

**KIYIBOYU KATI MADDE TAŞINIM MODELLERİYLE DOĞU
KARADENİZ BÖLGESİNDE KIYI ÇİZGİSİ DEĞİŞİMLERİNİN
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Mustafa ŞAŞAL

(501940036012)

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKÜMAN YASAL KURUMU

100803

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Ağustos 2000

Tezin Savunulduğu Tarih : 6 Aralık 2000

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Cevat ERKEK (İ.T.Ü.)

Prof. Dr. M. Emin KARAHAN (İ.T.Ü.)

Prof. Dr. Sabahattin ÜÇ (Y.T.Ü.)

Prof. Lütü SALTABAS (SA.Ü.)

Tarık
Erkek
M. Emin Karahan
Sabahattin Üç
L. Saltabaş

ARALIK 2000

ÖNSÖZ

Ülkemiz çok uzun bir kıyı şeridine sahiptir. Çeşitli amaçlarla yakın kıyıda inşa edilen deniz yapıları varolan doğal dengeyi değişime zorlamaktadır. Ayrıca denize katı madde taşıyan akarsular üzerinde yapılan barajlarda, adeta katı madde kapanı gibi davranarak akarsu ağzı etrafında oyulmalara neden olmaktadır. Bunların sonucu olarak kıyı çizgisi değişime uğramaktadır.

Bu çalışmada Ordu-Efirli Kumbaşı sahilinde 12 yılda meydana gelen kıyı çizgisi değişimleri, çeşitli kıyıboyu katı madde modelleri kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Tek-Çizgi teorisinin analitik ve sayısal çözümleri elde edilmiştir. Bölgede kıyı çizgisi değişimini en iyi temsil eden kıyıboyu katı madde modeli ile yine bölgeye özgü katsayılar belirlenmiştir.

Çalışmalarım esnasında bana her türlü desteği veren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU'na, ayrıca teşviklerini esirgemeyen Sayın Prof. Lütfi SALTABAŞ ile arazi ölçümleri ve düzelti aşamalarında yardımcı olan Yük. Mim. İsmail Hakkı DEMİR'e teşekkür ederim.

Aralık 2000

Mustafa ŞAŞAL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xiii
SUMMARY	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel	1
1.2. İncelenen Konunun Tanımı	2
1.3. Yapılacak Çalışma	4
2. RÜZGAR DALGALARININ MEKANİĞİ	6
2.1. Genel	6
2.2. Hidrodinamik Esaslar	6
2.3. Yüzey Ağırlık Dalgaları	8
2.4. Küçük Genlikli Dalga Teorisi	10
2.4.1. Yüzey Profili	12
2.4.2. Dalga Yayılma Hızı	12
2.4.3. Su Parçacıklarının Hızı	13
2.4.4. Basınç Alanı	14
2.4.5. Dalga Enerjisi	15
2.4.6. Enerji Akısı	17
2.4.7. Dalga Grup Hızı	18
2.4.8. Momentum Akısı ve Yayılma Gerilmesi	19
3. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	22
3.1. Genel	22
3.2. Kıyıboyu Katı Madde Debisi ile İlgili Çalışmalar	22

3.3. Kıyı Çizgisinin Değişimi ile İlgili Çalışmalar	41
4. KIYILARDA KATI MADDE HAREKETİ	45
4.1. Genel	45
4.2. Dalga Gücü (Enerji Akısı) Modeli	46
4.3. Bagnold Denklemi (Akıntı Gücü Modeli)	50
4.4. Literatürde Kıyıboyu Katı Madde Debisi Modelleri	53
4.5. Çalışmada Kullanılan Kıyıboyu Katı Madde Debisi Modelleri	59
5. KIYI ÇİZGİSİ DEĞİŞİMİNİN MODELLENMESİ	60
5.1. Genel	60
5.2. Tek Çizgi Teorisi	61
5.3. Kıyı Çizgisi Değişimi İçin Analitik Metod	65
5.4. Kıyı Çizgisi Değişimi İçin Sayısal Metod	66
5.5. Çalışmada Kullanılan Kıyı Çizgisi Modeli	68
6. UYGULAMA ALANI VE ÖZELLİKLERİ	69
6.1. Genel	69
6.2. Dalga ve Feç Mesafesi Tahminleri	71
6.3. Batimetri	74
6.4. Katı Madde Özellikleri	74
7. MATEMATİK MODEL ÇÖZÜMLERİ VE UYGULAMALAR	75
7.1. Genel	75
7.2. Analitik Çözümler	76
7.2.1. Bir Nehir Ağzı Etrafında Kıyı Çizgisi Değişiminin Analitik Çözümü	76
7.2.2. Bir Mahmuz Etrafında Kıyı Çizgisi Değişiminin Analitik Çözümü	80
7.3. Sayısal Çözümler	81
7.3.1. SPM Bağıntıları ile Çözüm	82
7.3.2. Swart Bağıntısı ile Çözüm	86
7.3.3. Valle Bağıntısı ile Çözüm	87

7.3.4. Bailard Bağıntısı ile Çözüm	88
7.3.5. Kamphuis ve Readshaw Bağıntısı ile Çözüm	89
7.3.6. Kamphuis 1986 Bağıntısı ile Çözüm	91
7.3.7. Kamphuis 1991 Bağıntısı ile Çözüm	92
8. DEĞERLENDİRMELER	95
8.1. SPM Bağıntısındaki K Katsayısının Etkisi	95
8.2. Kumsal Özelliklerinin Etkisi	96
8.2.1. Dane İriliğinin Etkisi	96
8.2.2. Taban Eğiminin Etkisi	97
8.2.3. Dane Çökelme Hızının Etkisi	98
8.2.4. Kapanma Derinliğinin Etkisi	98
8.3. Rüzgar ve Dalga Özelliklerinin Etkisi	99
8.3.1. Dalga Yüksekliğinin Etkisi	99
8.3.2. Dalga Esme Yönünün Etkisi	100
8.3.3. Dalga Dikliğinin Etkisi	103
8.4. Irribaren Sayısının Etkisi	104
8.5. Dış Etkiler	105
8.5.1. Akarsuyun Etkisi	105
8.5.2. Kıyı Yapılarının Etkisi	106
8.6. Analitik ve Sayısal Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması	107
9. SONUÇLAR	109
KAYNAKLAR	113
ÖZGEÇMİŞ	

--- KISALTMALAR

CERC	: Coastal Engineering Research Center
DLH	: Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Gen. Mūd.
DSYSS	: Dinamik Serbest Yūzey Sınır Şartı
KSYSS	: Kinematik Serbest Yūzey Sınır Şartı
rms	: root-mean-square (Dalga yūkseklıklarının karelerinin ortalamasının karekōkū)
SPM	: Shore Protection Manual
TSS	: Tabanda Sınır Şartı



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 Kıyıboyu Katı Madde Debisi Modelleri.....	54
Tablo 6.1 Çalışma Alanında 2.3 m/s'den Büyük Ortalama Saatlik Rüzgarların Esme Süreleri (saat).....	72
Tablo 6.2 Dalga Karakteristikleri.....	73
Tablo 6.3 Kumbaşı Sahilinde Etkili Feç Mesafeleri (km).....	73
Tablo 6.4 Çalışma Alanının Çeşitli Yerlerinde Kumsal Malzemesinin Özellikleri (mm).....	74

— ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Tipik Kıyı Profili.....	2
Şekil 1.2 : Yakın Kıyı Dalga Dinamiği.....	3
Şekil 1.3 : Kıyı Çizgisinin Değişiminde Etkili Olan Faktörler.....	4
Şekil 2.1 : Dalga Parametreleri.....	8
Şekil 2.2 : Dalga Enerjisi Parametreleri.....	16
Şekil 2.3 : Dalga Grup Hızı.....	18
Şekil 4.1 : Batmış Kıyı Boyu Katı Madde Debisi ile Dalga Gücü Arasındaki İlişki (Komar, 1991).....	46
Şekil 4.2 : K katsayısının Ortalama Dane Çapı İle Değişimi.....	47
Şekil 4.3 : Kırılma Bölgesi İçinde Kıyıboyu Katı Madde Akısının Düşey Dağılımı (Kraus ve Dean, 1987).....	52
Şekil 4.4 : Boyutsuz Kıyıboyu Katı Madde Taşınımının Kıyıya Dik Yöndeki Dağılımı (Bodge ve Dean, 1987).....	53
Şekil 5.1 : Zaman ve Mekan Ölçeğinde Kıyı Hareketleri (Larson ve Kraus, 1995).....	61
Şekil 5.2 : Tek Çizgi Teorisinde Kıyı Çizgisinin Yer Değiştirmesi.....	62
Şekil 5.3 : Kıyı Çizgisi ile Gelen Dalga Arasındaki İlişki.....	64
Şekil 5.4 : Tek Çizgi Modelinin Sonlu Farklarda Şematik Gösterimi.....	67
Şekil 6.1 : Çalışma Bölgesi.....	70
Şekil 6.2 : Kumbaşı Kumsalında Kıyı Çizgisinin 1959-1998 Yılları Arasındaki Değişimi.....	71
Şekil 7.1 : Bir Nehir Ağzı Etrafında Kıyı Çizgisi Değişiminin Analitik Çözümü.....	79
Şekil 7.2 : Bir Mahmuz Etrafında Kıyı Çizgisi Değişiminin Analitik Çözümü.....	81
Şekil 7.3 : SPM Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin N+NE+NNW Dalga Durumunda Değişimi.....	83
Şekil 7.4 : NNW+NE+N Dalga Etkisinde $K=0.10$ için Dört Denk Formdaki SPM Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Değişimi.....	84
Şekil 7.5 : Hanson and Kraus Bağıntısı ile Değişik Dalga Durumlarında Kıyı Çizgisinin Değişimi.....	85
Şekil 7.6 : Swart Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Değişik Dane Çaplarında Değişimi.....	86
Şekil 7.7 : Valle Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Değişik Dane Çaplarında Değişimi.....	88
Şekil 7.8 : Bailard Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Değişimi.....	89
Şekil 7.9 : Kamphuis ve Readshaw Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Farklı Taban Eğimlerinde Değişimi.....	90
Şekil 7.10 : Kamphuis 1986 Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin 1/50 Taban Eğiminde Farklı Dane Çaplarında Değişimi.....	92

Şekil 7.11	: Kamphuis 91 Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin 1/50 Taban Eğimi ve Farklı Dane Çaplarında Değişimi.....	94
Şekil 8.1	: Kamphuis 1986 Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin $D=0.4$ mm Dane Çapı ve Farklı Taban Eğimlerinde Değişimi.....	97
Şekil 8.2	: Kamphuis 1991 Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin $D=0.4$ mm Dane Çapı ve Farklı Taban Eğimlerinde Değişimi.....	98
Şekil 8.3	: Dalga Yüksekliğinin Kıyı Çizgisi Değişimi Üzerindeki Etkisi.....	100
Şekil 8.4	: SPM Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Farklı Dalga Geliş Yönlerine Göre Değişik Dalga Durumlarında Değişimi.....	101
Şekil 8.5	: Kamphuis 1986 Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin 1/50 Taban Eğimi ve $D=0.4$ mm Dane Çapında Farklı Dalga Geliş Yönlerine Göre Değişimi.....	102
Şekil 8.6	: Kamphuis 1991 Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin $m=1/50$ Taban Eğimi ve $D=0.4$ mm Dane Çapı için Farklı Dalga Geliş Yönlerine Göre Değişimi.....	102
Şekil 8.7	: Dalga Dikliğinin Kıyı Çizgisi Değişimi Üzerindeki Etkisi....	104
Şekil 8.8	: SPM Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Nehir Etkisinde Değişimi.....	105
Şekil 8.9	: Kamphuis 1991 Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Nehir Etkisinde Değişimi.....	106
Şekil 8.10	: Analitik ve Sayısal Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	107

— — — SEMBOL LİSTESİ

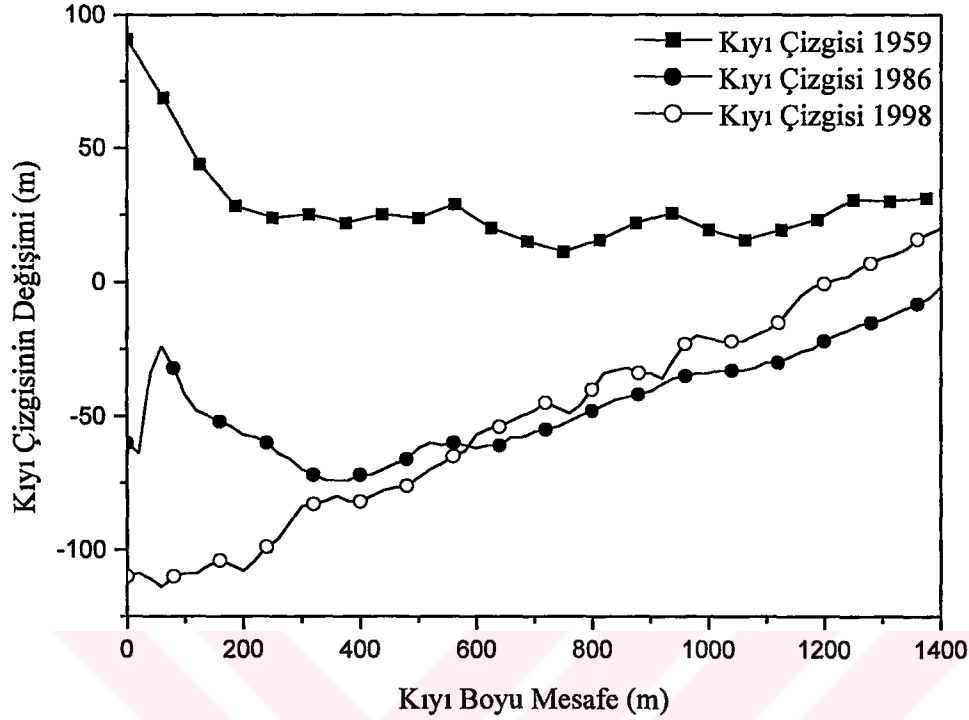
A	: Alan
a	: Dalga genliği
a'	: Porozite
b	: Dalga ortogonalleri arasındaki mesafe
b₀	: Açık denizde dalga ortogonalleri arasındaki mesafe
c	: Konsantrasyon
c₁	: Boyutsuz katsayı
c_f	: Taban sürtünme katsayısı
C	: Dalga yayılma hızı
C₀	: Açık deniz dalga grup hızı
C_b	: Kırılma anındaki dalga hızı
C_D	: Sürtünme katsayısı
C_g	: Dalga grup hızı
d	: Deniz tabanı ile sakin su seviyesi arasındaki derinlik
d_b	: Dalga kırılmasının olduğu yerdeki su derinliği
D	: Toplam su derinliği; kapanma derinliği; dane çapı; kıyı çizgisinin uzunluğu
D₅₀	: Ortalama dane çapı
e_b	: Sürüntü malzemesi verimlilik katsayısı
e_s	: Askı malzemesi verimlilik katsayısı
E	: Birim kret genişliği ve bir dalga boyundaki toplam enerji
$\bar{E}$	: Birim yüzey alandaki ortalama toplam enerji
$\bar{E}_0, \bar{E}_i$	: Açık denizde birim yüzey alandaki ortalama toplam enerji
E_k	: Birim kret genişliği ve bir dalga boyundaki kinetik enerji
E_p	: Birim kret genişliği ve bir dalga boyundaki potansiyel enerji
F	: Feç uzunluğu
F_a	: Kıyıboyu yayılma gerilmesi kuvveti
f	: Dalga frekansı
g	: Yerçekimi ivmesi
G	: Orantı sabiti
H	: Dalga yüksekliği
H_b	: Kırılma anındaki dalga yüksekliği
H_{rms}	: Dalga yüksekliklerinin karelerinin ortalamasının karekökü
H_s	: Belirgin dalga yüksekliği
i	: Birim genişlikten geçen batmış katı madde miktarı
I_ℓ	: Kıyıboyu katı madde taşınımının batmış ağırlığı
k_q	: Boyutlu katsayı
K	: Kıyıboyu taşınımın batmış ağırlığının kıyıboyu enerji akısı faktörüne oranından elde edilen boyutsuz katsayı
K'	: Bagnold denkleminde boyutsuz katsayı
K_r	: Sapma katsayısı
K_s	: Sıgılaşma katsayısı

K_z	:Herhangi bir derinlikte basınç davranış faktörü
k	:Dalga sayısı
ℓ_b	:Kırılma bölgesinin genişliği
L	:Dalga boyu
L_b	:Kırılma anındaki dalga boyu
L_0	:Açık deniz dalga boyu
m	:Kumsal taban eğimi
p	:Porozite
P	:Basınç; enerji akısı
P_ℓ	:Dalga enerji akısının kıyıboyu bileşeni
q	:Birim genişlikten geçen hacimsel katı madde miktarı; birim yanal katı madde debisi
Q_g	:Brüt kıyıboyu katı madde debisi
Q_l	:Karadan denize bakıldığında sola doğru kıyıboyu katı madde debisi
Q_n	:Net kıyıboyu katı madde debisi
Q_ℓ	:Kıyıboyu hacimsel taşınım debisi
Q_r	:Karadan denize bakıldığında sağa doğru kıyıboyu katı madde debisi
Q_s	:Kıyıboyu kütleli taşınım debisi
R_c	:Kritik debi parametresi
R_s	:Stabilite parametresi (Courant sayısı)
S_g	:Katı maddenin spesifik gravitesi
S_{xx}	:x düzleminde x yönünde momentum akısı
S_{yy}	:y düzleminde y yönünde momentum akısı
S_{xy}	:x düzleminde y yönünde momentum akısı
t'	:Boyutsuz zaman
T	:Dalga periyodu
T_s	:Belirgin dalga periyodu
T_p	:Açık denizde pik dalga periyodu
t	:Zaman
u	:x yönündeki hız bileşeni
u_m	:Taban yakınında yörüngesel hızın maksimum yatay bileşeni
v	:y yönündeki hız bileşeni
V	:Ortalama kıyıboyu akıntı hızı
w	:Dane çökme hızı; z yönündeki hız bileşeni
x'	:Boyutsuz kıyıboyu mesafe
x	:Koordinat ekseni
y	:Koordinat ekseni
y'	:Boyutsuz kıyı çizgisinin değişimi
z	:Koordinat ekseni
Δ	:Değişim veya cebirsel fark
α	:Kıyı çizgisi ile gelen dalga arasındaki açı; orantı sabiti
α_0	:Kıyı çizgisi ile açık deniz dalga cephesi arasındaki açı
α_b	:Kıyı çizgisi ile kırılan dalga cephesi arasındaki açı
α_x	:Su parçacığının x yönündeki ivmesi
α_z	:Su parçacığının z yönündeki ivmesi
β	:Sığ suda kırılma anında su derinliğinin dalga yüksekliğine oranı; katsayı; kumsal taban açısı
ε	:Boyutlu katsayı
ϕ	:Potansiyel fonksiyonu

γ	: Akışkanın özgül ağırlığı
γ_b	: Kırılma indeksi
γ_s	: Katı maddenin özgül ağırlığı
η	: Dalga durumunda sakin su seviyesi ile su yüzeyi arasındaki fark
λ	: Boyutsuz sayı
μ	: Akışkanın dinamik viskozitesi; boyutsuz sayı
ν	: Akışkanın kinematik viskozitesi
π	: Sabit (=3.14159)
θ	: Shields sayısı
ρ	: Akışkanın özgül kütlesi (Deniz suyu için 1020 kg /m ³)
ρ_s	: Katı maddenin özgül kütlesi (Kuvartz için 2650 kg /m ³)
σ	: Dalga açısıl frekansı
τ	: Taban kayma gerilmesi
ω	: Akışkan parçacığı açısıl hızı
ξ	: İrribaren sayısı; su parçacığının yörünge eksenine göre düşey yönde yer değiştirmesi; boyutsuz sabit sayı
ψ	: Akım fonksiyonu
ζ	: Su parçacığının yörünge eksenine göre yatay yönde yer değiştirmesi



İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuvarında gerçekleştirilen çalışmalarla, bu mahmuzun önce balıkçı barınağı olarak işlev görmesi, daha sonra limana tevsi edilmesini öngören bir rapor hazırlanmıştır.



Şekil 2. Kumbaşı Kumsalında Kıyı Çizgisinin 1959-1998 Yılları Arasındaki Değişimi

Kumsal, yaklaşık doğu batı istikametinde uzanan, bir tarafında doğal mahmuz gibi davranan Çamburnu, diğer tarafında ise mahmuz ile sınırlı dar bir kumsaldır. Bu kumsal iki ucundan katı madde giriş ve çıkışına izin vermeyen bir kıyı hücresi gibi ele alınabilir. Hesap sınırının da başlangıcı olan ve mahmuzun 1400 m batısında denize dökülen Akçaova Çayı az miktarda katı madde taşımaktadır. Bölgeden alınan kum numunelerinin yapılan elek analizleri sonucunda ortalama dane çapının 0.35 ile 0.40 mm arasında, kırılma bölgesi içinde ortalama taban eğiminin 1/50 olduğu görülmüştür. Derin deniz dalga karakteristikleri yerel rüzgar verilerinden tahmin edilmiştir. 5 yıllık rüzgar verilerinin değerlendirilmesi ile en çok kıyıboyu katı madde taşınımını oluşturacak ve dolayısıyla kıyı çizgisinin değişimine neden olacak etkili yönlerin NNW, N ve NE olduğu bulunmuştur. Bu yönlerle ait dalga karakteristikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Dalga Karakteristikleri

Dalga Yönü	α_0 (°)	H_0 (m)	T (s)	L_0 (m)	H_b (m)	h_b (m)	α_b (°)	t (sa)
NNW	32.5	0.39	3.6	20	0.60	0.77	19	384
N	10	0.50	3.2	16	0.66	0.84	10	239
NE	-35	0.33	2.8	12	0.45	0.58	-14.5	120

Yukarıdaki tabloda, α_0 dalga geliş açısı, H_0 , T ve L_0 , sırasıyla derin denizde dalga yüksekliği, periyodu ve boyudur; H_b kırılan dalga yüksekliği, h_b kırılma noktasında

su derinliği, α_b kırılan dalgaların kıyı çizgisi ile yaptığı açı ve, t rüzgar esme süresidir.

Kıyı çizgisi değişiminin matematik modeli, kütleinin korunumu ilkesinden hareketle elde edilir. Kısaca bu model, kıyıboyu katı madde taşınımının, zamanla kıyı çizgisinin yer değiştirmesi ile meydana gelen hacimsel fark ile dengelendiğini ifade etmektedir. Tek Çizgi Teorisi diye de anılan katı madde denge denklemi

$$\frac{1}{D} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} \mp q = 0 \quad (1)$$

olarak bulunur. Burada Q kıyıboyu hacimsel katı madde debisi (m^3/s), y kıyı çizgisinin pozisyonu (m), D kapanma derinliği (deniz tarafında katı madde hareketinin olduğu maksimum derinlik) (m), q birim genişlik için yanal katı madde debisi (kuyu veya kaynak olabilir) ($m^3/s/m$), x kıyı çizgisine paralel eksen (m) ve t zaman (s)'dir. Bu denklemde bilinmesi gereken en önemli değişken kıyıboyu katı madde debisi Q 'dur. Kıyıboyu katı madde debisi için son elli yıl içerisinde, laboratuvar veya arazi çalışmaları neticesinde elde edilen ve birbirinden farklı parametrelerle ifade edilen pek çok model önerilmiştir. Bu çalışmada şu ana kadar önerilen modeller derlenerek bir tablo halinde verilmiştir. Pratik ve mevcut verilerle uygulanabilir olan on bir tanesi Kumbaşı kumsalında kıyı çizgisi tahmini için seçilmiştir. Bu modeller aşağıda verilecektir. Enerji akısı faktörünün (P) doğrusal bir fonksiyonu olarak yazılan ve çok yaygın kullanılan kıyıboyu katı madde taşınım debi bağıntısı

$$Q = K P = K (E C_g)_b \quad (2)$$

ile verilir. Burada K orantılılık katsayısı, E ve C_g sırasıyla kırılma anındaki dalga enerjisi ile dalga grup hızıdır. Hacimsel kıyıboyu katı madde debisi batmış ağırlık cinsinden yazılacak olursa

$$I = K P = Q (\rho_s - \rho) g (1 - p) \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada ρ_s ve ρ sırasıyla katı maddenin ve suyun özgül kütlesi, g yer çekimi ivmesi, p porozitedir. Orantılılık katsayısı K dalga yüksekliğinin rms (karelerinin karekökü) değeri için 0.70 belirgin dalga yüksekliği değeri için ise 0.30 kabul edilir. Fakat bazı araştırmacılar K 'yı ortalama dane çapı, kırılan dalga açısı, çökme hızı ve/veya İrribaren sayısına bağlı yazmışlardır. Aşağıdaki iki bağıntı K 'yı ortalama dane çapının fonksiyonu olarak

$$Q = 0.58 \log \left(\frac{1.46 \times 10^{-3}}{D_{50}} \right) H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (4)$$

ve

$$Q = (1.4 e^{-2.5 D_{50}}) H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (5)$$

şeklinde verir.

Katı madde karakteristikleri ile kırılma anındaki dalga açısına bağlı olarak ise

$$Q = \left(0.05 + 2.6 \sin^2(2\alpha_b) + 0.007 \frac{U_{mb}}{w} \right) H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (6)$$

ile verilmiştir. Burada U_{mb} daneciğin yörüngesel hızı, w dane çökme hızıdır. K 'nın ırribaren sayısına bağılı ifadesi ise

$$Q = 0.0607 \frac{m}{(H_{brms}/L_0)^{0.5}} H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (7)$$

şeklinde verilir. Bu ifadede m taban eğimi, H_{brms} and H_{bs} sırasıyla kırılma anındaki rms ve belirgin dalga yükseklikleridir. Kıyıboyu katı madde debisinin kumsal ve dalga parametrelerine bağılı verilen iki farklı bağıntısı

$$Q = 1.28 \frac{m H_{sb}^{7/2}}{D_{50}} \sin(2\alpha_b) \quad (8)$$

ve

$$Q = 6.4 \times 10^4 H_{sb}^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} D_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad (9)$$

olarak yazılmıştır. Burada D_{50} ortalama dane çapı, T_p pik periyotdur.

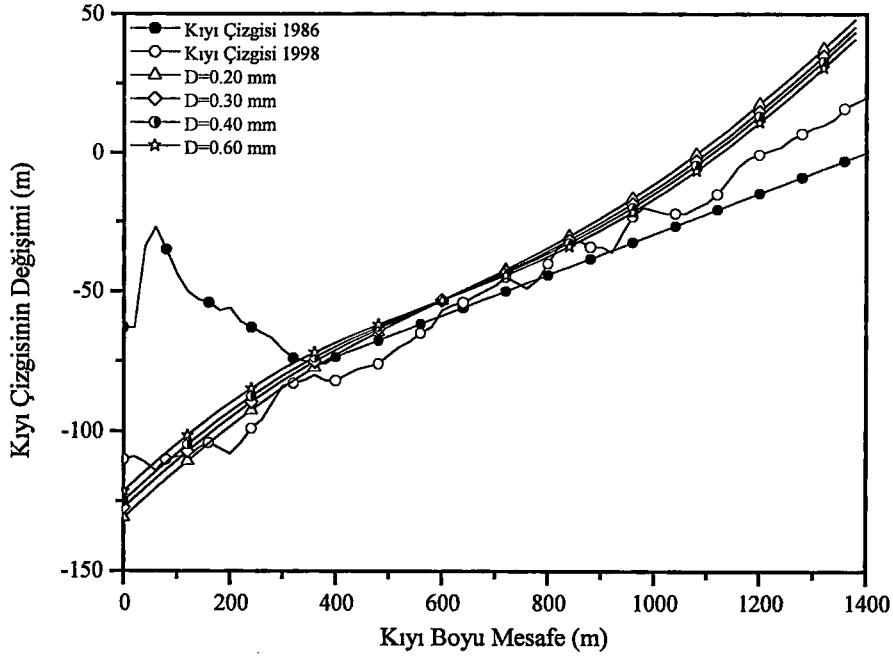
(1) denkleminin uygun başlangıç ve sınır şartları altında sayısal çözümü yapılabilir. Mahmuzda katı madde geçişi olmadığından bu sınır şartında $Q=0$ yazılır. (1) denkleminin sonlu farklarda açık şeması yazılacak olursa

$$y_i^{n+1} = y_i^n + \frac{\Delta t}{D \Delta x} (Q_i^n - Q_{i+1}^n) + \left(\frac{\Delta t}{D} q \right) \quad (10)$$

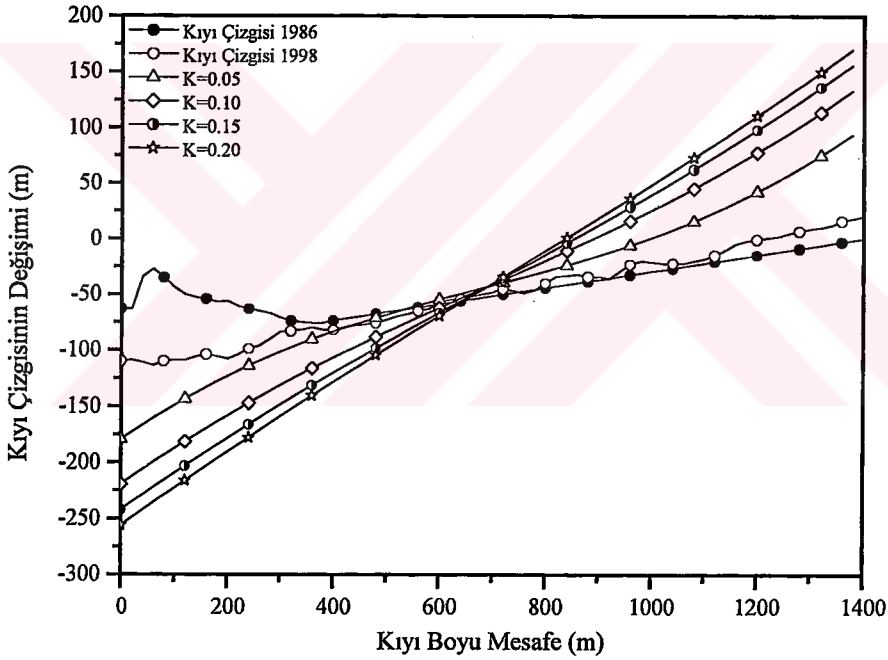
ile ifade edilir. Burada y_i^n şimdiki zaman adımı ve i sonlu fark elemanındaki kıyı çizgisinin pozisyonu, y_i^{n+1} bir sonraki zaman adımı ve i sonlu fark elemanındaki kıyı çizgisinin pozisyonu, Q_i^n ve Q_{i+1}^n sırasıyla şimdiki zaman adımı i ve $i+1$ sonlu elemanında kıyıboyu katı madde taşınımı, Δt zaman adımı and Δx mesafe adımı. Bu sonlu fark ifadesi için, Courant sayısı da denilen kararlılık kriteri R_s 'nin

$$R_s = \frac{2 K \Delta t H_b^2 C_{gb}}{D (\Delta x)^2} \leq \frac{1}{2} \quad (11)$$

0.5'den küçük olması gerekir. Kumbaşı kumsalında kıyı çizgisi değişimleri Tek Çizgi modelinin sayısal çözümü ile elde edilmiştir. Sayısal çözümde 1986 yılı ölçümleri başlangıç ve iki ucun geçirimsiz olduğu durum sınır şartı olarak kabul edilmiştir. Kıyıboyu katı madde debisi yerine (2) ile (4)~(8) ifadeleri yerleştirilerek, 12 yıl sonraki kıyı çizgisi bulunmuştur. Bu sonuç 1998 yılında alınan ölçüm ile karşılaştırılmıştır. Doğu Karadeniz bölgesi şartlarında kıyı çizgisinin değişimini en iyi (9) bağıntısının tahmin ettiği sonucuna varılmıştır (Şekil 3). K katsayısının çeşitli değerlerinde en yaygın kullanılan (2) bağıntısı ile elde edilen kıyı çizgisi değişimleri Şekil 4'de verilmiştir. Bu şekilden kıyı çizgisi değişiminin belirlenmesinde, K 'nın genelde tavsiye edilen değeri 0.30 yerine 0.05 civarında olduğu görülmektedir.



Şekil 3. (9) Denklemi ile Farklı Dane Çaplarında Kıyı Çizgisinin Değişimi



Şekil 4. (2) Denklemi ile Farklı K Değerlerinde Kıyı Çizgisinin Değişimi

Sonuç olarak kıyı çizgisi tahmininde (9) bağıntısı kullanılmalıdır. Kıyıboyu katı madde debisinin enerji akısı faktörü ile doğrusal ilişkili olmadığı ve debinin dalga ve kumsal özelliklerine bağlı olduğu anlamına gelmektedir. Kıyı çizgisinin değişimini etkileyen en önemli parametrelerin sırasıyla; dalga yüksekliği, pik dalga periyodu, kırılan dalga açısı, taban eğimi ve ortalama dane çapı olduğu söylenebilir. Bu değişkenler mümkün olduğu kadar doğru tahmin edilmeli veya ölçülmelidir. Ayrıca sayısal model gerçeğe en yakın şekilde tanımlanmalıdır.

INVESTIGATION OF THE SHORELINE EVOLUTION AT THE EASTERN BLACK SEA REGION WITH LONGSHORE SEDIMENT TRANSPORT MODELS

SUMMARY

The littoral zone is the dynamic interface between the ocean and the land. Bounded on one side by the landward limit of the beach and extending seaward to just beyond the zone of wave breaking, it is the region where wave energy dissipates over a distance of tens to hundreds of meters. A dynamic balance is established between processes and morphology in which the beach, waves, and currents interact. Natural variability in littoral processes, such as in wave height, period, and direction, or the rate that littoral material is supplied to a region, are responsible for beach and evidently shoreline displacements. Modifications to the system such as changing wave conditions, introduction of engineering structures, and altered quantity or type of sediment, all causes the dynamic balance to readjust toward the equilibrium beach state.

In this study, the shoreline evolution of Kumbaşı Beach near Ordu province by the Black Sea is predicted employing various longshore transport models proposed by different researchers in literature (Figure 1).

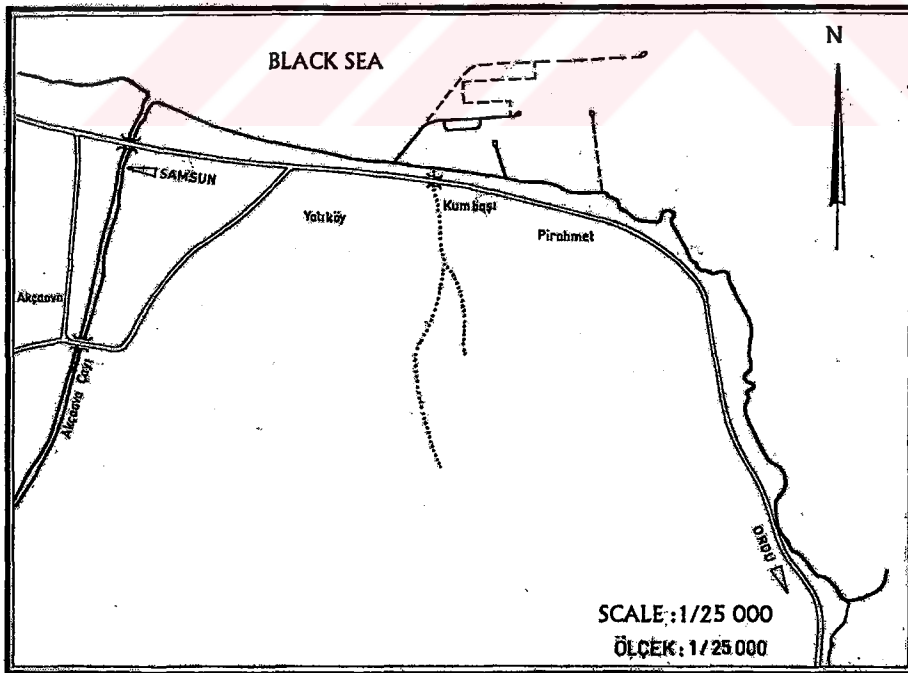


Figure 1. Plan of Study Area

This beach has been experienced severe erosion form 1959 to 1986 at which a groin was constructed by DLH (General Directorate of Railways, Airports, and Ports

Construction of Turkey) with a planned extension it to a fishery basin at first stage and a port second (Figure 2). In 1991, the fishery basin has been completed following the suggestions provided by a report prepared by faculty of Hydraulic Laboratory of Istanbul Technical University.

The computational domain of the study area is a narrow beach stretching almost east-to-west direction surrounded by the groin at east end and Çamburnu at west side, like a natural groin. So, beach to be studied can be treated as a littoral cell between one natural the other man-made headland not permitting the sand transport through them. Akçaova River from 1400 m west of the groin, where also beginning of the solution domain, delivers small amount of the sediment to the littoral system. Sediment characteristics of the beach have been also investigated and representative mean diameter can be taken as .35 or .40 mm for this beach and mean bottom slope as 1/50 from bathymetry of the surf zone. In the applications, the deep water wave characteristics have been estimated using local wind data. After analysis of 5-year wind data, NNW, N, and NE have been found as the most predominant directions effecting longshore sand transport and hence shoreline evolution, of which parameters are given following (Table 1).

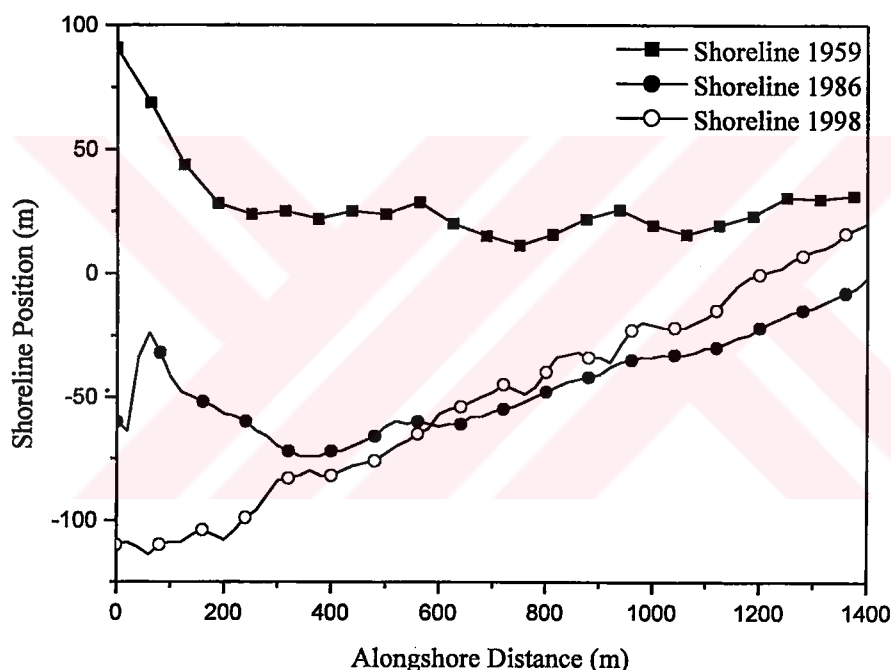


Figure 2. Shoreline Evolution of Kumbaşı Beach from 1959 to 1998

Table 1. Hindcasted Wave Characteristics

Wave Direction	α_0 (°)	H_0 (m)	T (s)	L_0 (m)	H_b (m)	h_b (m)	α_b (°)	t (hr)
NNW	32.5	0.39	3.6	20	0.60	0.77	19	384
N	10	0.50	3.2	16	0.66	0.84	10	239
NE	-35	0.33	2.8	12	0.45	0.58	-14.5	120

In table 2, α_0 is the incident wave angle H_0 , T, and L_0 , wave height, period and length in deep water, respectively; and H_b breaking wave height, h_b depth of water at breaking, α_b breaking wave angle, t duration of wind.

Mathematical modeling of the shoreline evolution correlates the change of the beach volume due to the change in shoreline to the rate of material transported from the beach along the shore, obtained through mass conservation principle. Sediment balance equation called One-Line Theory (denoting shoreline) is given as

$$\frac{1}{D} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} \mp q = 0 \quad (1)$$

where Q is the volumetric longshore sediment transport rate (m^3/s), y is the ordinate of shoreline position (m), D is the depth of closure which is the maximum seaward depth for sand motion (m), q denotes the source or sink of sand per unit length of beach ($m^3/s/m$), x is the space coordinate along the axis parallel to the trend of the shoreline (m), and t is the time (s). In this formulation, the most critical issue is to determine the longshore sediment transport rate, Q . During the last half of the century, many models obtained through either in laboratory or in field having different parameters in their formulations have been proposed by researchers. A nearly complete compilation of the longshore sediment transport rate models also is provided in this study. Eleven of them that seem to be applicable with available data and to be practical were chosen to estimate the shoreline variations at Kumbaşı beach. Models employed in here will be presented below according to their relevance each other. The most widely used equation to estimate the volumetric longshore transport rate is given as linear function of the energy flux factor, P

$$Q = KP = K(EC_g)_b \quad (2)$$

in which K is the proportionality coefficient, E and C_g are the wave energy and group velocity evaluated at the breaker line, respectively. Another representation of the longshore sediment transport rate is the immersed weight transport rate, I , related to the volume transport rate by

$$I = KP = Q(\rho_s - \rho)g(1 - p) \quad (3)$$

where ρ_s and ρ mass density of sediment and water, respectively, g is the gravitational acceleration, p is void ratio of the sediment. The proportionality coefficient, K , is assumed as 0.70 for rms (root-mean-square) wave height and .30 for significant wave height over a long period. But some researchers have formulated the K such as the function of the mean diameter of sediment, breaking wave angle, fall velocity, and/or Iribaren parameter. Following two equations give the K in term of mean diameter

$$Q = 0.58 \log\left(\frac{1.46 \times 10^{-3}}{D_{50}}\right) H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (4)$$

and

$$Q = (1.4 e^{-2.5D_{50}}) H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (5)$$

And in terms of the breaking angle and sediment properties

$$Q = \left(0.05 + 2.6 \sin^2(2\alpha_b) + 0.007 \frac{U_{mb}}{w}\right) H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (6)$$

where D_{50} is the mean diameter, U_{mb} is orbital velocity of particle, and w is the fall velocity. Another formulation as a function of Irribaren parameter is given below

$$Q = 0.0607 \frac{m}{(H_{brms}/L_0)^{0.5}} H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (7)$$

where m is the bottom slope, H_{brms} and H_{bs} are rms and significant wave heights at breaking, respectively.

Also two other formulae in terms of beach and wave parameters are as follow

$$Q = 1.28 \frac{m H_{sb}^{7/2}}{D_{50}} \sin(2\alpha_b) \quad (8)$$

and

$$Q = 6.4 \times 10^4 H_{sb}^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} D_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad (9)$$

where T_p is the peak period.

Equation (1) can numerically be solved using appropriate initial and boundary conditions. For an impermeable boundary condition such as a jetty or a groin the boundary condition is $Q=0$ i.e. no transport at this point. In order to obtain solution of the problem, equation (1) is expressed in explicit finite difference scheme. This discretized finite different expression is given as

$$y_i^{n+1} = y_i^n + \frac{\Delta t}{D \Delta x} (Q_i^n - Q_{i+1}^n) + \left(\frac{\Delta t}{D} q \right) \quad (10)$$

where y_i^n is the shoreline position at grid i and present time step, y_i^{n+1} is the shoreline positions at grid i and next time step, Q_i^n and Q_{i+1}^n are the longshore sediment transports at grid i and $i+1$ at present time step, respectively, Δt time step and Δx space interval. For this explicit scheme, the stability criterion, Courant number, can be written as

$$R_s = \frac{2K \Delta t H_b^2 C_{gb}}{D(\Delta x)^2} \leq \frac{1}{2} \quad (11)$$

where R_s is the stability parameter.

Shoreline evolution of Kumbaşı beach is evaluated employing the numerical model of One-Line Theory defining the initial condition as the shoreline at 1986 and no permeable boundary conditions at two ends. Inserting the different longshore sediment transport rate models Equation (2) and Equations (4) to (8), shoreline evolution has been predicted for 12-year period and compared the measured shoreline at 1998. The best longshore sediment transport model representing the phenomenon in Eastern Black Sea Region is found as the Equation (9) (Figure 3). Shoreline evolutions employing Equation (2) for the different values of K , which is the most widely used model, are given in Figure 4. Instead of generally accepted value 0.30 for K , nearly 0.05 should be taken in shoreline evolution computation.

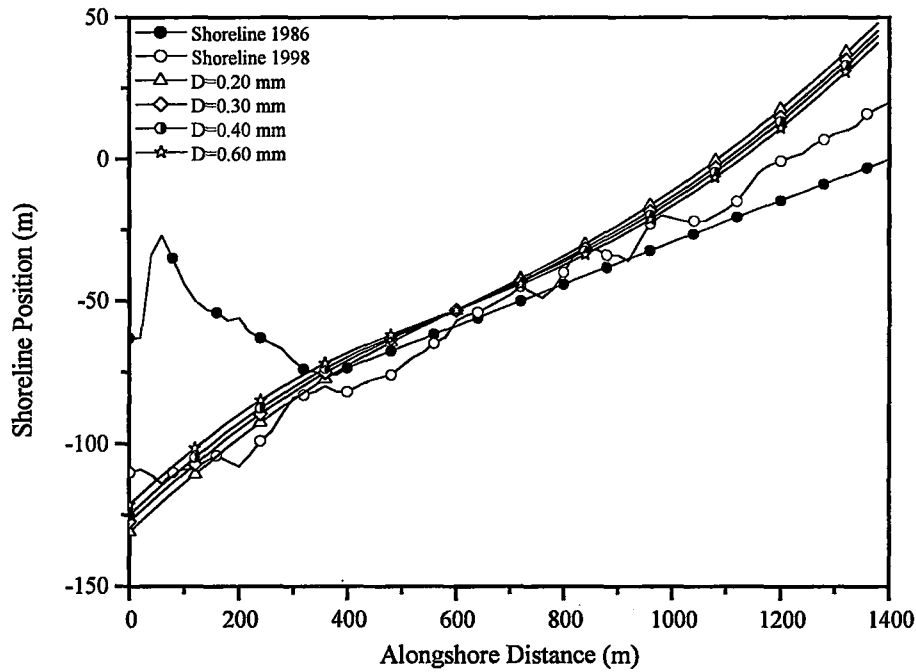


Figure 3. Shoreline Change for Different Mean Diameter Using Eq. (9)

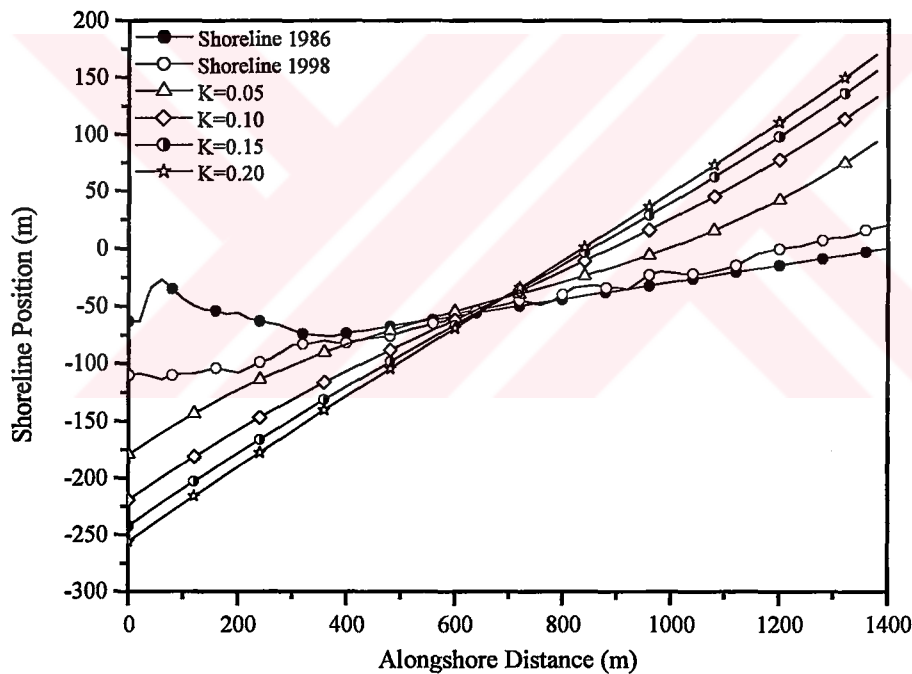


Figure 4. Shoreline Change for Different K Values Using Eq. (2)

To sum, Equation (9) is found most appropriate model for the accurate estimation for shoreline change and implying that the longshore transport rate should be a function of the beach and wave characteristics not only a linear related function of the energy flux factor. The most important parameters effecting the shoreline displacement are counted as wave height, peak wave period, breaking wave angle, bottom slope and mean diameter. Measurement or the estimation of these parameters should be done accurate as much as possible. Also, the input variables of the numerical model must be so selected that the system under consideration is best defined.

1. GİRİŞ

1.1 Genel

İnsanlık tarihinde çoğu yerleşim birimi sulak veya kıyı boyu bölgelerde yoğunluk kazanmıştır. Zamanımızda ise sanayi ve sanayi sonrası dönemde, modern toplum geçmişe göre sahil bölgelerine daha fazla ilgi göstermiştir. Turizmi en canlı olan ülkeler yaz turizmine sahip olan ülkeler olduğu gibi, en büyük ticaret merkezlerinin liman kentleri olduğu aşikardır.

Kıyı bölgelerindeki bu hareketlilik, beraberinde yapılaşmayı getirmiştir. Normalde kendi içinde bir denge sağlamış olan yakın kıyı, bu müdahaleye bir karşılık verecektir.

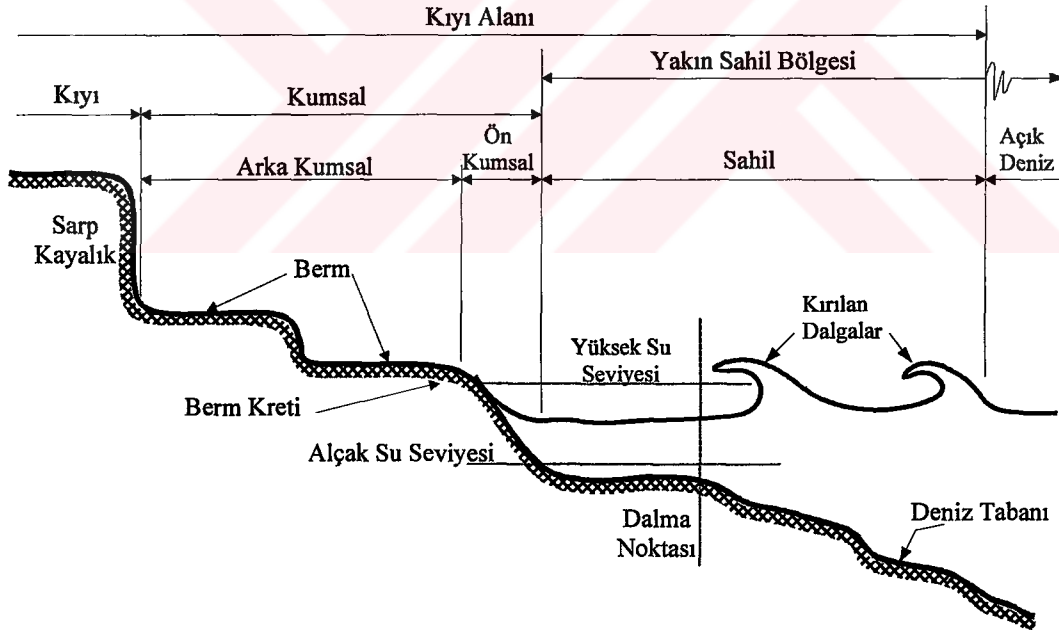
Kumsal ve yakın kıyı bölgesi denizden gelen etkilerin kara parçası ile ilk karşılaştıkları dinamik zondur. Kırılma bölgesi olarak adlandırılan denizin en hareketli kısmı aynı zamanda dalgaların açık denizden beri taşıdıkları enerjinin sönümlendiği karmaşık mekanizmaya sahip bir bölgedir. Kıyı çizgisi su, hava ve kara parçası üçlemesinin oluşturduğu bir arakesittir. Kırılma ve tırmanma bölgelerinde mütemadiyen meydana gelen bu hareketliliği anlamak ve tanımlamak pek kolay değildir. Zira bu bölge içinde taşınan askı ve sürüntü maddesi oranları, kıyıboyu taşınma modeli kapanma derinliği gibi konularda bir uzlaşma sağlandığı görülmemektedir. Elde edilen her çıkarım kendi yerelinde en iyi neticeyi verirken genellenmesi aynı kolaylıkta olmamaktadır. Kıyı problemlerinin alana özgü olması nedeniyle, bir bölgede geçerli olan bir model bir başka yerde işlemeyebilmektedir. Dolayısıyla salt mühendislik bilgisinin yanında tecrübe de bu çalışma sahasında çok önemli olmaktadır.

Dışarıdan bir etki olmaksızın denge halinde bulunan kıyı bölgeleri, çok yönlü maksatlarla yapılaşmaya açılırken beraberinde kıyısal sorunları da getirmiştir. Kıyı boyunca veya kıyıya dik yapılaşma mevcut olan dengeyi bozmuş, bazı bölgelerde

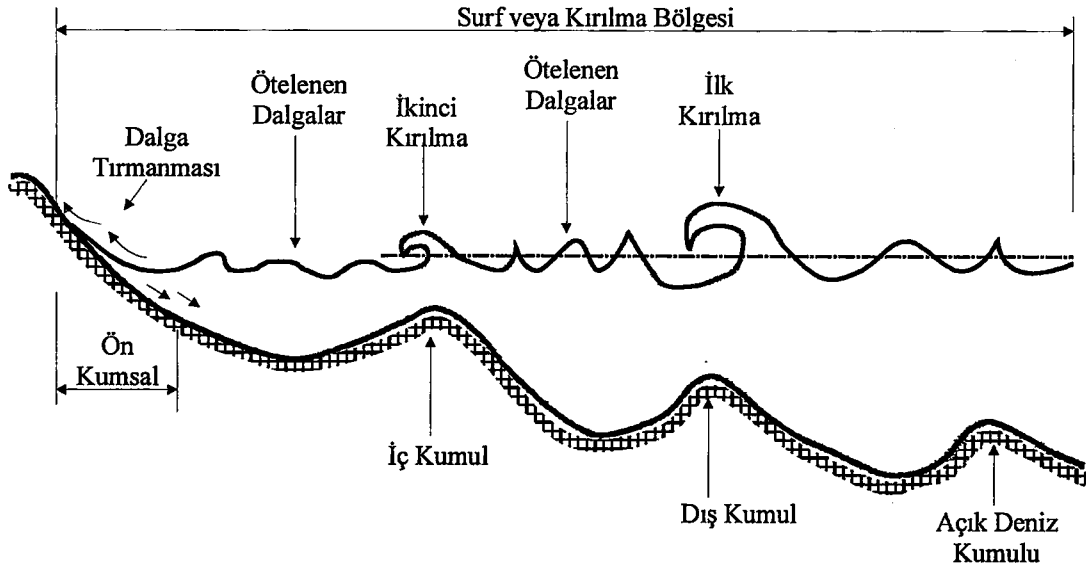
Eğer kıyılardan yararlanırken bilinçli hareket edilirse hem doğal çevre korunabilir hem de bazen ekonomik girdilerde sağlanabilir. Miami’de yaz turizmi için elverişli olmayan bir kıyı bölgesi 3 milyon dolarlık yatırımla ıslah edildikten sonra turizme açılmıştır. Kumsalın ıslah edilmesiyle bölgeye sadece yabancı turistler yıllık 2 milyar dolarlık bir girdi sağlamaktadır (Sorensen, 1997).

1.2 İncelenen Konunun Tanımı

Kayalık kıyıların yanında kumsallar, kıyı mühendisliğinin ilgi alan içinde daha çok yer işgal etmektedir. Kıyı çizgisi, okyanus, deniz veya göl gibi bir su kütleinin kara parçası ve atmosferle birleştiği arakesit olarak tanımlanmaktadır. Kıyı bölgesi de kıyı çizgisinin deniz ve kara taraflarında fiziksel hareketlerin olduğu sınırları kesin olarak çizilemeyen bölgedir. Bu bölgeyi çeşitli araştırmacılar farklı kısımlara bölerek ele almışlardır. Bu çalışmada yakın kıyı profilinin ve dalga dinamiğinin isimlendirilmesinde **CERC (1984)** (Coastal Engineering Research Center) tarafından önerilen tanımlamalar benimsenmiştir (Şekil 1.1 ve 1.2).



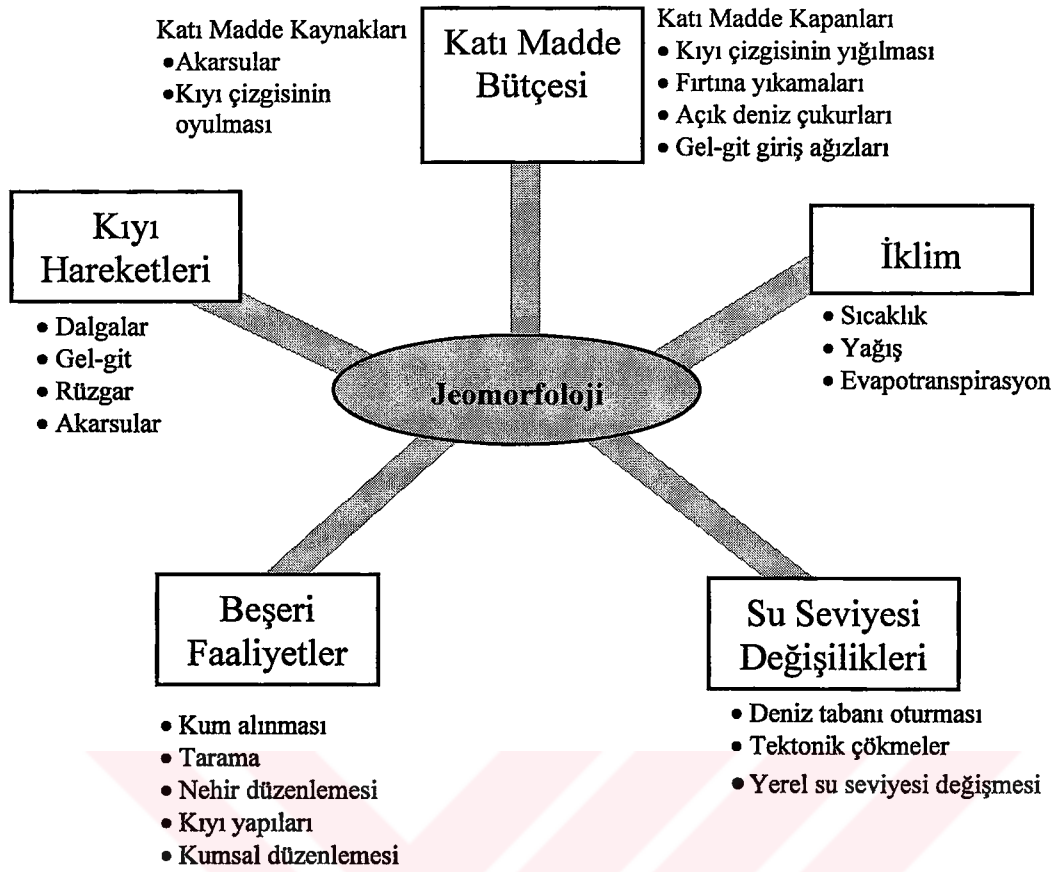
Şekil 1.1 Tipik Kıyı Profili



Şekil 1.2 Yakın Kıyı Dalga Dinamiği

Kıyı bölgesinde oluşan hareketlerde en önemli etken şüphesiz ki dalgalardır. Her ne kadar deniz altı depremlerinin neden olduğu dalgalar (tsunami) ile gel-git dalgaları kıyılarda görülmekle birlikte en etkili olanı rüzgar dalgalarıdır.

Kıyıda katı madde ya kıyıya dik veya kıyıya paralel yönde gel-git veya kıyıya belli bir açı ile yaklaşan dalgaların meydana getirdiği akıntılarla taşınırlar. Bu iki taşınım modu başlı başına bir çalışma gerektirir. Burada sadece kıyıboyu taşınım ele alınacaktır. Gel-gitin çok az olduğu kıyılarımızda bu etki ihmal edilebilir. Böylece kıyıboyu katı madde, dalganın kırılma anında, tabandaki kum daneciği harekete geçirildikten sonra, dalga enerjisinin kıyıboyu bileşeninin oluşturduğu akıntıyla taşınacaktır. Taşınımın yönü gelen dalganın kıyı ile yaptığı açıya bağlıdır. Gelen dalga yönünün değişikliğinden dolayı kıyıboyu taşınımın yönü mevsimden mevsime hatta günden güne farklı olabilir. Fakat genellikle taşınım mevsimlik değişimler gösterecektir. Kıyılarda değişikliklerin temelde iki nedeni vardır; doğal ve beşeri etkiler. Katı madde kaynak ve kapanları, iklim, rüzgar ve dalgalar ile su seviyesindeki değişiklikler gibi doğal etkiler, kum alınması ve herhangi bir kıyı yapısı yakın kıyı jeomorfolojisini etkileyecektir (Şekil 1.3). Bu sebeple bir kıyı yapısı doğal dengeyi mümkün olduğu kadar bozmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Aksi takdirde yapı amaçlanan işlevi görmesine rağmen oyulma ve yığılmalara neden olarak etrafına zarar verebilir.



Şekil 1.3 Kıyı Çizgisinin Değişiminde Etkili Olan Faktörler

Eğer bir mühendislik yapısı ile kıyıya bir müdahale var ise kıyı çizgisinin bu dış etkiye karşı nasıl davranacağı muhakkak tahmin edilmelidir. Bu tahmin yapılmaz ve tasarımda bunlara dikkat edilmez ise, yapı ya amaçlanan işlevi yerine getiremez veya etrafında istenmeyen tahribatlara neden olur.

1.3 Yapılacak Çalışma

Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi, Ordu ili sınırları içinde bulunan Kumbaşı sahilinde, daha sonra limana dönüştürülmek üzere yapılan mahmuzun batı tarafında meydana gelen kıyı çizgisi değişimleri matematik modeller ile belirlenecektir. Kıyıboyu katı madde debisini tahmin etmek amacıyla belirli bir bölge veya laboratuvar verileriyle pek çok model geliştirilmiş ve genel kullanım için tavsiye edilmiştir. Bu modellerden seçilen on bir tanesi, Kumbaşı sahilinde kıyı çizgisi değişimini belirlemek için uygulanacaktır. Önce kıyı çizgisi değişiminin analitik ve sayısal çözümleri elde edilecek. Daha sonra sayısal yöntemde, kıyıboyu katı madde

debinin seçilen on bir farklı modeli kullanılarak en iyi tahmin yapan model belirlenecektir.

Ayrıca kıyı çizgisinin değişimini etkileyen kumsal ve dalga özellikleri tek tek irdelenecek ve en etkili olan özellikler araştırılacaktır.

Kıyı izgisi değişimlerinde en etkili faktör rüzgar dalgaları olduğundan, önce dalgaların genel esasları ele alınacaktır.



2. RÜZGAR DALGALARININ MEKANİĞİ

2.1 Genel

Eğer bir su kütlesi düşey doğrultuda hareket edecek olursa yerçekimi kuvveti bu değişikliği ilk durumuna getirmeye çalışacak, eski haline gelen su kütlesi bir eylemsizliğe sahip olduğundan denge durumunu geçerek aşağıya doğru bir salınım yapacaktır. Bu durum yayılarak devam edip dalgaları meydana getirecektir. Bu bölümde potansiyel akım teorisinden hareketle serbest yüzey sınır şartları doğrusallaştırılarak küçük genlikli dalga teorisi elde edilecektir.

2.2 Hidrodinamik Esaslar

Kartezyen koordinatlarda boyutları dx , dy , ve dz olan sonsuz küçük bir küp eleman ele alınsın. Kübün merkezinde özgül kütle ρ ve hız alanı da $\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k}$ olsun. Kütlenin korunumu ilkesi gereğince kontrol yüzeyine girip çıkan kütle akısındaki değişim miktarı ile kontrol hacmindeki kütleli değişim miktarı birbirine eşit olmalıdır (Fox ve McDonald, 1985).

Birim hacim için süreklilik denklemi

$$\left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right] = 0 \quad (2.1)$$

ile elde edilir. (2.1) denklemi akışkan akımları için en genel halde yani üniform olmayan ve zamana göre değişen akımlar ve aynı zamanda sıkıştırılabilir akışkanlar için süreklilik denklemidir. Burada,

ρ : akışkanın özgül kütlesi

x, y, z : üç boyutta koordinat eksenleri

t : zaman

u, v, w : sırasıyla x, y, z yönündeki hızlardır.

Süreklilik denklemi sıkışmayan akışkan için iki boyutta

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.2)$$

olarak yazılabilir.

Akışkanın sürtünmesiz olması durumunda Navier-Stokes denklemleri x-z iki boyutlu eksen takımında ve sadece düşey yöndeki ağırlık kuvvetini nazara alarak yazılacak olursa,

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.3a)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} \quad (2.3b)$$

halini alır. Burada g yerçekimi ivmesi, p basınçdır.

$\phi(x,z,t)$ hız potansiyel fonksiyonu olmak üzere potansiyel akım durumu için süreklilik denkleminde

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad \text{veya} \quad \nabla^2 \phi = 0 \quad (2.4)$$

Laplace denkleminde ulaşılır.

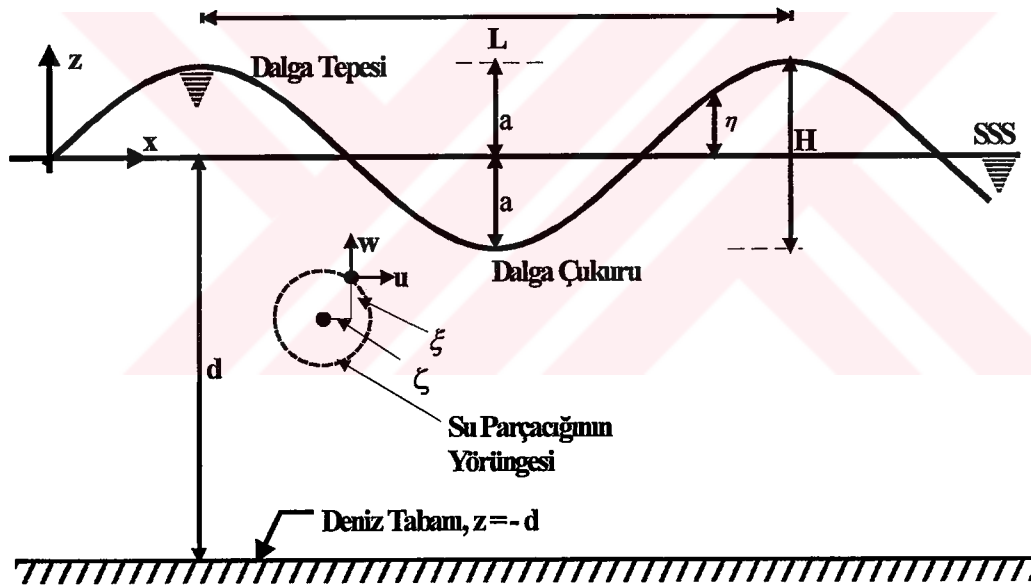
(2.3a) ve (2.3b)'nin ortak çözümünden ise

$$-\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2}(u^2 + w^2) + \frac{p}{\rho} + gz = C(t) \quad (2.5)$$

elde edilecektir (Dean ve Dalrymple, 1991). Burada C (t) integral sabitidir.

2.3 Yüzey Ağırlık Dalgaları

Geçekte yüzey ağırlık dalgaları geçirimli ve düzensiz batimetriye sahip bir tabanda sürtünmeli akışkan ortamında ilerlerler (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Dalgalar Parametreleri

Ancak taban yakınlığında ince bir tabaka hariç bu tabakanın üstünde kalan akışkan ortamı çok büyük bir yaklaşıklıkla dönme yapmayan ortam olarak kabul edilebilir.

Akışkanlar mekaniğini ve hidrolikte karşılaşılan diğer boru ve açık kanal akımlarında olduğu gibi dalgalı deniz ortamında da iki boyutta sıkışmaz akışkan ve dönme yapmayan akımlar için akım fonksiyonu ile hız potansiyel fonksiyonu mevcuttur. Bu noktada daha önce elde edilen hız potansiyel fonksiyonu Şekil (2.1)'de verilen

dalgalı deniz durumunda da uygulanabilir. Bu durumda (2.4) Laplace denklemi belirlenecek sınır şartları altında çözülecek esas denklemi teşkil edecektir. Laplace denklemini çözerken, birisi tabanda ikisi serbest yüzeyde olmak üzere, üç sınır şartı uygulanacaktır.

Tabanın geçirimsiz olduğu, yani ne akım içine doğru ne de zemine doğru bir sızma olmadığı kabul edilirse, $z = -d$ 'de Taban Sınır Şartı (TSS)

$$w = \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad (2.6)$$

olacaktır.

Serbest yüzeyde dalga profili $F(x,y,z,t)=z-\eta(x,z,t)=0$ fonksiyonu ile tanımlanacak olursa $z=\eta$ için Kinematik Serbest Yüzey Sınır Şartı (KSYSS)

$$w = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada η sakin su seviyesine göre serbest yüzeyin yer değiştirmesidir.

Katı yüzeyli cisimler maruz kaldıkları basınç kuvvetlerine mukavemet edebilirler. Ne var ki su-hava arakesitindeki bir serbest yüzey aynı dayanıklılığı gösteremez. Bu nedenle serbest yüzeyde dalga formunun aynı kalması için yüzeye etkiyen basıncın üniform olması gerekir. Dinamik Serbest Yüzey Sınır Şartı (DSYSS) olarak (2.5) denklemi tatbik edilecek olursa, atmosfere açık serbest yüzeydeki basınç, üniform atmosfer basıncı olacaktır.

Rölatif anlamda ise atmosfer basıncı sıfır olacağından dinamik sınır şartı

$$-\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2}(u^2 + w^2) + gz = C(t) \quad (2.8)$$

olur.

2.4 Küçük Genlikli Dalga Teorisi

Yüzey dalgaları karakteristiklerinin elde edebileceği bir teoriyi yukarıda verilen esas denklem ve sınır şartları ile geliştirmek oldukça zordur. Çünkü serbest yüzey şartları doğrusal olmayıp analitik bir sonuca ulaşılmasına imkan tanımamaktadır. Bir çözüme gitmek amacıyla bu noktada şu can alıcı kabul yapılır: dalga genliği ve su parçacıklarının hızları çok küçük değerlerdir. Yani $u, w \ll 1$ veya $\eta \ll 1$. Bu kabul doğrultusunda bu değişkenlerin çarpan veya üstel durumda olduğu terimler büyük bir yaklaşıklıkla ihmal edilebilir ve bu varsayım ile ulaşılan teoriye Airy, Küçük Genlikli veya Lineer Dalga Teorisi denilir.

Bu yaklaşımla serbest yüzey şartları KSYSS ile DSYSS'deki doğrusal olmayan terimler sıfır alınacak veya (2.7) denklemi

$$w = \frac{\partial \eta}{\partial t} \quad (2.9)$$

(2.8) denklemi $z=\eta$ ve $C(t)=0$ için

$$-\frac{\partial \phi}{\partial t} + g\eta = 0 \rightarrow \eta = \frac{1}{g} \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (2.10)$$

olacaktır.

Dalga hareketini tanımlayan (2.4) Laplace denkleminin taban sınır şartı ve doğrusallaştırılmış serbest yüzey sınır şartları uygulanarak çözülmesi ile hız potansiyel fonksiyonu

$$\phi = \frac{gH}{2\sigma} \frac{\cosh k(d+z)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t) \quad (2.11)$$

olarak elde edilir (Eagleson ve Dean, 1966; Dean ve Dalrymple, 1991). Burada,

H : Dalga yüksekliği,

k : Dalga sayısı,

σ : Dalga açısal frekansıdır.

Dalga sayısı

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (2.12)$$

ve dalga açısal frekansı

$$\sigma = \frac{2\pi}{T} \quad (2.13)$$

olarak tanımlanmaktadır. Bu ifadelerde L dalga boyu, T dalga periyodudur.

(2.11) denklemi yardımı ile basit sinüzoidal veya lineer dalganın bütün parametreleri analitik yolla bulunabilir.

2.4.1 Yüzey Profili

Elde edilen hız potansiyel fonksiyonu doğrusallaştırılmış dinamik serbest yüzey sınır şartı denklemi (2.10)'de yerine yazılır ve zamana göre türevi alınır

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t) \quad \text{veya} \quad \eta = \frac{H}{2} \cos 2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \quad (2.14)$$

dalga yüzey profili bağıntısı bulunur (Sorensen, 1993; 1997).

2.4.2 Dalga Yayılma Hızı

Serbest yüzeydeki sınır şartları ortak çözülürse

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad (2.15)$$

sonucuna ulaşılır. (2.15)'de hız potansiyel fonksiyonu (2.11)'in yerleştirilip düzenlenmesi ile

$$\sigma^2 = gk \tanh kd \quad (2.16)$$

elde edilir ve buradan

$$C = \frac{\sigma}{k} = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kd} \quad (2.17)$$

dalga hızı bağıntısı bulunur (Le Mehaute, 1976; Kapdaşlı, 1992; Yüksel ve diğ. 1998). (2.17) denklemini yeniden düzenlenirse dalga hızı için

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2.18)$$

yazılabilir.

Dalga boyu ise

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2.19)$$

olarak elde edilecektir.

2.4.3 Su Parçacıklarının Hızı

Su parçacıklarının hızı, hız potansiyel fonksiyonundan x ve y yönlerinde

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+z)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma t) \quad (2.20)$$

ve

$$w = -\frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{\pi H \sinh k(d+z)}{T \sinh kd} \sin(kx - \sigma t) \quad (2.21)$$

olarak elde edilir.

Parçacık yörüngeleri ise derin denizde yüzeyde çapı dalga yüksekliğine eşit dairesel şekillidir. Tabana doğru inildikçe dairesel yörüngeler küçülür ve sakin su seviyesinden dalga boyunun yarısı kadar mesafede sönümlenirler. Sığ sularda ise parçacık yörüngeleri elips şeklinde olup tabana doğru küçülerek düzleşir ve tabanda bir çizgi şeklini alır.

2.4.4 Basınç Alanı

Basınç alanı doğrusallaştırılmış dinamik serbest yüzey sınır şartında (2.8), integral sabitini sıfır alarak

$$\frac{p}{\rho} = -gz + \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (2.22)$$

yazılır. Burada hız potansiyel fonksiyonu yerine yazılıp zamana göre türetilirse basınç için

$$p = -\rho gz + \rho g \frac{H \cosh k(d+z)}{2 \sinh kd} \cos(kx - \sigma t) \quad (2.23)$$

ifadesi bulunur. Bu ifadenin sağ tarafındaki birinci terim hidrostatik basıncı, ikinci terim ise dinamik basıncı temsil etmektedir. $K_z = H/2 \cosh k(d+z)/\sinh kd$ tanımı yapılarak ve dalga yüzey profil bağıntısı (2.14) yerine yazılarak basınç değişimi

$$p = \rho g(\eta K_z - z) \quad (2.24)$$

olur.

2.4.5 Dalga Enerjisi

Dalga durumunda toplam enerji kinetik ve potansiyel enerjilerin toplamına eşit olacaktır. Birim dalga kret genişliği ve bir dalga boyundaki kinetik enerji (Şekil 2.2)

$$E_k = \int_0^L \int_{-d}^{\eta} \frac{1}{2} (u^2 + w^2) dx dz \quad (2.25)$$

şeklinde yazılabilir. Hız bileşenlerinin eşdeğerleri (2.20) ve (2.21) yerleştirilip integralin alınmasıyla

$$E_k = \frac{\rho g H^2 L}{16} \quad (2.26)$$

kinetik enerji elde edilir.

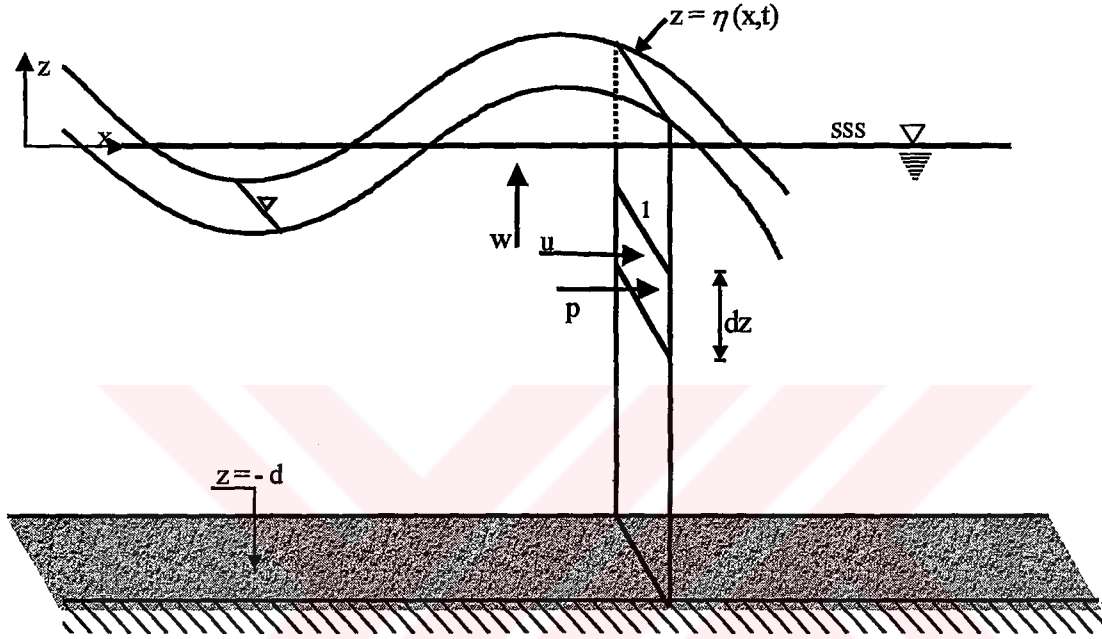
Birim dalga kret genişliği ve bir dalga boyundaki potansiyel enerji dalga durumundaki potansiyel enerji ile sakin durumdaki enerjinin farkı olacaktır. Yani

$$E_p = \int_0^L \rho g \frac{(d + \eta)^2}{2} dx - \rho g d L \left(\frac{d}{2} \right) \quad (2.27)$$

bağıntısından integral alınırsa

$$E_p = \frac{\rho g H^2 L}{16} \quad (2.28)$$

potansiyel enerji de elde edilir.



Şekil 2.2 Dalga Enerjisi Parametreleri

Toplam enerji kinetik (2.26) ve potansiyel enerjilerin (2.28) toplamı olarak

$$E = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (2.29)$$

şeklini alır. Potansiyel enerji yatay eksen-x boyunca serbest yüzeyin (η) değişmesinden dolayı her noktada farklı değer alacaktır. Bu farklılığı bertaraf etmek için toplam enerjiyi birim yüzey alanı için tanımlayacak olursak

$$\bar{E} = \frac{E}{(1)L} = \frac{\rho g H^2}{8} \quad (2.30)$$

ortalama enerji bağıntısı elde edilecektir. İleriki bölümlerde kıyıboyu katı maddesi ifadesinde kullanılan dalga enerjisi ile bu bağıntı kastedilecek ve E'nin üzerindeki çizgi ihmal edilecektir.

2.4.6 Enerji Akısı

Küçük genlikli dalga teorisinde su parçacıklarının yörüngeleri (daire veya elips) kapalı olduğu için kütle taşınımı yapamazlar ama enerjiyi dalga ilerleme yönünde naklederler. Durgun bir suya atılan taş göz önüne getirilsin. Atılan taşın neden olduğu kinetik enerji dalga enerjisine dönüşecek ve enerji, dalga merkezinden kıyıya doğru yol alarak yakın kıyıda kırılan dalgalarla sönmünecektir. Bunlar göstermektedir ki ; dalga oluşum bölgesinden itibaren bir enerji yayılımı vardır.

Enerji akısı veya dalga gücü, düşey planda akıma dik yöndeki hız ile dinamik basıncın (2.24) doğurduğu kuvvetin çarpımına eşittir. Bu çarpımın zamansal ortalaması alınarak

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \int_{-d}^0 (p + \rho g z) u \, dz \, dt \quad (2.31)$$

olarak bulunur. Dinamik basınç ile hız ifadeleri yerlerine yazılırsa

$$P = \left(\frac{\rho g H^2}{8} \right) \frac{\sigma}{k} \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (2.32)$$

enerji akısı elde edilir. Burada birinci parantezin içindeki terim ortalama toplam dalga enerjisi (2.30), σ/k ise dalga yayılma hızıdır (2.17). Ayrıca

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (2.33)$$

tanımı yapılacak olursa enerji akısı veya dalga gücü

$$P = \bar{E} C_n \quad (2.34)$$

halini alır.

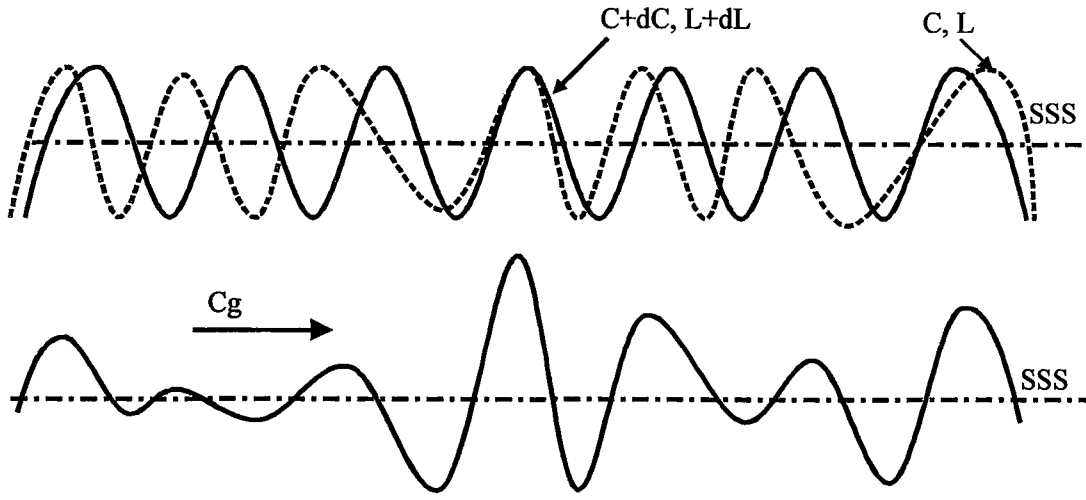
Dördüncü Bölüm’de kıyıboyu katı madde taşınımı, bu ifadenin kıyıboyu bileşeninin doğrusal fonksiyonu olarak ifade edilecektir (Bkz. Denklem 4.4)

2.4.7 Dalga Grup Hızı

(2.34)’deki C_n enerjinin taşınma miktarı olup grup hızı C_g olarak adlandırılacaktır (Şekil 2.3). Yani

$$C_g = C_n \quad (2.35)$$

olacaktır.



Şekil 2.3 Dalga Grup Hızı

Hanson ve Kraus (1986b) kıyı çizgisinin değişimini tayin ederken, kıyıboyu katı madde debi ifadesinde doğrusal dalga teorisine göre kırılma anındaki dalga grup hızını yazmıştır. Ancak dalgalar kıyıya yaklaşırken değişmeye maruz kalmakta ve yakın kıyıda dalgalar tek dalga teorisi ile daha iyi betimlenebilmektedir. Bu nedenle burada kıyıboyu katı madde taşınım, dalga grup hızı için tek dalga teorisi esas alınarak yazılmıştır (Bkz. Denklem 4.6).

2.4.8 Momentum Akısı ve Yayılma Gerilmesi

Akışkanlar mekaniğinde kuvvetler etkin rol oynadığı problemlerde impuls-momentum prensibi kullanılarak sonuca gidilmeye çalışılır. Dalga ile ilgili bazı durumlarda da benzer yasa uygulanacaktır. Verilen bir noktada anlık yatay momentum akısı düşey düzleme etkiyen basınç kuvvetleri ile bu düşey düzlemde geçen momentumun toplamına eşit olacaktır. Birim alanı ele alarak yukarıdaki ifadeler x-yönü için yazılırsa

$$S_{xx} = \overline{\int_{-d}^{\eta} (p + \rho u^2) dz} - \int_{-d}^0 \rho g z dz \quad (2.36)$$

elde edilir. Burada S_{xx} , x düzleminde ve x yönünde ki momentum akısını temsil etmektedir. Birinci integral terimi deniz tabanından itibaren olan momentum akısı

olduğundan, dalga'nın yayılma gerilmesini elde etmek için sakin su seviyesinin altındaki akı çıkarılacaktır. Burada üst çizgi bir dalga periyodundaki ortalama'yı gösterirken, p toplam basınçtır. İntegral alınıp düzenleme yapılırsa

$$S_{xx} = \frac{\rho g H^2}{8} \left(\frac{1}{2} + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) = \bar{E} \left(2n - \frac{1}{2} \right) \quad (2.37)$$

bulunur.

Benzer şekilde y yönünde yazılacak olan momentum akısı denkleminde

$$S_{yy} = \frac{\rho g H^2}{8} \left(\frac{kd}{\sinh kd} \right) = \bar{E} \left(n - \frac{1}{2} \right) \quad (2.38)$$

elde edilecektir. S_{xy} ve S_{yx} yine aynı yöntem ile çıkarılırsa, bunların sıfır olduğu görülür.

Eğer gelen dalgalar x ekseni ile α açısı yaparak geliyorsa yayılma gerilmeleri

$$S_{xx} = \bar{E} \left[n(\cos^2 \alpha + 1) - \frac{1}{2} \right] \quad (2.39)$$

$$S_{yy} = \bar{E} \left[n(\sin^2 \alpha + 1) - \frac{1}{2} \right] \quad (2.40)$$

$$S_{xy} = \frac{\bar{E}}{2} n \sin^2 \alpha = \bar{E} n \sin \alpha \cos \alpha \quad (2.41)$$

olacaklardır (Longuet-Higgins, 1970; Longuet-Higgins ve Stewart 1977). Longuet-Higgins enerji akısına bağı olarak verilen kıyıboyu katı madde debisi ifadesinin hiçbir fiziksel anlamı olmadığını belirtmiştir. Taşınım formülünde enerji akısı yerine yayılma gerilmesinin kullanılmasını tavsiye etmiştir.

Kıyıboyu katı madde taşınım debisi ister enerji akısı (2.34) denkleminin kıyıboyu bileşeni, ister yayılma gerilmesine (2.41) bağı olarak yazılsın sonuç değişmeyecek aynı bağıntıya ulaşılacaktır (Bkz. Denklem 4.3). Taşınım ifadelerinde çoğunlukla enerji akısı kullanılırken bazı araştırmacılar yayılma gerilmesini esas almışlardır. **Torres-Navarrete ve Martinez-Diaz de Leon (1993)** kıyıboyu katı madde taşınımını yayılma gerilmesine bağı olarak vermişlerdir (Bkz. denklem 3.46).

3. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1 Genel

Dalga mekaniği alanında ilk çalışmalar bir asır öncesine dayanmasına rağmen yakın kıyı mekanizmasının üzerine yapılanlar ancak II. Dünya Savaşı'ndan sonrasına rastlamaktadır. O zamandan bu tarafa hem kıyıboyu ve kıyıya dik katı madde taşınımı hem de kıyı çizgisinin değişimi üzerine pek çok sayıda yayın yapılmıştır. İlk olarak katı madde taşınımı 1950'li kısa arazi deneylerinin yardımıyla Caldwell ve Watts tarafından modellenmiş ve uzun müddet kabul gördükten sonra, bunların o kadar da sağlıklı şartlarda elde edilmiş olmadığı anlaşılmıştır (Greer ve Madsen, 1978). Bugün herhangi bir kıyının katı madde rejimini anlamak için 5 ile 8 yıl arasında *sürekli* gözlemlenmesi ve ölçümlerinin alınması gerektiği; bunlarında oldukça masraflı çalışmalar olduğu vurgulanmaktadır (Schoonees, 2000). Son elli senede, ister laboratuvar da ister arazide olsun katı maddenin miktarı, düşey ve yatayda dağılımı, askı ve sürüntü maddesi oranları ve modellenmesi alanında yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. Ayrıca kıyı çizgisinin değişimi ile ilgili yapılan analitik ve sayısal çalışmalar da ayrı bir başlık altında ele alınmıştır. Çalışmalardan alınan formüller özgün sembol ve birimleri ile aynen korunmuştur. Literatür genelde kronolojik olarak taranırken, bazen aynı araştırmacı tarafından aynı veya benzer konularda farklı zamanlarda yapılan çalışmalar birlikte zikredilmiştir.

3.2 Kıyıboyu Katı Madde Debisi İle İlgili Çalışmalar

Bajorunas (1960), Göller bölgesinde ölçülen arazi verilerinden istifadeyle doğrusal kıyı çizgileri için kıyıboyu katı madde debisini

$$Q = 19 E_0 \sin \alpha_0 \left(1 - e^{-0.0023 D C_0 \alpha_0} \right) \quad (3.1)$$

şeklinde elde etmiştir. Burada;

Q : düz kıyı çizgisinin mansabındaki yıllık ortalama katı madde debisi (yd^3),

E_0 : yıllık tek yönden derin deniz dalga enerjisi ($ft\ p/ft\ 10^6$),

α_0 : kıyı çizgisi ile dalga cephesi arasındaki açı,

D : kıyı çizgisinin uzunluğu (mil)'dir.

Savage (1962), kıyıboyu katı madde debisini belirleyebilmek amacıyla daha önce Caldwell ve Watt tarafından yapılan arazi deney sonuçları ile bizzat kendisinin yaptığı laboratuvar sonuçlarını kullanmıştır. Önceki iki araştırmacının verilerinden kıyıboyu katı madde debisini

$$Q = 210 E_i^{0.8} \quad (3.2)$$

olarak bulmuştur. Burada Q , kıyıboyunca taşınan katı madde debisi, E_i dalga enerjisidir. Laboratuvarda ise katı madde debisi üzerinde etkili olan faktörleri araştırmıştır. Savage'ye göre debiyi etkileyen üç ana önemli etken vardır; kumsal özellikleri, dalga özellikleri ve laboratuvar deney düzeneğinin etkisidir. Araştırmacı yaptığı deneyler neticesinde, kıyıboyu katı madde debisi ile kumsal malzemesi özellikleri arasında kesin bir ilişki kuramazken, taşınımın malzeme özgül ağırlığı ile ters orantılı, kumsal taban eğimi ile doğru orantılı olduğunu gözlemlemiştir.

Bagnold (1963), akarsulardaki katı madde taşınımına benzeştirerek birim genişlikten geçen toplam katı madde debisini elde etmeye çalışmıştır. **Inman ve Bagnold (1963)** ilk olarak katı madde debisini batmış ağırlık türünden

$$I_\ell = (\rho_s - \rho) g a' S = \text{sabit} \times P_\ell \quad (3.3)$$

şeklinde verirken, **Inman ve Frautschy (1965)** yine akışkanın katı madde taşıma kapasitesini batmış ağırlık cinsinden

$$i = (\rho_s - \rho) g v U \quad (3.4)$$

ile ifade etmişlerdir. Bu ifadelerde,

I_ℓ : batmış katı madde debisi,

i : birim genişlikten geçen batmış katı madde miktarı,

ρ_s : malzemenin özgül kütlesi,

ρ : akışkanın özgül kütlesi,

a : porozite,

S : hacimsel katı madde debisi,

P_ℓ : kıyıboyu dalga enerjisi,

g : yerçekimi ivmesi,

vU : birim genişlikten birim zamanda geçen hacim olarak katı madde miktarıdır.

Araştırmacılar (3.3) denklemindeki orantı sabitini 0.25 olarak bulmuşlardır.

Inman ve diğ. (1968), Meksika ile ABD'nin Kaliforniya kıyılarının üç ayrı noktasında aynı anda yaptıkları arazi ölçümlerinden hacimsel katı madde debisi, I_ℓ , ile kıyıboyu dalga enerji akısı (veya dalga gücü), P_ℓ , arasında

$$I_\ell = K P_\ell \quad (3.5)$$

şeklindeki doğrusal ilişkinin malzeme dane boyutundan bağımsız olduğunu göstermişlerdir.

Bijker (1968, 1971), farklı bölgelerde yaptığı arazi çalışmaları ile akarsulardaki taşınım esaslarından hareketle toplam katı madde debisini belirlemeye çalışmıştır.

Thronton (1968) ortalama malzeme dane çapı 0.2 mm olan Florida Fernandina kumsalında yaptığı ölçümlerde, katı madde debisinin su derinliği ile ters orantılı olarak değiştiği sonucuna varmıştır. Katı madde debisi üzerinde etkili olan parametrelerden boyutsuz bir büyüklük için

$$\frac{QH_s}{P_\ell} = f\left(\frac{H_s}{d}\right) \quad (3.6)$$

şeklinde ampirik ifadeyi vermiştir. Burada, Q katı madde debisi, H_s belirgin dalga yüksekliği, ve d su derinliğidir. Aynı araştırmacı bu çalışmasından hareketle kırılma bölgesi içinde ve dışında katı madde taşınım debisini ve kıyıboyu akıntıyı modellemiştir (Thronton, 1972).

Fairchild (1970), değişik taban eğimi, dalga periyodu ve su derinliğinde gerçekleştirdiği 36 deney ile (3.5) denklemine göre 3 katına varan farklı sonuçlar elde etmiştir.

Castanho (1970), katı madde debisinin dane boyutuna bağlı olduğunu ileri sürmüştür.

Bajorunas (1970), Huron gölünde yaptığı arazi deneyleri neticesinde toplam katı madde debisini

$$Q = 3.9 \left(P v d (\rho - 1)^{-1} g^{-1} \right)^{0.5} f(S, D) \quad (3.7)$$

şeklinde vermiştir. Burada,

P : dalga gücü,

v : ortalama kıyıboyu akıntı hızı,

d : ortalama malzeme dane çapı,

f(S,D) : (1-e^{-0.04S}) veya (1-e^{-0.07D}) değerlerinden küçük olanı,

S : etkili kıyı çizgisi uzunluğu,

D : dalga esme süresidir.

Komar ve Inman (1970), **Inman ve diğ. (1968)** tarafından yapılan arazi deneyi verilerini kullanarak katı madde taşınımı için önerilen 1) Enerji Akısı 2) Kıyıboyu Akıntı modellerini karşılaştırmışlardır. **Inman ve diğ. (1968)** birinci modelde taşınım miktarının enerji akısının kıyıboyu bileşeni ile

$$I_{\ell} = K P_{\ell} = K (ECn)_b \text{Sin}\alpha_b \text{Cos}\alpha_b \quad (3.8)$$

$$P_{\ell} = (ECn)_b \text{Sin}\alpha_b \text{Cos}\alpha_b \quad (3.9)$$

doğrusal değiştiğini göstermişlerdir. Bu ifadelerde

K : sabit katsayı,

E : dalga enerjisi,

Cn : dalga grup hızı,

α : dalga cephesi ile kıyı çizgisi arasındaki açı,

alt indis b ise kırılma anındaki değerleri simgelemektedir.

İkinci model ise ilk olarak Inman and Bagnold'un 1963 yılında geliştirdiği katı madde debisinin dalga ve akıntı parametrelerine bağlı olan formülasyonudur. K' sabit katsayı, v_{ℓ} kırılma bölgesindeki ortalama kıyıboyu akıntı hızı, u_m kırılmadan önce taban yakınında yörüngesel hızın maksimum yatay bileşeni olmak üzere batmış katı madde debisini

$$I_{\ell} = K' (ECn)_b \text{Cos}\alpha_b \frac{v_{\ell}}{u_m} \quad (3.10)$$

ile vermişlerdir.

Inman ve diğ. (1968), kıyıboyu akıntı için

$$v_{\ell} = c_1 u_m \frac{\tan \beta}{c_f} \text{Sin}\alpha_b \text{Cos}\alpha_b \quad (3.11)$$

bağıntısını vermişlerdir. Burada c_1 boyutsuz sabit katsayı $\tan\beta$ kumsalın taban eğimi, c_f taban sürtünme katsayısıdır. c_1 'i **Longuett-Higgins (1970)**, $5\pi/8$ olarak vermektedir.

Komar ve Inman (1970), çeşitli arazi ölçümlerinden elde ettikleri verileri kullanarak $K=0.77$ ve $K'=0.28$ değerlerini bulmuşlardır.

Komar (1971), (3.11) denkleminde $\frac{\tan\beta}{c_f} \cos\alpha_b$ değerinin sabit olduğunu gösterirken kıyıboyu katı madde debisinin kıyıya dik yöndeki dağılımını

$$i_\ell = c \left(\frac{H}{h} \right)^2 \rho g h v \tan\beta^* \quad (3.12)$$

formülü ile vermiştir. Burada c sabit sayı, H dalga yüksekliği, h su derinliği, v akıntı hızı ve $\tan\beta^*$ lokal taban eğimidir.

Galvin (1972), literatürden derlediği 17 arazi deney verilerinden hareketle katı madde debisini

$$Q = 2H^2 \quad (3.13)$$

gibi çok basit bir formda vermiştir. Karadan denize doğru bakan bir gözlemciye göre sağa doğru olan taşınımın r , sola doğru olanın l alt indisi ile temsil edildiğini varsayarak brüt katı madde taşınımı

$$Q_g = Q_l + Q_r \quad (3.14)$$

net taşınımı

$$Q_n = Q_l - Q_r \quad (3.15)$$

ve ikisi arasındaki ilişkiyi $\alpha=Q_l/Q_r$ olarak

$$Q_g = Q_n \frac{(1+\alpha)}{(1-\alpha)} \quad (3.16)$$

vermiştir.

Das (1972), altı laboratuvar ve dört arazi çalışmasından alınan toplam 202 veri noktasını kullanarak E_a birim genişlik için dalga enerji akısı olmak üzere kıyıboyu batmış katı madde debisini

$$I_\ell = 0.35 E_a \quad (3.17)$$

ile vermiştir.

Dean (1973), ise hacimsel katı madde debisi için

$$Q_\ell = G E_a \quad (3.18)$$

ve

$$G = 29.7 \times 10^3 K_1 \frac{\kappa^{0.5} H_b^{0.5} C_D^{0.5} m \cos \alpha_b}{C_g^{0.5} D^{0.5} \rho_w (\rho_s / \rho_w - 1)^{1.5} (1-p)} \quad (3.19)$$

formunda bir bağıntı vermiştir. Burada K_1 katsayı, κ kırılma anındaki dalga yüksekliğinin su derinliğine oranının yarısı, H_b kırılma anındaki dalga yüksekliği, C_D sürtünme katsayısı, m taban eğimi, C_g grup dalga hızı, D dane çapı, p porozitedir.

Komar ve diğ. (1976), Oregon kıyılarında kıyıboyu taşınımı sıfır veya sıfıra yakın olan 9 mahmuz etrafındaki kıyı değişimlerini incelemişler ve net taşınımın olmamasına rağmen kıyıda çok büyük değişimler olduğunu gözlemlemişlerdir.

Komar (1976b), yakın kıyı bölgesinde dalga etkisinden başka bir akıntı etkisi var ise kıyıboyu katı madde debisini belirlemek için (3.11) denkleminin kullanılmasını tavsiye etmektedir.

Bruno ve Gable (1976), arazi ölçümleri yapmışlar ve sonuçların SPM denklemine (3.5) göre 2 kat daha büyük olduğunu görmüşlerdir.

Galvin ve Vitale (1976), CERC tarafından 1966 ve 1984 yıllarında verilen kıyıboyu katı madde taşınım formüllerinden (SPM) sonrakinin öncekine göre %83 nispetinde büyük sonuç verdiğini göstermişlerdir. Bu fark ise bağıntılar elde edilirken kullanılan verilerin farklılığından kaynaklanmaktadır.

Kamphuis ve Readshaw (1978), 3-boyutlu hareketli tabanlı kıyı modeli üzerinde yaptıkları bir dizi deney ve boyut analizi sonucunda, kıyıboyu katı madde debisinin; kırılma bölgesi içindeki kıyı profiline, kırılma türüne ve enerji sönmelenme oranına bağlı olduğunu söylemişlerdir. Bütün bu faktörlerinde Irribaren veya kırılma benzeşim parametresi ξ_b ile temsil edilebileceğini göstermişlerdir (**Battjes, 1974**). Enerji yaklaşımı ile kıyıboyu katı madde debisini

$$Q_s = K_p' \left(\frac{P_{ab}}{g} \right) = K_p' \left(\frac{C_b F_a}{g} \right) \quad (3.20)$$

şeklinde ve momentum yaklaşımı ile

$$Q_s = K_t F_a \quad (3.21)$$

şeklinde yazmışlardır. Burada K_p' ve K_t boyutsuz katsayılar, P_{ab} kıyıboyu dalga enerjisi faktörü, F_a kıyıboyu yayılma gerilmesi kuvvetidir.

Komar (1977), Dean tarafından verilen kıyıboyu katı madde debisindeki katsayının (denklem 3.19) hiçbir faktöre bağlı olmadığını pek çok mevcut veriyi kullanarak göstermiştir. **Komar (1979)** ise kıyıboyu akıntının taban eğiminden bağımsız olduğunu savunmuştur.

Greer ve Madsen (1978), SPM (3.5) veya (3.8) formülünü eleştirerek sağlıklı olmadığını belirtmektedirler.

Walton ve Chiu (1979), (3.8) denklemini doğrusallaştırarak çeşitli durumlar için analitik çözümler elde ederken kıyıboyu katı madde debisi için ise

$$Q_\ell = \frac{K_w \xi \tan \beta}{\gamma(S_g - 1)} \left\{ \frac{e_b}{\tan \phi} \frac{\sin 2\theta_b}{2} + \frac{e_s c_b \cos \theta_b}{w} \right\} P_\ell \quad (3.22)$$

formülünü vermektedirler. Burada

K_w : boyutsuz sabit katsayı (1.4),

ξ : boyutsuz sabit katsayı (0.8),

γ : suyun özgül ağırlığı,

S_g : katı maddenin spesifik gravitesi,

e_b : sürüntü malzemesi verimlilik katsayısı

e_s : askı malzemesi verimlilik katsayısıdır.

Walton (1980a, 1980b), (3.8) formülünde kıyıboyu katı madde debisini elde etmek için ihtiyaç duyulan, kırılma anında dalga cephelerinin kıyı çizgisi ile arasındaki açığı belirlemenin güç olduğunu vurgulamıştır. Bu sebeple kıyıboyu katı madde debisinin, **Longuet-Higgins (1970)** tarafından verilen kıyıboyu akıntı modelini kullanarak daha kolay hesaplanabildiği bir yöntem vermiştir.

Bruno ve diğ. (1980), arazide yaptıkları deneylerden (3.8) ifadesindeki K katsayısının 0.65 ile 0.92 arasında olduğunu ve K 'nın taşınan malzemenin çapına bağlı olarak değiştiğini gözlemlemişlerdir. Dane çapı arttıkça K azalmaktadır.

Vitale (1980), yakın kıyıda taşınan katı madde debisini belirlemek için dört yöntem önermektedir: 1) Civarda elde edilen sonuçlardan uyarılama yapmak, 2) Kıyı

çizgisinin zaman içindeki değişimlerinden taşınan miktarı bulmak 3) Enerji akısı formülünü (3.8) kullanmak ve 4) Dalga yüksekliği verilerinden istifade ile bulmak.

Inman ve diğ. (1980), yaptıkları geniş çaplı arazi ölçümleriyle kıyıboyu katı madde debisini elde etmekte kullanılan yaklaşımların yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini savunmuşlardır.

Kraus ve diğ. (1981), Japonya kıyılarındaki yaptıkları arazi çalışmalarında Komar and Inman (1970) tarafından verilen (3.10) denklemini kullanarak başarılı sonuçlara ulaşmışlardır.

Tsuchiya (1982), kıyıboyu katı madde debisi için

$$Q = C \rho I(R, Fr) d_b^2 \sqrt{g d_b} \sin \theta_b \quad (3.23)$$

pratikte hiç karşılaşılmayan bir formül vermiştir. Burada C sürtünme katsayısına bağlı sabit bir sayı, $I(R, Fr)$ ise açık deniz ile kırılma anındaki dalga parametreleri kullanılarak bulunan bir değer ve d_b ise kırılma anındaki su derinliğidir.

Dean ve diğ. (1982), 13 ay süren arazi çalışmaları sonucunda K katsayısının 0.93 ile 1.23 ve K' katsayısının da 2.60 ile 2.63 arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

Kraus ve diğ. (1982), arazi çalışmalarının neticesinde kıyıboyu katı madde debisi için ampirik olan

$$Q = \frac{3.8 \times 10^{-4}}{\gamma_b \tan \beta} H_b^2 \bar{V} \quad (3.24)$$

ifadeyi vermişlerdir. Burada γ_b kırılma indeksidir. Araştırmacılar K' içinde 0.21 değerini bulmuşlardır.

Bailard (1984), K katsayısının sabit olmayıp

$$K = 0.05 + 2.6 \sin^2 \alpha_b + 0.007 \frac{U_{mb}}{w} \quad (3.25)$$

şeklinde olduğunu ileri sürmüştür. Burada U_{mb} kırılma anındaki daneciğin yörüngesel hızıdır.

Carmel ve diğ. (1984), İsrail kıyılarında yaptıkları çalışmalarda kıyıboyu katı madde debisi için verilen formüllerin iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Deigaard ve diğ. (1986), kıyıboyu katı madde debisini boyutsuz forma yazmışlar ve K katsayısının dane çapı ile değiştiğini ifade etmişlerdir.

Kamphuis ve diğ. (1986), (3.5)'de verilen batmış kıyıboyu katı madde debisi

$$I_\ell = K P_\ell = 0.77 P_{\ell r} = 0.39 P_{\ell s} \quad (3.26)$$

formülündeki K katsayısının hangi faktörlere bağlı olduğunu araştırmışlardır. Boyut analizi ile sadece dalga ve kumsal parametrelerini göz önüne alarak katı madde debisini

$$Q_s = f(H, L, d, \rho, \mu, g, \lambda, y, z, t, \rho_s, \gamma_s, D) \quad (3.27)$$

ile vermişlerdir. Burada,

Q_s : katı madde debisi,

H : dalga yükü,

L : dalga boyu,

d : su derinliği,

ρ : suyun özgül kütlesi,

μ : suyun dinamik viskozitesi,

g : yerçekimi ivmesi,

x, y, z : koordinat eksenleri,

t : zaman,

ρ_s : katı maddenin özgül kütlesi,

γ_s : katı maddenin batmış özgül ağırlığı,

D : katı madde dane çapıdır. Ve boyutsuz halde kütleli katı madde debisi

$$\frac{Q_s}{\frac{1}{2} \rho \frac{H_b^3}{T} \sin 2\alpha_b} = \kappa \left(\frac{H_b}{L_0}, \frac{H_b}{D} \right) \xi_b \quad (3.28)$$

surf benzeşim parametresi

$$\xi_b = \frac{m}{(H_b/L_0)^{1/2}} \quad (3.29)$$

olarak verilir (Battjes, 1974). Burada,

T : dalga periyodu,

α_b : kırılma açısı,

m : kumsal eğimidir.

Deney sonuçlarından

$$\kappa = 0.002 \frac{H_{bs}}{D} \quad (3.30)$$

elde edilir.

(3.28) denklemi düzenlenecek olursa SI birim sisteminde

$$Q_s = 1.28 \frac{m H_{bs}^{7/2}}{D} \sin 2\alpha_{bs} \quad (3.31)$$

yazılır. SPM denklemleri ile bu bağıntı karşılaştırıldığında

$$Q_s = \left(0.01 (\gamma)^{1/2} m \frac{H_{bs}}{D} \right) Q_{s,Cerc} \quad (3.32)$$

bulunur ve yeni katsayı K_p ile K arasındaki ilişki

$$K_p = (0.01 (\gamma)^{1/2} m \frac{H_{bs}}{D}) K \quad (3.33)$$

olarak yazılabilir. Burada,

K_p ve K :Boyutsuz katsayılar,

γ : Kırılma indextir.

Deney sonuçlarına dayanarak kumsal eğimi yerine

.

$$m = 1.8 (H_b / D)^{-0.5} \quad (3.34)$$

yazılırsa katı madde debisi için

$$Q_s = 2.3 \frac{H_{bs}^3}{D^{1/2}} \sin 2\alpha_b \quad (3.35)$$

$$K_p = 0.0018 (\gamma \frac{H_{bs}}{D})^{1/2} K \quad (3.36)$$

bağıntıları elde edilir.

Yani SPM denklemindeki K katsayısı sabit olmayıp kumsal eğimi, kırılma anındaki dalga yüksekliği, kırılma indeksi ve dane çapının bir fonksiyonu olduğunu öne sürmüşlerdir.

Shi-Leng ve Teh-Fu (1987), kıyıboyu katı madde debisinin yıl içindeki değişimini araştırmışlardır.

Bodge ve Dean (1987), kıyıboyu katı madde debisinin kıyıya dik yöndeki dağılımı için

$$q_y(x) = k_q \frac{1}{h} \frac{d}{dx} (E C_g) V_\ell \left[\frac{dh}{dx} \right]^r \quad (3.37)$$

$q_y(x)$: birim genişlik için lokal kıyıboyu katı madde debisi,

k_q : boyutlu katsayı,

h : lokal su derinliği,

E : lokal enerji,

l_g : lokal dalga grup hızı,

V_ℓ : lokal kıyıboyu akıntı,

dh/dx : lokal taban eğimi,

r : katsayı (0.5)'dir.

Araştırmalar katı madde debisinin kıyıya dik yöndeki dağılımının biri kıyı çizgisi üzerinde, diğeri kırılma bölgesinin ortasında olmak üzere iki-modlu olduğunu belirtmişlerdir.

Kraus ve Dean (1987), kıyıboyu katı madde debisinin düşey ve yanal dağılımlarını araştırmışlar ve düşey yöndeki dağılımı

$$P(z) = e^{-\alpha \left(\frac{z}{h} \right)} \quad (3.38)$$

ile ifade etmişlerdir. Burada,

$P(z)$: düşey yöndeki dağılım,

α : katsayı (1.65),

z : düşey koordinat,

h : lokal derinliktir.

Yanal yöndeki dağılım için ise dört durumun varlığını müşahade etmişlerdir;

- 1- Kırılma bölgesinde tek modlu durum,
- 2- İki modlu durum,
- 3- Önemli modu olmayan düz (yatay) durum,
- 4- Kırılma bölgesi dışında geniş pik noktalı durum.

Toplam katı madde debisi için ise

$$Q = 5.21 \times 10^{-4} \left(\frac{V H_b^2}{S} - R_c \right) \quad (3.39)$$

formülünü önermişlerdir. Denklemdaki değişkenler,

Q : katı madde debisi,

V : ortalama kıyıboyu akıntı hızı,

S : kumsal eğimi,

R_c : kritik debi parametresidir.

Araştırmacılar nihayetinde; $R_c = 2.11 \text{ m}^3 / \text{s}$ olarak bulmuş ve taşınan katı maddenin büyük kısmının askı maddesi olduğu sonucuna varmışlardır.

Arcilla ve diğ. (1988), kayma gerilmesi

$$I_\ell = K_\ell V_\ell \ell_b (\tau_b - \tau_{bc}) \quad (3.40)$$

modelinden hareket ederek boyut analizi ile kıyıboyu katı madde debisi için

$$I_1 = (\rho_s - \rho_w) A I_r^{1/2} 10^{-8.00 I_r} g^{3/2} H_{bi}^{5/2} \sin 2\alpha_b (\theta^c - \theta_{cr}^c) \quad (3.41)$$

bağıntısını vermişlerdir. Burada alt indisler b kırılma anındaki, cr kritik değerleri temsil etmek üzere diğer değişkenler,

V_ℓ : ortalama akıntı hızı,

ℓ_b : kırılma bölgesinin genişliği,

τ : taban kayma gerilmesi,

A, C : katsayılar ($A=4.8 \times 10^{-3}$, $C = 0.44$),

I_r : Irribaren parametresi,

θ : Shields sayısıdır.

Bu denklemlerle araştırmacılar kıyıboyu katı madde debisinin kumsal taban eğimi, dane çapı gibi değişkenlere bağlı olduğunu göstermişlerdir.

Kraus ve diğ. (1988), Kuzey Carolina eyaletinde, Duck isimli bir kasaba yakınlarında gerçekleştirdikleri deneylerine DUCK85 ve SUPERDUCK isimlerini vermiş ve bu deneylerin sonuçlarının bir kısmını **Kraus ve Dean (1987)** değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada yakın kıyıda kırılma bölgesinin birim genişliği için batmış katı madde debisini

$$i(x,z) = i_0(x) p(h,z) \quad (3.42)$$

formunda vermişlerdir.

SUPERDUCK deneylerinin zamansal örnekleme modelinin

$$i_0 = k_0 [\rho \cdot g \cdot HV (1 + \alpha_0 dH/dx + \beta_0 S_v / V) + \text{Sabit}] \quad (3.43)$$

olduğu sonucuna varmışlardır. Burada,

$p(h,z)$: şekil fonksiyonu,

h : su derinliği,

$k_0 = 9.4 \times 10^{-4}$,

$\alpha_0 = 20$,

$\beta_0 = 1.8$,

Sabit $= -3.0 \times 10^3 (\text{Nm}^{-1}\text{s}^{-1})$,

$p = e^{-\lambda(z/h)}$,

$\lambda = 3.6$ (Duck85),

$\lambda = 2.8$ (Superduck)'dir.

Araştırmacılar bu çalışmayla daha önce öne sürdüklerinin tersine (Kraus ve Dean 1987) toplam katı madde içinde taban maddesinin daha büyük kısmı teşkil ettiğini ileri sürmüşlerdir.

Chandramohan ve diğ. (1988) yaptıkları çalışma ile SPM denkleminin arazideki yapılan ölçümlerle uyumluluk gösterdiğini belirtmişlerdir.

Komar (1988, 1991b), arazide yapılan tüm çalışmaları bir araya getirerek enerji yaklaşımındaki K katsayısı ile kıyıboyu akıntı modelindeki K' katsayısının değişimini araştırmıştır. K katsayısının son çalışmalarla 0.77 den 0.57 ye indiğini, K' nün ise 0.28 den 0.21 e düştüğünü göstermiştir. Buna ek olarak K katsayısının sabit olup dane çapı, Irribaren parametresi, dalga dikliği, kumsal eğimi gibi kumsal ve dalga özelliklerine bağlı olarak değişmediğini göstermiştir.

Kamphuis (1990, 1991) yaptığı laboratuvar çalışmaları ve boyut analizi sonucunda toplam kıyıboyu katı madde debisini

$$Q = K \rho \left(\frac{g}{2\pi} \right)^{1.25} H^2 T^{1.5} m^{0.75} D^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad (3.44)$$

şeklinde vermiştir. Bu ifadede K belirgin dalga yüksekliği için 1.3×10^{-3} , rms için 2.6×10^{-3} ’tür.

Chandramohan ve diğ. (1988, 1990) ve Chandramohan ve Nayak (1992) Hindistan ve Srilanka kıyıları için önerdikleri

$$Q = 1290 \frac{\rho g^2}{6\pi} T(H_0 K_r K_s K_f) \sin \alpha_b \quad (3.45)$$

model ile ölçümlerin uyumlu sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

H_0 : derin deniz su derinliği,

T : dalga periyodu,

K_r : sapma katsayısı,

K_s : sığlaşma katsayısı,

K_f : taban pürüzlülüğü katsayısıdır.

Kamphuis (1991a), kıyıboyu katı madde debisinin dağılımının kırılma bölgesinde iki modlu olduğunu ve bu dağılımın mevcuttaki hiçbir ifade ile benzeşmediğini tespit etmiştir.

Bodge ve Kraus (1991), kıyıboyu katı madde debisinin SPM ve Bagnold modelleri ile analizinden elde edilen veriler ve bu denklemlerdeki çeşitli değişkenlerin debi üzerindeki etkilerini irdelemiş ve bazı durumlarda sonucun 5 kat fazla değişiklik arzettiğini gözlemişlerdir. Çalışmalar sonunda kıyıboyu katı madde debisi formülünün daha da rafine edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Watanabe (1992), yaptığı 1440 deney sonucunda SPM denklemindeki katsayı K' 'yı 0.0078 ve Bagnold denklemindeki K' katsayısını da 0.008 olarak bulmuştur ki, bu değerler diğerlerine göre çok küçüktür.

Torres-Navarrete ve Martinez-Diaz de Leon (1993), kıyıboyu katı madde taşınımı için

$$Q = K S_{xy} \sqrt{1.65 g H_s} \quad (3.46)$$

bağıntısını vermiştir. Burada,

$$S_{xy} = \left(\frac{E}{2} \sin 2\theta \right)_b \quad (3.47)$$

ve

K : 63.4,

S_{xy} : kıyıboyu momentum akısı ,

θ : dalga geliş açısıdır.

Ayrıca araştırmalar mevsimlere göre kıyıboyu taşınımın birbirine zıt yönlerde değiştiğini göstermiştir. İlk ve sonbaharda güneye doğru $400 \text{ m}^3 / \text{gün}$ olan katı madde debisi, yaz aylarında kuzeye doğru $300 \text{ m}^3 / \text{gün}$ olarak ölçülmüştür.

Walton (1994), besleme yapılan bir kıyıdaki kıyı çizgisinin değişimini analitik olarak

$$\frac{\partial y}{\partial t} = E \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (3.48)$$

bağıntısı ile vermiştir.

$$E = \frac{KH_b C_{gb}}{8} \left(\frac{\rho}{\rho_s - \rho} \right) \left(\frac{1}{1-n} \right) \left(\frac{1}{D_B - D_c} \right) \quad (3.49)$$

n : porozite

D_B : berm yüksekliği

D_c : kapanma derinliğidir.

Schoonees ve Theron (1993, 1994), 35 araştırmacı tarafından elde edilen toplam 273 veriyi değerlendirmiş ve kıyıboyu katı madde debisinin çok zor ölçülebildiğini

bu çalışmayla göstermiştir, ve literatürden derlediği bu verilerden en güvenilir olan 46 adedinin $D_{50} < 1$ mm malzeme için batmış kıyıboyu katı madde debisini

$$I_t = 0.41 P_{ts} = 0.81 P_{tr} \quad (3.50)$$

bulurken, $D_{50} > 1$ mm malzeme için ise

$$I = 0.01 P_{ts} \quad (3.51)$$

olduğu sonucuna varmıştır.

Sierra ve diğ. (1994), arazide yaptıkları ölçümlerle Ozasa and Brampton denklemindeki katsayıları $K_1=0.3$ ve $K_2=0.7$ olarak bulmuşlardır.

White (1994), SPM bağıntısının 4 değişik formdaki denk kıyıboyu katı madde debisinin birbirinden çok farklı sonuçları verdiğini göstermiştir.

Miller (1999), kıyıboyu taşınımın yaklaşık % 20'sinin kırılma bölgesinin dışında gerçekleştiğini öne sürerek SPM bağıntısının yapılan arazi ölçümleri ile tam uyuşmadığını dolayısıyla kıyıboyu katı madde debisinin tahmininde K'nın sabit olmayıp kumsal ve dalga özelliklerine bağlı olması gerektiğini belirtmiştir.

Wang ve Kraus (1999), araştırmacılar toplam katı madde debisi formülündeki K katsayısının sabit olmayıp; kırılma türü, türbülans yoğunluğu ve katı madde taşınımının başlangıcına bağlı olduğu kanaatine varmışlardır.

3.3 Kıyı Çizgisinin Değişimi İle İlgili Çalışmalar

Bakker ve Edelman (1964), deltaların kıyı çizgisi üzerine etkileri ve değişimini incelemişlerdir. Nehir ağzlarının denize boşalma noktasında kıyı değişimini

$$Q = Q_m \sin 2\alpha \quad (3.52)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} n = 0 \quad (3.53)$$

formülünden hareketle çok çeşitli durumlar altında belirlemeye çalışmışlardır. Burada;

$Q_m : \alpha = 45^\circ$ için oluşan maksimum debi

α : dalga cephesinin kıyı ile yaptığı açıdır.

Grijm (1960, 1965), analitik olarak kıyı çizgisi diferansiyel denklemini Tek-Çizgi modeli ile çözerek nehir durumunda oluşacak kıyı çizgisi değişimlerine uygulamıştır.

Bakker ve diğ. (1970), kıyıda mendirek inşaatından sonra oluşacak kıyı çizgisi değişimini tek ve Çift Çizgi modeline göre çözmüştür.

Price ve diğ. (1972), Tek-Çizgi modelini sonlu farklar yöntemi ile çözerek laboratuardaki deney sonuçları ile karşılaştırmış ve birbirine yakın sonuçlar elde etmişlerdir.

Le Mehaute ve Soldate (1977, 1978, 1980), tek-çizgi modelini analitik olarak çözmüş ve Büyük Göller'e uygulamışlardır. Michigan gölü Holland kumsalında göl kıyısındaki değişimleri, sapma ve dönmeyi de değerlendiren bir matematik model geliştirerek bunu hem analitik hem de nümerik olarak çözerek gerçek verilerle karşılaştırmış ve tatmin edici sonuçlara ulaşmışlardır.

Perlin ve Dean (1978), Tek-Çizgi modelini kullanarak bir mendirek ve jetti sistemi etrafındaki kıyı değişimini sayısal olarak çözmüş bunu laboratuvar deneyleri ve arazi ile karşılaştırmışlardır.

Perlin (1979), açık deniz dalga kıranından dolayı kıyı çizgisinde teşekkül edecek kıyı değişimini sayısal modelle incelemiştir.

Walton ve Chiu (1979), kıyı değişimini incelemek için Pelnard-Considere tarafından verilen Tek-Çizgi modelini üç değişik debi denklemini kullanarak analitik olarak çözmüşler, her üçü içinde

$$d \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial Q_t}{\partial x} = 0 \quad (3.54)$$

denkleminde hareketle

$$\frac{\partial y}{\partial t} = C \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (3.55)$$

formunda diferansiyel denklemi çözmüşlerdir.

Hashimoto ve Uda (1980), Tek-Çizgi modelini kullanarak kıyı çizgisinin değişimini ve kumsal profilini belirlemişlerdir.

Wang ve Le Mehaute (1980), kıyı çizgisinin değişimi belirlenirken kullanılan modelde açık deniz gelme açısına göre modelin kararlı ve kararsız olduğu bölgeleri tartışmışlardır.

Mizumura (1982), laboratuvar ve arazi deney çalışmaları neticesinde kıyıboyu katı madde taşınım yönünün kumsal malzemesinin ortalama dane çapından hareketle belirlenebileceğini söylemiştir.

Le Mehaute ve diğ. (1983), kıyıboyu katı madde debisi hesabında dalga yüksekliğinin nonlineer etkisinden dolayı süperpozisyonla dalga yüksekliğinin hesaba katılamayacağını ifade ederken bunu Monte Carlo yöntemini kullanarak değerlendirmişlerdir.

Kraus ve Harikai (1983), Kraus (1983), Kraus ve diğ. (1984) ve Hanson ve Kraus (1985), kıyı yapısı tesirinde olan Japonya'nın Oarai kumsalındaki kıyı çizgisini Tek-Çizgi teorisinden hareketle sayısal olarak modellemişlerdir.

Borah ve Ballofet (1985), açık deniz dalga parametrelerini kullanarak jetti sistemi etrafında meydana gelen kıyı çizgisi değişimlerini Tek-Çizgi teorisi ile modellemişlerdir.

Hanson ve Kraus (1985, 1986a, 1986b), Tek-Çizgi teorisini geliştirdikleri sayısal modelde Japonya'nın Oarai kıyılarında yapı ve yapısız halde kıyı çizgisini büyük bir yaklaşıklıkla tahmin etmişlerdir.

Hanson ve Larson (1987), Tek-Çizgi teorisinin sayısal ve analitik sonuçlarının dalga geliş açısının küçük olması durumlarında yaklaşık tahminler yaptığını

göstermişlerdir. Ayrıca hesaplamalarda dalga dönmesinin göz önüne alınmaması durumunda pürüzsüz bir kıyı çizgisi planı elde edilmiş, dolayısı ile dalga dönmesinin etkisinin ihmal edilmemesini vurgulamışlardır.

Hanson ve Kraus (1989, 1991b), SPM bağıntısında dalga dönmelerinin etkisini de hesaba katan bir terim eklenmiş olan, Ozasa and Brampton (bkz. Tablo 4.1) denklemi ile Ohio kıyı çizgisinin değişimini sayısal modelle tahmin etmişlerdir. Aynı araştırmacılar geliştirilen bu sayısal modeli laboratuvarında gerçekleştirilen fiziksel modelle karşılaştırmış ve sonuçlarının çok uyumlu olduklarını göstermişlerdir (**Hanson ve Kraus, 1991a**).

Hanson ve diğ. (1989), açık deniz dalgakıranları arkasında meydana gelen kıyı çizgisi değişimlerini yine aynı sayısal modelle başarı ile tahmin etmişlerdir.

Fanos ve diğ. (1991), akarsular üzerine inşa edilen barajların denize doğru taşınan katı maddenin engellenmesinden dolayı, Nil deltasında nasıl bir değişikliği meydana getirdiğini ölçümlerle göstermişlerdir. Burada son yüz yılda kıyı çizgisi yıllık 50~60 m civarında erozyona maruz kalmıştır.

Simpson ve diğ. (1991), kıyı çizgisinin tahmininde SPM denkleminin kullanılması halinde, orantılılık sabiti K 'nın değerinin genelde kabul edilen 0.39'un yarısı civarında alınması gerektiğine işaret etmişlerdir.

Jayakumar ve Mahadevan (1993), tek-çizgi teorisinin sayısal modellemesinde en etkili parametrelerden dalga yüksekliği, dalga geliş açısı, ve periyodun etkilerini araştırmış ama net bir sonuç belirtmemiştir.

Larson ve diğ. (1997), tek-çizgi teorisinde bazı kabuller ve basitleştirmeler yaparak çok çeşitli durumlar için analitik çözümler yapmışlardır. Bu durumda doğrusallaştırılan ana denklem, yaygın olarak tanınan ısı veya kütle transferi denklemi formuna dönüştürülmüş bunun da bilinen çözümleri analogi ile kıyı çizgisine uyarlanmıştır (**Carslaw ve Jaeger, 1959**).

4. KİYİLERDE KATI MADDE HAREKETİ

4.1 Genel

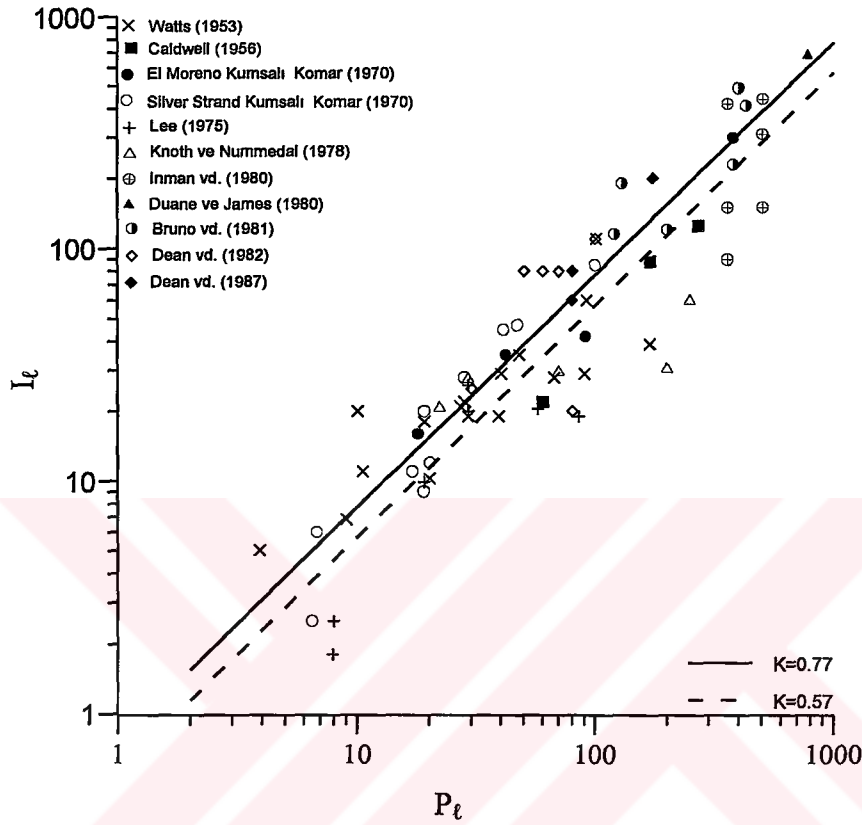
Yakın kıyı bölgesinde dalgaların ve akıntıların etkisi ile kumsal malzemesi ya kıyıya paralel veya kıyıya dik yönde taşınırlar. Bu taşınma işlemi mahmuz, dalgakıran veya deniz duvarı gibi bir kıyı yapısının inşasıyla kendisini daha belirgin ortaya koyacaktır.

Zira bu yapılar taşınan katı maddeyi engelleyerek adeta bir baraj gibi davranıp, katı maddenin geliş (membra) tarafında yığılmasına sebep olurken gidiş (mansap) tarafında ise oyulmaya sebep olacaktır. Böyle yapılar iyi tasarlanmaz ise etraflarında tahrip edici sonuçlar ortaya çıkarabilirler. Bu yapıların inşasından sonra meydana gelecek olan değişimleri öngörmek, yapıya ve çevreye olan yıkıcı etkilerini azaltmak veya tamamen yok etmek için yakın kıyıdaki katı madde hareketinin yönü, miktarı, kıyı çizgisinin değişimine etkisi ve yapılar üzerindeki etkilerinin bilinmesi gereklidir. Üçüncü Bölümde de verildiği gibi katı madde miktarının (Q_t veya I_t) belirlenmesi için bazıları sezgisel, bazıları deneysel veya ampirik, pek azı da teorik esaslı olmak üzere pek çok çalışma yapılmıştır. Önceleri sezgisel olarak elde edilen dalga gücü akısı (veya enerji akısı) yöntemi bağıntıları, arazi deneyleri ile doğrulanıp, **CERC (1984)** tarafından formüle edilmiştir. Ancak bu formül üzerine yapılan tartışmalar bitmemiş hala devam etmektedir.

CERC (1984), kıyıboyu katı madde miktarının 4 farklı yaklaşım ile elde edilebileceğini belirtmiştir; 1) Yakınlarda bilinen bir yere benzeterek katı madde debisini bulmak, 2) Eğer bu mümkün değilse, yakın kıyı bölgesindeki topoğrafik değişimlerden yararlanarak elde etmek, 3) Enerji akısı (Dalga gücü veya enerjetik) yöntemi ile belirlemek, 4) Brüt katı madde taşınımını yıllık ortalama kırılan dalga yüksekliğine bağlı olarak ampirik yöntemle elde etmektir. Burada enerji akısı yöntemi ile birlikte, şayet veriler mevcut ise Bagnold denklemi (akıntı gücü yöntemi) ile de katı madde debisi bulunabilir.

4.2 Dalga Gücü (Enerji Akısı) Modeli

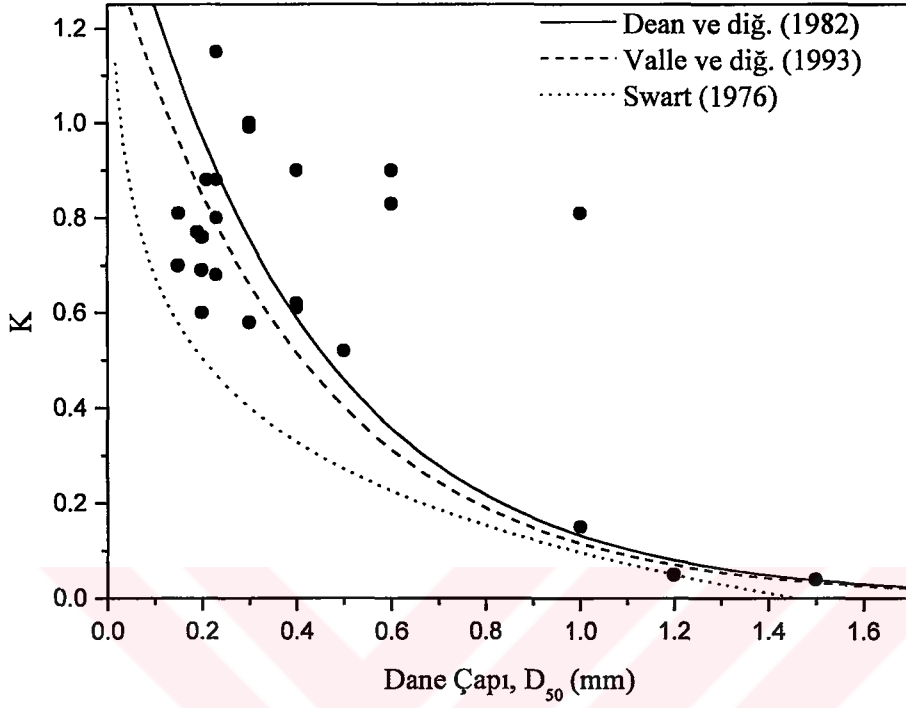
Şekil 4.1’ de verildiği gibi batmış kıyıboyu katı madde debisi ile kıyıboyu dalga gücünün doğrusal olarak değiştiği yapılan arazi deneyleri ile gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Batmış Kıyıboyu Katı Madde Debisi ile Dalga Gücü Arasındaki İlişki (Komar, 1991)

Buradaki orantı sabiti K üzerinde pek çok çalışma yapılmış ve bunun 0.18 ile 1.63 arasında değiştiği belirlenmiştir (Komar 1998). US Army (1998) Şekil (4.1)’e benzer çeşitli araştırmacıların elde ettiği sonuçları grafikte noktalararak K ’yı 0.92, US Army (1992) ise 0.70 olarak bulmuşlardır. Şekil (4.2)’ de bazı araştırmacıların K ’nın sabit olmayıp dune çapına bağlı olarak değiştiğini göstermişlerdir (Castanho, 1970; Swart, 1976; Dean ve diğ., 1982; Bodge ve Kraus, 1991; Valle ve diğ., 1993). Bir kısım çalışmalar bu sabitin dalga dikliği, kırılma türü, taban eğimine (veya Irribaren parametresi) bağlı olduğu iddiasındadırlar (Özhan, 1982; Kamphuis, 1991a, 1991b). Ancak Komar (1976, 1998) yapılan bunca çalışmaya rağmen K ’nın sabit olduğu ve 0.57 ile 0.77 arasında değiştiğini ileri sürmektedir. K katsayısı dalga gücü hesaplanırken dalga yüksekliğinin karelerinin ortalamasının karekökü (rms)

değeri alınıyorsa 0.57 ile 0.77 arasında, belirgin dalga yüksekliği alınıyorsa 0.30 ile 0.42 arasında değişmektedir.



Şekil 4.2 K katsayısının Ortalama Dane Çapı İle Değişimi

Kıyıboyu dalga gücü veya enerji akısı

$$P_{\ell} = (ECn)_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (4.1)$$

şeklindedir. Buradaki tüm değişkenler daha önce tanımlanmıştır.

Kıyıboyu batmış katı madde debisi I_{ℓ} ve hacimsel debi Q_{ℓ} arasındaki ilişki

$$I_{\ell} = (\rho_s - \rho) g (1-p) Q_{\ell} \quad (4.2)$$

olarak verilmiştir. **Bagnold (1963)** batmış katı madde debisini

$$I_{\ell} = K P_{\ell} = K (ECn)_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (4.3)$$

vermiştir. En son yapılan çalışmalarla K 'nın 0.70 olduğu görülmüş ve buna göre

$$I_\ell = 0.70 P_\ell \quad (4.4)$$

olacaktır (Komar, 1998). Ortalama dalga enerjisi İkinci Bölüm'de

$$E_b = 1/8 \rho g (H_b)^2 \quad (4.5)$$

şeklinde elde edilmiştir. Tek Dalga Teorisine göre dalga grup hızı

$$C_b = \sqrt{g(h_b + H_b)} \quad (4.6)$$

ile verilmektedir (US Army, 1992). Burada b alt indisi kırılma anındaki değerleri göstermek üzere h_b su derinliği, H_b dalga yüksekliği olup kırılma indeksi

$$\gamma_b = h_b/H_b \cong 1 \quad (4.7)$$

alınarak (4.3) denklemi yeniden düzenlenirse

$$I_\ell = 0.044 \rho g^{3/2} H_{br}^{5/2} \sin 2\alpha_b \quad (4.8)$$

bulunur. Kumun özgül kütlesi $\rho_s=2650 \text{ kg/m}^3$ ve porozitesi $p=0.4$, deniz suyunun özgül kütlesi $\rho=1020 \text{ kg/m}^3$ alınarak hacimsel katı madde debisi

$$Q_\ell = 2.3 \times 10^4 H_{br}^{5/2} \sin 2\alpha_b \quad (4.9)$$

şeklinde bulunur. Burada Q_ℓ ($\text{m}^3/\text{gün}$), P_ℓ (W/m) birimindedir. Yukarıdaki denklemlerde dalga yüksekliği rms cinsinden alınmıştır. Eğer belirgin dalga yüksekliği alınacak olursa Rayleigh dağılımından

$$H_{bs}/H_{br} \cong 1.41 \quad (4.10)$$

olup yerine yazılırsa belirgin dalga yüksekliğine bağlı olarak

$$I_\ell = 0.018 \rho g^{3/2} H_{bs}^{5/2} \sin 2\alpha_b \quad (4.11)$$

bağıntısı veya günlük ($\text{m}^3/\text{gün}$) hacimsel debi

$$Q_\ell = 0.46 \rho g^{3/2} H_{bs}^{5/2} \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (4.12)$$

$$Q_\ell = 5.1 \times 10^3 H_{bs}^{5/2} \sin 2\alpha_b \quad (4.13)$$

ifadeleri elde edilir.

Bu ifadeler pratikte en yaygın olarak kullanılan denklemlerdir. Kıyıboyu katı madde debisi ise yalnızca dalga parametrelerine bağlı olarak ifadelendirilmiştir ve her ne kadar arazi deneyleri ile uyum sağlasa da ampiriktirler. Denklemler sadece katı madde malzemesi kum olan kıyılar için geçerli olup çakıl ve daha iri malzemeden oluşmuş kıyılarda kullanılamazlar. Bundan dolayı da taşınan katı madde miktarı dane özelliklerinden bağımsızdır. Ayrıca taşınım ne gel-git ne de başka bir mekanizma ile gerçekleşmemekte, sadece dalga etkisi ile meydana gelmektedir.

4.3 Bagnold Denklemi (Akıntı Gücü Modeli)

Bagnold (1963), Inman ve Bagnold (1963) dalga ve akıntı etkisinde taşınan batmış katı madde debisi için

$$I_\ell = K' (ECn)_b \frac{\bar{V}_\ell}{U_m} \quad (4.14)$$

bağıntısını vermişlerdir. Burada geçen değişkenler 3. Bölümde verilmiştir. **Komar ve Inman (1970)** K' için 0.28 önerirken **Kraus ve diğ. (1982)** yaptıkları arazi deneyleri ile 0.25 değerini elde etmişlerdir. Doğrusal dalga teorisine göre yörüngesel hızı

$$U_m = \sqrt{2E_b / \rho h_b} = 0.5 \sqrt{\gamma g H_b} \quad (4.15)$$

ve $K'=0.25$ alarak dalga kırılma yüksekliğinin rms değeri için batmış kıyıboyu katı madde debisi

$$I_\ell = 0.088 \rho g H_{br}^2 \bar{V}_\ell \quad (4.16)$$

bulunur ve belirgin dalga yüksekliği durumunda

$$I_\ell = 0.044 \rho g H_{bs}^2 \bar{V}_\ell \quad (4.17)$$

elde edilir. Hacimsel debi ise sırasıyla dalga yüksekliğinin rms değeri ve belirgin dalga yüksekliği değerleri için

$$Q_\ell = 0.088 H_{br}^2 \bar{V}_\ell \quad (4.18)$$

ve

$$Q_\ell = 0.044 H_{bs}^2 \bar{V}_\ell \quad (4.19)$$

olarak bulunur . (US Army, 1998).

Eğer kıyıboyu akıntı sadece yakın kıyıda kırılan dalgalardan ibaret ise ortalama kıyıboyu akıntı

$$\bar{V}_\ell = 1.17 \sqrt{g H_{br}} \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (4.20)$$

ile ifade edilirse batmış kıyıboyu katı madde debisi

$$I_\ell = 0.10 \rho g^{3/2} H_{br}^{5/2} \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (4.21)$$

sonucuna varılır ki; bu ifade dalga gücü yöntemi ile elde edilen (4.8) denkleminde çok az farklıdır.

Buraya kadar elde edilen kıyıboyu ifadeleri hep kırılma anındaki parametrelere bağlı olarak verilmiştir. Kıyıboyu dalga akısı bazı yaklaşımlar ile üç farklı *denk* formda daha

$$P_\ell = 0.05 \rho g^{3/2} H_{s0}^{5/2} \sin 2\alpha_{0b} (\cos \alpha_0)^{1/4} \quad (4.22)$$

veya

$$P_\ell = 0.00996 \rho g^2 T H_{s0}^2 \sin \alpha_b \cos \alpha_0 \quad (4.23)$$

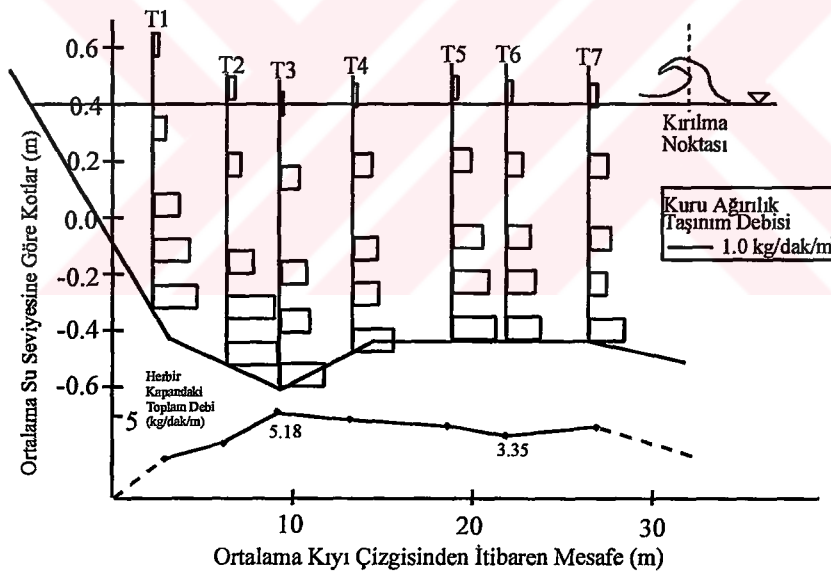
veya

$$P_\ell = 1.572 \rho g (H_{bs}^3 / T) \sin \alpha_0 \quad (4.24)$$

şeklinde yazılabilir (Galvin ve Schweppe, 1980; CERC, 1984):

Burada alt indis 0 açık deniz durumunu temsil ederken T dalga periyodudur. Bu ifadelerin “denk” liği 7. Bölümde irdelenecektir.

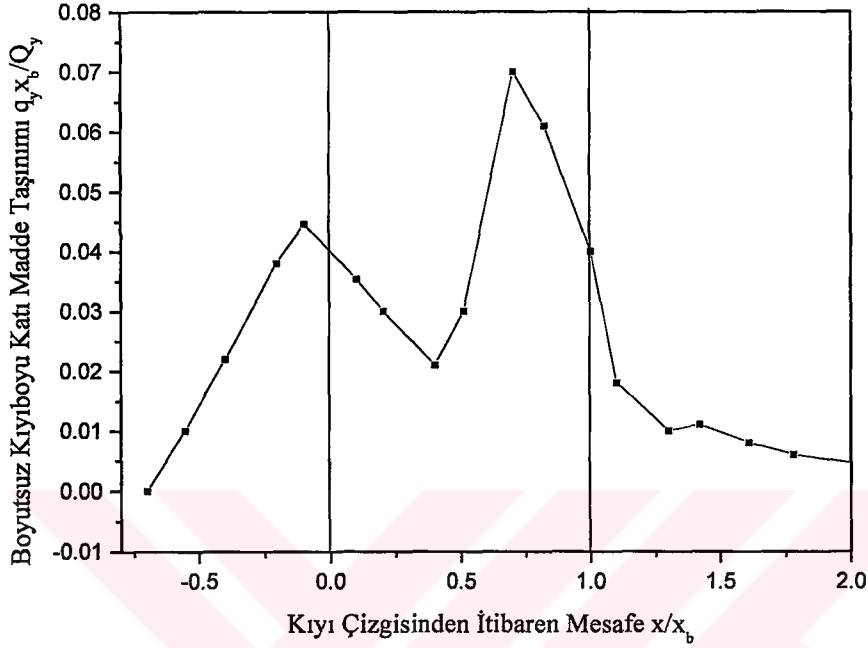
Şu ana kadar sadece katı madde debisinin kıyıboyunca miktarının belirlemeye çalışılmıştır. Katı madde debisinin kırılma bölgesi içinde, düşey ve kıyıya dik yöndeki dağılımları da araştırılmış ve Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilmiştir. Düşeyde taşınan katı maddenin sürüntü maddesi ağırlıklı olduğu görülmektedir. Katı madde debisi kıyıya dik yönde birisi hemen kırılma çizgisini takiben, diğeri



Şekil 4.3 Kırılma Bölgesi İçinde Kıyıboyu Katı Madde Akısının Düşey Dağılımı (Kraus ve Dean, 1987)

tırmanma bölgesinde olmak üzere iki pik değere ulaşmaktadır. Yani, bu dağılım iki modludur. **Zenkovitch (1960)**, ise yaptığı deneylerle dağılımın üç modlu olduğunu göstermiştir. Bu arada taşınan katı maddenin ne kadarının askı ve sürüntü maddesi olduğu araştırılmış ve birbirleriyle oldukça çelişen sonuçlar alınmıştır. **Inman ve diğ. (1980)** toplam içinde askı maddesi miktarının % 15 ile % 20 arasında değiştiğini

söylerken, **Kraus ve Dean (1987)** bu oranı %90 olarak vermektedir. Ancak Şekil 4.3 Inman ve arkadaşlarını haklı çıkarmakta, askı maddesi miktarının toplam taşınımın dörtte biri gibi bir değer vermektedir.



Şekil 4.4 Boyutsuz Kıyıboyu Katı Madde Taşınımının Kıyıya Dik Yöndeki Dağılımı (Bodge ve Dean, 1987)

4.4 Literatürde Kıyıboyu Katı Madde Debisi Modelleri

1953 yılında Watts'ın çalışmasından sonra geçen yarım yüzyıl içinde pekçok araştırmacı kıyıboyu katı madde debisini belirlemek için hem arazide hem de laboratuvar da deneyler yapmışlardır. Yapılan tüm çalışmalara ulaşılamamakla birlikte mevcut kaynaklardan derlenen modeller Tablo 4.1'de verilmiştir. Bu noktadan sonra yukarıda denklemlerde kullanılan ℓ alt indisi düşürülmüş ve Q debi sembolü ile sadece katı madde debisinin kıyıboyu bileşeni kastedilmiştir. Sembol birliğini sağlamak için de modellerin asıl kaynaklarında verilen değişkenler bu çalışma boyunca kullanılanlar ile değiştirilmiştir. Bu modellerin birimleri de farklı olup, ayrıntılı bilgi için kaynakların kendilerine müracaat edilmelidir.

Tablo 4.1 Kıyıboyu Katı Madde Debisi Modelleri

Araştırmacı(lar)	Model
Watts (1953) (Galvin ve Vitale, 1976)	$Q = 11130 P^{0.9}$
Caldwell (1956) (Galvin ve Vitale, 1976)	$Q = 10810 P^{0.8}$
Le Mehaute ve Brebner (1959) (Walton, 1979)	$Q = K H_b^2 T C_b \sin \frac{7}{4} \alpha_b$
Iwagaki ve Sawaragi (1962) (Horikawa, 1978)	$\frac{Q}{H_0 \sqrt{\rho_s g D^3}} = 1.97 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-2/3} \left(\frac{H_0}{\rho_s / \rho D} \right)^2 K_{sb}^{1/3} \tan \beta^{4/3} (\sin \alpha_b)^{4/3} \cos \alpha_b$
Manohar (1962) (Horikawa, 1978)	$Q = 0.786 P^{0.91} D^{0.59}$
Inman ve Bagnold (1963)	$I = K P$ $I = Q(\rho_s - \rho)g(1-p)$
Bijker (1968)	$q = K_1 d \frac{V}{C} g^{0.5} \exp \left[-0.27 \frac{\rho_s / \rho d C_f}{\mu V^2} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(K_2 \frac{u}{V} \right)^2 \right\}^{-1} \right]$ $i = 1.83 \times (\text{Sürüntü Maddesi.}) \times (I_1 \ln 33h/r + I_2)$
Iwagaki ve Sawaragi (1969) (Horikawa, 1988)	$Q = K \frac{\cos \alpha_b}{D^{1/2}} H_b^{1/3} \frac{\tan \beta \sin \alpha_b}{T}$
Komar ve Inman (1970)	$Q = K (EC_g)_b \cos \alpha_b \frac{V}{u_m}$
Thronton (1970)	$q = \frac{-1}{g \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)} \left(B_s \left(\frac{V}{U_{hwm}} \right)^{1/2} + S_s \frac{V}{w_s} \right) \frac{\partial (E \vec{C}_g)}{\partial x}$

Tablo 4.1 Devam

Bijker (1971)	$Q = K_1 D \frac{V}{C_z} g^{1/2} \exp \left[-K_2 \frac{(\rho_s - \rho) g D}{r_f \left(\frac{V}{C_z} \right)^2 \left(1 + \frac{1}{2} \left(\xi \frac{U_{hwm}}{V} \right)^2 \right)} \right]$
Madsen (1972) (Özhan, 1981)	$Q = 1.7 w_s D \left(\frac{\tau_{cw}}{g \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) D} \right)^3 \int_0^{x_b} U_b^5(x) V(x) dx$
Thronton (1972)	$q = \frac{K}{g \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right)} \sqrt{\frac{V}{U_m}} \left(-\frac{\partial (EC_g)}{\partial x} \right)$ Açık Denizde : $-\frac{\partial EC_g}{\partial x} = \overline{u\tau}$ Yakın Kıyıda : $E = \frac{1}{8} \rho g \gamma^2 (h + \eta)^2 \quad C_g = \sqrt{g(1 + \gamma)(h + \eta)}$
Dean (1973)	$I = K \frac{\kappa^{1/2} \tan \beta C_{gb} \cos \alpha_b P}{C_f w_s}$
Swart (1976)	$Q = 1876 \log \left(\frac{1.46 \times 10^{-3}}{D_{50}} \right) H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b)$
Komar (1977)	$q = K \rho \left(C_f V^2 + \frac{f_w}{2} u_m^2 \right) V$
Mizuguchi ve Horikawa (1977) (Horikawa, 1998)	$Q = K(\rho_s/\rho) \frac{\sqrt{gh_b}}{\frac{dh}{dx} C_f \gamma w_0} (EC_g)_b \sin \alpha_b$
Kamphuis ve Redshaw (1978)	$Q = K(\xi_b) \frac{P}{g}$ $\xi_b = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H_b/L_0}}$

Tablo 4.1 Devam

Le Mehaute ve Soldate (1978)	$Q = 7500P$ $P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_0^2 T K_R^2 \sin \alpha_b$ $K_R = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_b}}$
Sawaragi ve Deguchi (1978) (Horikawa, 1988)	$\frac{q}{Vd} = K \left(\frac{\tau - \tau_c}{\rho_s d g} \right)^n$
Tsuchiya ve Yasuda (1978) (Horikawa, 1978)	$q = \bar{c}_0 h V$ $\bar{c}_0 = K \frac{\rho_s}{\rho} \left(1 - \frac{\tau_c}{\tau} \right)$
Walton (1979)	$I = 1.40 \chi P$ $\chi = \frac{\kappa(1-K)m}{f} \left\{ \frac{e_b \sin 2\alpha_b}{2 \tan \alpha_b} + \frac{e_s C_b \cos \alpha_b}{w_s} \right\}$
Ozasa ve Brampton (1980) (Hanson ve Kraus, 1989)	$Q = (H^2 C_g)_b \left(K_1 \sin 2\alpha_b - K_2 \cos \alpha_b \frac{\partial H_b}{\partial x} \right)$ $K_1 = \frac{k_1}{16(\rho_s/\rho - 1)(1-p)(1.416)^{5/2}}$ $K_2 = \frac{k_2}{8(\rho_s/\rho - 1)(1-p) \tan \beta (1.416)^{5/2}}$
Kraus ve diğ. (1982)	$Q = \frac{K}{\gamma \tan \beta} H_b^2 V$
Özhan (1982)	$Q = 0.015 (H_o/L_o)^{-0.82} P$
Tsuchiya (1982)	$Q = \frac{5\pi}{16} \frac{c_0 \alpha}{f} I(R, F_\tau) d_b^2 \sqrt{g d_b} \sin(2\alpha_b)$ $I(R, F_\tau) = f(H, L, d, f)$

Tablo 4.1 Devam

Bailard (1984)	$Q = \left(0.05 + 2.6 \sin^2(2\alpha_b) + 0.007 \frac{U_{mb}}{w} \right) P = K(EC_g)_b$
SPM (CERC, 1984)	$Q = K P = 1289(EC_g)_b$
Katori ve diğ. (1984) (Horikawa, 1988)	$\frac{q}{w_0 d} = 2.7 \left\{ \frac{(\tau_m - \tau_c) V}{\rho \left(\frac{\rho_s}{\rho} Dg \right)^{3/2}} \right\}^{1.3}$
Kamphuis (1986)	$Q = 1.28 \frac{m H_{sb}^{7/2}}{D} \sin(2\alpha_b)$
Bodge ve Dean (1987)	$i = K \frac{1}{d} \frac{d}{dx} (EC_g) V \left(\frac{dh}{dx} \right)^{0.5}$
Kraus ve Dean (1987)	$Q = 5.21 \times 10^{-4} \left(\frac{V H_b^2}{m} - R_c \right)$
Arcilla ve diğ. (1988)	$Q = (\rho_s - \rho) K \xi_b^{1/2} 10^{-8\xi} g^{3/2} H_b^{5/2} \sin(2\alpha_b) (\theta^{0.44} - \theta_c^{0.44})$
Kraus ve diğ. (1988)	$i = 9.4 \times 10^{-4} \left[\rho g H V \left(1 + 20 \frac{dH}{dx} + 1.8 \frac{S_v}{V} + 3 \times 10^3 \right) \right]$ $I = 2.7(R - R_c)$
Koutitas (1988) Perlin ve Kit (1998)	$Q = K H_0^{5/2} \sin(2\alpha_0)$
Bodge ve Kraus (1991)	(Laboratuvar+Arazi verileri ile) $Q = (0.22 + \ln \xi_b + 0.62) P$ (Sadece Laboratuvar verileri ile) $Q = (0.37 + \ln \xi_b + 0.59) P$
Kamphuis (1991)	$Q = 6.4 \times 10^4 H_{sb}^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} D_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b)$
Laubscher ve diğ.(1991)	$Q = K P = 1028(EC_g)_b$

Tablo 4.1 Devam

Quick ve Ametepe (1991)	$I = \rho g^{3/2} H^{5/2} \sin\beta$
Watanabe (1992)	$i = (1-p) \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) K (\tau_b - \tau_c) V$ $I = \int_{x_0}^{\infty} i(x)$
Valle ve diğ. (1993)	$Q = (1.4 e^{-2.5D}) P = K(EC_g)_b$

Q : Kıyıboyu katı madde debisi	c : Konsantrasyon
q : Birim genişlik için kıyıboyu katı madde debisi	w : Dane çökme hızı
i : Birim genişlik için kıyıboyu batmış katı madde debisi	m : Taban eğimi
I : Kıyıboyu batmış katı madde debisi	p : Porozite
d : Su derinliği	α : Dalga geliş açısı
C_g : Dalga grup hızı	β : Kumsal taban açısı
K, k : Katsayı	g : Yerçekimi ivmesi
H : Dalga yüksekliği	γ : Kırılma indeksi
E : Dalga enerjisi	ξ : Irribaren parametresi
T : Dalga periyodu	ρ : Akışkanın özgül kütlesi
T_p : Pik dalga periyodu	ρ_s : Katı maddenin özgül kütlesi
L : Dalga boyu	μ : Akışkanın dinamik viskozitesi
V : Ortalama kıyıboyu akıntı hızı	τ : Kayma gerilmesi
D : Dane çapı	θ : Shield parametresi
U : Daneciğin yörüngesel hızı	o : Açık deniz değerleri
F : Taban sürtünme katsayısı	b : Kırılma anındaki değerler
	c : Kritik değerler

Bu tabloda verilen modellere bakıldığında katı madde debisini tayinde birbirinin 2 ile 3 katı farklı sonuçlar veren modeller ile birlikte, oldukça farklı değişkenlerle ifade edilen modeller de vardır. Ayrıca, modellerin elde edilmesinde kullanılan yaklaşımlar da farklıdır. Modellerin çıkarılmasında kullanılan yaklaşımlar; enerji akısı, taban katma gerilmesi, kıyıboyu akıntısı gibi esaslardır. Bütün bu çalışmalar ve tartışmalara rağmen şu an itibariyle dünyada en yaygın olarak kullanılan, SPM formülüdür (CERC, 1984).

4.5 Çalışmada Kullanılan Kıyıboyu Katı Madde Debisi Modelleri

Bu çalışmada elde mevcut bulunan veriler de gözönüne alınarak aşağıda verilen

- 1) Swart (1976)
- 2) Kamphuis and Readshaw (1978)
- 3) Özhan (1982)
- 4) Bailard (1984)
- 5) SPM (CERC, 1984)
- 6) Kamphuis ve diğ. (1986)
- 7) Kamphuis (1991)
- 8) Valle ve diğ. (1993)

bağıntılarına ilave olarak, SPM'in denk ifade edilen üç formu da Kumbaşı kumsalına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar 7. Bölüm'de verilirken, bağıntıların bağlı oldukları parametrelerin kıyı çizgisine olan etkileri 8. Bölüm'de değerlendirilmiştir.

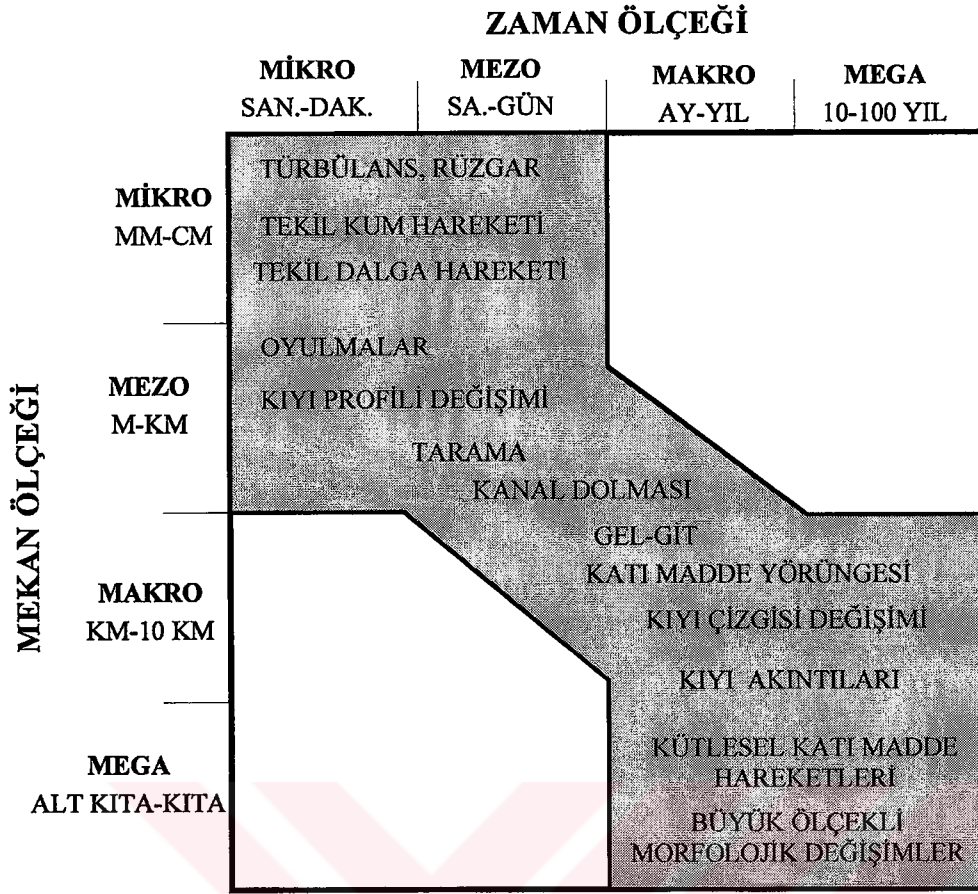
5. KIYI ÇİZGİSİ DEĞİŞİMİNİN MODELLENMESİ

5.1. Genel

Herhangi bir kıyı yapısının inşasından sonra hem yapının hem de kıyının korunması çok önemlidir. Kıyı değişimleri, rüzgar, dalga, akıntı, su seviyesi, kıyı malzemesinin karakteristikleri ve katı madde kaynağınca kontrol edilmektedir. Bu kıyıya has unsurlar kendi aralarında etkileştikleri gibi bir kıyı yapısı, kıyı beslemesi veya herhangi bir mühendislik faaliyetiyle bozulan doğal dengeyi eski haline döndürmeye çalışır. Zira inşa edilen bir kıyı yapısı ile birlikte kıyı çizgisi değişen yeni duruma kendini uydurmak isteyecek ve yapının bir tarafında oyulmalar meydana gelirken diğer tarafında yığılmalar olacaktır. Bu değişiklikler kıyı gerisinde tahribatlara yol açabileceği gibi bazı durumlarda kıyı yapısını işlevsiz kılabilir veya her ikisi bir anda olabilir. Yakın kıyıda meydana gelen bu değişimler hem mekan hem de zaman boyutunda değişiklik gösterirken karmaşık bir yapı sergilemektedir. Kıyı çizgisi makro-zaman ve makro-mekan ölçeğinde değişiklik gösterirken; kıyı profili, kıyıya dik katı madde taşınımının dominant olduğu durumlarda, yani fırtınalarda, mezo-mekan, mikro~mezo-zaman ölçeğinde değişmektedir (Larson ve Kraus, 1989; Kraus, 1989). Bu değişim Şekil (5.1)'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Bu nedenle kıyı çizgisinin zamanla değişimini belirlemek zor olmasına rağmen kıyı yapılarının tasarlanan görevi yerine getirebilmesi ve verimli işletilebilmesi için bu tahminin yapılması zaruridir.

Kıyı yapılarının planlamasında kıyı çizgisinin ve kumsal profilinin değişimi sayısal modellerle nispeten daha kolay belirlenebilirken aynı işi analitik modellerle yapmak daha zor hem daha yetersizdir. Modellerle her ne kadar bir sonuca gidilse de bu sonuçların isabetli olup olmadığı arazi ölçümleri ile sınanarak ve gerekirse bölgeye özgü katsayılar elde edilerek uygulanmalıdır.



Şekil 5.1 Zaman ve Mekan Ölçeğinde Kıyı Hareketleri (Larson ve Kraus, 1995)

5.2. Tek Çizgi Teorisi

Kıyı çizgisinin değişimini tahmin için ilk defa 1954 yılında Pelnard-Considère tarafından Tek Çizgi Teorisi olarak bilinen model önerilmiştir. Teorinin amacı kıyıda uzun dönemli değişimleri belirlemektir. Fırtına ve kıyı diki akıntılar gibi kısa dönemli faktörler ihmal edilebilir kabul edilmektedir. Ayrıca, batimetri çizgilerinin birbirlerine paralel olduğu ve kumsal profilinin denge halini koruduğu varsayılmaktadır. Buna göre kıyı çizgisinin değişimini belirlemek için tek bir çizginin yer değiştirmesini gözlemlemek کافی gelecektir. Bu çizgide kıyı çizgisinin kendisi olarak alınabilir. Modelde kıyıboyu katı madde debisi kıyı çizgisi ile kapanma derinliği denen açık deniz tarafındaki kritik bir derinlik arasında uniform olarak taşınmakta olduğu kabulü de yapılır. Bu kritik derinliğin deniz tarafında bir taşınımın olmadığı varsayılmaktadır (Le Mehaute ve Soldate, 1977, 1980; Hanson

Bu denklem katı madde debisinde kıyı boyunca meydana gelen değişimin, kıyı çizgisinin zamanla yer değiştirmesi ile dengelendiğini söylemektedir. Eğer kıyıboyu katı madde debisine ilave olarak çizgisel veya noktasal bir katı madde kaynağı veya kuyusunun ($\pm q$) olması durumunda

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} \mp q = 0 \quad (5.3)$$

veya

$$\frac{1}{D} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} \mp q = 0 \quad (5.4)$$

halini alır.

Burada bütün amaç y 'nin tespit edilmesidir. (5.4) denklemine göre y yani kıyı çizgisinin yer değiştirmesi kıyıboyu katı madde debisine etki eden tüm faktörlere bağlı olduğu gibi kapanma derinliği D , yanal debi q ile diferansiyel denklemin çözümü için başlangıç ve sınır şartlarına bağlıdır. Kapanma derinliği **Hallermeier** (1979, 1983) tarafından

$$D = 2.28H - 68.5 \left(\frac{H}{T} \right)^2 \frac{1}{g} \quad (5.5)$$

şeklinde verilmiştir. Doğrusal dalga teorisinden hareketle

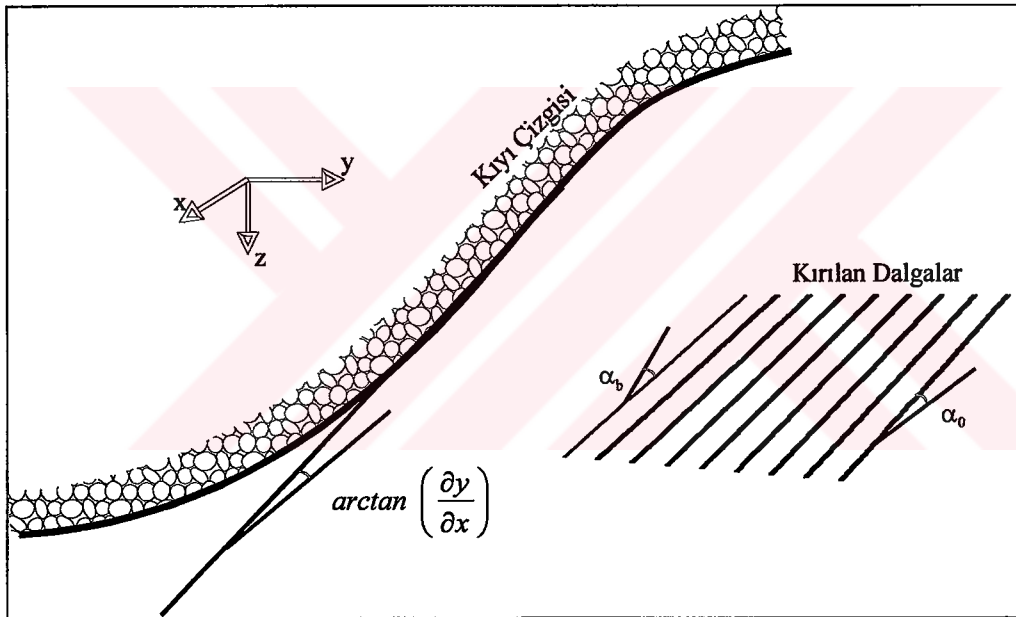
$$D = 2.28H - 10.5 \frac{H^2}{L} \quad (5.6)$$

yazılabilir (Kraus, 1983; Kraus ve diğ., 1984; Hanson ve Kraus, 1986).

Burada kıyıboyu katı madde debisi yerine dördüncü bölümde verilen modellerden herhangi biri yazılabilir. En yaygın kullanılan model olan SPM (CERC, 1984) yazılacak olursa, kıyı çizgisinin yer değiştirmesi; dalga yüksekliği, dalga periyodu, dalga geliş açısı ile esme süresine bağlı olacaktır. Burada dalga geliş açısı, kırılan dalga cephesi ile kıyı çizgisi arasındaki açı olacaktır. Yani

$$\alpha_b = \alpha_0 - \arctan\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right) \quad (5.7)$$

olacaktır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Kıyı Çizgisi ile Gelen Dalga Arasındaki İlişki

Yukarıda kütlenin korunumu ilkesinden hareketle elde edilen diferansiyel denklem analitik veya sayısal olarak çözülebilir. Analitik çözümler doğadaki değişiklikleri tanımlamakta yetersiz kalmakla beraber bir fikir vermesi amacıyla kullanılabilirler.

5.3. Kıyı Çizgisi Değişimi için Analitik Metod

Tek Çizgi modelinin analitik çözümü yapılırken bazı basitleştirmeler ve kabuller yapılacaktır. Aksi takdirde sonuca gitmek mümkün değildir. Kıyıboyu katı madde taşınımı SPM (CERC, 1984) denklemi ile verilsin. Bu denklem aşağıdaki gibi de

$$Q = Q_0 \sin 2\alpha_b \quad (5.8)$$

ifade edilebilir. Burada Q_0 sabit bir dalga yüksekliği, kum malzeme ve K 'nın bir değeri için sabit olacaktır. α_b açısı yukarda verilmiştir.

Şayet α_b 'nin çok küçük olduğu ve dolayısıyla $\sin \alpha_b \cong \alpha_b$ yazılarak bu ifade doğrusallaştırılırsa kıyıboyu katı madde debisi

$$Q = Q_0 \left[2 \left(\alpha_0 - \arctan \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right) \right) \right] \quad (5.9)$$

olur. Burada katı madde taşınım debisinin genliği

$$Q_0 = \frac{\rho g}{16} H_{sb}^2 C_{gb} \frac{K}{(\rho_s - \rho)g(1 - p)} \quad (5.10)$$

ile ifade edilir.

Q_0 ile α_0 'ın sabit değerleri ve

$$\arctan \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right) \cong \frac{\partial y}{\partial x} \quad (5.11)$$

kabulü yapılarak yukarda verilen denklem (5.3)'de yerlerine yazılırsa, kıyı çizgisinin değişimi

$$\varepsilon \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\partial y}{\partial t} \quad (5.12)$$

şeklinde bulunur. Burada katsayı

$$\varepsilon = \frac{2Q_0}{D} \quad (5.13)$$

şeklindedir. (5.12) denklemi katı cisimlerde ısı iletkenliğini veren ve difüzyon denklemi denen ikinci mertebeden bir boyutlu diferansiyel denklemdir. Bu ifade iki sınır ve bir başlangıç şartı altında çözülebilir. ε katsayısı sabit bir sayı olup boyutludur. Burada katı madde genliği ne kadar büyük ise kıyı çizgisinin değişimi o denli büyük olacaktır. Kapanma derinliği ise kıyı çizgisinin değişimi ile ters orantılıdır, yani kapanma derinliğinin büyük değerlerinde değişim daha az olacaktır (Carslaw ve Jeager, 1959; Larson ve diğ., 1987, 1997).

Şayet kıyıboyu katı madde taşınımı x 'in bir fonksiyonu olsaydı

$$\alpha_0 \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \frac{\partial y}{\partial x} + \varepsilon \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \left(\varepsilon \frac{\partial \alpha_0}{\partial x} \right) \quad (5.14)$$

ifadesi elde edilecekti. Yedinci Bölüm'de nehir ağzı ve mahmuz etrafında meydana gelecek kıyı çizgisi değişimi (5.12) denklemi esas alınarak çözüm yapılacaktır.

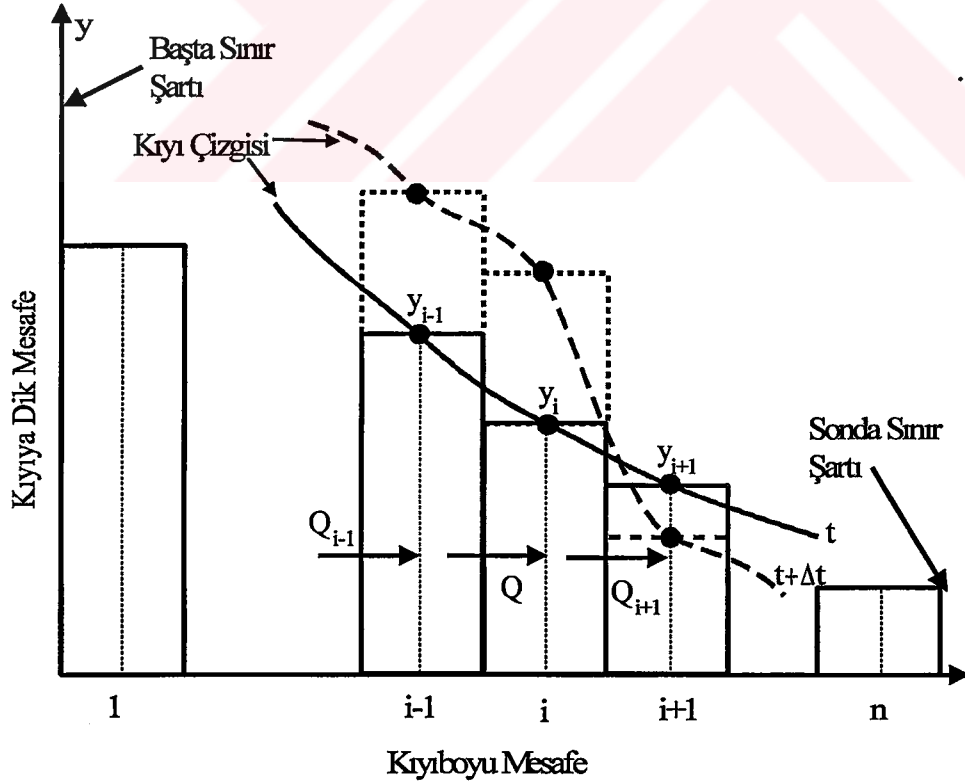
5.4. Kıyı Çizgisi Değişimi için Sayısal Metod

Pelnard-Considere'nin Tek Çizgi Teorisini ortaya attıktan sonra pek çok araştırmacı analitik çözümün yanısıra, sayısal olarak modelleme ile çözüme gitmişlerdir.

(Komar, 1983; Hanson ve Kraus, 1986). Analitik yaklaşım sonuca gidebilmek amacıyla kıyıda etkin olan bir kısım değişkenlerde basitleştirmeler yaparak kabullere gitmekte ve problemin özgün yapısını zedelemektedir. Sayısal modellemede, analitik yaklaşımla yapılan hiçbir kabule gerek kalmaksızın, kütlelerin korunumu ilkesinden elde edilen (5.2) veya (5.3) denklemini sonlu farklarla açık veya kapalı şema şeklinde yazılabilir. En genel haliyle (5.3) denkleminin sonlu farklarda açık şema ile ifadesi yazılırsa

$$y_i^{n+1} = y_i^n + \frac{\Delta t}{D \Delta x} (Q_i - Q_{i+1}) + \left(\frac{\Delta t}{D} q \right) \quad (5.15)$$

elde edilir. Burada n zaman adımını, i ise kıyıboyu hücre numarasını, Δx ve Δt ise sırasıyla zaman ve mesafe adımını göstermektedir. (5.15)'de bilinmeyen sadece ifadenin sol tarafında bulunan terim; yani bir sonraki adımda kıyı çizgisinin seçilen eksene göre koordinatı olup bu da bir önceki zaman adımında bilinen değerlerle hesaplanacaktır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Tek Çizgi Modelinin Sonlu Farklarda Şematik Gösterimi

Başlangıç şartı olarak $t=0$ anında kıyı çizgisinin seçilen eksen takımına göre pozisyonu; $i=1$ ve $i=n$ için sınır şartları girilmesi gerekmektedir. Kıyıya dik bir deniz yapısı var ise, bu yapı kıyıboyu katı madde taşınımını bulunduğu noktada bloke ettiği için orada $Q=0$; seçilen sistemin ucu açık ise örneğin $Q_n=Q_{n-1}$ alınacaktır yani en son noktada debi bir önceki değere eşitlenecektir. Δx ve Δt seçilirken stabilite parametresi

$$R_s = \frac{2K \Delta t H_b^2 C_{gb}}{D (\Delta x)^2} \leq \frac{1}{2} \quad (5.16)$$

verildiği gibi 0.5'ten küçük olmalıdır. Aksi takdirde, peşi sıra gelen kıyı çizgisi koordinatları bir negatif bir pozitif değer olarak kararsız hale gelecektir. Tek-Çizgi Teorisi sonlu farklarla modellenerek çeşitli durumlar için tatminkar sonuçlara ulaşılmıştır (Price ve diğ., 1972; Perlin ve Dean, 1978; Perlin, 1979; Le Mehaute ve Soldate, 1980; Kraus ve Harikai, 1983).

5.5. Çalışmada Kullanılan Kıyı Çizgisi Modeli

Bu çalışmada önce Tek-Çizgi teorisinin analitik çözümü ile sonuca gidilmeye çalışılacaktır. Ancak bu metod, yapılan kabuller dolayısı ile gerçek değişimi temsil etmekten çok uzaktadır. Bu sebeple analitik çözüm yerine mekanizmayı en iyi temsil eden sayısal metod vasıtasıyla çözümler elde edilecektir.

6. UYGULAMA ALANI VE ÖZELLİKLERİ

6.1 Genel

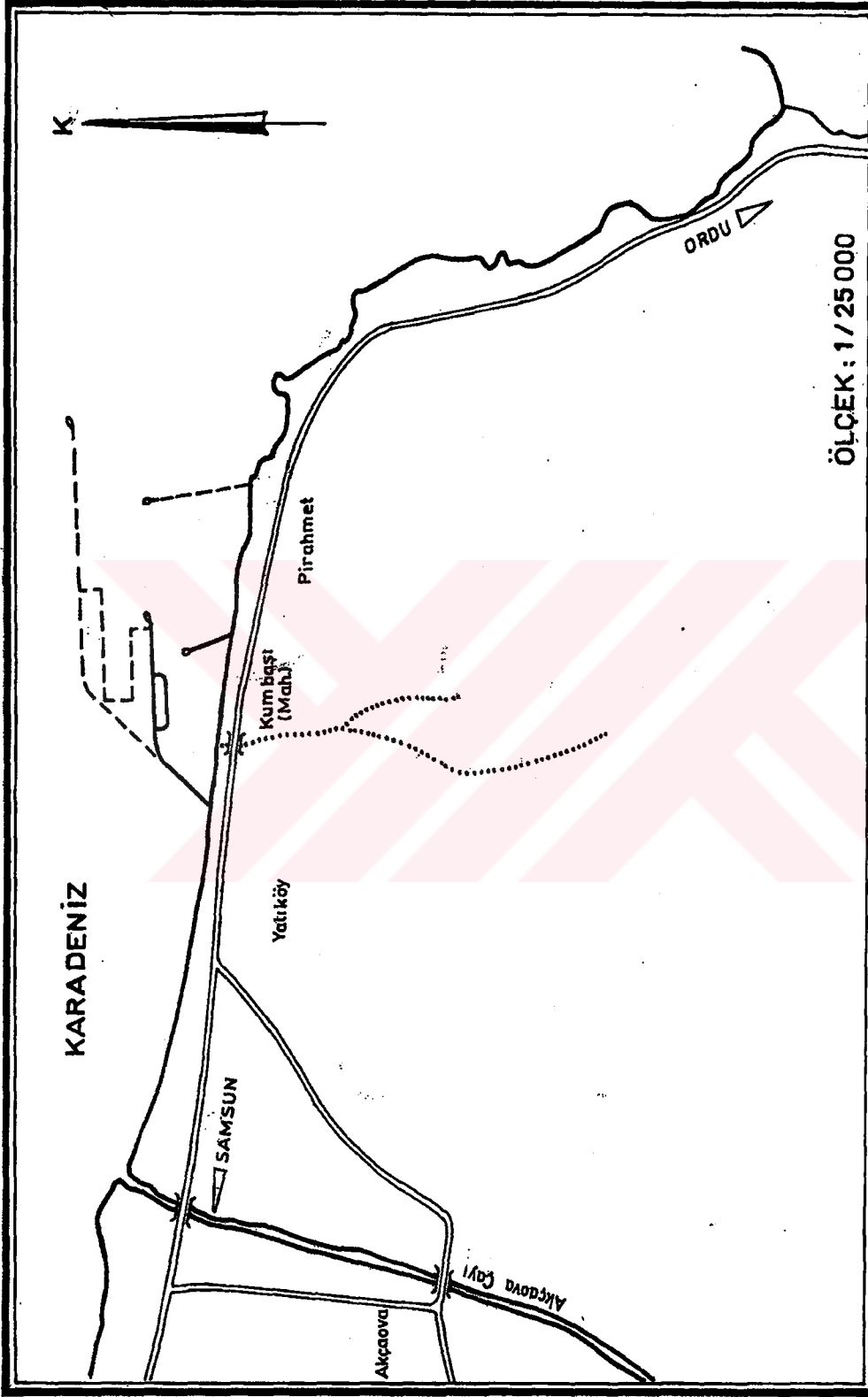
Bu çalışmada 41°01' kuzey enlemi ile 37°50' doğu boylamında bulunan Ordu-Efirli-Kumbaşı sahilinde yaklaşık doğu-batı yönünde uzanan bir kumsalda 1986 yılında kuzey ile 19° açı yapacak şekilde inşa edilen mahmuz etrafında oluşan kıyı çizgisi değişimleri incelenecektir.

Bu mahmuz daha sonra 1991 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi Hidrolik laboratuvarında yapılan deneyler ile de desteklenerek 2250+165 m uzunluğunda ana ve tali mendirek ile balıkçı barınağına dönüştürülmüştür.

Çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli plan Şekil (6.1)'de verilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi kıyı şeridi kuzey –kuzeybatı (NNW), kuzeybatı (NW), kuzey (N), kuzey-kuzeydoğu (NNE), kuzeydoğu (NE) yönlerinden gelecek olan dalgalara maruzdur.

Kıyı çizgisinin değişiminin inceleneceği alan, Akçaova Çayı ağzı ile deniz yapısı arasındaki kalan 1400 m'lik kısımdır. Hesaplamalarda yatay eksen kıyıboyu mesafeyi, dikey eksen kıyı çizgisinin değişimini temsil etmektedir.

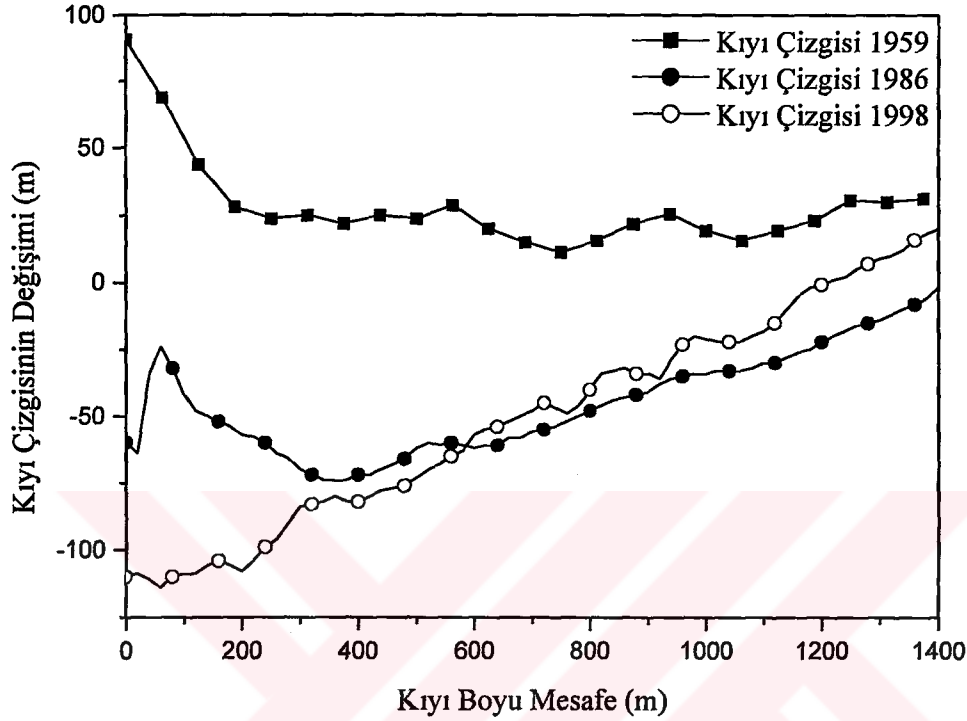
Doğu Karadeniz'de yüzey akıntılarının batıdan doğuya doğru olduğu da yapılan çalışmalarla gösterilmiştir (Baykut ve diğ. , 1982). Böylece bu bölgede yapılan kıyıya dik bir yapının etrafında batı tarafında yığılma doğu tarafında ise oyulma meydana gelecektir. 1959, 1986 ve 1998 yıllarına ait kıyı çizgisinin değişim seyri Şekil (6.2)'de verilmiş ve tahmin edilebileceği gibi mahmuzun batısında yığılma olmuştur. 1959'dan itibaren kıyı çizgisi yılda ortalama 0.4 m oyulmaya maruz kalarak bugünkü halini almıştır. Bu bölge coğrafi yapısı gereği, maruz kaldığı etkili dalga yönü ve kumsalın doğu ucundaki sınırı bir kuyu gibi davrandığından dolayı oyulma bu derece şiddetli olmuştur. Ayrıca kumsalın batısında doğal kıyıya dik bir mendirek gibi davranan 10 km uzunluğundaki Çamburnu batıdan katı madde gelişini tamamen engellemektedir. Kumsal mahmuz inşa edilmeden biri kapalı diğeri açık iki



Şekil 6.1 Çalışma bölgesi

sınır arasındadır. Dolayısıyla kumsalda kıyı boyu katı madde taşınımı doğuya doğru bir karakter arz etmektedir.

Karadeniz’de gel-git etkisinin az olmasından dolayı kıyı çizgisinin sadece rüzgar dalgalarının etkisinde kaldığı kabul edilecektir (Yüce, 1993).



Şekil 6.2 Kumbaşı Kumsalında Kıyı Çizgisinin 1959-1998 Yılları Arasındaki Değişimi

Etkili rüzgar yönüne göre Çamburnu’nun korumasında olan ama, katı madde kaynaklarıyla beslenemeyen bu kıyı şekil olarak da doğuya doğru hareket etmiş, mahmuzdan itibaren 1400 m batıda olan Akçaova nehir ağzı da bu süre içinde 50 m kadar doğu yönünde kayma yapmıştır.

6.2 Dalga ve Feç Mesafesi Tahminleri

Kumbaşı kumsalının etkilenmesi muhtemel olan dokuz yöne ait yıllık ortalama hızları 2.3 ile 9 m/s arasında olan rüzgarların esme süreleri Tablo 6.1 de verilmiştir.

En uzun süreli rüzgarların kuzey yönünden geldiği bu tablodan görülmektedir. Kıyı boyu katı madde taşınımını gerçekleştirebilecek olan rüzgar yönleri sırasıyla kuzey (N) kuzey- kuzeybatı (NNW) ve kuzey-doğu (NE) olduğu görülmektedir.

Tablo 6.1 Çalışma Alanında 2.3 m/s'den Büyük Ortalama Saatlik Rüzgarların Esme Süreleri (saat)

Yıllar	Hızlar (m/s)	E	ENE	NE	NNE	N	NNW	NW	WNW	W
1986	2.3~4.5	6	74	97	45	308	139	36	13	23
	4.6~6.3	-	-	4	1	84	45	17	6	5
	6.4~7.8	-	-	1	-	14	5	3	1	1
	7.9~9.0	-	-	-	-	1	2	1	-	-
1987	2.3~4.5	1	28	66	51	246	179	44	17	29
	4.6~6.3	-	-	-	1	42	56	15	1	7
	6.4~7.8	-	-	-	-	3	12	2	1	-
	7.9~9.0	-	-	-	-	-	2	1	1	1
1988	2.3~4.5	-	25	41	20	200	177	36	20	7
	4.6~6.3	-	-	-	-	25	64	21	2	2
	6.4~7.8	-	-	-	-	1	20	4	-	-
	7.9~9.0	-	-	-	-	-	1	-	-	-
1989	2.3~4.5	-	19	21	17	184	125	46	29	14
	4.6~6.3	-	-	-	-	65	53	13	3	-
	6.4~7.8	-	-	-	2	14	18	-	-	-
	7.9~9.0	-	-	-	-	1	-	-	-	-
1990	2.3~4.5	13	3	2	82	5	91	316	77	17
	4.6~6.3	1	-	-	-	1	10	146	12	4
	6.4~7.8	-	-	-	-	-	-	31	1	3
	7.9~9.0	-	-	-	-	-	-	3	-	-
5 Yıllık Toplam		21	149	232	219	1194	999	735	184	113
Yıllık Esme Oranı (%)		0.048	0.34	0.53	0.50	2.72	2.28	1.68	0.42	0.26

Matematik modelde kullanılacak olan dalga verileri harita üzerinde çalışılarak ve Ordu meteoroloji istasyonundan alınan ölçümlerden istifadeyle hesaplanmış ve Tablo (6.2) verilmiştir.

Tablo 6.2 Dalga Karakteristikleri

Dalga Yönü	α_0 (°)	H_0 (m)	T (s)	L_0 (m)	H_b (m)	h_b (m)	α_b (°)	T (sa)
NNW	32.5	0.39	3.6	20	0.60	0.77	19	384
N	10	0.50	3.2	16	0.66	0.84	10	239
NE	-35	0.33	2.8	12	0.45	0.58	-14.5	120

Sayısal modelde Tablo (6.2)'de verilen tüm yönler NNW, N ve NE yönlerinde toparlanmış kıyı çizgisinin bu üç yönün etkisinde değişimi bulunmuştur. Çamburnu'nun etkisinden dolayı W ile NNW arasında gelen rüzgarların kıyıboyu taşınımında etkisi olmayacaktır. Doğu yönünden gelen rüzgarlar da göreceli olarak çok küçüktür. Bu sebeple sayısal modelde Tablo (6.2)'de verilen diğer yönler NNW, N ve NE yönlerinde toparlanmış kıyı çizgisinin bu üç yönün etkisinde değişimi elde edilecektir.

Bu bölge için yapılan feç uzunlukları hesaplamalarında düz çizgi, 3 derece ve 6 derecelik açılarla elde edilen feç mesafelerinden en büyüğü esas alınmıştır. Elde edilen feç mesafeleri Tablo (6.3)'de verilmiştir (Ağıraltıoğlu ve diğ., 1991).

Tablo 6.3 Kumbaşı Sahilinde Etkili Feç Mesafeleri (km)

M E T O D	Y Ö N L E R					
	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE
Düz Çizgi	6	10.1	486	406	329	318
6° farklarla (-45° ve +45° arası)	36	143	231	310	324	287
3° farklarla (-12° ve +12° arası)	5.7	10.3	367	407	331	321

6.3 Batimetri

Mendireğin batısı ile, Çamburnu arasında batimetri oldukça yatık ve nereden ise birbirine paralel şekildedir. Taban eğimi kıyı çizgisinden itibaren ilk 50 metreye kadar %2 ile %3.5 arasında değişmektedir. 100 metreden sonra daha da yatıklaşarak eğim %0.3 olmaktadır. 1986 yılından sonra yapı ile birlikte hem kıyı çizgisi hem batimetri değişmiş, yapının her iki tarafında da yığılmalar gözlenmiştir. Özellikle mendireğin doğu tarafındaki yığılma çok hızlı olmuş, 1991 den sonra ise yığılma hızının düştüğü görülmüştür

6.4 Katı Madde Özellikleri

Bu çalışmada kullanılacak olan bazı kıyıboyu katı madde modelleri katı madde dane çapına bağlı olarak ifade edilmişlerdir. Dane çapının kıyıboyu taşınım üzerine etkili olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından gösterilmiştir. Kumsal malzemesinin kum veya çakıl olması taşınım miktarını oldukça değiştirmekte ve buna bağlı olarak SPM bağıntısındaki orantılılık sabiti K'da değişmektedir. K katsayısının, iri malzemeli bir kumsalda, kum malzemeli bir kumsaldaki değerinin yaklaşık % 10'u olduğu gösterilmiştir (Nicholls ve Wright, 1991; Schoonees ve Theron, 1994; Van Wellen ve diğ., 2000).

Bölgede dört ayrı noktadan alınan kum numunelerinin elek analiz sonuçları Tablo (6.4)'de verilmiştir. Bu sonuçlardan Akçaova Çayı ağzı ile mahmuz arasında kalan kumsalda ortalama dane çapı yaklaşık 0.40 mm alınabilir. İlerideki hesaplamalarda ortalama çap 0.40 mm olarak alınacaktır.

Tablo 6.4 Çalışma Alanının Çeşitli Yerlerinde Kumsal Malzemesinin Özellikleri (mm)

Dane Çapı	ALINDIĞI YER			
	Akçaova Çayı Ağzı (1986)	Mahmuzun 500 m Batısı (1998)	Mahmuzun 100 m Batısı (1986)	Melet Irmağı Ağzı (1986)
D ₅₀	0.57	0.30	0.43	0.18
D ₉₀	0.95	0.55	0.85	0.30

7. MATEMATİK MODEL ÇÖZÜMLERİ VE UYGULAMALAR

7.1 Genel

Çalışmanın amacı bir önceki bölümde tanıtılan Kumbaşı kumsalının yıllar içerisinde kıyı yapısı, akarsu ve dalga etkileri altında uğradığı oyulmanın ve dolayısıyla kıyı çizgisinin değişimini sayısal olarak modellemektir. Kullanılan sayısal modelde pek çok veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Varılacak sonucun isabetli olabilmesi için bu verilerin sağlıklı bir şekilde ölçülmesi lazımdır. Bunlara ilave olarak kıyılardan ve akarsu yataklarından denetimsiz alınan kum malzemenin de bilinmemesi çalışmayı zorlaştırmaktadır.

Kıyı çizgisinin zamanla ve mekanla değişiminin belirlenmesi iki ana merhaleden oluşmaktadır: 1) Kıyıboyu katı madde debisinin tayini 2) Tek- Çizgi Teorisi ile kıyı çizgisinin bulunması. Burada da bazı zorluk ve belirsizlikler vardır. Her şeyden önce kıyıboyu katı madde debisini veren bağıntılar akışkanlar mekaniği ve hidrolikteki pek çok formül hatta yasalar gibi sağlam matematik esaslarla elde edilmemiştir. İlk defa Watts tarafından 1953 yılında arazide yapılan deneyler sonucunda enerji akısı ile taşınım arasında bir korelasyon olduğu gösterilmiştir (Komar, 1988). Bundan sonra, Bölüm 3'te verildiği gibi pek çok araştırmacı hem arazi hem de laboratuarlarda pek çok deneyler yapmışlar ve geçen yüzyılın ortasında sezgi ile başlayan bir araştırma yeni bir bilim dalının gelişmesini motive etmiştir. Bu yaklaşım Longuett-Higgins tarafından ciddi olarak eleştirilse de çoğunluk tarafından kabul görmüştür (Galvin ve Vitale, 1976). Geçen elli yılda kıyıboyu katı madde debisi taşınımı üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalardan çıkarılabilecek en kesin ve önemli sonuç; taşınımın dalga yüksekliği ve geliş açısına bağlı olduğudur. Tartışmalar ise SPM formülünde K katsayısının sabit olup olmadığı (1.63, 0.77, 0.7, 0.58); taşınımın, dane çapı, taban eğimi, Irribaren sayısı, dalga dikliği, periyod, sürtünme katsayısı, gibi faktörlere bağlı olup olmadığıdır. Aşağıda irdelenecek olan bağıntılar, öneren araştırmacılar tarafından iddialı bir şekilde doğru olduğu söylenece de, kendi aralarında çok farklı sonuçlar vermektedirler. Bu farklı yaklaşımlardan

hangisinin Doğu Karadeniz Bölgesinde kıyı çizgisini belirlemede daha uygun olduğu araştırılmış ve uygun katsayılar sayısal model yardımıyla tespit edilmiştir.

Kıyı çizgisinin tayini için ise ilk defa 1956 yılında Pelnard-Considere tarafından teklif edilen Tek-Çizgi Teorisi kullanılmıştır. Bugüne kadar defalarca analitik ve sayısal çözümü yapılmış, ve başarıyla uygulanmış olmasına rağmen, bu teorinin çıkarılmasında yapılan kabuller mekanizmayı basite indirgemektedir. Bu sebeple literatürde önerilen sekiz değişik kıyıboyu katı madde debisi bağıntısından hangisinin daha isabetli olduğu belirlenecektir.

7.2 Analitik Çözümler

7.2.1 Bir Nehir Ağızı Etrafında Kıyı Çizgisinin Değişiminin Analitik Çözümü

Analitik çözümü bir nehir ağızına uygulanacaktır. $2a$ genişlikli bir nehirden q birim katı madde debisinin denize taşındığı; başlangıç kıyı çizgisinin yatay eksen ve sistemin yatayda simetrik olduğu kabulü yapılır. Böylece çözülecek esas denklem iki kısımdan oluşacaktır; $0 \leq x \leq a$ arasında

$$\varepsilon \frac{\partial^2 y_1}{\partial x^2} + \frac{q}{D} = \frac{\partial y_1}{\partial t} \quad (7.1)$$

şeklinde $x > a$ arasında ise

$$\varepsilon \frac{\partial^2 y_2}{\partial x^2} = \frac{\partial y_2}{\partial t} \quad (7.2)$$

olacaktır. (7.1) ve (7.2) ifadeleri aşağıda verilen başlangıç ve sınır şartları altında

$$y_1(x,0) = y_2(x,0) = 0 \quad (7.3a)$$

$$\frac{\partial y_1}{\partial x} = \frac{\partial y_2}{\partial x} \quad x = a \quad (7.3b)$$

$$\frac{\partial y_1}{\partial x} = 0 \quad x = 0 \quad (7.3c)$$

$$y_1 = y_2 \quad x = a \quad (7.3d)$$

$$y_2 = 0 \quad x \rightarrow \infty \quad (7.3e)$$

çözülürse, $t > 0$ ve $0 \leq x \leq a$ için

$$y_1 = \frac{qt}{D} \left[1 - 2i^2 \operatorname{erfc} \left(\frac{a-x}{2\sqrt{\epsilon}} \right) - 2i^2 \operatorname{erfc} \left(\frac{a+x}{2\sqrt{\epsilon}} \right) \right] \quad (7.4)$$

$t > 0$ ve $x > a$ için ise

$$y_2 = \frac{2qt}{D} \left[i^2 \operatorname{erfc} \left(\frac{x-a}{2\sqrt{\epsilon}} \right) - i^2 \operatorname{erfc} \left(\frac{x+a}{2\sqrt{\epsilon}} \right) \right] \quad (7.5)$$

elde edilir. Burada erf hata fonksiyonudur ve x değişken olmak üzere

$$\operatorname{erf} x = \frac{2}{\pi} \int_0^x e^{-\xi^2} d\xi \quad (7.6)$$

şeklinde verilir. erfc tamamlayıcı hata fonksiyonu, ierfc ise tamamlayıcı hata fonksiyonunun integralidir. Tamamlayıcı hata fonksiyonu

$$\operatorname{erfc} x = 1 - \operatorname{erf} x \quad (7.7)$$

ve tamamlayıcı hata fonksiyonunun integrali de

$$\operatorname{ierfc} x = \int_x^{\infty} \operatorname{erfc} \xi \, d\xi \quad (7.8)$$

şeklinde yazılır. İkinci mertebeden tamamlayıcı hata fonksiyonunun integrali

$$i^2 \operatorname{erfc} x = \frac{\operatorname{erfc} x}{4} - \frac{1}{2} x \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2} + x \operatorname{erfc} x \right) \quad (7.9)$$

şeklindedir. Boyutsuz bir denklem takımı elde etmek için:

$$y' = \frac{y \varepsilon D}{4 q a^2} \quad (7.10)$$

$$x' = \frac{x}{a} \quad (7.11)$$

$$t' = \frac{\varepsilon t}{a^2} \quad (7.12)$$

$$\mu = \frac{1 - x'}{2\sqrt{t'}} \quad (7.13)$$

$$\lambda = \frac{1 + x'}{2\sqrt{t'}} \quad (7.14)$$

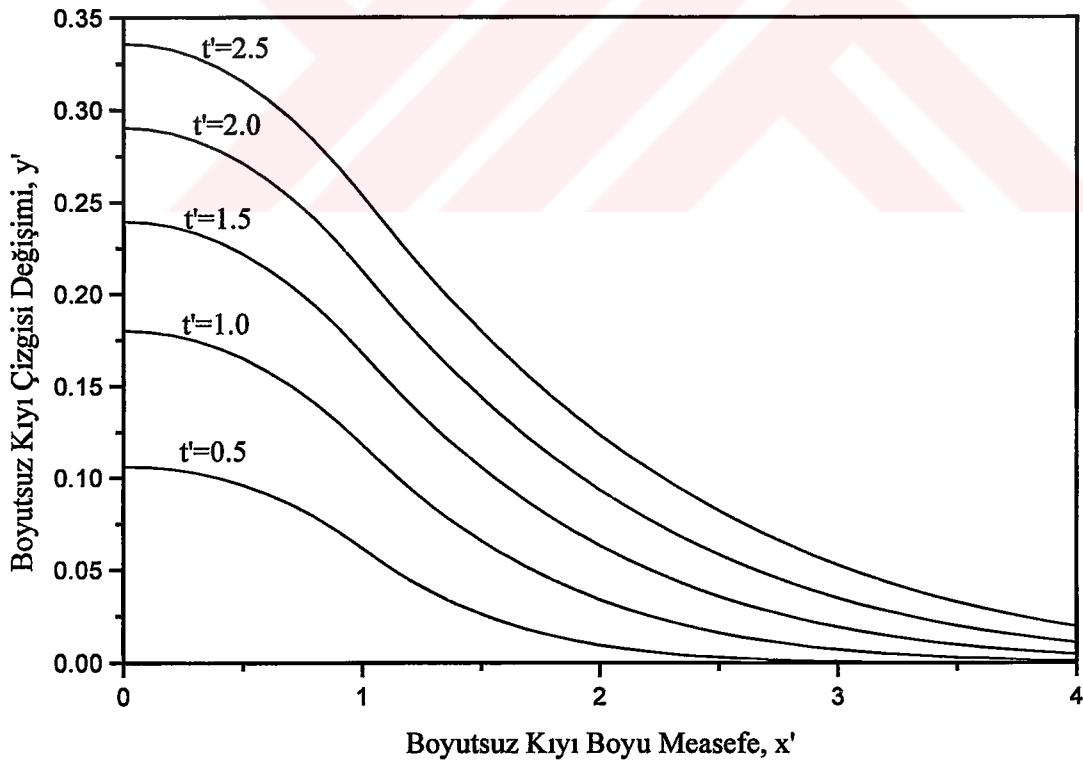
yazılır ise her iki kısım için ayrı ayrı

$$y_1' = \frac{t'}{4} \left[1 - \frac{\operatorname{erfc}\mu}{2} + \frac{\mu}{\sqrt{\pi}} e^{-\mu^2} - \mu^2 \operatorname{erfc}\mu - \frac{\operatorname{erfc}\lambda}{2} + \frac{\lambda}{\sqrt{\pi}} e^{-\lambda^2} - \lambda^2 \operatorname{erfc}\lambda \right] \quad (7.15)$$

ve

$$y_2' = \frac{t'}{4} \left[\frac{\operatorname{erfc}(-\mu)}{2} + \frac{\mu}{\sqrt{\pi}} e^{-\mu^2} + \mu^2 \operatorname{erfc}(-\mu) - \frac{\operatorname{erfc}\lambda}{2} + \frac{\lambda}{\sqrt{\pi}} e^{-\lambda^2} - \lambda^2 \operatorname{erfc}\lambda \right] \quad (7.16)$$

denklem takımı elde edilir. Boyutsuz formda elde edilen yukarıdaki denklemlerin, yatay eksen başlangıç kıyı çizgisi olmak üzere boyutsuz zaman fonksiyonuna göre değişimleri Şekil 7.1'de verilmiştir. Nehir ağzının simetrik olmasından dolayı bir taraf için çözüm yapılmıştır.



Şekil 7.1 Bir Nehir Ağızı Etrafında Kıyı Çizgisi Değişiminin Analitik Çözümü

7.2.2 Bir Mahmuz Etrafında Kıyı Çizgisi Değişiminin Analitik Çözümü

Kumsala dik bir mahmuzun etrafında meydana gelen kıyı çizgisi değişimi de analitik olarak elde edilebilir. Kıyıya sabit açı ile gelen dalga etkisi altında tam mahmuz hizasında kıyıboyu katı madde debisi sıfır olacaktır. $t=0$ anı ve $x=0$ 'da (5.9) denkleminde

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \tan \alpha_0 \quad (7.17)$$

bulunacaktır.

Bu sınır şartı mahmuz hizasında her anda kıyı çizgisinin dalga cephesine paralel olması gerektiğini ifade etmektedir. Başlangıç şartı olarak yatay eksen ve mahmuzda (7.17) ifadesi ile diğer uçta serbest sınır şartı alınarak (5.12) denklemini analitik olarak çözümlerse

$$\dot{y}' = 2 \left[\sqrt{\frac{t'}{\pi}} e^{-\frac{x'^2}{4t'}} - \frac{1}{2} x' \operatorname{erfc} \left(\frac{x'}{2\sqrt{t'}} \right) \right] \quad (7.18)$$

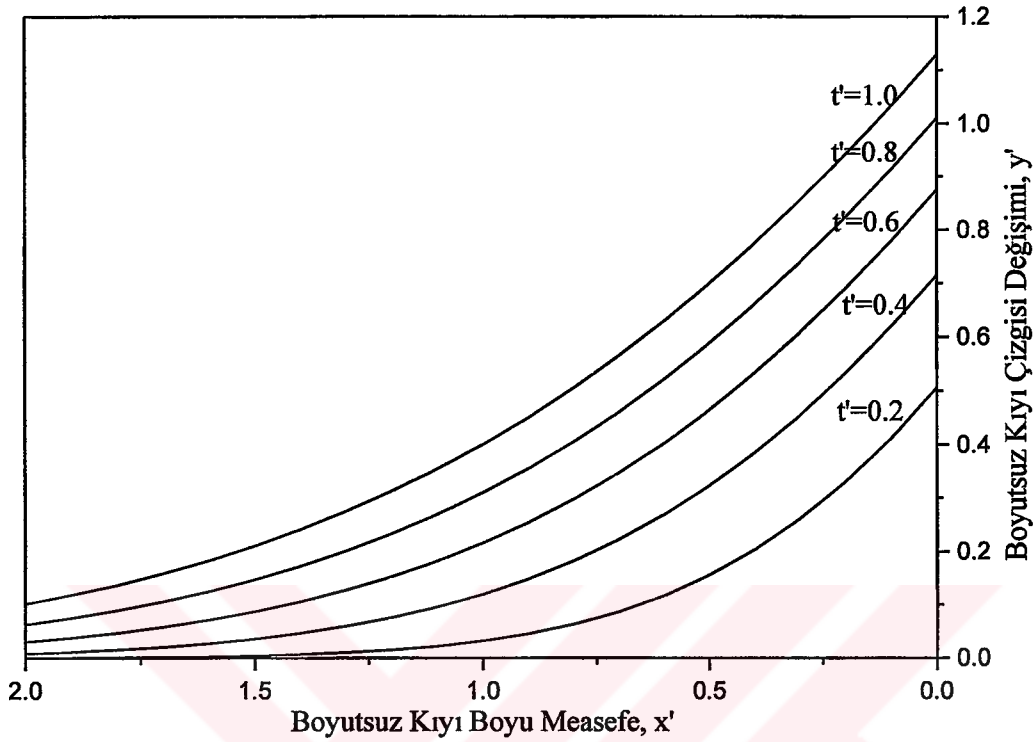
elde edilir. Burada L mahmuzun uzunluğu olmak üzere boyutsuz büyüklükler

$$y' = \frac{y}{\tan \alpha_0 L} \quad (7.19)$$

$$x' = \frac{x}{L} \quad (7.20)$$

$$t' = \frac{\varepsilon t}{L^2} \quad (7.21)$$

şeklindedir. (7.18) ifadesi çeşitli boyutsuz zaman değerleri için Şekil (7.2)'de verilmiştir.



Şekil 7.2 Bir Mahmuz Etrafında Kıyı Çizgisi Değişiminin Analitik Çözümü

Her iki analitik çözümde de kıyı çizgisi zamanla belli bir formatta değişmektedir. Bu sonuçlar çeşitli kabuller ve oldukça ideal şartlar altında elde edilmiştir. Analitik yaklaşım, sayısal çözüm kadar isabetli tahminler bulunamasa da, uygulamada kabaca bir fikir edinmek amacıyla ele alınabilir.

7.3 Sayısal Çözümler

Analitik çözümler olabildiğince ideal şartlarda elde edildiğinden gerçek kıyı çizgisi değişimini tahmin etmekten oldukça uzaktır. Burada 5. Bölümde sonlu farklarda ifade edilen tek çizgi teorisinin sayısal çözümleri, çeşitli kıyıboyu katı madde debisi modelleri uygulanarak bulunacaktır.

Çalışma bölgesi bir önceki bölümde verildiği gibi, üç rüzgar yönünün etkisi altındadır. Hesaplarda bu üç yöne ait rüzgar ve dalga verileri kullanılmıştır. Eksen takımının başlangıcı Akçaova Çayının ağzı seçilmiş ve kıyıboyunca mendireğe kadar olan 1400 m'lik mesafeyi içine almaktadır. Çeşitli yerlerden alınan kumsal

malzemesinin elek analizinden ortalama dane çapı 0.35~0.40 mm arasında olduğu görülmüştür. Taban eğimi ise kırılma bölgesinde 1/50 civarındadır. Kumsal sayısal modele tanıtılırken 1986 yılında ölçülen kıyı çizgisi başlangıç şartı olarak alınmış ve model 12 yıl boyunca üç yönden gelen dalga etkisi altında peşi sıra çalıştırılmıştır. Doğuda mendirek ve batıda Çamburnu sisteme katı madde giriş ve çıkışını tamamen engellediğinden her iki uç da geçirimsiz sınır şartı olarak alınmıştır. Tüm hesaplamalarda sonlu fark mesafe adımı, $\Delta x=60$ m, zaman adımı $\Delta t=12$ s seçilmiştir. Mesafe adımının daha küçük, zaman adımının büyük olması durumunda sonuçlar kararsız bir hal almaktadır. Burada aksi belirtilmedikçe rüzgar geliş sırası NNW+NE+N şeklindedir.

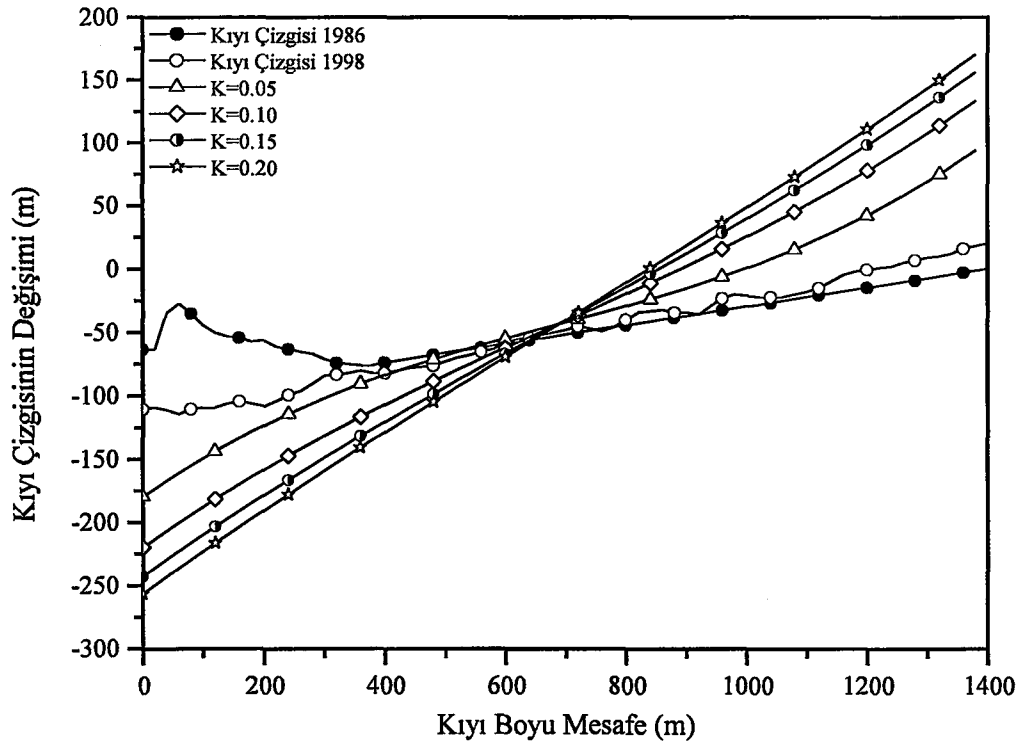
7.3.1 SPM Bağıntıları ile Çözüm

Komar ve Inman (1970), Komar (1971) tarafından arazi deneyleri ile desteklenen, daha sonra **CERC (1984)** tarafından benimsenen bu yaklaşım genelde dünyada en yaygın kullanılan modeldir. Zira yapılan arazi deneyleri ile ilişkilendirildiğinde mantıklı sonuçlar vermektedir. Bu denklem (4.13)'den yeniden düzenlenecek olursa

$$Q = 0.25 K H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (7.22)$$

bulunur. Burada Q katı madde debisi (m^3/s), H dalga yüksekliği, α dalga geliş açısı, alt indis b kırılma anındaki, s ise belirgin dalga değeridir.

Orantılılık sabiti K'nın 0.05, 0.1, 0.15, ve 0.2 değerleri için çalışma alanında oluşacak kıyı çizgisinin değişimi Şekil (7.3)'de verilmiştir. Belirgin dalga yüksekliğinin alınması durumunda literatürde alınması tavsiye edilen $K=0.3$ değeri burada değerlendirilmemiştir.



Şekil 7.3 SPM Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin N+NE+NNW Dalga Durumunda Değişimi

Zira şekilden de görülebileceği gibi bu değer kıyı çizgisinin gerçek değişmesinden çok daha fazla tahminde bulunmaktadır. K'nın bu bölgede 0.05 civarında olduğu anlaşılmaktadır. Kıyı şeridi boyunca ve akarsulardan malzeme alındığı da göz önüne alınırsa, SPM bağıntısının belli bir yakınlıkta tahminde bulunduğu şekilden görülmektedir.

CERC (1984)'de (7.22) bağıntısına denk olduğu ifade edilen üç bağıntı daha verilmektedir. (7.22) bağıntısı SPM1 olarak adlandırılacak olursa SPM2 derin deniz dalga özelliklerine bağlı olarak

$$Q = 0.16 K H_{so}^{5/2} \cos(\alpha_o) \sin(2\alpha_o) \quad (7.23)$$

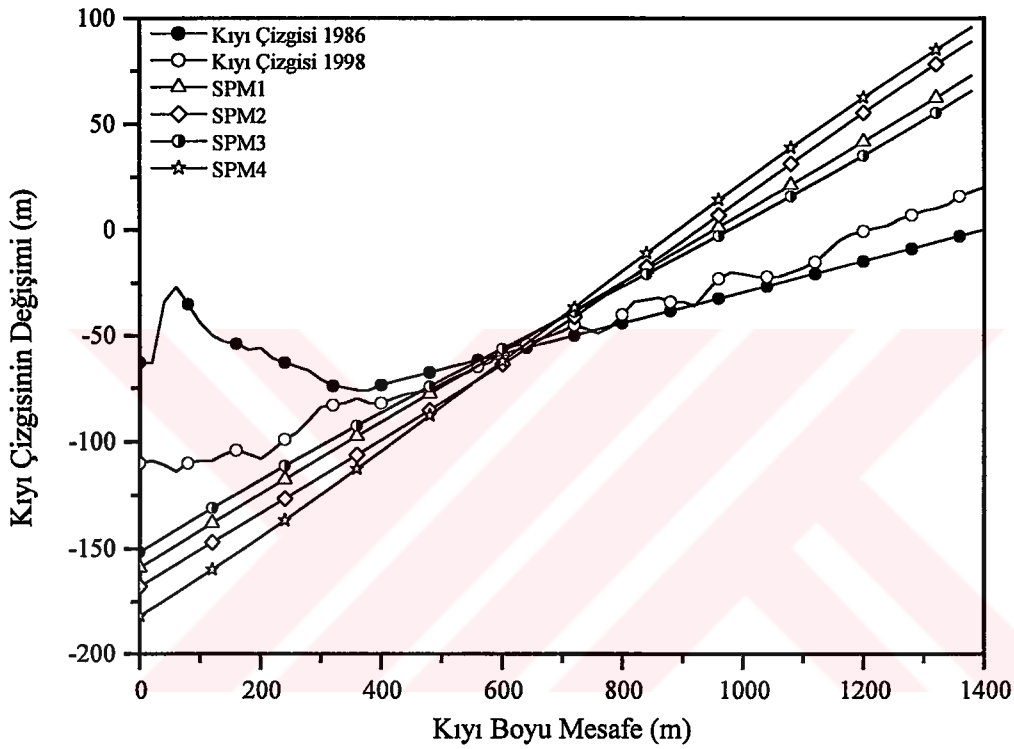
SPM3

$$Q = 0.098 K (TH_{so}^2) \cos(\alpha_o) \sin(2\alpha_o) \quad (7.24)$$

SPM4 ise

$$Q = 1.57 K \left(\frac{H_{sb}^3}{T} \right) \sin(\alpha_o) \quad (7.25)$$

şeklinde verilmiştir. Burada Q katı madde debisi (m^3/s), T dalga periyodu, alt indis 0 derin deniz dalga değerleridir (Galvin ve Schweppe, 1980). Bu dört bağıntı için elde edilen kıyı çizgisi değişimi Şekil (7.4)'de verilmiştir.



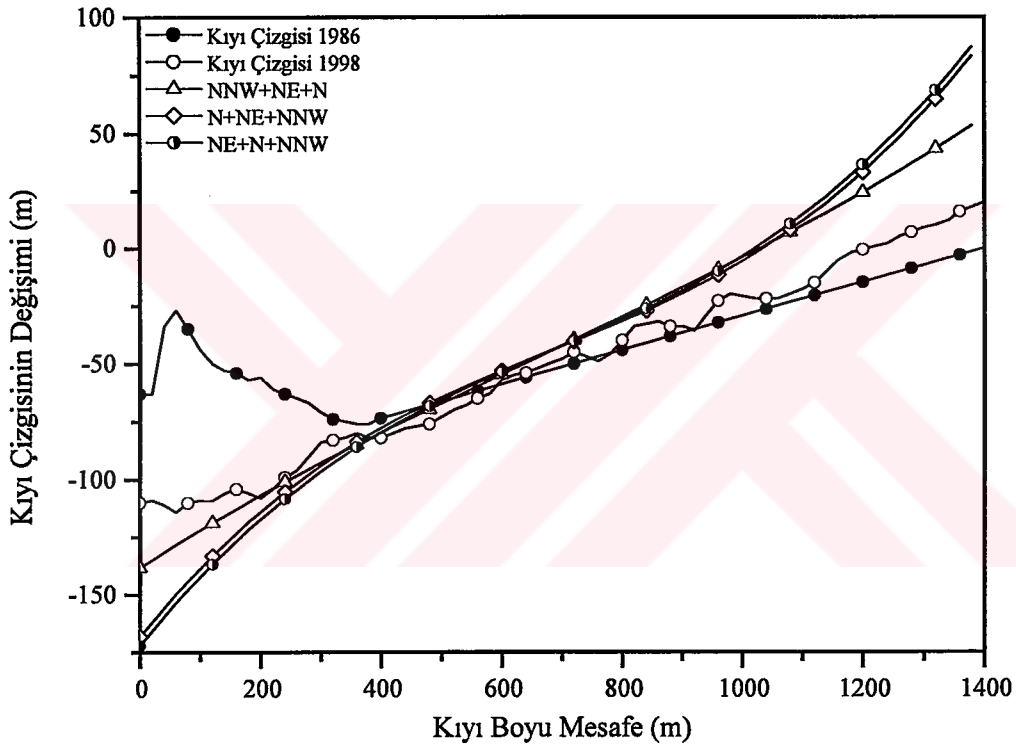
Şekil 7.4 NNW+NE+N Dalga Etkisinde $K=0.10$ için Dört Denk Formdaki SPM Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Değişimi

Denk oldukları ifade edilmesine rağmen yukarıdaki dört bağıntı aynı sonuçları vermemektedir. Sonuçlar arasında neredeyse %50'e yakın farklılıklar göstermişlerdir. Bunlar arasında en yakın tahmini SPM3 yaparken, SPM1 hemen onu takip etmiştir. Dolayısı ile bu bağıntılar elde edilirken yapılan kabullerin çok yerinde olmadığı anlaşılmaktadır.

Hanson ve Kraus (1986) Japonya'nın Oarai kıyılarında SPM1 bağıntısından hareketle kıyı çizgisinin değişimini tahmin etmişlerdir. Araştırmacılar esasta SPM formunda bir denklemi kullanmakla birlikte, dalga enerji akısı faktörü için de geçen grup dalga hızını doğrusal dalga teorisine göre ele almışlardır. Dolayısı ile (7.22)

$$Q = 0.011 H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (7.26)$$

halini almaktadır. Grup dalga hızının bu şekilde değerlendirilmesi sonucu, kıyıboyu katı madde taşınımı %25 azaltmakta ve dolayısı ile kıyı çizgisinin değişimi de bu nispette yavaş gelişmektedir (Bodge ve Kraus, 1991). (7.26) bağıntısı ile değişik dalga geliş yönleri için kıyı çizgisinin 12 yıl içindeki değişimi Şekil (7.5)'de verilmiştir. Dalgaların NNW+NE+N sırasıyla geldiği durum en iyi tahmini yapmıştır.



Şekil 7.5 Hanson and Kraus Bağıntısı ile Değişik Dalga Durumlarında Kıyı Çizgisinin Değişimi

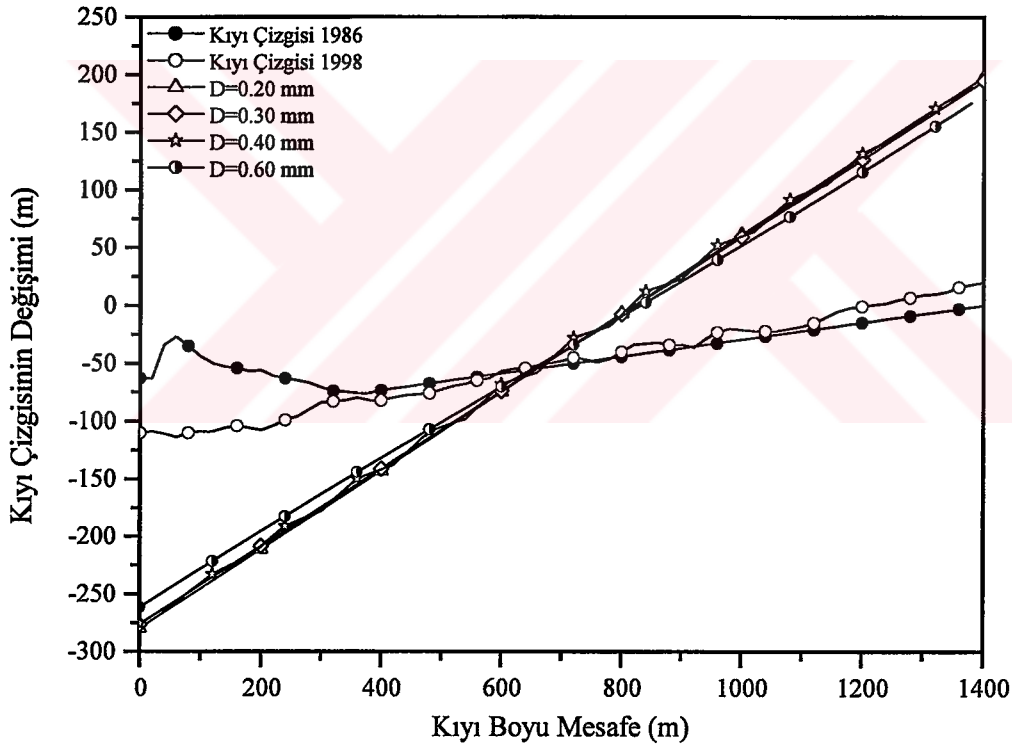
Sandalcı ve diğ. (1992), Sandalcı (1995), ile Ağırlioğlu ve diğ. (1995) (7.26) bağıntısı ile Kumbaşı sahilinde yapılan mendireğin doğu tarafındaki kıyı değişimlerini, akarsu olması ve farklı sınır şartları altında incelemişler ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Fakat genelde yakın kıyıda doğrusal dalga teorisi yerine yerel şartları en iyi temsil eden tek dalga teorisinin esas alınması daha uygun olacaktır.

7.3.2 Swart Bağıntısı ile Çözüm

Swart (1976) literatürden topladığı verileri yeniden değerlendirerek kıyıboyu katı madde debisi için dane çapının $0.1 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 1 \text{ mm}$ aralığında

$$Q = 0.58 \log\left(\frac{1.46 \times 10^{-3}}{D_{50}}\right) H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (7.27)$$

vermiştir. Burada D_{50} (m) cinsinden ortalama dane çapıdır. SPM1 denklemi ile karşılaştırıldığında (7.27) denkleminde K katsayısı D_{50} 'nin bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Ortalama dane çapları D_{50} 'nin 0.2, 0.3, 0.4, 0.6 mm değerleri için verilen bağıntının değişimi Şekil (7.6)'da gösterilmiştir.



Şekil 7.6 Swart Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Değişik Dane Çaplarında Değişimi

Dane çapının 0.2 mm ile 0.4 mm değerleri arasında kıyı çizgisi hemen hemen hiçbir değişiklik göstermemiştir. Sadece daha iri malzeme olan 0.6 mm'de hem oyulmada hem yığılmada çok az bir azalma göstererek bütün çaplarda doğrusal bir davranış sergilemiştir. Bu bağıntı gerçek değişimi temsil etmekten uzak olduğu gibi

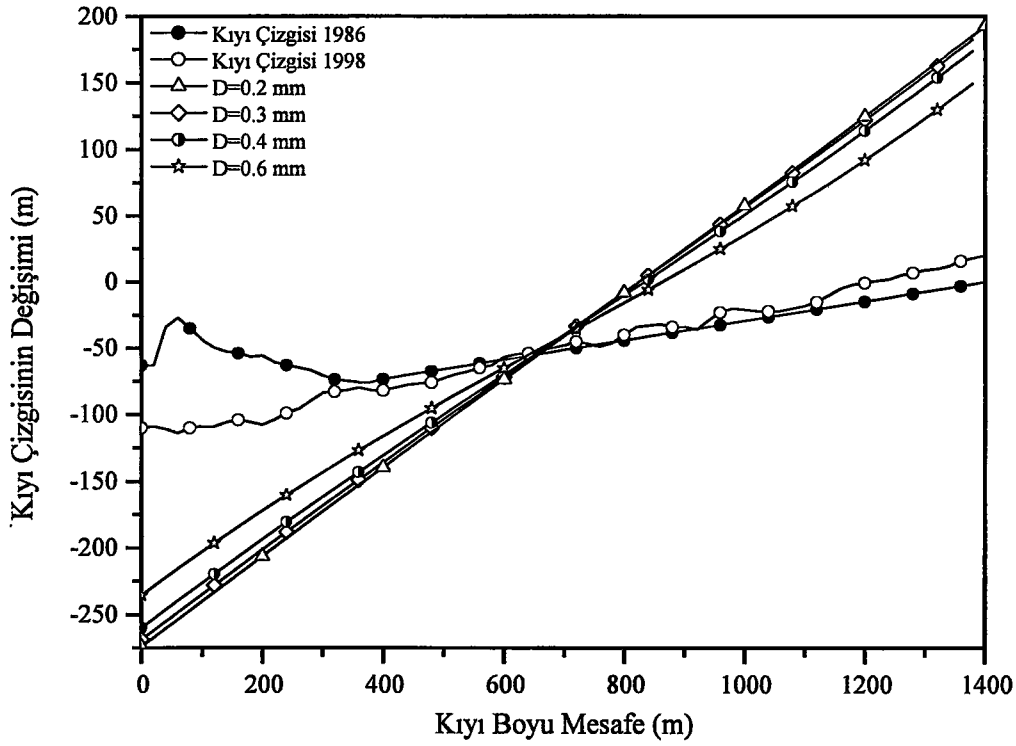
fonksiyonu olduğu dane çapının değişmesine duyarsız kalmış, çapın değişmesiyle ya hiç değişmemiş veya çok az değişme göstermiştir.

7.3.3 Valle Bağıntısı ile Çözüm

Valle ve diğ. (1993) İspanya'nın Akdenize dökülen Adra Nehri deltasında 30 yıl içinde meydana gelen kıyı değişimlerini hava fotoğrafları ile değerlendirmişlerdir. Dane çapları 0.2 mm ile 2 mm arasında değişen deltayı 5 ayrı bölgeye ayırarak toplam kıyıboyu katı madde debisini tahmin etmişlerdir. Sonuçta ortalama dane çapı D_{50} 'nin artmasıyla SPM1 bağıntısındaki orantılılık katsayısı K 'nın azaldığını gözlemlemişlerdir. Kendi verileri ile **Dean ve diğ. (1987)** ve **Komar (1988)** tarafından temin edilen verileri tekrar yorumlayarak kıyıboyu katı madde debisi için

$$Q = 0.16 e^{-2.5D_{50}} H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (7.28)$$

bağıntısını elde etmişlerdir. Burada D_{50} (mm) olarak alınacaktır. SPM1 bağıntısı ile karşılaştırıldığında burada K katsayısı bu defa D_{50} 'nin logaritmik değil üstel bir fonksiyonudur. Swart bağıntısında olduğu gibi D_{50} arttıkça K azalmaktadır. Yani kıyıda ki katı madde irileştikçe taşınım miktarı düşmektedir. Bu bağıntı ile dane çapının değişik değerleri için elde edilen kıyı çizgisi değişimleri Şekil (7.7)'de verilmiştir. Yine Swart bağıntısının sonuçları ile karşılaştırılacak olursa, bu bağıntıda da dane çapının değişimine kıyı çizgisi duyarsız kalmış ve Swart bağıntısı ile aynı davranışı sergilemiştir. Tek fark, bu son durumda oyulma ve yığılma miktarlarının biraz düştüğü görülmektedir. Dolayısı ile orantılılık katsayısı K sadece ortalama dane çapının fonksiyonu olması durumunda, kıyı çizgisi tahmininde başarılı olamamaktadır. Dane çapının hesaba dahil edildiği ne logaritmik ne de üstel fonksiyon çapların değişmesine karşı belirgin bir davranışta bulunmamıştır.



Şekil 7.7 Valle Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Değişik Dane Çaplarında Değişimi

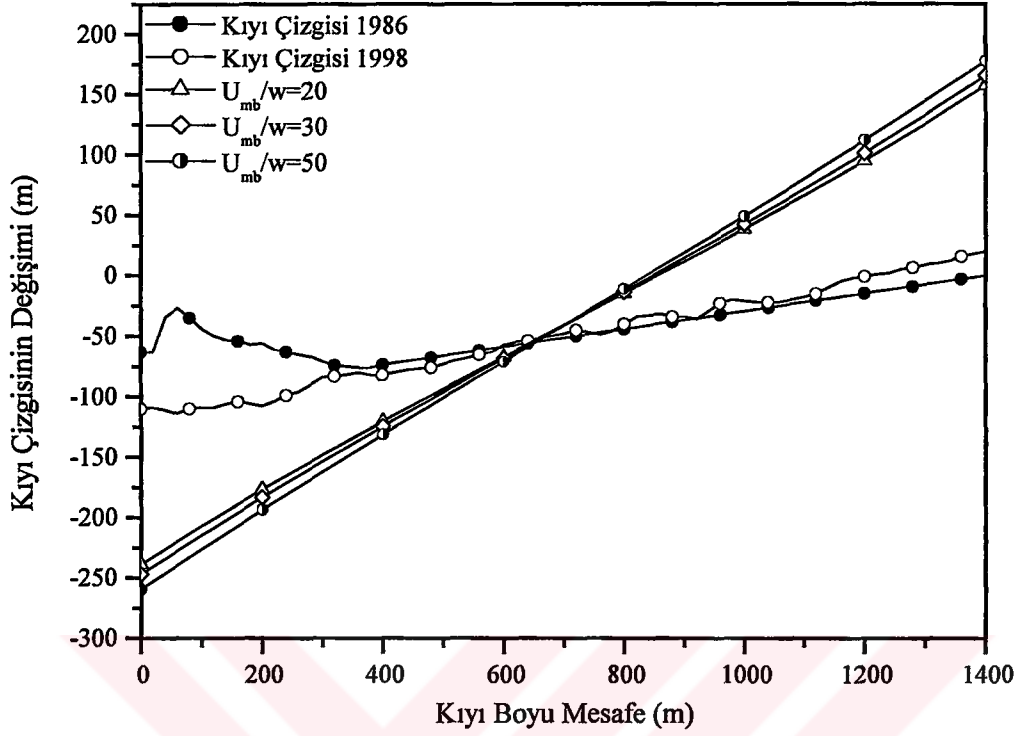
7.3.4 Bailard Bağıntısı ile Çözüm

Bailard (1984) kırılma bölgesinin orta noktasındaki kıyıboyu akıntı hızına bağlı olarak verilen katı madde taşınım modelini esas almıştır **Bagnold (1963)**. Bu yaklaşımda taşınımın iki farklı modda olduğunu kabul etmiştir; bu iki mod sürüntü ve askı maddesidir. **Bagnold (1963)** katı madde taşınım debisinin akıntı boyunca kaybolan enerji ile orantılı olduğunu kabul etmiştir ve taşınım debisini verimlilik faktörü olarak isimlendirdiği farklı orantı sabitlerini kullanarak toplam katı maddeyi sürüntü ve askı maddelerinin toplamı olarak vermiştir. Bu esastan hareketle **Bailard (1984)** SPM1 bağıntısındaki K katsayısı için (rms) dalga değerleri

$$Q = \left(0.05 + 2.6 \sin^2(2\alpha_b) + 0.007 \frac{U_{mb}}{w} \right) H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (7.29)$$

olarak vermiştir. Burada U_{mb} ile verilen katı madde daneciğinin kırılma anında yörüngesel hızı, w çökme hızıdır. Bailard U_{mb}/w 'nin arazi deneyleri sonucu 10 ile

110 arasında değer alabileceğini belirlemiştir. U_{mb}/w 'nin seçilen bazı değerleri için kıyı çizgisinin değişimi şekil (7.8)'de verilmiştir.



şekil 7.8 Bailard Bağıntısı ile Kıyı izgisinin Değişimi

Bu bağıntıda Valle ve diğ. (1993) tarafından önerilen bağıntı gibi davranmış ne kırılma açısı ne de U_{mb}/w oranına karşı bir hassasiyet göstermemiştir. Doğada olan değişimi de tahmin etmekten uzaktır. Bu bağıntı literatürde K katsayısı ile kırılma açısını ilişkilendiren tek bağıntıdır.

7.3.5 Kamphuis ve Readshaw Bağıntısı ile çözüm

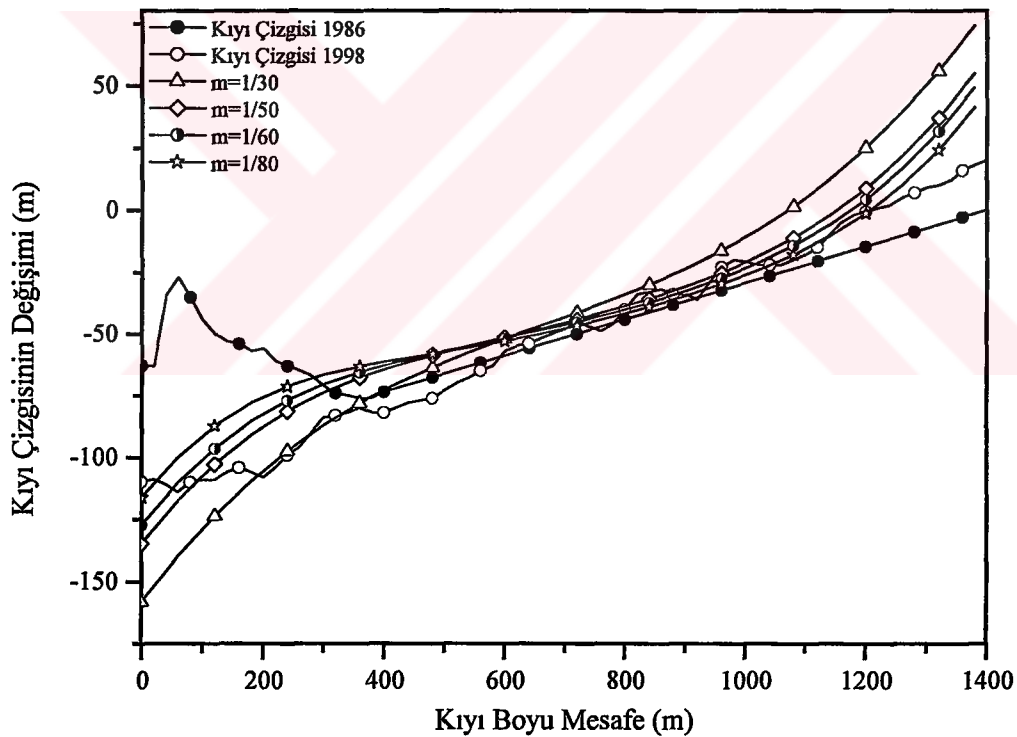
Kamphuis ve Readshaw (1978) 3-boyutlu hareketli tabanlı bir kıyı modelinde yaptıkları laboratuvar deneyleri sonucunda kıyıboyu katı madde debisinin Irribaren sayısına bağlı olduğunu sonucuna varmışlardır. Araştırmacılar Irribaren sayısının 1.4'den küçük değerleri için kütlesel kıyıboyu katı madde debisini

$$Q_s = K'_p \frac{P}{2g} \quad (7.30)$$

şeklinde vermişlerdir. Burada Q_s kıyıboyu katı madde debisi (kg/s), K'_p ise Irribaren sayısının (ξ) 1.4'den küçük değerleri için 0.7ξ , büyük değerleri için 1.24'tür. Gerekli düzenlemeler yapılırsa ve hacimsel katı madde debisi Irribaren sayısının 1.4'den küçük değerleri için

$$Q = 0.061 \frac{\tan\beta}{(H_{br}/L_0)^{0.5}} H_{bs}^{5/2} \sin(2\alpha_b) \quad (7.31)$$

bulunur. Burada H_{br} ve H_{bs} sırasıyla kırılma anında rms ve belirgin dalga yükseklikleri, $\tan\beta$ taban eğimi, L_0 açık deniz dalga boyu, α_b kırılma anında dalga geliş açısıdır. Bu yaklaşım ile farklı taban eğimlerinde kıyı çizgisinin NNW+NE+N dalga yönleri için değişimi bulunmuştur (Şekil 7.9).



Şekil 7.9 Kamphuis ve Readshaw Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Farklı Taban Eğimlerinde Değişimi

İncelenen kumsalda ortalama taban eğimi $\tan\beta=1/50$ olduğu düşünülecek olursa bu bağıntı kıyı çizgisinin doğal değişimine oldukça yakın bir tahmini sonuç vermiştir. Taban eğiminin dikleşmesi ile oyulma ve yığılma artarken, taban eğiminin yatıklaşması ile taşınım azalmakta, dolayısı ile kıyı çizgisinin zamanla değişimi daha

az olmaktadır. Araştırmacılar katı madde taşınımının kırılma bölgesindeki kumsal şekline, kırılma türüne ve enerji kaybına bağlı olduğu kanısındadırlar. Bu etkilerin de en iyi şekilde İrribaren sayısı ile temsil edilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca SPM1 denkleminin verilen hali ile katı madde debisini ölçülen değerlerden daha büyük sonuçlar verdiğini iddia etmişlerdir.

7.3.6 Kamphuis 1986 Bağntısı ile Çözüm

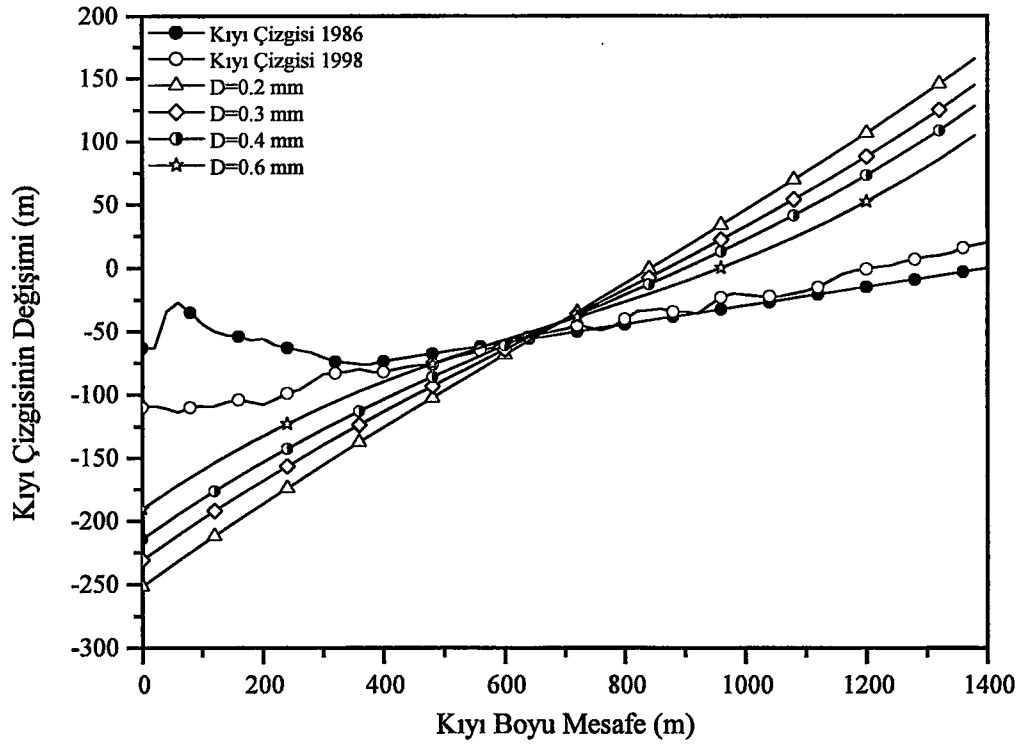
Kamphuis ve diğ. (1986) kıyıboyu kütleli katı madde debisinin bağlı olabileceği değişkenleri göz önüne alarak boyut analizi uygulamıştır. Analiz sonucunda boyutsuz halde kıyıboyu kütleli katı madde debisini

$$\frac{Q_s}{\frac{1}{2} \rho \frac{H_{bs}^3}{T}} = 0.202 \frac{H_{bs}}{D} \xi_b \quad (7.32)$$

şeklinde ifade etmişlerdir. Burada T dalga periyodu, D dane çapı ξ_b kırılma değerlerine bağlı İrribaren sayısıdır. Hacimsel debi

$$Q = 0.79 \frac{\tan \beta}{D} H_{bs}^{7/2} \sin(2\alpha_b) \quad (7.33)$$

olarak elde edilir. Burada dane çapı D (m) birimindedir. 1/50 taban eğimi ve farklı dane çaplarında kıyı çizgisinin değişimi Şekil (7.10)'de verilmiştir. Bu bağıntı ile yapılan tahminlerde kıyı çizgisinin gerçek değişimden çok daha büyük sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca yine aynı laboratuvar ortamında elde edilen verilerle önerilen, (7.31) denkleminde kıyasla da kıyı çizgisinin tahmininde hem oyulma hem de yığılma bölgelerinde oldukça abartılı sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni formülasyonda dane çapı dahil edilirken, dalga dikliği dolayısıyla İrribaren sayısına bağımlılık ortadan kaldırılmıştır. Bir diğer nedeni de dalga yüksekliğinin kuvveti önceki tüm bağıntılarda 2.5 iken burada 3.5 olarak verilmiş ve katı madde taşınımı diğer parametrelerin yanında dalga yüksekliğine çok bağımlı kılınmıştır. Dane çapı arttıkça taşınım azalmakta dolayısı ile kıyı çizgisinin değişimi daha küçük olmaktadır.



Şekil 7.10 Kamphuis 1986 Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin 1/50 Taban Eğiminde Farklı Dane Çaplarında Değişimi

Şekil (7.10)'den görüldüğü üzere taban eğiminin sabit olması durumunda, dane çapının artmasıyla kıyı çizgisinin değişimi azalmaktadır.

7.3.7 Kamphuis 1991 Bağıntısı ile Çözüm

Kamphuis (1991a, 1991b) daha önce yapılan **Kamphuis ve Readshaw (1978)** **Kamphuis ve diğ. (1986)** çalışmalarının bir devamı olarak burada yine 3-boyutlu hareketli tabanlı bir modelde deneyler yapmış ve boyut analizi uygulamıştır. Kıyıboyu katı madde debisini

$$Q=f(H,T,\alpha,d,\rho,\mu,g,x,y,z,t,\rho_s,D,m) \quad (7.34)$$

dalga, akışkan, katı madde ve kumsal özelliklerinin bir fonksiyonu olduğunu kabul etmiştir. Burada Q , kütleli katı madde debisi; H , T , α sırası ile dalga yüksekliği periyodu ve geliş açısı, d su derinliği, ρ ve μ sırasıyla akışkanın özgül kütlesi ve dinamik viskozitesi, g yerçekimi ivmesi, x , y , z koordinat eksenleri, t zaman, ρ_s katı

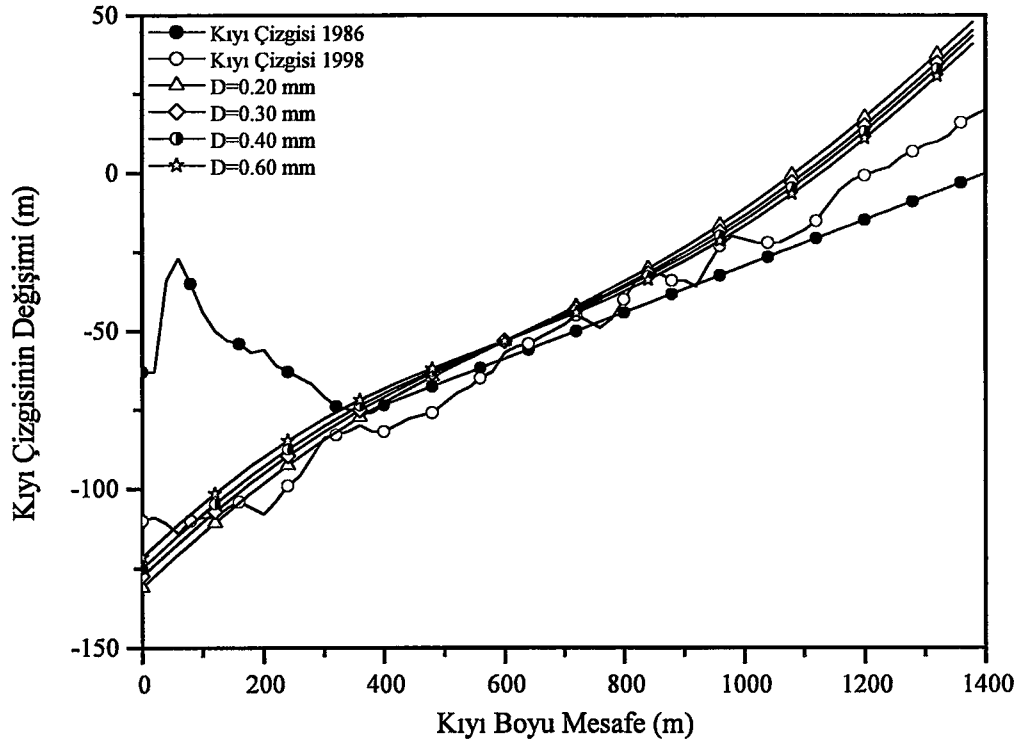
maddenin özgül kütlesi, D dane çapı, m kumsal eğimidir. Boyut analizi ile boyutsuz halde

$$\frac{Q}{\rho H^3 T} = \left(\frac{H}{L_o} \right)^p m_b^q \left(\frac{H}{D_{50}} \right)^r \sin^s(2\alpha_b) \quad (7.35)$$

elde edilir. Burada p, q, r ve s kuvvet sayılarıdır. Araştırmacı katı madde debisinin dalga dikliği, taban eğimi, bağıl dane çapı ve dalga geliş açısının bir fonksiyonu olduğu sonucuna varmıştır. Deney verilerinin yardımıyla yukarıdaki denklem düzenlenirse, hacimsel kıyıboyu katı madde debisi

$$Q = 6.4 \times 10^4 H_{sb}^2 T_p^{1.5} m_b^{0.75} D_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad (7.36)$$

elde edilir. Burada Q kıyıboyu katı madde debisi ($m^3/yıl$), H_{sb} kırılma anındaki belirgin dalga yüksekliği, T_p açık deniz durumunda maksimum periyod, m_b kırılma bölgesi içindeki taban eğimidir. Diğer değişkenlerin daha önce tanımlanmıştır. Bu denklem kullanılarak elde edilen kıyı çizgisi değişimleri Şekil (7.11)'de verilmiştir. Kumbaşı sahilinde kırılma bölgesi içinde ortalama taban eğimi 1/50 ve farklı dane çapları için elde edilen bu grafikte dane çapının etkisinin çok az olduğu görülmektedir. Şu ana kadar uygulananların arasında kıyı çizgisini en iyi şekilde tahmin eden katı madde modelinin diğerleri ile karşılaştırıldığında bu model olduğu görülecektir. Hesaplamalarda dane çapı, periyod ve taban eğimi göz önüne alınırken geliş açısı ile dalga yüksekliğinin etkisi azaltılmıştır. Bu ifade dane çapının zayıf, dalga yüksekliği ve açık-deniz maksimum dalga periyodunun kuvvetli bir fonksiyonudur. Taban eğimi arttıkça katı madde debisi artmaktadır. Dalga geliş açısının etkisi de azaltılmıştır.



Şekil 7.11 Kamphuis 1991 Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin 1/50 Taban Eğimi ve Farklı Dane Çaplarında Değişimi

Buraya kadar ele alınan tüm bağıntılar değerlendirildiğinde, dalga ve kumsal özelliklerine bağlı olarak ifade edilen (7.34) bağıntısının Doğu Karadeniz Bölgesi'nde kıyı çizgisinin belirlenmesinde en uygun sonuçları vereceği Şekil (7.11) ile gösterilmiştir.

8. DEĞERLENDİRMELER

Bir önceki bölümde çeşitli bağıntılarla elde edilen çözümler ve kıyı çizgisine etki eden parametreler burada detaylı olarak irdelenecektir.

8.1 SPM Bağıntısındaki K Katsayısının Etkisi

Watts'ın 1953 yılındaki çalışmasından sonra SPM bağıntısındaki K katsayısı üzerine pek çok arazi ve laboratuvar çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda kıyıboyu katı madde debisinin enerji akısı ile orantılı olduğunda birleşmekle beraber (pek azı hariç), orantı sabiti K için birbirinden uzak ve oldukça şaşırtıcı değerler vermişlerdir (Bruno ve diğ., 1980; Dean ve diğ., 1982; Sierra ve diğ., 1988). Galvin (1972) laboratuvar ve arazi deneyleri verilerinden istifade ile, katı madde debisinin bir orantı sabiti vasıtasıyla dalga yüksekliğinin karesi ile doğrudan eşit olduğu sonucuna varmış fakat bu yaklaşım itibar görmemiştir.

K sabitine ve SPM denkleminde çok şüpheli yaklaşımlar olmuştur. (Greer ve Madsen (1978) bu formülü kullanarak varılacak sonucun gerçek değerlerden çok farklı olacağını savunmuşlardır. K sayısı zaman içinde çok değişikliklere uğramış mesela CERC tarafından 1966 yılında verilen katsayı ile 1973 yılında verilen katsayı arasında % 83 oranında fark olduğu gösterilmiştir (Galvin 1976). Komar ve Inman (1970) ile Komar (1971) tarafından yapılan arazi deneyleri neticesinde dalga yüksekliğinin rms (karelerinin kare kökü) değeri için $K=0.77$ bulunmuş ve bu son yıllara kadar geçerliliğini korumuştur. Komar (1998) yapılan en son çalışmaları da göz önüne alarak bir değerlendirme yapmış ve bu değeri 0.70 olarak vermiştir. Schoonees ve Theron (1993, 1994) geçmiş çalışmalardan temin ettikleri 273 veri noktasının topluca değerlendirilmesi ile K için 0.82 değerini elde ederken, Wang ve diğ. (1998) aynı K için küçük enerjili kıyılarda arazi deneyleri ile 0.08 değerini elde etmişlerdir. Bodge ve Kraus (1991) çeşitli durumlarda SPM formülünün 5 kata kadar fazla tahminde bulunacağını söylemişlerdir. Wang ve Kraus (1999) yaptıkları dört arazi ölçümünün üçünde, SPM formülünün daha büyük tahminde bulunduğunu belirterek, K'nın sabit olmayıp başka faktörlere bağlı olduğunu ileri sürmektedirler.

Yine Castanho (1970), Swart (1976), Dean ve diğ. (1982), Valle ve diğ. (1993) K katsayısının dane çapı ile ilişkisini kurmaya çalışmışlardır. Ayrıca Kamphuis ve Readshaw (1978), Özhan (1982), Kamphuis (1986), Bodge (1987), ve Bodge ve Kraus (1991), bu sayının Irribaren parametresi, dalga dikliği veya taban eğiminin birer fonksiyonu olduğunu göstermişlerdir. Buraya kadar K'nın sadece kıyıboyu katı madde debisinin hesabında kullanılacak olması durumunda yapılan çalışma ve tartışmalar verilmiştir. Şayet kıyı çizgisinin değişimi belirlenmek isteniyorsa K için genelde kabul edilen 0.77 değerinin en az yarısının alınması tavsiye edilmiştir (Simpson ve diğ., 1991; Hanson ve Kraus, 1991). Kıyı çizgisinin değişimini belirleyen Hanson ve Kraus (1986), Sandalcı ve diğ (1992), Ağralıoğlu ve diğ., (1994) ve Sandalcı (1995) bu değeri yaklaşık 0.05 olarak almışlardır. Şekil (7.3)'de K'nın kıyı çizgisinin değişimi üzerindeki etkisi görülmektedir. Bu katsayının bölgeye özgü olduğu ve universal olamayacağı yukarıda özetlenen çalışmalarla anlaşılmaktadır. Eğer Doğu Karadeniz kıyılarında kıyı çizgisinin belirlenmesinde SPM denklemi kullanılacak ise K katsayısının 0.05 civarında alınması bu çalışma sonucunda görülmektedir.

Özetleyecek olursak Komar (1988, 1991, 1998) K'nın sabit ve ne kumsal ne de dalga özelliklerinin bir fonksiyonu olmadığına ısrar etse de, bu sayı kumsal özelliklerini de temsil etmelidir.

8.2 Kumsal Özelliklerinin Etkisi

Hem katı madde taşınımı, hem de kıyı çizgisinin belirlenmesinde kumsal özellikleri en önemli ikincil etkenlerdir. Kumsal özellikleri kumsal taban eğimi, katı madde dane iriliği gibi yöreye özgü özellikleridir.

8.2.1 Dane iriliğinin Etkisi

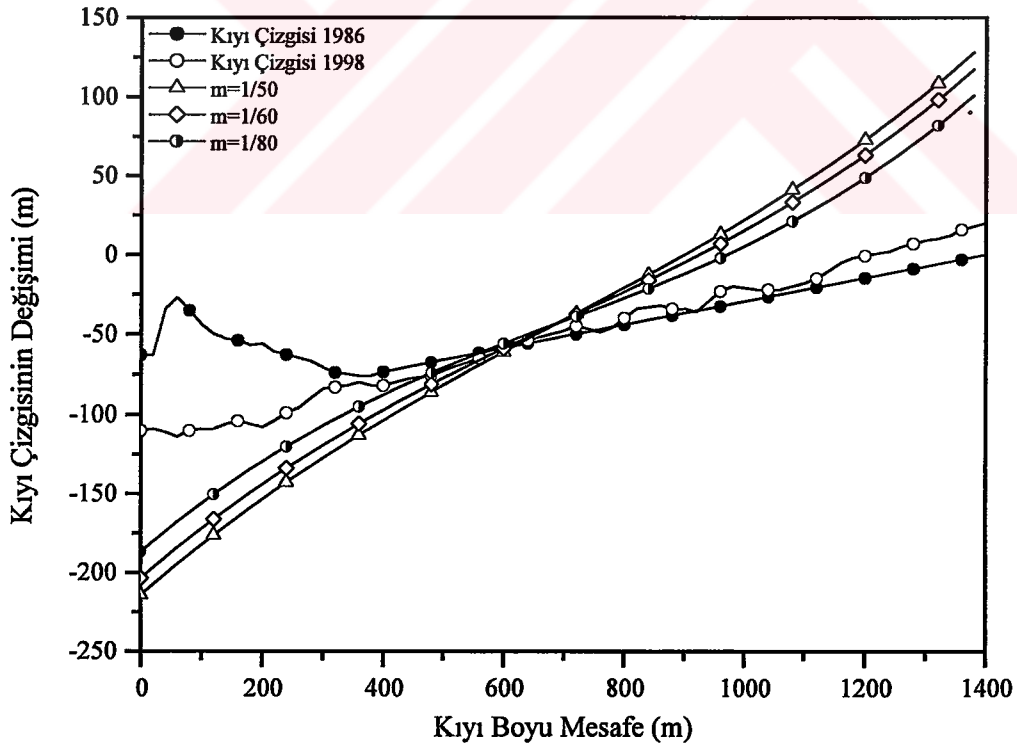
Swart (1976), Dean ve diğ., (1982) ile Valle ve diğ., (1993) katı madde taşınımının doğrudan katı madde daneciğinin iriliği ile değiştiğini göstermişlerdir. Ancak Şekil (7.6) ve (7.7)'den görülmektedir ki, böyle bir yaklaşım kıyı çizgisini tahmin etmekte başarılı olamamıştır. Her iki şekilde de kıyı çizgisinin değişimi neredeyse çaplar değişmesine rağmen doğrusal ve birbirlerine çok yakındır. O halde tek başına dane çapına bağımlı bir katı madde modeli kıyıboyu taşınımı elde edildiği yerel şartlarda

başarılı bir şekilde tahmin edebilir fakat kıyı çizgisini belirlenmesinde yeterli değildir.

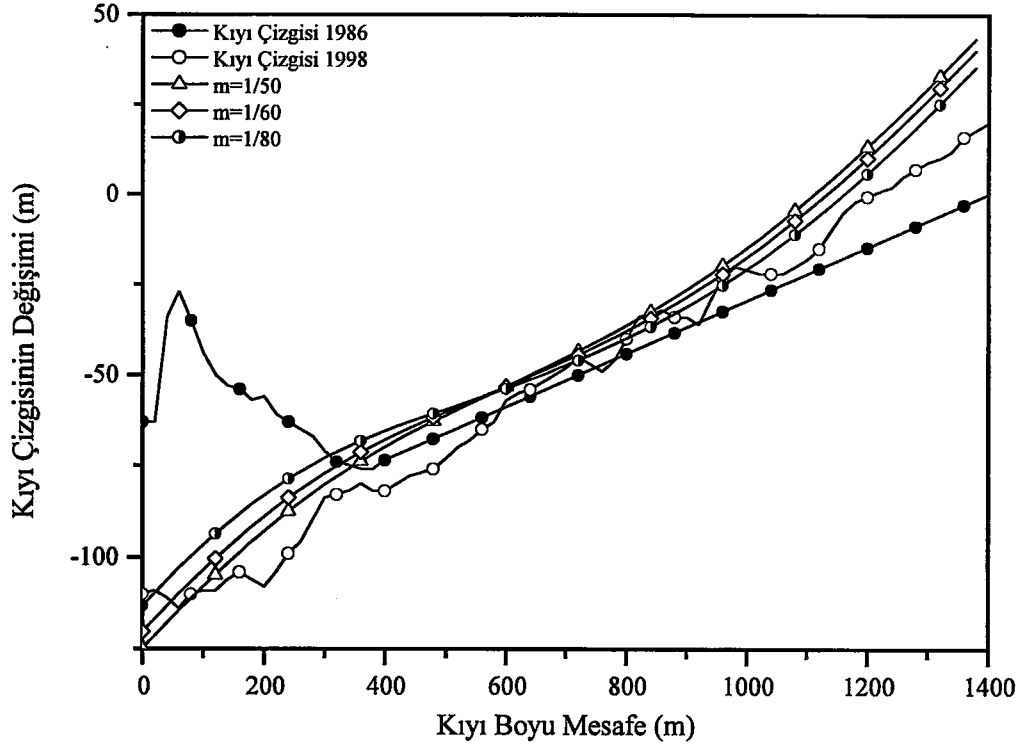
8.2.2 Taban Eğiminin Etkisi

Kamphuis ve Readshaw (1978), Kamphuis ve diğ., (1986) ve Kamphuis (1991) doğrudan katı madde debisi ile taban eğimi arasında bir ilişki olduğunu deneylerle göstermiştir.

Burada taban eğimine birinci dereceden duyarlılık vardır ve taban eğimi arttıkça taşınım artmaktadır. Şekil (8.1) ve Şekil (8.2)'den de görüleceği gibi taban eğimi dikleştikçe katı madde taşınımı artmakta; taban eğiminin yatık olması ile de taşınım azalmaktadır. Zira kıyı çizgisinin değişimi taşınım ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla daha yatık eğimlerde kıyı çizgisinin değişimi daha az olmaktadır. Şekil (8.2)'e bakılacak olursa eğim 1/80 den 1/50 ye değiştiğinde sistemin sol ucunda oyulma 15 m kadar daha artmaktadır. O halde taşınım ve kıyı çizgisinin değişimi taban eğiminden bağımsız düşünülemez.



Şekil 8.1 Kamphuis 1986 Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin D=0.4 mm Dane Çapı ve Farklı Taban Eğimlerinde Değişimi



Şekil 8.2 Kamphuis 1991 Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin $D=0.4$ mm Dane Çapı ve Farklı Taban Eğimlerinde Değişimi

Quick ve Ametepe (1991) katı madde taşınımını doğrudan doğruya taban eğimine bağlı olarak vermişlerdir. Fakat böyle bir yaklaşım pek tutarlı görünmemektedir. Çünkü şu ana kadar yapılan tüm çalışmalarda, araştırmacılar katı madde debisinin, az farklarla ifade edilse de, dalga enerji akısına bağlı olduğu konusunda ittifak halindedirler.

8.2.3 Dane Çökelme Hızının Etkisi

Bailard (1984) SPM formülündeki K katsayısını dolayısı ile katı madde taşınımını dananın yörüngesel ve çökelme hızları ile dalga geliş açısına bağlı olarak ifade etmiştir. Şekil (7.8)'ya bakılacak olursa dane çökelme hızının içinde olduğu boyutsuz sayının değişmesine karşı duyarsız kaldığı gibi, kıyı çizgisinin gerçek değişiminin eğilimini de yakalayamamıştır. Bu ifadede çökelme hızının etkisi doğrudan ele alınmamıştır. Ve bu konuda daha çok araştırma yapılması gerekmektedir.

8.2.4 Kapanma Derinliğinin Etkisi

Bu farazi derinlik, tanım olarak aktif kum taşınımının olduğu kırılma bölgesinin açık deniz tarafındaki su derinliğidir. **Hallermeir (1978, 1981, 1983)** bu derinliği arazi deneyleri ile denklem (5.5) veya (5.6) formunda elde etmiştir. **Nicholls ve diğ.,**

(1996) denkleminin oyulmanın olduğu kıyılarda gözlemlere göre daha konservatif davrandığını belirlemişlerdir. Şekil (5.1)'de kütlenin korunumu ilkesi uygulanırken D'nin su seviyesi ile taban arasındaki mesafe olduğu gösterilmiştir. Ancak katı madde taşınımının tırmanma bölgesinin üst sınıra kadar olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla kıyı çizgisinin hesabında tırmanma yüksekliğinin veya berm (palye) yüksekliği de eklenmelidir. **Walton ve Chiu (1979)** kapanma derinliği için

$$D = 1.3 H_b + 2\alpha_o + R \quad (8.1)$$

bağıntısını teklif etmişlerdir. Burada H_b kırılan dalga yüksekliği, α_o gelgit dalga yüksekliği, R dalga tırmanma yüksekliğidir.

Kapanma derinliği kıyı çizgisi değişimini doğrudan etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bu değer iyi tespit edilmesi gerekmektedir. Kapanma derinliği artarken kıyı çizgisi değişimi azalır. **Nicholls ve diğ., (1996)** (5.5) denkleminin hala geçerliliğini koruduğunu arazi deneyleri ile göstermesine rağmen bu kavram belirsizliğini korumaktadır ve daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

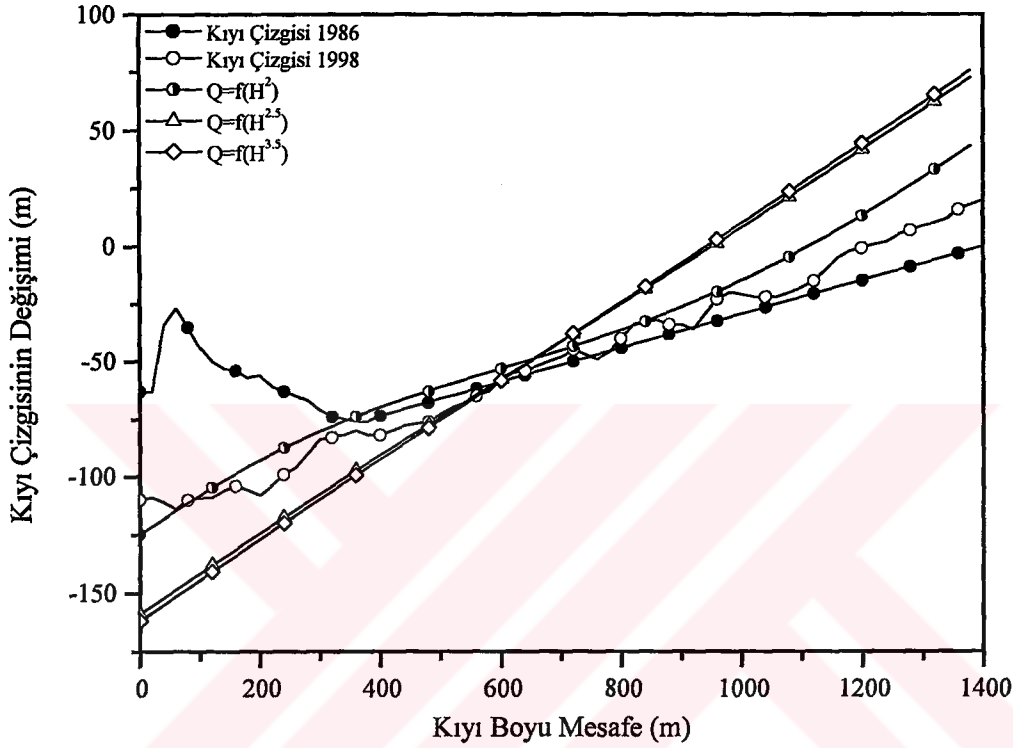
8.3 Rüzgar ve Dalga Özelliklerinin Etkisi

8.3.1 Dalga Yüksekliğinin Etkisi

Teklif edilen ilk bağıntılardan bu tarafa kıyıboyu katı madde debisi bir şekilde enerji akısına ve dolayısıyla dalga yüksekliğine bağlı olarak verilmiştir. **Bagnold (1963)**' un verdiği akıntı modeli de daha sonra yine dalga yüksekliğinin fonksiyonu olarak yazılmıştır. Buna göre şunu söylemek kesinlikle mümkündür: Etki eden pek çok faktöre kıyasla kıyıboyu katı madde debisi ve kıyı çizgisinin değişiminde en önemli parametre dalga yüksekliğidir (**Wang ve diğ., 1998**). Kıyıboyu katı madde debisinin dalga yüksekliği ile

$$Q \propto H^\beta \quad (8.2)$$

doğru orantılı olduğu kesindir. Ama dalga yüksekliğinin kuvvet mertebesi. $\beta=2\sim3.5$ arasında verilmiştir (Kamphuis ve diğ., 1986; Kamphuis, 1990, 1991b; Wang ve diğ., 1998). Katı madde modelinde dalga yüksekliğinin kuvveti 2, 2.5 ve 3.5 olması durumunda SPM, Kamphuis 1986 ve Kamphuis 1991 bağıntıları ile bulunan kıyı çizgisinin değişimi Şekil (8.3)'de verilmiştir.



Şekil 8.3 Dalga Yüksekliğinin Kıyı Çizgisi Değişimi Üzerindeki Etkisi

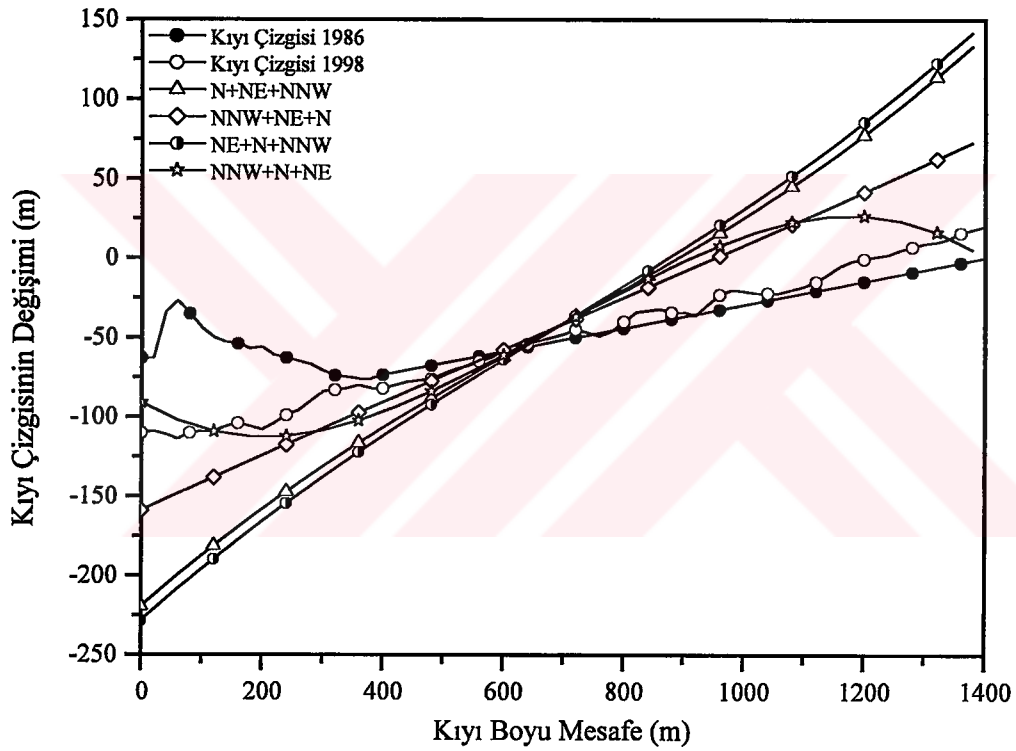
Buradan görüleceği gibi $\beta=2$ için daha yakın bir tahmin yapılırken, diğer iki durumda ise doğrusal eğilimli ve gerçek değişimden uzak birbirine çok benzer sonuçlar elde edilmiştir. Dalga yüksekliğinin kuvvetinin 2.5 yerine 2 olması daha iyi sonuç vermiştir.

8.3.2 Dalga Esme Yönünün Etkisi

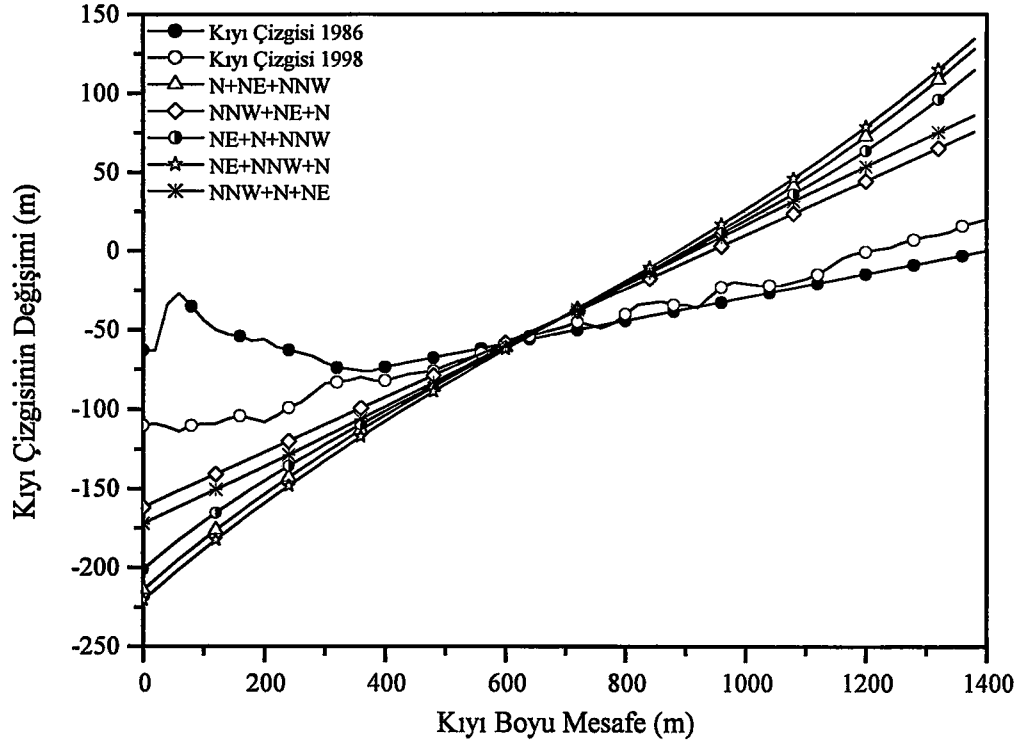
Dalga geliş yönü ve esme süresi de yine dalga yüksekliği gibi kıyı çizgisinin değişimini etkileyen en önemli ikinci faktördür. Zira enerji akısı esaslı formülasyonlarda muhakkak kırılma açısına bağlı bir çarpan bulunmaktadır. Hatta Bailard (1984) K katsayısının dalga geliş yönüne de bağlı olduğunu öne sürmüştür. Quick ve Ametepe (1992) ise esme yönünün kesinlikle etkisiz olduğu kanısındadırlar. Sonuçta esme süresi oldukça etkili bir faktördür. Aşağıda (7.22),

(7.33) ve (7.36) bağıntıları için dalga geliş yönünün farklı sıralanması durumunda kıyı çizgisinin değişimi üzerindeki etkileri Şekil (8.4), (8.5) ve (8.6)'de verilmiştir. Dalga geliş sıralamasının NNW+N+NE ve N+NNW+NE kombinasyonu için (7.22) ve (7.36) bağıntıları diğer yön sıralamalarına kıyasla çok farklı davranış göstermiştir.

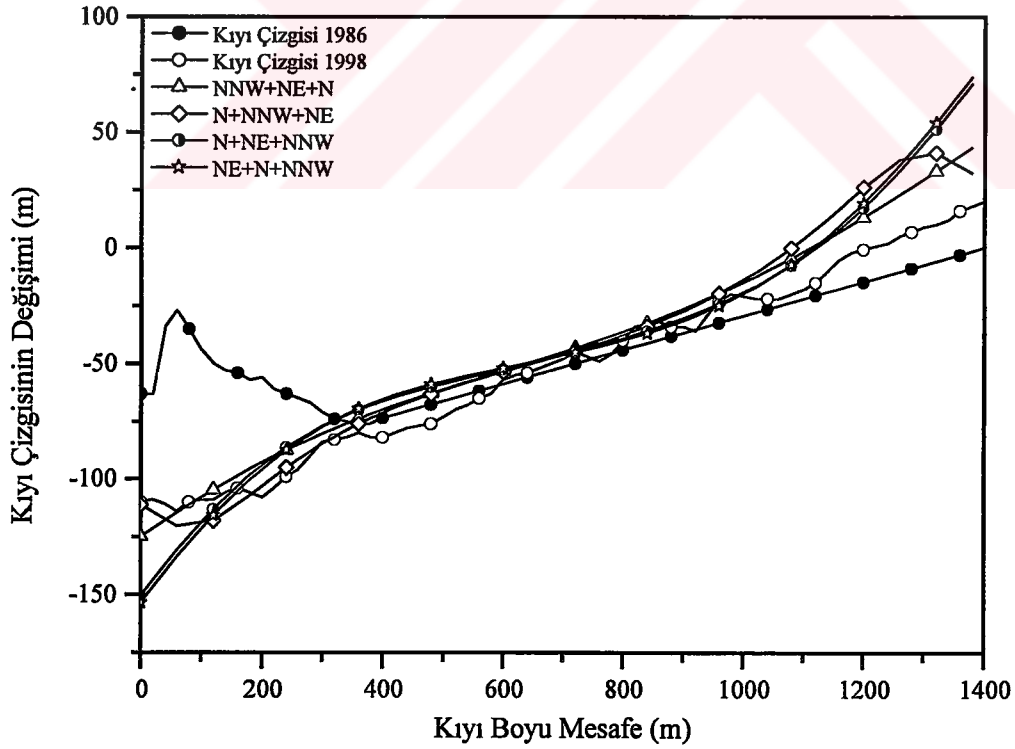
Seçilen eksen takımına göre doğuya doğru akıntı ve kıyıboyu katı madde taşınımı teşkil edecek olan NNW ve N yönlerin arka arkaya gelmeleri iyi bir sonuç vermemiştir. (7.33) bağıntısı ise diğer iki bağıntıya oranla dalga geliş sıralamasının değişmesine karşı çok farklılık göstermemiştir. Burada dalga esme yönünün çok etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 8.4 SPM Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Farklı Dalga Geliş Yönlerine Göre Değişik Dalga Durumlarında Değişimi



Şekil 8.5 Kamphuis 1986 Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin 1/50 Taban Eğimi ve $D=0.4$ mm Dane Çapında Farklı Dalga Geliş Yönlerine Göre Değişimi



Şekil 8.6 Kamphuis 1991 Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin $m=1/50$ Taban Eğimi ve $D=0.4$ mm Dane Çapı için Farklı Dalga Geliş Yönlerine Göre Değişimi

8.3.3 Dalga Dikliğinin Etkisi

Özhan (1981) Katı madde taşınımının kırılma türü ile ilgisinin olup olmadığını laboratuvar ortamında, 1/10 taban eğimli bir deney düzeneği üzerinde gerçekleştirdiği bir dizi deneyle araştırmıştır. Sonunda denklem (7.22)'deki orantılılık sabiti K'nın doğrudan dalga dikliğine bağlı olduğunu yaptığı deney sonuçlarını değerlendirerek $0.0029 < \frac{H'_o}{L_o} < 0.0455$ aralığı için şu şekilde

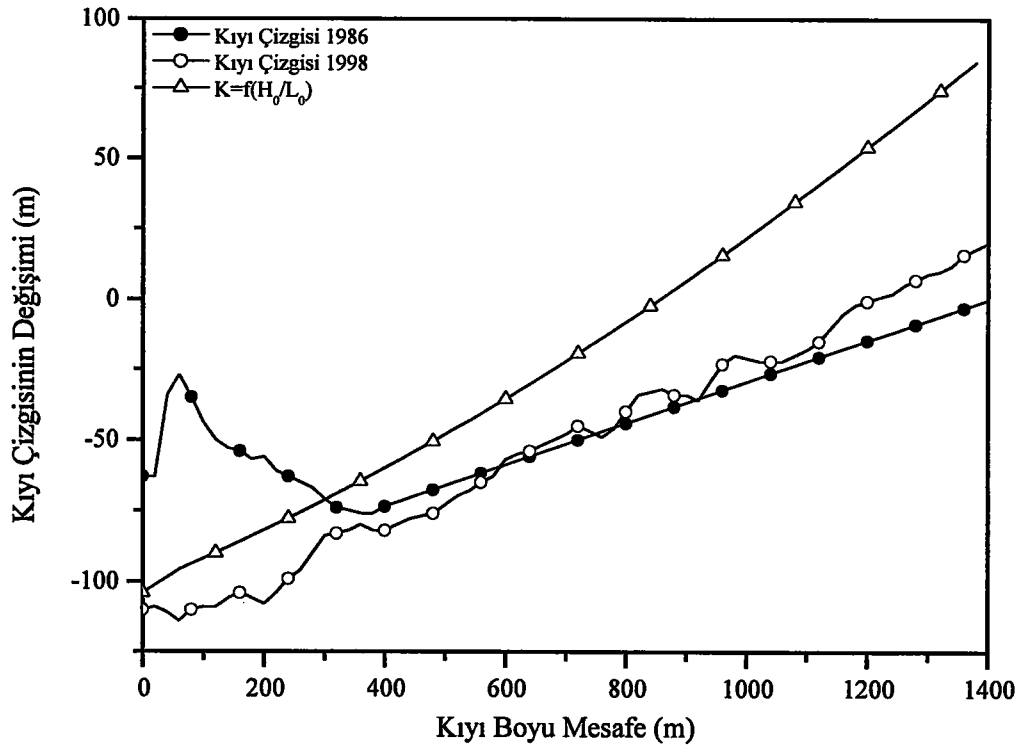
$$K = 0.007 \left(\frac{H'_o}{L_o} \right)^{-1.0} \quad (8.3)$$

vermiştir. Burada H'_o , sapma içermeyen derin deniz dalga yüksekliği, L_o ise dalga boyudur. Özhan daha sonra yaptığı bir çalışmayla K'yı doğrudan açık deniz dalga dikliğine bağlı olarak

$$K = 0.015 \left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{-0.82} \quad (8.4)$$

formunda vermiştir (Komar, 1998). Bu bağıntı ile elde edilen kıyı çizgisi tahmini Şekil (8.7)'de verilmiştir.

K katsayısının doğrudan dalga dikliğine bağlı olması kıyı çizgisinin gerçek değişiminden oldukça farklı bir tahminde bulunmuştur. Burada Özhan bağıntısının 1/10 taban eğimi için elde edildiği unutulmamalıdır.



Şekil 8.7 Dalga Dikliğinin Kıyı Çizgisi Değişimi Üzerindeki Etkisi

8.4 Irribaren Sayısının Etkisi

Kamphuis ve Readshaw (1978) laboratuvarında gerçekleştirdikleri deneyler neticesinde orantı sabiti K 'yı Irribaren parametresine bağlı olarak vermişlerdir. Uygulama alanında en başarılı ikinci tahmini, bu araştırmacıların verdiği (7.31) bağıntısı yapmıştır. Böylece kıyı çizgisinin değişimi tahmin edilirken kumsal ve dalga özelliklerini bünyesinde barındıran Irribaren parametresinin etkili olduğu görülmektedir. **Bodge ve Kraus (1989)** literatürden temin ettikleri verilerle, K katsayısı ile Irribaren sayısı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Sadece Laboratuvar verileri ile

$$Q = (0.37 + \ln \xi_b + 0.59)P \quad (8.5)$$

ve laboratuvar+arazi verileri ile ise

$$Q = (0.22 + \ln \xi_b + 0.62)P \quad (8.6)$$

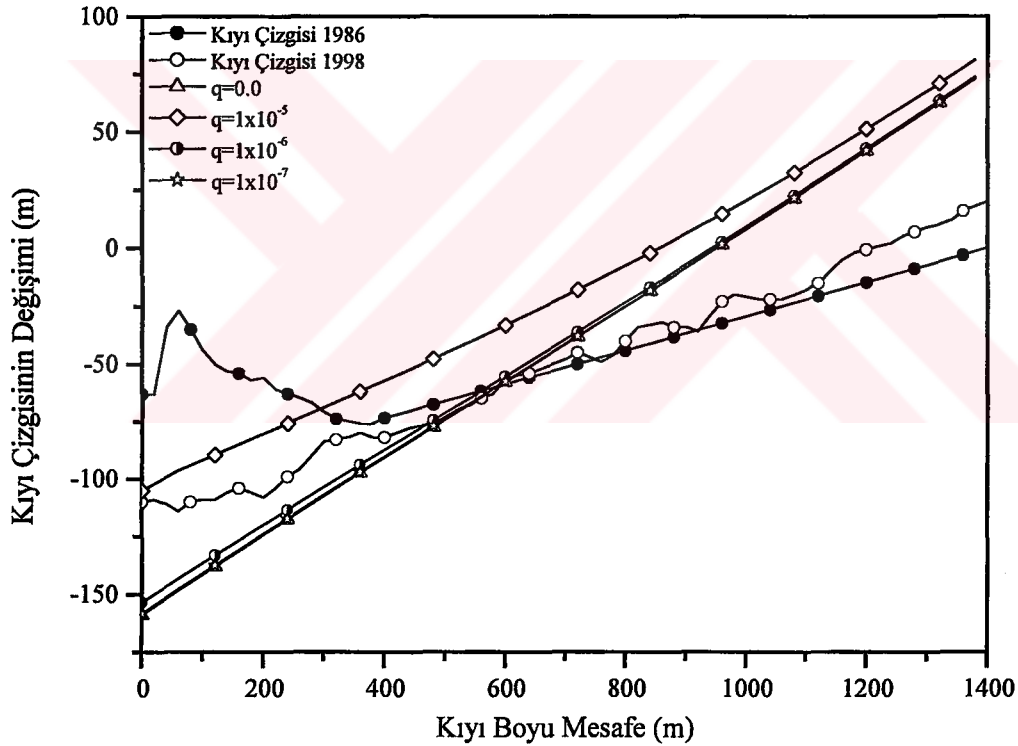
bağıntılarını bulmuşlardır (Tablo 5.1).

Ancak henüz hiç kullanılmamış olması ve Kumbaşı kumsalı için negatif değerler vermesi, bu bağıntılara ihtiyatla yaklaşılması sonucunu doğurmuştur.

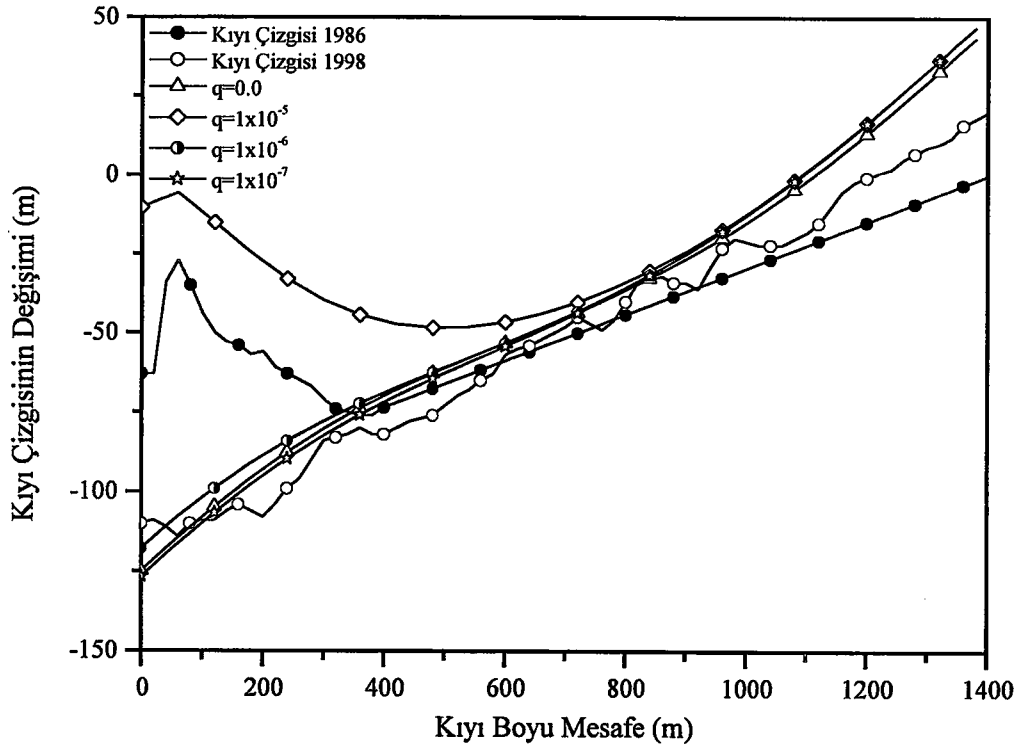
8.5 Dış Etkiler

8.5.1 Akarsuyun Etkisi

Yakın kıyıda en önemli katı madde kaynağı, kıyıdaki kaya ufalanmalarından sonra akarsuların havzalarından ve tabandan taşıyıp denize getirdiği malzemelerdir. Şekil (8.7) ve (8.8)'ye bakılacak olursa Akçaova çayının getirdiği katı maddenin 1×10^{-5} , 1×10^{-6} , $1 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{sn}/\text{m}$ olduğu durumlarda (7.22) ve (7.36) bağıntılarının davranışları verilmektedir. Nehir ağzının ilk altmış metresinden nehirden gelen birim katı



Şekil 8.8 SPM Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Nehir Etkisinde Değişimi



Şekil 8.9 Kamphuis 1991 Bağıntısı ile Kıyı Çizgisinin Nehir Etkisinde Değişimi

madde debisinin 1×10^{-6} ve $1 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{sn}/\text{m}$ değerlerinde çok az bir yığılma meydana gelirken $1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sn}/\text{m}$ 'de 50 m olmuştur. Mendireğe doğru ise gelen katı madde düzgün dağılarak hiç katı madde gelmemesi formuna az bir yığılma ile benzemiştir. (7.36) bağıntısının ise $1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{sn}/\text{m}$ birim katı madde debisine aşırı bir duyarlılık göstererek neredeyse başlangıç kıyı çizgisi formuna benzemiş ve hatta nehir ağzında 75 m'lik yığılma yapmıştır. 1×10^{-6} ve $1 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{sn}/\text{m}$ debilerinde ise çok az bir farklılık göstermiştir. Buradan (7.36) bağıntısının yanıl katı madde debisine daha duyarlı olduğu görülmektedir. Bu sistemde ise Akçaova Çayının yaklaşık $1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sn}/\text{m}$ 'lik taşıdığı tahmin edilmektedir. Zira proje alanı çevresinde ihtiyaç duyulan inşaat malzemesi ya dere çay yataklarından ya da kıyidan alınmaktadır (Yüksek ve diğ., 1995). Bölgede yapılan incelemeler ve bire bir görüşmelerde de kıyidan ve akarsulardan çok miktarda kum alındığı tespit edilmiştir.

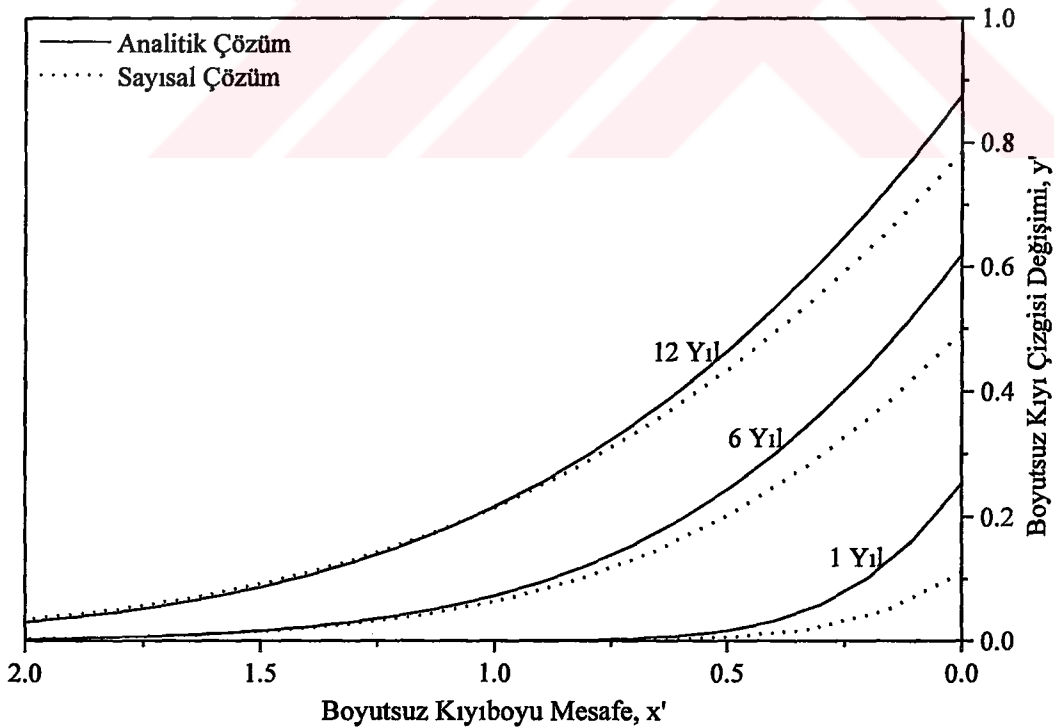
8.5.2 Kıyı Yapılarının Etkisi

Kıyı yapılarının kıyı çizgisine etkisi çok çeşitli durumlar için araştırılmasında çarpıcı etkilerin olduğu görülmüştür. Örnek olarak Perlin (1979), Hanson ve diğ. (1989), Borah ve Ballofet (1985) ve Hanson ve Kraus (1991) mendirekler etrafında; Perlin ve Dean (1978) nehir ağzı çift mahmuzu; Mizumura (1982), Kraus ve Harikai

(1983), Kraus ve diğ. (1984) ise kıyı duvarı gibi deniz yapılarının kıyı çizgisine etkilerini araştırmışlardır. Kıyı yapıları uzunlukları, yönleri, kıyı ile irtibatlarının olup olmaması gibi pek çok faktöre bağlı olarak kıyı çizgisini kısa zaman içinde etkileyen insani faaliyetlerdir. Yapılar muhakkak insanların faydasını temin etmek için yapılmaktadırlar. Ancak bunların kısa ve uzun dönemli hem kendi işlevlerinin devamını temin maksadıyla, hem de çevresine zarar vermeyecek şekilde tasarlanması zorunludur. Bu yapıların inşasında önce arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarıyla en uygun yer, yön, boyut, tür, vb. özelliklere karar verilmelidir. Ama her durumda bu yapılar kıyı çizgisinin değişimini etkileyecektir.

8.6 Analitik ve Sayısal Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Mahmuz etrafında NNW yönünden gelen rüzgar etkisinde ve yatay eksenin başlangıç kıyı çizgisi olarak alındığı durumda 1, 6 ve 12 yıl için analitik ve sayısal çözümler elde edilmiştir (Şekil 8.10). Her iki çözüm yönteminde açık sınır şartı tarafında sonuçlar birbirine oldukça yakın iken mahmuz etrafında analitik çözüm daha büyük değerler vermektedir. 7. Bölüm'de analitik yaklaşımda yapılan kabuller problemi doğrusallaştırarak idealize etmekte ve doğru çözümden uzaklaştırmaktadır.



Şekil 8.10 Analitik ve Sayısal Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Ayrıca sayısal çözüm yönteminde başlangıç şartı olarak doğal kıyı çizgisini tanımlamak mümkün iken analitik çözümde ise sadece yatay eksen başlangıç şartı olarak girilebilmektedir.



9. SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı Doğu Karadeniz bölgesinde meydana gelen kıyı çizgisi değişimlerini farklı kıyıboyu katı madde modelleriyle inceleyerek bölgeye en uygun modeli ortaya koymak ve kıyı çizgisi değişimi üzerinde etkili parametreleri belirlemektir.

Ordu-Efirli Kumbaşı sahilinde, 1959 yılına ait 1/25000 ölçekli haritadan çıkarılan kıyı çizgisi ile çalışma alanında 1986 yılında DHL mensuplarınca ve 1998 yılında tarafımızdan kıyı çizgisi ölçümleri yapılmıştır.

Kumbaşı sahilinde 1986 yılında yapılan ve daha sonra 1991 yılında balıkçı barınağına dönüştürülen mahmuzun batı tarafında kıyı üzerinde zamanla değişiklikler oluşmuştur. Doğu Karadeniz’de yüzey akıntıları batıdan doğuya doğru olduğundan doğal bir mendirek görevini gören Çamburnu’nun batı yönünden katı madde gelişini engellemesi; doğuda ise uçurum sınır şartı dolayısı ile giden katı maddenin geri gelememesi ve kum alınması gibi nedenlerle kıyı çizgisi mahmuz inşaatından önce çok büyük erozyona uğramıştır.

Şimdi ise adeta kapalı bir hücre halini alan Kumbaşı kumsalının 1986’dan 1998’e kadar 12 yıllık zaman zarfında meydana gelen kıyı çizgisi değişimi farklı matematik modellerle tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu modellerde kıyıboyu katı madde taşınımının, kumsal ve dalga karakteristiklerine bağlı olarak çıkarılan 11 farklı model için program hazırlanmış ve çalışma alanı Ordu-Efirli Kumbaşı sahiline o bölgenin dalga iklimi esas alınarak uygulanmıştır.

Çalışma alanına uygulanan kıyıboyu katı madde modelleri şunlardır:

- 1) SPM1 modeli
- 2) SPM2 modeli
- 3) SPM3 modeli
- 4) SPM4 modeli
- 5) Swart modeli

- 6) Kamphuis ve Readshaw modeli
- 7) Özhan modeli
- 8) Bailard modeli
- 9) Kamphuis ve diğ., modeli
- 10) Kamphuis 1991 modeli
- 11) Valle ve diğ., modelidir.

Çalışma alanında ortalama dane çapı 0.4 mm, kırılma bölgesinde ortalama taban eğimi 1/50'dir. 1986 yılındaki kıyı çizgisi başlangıç şartı olarak alınırken her iki ucun katı madde geçişine izin vermediği durum da sınır şartı olarak alınmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- 1) 1959'dan 1986 yılına kadar kıyı çizgisi hesap sınırının başında yıllık ortalama 5.5 m oyulmuştur. 1986'dan 1998'e 12 yıl içinde ise mendireğin batısında yığılma olurken, Akçaova Çayının ağzında oyulma meydana gelmiştir.
- 2) SPM bağıntısında, orantılılık sabiti K'nın çeşitli değerlerinde, kıyı çizgisinin değişimi N+NE+NNW dalga geliş yönü kombinasyonu için elde edilmiştir. Çalışma bölgesinde, K'nın genelde kabul edilen değeri 0.30 yerine 0.05 civarında olduğu görülmüştür.
- 3) SPM'in denk kabul edilen diğer üç formu için de kıyı çizgisi değişimleri bulunmuştur. Bu bağıntılar kendileri arasında yaklaşık % 50 farklı sonuçlar verirken, en yakın tahminde bulunan SPM3 formu, gerçek kıyı çizgisi değişimine kıyasla % 30 daha fazla sonuç vermiştir.
- 4) K katsayısını, dane çapının logaritmik ve üstel fonksiyonlarına bağlı olarak veren iki katı madde taşınım modeli ile kıyı çizgisinin değişimi incelenmiştir. Bu iki modelle elde edilen kıyı çizgisi, doğrusal bir eğilim göstererek dane çapının değişmesine duyarsız kalmış ve gerçek kıyı çizgisi değişimine göre % 140 fazla tahminde bulunmuştur.
- 5) Kumsal özelliklerinden taban eğiminin kıyı çizgisi değişiminin üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Kırılma bölgesi içinde taban eğiminin dikleşmesiyle katı madde taşınımı, dolayısıyla kıyı çizgisi değişimi artmaktadır. Taban eğiminin 1/80'den 1/50'ye değişmesiyle kıyı çizgisi % 23 oranında değişmiştir.

- 6) K katsayısının dane çökelme hızına bağlı olarak ifade edildiği kıyıboyu katı madde modeli, çalışma alanına uygulanmıştır. Kıyı çizgisi, dane çökelme hızının oransal değişimine karşı doğrusal davranış gösterirken % 120 oranında fazla tahminde bulunmuştur.
- 7) Kıyıboyu katı madde taşınım modelleri genelde dalga yüksekliğinin 2.5 kuvvetine bağlı olarak verilir. Bazı modellerde bu değer 2 alınırken bazılarında 3.5 olarak verilmiştir. Katı madde taşınımı bağıntısında dalga yüksekliğinin kuvvetinin 3.5 yerine 2 alınması, % 30 oranında az tahminde bulunurken, gerçek kıyı çizgisinin değişimine daha yakın sonuç vermiştir.
- 8) Dalga esme yönlerinin kıyı çizgisi değişiminde çok etkili olduğu görülmüştür. Burada NNW+N+NE ve N+NNW+NE dalga geliş yönü kombinasyonları gerçek kıyı çizgisi değişiminin eğilimini bile yakalayamazken, en yakın sonucu dalga geliş yönünün NNW+NE+N sıralaması yapmıştır. SPM bağıntısında NNW+N+NE ile NE+N+NNW dalga geliş yönü sıralamaları için, ikinci durum kıyı çizgisini birincisine göre % 150 daha fazla tahmin etmiştir. Esme süresinin sırasıyla en büyük olduğu NNW ve N yönlerinin sıralamada başta arka arkaya gelmeleri iyi bir sonuç vermemektedir.
- 9) K katsayısının dalga dikliğinin bir fonksiyonu olduğu bağıntı ile kıyı çizgisi tahmini yapılmıştır. Bu durumda elde edilen sonuç gerçek kıyı çizgisi değişiminden % 320 fazla tahminde bulunmuştur. Böylece K katsayısının sadece dalga dikliğinin bir fonksiyonu olması isabetli bir yaklaşım olarak görünmemektedir.
- 10) Kıyıboyu katı madde taşınımının doğrudan İribaren sayısına bağlı olduğu model kıyı çizgisini gerçek değişimine göre % 100 oranında fazla tahmin etmiştir. K katsayısının logaritmik olarak doğrudan İribaren sayısına bağlı olduğu bağıntı ise yerel verilerle negatif sonuçlar vermiş ve uygulanamamıştır.
- 11) Başlangıç şartının yatay eksen alındığı ve tek dalga geliş yönüne göre mahmuz etrafında analitik ve sayısal olarak kıyı çizgisi değişimi bulunmuştur. Boyutsuz elde edilen iki çözüm yöntemi arasında mahmuz etrafında % 11 fark varken diğer uçta hemen hemen aynı sonuçları

vermişlerdir. Sayısal çözüm yöntemi her durumda uygulanabilirken analitik yöntem oldukça ideal durumlarda kullanılabilir.

- 12) Çalışma bölgesinde kıyı çizgisi değişiminin belirlenmesinde eğer SPM bağıntısı kullanılacak ise $K=0.05$ civarında alınmalıdır. Yaygın olarak kullanılan SPM bağıntısının dışında bu bölgede Kamphuis 1991 bağıntısı en iyi sonucu vermiştir. Bu ifade bünyesinde periyot, taban eğimi, dane çapı gibi dalga ve kumsal özelliklerinin etkisini gözönüne almaktadır. Ayrıca dalga geliş açısı ile dalga yüksekliğinin etkisinin SPM bağıntısında verildiği kadar büyük olmadığı sonucuna varılmıştır.



KAYNAKLAR

- Ağırlioğlu, N., Savcı, M. E., Ünsal, İ., Karahan, M. E., Kapdaşlı, S., Ünal, E., Bayram, A. ve Sandalcı, M., 1992. Ordu-Efirli Balıkçı Barınağı ve Liman Etüd, Araştırma, ve Model Deneyleri, *Sonuç Raporu*, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Ağırlioğlu, N., Yanmaz, A. M. and Numan, T., 1995. Cliff Boundary in Shoreline Model: A Case Study, *Proc. of 2nd Int. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment Medcoast'95*, Tarragon, Spain, 1161-1172.
- Arcilla, A. S., Vidoar, A. and Pous, J., 1988. Improved Longshore Sand Transport Evaluation, *Proc. of 21st Int. Coastal Eng. Conf., ASCE*, Costa del Sol-Malaga, Spain, 1382-1395.
- Bagnold, R. A., 1963. Mechanics of Marine Sedimentation, in *The Sea*, Ed. Hill, M. N., Wiley-Interscience, Newyork, 507-528.
- Bailard, J. A., 1984. A Simplified Model for Longshore Sediment Transport, *Proc. of 19th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Houston, Texas, 1454-1469.
- Bajorunas, L., 1960. Littoral Transport in the Great Lakes, *Proc. Of 7th Conf. On Coastal Eng., ASCE*, Hague, The Netherlands, 326-341.
- Bajorunas, L., 1970. Littoral Transport and Energy Relationships, *Proc. of 12th Conf. on Coastal Eng., ASCE*, Washington, D.C., 787-798.
- Bakker, W. T. and Edelman, T., 1964. The Coastline of River Deltas, *Proc. of 9th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Lisbon, Portugal, 199-218.
- Bakker, W. T., Klein Breteler, E. H. J. and Roos, A., 1970. The Dynamics of a Coast with a Groyne System, *Proc. of 12th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Washington, D.C., 1001-1020.
- Battjes, J. A., 1974. Surf Similarity, *Proc. of 14th Conf. on Coastal Eng., ASCE*, Copenhagen, 466-480.
- Baykut, F., Aydın, A. ve Artüz, M. İ., 1982. Bilimsel Açıdan Karadeniz, İ.Ü. Yayınları, Sayı:3004, Fatih Yayınevi Matb., İstanbul.
- Bijker, E. W., 1968. Littoral Drift As Function of Waves and Currents, *Proc. of 11th Conf. on Coastal Eng., ASCE*, London, England, 415-435.

- Bijker, E. W.**, 1971. Longshore Transport Computations, *Journal of Waterways, Harbors, and Coastal Eng. Division, Proc. of ASCE*, **97**, 687-701.
- Bodge, R. B. and Dean, R. G.**, 1987. Short-Term Impoundment of Longshore Transport, *Proc. of Coastal Sediments '87, ASCE*, 468-483.
- Bodge, R. B. and Kraus, N. C.**, 1991. Critical Examination of Longshore Transport Rate Magnitude, *Proc. of Coastal Sediments '91, ASCE*, 139-155.
- Borah, D. K. and Ballofet, A.**, 1985. Beach Evolution Caused by Littoral Drift Barrier, *Journal of Waterways and Coastal Eng., ASCE*, **111**, 645-660.
- Bretschneider, C. L.**, 1966. Wave Generation by Wind, Deep and Shallow Water, in *Estuary and Coastline Hydrodynamics*, pp. 133-196, Ed. Ippen, A. T., McGraw-Hill Book Comp. Inc., New York.
- Bruno, R. O. and Gable, C. G.**, 1976. Longshore Transport at a Total Littoral Barrier, *Proc. of 15th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Hawaii, 1203-1222.
- Bruno, R. O. Dean, R. G. and Gable, C. G.**, 1980. Longshore Transport Evaluations at a Detached Breakwater, *Proc. of 17th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Sydney, Australia, 1453-1475.
- Carmel, Z., Inman, D. L. and Golik, A.**, 1984. Transport of Nile Sand Along The Souteastern Mediterranean Coast, *Proc. of 19th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Houston, Texas, 1282-1290.
- Carslaw, H. S. and Jaeger, J. C.**, 1959. Conduction of Heat in Solids, Oxford University Press, London.
- Castanho, J.**, 1970. Influence of Grain Size on Littoral Drift, *Proc. of 12th Conf. on Coastal Eng., ASCE*, Washington, D.C., 891-897.
- CERC**, 1984. Shore Protection Manual, Vol. I., 4th Ed., US Department of Army Corps of Engineers, WES, Coastal Eng. Res. Cent., US Government Printing Office., Washington, D. C.
- Chandramohan, P. and Nayak, B. U.** 1992. Longshore Sediment Transport Model for the Indian West Coast, *Journal of Coastal Research*, **8**, 775-787.
- Chandramohan, P., Nayak, B. U. and Raju, V. S.**, 1988. Application of Longshore Transport Equations to the Andhra Coast, East Coast of India, *Coastal Eng.*, **12**, 285-297.
- Chandramohan, P., Nayak, B. U. and Raju, V. S.**, 1990. Longshore Transport Model for South Indian and Sri Lankan Coasts, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE*, **116**, 408-424.

- Das, M. M.**, 1972. Suspended Sediment and Longshore Sediment Transport Data Review, *Proc. of 13th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Vancouver, Canada, 1027-1045.
- Dean, R. G.**, 1973. Heuristic Models of Sand Transport in the Surf Zone, *Proc. of Conf. on Eng. Dynamics*, Australia, 208-214.
- Dean, R. G., Berek, E. P., Gable, C. G. and Seymour, R. J.**, 1982. Longshore Transport Determined by An Efficient Trap, *Proc. of 18th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Cape Town, Rep. of South Africa, 954-968.
- Dean, R. G. and Dalrymple, R. A.**, 1991. Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, 2nd Printing, World Scientific Publ. Co., Singapore.
- Deigaard, R., Fredsøe, J. and Hedegaard, B.**, 1986a. Mathematical Model for Littoral Drift, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE*, **112**, 351-369.
- Eagleson, P. S. and Dean, R. G.**, 1966. Small Amplitude Wave Theory, in *Estuary and Coastline Hydrodynamics*, pp. 1-92, Ed. Ippen, A. T., McGraw-Hill Book Comp. Inc., New York.
- Fairchild, J. C.**, 1970. Laboratory Tests of Longshore Transport, *Proc. of 12th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Washington, D. C., 867-889.
- Fanos, A. M., Frihy, O. E., Khafagy, A. A. and Komar, P. D.**, 1991. Processes of Shoreline Change Along the Nile Delta Coast of Egypt, *Proc. of Coastal Sediments '91, ASCE*, 1547-1557.
- Fox, R. W. and McDonald, A. T.**, 1985. Introduction to Fluid Mechanics, 3rd Ed., John Wiley & Sons Inc., Singapore.
- Galvin, C. J. Jr.**, 1972. A Gross Longshore Transport Rate Formula, *Proc. of 13th Conf. on Coastal Eng., ASCE*, Vancouver, B.C., Canada, 953-970.
- Galvin, C. and Schweppe, C. R.**, 1980. The SPM Energy Flux Method for Predicting Longshore Transport Rate, *Tech. Paper, No:80-4*, US Army Corps of Eng., CERC, Fort Belvoir, Virginia.
- Galvin, C. and Vitale, P.**, 1976. Longshore Transport Prediction-SPM 1973 Equation, *Proc. of 15th Coastal Eng. Conf.*, Honolulu, Hawaii, 1133-1148.
- Greer, M. N. and Madsen, O. S.**, 1978. Longshore Sediment Transport Data: A Review, *Proc. of 16th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Hamburg, Germany, 1563-1576.
- Grijm, W.**, 1960. Theoretical Forms of Shorelines, *Proc. of 7th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Hague, The Netherlands, 197-202.

- Grijm, W.**, 1965. Theoretical Forms of Shorelines, *Proc. of 9th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, New York, 219-235.
- Hallermeier, R. J.**, 1978. Uses for a Calculated Limit Depth to Beach Erosion, *Proc. of 16th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, Hamburg, Germany, 1493-1512.
- Hallermeier, R. J.**, 1983. Sand Transport Limits in Coastal Structure Design, *Proc. of Coastal Struc. '83 Conf.*, ASCE, 703-716.
- Hanson, H. and Kraus, N. C.**, 1985. Seawall Constraint in Shoreline Numerical Model, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, ASCE, **111**, 1079-1083.
- Hanson, H. and Kraus, N. C.**, 1986a. Forecast of Shoreline Change Behind Multiple Coastal Structures, *Coastal Eng. in Japan*, **29**, 195-213.
- Hanson, H. and Kraus, N. C.**, 1986b. Seawall Boundary Condition in Numerical Models of Shoreline Evolution, *Technical Report, CERC-86-3*, US Army Corps of Engineers, Washington, D. C.
- Hanson, H. and Kraus, N. C.**, 1989. GENESIS: Generalized Model for Simulating Shoreline Change, *Technical Reference, Report 1, CERC-89-19*, US Army Corps of Engineers, Washington, D. C.
- Hanson, H. and Kraus, N. C.**, 1991a. Comparison of Shoreline Change Obtained with Physical and Numerical Models, *Proc. of Coastal Sediments '91*, ASCE, 1785-1800.
- Hanson, H. and Kraus, N. C.**, 1991b. Numerical Simulation of Shoreline Change at Lorain, Ohio, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, ASCE, **117**, 1-18.
- Hanson, H. Kraus, N. C. and Nakashima, L. D.**, 1989. Shoreline Change Behind Transmissive Detached Breakwaters, *Proc. of Coastal Zones '89*, ASCE, 568-582.
- Hanson, H. and Larson, M.**, 1987. Comparison of Analytical and Numerical Solutions of the One-Line Model of the Shoreline Change, *Proc. of Coastal Sediments '87*, ASCE, 500-514.
- Hashimoto, H. and Uda, T.**, 1980. An Application of An Empirical Prediction Model of Beach Profile Change to the Ogawara Coast, *Coastal Eng. in Japan*, **23**, 191-204.
- Horikawa, K. (Ed.)**, 1978. Coastal Engineering: An Introduction to Ocean Engineering, University of Tokyo Press, Tokyo.
- Horikawa, K. (Ed.)**, 1988. Nearshore Dynamics and Coastal Processes: Theory, Measurement, and Predictive Models, University of Tokyo Press, Tokyo.

- Inman, D. L. and Bagnold, R. A.,** 1963. Littoral Processes, in *The Sea*, pp. 529-553, Ed. Hill, M. N., Wiley-Interscience, Newyork.
- Inman, D. L. and Frautschy, J. D.,** 1965. Littoral Processes and the Development of Shorelines, *Proc. of 10th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Santa Barbara, 511-536.
- Inman, D. L., Komar, P. D. and Bowen, A. J.,** 1968. Longshore Transport of Sand, *Proc. of 11th Coastal Eng. Conf., ASCE*, London, 298-306.
- Inman, D. L., Zampol, J. A., White, T. E., Hanes, D. M., Waldorf, B. W. and Kastens, K. A.,** 1980. Field Measurements of Sand Motion in the Surf Zone, *Proc. of 17th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Sydney, 1215-1234.
- Jayakumar and Mahadevan, R.,** 1993. Numerical Simulation of Shoreline Evolution Using a One-Line Model, *Journal of Coastal Research*, **9**, 915-923.
- Kamphuis, J. W.,** 1990. Littoral Transport Rate, *Proc. of 22nd Int. Coastal Eng. Conf., ASCE*, Delft, The Netherlands, 2402-2415.
- Kamphuis, J. W.,** 1991a. Alongshore Sediment Transport Rate Distribution, *Proc. of Coastal Sediments '91, ASCE*, Seattle, WA, 170-183.
- Kamphuis, J. W.,** 1991b. Alongshore Sediment Transport Rate, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE*, **117**, 624-640.
- Kamphuis, J. W., Davies, M. H., Nairn, R. B., and Sayao, O. J.,** 1986. Calculation of Littoral Sand Transport, *Coastal Eng.*, **10**, 1-21.
- Kamphuis, J. W. and Redshaw, J. S.,** 1978. A Model Study of Alongshore Sediment Transport Rate, *Proc. of 16th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Hamburg, 1656-1674.
- Kapdaşlı, S.,** 1992. Kıyı Mühendisliği, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Komar, P. D.,** 1971. The Mechanics of Sand Transport on Beaches, *Journal of Geophysical Research*, **76**, 713-721.
- Komar, P. D.,** 1976a. Beach Processes and Sedimentation, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Komar, P. D.,** 1976b. Longshore Currents and Sand Transport on Beaches, *Proc. of Ocean Eng. Conf. III, ASCE*, 333-354.
- Komar, P. D.,** 1977. Beach Sand Transport: Distribution and Total Drift, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE*, **103**, 225-239.

- Komar, P. D., 1979. Beach-Slope Dependence of Longshore Currents, *Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, Proc. of ASCE*, **105**, 460-464.
- Komar, P. D., 1983. Computer Models of Shoreline Changes, in *CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion*, Ed. Komar, P. D., CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
- Komar, P. D., 1988. Environmental Controls on Littoral Sand Transport, *Proc. of 21st Int. Coastal Eng. Conf., ASCE*, Costa del Sol-Malaga, Spain, 1238-1252.
- Komar, P. D., 1991. Littoral Sediment Transport, in *Handbook of Coastal and Ocean Eng.*, Vol. 2, pp. 681-710, Ed. Herbich, J. B., Gulf Publishing Comp.
- Komar, P. D., 1998. Beach Processes and Sedimentation, 2nd Ed., Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- Komar, P. D. and Inman, D. L., 1970. Longshore Sand Transport on Beaches, *Journal of Geophysical Research*, **75**, 5914-5927.
- Komar, P. D., Lizarraga-Arciniega, J. S., and Terich, T. A., 1976. Oregon Coast Shoreline Changes Due to Jetties, *Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, Proc. of ASCE*, **102**, 13-30.
- Kraus, N. C., 1983. Application of Shoreline Prediction Model, *Proc. of Coastal Struc. '83 Conf., ASCE*, 632-645.
- Kraus, N. C., 1989. Beach Change Modelling and the Coastal Planning Process, *Proc. of Coastal Zones '89, ASCE*, 553-563.
- Kraus, N. C. and Dean, R. G., 1987. Longshore Sediment Transport Rate Distribution Measured by Trap, *Proc. of Coastal Sediments '87, ASCE*, 881-896.
- Kraus, N. C., Farinato, R. S. and Kiyoshi, H., 1981. Field Experiments on Longshore Sand Transport in the Surf Zone, *Coastal Eng. in Japan*, **24**, 171-194.
- Kraus, N. C., Gingerich, K. J. and Rosati, J. D., 1988. Toward an Improved Empirical Formula for Longshore Sand Transport, *Proc. of 21st Int. Coastal Eng. Conf., ASCE*, Costa del Sol-Malaga, Spain, 1182-1195.
- Kraus, N. C., Hanson, H. and Harikai, S., 1984. Shoreline Change at Oarai Beach; Past, Present and Future, *Proc. of 19th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Houston, Texas, 2107-2123.
- Kraus, N. C. and Harikai, S., 1983. Numerical Model of the Shoreline Change at Oarai Beach, *Coastal Eng.*, **7**, 1-28.

- Kraus, N. C., Isobe, M., Igarashi, H., Sasaki, T. O. and Horikawa, K., 1982.** Field Experiments on Longshore Sand Transport in the Surf Zone, *Proc. of 18th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Cape Town, Rep. of South Africa, 969-988.
- Larson, M., Hanson, H. and Kraus, N. C., 1987.** Analytical Solutions of the One-Line Model of Shoreline Change, *Technical Report, CERC-87-15*, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi.
- Larson, M., Hanson, H. and Kraus, N. C., 1997.** Analytical Solutions of One-Line Model for Shoreline Change Near Coastal Structures, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE*, **123**, 180-191.
- Larson, M. and Kraus, N. C., 1989.** Prediction of Cross-Shore Sediment Transport at Different Spatial and Temporal Scales, *Proc. of Coastal Zones '89, ASCE*, 607-621.
- Larson, M. and Kraus, N. C., 1995.** Prediction of Cross-Shore Sediment Transport at Different Spatial and Temporal Scales, *Marine Geology*, **126**, 111-127.
- Le Méhauté, B., 1976.** An Introduction to Hydrodynamics and Water Waves, Springer Verlag, New York.
- Le Méhauté, B. and Soldate, M., 1977.** Mathematical Modeling of Shoreline Evolution, *Miscellaneous Report, MR 77-10*, US Army Corps of Engineers, CERC, Vicksburg, Mississippi.
- Le Méhauté, B. and Soldate, M., 1978.** Mathematical Modeling of Shoreline Evolution, *Proc. of 16th Coastal Eng. Conf., ASCE*, New York, 1163-1179.
- Le Méhauté, B. and Soldate, M., 1980.** A Numerical Model for Predicting Shoreline Changes, *Miscellaneous Report, MR 80-6*, US Army Corps of Engineers, CERC, Vicksburg, Mississippi.
- Le Méhauté, B., Wang, D. J. and Lu, C.-C., 1983.** Wave Data Discretization for Shoreline Processes, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE*, **109**, 63-78.
- Longuet-Higgins, M. S., 1970.** Longshore Currents Generated By Obliquely Incident Waves, Part 1, *Journal of Geophysical Research*, **75**, 6778-6789.
- Longuet-Higgins, M. S. and Stewart, R. W., 1977.** Radiation Stress in Water Waves; A Physical Discussion, With Applications, in *Benchmark Papers in Geology/39, Beach Processes and Coastal Hydrodynamics*, Eds. Fisher, J. S. and Dolan, R., Dowden, Hutchinson & Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania.

- Miller, H. C., 1999. Field Measurements of Longshore Sediment Transport During Storms, *Coastal Eng.*, **36**, 301-321.
- Mizumura, K. 1982. Shoreline Change Estimates Near Oarai, Japan, *Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng. Division, Proc. of ASCE*, **108**, 65-80.
- Nicholls, R. J., Birkemeir, W. A. and Hallermeir, R. J., 1996. Application of the Depth of Closure Concept, *Proc. of 25th Int. Coastal Eng. Conf., ASCE*, Orlando, Fl, 3874-3887.
- Nicholls, R. J. and Wright, P., 1991. Longshore Transport of Pebbles: Experimental Estimates of K, *Proc. of Coastal Sediments '91, ASCE*, 920-933.
- Özhan, E., 1981. Rüzgar Dalgalarının Kıyıboyu Kum Taşınması Üzerine Bir Çalışma, *Doçentlik Tezi*, ODTÜ, Mühendislik Fakültesi, Ankara.
- Perlin, M., 1979. Predicting Beach Planforms in the Lee of a Breakwater, *Proc. of Coastal Struc. Conf. '79, ASCE*, 792-808.
- Perlin, M. and Dean, R. G., 1978. Prediction of Beach Planforms with Littoral Controls, *Proc. of 16th Coastal Eng. Conf., ASCE*, Hamburg, Germany, 1818-1837.
- Price, W. A., Tomlinson, K. W. and Willis, D. H., 1972. Predicting Changes in the Plan Shape of Beaches, *Proc. of 13th Coastal Eng. Conf., ASCE*, 1321-1329.
- Quick, M. C. and Ametep, J., 1991. Relationship Between Longshore and Cross-Shore Transport, *Proc. of Coastal Sediments '91, ASCE*, 185-196.
- Sandalcı, M., 1995. Akarsuların Denizlerdeki Kıyı Çizgisine ve Yapılarına Etkisinin Bir Matematik Modelle İncelenmesi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sandalcı, M., Ağralıoğlu, N. ve Savcı, M. E., 1992. Kıyı Boyunca Katı Madde Hareketi ve Yapı-Kıyı Etkileşimi, *İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı III. Sempozyumu*, İTÜ, İstanbul, 404-418.
- Savage, R. P., 1962. Laboratory Determination of Littoral-Transport Rates, *Journal of the Waterways and Harbors Division, Proc. of ASCE*, **88**, 69-92.
- Sawaragi, T., 1995. Coastal Engineering-Waves, Beaches, Wave-Structure Interactions, Elsevier Science B. V., Amsterdam.
- Schoonees, J. S., 2000. Annual Variation in the Net Longshore Sediment Transport Rate, *Coastal Eng.*, **40**, 141-160.

- Schoonees, J. S. and Theron, A. K.**, 1993. Review of Field-Data Base for Longshore Sediment Transport, *Coastal Eng.*, **19**, 1-25.
- Schoonees, J. S. and Theron, A. K.**, 1994. Accuracy and Capability of The SPM Longshore Transport Formula, *Proc. of 24th Int. Coastal Eng. Conf.*, ASCE, Kobe, Japan, 2595-2609.
- Shibayama, T.**, 1991. Coastal Processes; Coastal Engineering and their Application to Coastal Processes, Div. of Water Resources Eng., Asian Inst. of Tech., Bangkok, Thailand.
- Shi-Leng, X. and Teh-Fu, L.**, 1987. Long-Term Variation of Longshore Sand Transport, *Coastal Eng.*, **11**, 131-140.
- Sierra J. P., Presti, A. L. and Sánchez-Arcilla, A.**, 1994. An Attempt to Model Longshore Sediment Transport on the Catalan Coast, *Proc. of 24th Int. Coastal Eng. Conf.*, ASCE, Kobe, Japan, 2625-2638.
- Simpson, D. P., Kadib, A. L. and Kraus, N. C.**, 1991. Sediment Budget at Oceanside, California, Calculated Using a Calibrated Shoreline Change Model, *Proc. of Coastal Sediments '91*, ASCE, 2234-2248.
- Sorensen, R. M.**, 1993. Basic Wave Mechanics for Coastal and Ocean Engineers John Wiley & Sons Inc., New York.
- Sorensen, R. M.**, 1997. Basic Coastal Engineering, 2nd Ed., Chapman&Hall, ITP, New York.
- Swart, D. H.**, 1976. Predictive Equation Regarding Coastal Transport, *Proc. of 15th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, Hawaii, 1113-1132.
- Thronton, E. B.**, 1968. A Field Investigation of Sand Transport in the Surf Zone, *Proc. of 11th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, Lisbon, 335-351.
- Thronton, E. B.**, 1970. Distribution of Sediment Transport Across the Surf Zone, *Proc. of 13th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, Vancouver, B.C., Canada, 1049-1068.
- Torres-Navarrete, C. R. and Martinez-Diaz de Leon, A.**, 1993. Longshore Sand Transport Southeast of Bahia de Todos Santos B. C. Mexico, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, ASCE, **119**, 580-587.
- Tsuchiya, Y.**, 1982. The Rate of Longshore Sediment Transport and Beach Erosion Control, *Proc. of 18th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, Cape Town, Rep. of South Africa, 1326-1334.
- US Army**, 1985. Sediment Size and Fall Velocity Effects on Longshore Sediment Transport, *Coastal Eng. Tech. Note*, **II-11**, WES, CERC, Vicksburg, Mississippi.

- US Army, 1992. Engineering and Design: Coastal Littoral Transport, *Eng. Manual*, 1110-2-1502, Corps of Eng., Washington, D. C.
- US Army, 1998. Longshore Sediment Transport, in Coastal Engineering Manual, **Part III, Chp. 2**, Corps of Eng., Washington, D. C. (Draft Ed.).
- Valle, R. del, Medina, R. and Losada, M. A., 1993. Dependence of K on Grain Size, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, ASCE, **119**, 568-574.
- Van Wellen, E., Chadwick, A. J. and Mason, T., 2000. A review and Assessment of Longshore Sediment Transport Equations for Coarse-Grained Beaches, *Coastal Eng.*, **40**, 243-375.
- Wang, P. and Kraus, N. C., 1999. Longshore Sediment Transport Rate Measured by Short-Term Impoundment, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, Proc. of ASCE*, **125**, 118-126.
- Wang, P., Kraus, N. C. and Davis, R. A. Jr., 1998. Total Longshore Sediment Transport in the Surf Zone: Field Measurements and Empirical Predictions, *Journal of Coastal Research*, **14-1**, 269-282.
- Wang, T. L. and Le Méhauté, B., 1978. Criterion for Stability of Shoreline Planform, *Proc. of 16th Coastal Eng. Conf.*, ASCE, Hamburg, 1295-1305.
- Walton, T. L., 1979. Littoral Sand Transport on Beaches, *PhD Thesis*, Univ. of Florida, Gainesville, Florida.
- Walton, T. L., 1980a. Littoral Sand Transport From Longshore Currents, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, Proc. of ASCE*, **106**, 483-487.
- Walton, T. L., 1980b. Computation of Longshore Energy Flux Using LEO Current Observations, *Coastal Eng. Tech. Aid (CETA)*, No:80-3, US Army Corps of Eng., CERC, Fort Belvoir, Virginia.
- Walton, T. L., 1994. Shoreline Solution for Tapered Beach Fill, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, ASCE, **120**, 651-655.
- Walton, T. L. and Chiu, T., 1979. A Review of Analytical Techniques to Solve the Sand Transport Equation and Some Simplified Solutions, *Proc. of Coastal Struc. Conf. '79*, ASCE, 809-837.
- Watanabe, A., 1992. Total Rate and Distribution of Longshore Sand Transport, *Proc. of 23rd Coastal Eng. Conf.*, ASCE, 2528-2541.
- White, T. E., 1994. Field Tests of Radiation-Stress Estimators of Longshore Sediment-Transport, *Proc. of 24th Int. Coastal Eng. Conf.*, ASCE, Kobe, Japan, 2799-2812.

- Yüce, H.**, 1993. Analysis of the Water Level Variations in the Eastern Black Sea, *Journal of Coastal Research*, **9**, 1075-1082.
- Yüksel, Y., Çevik, E. ve Çelikoğlu, Y.**, 1998. Kıyı ve Liman Mühendisliği, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi, Ankara.
- Yüksek, Ö., Önsoy, H., Birben, A. R. and Özölçer, İ. H.**, 1995. Coastal Erosion in Eastern Black Sea Region, Turkey, *Coastal Eng.*, **26**, 225-239.
- Zenkovich, V. P.**, 1967. Processes of Coastal Development, Interscience Publishers, A Div. of John Wiley&Sons, New York.



ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ŞAŞAL 1965 yılında Burdur-Bucak'ta dünyaya geldi İlk, Orta ve Lise eğitimini Bucak'ta tamamladıktan sonra 1984 yılında Sakarya Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi ve 1988 yılında mezun oldu. 1989 yılında kazandığı DSİ bursu ile yurtdışına gitti. University of California at Berkeley'de altı aylık lisan kursundan sonra Colorado State University'de İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitime başladı ve 1992 yılında mezun oldu. 1993 yılından itibaren 1.5 yıl süreyle DSİ Genel Müdürlüğü Barajlar ve HES Daire Başkanlığında proje mühendisi olarak çalıştı. 1994 yılında, halen görevli olduğu Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak geçiş yaptı.

