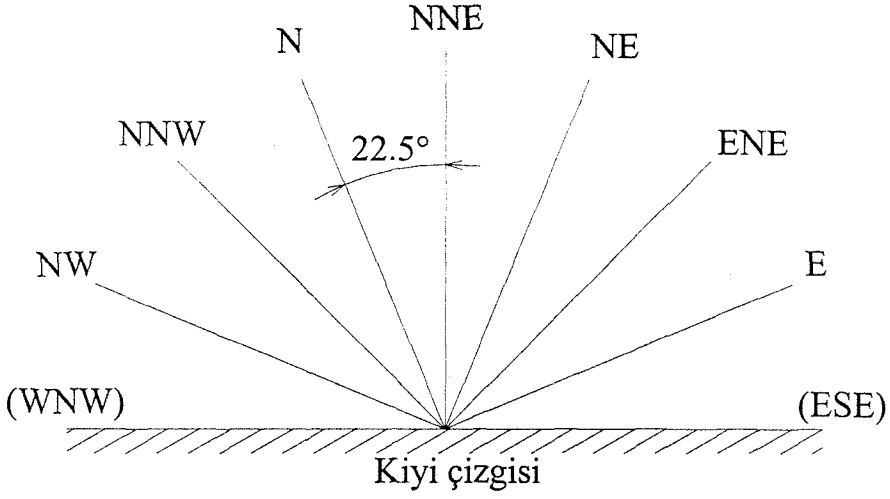
$F(\alpha_0)$: Yön terimi (Yüksel, 2003)

$$\alpha_0 = 0^\circ \text{ için } F(\alpha_0) = 0.37$$

$$\alpha_0 = 45^\circ \text{ için } F(\alpha_0) = 0.822$$

$$\alpha_0 = 90^\circ \text{ için } F(\alpha_0) = 0.261$$

Karaburun kıyısını etkileyen dalga yönleri Şekil 4.1’de görülmektedir. CERC (1984) yöntemi ile yukarıdaki veriler doğrultusunda bu kıyıdaki net ve toplam katı madde miktarı hesaplanmıştır (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2).



Şekil 4.1 Karaburun kıyısını etkileyen dalga yönleri

Hesaplamalara göre kıyı boyu taşınan toplam katı madde miktarları:

$$Q_{\text{sag-sol}} = (818428 + 407414 + 13416 + 656421) = 1.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$Q_{\text{sol-sag}} = (182144 + 56981 + 15914 + 656421) = 0.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$Q_{\text{net}} = 1.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$Q_{\text{top}} = 2.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan görüldüğü gibi Karaburun kıyı çizgisi boyunca kırılma bölgesi içinde $1.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ toplam katı madde ESE yönünden WNW yönüne taşınmaktadır. Bir yıl içinde taşınan toplam katı madde ise $2.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır. Bu sonuç kıyı boyunca oldukça aktif kum taşınımı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.1 CERC (1984) metodu ile yönler göre katı madde taşınım miktarları

H (m)	Hort(m)	N $\alpha_0=22.5$			NNE $\alpha_0=0$			NE $\alpha_0=22.5$			ENE $\alpha_0=45$		
		F(α_0)	f(%)	Q (m3/yıl)	F(α_0)	f(%)	Q (m3/yıl)	F(α_0)	f(%)	Q (m3/yıl)	F(α_0)	f(%)	Q (m3/yıl)
0-0.2	0.1	0.693	0.0406988	181.0551	0.37	0.1323536	314.36452	0.693	0.105872	470.98881	0.822	0.1544757	815.13219
0.2-0.4	0.3	0.693	0.0332534	2306.0472	0.37	0.1128933	4179.93	0.693	0.0880569	6106.5482	0.822	0.1160468	9545.6222
0.4-0.6	0.5	0.693	0.02717	6756.8514	0.37	0.0962943	12785.662	0.693	0.0732395	18213.765	0.822	0.0871779	25715.749
0.6-0.8	0.7	0.693	0.0221996	12803.206	0.37	0.0821359	25291.563	0.693	0.0609155	35131.918	0.822	0.0654907	44801.476
0.8-1.0	0.9	0.693	0.0181384	19608.041	0.37	0.0700592	40436.094	0.693	0.0506652	54770.297	0.822	0.0491986	63085.065
1.0-1.2	1.1	0.693	0.0148202	26458.422	0.37	0.0597582	56960.918	0.693	0.0421397	75231.997	0.822	0.0369594	78266.345
1.2-1.4	1.3	0.693	0.012109	32824.257	0.37	0.0509718	73771.056	0.693	0.0350488	95008.25	0.822	0.0277651	89273.956
1.4-1.6	1.5	0.693	0.0098938	38354.733	0.37	0.0434773	89988.729	0.693	0.0291512	113009.03	0.822	0.0208579	95910.821
1.6-1.8	1.7	0.693	0.0080838	42851.636	0.37	0.0370847	104957.78	0.693	0.0242459	128525.52			
1.8-2.0	1.9				0.37	0.031632	118224.82	0.693	0.020166	141166.98			
2.0-2.2	2.1				0.37	0.0269811	129510.58	0.693	0.0167727	150792.38			
Toplam (m3/yıl)		182144			656421			818428			407414		

Çizelge 4.2 Devam

H (m)	Hort(m)	E $\alpha_o=67.5$			NNW $\alpha_o=45$			NW $\alpha_o=67.5$		
		F(α_o)	f(%)	Q (m ³ /yıl)	F(α_o)	f(%)	Q (m ³ /yıl)	F(α_o)	f(%)	Q (m ³ /yıl)
0-0.2	0.1	0.556	0.0297438	106.16172	0.822	0.0353897	186.742932	0.556	0.0085356	30.465113
0.2-0.4	0.3	0.556	0.017084	950.52383	0.822	0.0228088	1876.17415	0.556	0.0064686	359.90277
0.4-0.6	0.5	0.556	0.0098125	1957.8382	0.822	0.0147004	4336.31534	0.556	0.0049022	978.10692
0.6-0.8	0.7	0.556	0.005636	2607.8872	0.822	0.0094744	6481.3695	0.556	0.0037151	1719.0388
0.8-1.0	0.9	0.556	0.0032372	2807.643	0.822	0.0061063	7829.85628	0.556	0.0028155	2441.8901
1.0-1.2	1.1	0.556	0.0018593	2663.2335	0.822	0.0039356	8334.03012	0.556	0.0021337	3056.1933
1.2-1.4	1.3	0.556	0.0010679	2322.6182	0.822	0.0025365	8155.63102	0.556	0.001617	3516.7116
1.4-1.6	1.5				0.822	0.0016348	7517.14923	0.556	0.0012254	3811.411
1.6-1.8	1.7				0.822	0.0010536	6624.80597			
1.8-2.0	1.9				0.822	0.0006791	5638.46252			
2.0-2.2	2.1									
Toplam (m ³ /yıl)		13416			56981			15914		

4.1.2 SandCalc Yazılımı

SandCalc, dalga-akıntı hidrodinamiği ve katı madde dinamiğinde kullanılan güvenilir bir bilgisayar yazılımıdır (Soulsby, 1997). Bu yazılım, Soulsby (1997) tarafından geliştirilmiştir. Bu yazılımda kullanılan metodlar açık deniz, kıyı bölgesi, akarsu ve koy gibi katı madde hareketinin bulunduğu bölgelere uygulanabilmektedir.

Bu yazılımla yapılan hesaplamalarda aşağıdaki parametreler kullanılmaktadır:

- Suyun özgül ağırlığı ve viskozitesi
- Hız profilleri
- Taban kayma gerilmesi
- Katı madde hareketinin başlangıcı
- Taban şekilleri
- Katı madde konsantrasyon profilleri
- Katı madde taşınım miktarı
- Çökelme hızıdır (kum veya çamur).

Karaburun kıyısında oluşacak kıyı boyu katı madde taşınım miktarını hesaplamak için SandCalc yazılımında bulunan iki metod kullanılmıştır. Bunlardan biri CERC(1984) diğeri ise Damgaard ve Soulsby'nin (1997) metodlarıdır.

Damgaard ve Soulsby Metodu (1997)

Damgaard ve Soulsby (1997), sürüntü maddesinin kıyı boyu taşınım miktarını bulmak için taban malzemesi ve deniz suyu özelliklerini de dikkate alan bir yöntem geliştirmişlerdir (Çizelge 4.3 ve 4.4). Temelde iri kum için düşünülen bir yöntem olsa da ince kum için de uygulanabilmektedir. Bu yönetime göre kıyı boyu taşınım debisinin hesaplanması için başlangıç Shields parametresi gerekmektedir. Soulsby ve Whitehouse'un (1997) metodu ile Shields parametresi hesaplanabilmektedir (Çizelge 4.5). Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.5 verileri yardımıyla Çizelge 4.6'da özetlenen kıyı boyu katı madde miktarı SandCalc yazılımı yardımıyla belirlenmiştir.

Çizelge 4.3 SandCalc programında kullanılan deniz suyu girdileri

Deniz Suyu Girdileri	
Sıcaklık (°C)	10
Tuzluluk (ppt)	22
Özgül ağırlık (kg/m ³)	1017
Kinematik viskozite (m ² /s)	0.00000133446

Çizelge 4.4 SandCalc programında kullanılan taban malzemesi özelliklerinin girdi ve hesaplanan değerleri

Taban Malzemesi Özellikleri		
Girdiler	Katı madde tanelerinin özgül ağırlıkları (kg/m ³)	2610
	d ₁₆ (mm)	0.96
	d ₃₅ (mm)	1.83
	d ₅₀ (mm)	2.33
	d ₆₅ (mm)	2.83
	d ₈₄ (mm)	3.47
	d ₉₀ (mm)	3.67
Hesaplananlar	Katı madde ve deniz suyu özgül ağırlıkları oranı (-)	2.567
	d ₁₀ (mm)	0.9618096
	Tane sınıflandırma (sorting) parametresi d ₉₀ / d ₁₀ (-)	3.815724

Çizelge 4.5 Shields parametresinin hesaplamasında kullanılan girdiler ve elde edilen çıktı

Girdiler	Deniz suyu özgül ağırlığı (kg/m ³)	1017
	Deniz suyu kinematik viskozitesi (kg/m ³)	0.00000133446
	Katı madde tanelerinin özgül ağırlıkları (kg/m ³)	2610
	d ₅₀ (mm)	2.33
	Katı maddenin içsel sürtünme açısı (°)	32
	Taban eğim açısı (°)	2.9
	Akıntı ve kıyıya dik doğrultu arasındaki açı (°)	0
Çıktı	Başlangıç Shields parametresi (-)	0.039

Çizelge 4.6 SandCalc programında Damgaard ve Soulsby (1997) yönteminde kullanılan girdiler ve elde edilen çıktılar

		N	NNE	NE	ENE	E	NNW	NW
Girdiler	Deniz suyu özgül ağırlığı (kg/m ³)	1017	1017	1017	1017	1017	1017	1017
	Katı madde ve deniz suyu özgül ağırlıkları oranı (-)	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567
	d ₅₀ (mm)	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33	2.33
	Taban eğim açısı (°)	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
	Kırılma bölgesindeki dalga yüksekliği (H _{rms}) (m)	1.33	1.72	1.57	1.06	0.53	0.65	0.41
	Dalga periyodu (s)	4.32	4.78	4.64	4.02	3.29	3.29	3.29
	Başlangıç Shields parametresi (-)	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039
	Kırılma açısı (°)	13.8	2.43	9.44	19	22.4	21.25	20.94
	Kırılma bölgesi boyunca katı madde taşınım miktarı (m ³ /s)	0.004234	0.001043	0.003676	0.003695	0.000753	0.001204	0.0003465
	Kırılma bölgesi boyunca katı madde taşınım miktarı (m ³ /yıl)	133523	32892	115926	116526	23747	37969	10927
Çıktı								

$$Q_{\text{sag-sol}} = (32892 + 115926 + 116526 + 23747) = 0.3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$Q_{\text{sol-sag}} = (32892 + 133523 + 37969 + 10927) = 0.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

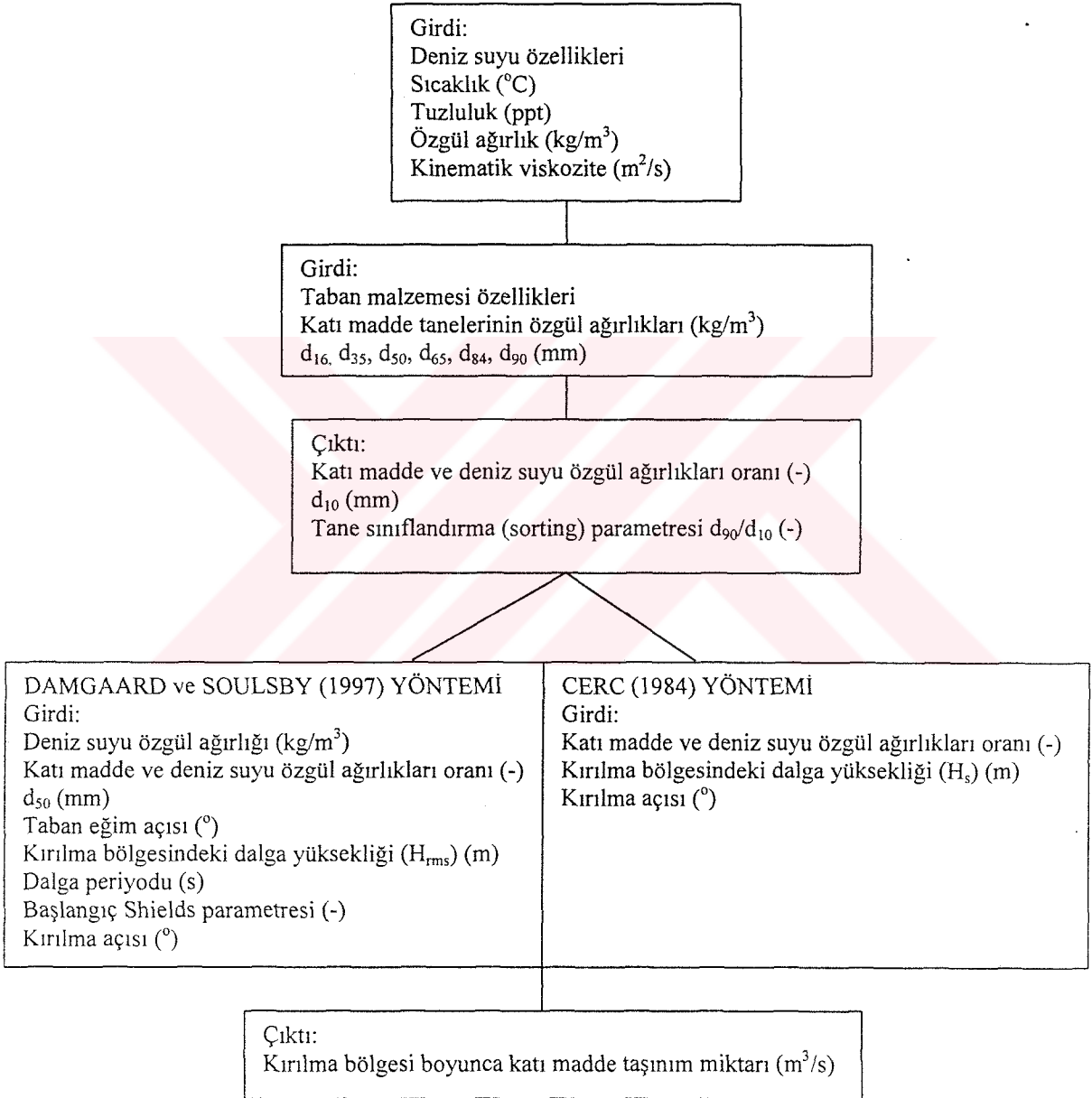
$$Q_{\text{net}} = 0.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

$$Q_{\text{top}} = 0.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

CERC (1984) Yöntemi

CERC (1984) formülü kullanılarak katı madde taşınım miktarı SandCalc bilgisayar yazılımı yardımıyla da hesaplanmıştır. Çizelge 4.7’de programın çalışması için gerekli olan girdiler ve programdan elde edilen çıktılar belirtilmiştir.

Şekil 4.2’de SandCalc (1997) programının kıyı boyu katı madde hareketi belirlenmesinde izlenen yol görülmektedir.



Şekil 4.2 SandCalc programı için akış diyagramı

Çizelge 4.7 SandCalc programında CERC (1984) yönteminde kullanılan girdiler ve elde edilen çıktılar

		N	NNE	NE	ENE	E	NNW	NW
Girdiler	Katı madde ve deniz suyu özgül ağırlıkları oranı (-)	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567	2.567
	Kırılma bölgesindeki belirgin dalga yüksekliği (H_s) (m)	1.87	2.43	2.23	1.5	0.74	0.91	0.58
	Kırılma açısı ($^\circ$)	13.8	2.43	9.44	19	22.4	21.25	20.94
	Kırılma bölgesi boyunca katı madde taşıma miktarı (m^3/s)	0.1019	0.03586	0.1105	0.078	0.01526	0.02454	0.00786
Çıktı	Kırılma bölgesi boyunca katı madde taşıma miktarı ($m^3/yıl$)	3213518	1130881	3484728	2459808	481239	773893	247873

$$Q_{sag-sol} = (1130881 + 3484728 + 2459808 + 481239) = 7.6 \times 10^6 \text{ m}^3/yıl$$

$$Q_{sol-sag} = (1130881 + 3213518 + 773893 + 247873) = 5.4 \times 10^6 \text{ m}^3/yıl$$

$$Q_{net} = 2.2 \times 10^6 \text{ m}^3/yıl$$

$$Q_{top} = 13.0 \times 10^6 \text{ m}^3/yıl$$

Çizelge 4.8 Farklı yöntemlerle elde edilen Karaburun kıyısındaki katı madde taşınım miktarları

Yöntem	$Q_{sağ-sol}$ ($m^3/yıl$)	$Q_{sol-sağ}$ ($m^3/yıl$)	Q_{net} ($m^3/yıl$)	Q_{top} ($m^3/yıl$)
CERC (1984)	1.9×10^6	0.9×10^6	1.0×10^6	2.8×10^6
SandCalc (Damgaard ve Soulsby (1997))	0.3×10^6	0.2×10^6	0.1×10^6	0.5×10^6
SandCalc (CERC (1984))	7.6×10^6	5.4×10^6	2.2×10^6	13.0×10^6

SandCalc ile yapılan her iki yöntemin sonuçları karşılaştırıldığında Damgaard ve Soulsby (1997) metodunun düşük değerler verdiği görülmektedir. Bunun sebebi bu yöntemin sadece taşınan sürüntü maddesi miktarını hesaplamasıdır. CERC (1984) formülü ise sürüntü maddesinden çok askı halinde taşınan ince kum için kalibre edilmiştir. Damgaard ve Soulsby (1997) yönteminde kırılma derinliğindeki potansiyel dalga yüksekliği (H_{rms}) kullanılırken CERC (1984) metodunda kırılma derinliğindeki belirgin dalga yüksekliği (H_s) kullanılmaktadır. Ayrıca Damgaard ve Soulsby (1997) formülü genelde iri taneli kum için (> 0.5 mm) hesap yaparken, CERC (1984) formülü ince taneli kum (< 0.5 mm) için hesap yapmaktadır (Soulsby, 1997).

SPM (1984) dikkate alınarak hesaplanan CERC (1984) ve SandCalc programındaki CERC (1984) yöntemlerinden elde edilen değerler arasında da büyük fark bulunmaktadır. Bunun nedeni SandCalc programında CERC (1984) yöntemi ile hesaplama yapılırken farklı yönlerden gelen dalgaların oluşma yüzdelerinin dikkate alınmamasıdır. Bu yöntemde sadece belli yükseklikteki dalganın kıyıya ne kadar katı madde taşıdığı bulunabilmektedir. Bu çalışmada yukarıdaki nedenlerden dolayı kıyıdaki net ve toplam katı madde taşınım miktarı olarak SPM (1984) dikkate alınarak hesaplanan CERC (1984)'ten elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır.

4.2 Kıyı Çizgisi Değişiminin Modellenmesi

4.2.1 Analitik Çözüm

Hacimsel katı madde taşınımı için kullanılan CERC (1984) veya Kamphius (1991) ifadelerinin küçük kırılma açısı kabulü ile lineerleştirilmesi; sabit, tek yönlü dalga iklimi ve

basit sınır şartları altında, kıyı boyu kütle korunumunu gösteren (2.3-4.4) eşitliğinin kapalı formda matematiksel çözümünü sağlamaktadır.

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{1}{h_p} \left\{ \frac{dQ}{dy} - q_0 \right\} = -\frac{1}{(h_d + h_k)} \left\{ \frac{dQ}{dy} - q_0 \right\} \quad (2.3) \quad (4.4)$$

Kıyı çizgisi değişiminin tüm analitik çözümleri, farklı sınır şartları için (2.20-4.5) denkleminin çözümü ile gerçekleşmektedir.

$$\frac{dx}{dt} - D \frac{d^2x}{dy^2} = 0 \quad (2.20) \quad (4.5)$$

Kıyı profilinin sabit kaldığını düşünmenin yanında temel denklemlere matematiksel çözüm sağlamak için bir çok kabul daha yapılmaktadır. Bu kabuller çözümün uygulanabilirlik oranını sınırlıyor gibi görünse de, değişik problemlere karşın kıyının davranışını belirlemede kolay ve ekonomik çözümler sağlamaktadır. Çizelge 4.9'da tek çizgi teorisinin analitik çözümünde yapılan kabuller görülmektedir.

Çizelge 4.9 Tek çizgi teorisinin analitik çözümünde kullanılan kabuller ve sınırlamalar (Dabees, 2000)

	Kabul	Sınırlama
1	Sabit profil şekli	Profilin zamana ve konuma göre değişimi belirtilemez.
2	Kıyıya dik taşınım yok $q_0=0$	Fırtına sebepli açık deniz kayıpları ve mevsimsel değişiklikler belirlenemez.
3	Küçük kırılma açısı ($\sin 2\alpha_b = 2\alpha_b$)	Sadece küçük kırılma açılarında geçerli.
4	Küçük kıyı çizgisi değişim açısı ($\alpha_s = (\partial y / \partial x)$)	Sadece düz kıyı çizgileri için geçerli. Yapıların yakınlarında hatalı sonuçlar vermektedir.
5	Konuma göre sabit dalga şartı	Kırılma ve dönme nedeniyle kıyı boyu dalga yüksekliğindeki değişimler belirlenemez.
6	Zamana göre sabit dalga şartı	Kırılmanın hesaba katılmaması, düz olmayan kıyı çizgileri için kıyı çizgisi tahmininde hatalı sonuçlar vermektedir.
7	Basit sınır şartları	Q'nun sınırda belirtildiği basit örnekler için geçerlidir. Birden çok yapı için çözüm yapılamaz.

Karaburun Balıkçı Barınağı yakınındaki yığılma ve buradan bypass edecek katı madde miktarı analitik çözümle hesaplanmıştır. Şekil 4.3a'da görülen balıkçı barınağı, Şekil 4.3b'de görüldüğü gibi idealleştirilmiştir. Böylece balıkçı barınağı 250 m uzunluğunda geçirimsiz bir mahmuza dönüştürülmüştür. Matematiksel ifadelerin çözülebilmesi için yukarıda sıralanan kabullere dikkat edilmiş ve çözümde kullanılacak veriler elde edilmiştir. Bunlar:

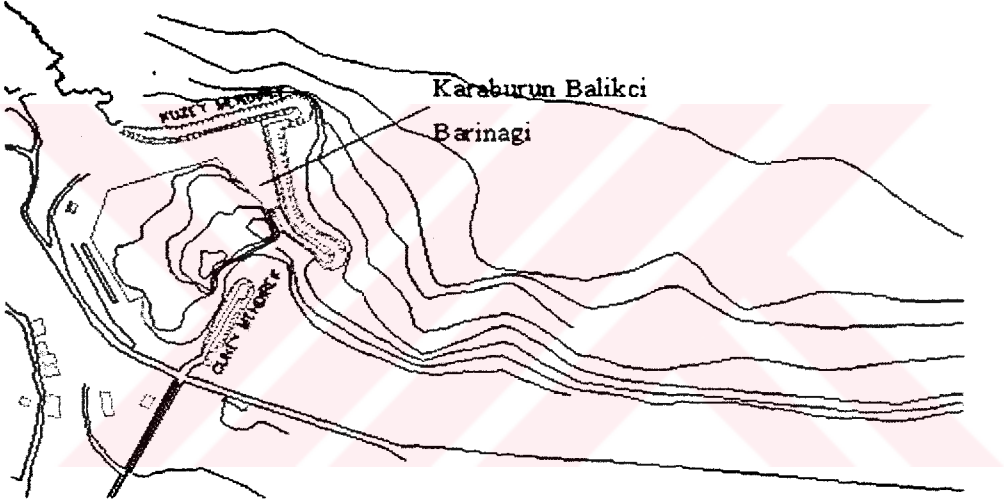
S_e =Yapının etkili uzunluğu=250 m (Şekil 4.3b)

α_b =Kırılma açısı= 2.4°

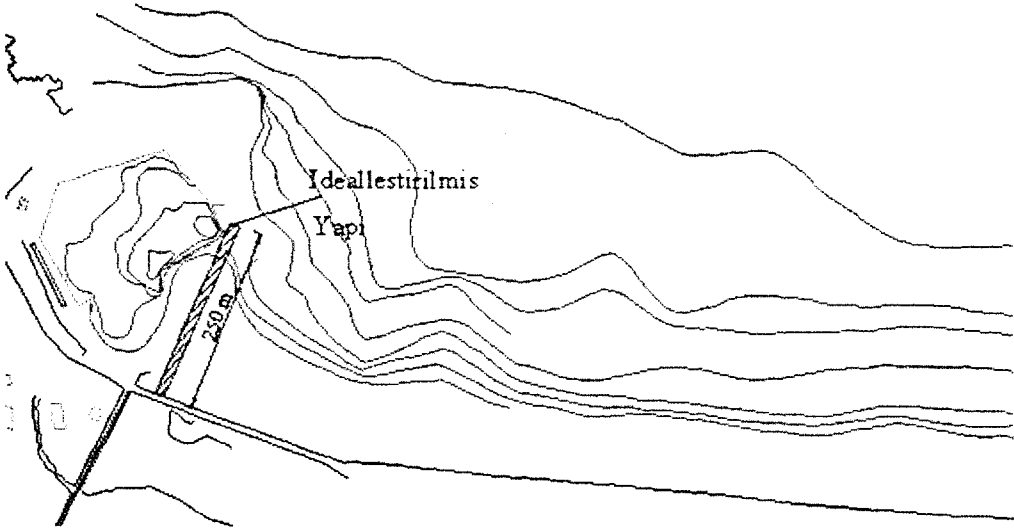
h_p =Toplam profil derinliği= $h_d+h_k=6$ m (Şekil 2.9)

burada, h_d = Eşik derinliği (=0 m), h_k = Kapama derinliği (=6 m)'dir.

Q_{net} =Net katı madde taşınım miktarı= $1 \cdot 10^6$ m³/yıl'dır.



Şekil 4.3a Karaburun balıkçı barınağı ve yakın kıyısı



Şekil 4.3b İdealleştirilmiş barınak ve yakın kıyısı

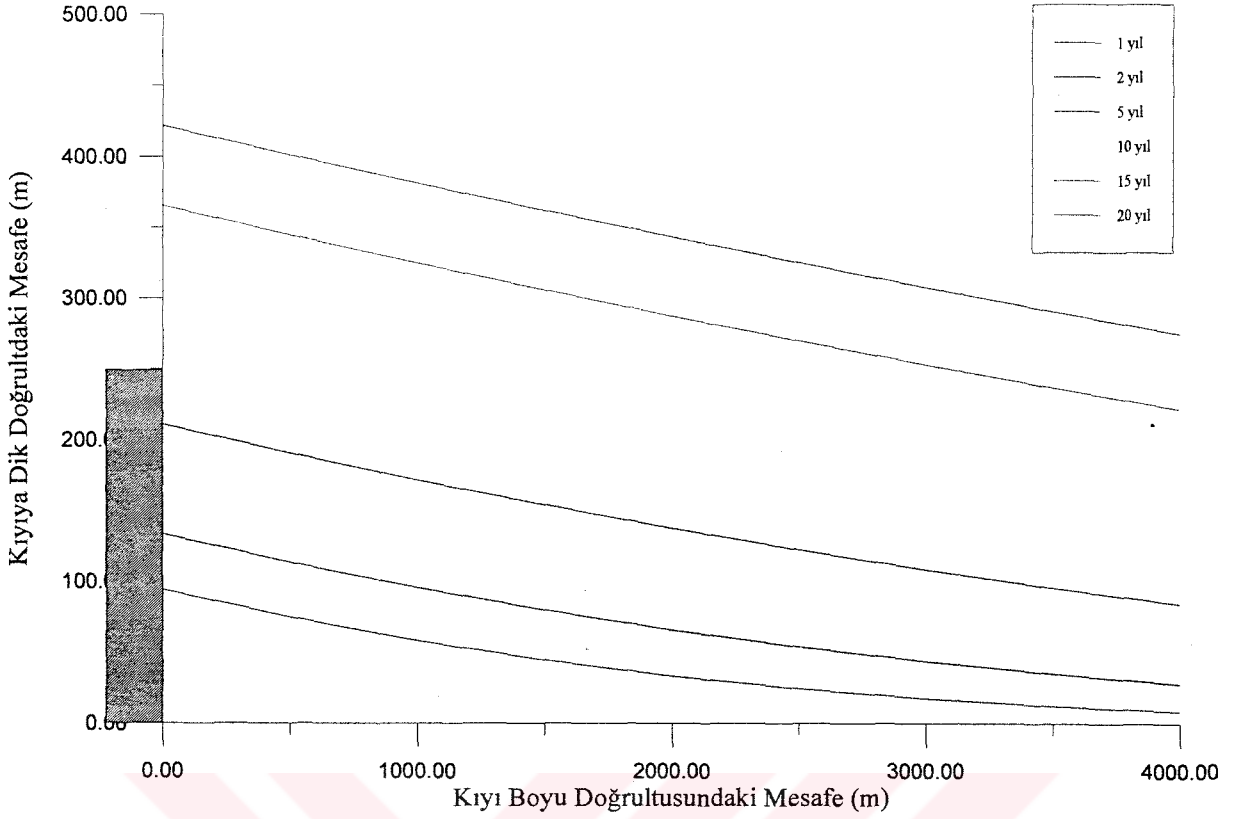
Toplam 20 yılda oluşacak yığılma, barınağın yanından itibaren 4 km için hesaplanmıştır. (2.33-4.5) eşitliği kullanılarak yapının dolma süresi 7 yıl olarak belirlenmiştir. 7 yıldan sonra katı madde barınaktan bypass edecektir. Bu süreden sonraki bypass eden katı madde miktarı ise (2.36-4.6) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.10 ve Şekil 4.4).

$$t_{dolu} = \frac{\pi S_e^2}{4D \tan^2 \alpha_b} = \frac{\pi h_p S_e^2}{4Q \tan \alpha_b} \quad (2.33) (4.5)$$

$$Q_{by} = 2 q \alpha_b \left[1 - \sqrt{\frac{t_{dolu}}{t}} \right] = Q \left[1 - \sqrt{\frac{t_{dolu}}{t}} \right] \quad (2.36) (4.6)$$

Çizelge 4.10 Yapı yakınındaki yıllara ve kıyı boyu doğrultusundaki mesafelere göre yığılma miktarları ve bypass eden kum miktarları

Süre (yıl)	Mesafe (m)									Qby (m3/yıl)
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	
1	94.3	74.8	58.3	44.5	33.3	24.4	17.4	12.2	8.3	0.0
2	133.4	113.5	95.6	79.8	66.0	54.0	43.7	35.0	27.7	0.0
3	163.4	143.3	124.9	108.1	93.0	79.5	67.5	56.9	47.6	0.0
4	188.6	168.4	149.7	132.4	116.6	102.1	89.0	77.1	66.5	0.0
5	210.9	190.6	171.6	154.0	137.6	122.5	108.6	95.9	84.3	0.0
6	231.0	210.7	191.5	173.6	156.8	141.2	126.7	113.4	101.1	0.0
7	249.5	229.1	209.9	191.7	174.6	158.6	143.7	129.8	116.9	0.0
8	266.7	246.3	226.9	208.6	191.3	175.0	159.7	145.4	132.0	62774.2
9	282.9	262.5	243.0	224.5	207.0	190.4	174.8	160.1	146.4	116375.1
10	298.2	277.8	258.2	239.6	221.9	205.1	189.2	174.2	160.1	161719.8
11	312.8	292.3	272.7	254.0	236.1	219.1	203.0	187.8	173.3	200731.2
12	326.7	306.2	286.5	267.7	249.7	232.6	216.3	200.8	186.1	234758.4
13	340.0	319.5	299.8	280.9	262.8	245.5	229.0	213.3	198.4	264779.6
14	352.9	332.3	312.6	293.6	275.4	258.0	241.3	225.4	210.3	291523.9
15	365.3	344.7	324.9	305.8	287.6	270.0	253.2	237.2	221.9	315547.1
16	377.2	356.7	336.8	317.7	299.3	281.7	264.8	248.6	233.1	337281.3
17	388.8	368.3	348.4	329.2	310.8	293.0	276.0	259.7	244.0	357068.4
18	400.1	379.5	359.6	340.4	321.9	304.1	286.9	270.5	254.7	375182.8
19	411.1	390.5	370.5	351.3	332.7	314.8	297.6	281.0	265.0	391847.6
20	421.8	401.1	381.2	361.9	343.3	325.3	307.9	291.2	275.2	407246.4



Şekil 4.4 Analitik çözümle elde edilmiş kıyı çizgisi değişimi ve yapı yanındaki yığılma

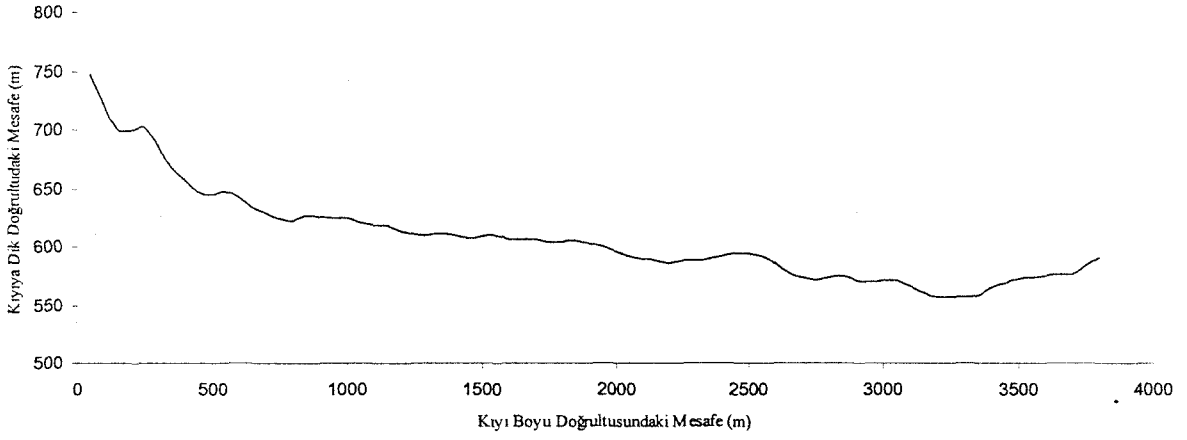
4.2.2 Sayısal Modelleme

4.2.2.1 Mevcut Durumun Değerlendirilmesi ve Sayısal Modelleme

Karaburun kıyısında hatalı kıyı uygulamaları ve mevcut balıkçı barınağının hatalı projelendirilmesi sebebiyle, barınağın yanında yığılma oluşurken yukarı kıyıda erozyon oluşmaya başlamıştır.

Kıyı değişiminin belirlenebilmesi için bölüm 2’de açıklanan matematik model için yazılan bilgisayar programı ile 2 yıllık süreyi kapsayan kıyı çizgisi değişiminin modellenmesi yapılmıştır. Kıyıda mahmuz veya açık deniz dalgakıranı bulunmamaktadır. Modelde kullanılan başlangıç kıyı çizgisi olarak DLH 4. Bölge Müdürlüğü’nce 2002 yılında ölçülen kıyı çizgisi dikkate alınmıştır (Şekil 3.19). Şekil 4.5’de başlangıç kıyı çizgisi görülmektedir.

Modelde kullanılan dalga verileri Çizelge 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.5 Sayısal model için kullanılan başlangıç kıyı çizgisi

Çizelge 4.11 Sayısal model programında kullanılan dalga verileri

Yön	Dalga Kırılma Yüksekliği H_b (m)	Dalga Kırılma Açısı α_b (m)	Bir Yılda Oluşma Süresi t (saat)
N	1.87	13.75	70
NNE	2.43	2.43	232
NE	2.23	9.44	162
ENE	1.5	18.98	183
E	0.74	22.38	21
NNW	0.91	21.25	21
NW	0.58	20.94	43

Programda kıyı çizgisi değişimini tahmin edebilmek için kullanılan Tek Çizgi Modeli denklemi aşağıdaki gibi verilmiştir (Kamphius, 2000).

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{1}{h_p} \left\{ \frac{dQ}{dy} - q_0 \right\} = -\frac{1}{(h_d + h_k)} \left\{ \frac{dQ}{dy} - q_0 \right\} \quad (2.3) \quad (4.7)$$

Modellemede kıyıya dik yöndeki taşınım ihmal edilmiş yani $q_0=0$ alınmıştır.

Kıyı boyu taşınım debisi ise CERC (1984) formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q = K' (H^2 C_g)_b \sin 2\alpha_{bs} \quad (4.8)$$

burada;

$$K' = \left(\frac{K}{16(S-1)a'} \right) \left(\frac{1}{r} \right)^{5/2} \quad (4.9)$$

K = Boyutsuz sayı (=0.4)

H = Belirgin dalga yüksekliği

C_g = Grup dalga hızı (m/s)

α_{bs} =Kırılan dalganın kıyı çizgisi ile yaptığı açı

S = Kumun yoğunluğunun suyun yoğunluğuna oranı

a' =Katı madde hacmi/toplam hacim

r = çevirme faktörüdür.

Denklemlerde kullanılan “b” alt indisi dalga kırılmasını temsil etmektedir. Kırılma anındaki grup dalga hızı ise aşağıda verilen bağıntıdan hesaplanmaktadır.

$$(C_g)_b = \left(\frac{g H_b}{\gamma} \right)^{1/2} \quad (4.10)$$

burada;

g = Yerçekim ivmesi (m/s^2)

γ = Dalga kırılma yüksekliğinin dalga kırılma anındaki su derinliğine oranıdır (=0.78)

Açık sonlu farklar yöntemi kullanıldığından (4.7) ifadesi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir;

$$x_i^* = 2B(Q_i - Q_{i+1}) + x_i \quad (4.11)$$

burada;

$B = \Delta t / (2 h_p \Delta y)$ (s/m^2)

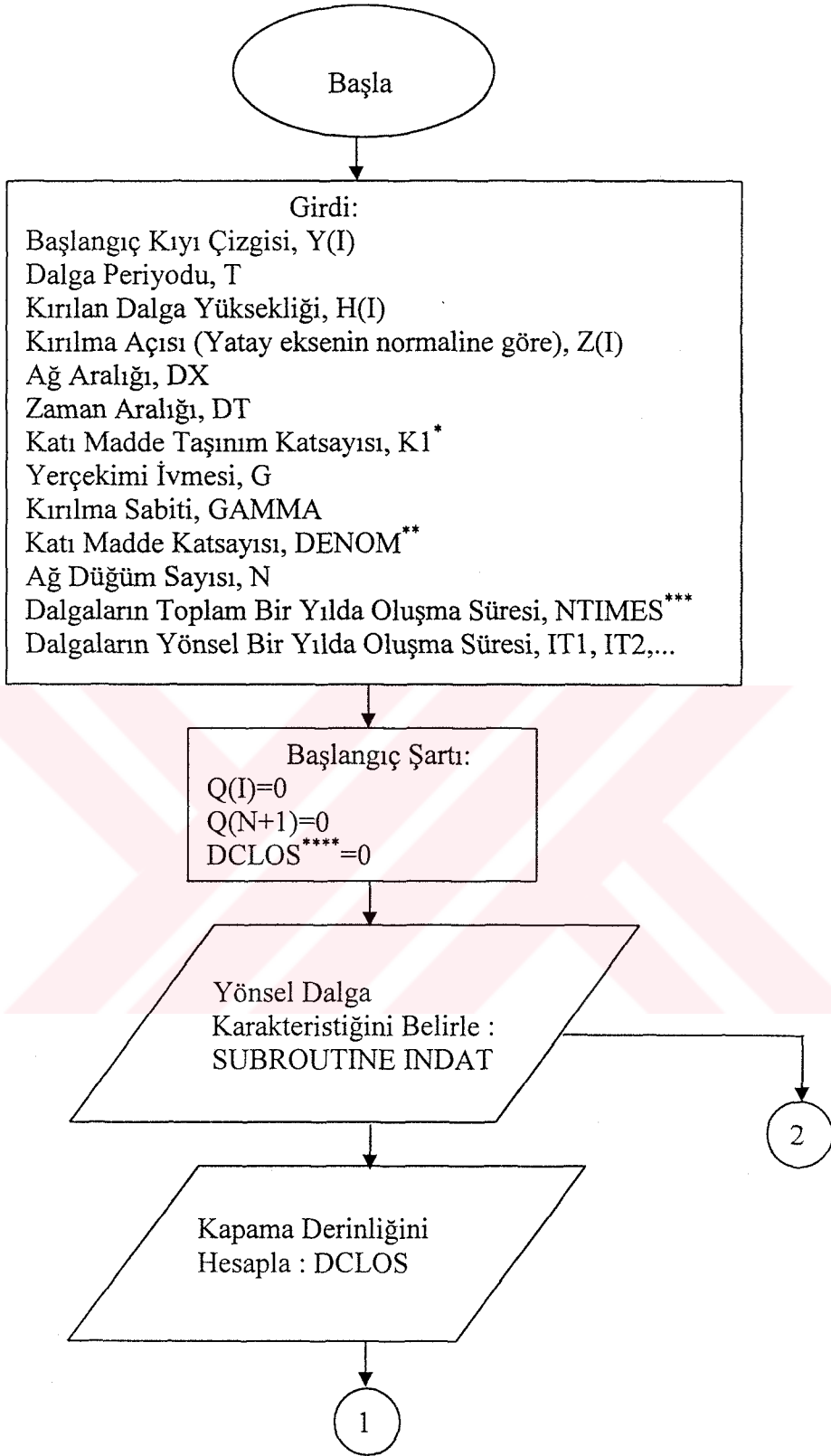
Δt = Zaman aralığı (Modellemede 2 saat olarak verilmiştir)

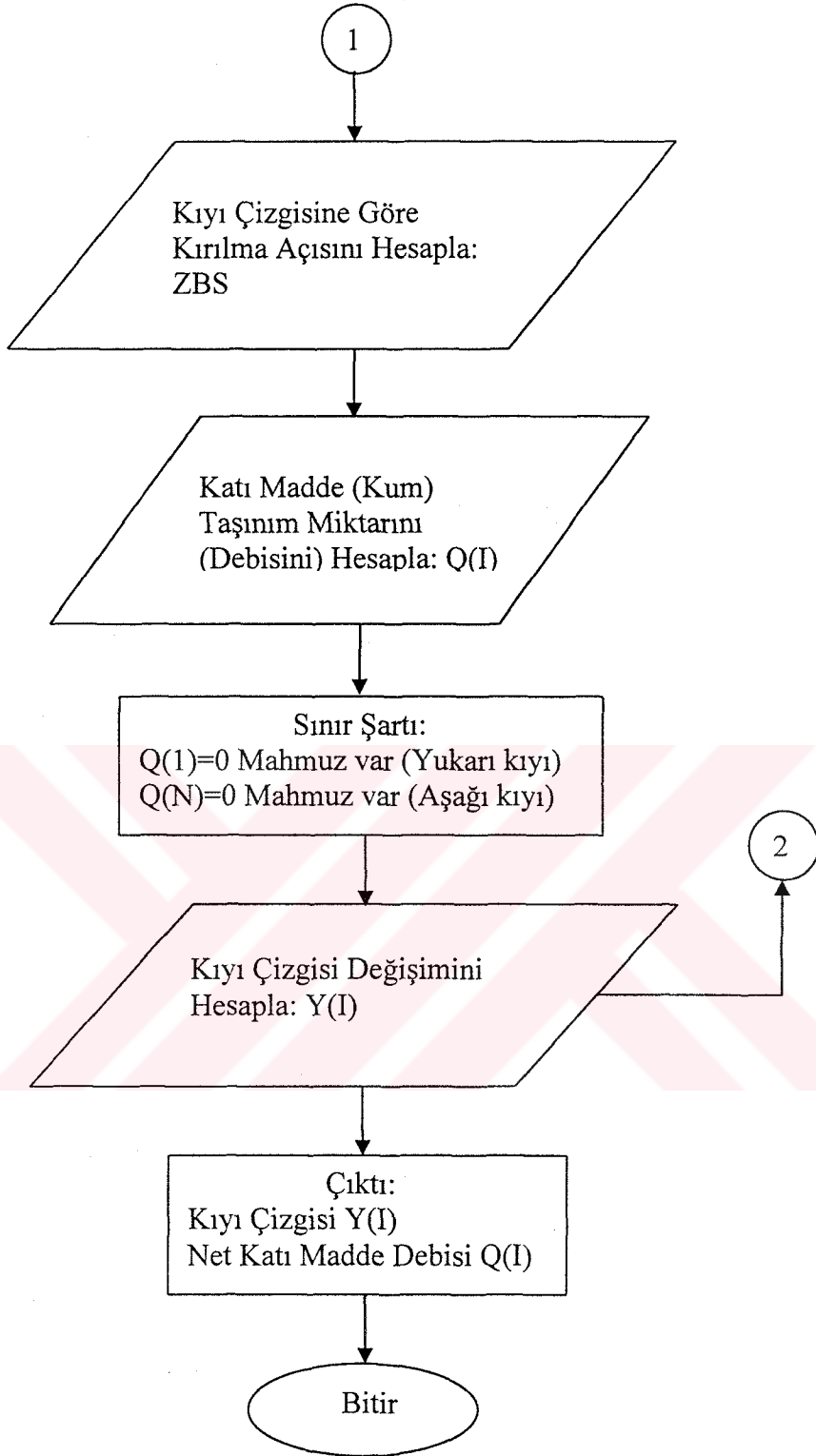
Δy = Ağ aralığı (Modellemede 50 m olarak verilmiştir)

Sonlu farklar yönteminde modelin stabilitesi oldukça önemlidir. Stabilite sayısının küçük olması modelin çözümünün doğru olmasına olanak vermektedir. Modellemede stabilite katsayısını Hanson ve Kraus (1986) aşağıdaki gibi vermiştir. Stabil şema için $R_s < 1/2$ olmalıdır.

$$R_s = 2 K' \Delta t \frac{(H^2 C_g)_b}{h_k (\Delta y)^2} \quad (4.12)$$

Bu şemanın çözümüne ait akım şeması Şekil 4.6’da verilmiştir.





Şekil 4.6 Sayısal model bilgisayar programı için akım şeması

* K1=Boyutsuz katı madde taşınım katsayısı (=0.4)

$$Q = KAP1 \cdot (H^2 C_g)_b \sin 2\theta_{bs} \quad KAP1 = (K1/16(S-1) a'')(1/r)^{5/2}$$

** DENOM=(S-1) a'(1/r)^{5/2}

*** NTIMES= Uzun dönem dalga istatistiği olasılık dağılımından elde edilen, kıyıyı etkileyen dalgaların bir yılda toplam oluşma süresi (saat)

**** DCLOS= Kapama derinliği= 2.28 H_b-68.5 (H_b/T)²/ g

4.2.2.2 Analitik ve Sayısal Çözümlerin Karşılaştırılması

Karaburun kıyı çizgisi modellemesinde kullanılan sayısal çözümün doğrulanması için analitik çözüm dikkate alınmıştır. Fakat analitik çözümde bazı sınırlamalar ve kabuller (Çizelge 4.9) olduğu için programın girdileri de buna göre düzenlenmiştir. Böylece karşılaştırmada program düz kıyı çizgisi için çalıştırılmıştır.

Karşılaştırmada kullanılan sayısal modele ait programın girdileri:

Tek yönden gelen dalga

Kırılan dalga açısı= 2°

Kırılan dalga yüksekliği= 1m

Bu dalganın bir yılda oluşma süresi= 732 saat

Zaman aralığı= 2 saat

Ağ aralığı= 50 m

Dalga periyodu= 4 s

Ağ düğüm sayısı=85

Karşılaştırmada kullanılan analitik çözümün girdileri:

Tek yönden gelen dalga

Kırılan dalga açısı= 2°

Efektif yapı uzunluğu= 250 m

Kapama derinliği= 1.8 m

Kıyı boyu katı madde debisi= $78000 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Analitik çözümde girilen verilerden kapama derinliği (4.12) ifadesiyle, kıyı boyu katı madde debisi ise sayısal modelde kullanılan CERC (1984) formülü ile hesaplanmıştır.

$$h_k = 2.28 H_b - 68.5 \left(\frac{H_b}{T} \right)^2 / g \quad (4.12)$$

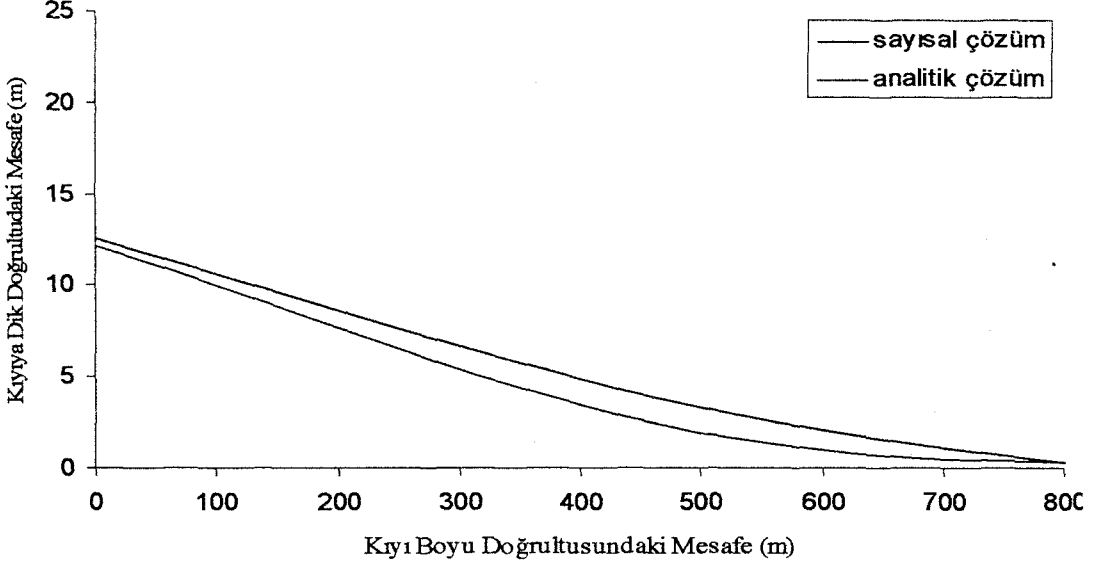
burada;

H_b = Kırılan dalga yüksekliği (m)

T= Dalga periyodu (s)

g= Yerçekimi ivmesi (m^2/s)

Şekil 4.7’de görüldüğü üzere yapılan karşılaştırma sonucu modellemede kullanılacak program, analitik çözüm ile yaklaşık olarak aynı sonuçları vermektedir.

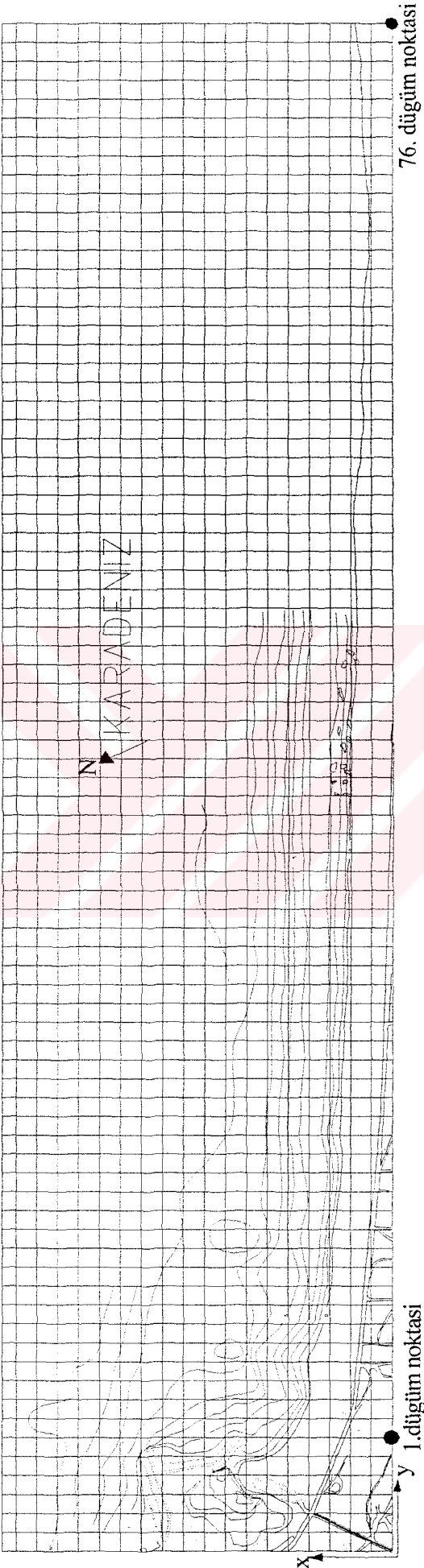


Şekil 4.7 Sayısal çözümün analitik çözümle karşılaştırılması (2° ’lik kırılma açısıyla yaklaşan sabit dalga koşulunda yapı yanında yığılma için)

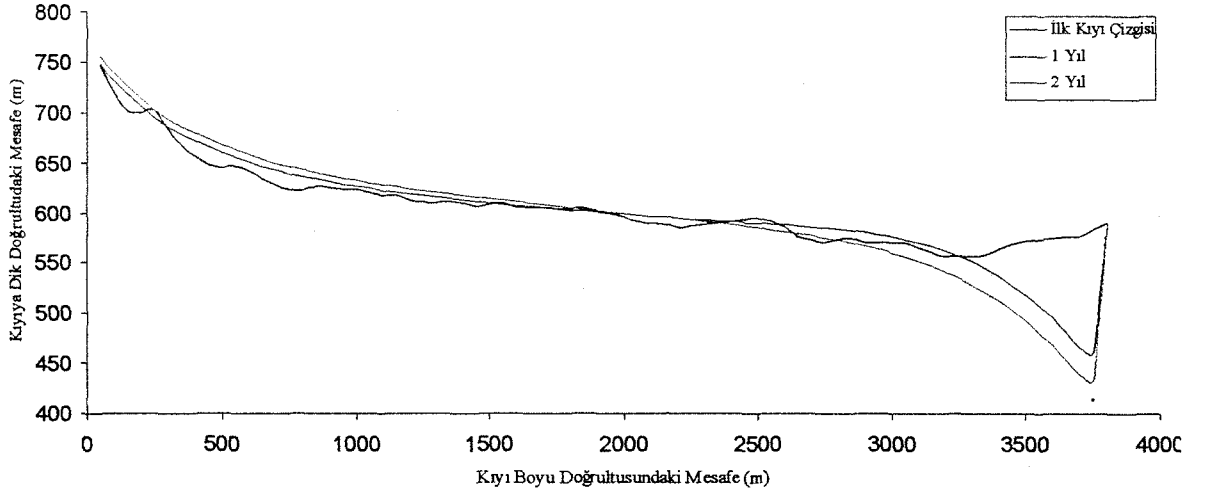
4.2.2.3 Sayısal Modelleme İle Karaburun Kıyı Çizgisi Uygulaması

Karaburun kıyı çizgisi modellenmesinde her biri 50 m uzunluğundaki 76 ağ aralığı toplam 3.8 km uzunluk için oluşturulmuştur (Şekil 4.8). Kıyıyı etkileyen yönler (E-NW aralığında) belirlenmiş (Şekil 4.1) ve bunların bir yılda oluşma süreleri programa girilmiştir. 1 ve 2 yıl için kıyı çizgisi değişimi mevcut durumda belirlenmiştir (Şekil 4.9).

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi aşağı kıyıda erozyon, yukarı kıyıda (barınağın yanında) yığılma meydana gelmektedir. Barınağın hemen yanındaki kıyı çizgisinde 2 yıl içinde 10 m’lik değişim görülmektedir ve bu değişim barınağın ağzının dolmasına sebep olmaktadır. Bu yığılmayı engelleyecek alternatif çözümler tasarlanıp, yine sayısal modele ait program yardımıyla modellenmiştir.



Şekil 4.8 Karaburun kıyı modellemesi için çözüm ağ şeması

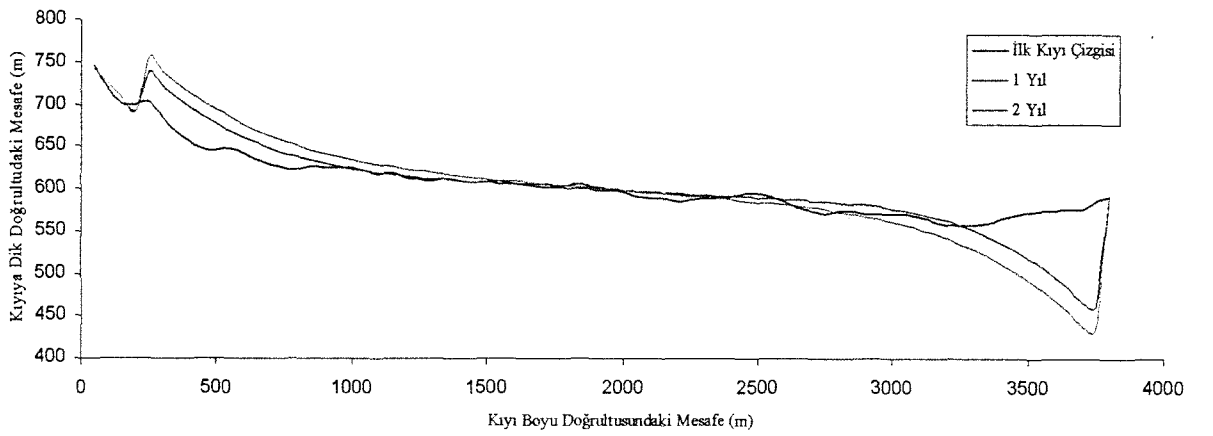


Şekil 4.9 Karaburun kıyı çizgisi değişimi (1 ve 2 yıl için)

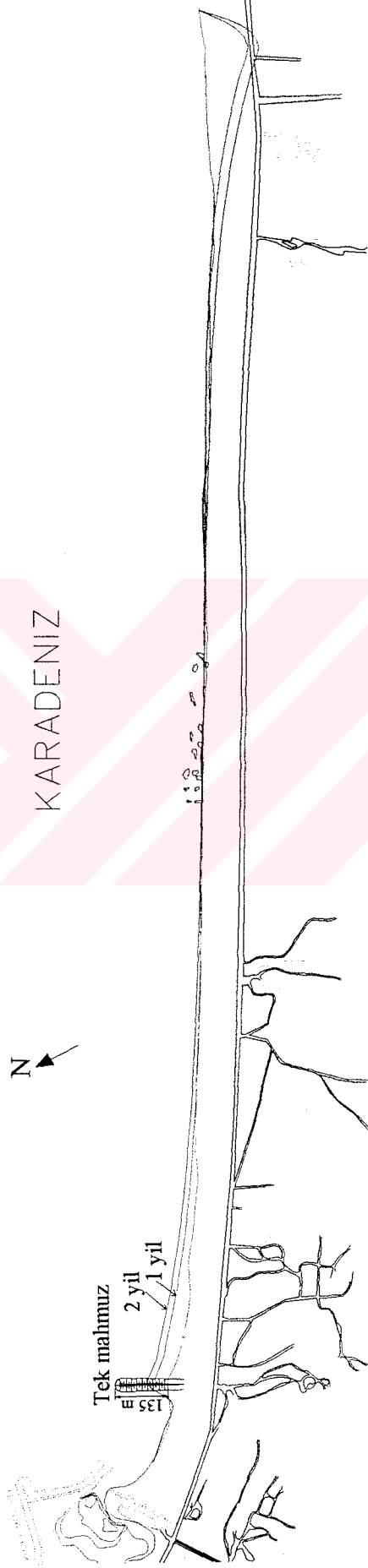
Tek Mahmuz

Programda barınağın 350 m doğusuna 5. ağ düğüm noktasına 135 m uzunluğunda mahmuz yerleştirilip, bu mahmuzun kıyı çizgisine olan etkisi yine bir ve iki yıl için incelenmiştir (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11). Mahmuz uzunluğunun belirlenmesinde maksimum kapama derinliği gözönüne alınmıştır ($h_{k,max}=6$ m).

Şekil 4.10'dan görüldüğü üzere barınağın 350 m doğusuna mevcut kıyı çizgisinden itibaren 135 m uzunluğunda mahmuz yerleştirildiği zaman barınağın ağzını kapatan kum taşınımı engellenmektedir, yığılma mahmuzun doğusunda görülmektedir. Şekil 4.10'da mahmuz şekli yerleştirilmeden kıyı çizgisi değişimi görülürken, Şekil 4.11'de mahmuz şekliyle beraber kıyı çizgisi değişimi görülmektedir.



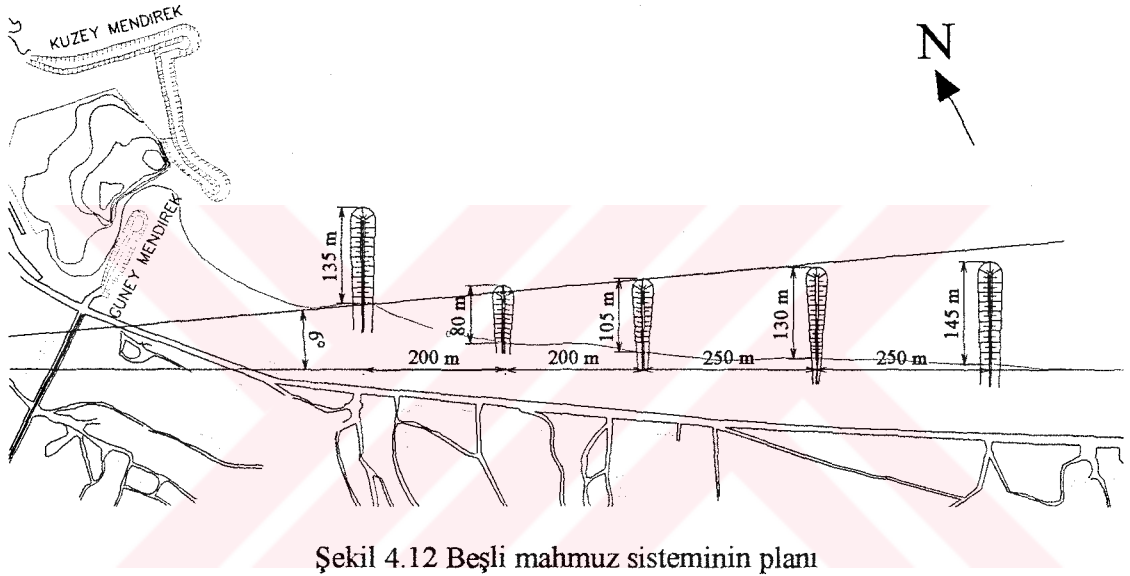
Şekil 4.10 Karaburun kıyı çizgisi değişimi (Tek mahmuz hali için)



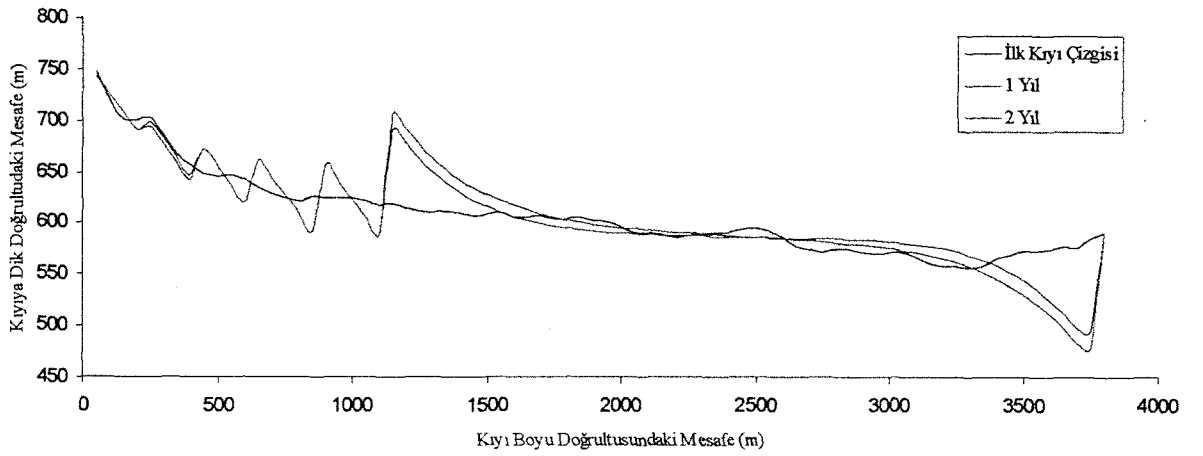
Şekil 4.11 Tek mahmuzun Karaburun kıyı çizgisine etkisi

Beşli Mahmuz Sistemi

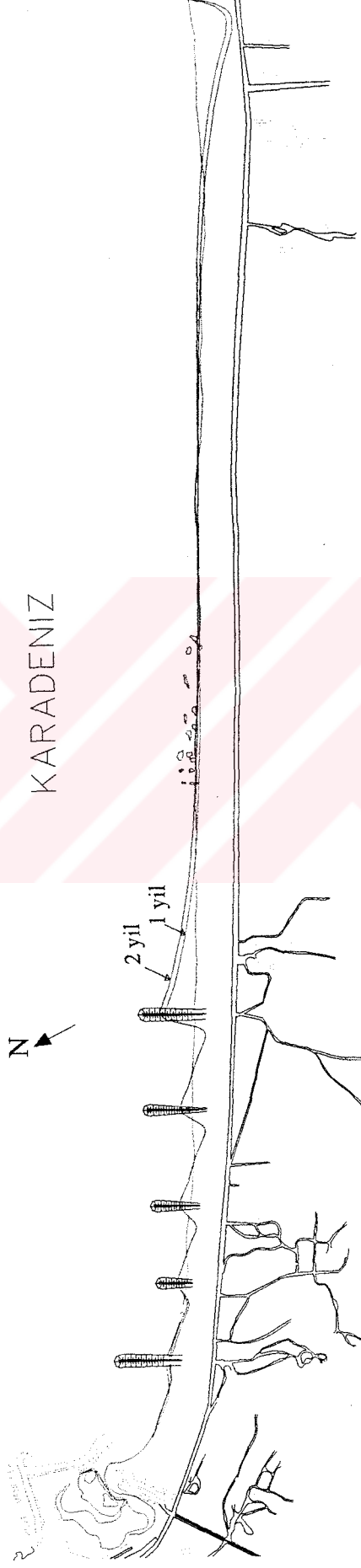
Bu mahmuz sisteminde ilk önce yine barınağın 350 m doğusuna 5. ağ düğüm noktasında 135 m uzunluğunda kafası -6 m derinlikte bulunan tek mahmuz yerleştirilip, devamına sırasıyla 9., 13., 18. ve 23. ağ düğüm noktalarında olacak şekilde dört adet daha mahmuz konulmuştur. Bu mahmuzların boyları Şekil 4.12'den de görüleceği üzere sırasıyla 80 m, 105 m, 130 m ve 145 m'dir. Mahmuzlar yerleştirilirken hayali olarak düz düşünülen kıyı çizgisi ile yaklaşık 6°'lik açı ile kısaltılarak birbirleri arasında geçiş sağlanmıştır (SPM, 1984). Yukarı kıyı (doğu) yönündeki ilk mahmuzun kafası -6 m derinlikte olup diğer üç mahmuzun kafası -5 m'de bulunmaktadır. Şekil 4.13 ve 4.14'te görüldüğü gibi ilk mahmuz yanında büyük ölçüde yığılma olmaktadır.



Şekil 4.12 Beşli mahmuz sisteminin planı



Şekil 4.13 Karaburun kıyı çizgisi değişimi (Beşli mahmuz sistemi için)



Şekil 4.14 Beşli mahmuz sisteminin kıyı çizgisine etkisi

4.3 Kıyı Çizgisi Değişiminde Yapısal Çözüm; Mahmuz Boyutlandırması

Geliştirilen sayısal model yardımıyla gerek Karaburun Balıkçı Barınağı'nın kumlanma probleminin gerekse kıyı çizgisi değişiminin önlenmesi amacıyla iki farklı mahmuz planlaması düşünülmüştür. Bunlardan biri 6 m derinliğe kadar uzanan 135 m uzunluğundaki tek mahmuz sistemi (Şekil 4.11), diğeri ise beş adet mahmuzdan oluşan beşli mahmuz sistemidir (Şekil 4.12).

Proje bölgesinin ekstrem dalga istatistiğine göre etkisinde kaldığı belirgin dalga yönü N'dur. Yapı bu bölgeden gelen dalgalardan ancak yönden bağımsız (en gayri müsait) belirgin dalgaya göre boyutlandırılmıştır.

Yapının dizayn ömrünün 50 yıl olması durumunda;

$$H_{so}=8.65 \text{ m}$$

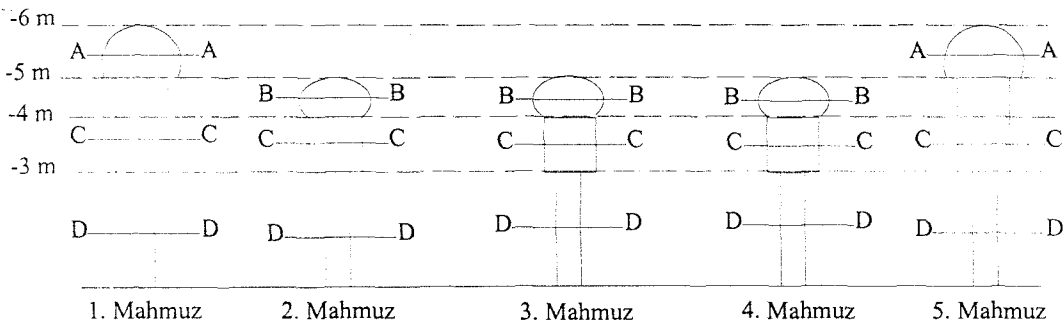
$$T=12.09 \text{ s olmaktadır (Çizelge 3.7).}$$

Bu yükseklikte ve derinlikteki dalga için kırılma hesabı yapıldığında;

Kırılma derinliği $h_b=7 \text{ m}$, kırılan dalga yüksekliği $H_{sb}= 8.7 \text{ m}$ bulunmuştur. Dalga mahmuza gelmeden kırılmaktadır. 3, 4, 5 ve 6 m'de kırılan dizayn dalga yükseklikleri % 5-10 hasara izin verilerek hesaplanmıştır (SPM, 1984). Çizelge 4.12'de yapı üzerinde kırılacak dalga yükseklikleri dikkate alınarak dizayn dalga yükseklikleri verilmiştir. Şekil 4.15'de mahmuz sistemindeki mahmuz kesitlerinin şematik kesitleri görülmektedir.

Çizelge 4.12 Mahmuz tasarımında dikkate alınan dizayn dalga yükseklikleri

Su derinliği (h) (m)	Dizayn dalga yüksekliği (H_d) (m)
3 (Gövde 1., 2., 3., 4., 5. mahmuz)	$3.18/1.08=2.94$
4 (Gövde 1., 2., 3., 4., 5. mahmuz)	$4.2/1.08=3.9$
5 (Kafa 2., 3., 4. mahmuz)	$5.17/1.08=4.8$
6 (Kafa 1., 5. mahmuz)	$6/1.08=5.65$



Şekil 4.15 Mahmuz kesitlerinin şematik gösterimi

4.3.1 Hudson (1961) Metodu

Taş Ağırlıklarının Hesabı

Koruyucu tabakadaki taş ağırlıklarının hesaplanmasında Hudson (1961) formülü kullanılmıştır. Koruyucu tabakada kaba köşeli ocak taşı düşünülmüştür. Kafa kesitinde kırılan dalga için, taş kaplama sırasının iki ve mahmuz eğiminin $\frac{1}{2}$ olması durumunda stabilite katsayısı $K_D=1.6$ olmaktadır. Gövde kesitlerinde ise, kırılan dalga için, taş kaplama sırasının iki ve mahmuz eğiminin $\frac{1}{2}$ olması durumunda stabilite katsayısı $K_D=2$ olmaktadır.

$$W = \frac{\gamma_s H_d^3}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \cot \beta} \cos^2 \alpha_0 \quad (4.12)$$

burada;

W: Her bir taşın ağırlığı

K_D : Stabilite katsayısı

H_d : Dizayn dalga yüksekliği

γ_s : Taşın özgül ağırlığı

γ_w : Deniz suyunun özgül ağırlığı

α_0 : Derin deniz dalga geliş açısı

β : Şev eğimi (derece)

Çizelge 4.13 Mahmuz sistemindeki taş ağırlıkları (Hudson, 1961)

Kesit	Taş ağırlığı (ton)
A-A Kesiti (Kafa)	28.6 → (25-30)
B-B Kesiti (Kafa)	17.6 → (15-20)
C-C Kesiti (Gövde)	7.54 → (6-8)
D-D Kesiti (Gövde)	3.23 → (2-4)

Tabaka Kalınlıklarının Hesabı

Çeşitli taş büyüklüklerine göre yapılacak koruyucu tabaka kalınlıkları aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$r_n = n K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_s} \right)^3 \quad (4.13)$$

burada;

r_n : Koruyucu tabaka kalınlığı

K_Δ : Tabaka katsayısı

n : Taş kaplama sırası

$K_\Delta=1.0$ (Kaba ocak taşı için SPM, 1984)

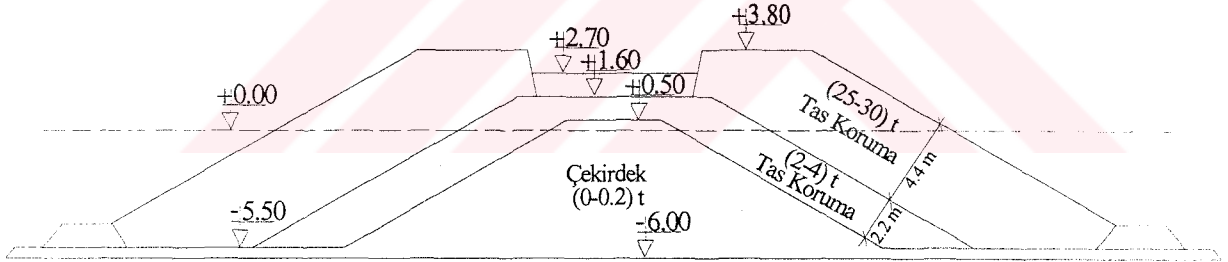
Filtre tabakasının kalınlığı ise aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$r_n = n K_\Delta \left(\frac{W/10}{\gamma_s} \right)^3 \quad (4.14)$$

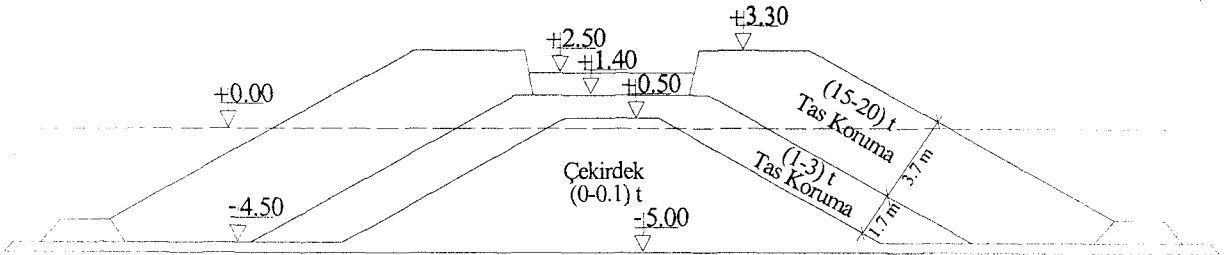
Çizelge 4.14 Mahmuz sistemindeki tabaka kalınlıkları

Kesit	Koruyucu Tabaka Kalınlığı (m)	Filtre Tabakası Kalınlığı (m)
A-A Kesiti (Kafa)	4.4	2.2
B-B Kesiti (Kafa)	3.7	1.7
C-C Kesiti (Gövde)	2.8	1.3
D-D Kesiti (Gövde)	2.0	1.0

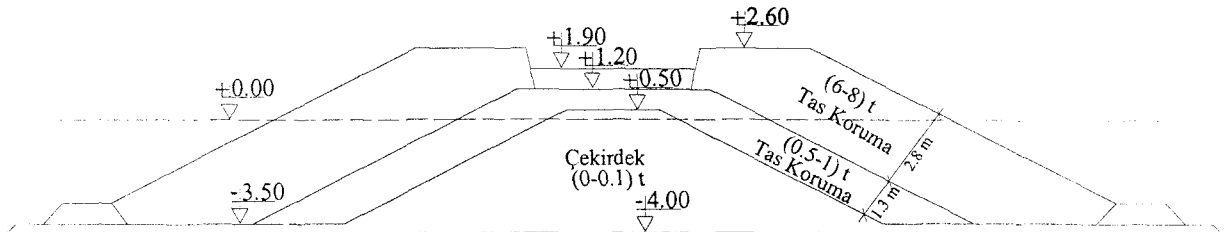
Şekil 4.16, Şekil4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da kafa ve gövde kesitleri görülmektedir.



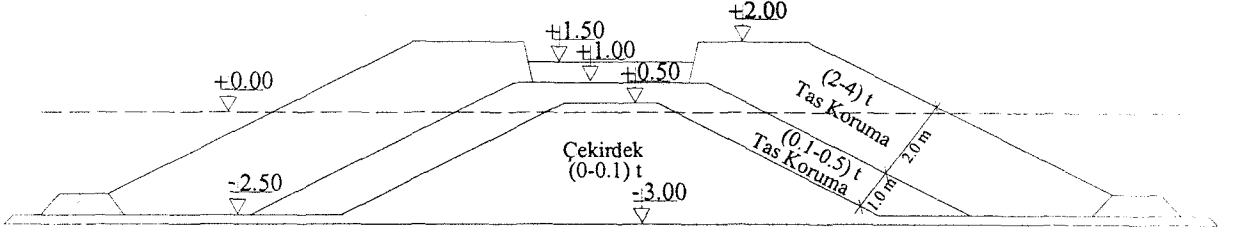
Şekil 4.16 A-A kesiti (1 ve 5 nolu mahmuzlar için kafa kesiti)



Şekil 4.17 B-B kesiti (2, 3 ve 4 nolu mahmuzlar için kafa kesiti)



Şekil 4.18 C-C kesiti (1, 2, 3, 4 ve 5 nolu mahmuzlar için gövde kesiti)



Şekil 4.19 D-D kesiti (1, 2, 3, 4 ve 5 nolu mahmuzlar için gövde kesiti)

4.3.2 Van Der Meer (1997) Metodu

Taş Ağırlıklarının Hesabı

Hudson (1961) formülünde birçok önemli parametrenin hesaba katılmamasından dolayı son yıllarda bu formülün güvenilirliği tartışılmaya başlanmıştır. Bu sebeple Van Der Meer, dalgakıran koruyucu tabakası tasarımında kullanılan ve son dönemlerde sıkça tavsiye edilen bir stabilite formülü geliştirmiştir (PIANC, 1992). Bu formülde surging ve plunging tipi kırılmanın ayrımı yapıldığı gibi diğer bir çok parametre de ele alınmıştır (Van Der Meer ve Ligteringen, 1997).

Kaba köşeli ocak taşı için aşağıdaki formüllerle hesap yapılmaktadır:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2 P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi^{-0.5} \quad (\text{Plunging tipi kırılma için}) \quad (4.15)$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \beta} \xi^P \quad (\text{Surging tipi kırılma için}) \quad (4.16)$$

burada;

H_s : Yapı önündeki belirgin dalga yüksekliği

Δ : Taşın rölatif özgül ağırlığı

D_{n50} : Taşın ortalama çapı

P : Geçirimlilik

S : Hasar seviyesi

N : Fırtına süresi

ξ : Iribarren sayısı (surf parametresi)

β : Mahmuz eğimi (derece)

Kırılma tipi belirlenirken ξ (Iribarren sayısı)'na bakılmaktadır. Eğer $\xi > 2$ ise surging tipi kırılma, $\xi < 2$ ise plunging tipi kırılma, $\xi > 2$ ise surging tipi kırılma, $\xi < 2$ ise plunging tipi kırılma. Iribarren sayısı aşağıdaki ifadeden bulunur:

$$\xi = \frac{\tan \beta}{\sqrt{S_{om}}} = \frac{\tan \beta}{\sqrt{\frac{2\pi H_s}{g T_m^2}}} \quad (4.17)$$

burada;

S_{om} : Dalga dikliği

T_m : Ortalama dalga periyodu

$$T_s = 0.95 T_m \quad (4.19)$$

Taş ağırlığı ise;

$$D_{n50} = \left(\frac{W_{50}}{\gamma_s} \right)^{1/3} \quad (4.20)$$

bağıntısından hesaplanmaktadır.

burada;

W_{50} : Van Der Meer formülünde taş ağırlığı

γ_s : Taşın özgül ağırlığı

Taş ağırlığı Hudson (1961) metodunda uygulandığı gibi dalga'nın açılı gelmesi halinde $\cos^2(\alpha_0)$ ile çarpılarak bulunacaktır. Yani her bir taşın ağırlığını hesaplarken aşağıdaki ifadeden faydalanılmaktadır;

$$W = W_{50} \cos^2 27 \quad (4.21)$$

Tüm mahmuz kesitlerinde aşağıdaki parametreler kullanılacaktır:

$$T_m = 12.73 \text{ s}$$

$$P = 0.4 \text{ (Kısmen geçirimli)}$$

$$S = 5 \text{ (1/2 eğim için kullanılan hasar faktörü)}$$

$$N = 2000 \text{ dalga}$$

$$\tan \beta = \frac{1}{2}$$

Çizelge 4.15'te yukarıda kullanılan değerlerle hesaplanan mahmuz kafa ve gövde kesitleri için Iribarren sayısı, ortalama taş çapı ve ağırlıkları görülmektedir.

Çizelge 4.15 Mahmuz sistemindeki taş ağırlıkları (Van Der Meer, 1997)

Kesit	Iribarren sayısı (ξ)	Ortalama taş çapı (m) (D _{n50})	Taş ağırlığı (ton) (W)
A-A Kesiti (Kafa)	3.25	2.27	24.6
B-B Kesiti (Kafa)	3.5	1.9	14.4
C-C Kesiti (Gövde)	3.88	1.48	6.8
D-D Kesiti (Gövde)	4.46	1.06	2.5

Çizelge 4.16 Mahmuz sistemindeki taş ağırlıklarının iki yöntem için karşılaştırılması

Kesit	Taş ağırlığı (VanderMeer, 1997) (ton)	Taş ağırlığı (Hudson, 1961) (ton)
A-A Kesiti (Kafa)	24.6	28.6
B-B Kesiti (Kafa)	14.4	17.6
C-C Kesiti (Gövde)	6.8	7.54
D-D Kesiti (Gövde)	2.5	3.23

Çizelge 4.16'dan görüldüğü gibi Van Der Meer (1997) formülündeki taş ağırlıklarının değeri Hudson (1961) formülüne göre daha az çıkmaktadır. Son yıllarda Van Der Meer (1997) formülü kullanılmaya başlanmıştır. Bunun sebebi dalga ve dalgakıran özellikleri daha fazla parametre ile temsil edilmektedir. Bu sebeple mahmuzların koruyucu tabakasındaki taş ağırlıkları olarak bu formülle bulunan değerlerin alınması uygun görülmektedir.

Ayrıca Çizelge 4.16'dan görüldüğü gibi A-A kesitinde taş ağırlığı büyük çıktığı için kafada küp beton blok kullanılması tavsiye edilebilir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Karaburun kıyısında meydana gelen erozyon, yığılma ve barınakta oluşan kumlanmayı önlemek amacıyla buradaki kıyı çizgisi değişimi incelenmiş ve bu problemlere çözüm aranmıştır. Bilindiği gibi kıyı çizgisinde oluşan değişimler uzun dönemde meydana gelmektedir ve bu değişimlerin nedenini öğrenmek için kıyıda meydana gelen olayların uzun dönemde ve detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Karaburun kıyısındaki kıyı çizgisi değişimini görebilmek için sayısal model kurulmuş ve tek-çizgi teorisine dayanan bilgisayar programı iki yıl için koşturulmuştur. Modelin doğru sonuçlar verebilmesi için doğru verilerin girilmesi gerekmektedir. Fakat Karaburun yöresinde doğadan ölçülmüş dalga verileri bulunmadığı için üç farklı meteoroloji istasyonundan (Sarıyer, Kilyos, Şile) alınan rüzgar verileri incelenmiş bunlardan dalga istatistiğine geçilmiştir. Balıkçılardan ve yöre halkından edinilen bilgilere göre bu meteoroloji istasyonlarından alınan değerler birbiriyle ve doğayla uyumlu çıkmamıştır. Bunun sebebi Sarıyer Meteoroloji İstasyonunun iç tarafta (boğazda) kalması, Şile Meteoroloji İstasyonunun Karaburun bölgesinden uzakta kalması ve Kilyos Meteoroloji İstasyonunun gerçek değerleri yansıtmamasıdır. Bu sebeple daha doğru verileri elde edebilmek için dalga atlasından (Özhan ve Abdalla, 1999) yararlanılmıştır. Kıyı çizgisi değişiminin ve taşınan katı madde miktarı ve yönünün doğru elde edilmesi için doğadan ölçülmüş dalga verilerine veya o yöre için oluşturulmuş dalga haritasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Uygulanacak sayısal model çözümünün doğrulanması gerekmektedir, bu sebeple koşturulan bilgisayar programının sonuçları analitik çözümle karşılaştırılmış ve birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir. Analitik çözümde net kıyı boyu katı madde taşınım miktarı gerektiği için Karaburun kıyısındaki yıllık katı madde taşınım miktarı hesaplanmıştır. Bu hesap üç farklı yöntemle yapılmıştır. Bunlar CERC (1984), SandCalc (Damgaard ve Soulsby, 1997) ve SandCalc (CERC, 1984) metodlarıdır. Fakat bu üç metod birbirinden farklı sonuçlar vermektedir. Bu sebeple farklı yönlerden gelen dalgaların oluşma yüzdelerini de hesaplayan SPM'e (1984) göre yapılan CERC (1984) metodunun sonuçları dikkate alınmıştır.

Barınak ve Karaburun kıyısındaki kıyı çizgisi değişimi iki yıl için incelenmiş ve barınağın yanında (ikincil dalgakıran) yığılmanın, yukarı kıyıda ise erozyonun olduğu gözlenmiştir. Bu mevcut durumu ifade etmektedir. Kıyı çizgisi değişiminin daha uzun süreli incelenmesi gerekmektedir fakat tek-çizgi teorisine dayanan ve Bölüm 2 ve Bölüm 4'te teorisi detaylı olarak anlatılan bilgisayar programı iki yıldan uzun süreler için etkili olmamaktadır.

Bilgisayar programında kullanılan kıyı boyu katı madde taşınım debisi formülü CERC (1984) formülüdür. Fakat program daha da geliştirilmek istenirse Kamphius (1991) formülünü kullanmak daha doğru sonuçlar verecektir. Çünkü CERC (1984) formülünden farklı olarak Kamphius (1991) formülünde kıyı eğimi, dane çapı ve periyot gibi parametreler de hesaba katılmaktadır.

Sayısal çözüm için hazırlanan bilgisayar programında Kamphuis'ün (2000) verdiği dönme ifadelerinden faydalanılmıştır. Özellikle sınır şartları ve mahmuz sistemlerinin korunan bölgelerinde Bölüm 2'de ayrıntılı olarak verilen dönme formülü kullanılmıştır. Dönme katsayılarının CERC'te (1984) verilen grafikler yerine Kamphuis'ün (2000) ifadelerinden hesaplanmasının sebebi ise ağ sisteminde bu ifadelerin daha hassas sonuç vermesidir.

Geliştirilen sayısal model yardımıyla gerek Karaburun Balıkçı Barınağı'nın kumlanma probleminin ve gerekse kıyı çizgisi değişiminin önlenmesi amacıyla Bölüm 4'de görüldüğü gibi bir mahmuz sisteminin yerleştirilmesi gerekmektedir. İnşaat sırasında öncelikli olarak aşağı kıyıdan yani Balıkçı Barınağı'na yakın (batıdan) mahmuzdan başlanmalıdır. Barınağa yakın ilk mahmuzun öncelikli yapılması barınağın korunmasını sağlayacağı gibi aşağı kıyının erozyona uğramasını da engellemiş olacaktır.

Bu yapılanmanın gerçekleşmesinden sonra yapay plaj oluşumu kesinlikle izlenmelidir ve doğal yapının bozulmaması için kıyıdan kumun uzaklaştırılmasına mücade edilmemesi gerekmektedir. Aşağı kıyıda kumun bypass ederek barınak ağzında yeniden kumlanmaya neden olabileceği uzun dönemde de burada yığılan kumun alınarak yukarı kıyıya besleme yapılması gerekmektedir.

Ayrıca bu çalışmada önerilen yöntemler doğrultusunda, kıyı çizgisinin değişimi, dalga ölçümleri ve batimetri çalışmaları yardımıyla izlenmek zorundadır. Bu nedenle saha çalışmalarının devam ettirilmesi projenin gerçekleştirilmesi için gereklidir. Bu yörede doğru dalga verileri oluşturmak için düzenli dalga ölçümlerinin yapılması ve doğru ölçülmüş rüzgar verilerinden elde edilmiş dalga istatistiğinin oluşturulması gerekmektedir. Yapılacak bu çalışma yöredeki kıyı çizgisi değişiminin doğru olarak gözlemlenmesi ve mevcut problemlerin çözülmesi için gereklidir.

KAYNAKLAR

- Abbott, M. B., (1979), Computational Hydraulics-Elements of the Theory of Free Surface Flow, Pitman Press.
- Abramowitz, M ve Stegun, I., (1965), Handbook of Mathematical Functions, Dover press.
- Bakker.,W. T., (1968), "The Dynamics of a Coast with a Groin System", Proc. 11th Int. Conf. on CO. Eng., ASCE, London, pp 492-517
- Bailard, J. A., (1981), "An Energetics Total Load Sediment Transport Model for a Plane Sloping Beach", Journal of Geophysical Research 86, C11, pp 938-954.
- Bijker, E. W., (1971), "Longshore Transport Computations", Journal of Waterways, Harbours and Coastal Eng. Division, ASCE, Vol 97, pp 687-701.
- Briand, M. H. G. ve Kamphuis, J. W., (1990), "A Micro Computer Based Quasi 3-D Sediment Transport Model", Proc. 22nd Int. Coastal Eng. Conf., ASCE, pp 2159-2172.
- Bruun., P., (1954), "Coast Erosion and the Development of Beach Profiles", Beach Erosion Board Tech. Memo. No. 44, U. S. Army Corps of Eng.
- Bruun., P., (1962), "Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion", Journal of Waterways and Harbours Divisions, Vol. 8, pp 117-130.
- Bruun., P., (1988), "The Bruun Rule of Erosion By Sea-Level Rise", Journal of Coastal Research, Vol. 4, No. 4, pp 627-648.
- CERC., (1984), Shore Protection Manual, Co. Eng. Res. Center, U. S. Corps of Eng., Vicksburg.
- Coastal Engineering Manual, (1998), Part 3, U.S. Army, Corps of Engrs., Coastal Engrg. Research Center, U.S. Govt. Printing Office.
- Dabees, M. A. ve Kamphuis, J. W., (1998), "ONELINE, a Numerical Model for Shoreline Change", Proc. 27th Int. Conf. on Co. Eng.,ASCE, Sydney.
- Dabees, M. A., (2000), Efficient Modelling of Beach Evolution, Ph. D. Thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.
- Dally, W. R. ve Dean, R.G., (1984), "Suspended Sediment Transport and Beach Profile Evolution", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol 110, No. 1, pp 15-33.
- Damgaard, J. S. ve Soulsby, R. L., (1997), "Longshore Bed-load Transport", Proc. 25th Int. Conf. Coastal Eng., Orlando, 3, pp. 3614-3627., ASCE.
- Davies, M. H. ve Kamphius, J. W., (1985), "Littoral Transport Rate", Proc. Canadian Coastal Conference, St John's, pp 223-240.

- Dean, R. G., (1977), "Equilibrium Beach Profiles, U. S. Atlantic and Gulf Coasts", Tech. Rep. No. 12, U. Delaware, Newark.
- Dean, R. G. ve Yoo, C., (1993), "Predictability of Beach Nourishment Performance", Beach Nourishment Engineering and Management Considerations, Proc. Co. Zone'93, ASCE, New Orleans, pp 86-102.
- De Vriend, H. ve Bakker, W. Th., (1993), "Sedimentary Processes and Morphological Behaviour Models for Mixed-Energy Tidal Inlets", Report H1887, Delft Hydraulics, The Netherlands.
- Fleming, C. A., (1977), "The Development and Application of a Mathematical Sediment Transport Model", Phd. Thesis, University of Reading.
- Fleming, C. A. ve Swart, D. H., (1982), "Nee Framework for Prediction of Longshore Currents", Proc. 18th International Conference on Coastal Engineering, Cape Town, Vol II, Chapter 99, pp 1640-1658.
- Goda, Y., (1985), Random Seas and Design of Maritime Structures, U. Tokyo Press.
- Graaff, J. Van de ve Overeem, J. Van (1979), "Evaluation of Sediment Transport Formulae in Coastal Engineering Practice", Coastal Eng., Vol 3, pp 1-32.
- Güler, I., Darama, Y. ve Kökpınar, M. A., (2002), "Kızılırmak Ağzı Kıyı Çizgisi Değişimi", IV. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Cilt 2, 24-27 Ekim 2002, Antalya.
- Hanson, H., ve Kraus, N. C., (1985), "Seawall Constraint in Shoreline Numerical Model", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering (ASCE), Vol. 111, No. 6, pp. 1079-1083.
- Hanson, H., ve Kraus, N. C., (1986), "Seawall Boundary Condition in Numerical Models of Shoreline Evolution" Department of The Army, Technical Report (CERC-86-3).
- Hanson, H., ve Kraus, N. C., (1989), "Genesis: Generalized Model for Simulating Shoreline Change", CERC Report 89-19, U. S. Corps of Eng., Vicksburg.
- Hoffman, J. D., (1992), Numerical Methods for Engineering, Gulf Publishing, Houston.
- Hudson, S. A., (1961), "Laboratory Investigation of Rubble-mound Breakwaters", Trans ASCE, Vol. 126, pp.492-541.
- Jayakumar, ve Mahadevan, R., (1993), "Numerical Simulation of Shoreline Evolution Using a One Line Model", Journal of Coastal Research, Vol. 9, No. 4, pp. 915-923.
- Kamphuis, J. W., (1991), "Along Shore Sediment Transport Rate", J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, Vol 117, pp 624-640.
- Kamphuis, J., W., (2000), Introduction to Coastal Engineering and Management, Adv. Ser. On ocean Eng., Vol. 16, World Scientific.

Kraus, N. C. ve Harikai, S., (1983), "Numerical Model of the Shoreline Change at Oarai Beach", Coastal Eng., 7, 1-28.

Kriebel, D. L. ve Dean, R. G., (1984), "Beach and Dune Response to Severe Storms", Proc. 19th Int. Coastal Engng. Conf., ASCE, pp 1584-1599.

Larson, M., Hanson, H., ve Kraus, N. C., (1987), "Analytical Solutions of the One-Line Model of Shoreline Change", CERC Report 87-15, US Corps of Engineers, Vicksburg.

Larson, M. ve Kraus, N. C., (1989), "SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm Induced Beach Change", Technical Report CERC-89-9, Coast. Eng. Res. Center, U.S. Army Eng. Waterway Experiment Station, Vicksburg, Miss.

Le Mehaute, B. ve Brebner, A., (1960), "An Introduction to Coastal Morphology and Littoral Processes", CE Rep. 14, Queen's U., Kingston.

Le Mehaute, B. ve Soldate, M., (1978), "Mathematical Modelling of Shoreline Evolution", Proc. 16th Int. Conf. on Co. Eng., ASCE, Hamburg, pp 1163-1179.

Le Mehaute, B. ve Soldate, M., (1980), "A Numerical Model for Predicting Shoreline Changes", Journal of Hydrological Research, 5, 67-88.

Nielsen, P., (1979), "Some Basic Concepts of Wave Sediment Transport", Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering Technical University of Denmark, Denmark, Series Paper, No:20.

Nielsen, P., (1985), "Short Manual of Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport", Technical Memorandum T. M. 85/1, Public Works Deparyment, N.S.W., Denmark.

Özhan, E., Abdalla, S., (1999), Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası, ODTÜ, İnşaat Müh. Bölümü, Deniz Müh. Araştırma Merkezi, Ankara.

Pelnard-Considere, R., (1956), "Essai de Theorie de l'Evolution des Formes de Rivage en Plages de Sable et de Galets", 4-ieme Journees de l'Hydraulique, Les engeries de la mer, Question III, Rapport No. 1.

Perlin, A. ve Kit, E., (1999), "Longshore Sediment Transport on Mediterranean Coast of Israel", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., Vol.125, No.2, pp 80-87.

Perlin, M. ve Dean, R.G., (1978), "Prediction of Beach Platforms with Littoral Controls", Proc. 16th Int. Conf. on Co. Eng., ASCE, Hamburg, pp 1818-1838.

Perlin, M. ve Dean, R.G., (1983), "A Numerical Model to Simulate Sediment Transport in the Vicinity of Coastal Structures", Report MR-83-10, U.S. Army Corps of Eng.

Perlin, M. ve Dean, R.G., (1987), "3-D Model of Bathymetric Response to Structures", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, 111(2), PP153-170.

PIANC, (1992), Analysis of Rubble Mound Breakwaters, Report of Working Group 12, Brussels.

Roelvink, J. A., Walstra, D. J. ve Chen, Z., (1994), "Morphological Modelling of Keta Lagoon Case" Proc. 25th Int. Conf. on Coast. Eng., Orlando, FL, ASCE, pp 3222-3236.

Sayao, O. F. S. J., Nairn, R. B. ve Kamphius, J. W., (1985), "Dimensional Analysis of Littoral Transport", Proc. Canadian Coastal Conf., St John's.

Shore Protection Manual, (1984), U.S. Army, Corps of Engrs., Coastal Engrg. Research Center, U.S. Govt. Printing Office.

Soulsby, R. L., (1997), Dynamics of Marine Sands, Thomas Telford Publications, London, England

Soulsby, R. L. ve Whitehouse, R. S. J. W., (1997), "Threshold of Sediment Motion in Coastal Environments", Proc. Pasific Coasts and Ports'97 Conf., Christchurch, 1, pp. 149-54. University of Canterbury, New Zealand.

Steetzel, H. J., (1995), "Modelling of Interrupted Coastline (in Dutch)", Report H1887, Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.

Swart, D. H., (1976), "Coastal Sediment Transport", Computation of Longshore Transport, Delft Hydraulics, The Netherlands, Report R968.

Van Der Meer, J.W. ve Ligteringen, J., (1997), Breakwater Design, IHE, Delft.

Van Rijn, L., C., (1998), Principles of Coastal Morphology, Amsterdam, The Netherlands.

Willis, D. H., (1978), "An Alongshore Beach Evolution Model", Report HY-92, National Research Council of Canada.

Yüksel, Y., Çevik, E., Çelikoğlu, Y. (1998), Kıyı ve Liman Mühendisliği, TMMOB, İMO Ankara Şubesi, Ankara.

Yüksel, Y. (2003), "Kıyı Mühendisliği 2", Ders Notları, YTÜ.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	27.03.1978	
Doğum yeri	Mut	
Lise	1989-1996	İçel Anadolu Lisesi
Lisans	1997-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2001-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2001-Devam ediyor YTÜ İnşaat Fakültesi Araştırma Görevlisi

