

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RİSK ALTINDAKİ KIYI ALANLARININ YÖNETİMİ VE KARASU  
ÖRNEĞİ**

**REMZİYE İLAYDA TAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
KIYI ve LİMAN MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. YALÇIN YÜKSEL**

**İSTANBUL, 2013**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RİSK ALTINDAKİ KIYI ALANLARININ YÖNETİMİ VE KARASU**  
**ÖRNEĞİ**

Remziye İlayda TAN tarafından hazırlanan tez çalışması 17/01/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Esin ÇEVİK  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Dursun ŞEKER  
İstanbul Teknik Üniversitesi

---

---

---

## ÖNSÖZ

---

Tezimin hazırlanmasında, bilgi ve tecrübesinden her zaman yararlandığım, değerli görüş ve önerileri ile bana daima yol gösteren, Anabilim dalı başkanımız sayın Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL'e en derin saygılarımı ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince deneyimlerinden yaralandığım Hidrolik Anabilim Dalı Öğretim Üyeleri Araş. Gör. Dr. Berna AYAT, Yrd. Doç. Dr. Burak AYDOĞAN, Yrd. Doç. Dr. Anıl ARI GÜNER'e verdikleri destek ve ayırmış oldukları zaman için tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Tez savunması komitesinde bulunan lisanüstü ve lisans eğitimim boyunca bilgilerinden her zaman yararlandığım kıymetli hocam Prof. Dr. Esin ÇEVİK'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmasında kıyı çizgisine ait uydu görüntülerinin sağlamlasında yardımlarını esirgemeyen İTÜ İnşaat Fakültesi öğretim üyesi değerli hocamız Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER'e teşekkürlerimi sunarım.

Verilerin istatistiksel çalışmaları aşamasında bilgilerinden yararlandığım Okan Üniversitesi İnşaat Müh. Bölüm Başk. Prof. Dr. Atıl BULU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Saha çalışmaları sırasında desteklerinden ötürü İnşaat Mühendisleri Odası (TMMOB) Sakarya Şubesi, Karasu Belediyesi ve Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü Öğretim Üye ve yardımcıları Yrd. Doç. Dr. Aycan Murat MARANGOZ, Yrd. Doç. Dr. Sedar GÖRMÜŞ'e minnettarım.

Uydu görüntülerinin sayısallaştırılması aşamasında yardımlarından dolayı YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü Araş. Gör. Uğur ACAR'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmamın yazılması aşamasında sağladıkları manevi destek ve yardımları için lisansüstü arkadaşlarıma, Burak BEKÂR, Fatih GÜLER, ve Selahattin KAYHAN'a çok teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde koşulsuz sevgi ve sonsuz sabırları ile maddi manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, canımdan çok sevdiğim ailem; annem Dilek TAN, babam Akif TAN ve kardeşim Uluhan TAN'a en derin teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Ocak, 2013

R. İlayda TAN

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTIMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xviii
ABSTRACT.....	xxii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez .....	3
BÖLÜM 2	
KARADENİZ HİDRODİNAMİĞİ VE MODELLEMESİ .....	4
2.1 Karadeniz'in Hidrodinamik Yapısı .....	4
2.1.1 Meteorolojik Koşullar.....	5
2.2 Karadeniz'in Akıntı Yapısı.....	6
2.3 Hidrodinamik Modelleme Araçları .....	8
2.4 Mike 21 HD Hidrodinamik Modelleme Yazılımı.....	8
2.4.1 Sayısal Analiz.....	10
2.4.2 Kıyıdan Uzaktaki Bir Nokta İçin Diferansiyel Yaklaşımlar .....	13
2.5 Karadeniz Hidrodinamik Modeli .....	17
2.6 Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	19
BÖLÜM 3	
SAKARYA HAVZASI VE KARASU KIYI ALANI .....	29
3.1 Sakarya Havzası.....	29
3.2 Karasu Kıyı Alanı .....	31



3.2.1	Acarlar Longozu ve Karasu Kumulları.....	33
3.2.2	Bölgedeki Kıyı Yapılarının Durumu .....	39
3.3	Sakarya Nehri Akım ve Katı Madde Taşınımlarının Değerlendirilmesi.....	41
3.3.1	Sakarya Havzasında Yer Alan Barajların Değerlendirilmesi .....	46
3.3.2	Yıllık Katı Madde ve Debi Verilerinin İstatiksel Değerlendirilmesi .....	48
3.3.2.1	Ki-Kare ( $X^2$ ) Testi .....	51
3.3.2.2	Student-t Testi .....	53
3.4	Kıyı Alanı Saha Çalışması.....	54
3.4.1	Katı Madde Özelliklerinin Belirlenmesi.....	54
3.4.2	Kumul ve Basamak Profillerinin Ölçülmesi .....	58
<b>BÖLÜM 4</b>		
<b>KARASU KIYI ALANI MORFOLOJİSİNİN MODELLENMESİ.....</b>		<b>66</b>
4.1	MIKE 21 SW Spektral Dalga Modelleme Yazılımı .....	67
4.1.1	Dalga Hareketi Korunum Denklemleri.....	69
4.1.2	Kaynak Fonksiyonları.....	71
4.2	MIKE 21 ST Sediment Taşınım Modeli .....	87
4.3	Karasu Kıyı Alanı Mike 21/3 Birleşik Modelinin Kurulumu.....	93
4.4	Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	94
4.4.1	Dalga İklimi .....	97
4.4.2	Akıntı İklimi.....	106
4.4.3	Katı Malzeme Taşınımı .....	119
<b>BÖLÜM 5</b>		
<b>KIYI MORFOLOJİSİNİN MODELLENMESİ .....</b>		<b>146</b>
5.1	LITPACK Sayısal Modeli .....	147
5.1.1	LITSTP .....	147
5.1.2	LITDRIFT .....	148
5.1.3	LITLINE .....	151
5.1.4	LITPROF .....	155
5.2	Kıyı Çizgisi Sayısal Modellenmesi.....	157
5.2.1	Kıyı Boyu Katı Madde Taşınımının Modellenmesi .....	157
5.2.1.1	CERC (1984) ve Kamphuis (1991) Yöntemleri ile Kıyı Boyu Katı Madde Miktarlarının Belirlenmesi .....	157
5.2.1.2	Katı Madde Taşınımı Sayısal Modeli (LITDRIFT).....	168
5.2.1.3	Kıyı Çizgisi Modeli (LITLINE) .....	174
5.2.1.4	Kıyı Profil Değişim Modeli (LITPROF) .....	184
<b>BÖLÜM 6</b>		
<b>KIYI ALANLARINDA RİSKE DAYALI TASARIM.....</b>		<b>188</b>
6.1	Kıyı Taşkınlarına Karşı Kıyı Koruma Yapılarında Olasılığa Dayalı Risk Analizi .....	188
6.2	Deniz Suyu Seviyesi Değişimi .....	194
6.3	Karasu Kıyı Alanı Örneği.....	201
<b>BÖLÜM 7</b>		
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>		<b>204</b>

KAYNAKLAR .....	209
EK-A	
İSTATİSTİKSEL VERİLERİN DAĞILIMI .....	212
EK-B	
WENTWORTH TANE BOYUTU ÖLÇEĞİ .....	215
ÖZGEÇMİŞ .....	216

## SİMGE LİSTESİ

---

a	İvme
C	Chezy sayısı
$C_g$	Dalga grup hızı
Cou	Courant sayısı
$D_{gr}$	Boyutsuz tane çapı
$d_{10}$	Katı madde tanelerinin %10'sinin geçtiği çap
$d_{16}$	Katı madde tanelerinin %16'sinin geçtiği çap
$d_{50}$	Katı madde tanelerinin %50'sinin geçtiği çap
$d_{84}$	Katı madde tanelerinin %84'sinin geçtiği çap
$d_{90}$	Katı madde tanelerinin %90'sinin geçtiği çap
$h_{aktif}$	Aktif derinlik
$h_c$	Kapama derinliği
E	Dalga enerjisi
f	Frekans
g	Yerçekimi ivmesi
H	Dalga yüksekliği
h	Su derinliği
$H_o$	Derin deniz dalga yüksekliği
$H_s$	Belirgin dalga yüksekliği
$H_{sort}$	Ortalama belirgin dalga yüksekliği
$H_{s,12}$	12 saatlik aşılma olasılığına karşılık gelen belirgin dalga yüksekliği
$H_{sb}$	Kırılma derinliğindeki belirgin dalga yüksekliği
$h_b$	Kırılma derinliği
$h_{aktif}$	Toplam profil derinliği
$h_{basamak}$	Basamak yüksekliği
$h_{kumul}$	Kumul yüksekliği
$\vec{k}$	Dalga numarası vektörü
k	Dalga numarası büyüklüğü
$k_x$	Kurtosis katsayısı
m	Kıyı eğimi
M	Manning sayısı
N	Hareket yoğunluğu spektrumu

$p$	Basınç
$R$	Korelasyon katsayısı
$S$	Salinity (Tuzluluk)
$s.d$	Serbestlik derecesi
$S_{nl}$	Lineer olmayan dalga-dalga etkileşimden kaynaklanan enerji taşınımı
$S_{ds}$	Köpüklenme nedeniyle meydana gelen dalga enerji harcanımı
$S_{bot}$	Taban sürtünmesinden kaynaklanan enerji harcanımı
$S_{surf}$	Derinliğe bağlı kırılmalar sonucu dalga enerji harcanımı
$t$	Zaman
$T_{ort}$	Ortalama dalga periyodu
$T_p$	Spektrumun pik noktasına karşılık gelen dalga periyodu
$u$	x yönündeki hız bileşeni
$v$	y yönündeki hız bileşen
$w$	z yönündeki hız bileşeni
$\gamma$	Akışkan özgül ağırlığı
$\rho$	Akışkan özgül kütlesi
$\vec{V}$	Hız vektörü
$X$	x yönündeki kütleli kuvvet
$Y$	y yönündeki kütleli kuvvet
$Z$	z yönündeki kütleli kuvvet
$\Phi$	Hız potansiyeli
$C_R$	Courant sayısı
$\Delta t$	Zaman adımı
$\Delta x$	Hesap ağı açıklığı
$\Psi$	Yönel dalga enerjisi spektrumu
$\nabla$	Gradyan operatörü
$\omega$	Açısal frekans
$\theta$	Dalga yönü
$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$	Efektif gerilme bileşenleri
$\vec{v}(c_x, c_y, c_\sigma, c_0)$	$\vec{x}$ alanında ilerleyen 4 boyutlu dalga grup hızı
$\sigma_g$	Geometrik standart sapma
$K$	Von Karman sabiti
$z_c$	Rüzgar hızı ile faz hızının birbirine eşit olduğu su seviyesi üzerindeki kritik yükseklik
$u^*$	Rüzgar sürtünme hızını
$z_0$	Deniz pürüzlülüğü
$z_{chamocak}$	Charnock parametresi
$\tau_w$	Dalganın neden olduğu gerilme
$\tau$	Toplam gerilme
$\varepsilon$	Hava ve suyun yoğunluk değerlerinin oranı
$Q$	Kıyı boyu katı madde taşınım debisi

$Q_{net}$	Kıyı boyu net katı madde taşınım debisi
$Q_{toplam}$	Toplam katı madde taşınım debisi
$Q_{sağ sol}$	Sağdan sola taşınankıyı boyu katı madde debisi
$Q_{sol sağ}$	Soldan sağa taşınankıyı boyu katı madde debisi
$\alpha_b$	Kırılma derinliğindeki dalga açısı
$\alpha_o$	Derin deniz dalga geliş açısı
w	Katı madde çökelme hızı
$\sigma$	Standart sapma
$\bar{x}$	Verilerin aritmetik ortalaması
$C_{vx}$	Varyasyon katsayısı
$S_{sx}$	Standart sapma
$X^2$	Ki kare değeri

## KISALTMA LİSTESİ

---

AGİ	Akarsu Gözlem İstasyonu
ADI	Alternating Direction Implicit
ASAP	As Low As Resonable Practicable (Mümkün olduğu kadar makul ve yapılabilirlik)
BHY	Bütünleşik Havza Yönetimi
BKAY	Bütünleşik Kıyı Alanları Yönetimi
BHKAY	Bütünleşik Havza ve Kıyı Alanları Yönetimi
CERC	Coastal Engineering Research Center
CFL	Courant-Friedrich-Lévy
DHI	Danish Hydraulic Institute (Danimarka Hidrolik Enstitüsü)
E	East (Doğu)
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecast
EİEİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ENE	East North East (Doğu Kuzey Doğu)
ESE	East South East (Doğu Güney Doğu)
EW	East West (Doğu Batı)
FM	Flow Model
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning Systems
GS	GS Glabal System
HD	Hydrodynamic Module (Hidrodinamik Modül)
HOT	Higher Order Terms (Yüksek Mertebeli Terimler)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LITDRIFT	LITtoral Drift
LITLINE	LITtoral Processes And Coastline Kinetics
LITPROF	LITtoral Profile
LITSTP	LITtoral Sediment TransPort
N	North (Kuzey)
NE	North East (Kuzey Doğu)
NNE	North North East (Kuzey Kuzey Doğu)
NNW	North North West (Kuzey Kuzey Batı)

NS	North South (Kuzey Güney)
NW	North West (Kuzey Batı)
OSS	Ortalama Su Seviyesi
PRA	Probability Risk Analysis (Olasılık Risk Analizi)
PSU	Practical Salinity Unit
RMSE	Root Mean Square Error (Karekök ortalama kare hata )
RTK GPS	Real Time Kinematic (Gerçek Zamanlı Kinematik) GPS
SAT	Soğuk Ara Tabaka
SE	South East (Güney Doğu)
SHOD	Seyir Hidrografi ve Oşinorafi Dairesi
SSE	South South East (Güney Güney Doğu)
ST	Sediment Transport
SSW	South South West (Güney Güney Batı)
SW	South West (Güney Batı)
SW	Spectral Wave
UTM	Universal Transverse Mercator
W	West (Batı)
WAM	Wave Ocean Model
WAM CY 3	The Wave Model Cycle 3
WAM CY 4	The Wave Model Cycle 4
WNW	West North West (Batı Kuzey Batı)
WSW	West South West (Batı Güney Batı)

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Çalışma akış diyagramı .....2
Şekil 2.1	Karadeniz konum ve derinlik (m) haritası [2] .....5
Şekil 2.2	Karadeniz genel sirkülasyonu [5] .....7
Şekil 2.3	Hesap ağı [7] .....10
Şekil 2.4	Zamansal ortalama [7].....10
Şekil 2.5	Yan besleme [7].....11
Şekil 2.6	Tarama sırasına göre hesap döngüsü [6] .....13
Şekil 2.7	Hesap ağı notasyonu, x yönündeki momentum denklemi [6].....15
Şekil 2.8	Karadeniz sayısal hesap ağı.....18
Şekil 2.9	Anlık modelin akıntı yapısı (25.12.1998) .....19
Şekil 2.10	Anlık modelin akıntı yapısı (08.10.1999) .....20
Şekil 2.11	Anlık modelin akıntı yapısı (07.11.2000) .....20
Şekil 2.12	Anlık modelin akıntı yapısı (29.12.2001) .....20
Şekil 2.13	Anlık modelin akıntı yapısı (07.12.2003) .....21
Şekil 2.14	Anlık modelin akıntı yapısı (23.08.2005) .....21
Şekil 2.15	Anlık modelin akıntı yapısı (10.11.2005) .....21
Şekil 2.16	Anlık modelin akıntı yapısı (25.11.2006) .....22
Şekil 2.17	Anlık modelin akıntı yapısı (05.12.2007) .....22
Şekil 2.18	Anlık modelin akıntı yapısı (30.12.2008) .....22
Şekil 2.19	Akıntı güllerinin çıkartılması için belirlenen noktalar (Google Earth, 2012) 24
Şekil 2.20	Belirlenen noktaların Karadeniz sirkülasyon görüntüsüne işlenmesi .....24
Şekil 2.21	Sırasıyla 1 ile 12. Noktalar arasında elde edilen akıntı gülleri .....25
Şekil 2.22	13 ile 24. Noktalar arasından elde edilen akıntı gülleri.....26
Şekil 2.23	25 ile 36. Noktalar arasından elde edilen akıntı gülleri.....27
Şekil 3.1	Türkiye Nehir Havzaları Haritası [9] .....29
Şekil 3.2	Sakarya Havzası'nın genel görünümü [10] .....30
Şekil 3.3	Karasu kıyı alanı.....31
Şekil 3.4	Karasu kıyı alanında etkili rüzgar ve dalga gücü [11] .....32
Şekil 3.5	Karasu kıyı çizgisinin durumu (Google Earth, 2010) .....32
Şekil 3.6	Acarlar gölünün konumu [12] .....34
Şekil 3.7	Karasu ilçe merkezinin batısında Acarlar Longozu [13] .....35
Şekil 3.8	Acarlar Longozu'nun kıyısında kavakların görünümü [13] .....36
Şekil 3.9	Ağırlıklı olarak dişbudak ve kızılğaçlardan oluşan Acarlar Longozu'nun sınırındaki kavaklıklar ve tarlaların görünümü [13] .....36
Şekil 3.10	Acarlar Longozu [14] .....37



Şekil 3.11	Acarlar longozunda yaşayan yarı sucul yılan [15] .....	38
Şekil 3.12	Sakarya Nehir ağzı [11] .....	38
Şekil 3.13	Karasu plaj alanı kumulları.....	39
Şekil 3.14	Sakarya nehri kontrolsüz kum ocakları [11] .....	39
Şekil 3.15	Liman hava fotoğrafı [11] .....	40
Şekil 3.16	Liman yakınındaki mahmuzlar ve erozyon durumu [11] .....	40
Şekil 3.17	Karasu kıyısı 2010 [11].....	41
Şekil 3.18	Karasu kıyılarında kıyı erozyonu .....	41
Şekil 3.19	1243 nolu Sakarya Havzası gözlem istasyonlarının yeri [16] .....	42
Şekil 3.20	Yıllara karşılık ortalama debi miktarları değişimi .....	44
Şekil 3.21	1243 nolu Sakarya-Botbaşı Akarsu gözlem istasyonu.....	44
Şekil 3.22	Yıllara karşılık ortalama toplam katı madde miktarları değişimi .....	46
Şekil 3.23	Şematik Sakarya Nehri boykesiti ve üzerindeki barajlar [18] .....	47
Şekil 3.24	Sakarya Nehri üzerindeki barajların konumu [18] .....	47
Şekil 3.25	Negatif çarpık, simetrik ve pozitif çarpık dağılımların olasılık yoğunluk fonksiyonu .....	50
Şekil 3.26	Debi ve katı maddde miktarlarının karşılaştırılması.....	51
Şekil 3.27	Numuneler ait granülometri eğrisi .....	57
Şekil 3.28	Tane çapı dağılımı eğrisinden elde edilen bazı özel tane boyutu değerleri .	57
Şekil 3.29	İncelenen kıyı alanı (Google Earth, 2012).....	59
Şekil 3.30	Koordinatları ile çalışma alanına ait batimetri haritası .....	59
Şekil 3.31	Batimetri haritasından elde edilen profiller .....	61
Şekil 3.32	Leica sabit GNSS referans istasyonu; 1.poligon noktası.....	62
Şekil 3.33	Leica GS15 ile sahilde basamak ve kumullarda yapılan ölçümler.....	62
Şekil 3.34	Arazi çalışması alanına ait fotoğraflar .....	62
Şekil 3.35	Karasu bölgesi Denizköy' de Karadeniz kıyısında bulunan kumullar ve bitki örtüsü .....	63
Şekil 3.36	Veri alınan noktalara ait Google Earth görüntüleri.....	64
Şekil 4.1	Birleşik model akış diyagramı .....	67
Şekil 4.2	Farklı etkileşim yaklaşımında kullanılan çift yönlü etkileşim yapılandırmaları Komen vd. [21] .....	78
Şekil 4.3	Karasu kıyı alanı model hesap ağı .....	93
Şekil 4.4	Sakarya nehrinin batısında incelenen kıyı alanı üzerindeki noktalar .....	95
Şekil 4.5	Sakarya nehrinin doğusunda incelenen kıyı alanı üzerindeki noktalar .....	95
Şekil 4.6	20m derinlikteki dalga gülleri .....	98
Şekil 4.7	20m derinlikteki dalga gülleri .....	99
Şekil 4.8	20m derinlikteki dalga gülleri .....	100
Şekil 4.9	50m derinlikteki dalga gülleri .....	101
Şekil 4.10	50m derinlikteki dalga gülleri .....	102
Şekil 4.11	50m derinlikteki dalga gülleri .....	103
Şekil 4.12	100m derinlikteki dalga gülleri .....	104
Şekil 4.13	100m derinlikteki dalga gülleri .....	105
Şekil 4.14	Anlık modelin akıntı yapısı (14.04.2004) .....	107
Şekil 4.15	Anlık modelin akıntı yapısı (08.09.2003) .....	107
Şekil 4.16	Anlık modelin akıntı yapısı (12.10.2003) .....	108
Şekil 4.17	Anlık modelin akıntı yapısı (13.07.2004) .....	108
Şekil 4.18	Anlık modelin akıntı yapısı (22.07.2004) .....	109

Şekil 4.19	Anlık modelin akıntı yapısı (28.03.2004) .....	109
Şekil 4.20	5m derinlikteki akıntı gülleri .....	110
Şekil 4.21	5m derinlikteki akıntı gülleri .....	111
Şekil 4.22	20m derinlikteki akıntı gülleri .....	112
Şekil 4.23	20m derinlikteki akıntı gülleri .....	113
Şekil 4.24	50m derinlikteki akıntı gülleri .....	114
Şekil 4.25	50m derinlikteki akıntı gülleri .....	115
Şekil 4.26	50m derinlikteki akıntı gülleri .....	116
Şekil 4.27	100m derinlikteki akıntı gülleri .....	117
Şekil 4.28	100m derinlikteki akıntı gülleri .....	118
Şekil 4.29	5m derinlikteki katı madde gülleri .....	120
Şekil 4.30	5m derinlikteki katı madde gülleri .....	121
Şekil 4.31	20m derinlikteki katı madde gülleri .....	122
Şekil 4.32	20m derinlikteki katı madde gülleri .....	123
Şekil 4.33	50m derinlikteki katı madde gülleri .....	124
Şekil 4.34	50m derinlikteki katı madde gülleri .....	125
Şekil 4.35	50m derinlikteki katı madde gülleri .....	126
Şekil 4.36	100m derinlikteki katı madde gülleri .....	127
Şekil 4.37	100m derinlikteki katı madde gülleri .....	128
Şekil 4.38	5m derinliğine ait 1, 2, 3, 4 ve 5. noktalara ait taban değişim değerleri ...	130
Şekil 4.39	5m derinliğine ait 6, 7, 8, 9, ve 10. noktalara ait taban değişim değerleri.	130
Şekil 4.40	5m derinliğine ait 11, 12, 13, 14 ve 15. noktalara ait taban değişim değerleri .....	131
Şekil 4.41	5m derinliğine ait 15, 16, 17, 18, 19 ve 20. noktalara ait taban değişim değerleri.....	131
Şekil 4.42	5m derinliğine ait 21, 22, 23, 24 ve 25. noktalara ait taban değişim değerleri .....	132
Şekil 4.43	5m derinliğine ait 26, 27, 28, 29 ve 30. noktalara ait taban değişim değerleri .....	132
Şekil 4.44	5m derinliğine ait 31, 32, 33, 34 ve 35. noktalara ait taban değişim değerleri .....	133
Şekil 4.45	5m derinliğine ait 36, 37, 38, 39, 40 ve 41. noktalara ait taban değişim değerleri.....	133
Şekil 4.46	20m derinliğine ait 1, 2, 3, 4 ve 5. noktalara ait taban değişim değerleri .	134
Şekil 4.47	20m derinliğine ait 6, 7, 8, 9, ve 10. noktalara ait taban değişim değerleri .....	134
Şekil 4.48	20m derinliğine ait 11, 12, 13, 14 ve 15. noktalara ait taban değişim değerleri.....	135
Şekil 4.49	20m derinliğine ait 15, 16, 17, 18, 19 ve 20. noktalara ait taban değişim değerleri.....	135
Şekil 4.50	20m derinliğine ait 21, 22, 23, 24 ve 25. noktalara ait taban değişim değerleri.....	136
Şekil 4.51	20m derinliğine ait 26, 27, 28, 29 ve 30. noktalara ait taban değişim değerleri.....	136
Şekil 4.52	20m derinliğine ait 31, 32, 33, 34 ve 35. noktalara ait taban değişim değerleri.....	137

Şekil 4.53	20m derinliğine ait 36, 37, 38, 39, 40,41 ve 42. noktalara ait taban değişim değerleri.....	137
Şekil 4.54	50m derinliğine ait 1, 2, 3, 4 ve 5. noktalara ait taban değişim değerleri .	138
Şekil 4.55	50m derinliğine ait 6, 7, 8, 9, ve 10. noktalara ait taban değişim değerleri .....	138
Şekil 4.56	50m derinliğine ait 11, 12, 13, 14 ve 15. noktalara ait taban değişim değerleri.....	139
Şekil 4.57	50m derinliğine ait 15, 16, 17, 18, 19 ve 20. noktalara ait taban değişim değerleri.....	139
Şekil 4.58	50m derinliğine ait 21, 22, 23, 24 ve 25. noktalara ait taban değişim değerleri.....	140
Şekil 4.59	50m derinliğine ait 26, 27, 28, 29 ve 30. noktalara ait taban değişim değerleri.....	140
Şekil 4.60	50m derinliğine ait 31, 32, 33, 34 ve 35. noktalara ait taban değişim değerleri.....	141
Şekil 4.61	50m derinliğine ait 36, 37, 38, 39, 40,41 ve 42. noktalara ait taban değişim değerleri.....	141
Şekil 4.62	100m derinliğine ait 1, 2, 3, 4 ve 5. noktalara ait taban değişim değerleri	142
Şekil 4.63	100m derinliğine ait 6, 7, 8, 9, ve 10. noktalara ait taban değişim değerleri .....	142
Şekil 4.64	100m derinliğine ait 11, 12, 13, 14 ve 15. noktalara ait taban değişim değerleri.....	143
Şekil 4.65	100m derinliğine ait 15, 16, 17, 18, 19 ve 20. noktalara ait taban değişim değerleri.....	143
Şekil 4.66	100m derinliğine ait 21, 22, 23, 24 ve 25. noktalara ait taban değişim değerleri.....	144
Şekil 4.67	100m derinliğine ait 26, 27, 28, 29 ve 30. noktalara ait taban değişim değerleri.....	144
Şekil 4.68	100m derinliğine ait 31, 32, 33, 34, 35 ve 36. noktalara ait taban değişim değerleri.....	145
Şekil 5.1	LITDRIFT modülünün akım şeması [26] .....	149
Şekil 5.2	Şematik ayrıklaştırmış kıyı profili [26] .....	149
Şekil 5.3	LITLINE modülünün akım şeması [27] .....	151
Şekil 5.4	LITLINE modülünde kullanılan koordinat sistemi [27] .....	152
Şekil 5.5	Referans çizgisi boyunca değişen dalga iklimi [27] .....	153
Şekil 5.6	Kıyı boyu ayrıklaştırma [27] .....	154
Şekil 5.7	LITPROF koordinat sistemi [28].....	155
Şekil 5.8	Sayısal modelden elde edilen derin deniz belirgin dalga yükseklikleri eklenik aşılma olasılığı dağılımları .....	158
Şekil 5.9	Sakarya nehri batı kıyısını etkileyen dalga yönleri .....	161
Şekil 5.10	Del Valla ve diğ. (1993)' de elde ettiği CERC ifadesi için K katsayısı [31] ...	162
Şekil 5.11	2002 Haziran ayı (sağda) ve 2003 (solda) yılına ait Landsat uydu görüntüleri [35] .....	168
Şekil 5.12	LITDRIFT katı madde taşınım modülünde kullanılmak üzere sayısallaştırılmış kıyı çizgisi ve referans çizgisinin konumu .....	169
Şekil 5.13	LITPACK sayısal modelinde kullanılan kıyı çizgisi parametrelerinin şematik gösterimi [24].....	169

Şekil 5.14	(1.)Kıyı profili.....	170
Şekil 5.15	(2.)Kıyı profili.....	170
Şekil 5.16	(3.)Kıyı profili.....	171
Şekil 5.17	LITLINE sayısal modeli .....	175
Şekil 5.18	2002 ve 2003 yılına ait uydu görüntülerinin karşılaştırılması.....	177
Şekil 5.19	2002 yılı uydu ve 2003 yılı model görüntülerinin karşılaştırılması .....	178
Şekil 5.20	2003 yılına ait uydu ve model sonuç görüntülerinin karşılaştırılması .....	179
Şekil 5.21	2002 yılı uydu görüntüsü ile 2003 yılına ait sayısal model verilerinin karşılaştırılması .....	180
Şekil 5.22	Çalışma alanının görünümü .....	180
Şekil 5.23	2002 yılı uydu görüntüsü ile 2003 yılına ait sayısal model verilerinin karşılaştırılması (I.Bölge).....	181
Şekil 5.24	2002 yılı uydu görüntüsü ile 2003 yılına ait sayısal model verilerinin karşılaştırılması (II.Bölge).....	182
Şekil 5.25	2002 yılı uydu görüntüsü ile 2003 yılına ait sayısal model verilerinin karşılaştırılması (III.Bölge).....	183
Şekil 5.26	Modelden elde edilen kıyı profili (15.03.2002) .....	185
Şekil 5.27	Modelden elde edilen kıyı profili (15.05.2002) .....	185
Şekil 5.28	Modelden elde edilen kıyı profili (15.09.2002) .....	186
Şekil 5.29	Modelden elde edilen kıyı profili (15.11.2002) .....	186
Şekil 5.30	Modelden elde edilen kıyı profili ile ölçülen başlangıç profilinin karşılaştırılması .....	187
Şekil 5.31	Modelden elde edilen kıyı profilleri ile ölçülen başlangıç profilinin gösterimi .....	187
Şekil 6.1	Yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerekliliğini gösteren kıyı koruma yapısı tasarım örneği [36].....	189
Şekil 6.2	Kıyı koruma yapı tasarımları için olasılığa dayalı risk analizini üzerine kurulu taslak çalışması [36] .....	190
Şekil 6.3	Geriye kalan risk değerlendirmesi için metodoloji [36] .....	191
Şekil 6.4	ALARP Prensipte içinde belirsizlik [36] .....	193
Şekil 6.5	Referans noktaya göre östatik ve rölatif su seviyeleri [37] .....	195
Şekil 6.6	Jeolojik zaman ölçeği [38].....	196
Şekil 6.7	Dünya bankası raporlarından alınmış Bengal Körfezinde ki mevsimsel su baskınını gösteren fotoğraf .....	199
Şekil 6.8	El-Nino ve La-Nino akıntısının oluşumu [40] .....	200
Şekil 6.9	2100 yılında beklenen deniz seviyesi artış miktarı [41] .....	200
Şekil 6.10	Denizköy kıyı alanında uygulanan jetty LITLINE sayısal modelinde görünümü .....	202
Şekil 6.11	Jetty çevresinde ki kıyı çizgisi değişimi .....	202
Şekil 6.12	Sakarya Nehrinin batısında uygulanan jetty LITLINE sayısal modelinde görünümü .....	203
Şekil 6.13	Jetty çevresinde ki kıyı çizgisi değişimi .....	203
Şekil A.0.1	Normal dağılım eğrisinin altındaki alanı veren tablo [19] .....	212
Şekil A.0.2	X <sup>2</sup> Dağılımı veren tablo [19] .....	213
Şekil A.0.3	t (student) dağılımını veren tablo [19] .....	214
Şekil B.0.1	Udden-Wentworth tane boyutu sınıflandırma ölçeği [42].....	215

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Akıntı güllerinin çıkartılması için belirlenen noktalara ait veriler .....28
Çizelge 3.1	Aylara göre ölçülen ortalama debi miktarları ( $m^3/s$ ).....43
Çizelge 3.2	Yıllara karşılık ortalama katı madde miktarları değişimi.....45
Çizelge 3.3	Sakarya Nehri üzerindeki barajların genel özellikleri [17] .....48
Çizelge 3.4	İstatistiksel veri sonuçları .....49
Çizelge 3.5	Normal dağılım için sınıf aralıkları ve eleman sayıları .....52
Çizelge 3.6	Lognormal dağılım için sınıf aralıkları ve eleman sayıları .....53
Çizelge 3.7	1. Numune için elek analizi sonuçları .....55
Çizelge 3.8	2. Numune için elek analizi sonuçları .....55
Çizelge 3.9	3. Numune için elek analizi sonuçları .....56
Çizelge 3.10	4. Numune için elek analizi sonuçları .....56
Çizelge 3.11	Katı malzemenin özellikleri .....58
Çizelge 3.12	Batimetriden elde edilen profillere ait derinlik ve kıyıya olan mesafeleri .....60
Çizelge 3.13	Verilere ait koordinat ve yükseklik değerleri .....65
Çizelge 4.1	İncelenen kıyı alanı üzerindeki noktalara ait koordinat ve derinlik değerleri .....96
Çizelge 5.1	Uzun dönem derin deniz belirgin dalga yüksekliği eklenik aşılma olasılığı denklemleri .....158
Çizelge 5.2	$H_{5,12}$ 'ye göre hesaplanan yönlere göre kapama derinlikleri .....159
Çizelge 5.3	CERC (1984) yöntemi ile yönlere göre katı madde taşınım miktarları ..162
Çizelge 5.4	Değişen K katsayısına göre CERC yöntemi ile yönlere göre katı madde taşınım miktarları.....164
Çizelge 5.5	Derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ortalama değerleri .....165
Çizelge 5.6	Kamphius (1991) ifadesinde kullanılan parametreler .....165
Çizelge 5.7	Kamphius (1991)'e göre yönlere göre kıyı boyu taşınım miktarları .....166
Çizelge 5.8	1. Senaryo için hesaplanan katı madde taşınım miktarları .....167
Çizelge 5.9	2. Senaryo için hesaplanan katı madde taşınım miktarları .....167
Çizelge 5.10	Karasu kıyı çizgisi için sayısal modele ait özellikler.....170
Çizelge 5.11	LITDRIFT ile oluşturulan modeller .....173
Çizelge 5.12	LITDRIFT model sonuçları ile CERC(1984) ve Kamphius(1991) yöntemleri ile hesaplanan katı madde taşınım miktarları .....173

# RİSK ALTINDAKİ KIYI ALANLARININ YÖNETİMİ VE KARASU ÖRNEĞİ

Remziye İlayda TAN

İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

Sakarya ili Karasu ilçesi binlerce yılda oluşan bir kıyı alanına sahiptir. Bu kıyı alanında akıntı ve katı madde kaynağı olarak nitelendirilebilecek yapıya sahip Sakarya nehri kıyı alanını kontrol eden en önemli hidrodinamik etken olarak değerlendirilmektedir. Karasu kıyı alanı; Batı Karadeniz bölgesinde Sakarya Nehri ağzının batısında 30km, doğusunda ise 25km'lik bir plaj alanına sahip, Batı Karadeniz Bölgesi'nin nadir kumsal plajlarından. Marmara bölgesinin Kuzeydoğusunda, Sakarya ili sınırları içerisinde Karasu ve Kaynarca ilçeleri arasında yer alan Türkiye'nin tek parça halindeki en büyük longozu (subasar ormanı) olan Acarlar'ın da bu bölgede bulunması kıyı alanını oldukça önemli kılmaktadır. Dolayısıyla Karasu kıyı kesimi sucul ekosistemi, kumul ekosistemi, longoz ekosistemi ve orman ekosistemi ile birlikte bir bütün olarak düşünülmelidir.

Kıyı mühendisliğinde herhangi bir bölgeye ait dalgaların hidrodinamik etkisinin bilinmesi oldukça önemlidir. Kıyı yapılarının planlanması, tasarımı, uygulaması aşamasında ve kıyı çizgisi gelişiminin belirlenmesinde o bölgeye ait dalga ikliminin oluşturulması için uzun dönemli dalga verilerine ihtiyaç duyulması nedeni ile yeni nesil dalga tahmin modelleri kullanılmaktadır.

Bu çalışma Karasu bölgesindeki hidrodinamik yapının anlaşılması ve kıyı morfolojisinde meydana gelen değişimlerin belirlenebilmesi için saha çalışmalarının yanı sıra Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI) tarafından geliştirilen sayısal model ile benzeştirilmesini içermektedir.

Karasu kıyı alanının hidrodinamik yapısı ile morfolojisini daha iyi modelleyebilmek ve sınır koşullarını oluşturmak için önce MIKE 21 HD sayısal modeli ile Karadeniz bölgesine ait hidrodinamik bir model oluşturulmuştur. Model sonuçları literatürde daha önce ortaya konulan Karadeniz'in genel sirkülasyon yapısı ile kalibre edilmiş ve sonucunda elde edilen sınır koşullarının değerlendirilmesiyle Karasu kıyı alanının iyi anlaşılması için yeni sınır koşulları tanımlanmış, akıntı ve dalga koşulları birlikte göz önüne alınarak daha detaylı bir benzeşim yaratılması amacı ile Mike 21 Coupled Model FM (Birleşik Model) kullanılmıştır. Karasu bölgesine ait kurulan daha detaylı ve küçük ölçekteki model sonucunda katı madde taşınımı, dalga iklimi ve akıntı koşullarını veren sağlıklı bir benzeşim oluşturulmuş, Yüksel Y., ve Saraçoğlu E., [22]' de yaptığı çalışmada dalga modeli ölçümleri ile kalibre edilmiştir. İki boyutlu morfoloji modellemesi yapılarak katı madde taşınım iklimleri elde edilmiştir. Kurulan hidrodinamik modellerin yanı sıra Sakarya Nehri ağzının batısında kalan yaklaşık 30 km'lik kıyı alanında kıyı boyu katı madde taşınımı ile kıyı çizgisi ve kıyıya dik profillerin değişimini inceleyebilmek için LITPACK sayısal modeli oluşturulmuş ve LITDRIFT, LITLINE, LITPROF modülleri kullanılarak benzeşimleri sağlanmıştır. Bu modellerde sağlıklı girdi oluşturabilmek amacıyla saha ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Örneğin kumul, basamak ve batimetri ölçümleri yapılmıştır. LITDRIFT sayısal modelinin sonuçları ayrıca Kamphius (1991) ve CERC (1984) yöntemleri ile yapılan hesap sonuçları ile karşılaştırılarak kalibre edilmiştir. Kıyı çizgisi değişimi için oluşturulan LITLINE sayısal model sonuçları GPS ölçümleri ve sayısallaştırılmış uydu görüntüleri ile doğrulanmıştır. Kıyı çizgisinin belirlenmesinde hidrodinamik dalga modelinden elde edilen dalga parametreleri kullanılmıştır. Kıyıya dik profillerin değişimlerinin anlaşılabilmesi için kullanılan LITPROF sayısal modelinin sonuçları sayısallaştırılmış uydu görüntüleri ile LITLINE modelinin sonuçları ile kıyaslanarak yorumlanmıştır.

Oluşturulan sayısal modellerde ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast)' ten alınan meteorolojik veriler, SHODB'dan alınan batimetrik veriler, EİEİ'den alınan Sakarya nehrine ait debi ve akım değerleri ile saha çalışmasından elde edilen verilerin yanı sıra kullanılmıştır. Saha çalışmaları katı madde özelliklerinin belirlenmesi amacı ile bölgeden çeşitli katı madde örneklerinin alınarak laboratuvar ortamında gerçekleştirilen elek analizi deneylerini ve kıyı boyunca kıyı arkasında kalan kumulların yüksekliklerin Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) GPS uygulaması ile ölçümlerini içermektedir.

Bu çalışmanın sonucunda risk altında kabul edilen Karasu kıyı alanının morfolojik yapısı, akıntı ve dalga iklimi elde edilmiştir. Ayrıca risk analizi için küresel iklim değişikliği ile yapıların etkisi incelenmiştir. Bu tip doğal ve doğal olmayan etkilerin kıyı alanı ve sulak alan üzerinde risk oluşturduğu belirlenmiştir. Risk azaltıcı önlemler elde edilen sonuçlar altında tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrodinamik, MIKE 21 HD, Birleşik modelleme, kıyı boyu katı madde taşınımı, kıyı çizgisi değişimi, LITLINE, LITDRIFT, LITPROF

**COASTAL MANAGEMENT FRAMEWORK FOR KARASU**

Remziye İlayda TAN

Department of Civil Engineering Coastal and Harbour Engineering Programme  
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

Karasu coastal zone has evolved for many thousands of years. The Sakarya River is one of the most important hydrodynamic factor as a source of sediment and flow in this zone. This coastal zone located at the West coast of the Black Sea and has 19 miles (30 km) beach from The Sakarya River mouth to the West and 16 miles (25km) beach to the east. The coastal zone is quite important with The Acarlar deep spot. Since Karasu coastal zone should be considered as a whole ecosystem with aquatic, dune, deep spot and forest.

The impact of hydrodynamic structure is very important to know for coastal engineering. Long-term wave datasets needed during the determination of coastal defence structures planning, design, implementation, and shoreline changes. Today, numerical models are used for this purpose.

In this study explores a range of uncertainty issues within the hydrodynamic structure and shoreline change in the Karasu coastal zone by using simulation with numerical model generated by Danish Hydraulic Institute (DHI).

In the first step of the study, 2D Hydrodynamic MIKE 21 Model was used for a Black Sea basin simulation for a better understanding and creating new boundary conditions for hydrodynamic structure of Karasu coastal zone. Model results calibrated with the general circulation of the Black Sea. In the second step, with the results of wave model 2D Coupled Mike 21 FM Model was simulated for Karasu coastal zone and calibrated with the results of the study Yüksel Y., and Saraçoğlu E., [22]. More detailed and small scale model for the Karasu region results include wave, current and sediment roses for the points which determined for different depths. For the assessment of the coastal morphology and shoreline change, 19 miles (30 km) beach from the Sakarya river



mouth to the west was chosen as the study field. Numerical sediment transport model (LITDRIFT), numerical shoreline change model (LITLINE) and numerical cross-shore profile evolution model (LITPROF) was used for the simulation. Kamphius (1991) and CERC (1984) methods used for the calibration of LITLINE and LITDRIFT models. The results of the shoreline change model was verified with the digitized satellite images. The hydrodynamic wave model results also used as input parameters for the LITLINE LITDRIFT and LITPROF models.

Meteorological data received from ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast) and bathymetric data from SHODB, The Sakarya River's flow and sediment values from EİEİ were used both Hydrodynamic and Coupled Models. Field studies with the aim of determining sediment properties conducted in Yıldız Technical University Laboratory. Dune positions with heights were measured with Real Time Kinematic (RTK) GPS applications.

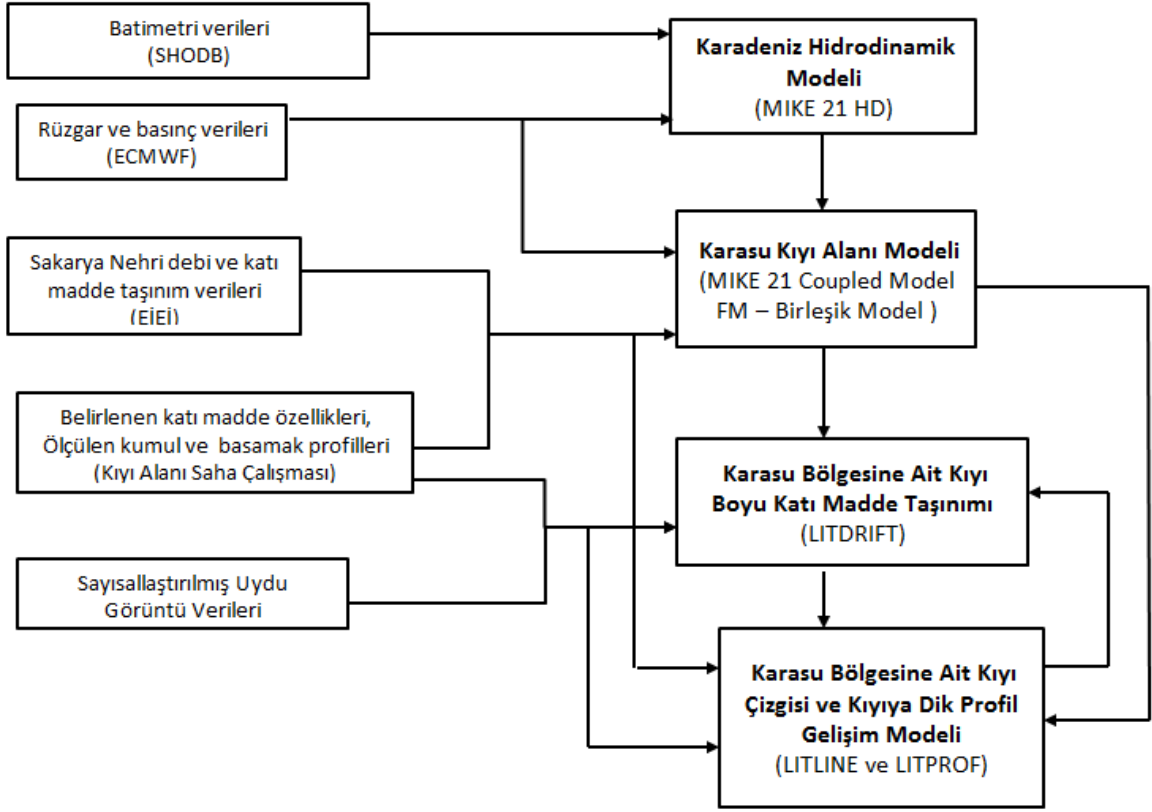
As a result of this work coastal morphology, current and wave climate was found for Karasu coastal zone which is considered under risk zone. Also the global climate change and coastal defence structures applications effects are investigated for the risk analysis.

**Key words:** Hydrodynamic, MIKE 21 HD, Coupled Modelling, longshore sediment transport, shoreline change, LITLINE, LITDRIFT, LITPROF

#### 1.1 Literatür Özeti

Kıyı mühendisliği çalışmaları oldukça karmaşık akışkanlar mekaniği problemlerini içerebilmektedir. Bu problemlerin birçoğu lineer olmayan karakter taşımaları nedeniyle matematiksel olarak analiz edilmeleri oldukça güçtür. Bu nedenle sayısal ve fiziksel modellerin kıyı mühendisliği çalışmalarında kullanımı oldukça önemlidir. Fiziksel modellerde, ölçek etkisi problemlerinin meydana gelmesi, maliyeti yüksek ve zahmetli olması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Sayısal modeller ise oldukça büyük alanlarda uzun süreli kıyı çizgisi değişimini, dalga ve akıntı gibi önemli parametrelerin izlenmesini, incelenecek alanın daha kolay benzeştirilmesini sağlayarak önemli bir avantaj sağlamıştır. Sayısal modeller son yıllarda sıkça kullanılan modeller olmuştur.

Marmara Bölgesi'nde Sakarya iline bağlı bir ilçe olan Karasu kuzeyinde de Karadeniz ile çevrilidir. Çalışma alanı olarak belirlenen Karasu kıyı alanına ait sayısal model benzeşimlerini oluşturmak için kapsamlı bir saha çalışması yapılarak katı madde özellikleri, GPS ölçümlerinden sağlanan kumul yükseklikleri tesbit edilmiştir. EİEİ ve SHODB tarafından sağlanan Sakarya Nehri'ne ait akım ve katı madde debileri ile batimetri verileri doğrultusunda oluşturulan sayısal modellere ait çalışmanın akış diyagramı Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1 Çalışma akış diyagramı

## 1.2 Tezin Amacı

Çalışma kapsamında; Karadeniz'e ait oluşturulan hidrodinamik model sonuçlarından yararlanarak elde edilen yeni sınır, akıntı ve dalga koşulları kullanılarak Karasu bölgesine ait 2002-2003 yılları arasında 1 yıl süre ile Birleşik Modelinin koşturulması ile bölgenin hidrodinamik yapısının incelenmesi, bu modelden elde edilen parametreler, saha ölçümleri, ve SHODB ile EİEİ'den elde edilen veriler doğrultusunda Sakarya Nehri ağzının batısında yer alan 30 km'lik bir kıyı alanı boyunca meydana gelen katı madde taşınım miktarının sayısal model ile hesaplanması ve CERC(1984) ile Kamphuis (1991) yöntemleri ile bulunan değerleri için kalibrasyonun sağlanması, 2003-2004 yılları arasında kıyı çizgisinde meydana gelen değişimi elde etmek için yeni bir sayısal modelin oluşturulması ve bu model sonuçlarının sayısallaştırılmış uydu görüntüleri ile karşılaştırılarak doğruluğunun tespit edilmesi ve bölgede Denizköy ile Sakarya Nehri ağzının hemen batısında olmak üzere iki farklı yerde jetty uygulaması yapıldığı takdirde oluşabilecek kıyı deformasyonlarının araştırılması düşünülmüştür.

### **1.3 Hipotez**

Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde kıyı alanlarının korunması, morfolojik davranışlarının belirlenmesi, planlanması oldukça önemlidir. Karasu kıyı alanı gerisinde ki kumullar, longoz, orman ve tarım alanları ile oldukça geniş bir ekosisteme sahiptir. Ancak bu bölge ile ilgili literatürde detaylı çalışmalar bulunmamaktadır. Bu tez kapsamında bu bölgenin hidrodinamik yapısının incelenmesi ve kıyı morfolojisinin gelişiminin araştırılmasına yer verilmiştir. Çalışma ülkemizde özellikle risk altındaki kıyı alanlarına yönelik detaylı bilimsel bir çalışmanın nasıl yapılacağını ve sonuçların nasıl değerlendirileceğini göstermesi açısından son derece önemlidir. Bu tip çalışmaların kullanılan sayısal modellerin karmaşıklığı ve saha ölçümlerinin zorluğu nedeni ile gerçekleştirilmeleri oldukça zahmetlidir. Sayısal modellerin kalibrasyon ve doğrulama aşamalarıyla doğayı doğru benzeştirmeleri de sağlanmaktadır. Sonuçların risk analizi yapılarak değerlendirilmesi de çalışmayı ileri boyutlara taşıyabilmektedir.

### KARADENİZ HİDRODİNAMİĞİ VE MODELLEMESİ

Bu bölümde çalışma bölgesi olarak seçilen Karasu kıyı alanının hidrodinamik yapısı ile morfolojisini daha iyi modelleyebilmek ve sınır koşullarını oluşturmak için önce Karadeniz bölgesine ait hidrodinamik bir model oluşturulmuştur. Karadeniz'in Hidrodinamik yapısı ve meteorolojisi gibi genel özelliklerinin yanı sıra oluşturulan modelin arka planda kullandığı sayısal denklemler, modelin sonuç verileri ve bu verilerin değerlendirilmesi bu bölüm kapsamında verilmiştir.

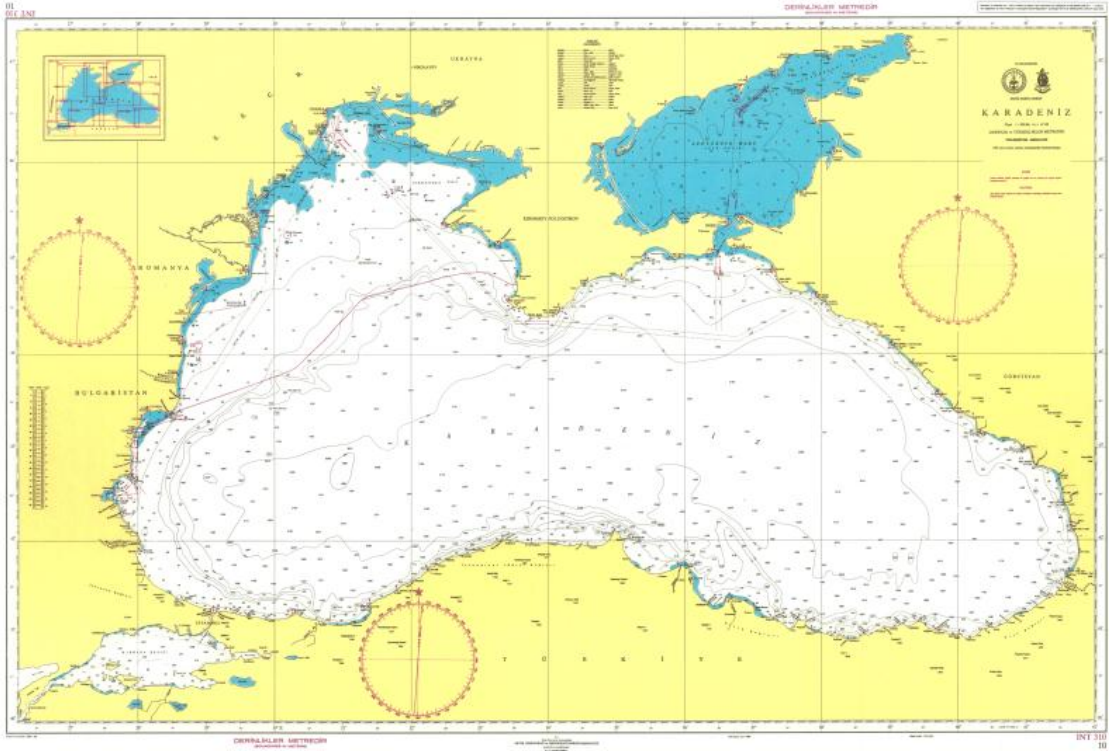
#### 2.1 Karadeniz'in Hidrodinamik Yapısı

Maksimum derinliği 2300m, yüzey alanı  $4.2 \times 10^5$  km<sup>2</sup> ve hacmi  $5.3 \times 10^5$  km<sup>3</sup> olan Karadeniz karalarla çevrili dünyanın en büyük baseni olma özelliğine sahip bir denizdir (Şekil 2.1). Sadece Türk Boğazlar Sisteminin olanak verdiği miktardaki su değişimi sonucunda suların dünya denizleriyle ilişkisinin hemen hemen bütünüyle kesilmiş olması sadece yüzeyden 150m derinliğe kadar oksijen içeren, daha derinlerde ise hidrojen sülfür bulunduran genellikle tamamen oksijensiz bir ortam oluşmasına yol açmıştır. Durağan bir haloklin (tuzluluk ara yüzeyi) tabakası oksijenli ve oksijensiz suları birbirinden ayırmaktadır [1].

Karadeniz'de en büyük derinliği yaklaşık 2300m civarındadır, ortalama derinlik ise 1240m' dir. Süreklilik gösteren bu düz kıta sahanlığının eni güneye doğru azalır ve derinliğin 100m'den birden 1500m'ye arttığı Sakarya kanyonunda aniden sonlanmaktadır [1].

Karalarla çevrili büyük, kapalı bir basen olma özelliğine sahip Karadeniz yüzey sularının karakteristiği, temelde tatlı su girdisi tarafından kontrol edilmektedir ve sığ İstanbul Boğazı boyunca gerçekleşen alış-veriş oldukça önem kazanmaktadır. Aynı

zamanda daha derin suların havalanması ve haloklinin yapısının gelişmesi gibi etkiler İstanbul Boğazı'ndan giren Akdeniz suları ile de yakından ilişkilendirilmektedir [1].



Şekil 2.1 Karadeniz konum ve derinlik (m) haritası [2]

Tatlısu kaynakları ile su girdisinin buharlaşma yolu ile olan su kaybindan daha yüksek olduğu Karadeniz, pozitif su dengesine sahiptir. Ünlüata ve diğ. (1990) tarafından [3] te yaptıkları çalışmada su dengesini yaklaşık: Yağış için  $\sim 300\text{km}^3/\text{yıl}$ , tatlı su girdisi için  $\sim 350\text{km}^3/\text{yıl}$  ve yüzeyden buharlaşma için  $\sim 350\text{km}^3/\text{yıl}$  olarak vermişlerdir.

Verilen tahmini değerler yıllık ortalamaları temsil etmelerine rağmen temelde, su ile ısı bütçelerinde klimatolojik değişimlerden kaynaklanan değişiklikler nedeni ile yüzey akıllarında belirsizliklere yol açmaktadır [1].

Karadeniz'e giren net tatlısu miktarı mevsimsel ve yıllık temelde büyük değişkenlik göstermektedir. Tuna, Dinyeper ve Dinyester nehirleri, Kırım ve Romanya arasındaki Kuzeybatı kıta sahanlığına boşalan en önemli akarsulardır.

### 2.1.1 Meteorolojik Koşullar

Karadeniz, komşu Avrupa ve Asya karasal bölgelerindeki mevsimsel hava basıncı dağılımlarından etkilenmektedir ve özellikle Ekim-Mart döneminde doğuya doğru hareket eden alçak basınç merkezleri etkisinde kalmaktadır.

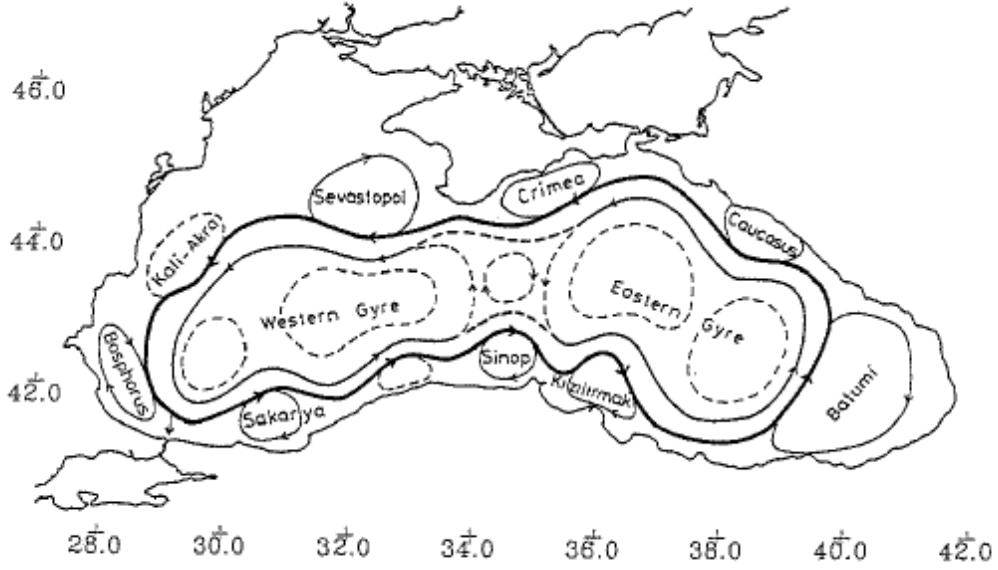
Karadeniz’de kış aylarındaki rüzgar koşulları değişkenlik göstermektedir. Hakim rüzgar yönü Batı Karadeniz’de Kuzey-Kuzeydoğu iken basenin doğusunda güneyden esen rüzgarlar hakim durumda olmaktadır. Kış mevsiminde ise güçlü rüzgarlar sıklıkla Kuzeybatıdan esmektedir.

Karadeniz üzerindeki hava sıcaklıklarının daha tek düze bir dağılım sergilediği yaz mevsimi ise genelde ılıman geçmektedir. Hava sıcaklığı Ekim ve Kasım aylarında aniden düşmektedir ve Ocak-Şubat aylarında en düşük seviyeye ulaşmaktadır. Kışın hava sıcaklığının Kuzey Güney yönündeki değişim hızı çok yüksek olmaktadır. Günlük ortalama sıcaklık, Güney Karadeniz’de yaklaşık 8°C değerine kadar düşebilirken özellikle Tuna Nehir ve Kırım Yarımadası arasındaki Kuzey bölgelerde sıfırın altına kadar inebilmektedir [1].

## **2.2 Karadeniz’in Akıntı Yapısı**

Yarı kapalı bir iç deniz özelliği gösteren Karadeniz’de üst tabaka kalınlığı mevsimsel olarak 10-15m mertebelerinde değişim göstermektedir. Yüzeyde sıcaklığın artmaya başladığı ilkbahar ve yaz aylarında mevsimlik termoklin oluşmaktadır ve bu tabakanın altında 8°C’den küçük Soğuk Ara Tabaka (SAT) yer almaktadır. Karadeniz’in su kolonunda derinliğe bağlı olarak tuzluluğun artması, sıcaklığın azalmasından dolayı kararlı bir yoğunluk tabakalaşması vardır. Bu tabakalaşmaya katkıda bulunan Akdeniz suyu, İstanbul Boğazı’ndan çıktıktan sonra SAT suyu ile karışarak sıcaklığı 14.5°C’den 8°C’ye, tuzluluğu 37psu den 22.8psu değerine düşer ve kıta yamacı boyunca batarak halokline ulaşır [4].

Karadenizin ana akıntı yapısı; Şekil 2.2’de görüldüğü gibi üst tabaka genel dolaşımın ana görünümünü; kesikli çizgiler ise genel dolaşımın yarı-sürekli yapılarını temsil edecek şekilde verilmiştir. Bu akıntı yapısının bölge topoğrafyasına da uygun davranacak şekilde ilerlediği bilinmektedir.



Şekil 2.2 Karadeniz genel sirkülasyonu [5]

Kuzey Batı Karadeniz’de kışın soğuyan suların batmasıyla oluşan soğuk ara tabaka, yüzey sularının sıcaklığının  $8^{\circ}\text{C}$ ’nin üzerine çıktığı aylarda sıcaklık düşey değişimlerinde gözlenebilir. Bu tabakanın üst ve alt sınırı  $8^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ile tanımlanmaktadır. Batı Karadeniz orta havzasında başlama ve bitiş derinlikleri yaklaşık 50-150m iken kıyılarda soğuk ara tabaka başlangıç derinliği 30m’ye kadar yükselmektedir [4].

İlkbahar sonu ile yaz aylarında üst tabakanın yüksek sıcaklıkta olmasından dolayı kuvvetli bir mevsimlik termoklin varlığı üst tabakadan SAT’ya ısı geçişini zorlaştırır ve bu tabaka belirli bir değişikliğe uğramaz. Ancak sonbaharda mevsimlik termoklinin zayıflamasıyla birlikte SAT’ya üst tabakadan ısı ve tuz taşınımı artar. Kışın ise mevsimlik termoklinin ortadan kalkmasıyla basenin orta kısımlarında düşey hareketlerle karışımın daha fazla olabileceği ifade edilmektedir [5].

SAT Karadeniz ana akıntısı tarafından taşınır ve bütün bir yıl boyunca kıyı sularında varlığını sürdürür. Bu taşınım sırasında kıyı suları ile basen içerisinde yoğunluk farklı akarsu girdilerinden kendini korur. Kıyıdan açığa yoğunluk değişimleri altındaki değişikliklere neden olur. SAT, havza etrafındaki hareketi esnasında, döngü alanları tarafından etkileşime girerek sürekli bir değişime uğrar. Soğuk ara su döngülerin içinde yukarı doğru çıkar ve merkezdeki sularla karışır. Özellikle Anadolu kıyılarında yaz aylarında ve sonbahar başında, kıyı akıntısının döngüler oluşturmasından dolayı soğuk ara tabakanın yüzeye kadar yükselmesi (upwelling) sık rastlanılan bir durumdur [1].



Batı Karadeniz'e giren Akdeniz suyu, sıcaklığı ve tuzluluğu ( $T > 12^{\circ}\text{C}$ ,  $S > 30$  psu) çevresindeki sulardan büyük değerlere sahiptir. Akdeniz suyu SAT ile etkileşerek kıta sahanlığındaki geçişi sırasında sıcaklığının azalmasına neden olur. Üst kıta yamacı bölgesinde (100-500m) Akdeniz suyu termoklin ve haloklin suları ile etkileşerek özelliklerini (tuzluluğunu ve sıcaklığını kaybederek) daha da değiştirir. Karadeniz'in üst 100 m'sindeki sular  $8^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa ve 20 psu tuzluluğa sahiptir [5]. Bu bölgede dipte gözlenen yüksek sıcaklık ve tuzluluğun da Akdeniz suyunun etkisi ile gelişmektedir.

### 2.3 Hidrodinamik Modelleme Araçları

Bu çalışmada karalarla çevrili kapalı büyük bir basen olma özelliğine sahip Karadeniz'in hidrodinamik yapısının modellenmesi için Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI) tarafından 2 boyutlu modelleme sistemlerin modellenmesi için geliştirilmiş Mike 21 Hidrodinamik modelleme yazılımı kullanılmıştır.

Modelleme sistemi oşinografik şartları, kıyı alanları ve nehir vb. su girdilerini en iyi benzeşim ile verebilecek şekilde geliştirilmiştir. Model, yoğunluk değişimleri, batimetri ve meteorolojik koşullar, gelgit değişimleri, akıntılar, dalga gerilme akısı ve diğer hidrografik şartlar gibi dış kuvvetleri dikkate alarak kararsız 2 boyutlu akımları benzeştirmektedir [6].

### 2.4 Mike 21 HD Hidrodinamik Modelleme Yazılımı

Mike 21 Flow Modeldeki Hidrodinamik modül (Mike 21 HD), koylarda, körfezlerde ve sahil bölgelerinde su seviyesi ve akım koşullarını benzeştirmek için kullanılan sayısal bir modelleme sistemidir. Hidrodinamik modül ile kararsız, iki boyutlu akımlar ve tek tabakalı (dikey yönde değişmeyen) akımları benzeştirmek mümkündür.

Aşağıda belirtilen ve düşeyde integre edilen kütle ve momentumun korunumu denklemleri, su seviyesi ve akım değişimlerini ifade etmektedir [7].

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\left. \begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) \\ & + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q \\ & - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

$$\left. \begin{aligned} & \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h^2} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ & + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_p \\ & - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial xy} (p_a) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

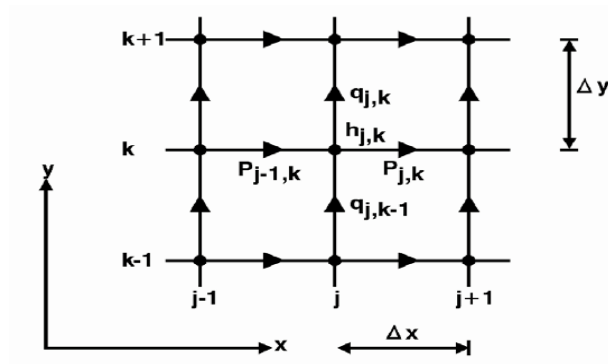
Denklemlerde kullanılan semboller aşağıda verilmektedir:

- $h(x,y,t)$  : su derinliği ( $h=\zeta-d$ , m)
- $d(x,y,t)$  : zamanla değişen su derinliği (m)
- $\zeta(x,y,t)$  : su yüzü kotu (m)
- $p, q(x,y,t)$  : x ve y yönlerindeki akılar ( $m^3/s/m$ )= $(uh, vh)$ ;  $(u,v)$ =x ve y yönlerindeki kesitsel ortalama hızlar
- $C(x,y)$  : Chezy katsayısı ( $m^{1/2}/s$ )
- $G$  : yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )
- $f(V)$  : rüzgâr sürtünme faktörü
- $V, V_x, V_y(x,y,t)$  : x ve y yönlerindeki rüzgar hızı ve bileşenleri (m/s)
- $\Omega(x,y)$  : enleme göre Coriolis parametresi ( $s^{-1}$ )
- $p_a(x,y,t)$  : atmosfer basıncı ( $kg/m/s^2$ )
- $\rho_w$  : suyun yoğunluğu ( $kg/m^3$ )
- $x,y$  : uzamsal koordinatlar (m)
- $t$  : zaman (s)
- $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$  : efektif gerilme bileşenleri

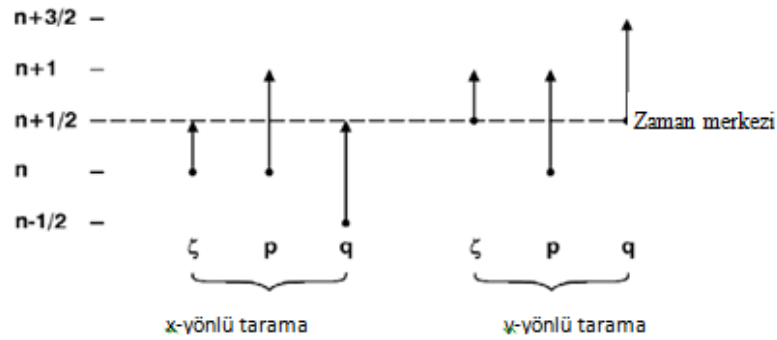
### 2.4.1 Sayısal Analiz

Hidrodinamik modül, Alternatif Doğrultu Metodu (Alternating Direction Implicit, ADI) olarak bilinen; konum ve zamana bağlı kütle ve momentumun korunumu denklemlerini integre ederek oluşturulan tekniği kullanır.

Her bir yön ve her bir hesap ağı boyunca meydana gelen denklem matrisleri çift tarama (Double Sweep) yöntemi ile çözümlenir. Şekil 2.3’de gösterildiği gibi farklı terimler x,y-düzleminde şaşırtmalı bir ağı sistemi üzerinde ifade edilmektedir. Hidrodinamik modül ile, su seviyesi ve x ve y doğrultularındaki akı miktarlarının zaman eksenli hesap akışı Şekil 2.4’deki şema ile kısaca özetlenebilir [7].



Şekil 2.3 Hesap ağı [7]



Şekil 2.4 Zamansal ortalama [7]

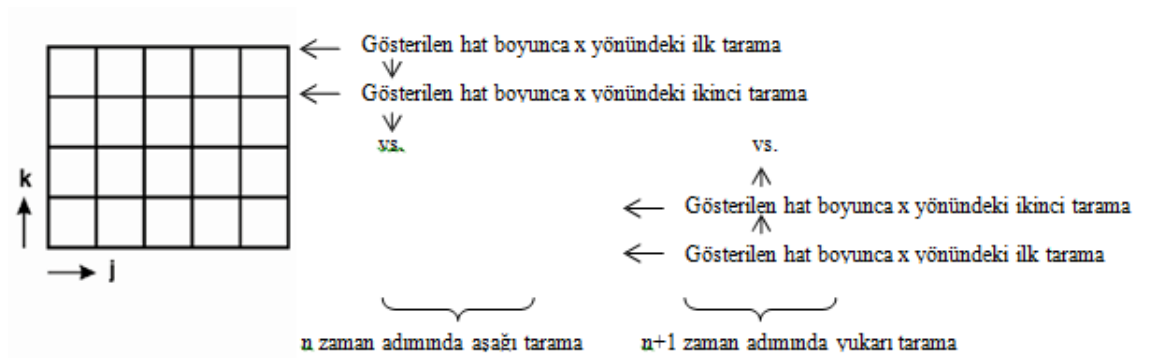
Denklemler x ve y doğrultularında değişen bir boyutlu taramalar şeklinde çözümlenir. “x” doğrultulu tarama ile süreklilik ve x yönündeki momentum denklemleri çözümlenir, su seviyesi n zaman seviyesinden  $n+1/2$  zaman seviyesine, p akı miktarı n zaman seviyesinden  $n+1$  zaman seviyesine taşınır. q akı miktarını içeren terimler için, önceden bilinen  $n-1/2$  ve  $n+1/2$  zaman seviyelerindeki değerler kullanılır.

“y” doğrultulu tarama ile süreklilik ve y yönlü momentum denklemleri çözümlenir, su seviyesi  $n+1/2$  zaman seviyesinden  $n+1$  zaman seviyesine, q akısı  $n+1/2$  zaman

seviyesinden  $n+\frac{3}{2}$  zaman seviyesine taşınır.  $p$  akısını içeren terimler için, henüz  $x$  doğrultusunda yapılan taramada hesaplanmış  $n$  ve  $n+1$  zaman seviyelerindeki değerler kullanılır [7].

İki doğrultuda yapılan tarama sonuçlarının birbirine eklenmesi  $n+\frac{1}{2}$  zaman seviyesinde “ideal” zamansal ortalama değerini vermektedir. Momentum denklemindeki kısmi türevlerin kusursuz zamansal ortalamalarının alınması mümkün olmayacağı için ideal kelimesi tırnak işaretleri içerisine konulmuştur. İterasyona başvurmaksızın yapılacak en iyi yaklaşım ise “yan besleme” tekniği olarak bilinmektedir.

Bir zaman adımında  $x$  yönlü tarama ile elde edilen çözümler azalan  $y$  doğrultulu sırada elde edilir. Bu işlem “Aşağı” tarama olarak adlandırılmaktadır. Bir sonraki zaman adımında elde edilen çözümler ise artan  $y$  doğrultulu sırada elde edilir. Bu da “Yukarı” tarama olarak anılmaktadır [6].



Şekil 2.5 Yan besleme [7]

“Aşağı” tarama esnasında kısmi türev  $\partial p/\partial y$ , üst kısımda  $p_{j,k+1}^{n+1}$  şeklinde, alt kısımda ise  $p_{j,k-1}^n$  şeklinde ifade edilebilir; “Yukarı” tarama esnasında ise tam tersi bir durum söz konusudur. Bu şekilde  $n+\frac{1}{2}$  zaman seviyesinde kısmi türev  $\partial p/\partial y$  için yaklaşık bir zamansal ortalama kabaca sağlanabilir ancak oluşabilecek bazı salınımların varlığı göz ardı edilemez.

Sonuç olarak, diferansiyeller üzerinde hakim katsayıların kusursuz zamansal ortalamalarına ulaşmanın mümkün olmayacağını da bilinmelidir [7].

Ardışık ağ noktaları için bir boyutlu tarama ile ifade edilen kütle ve momentum denklemleri, bizleri üç diyagonelli bir matrise götürmektedir.

$$MV^{n+1} = W^n \quad (2.4)$$

$$\left. \begin{aligned} A_j \cdot p_{j-1}^{n+1} + B_j \cdot \zeta_j^{n+1/2} + C_j \cdot p_j^{n+1} &= D_j^* \Big|_k \\ A_j^* \cdot \zeta_j^{n+1/2} + B_j^* \cdot p_j^{n+1} + C_j^* \cdot \zeta_j^{n+1/2} &= D_j^* \Big|_k \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Burada A, B, C, D ve A\*, B\*, C\*, D\* katsayılarının tümü bilinmeyen nicelikler şeklinde ifade edilir. Ayrıca burada, p' nin q ve j' nin de k gibi sayılabileceğini söylemekte yarar vardır.

O halde (2.4) denklemi çok iyi bilinen Çift Tarama algoritması ile çözümlenebilmektedir. Algoritma geliştirildiğinde şöyle bir ilişkinin varlığından söz edilebilir [7].

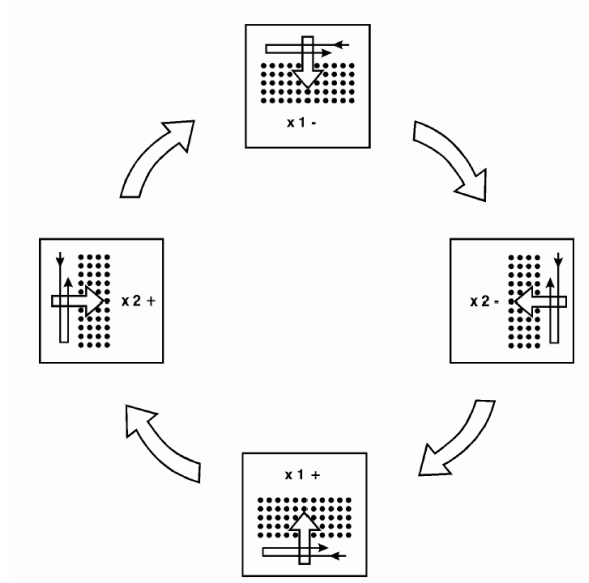
$$\left. \begin{aligned} p_j^{n+1} &= E_j^* \cdot \zeta_j^{n+1/2} + F_j^* \\ \zeta_j^{n+1/2} &= E_j \cdot p_j^{n+1} + F_{j+1} \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Bu eşitlikler (2.5) denklem çiftinde yerine koyulduğunda E, F, E\* ve F\* katsayıları için tekerrür ilişkisine ulaşıldığı görülmektedir.

EJ, FJ veya E\*J+1, F\*J+1 değer çiftleri bir kez bilindiğinde, tüm E, F ve E\*, F\* katsayıları, azalan j için hesaplanabilmektedir. (2.5) denklem çiftlerinden herhangi biri içerisine sağ-taraf sınır koşulunu sağlayarak, E, F taraması için tekerrür hesabı başlatılmaktadır. (2.6) denklem çiftinde sol-taraf sınır koşulunu sağlayarak ise, içerisinde N ve q'nun hesaplandığı algoritmik tarama başlatılmaktadır [7].

$$\left. \begin{aligned} E_j^* &= \frac{-A_j^*}{B_j^* + C_j^* \cdot E_j} \\ F_j^* &= \frac{D_j^* - C_j^* \cdot F_j}{B_j^* + C_j^* \cdot E_j} \\ E_{j-1} &= \frac{-A_j}{B_j + C_j \cdot E_j^*} \\ F_{j-1} &= \frac{D_j - C_j \cdot F_j^*}{B_j + C_j \cdot E_j^*} \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

Daha önceden ele alındığı gibi, taramalar, artan veya azalan bir koordinat sisteminde yürütülebilir. Bu durum Şekil 2.6 ile gösterilen döngüde düzenlenmiştir.



Şekil 2.6 Tarama sırasına göre hesap döngüsü [6]

$$CFL_{HD} = \left( \sqrt{gh} + |u| \right) \frac{\Delta t}{\Delta X} + \left( \sqrt{gh} + |y| \right) \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad (2.8)$$

Burada;

$h$  : toplam su derinliği

$u, v$  :  $-x$  ile  $-y$  yönündeki hız bileşenleri

$g$  : yerçekimi ivmesi

$\Delta t$  : zaman adımı

Taşıma denklemleri kartezyan koordinatta CFL sayısı ise denklem (2.9)'da verilmiştir.

$$CFL_{AD} = |u| \frac{\Delta t}{\Delta X} + |v| \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad (2.9)$$

## 2.4.2 Kıyıdan Uzaktaki Bir Nokta İçin Diferansiyel Yaklaşımlar

### ‘X’ Yönlü Kütle Denklemi

Kütle denge denklemi olarak yazılan (2.1) denklem takımı  $x$  yönü için Taylor serisine açılırsa; sırasıyla; Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de verilen hesap ağı ve zaman dilimleri gereği, (2.1) denklemi (2.8)’e dönüşür [7].

$$\left. \begin{aligned}
& 2 \cdot \left( \frac{\zeta^{n+1/2} - \zeta^n}{\Delta t} \right)_{j,k} + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left( \frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^{n+1} + \left( \frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^n \right\}_k \\
& + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left( \frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n+1/2} + \left( \frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^n \right\}_j = 2 \cdot \left( \frac{d^{n+1/2} + d^n}{\Delta t} \right)_{j,k}
\end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

### “Y” Yönlü Kütle Denklemi

(2.1) ile verilen denklem takımı y yönü için Taylor serisine açıldığında ise;

$$\left. \begin{aligned}
& 2 \cdot \left( \frac{\zeta^{n+1} - \zeta^{n+1/2}}{\Delta t} \right)_{j,k} + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left( \frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^{n+1} + \left( \frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^n \right\}_k \\
& + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left( \frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n+1/2} + \left( \frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^n \right\}_j = 2 \cdot \left( \frac{d^{n+1} + d^{n+1/2}}{\Delta t} \right)_{j,k}
\end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Sırasıyla; Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de verilen hesap ağı ve zaman dilimleri gereği, (2.1) denklemi (2.10)’da verilen denklem sistemine dönüşür.

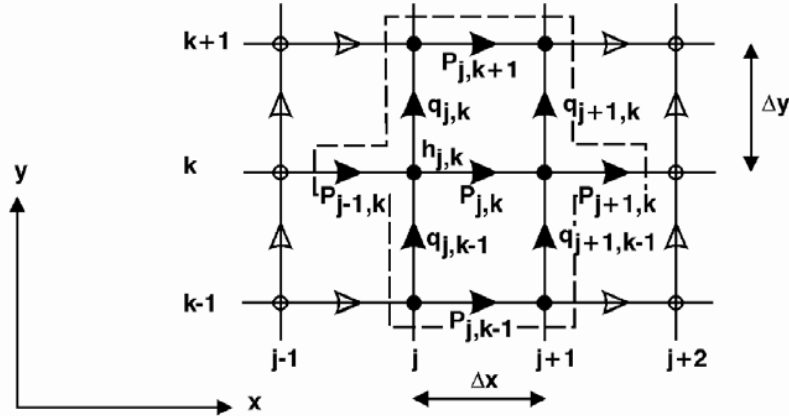
Her bir taramanın tamamlanmasının ardından su derinliği, yüzey kotu ve batimetriye göre kesin değerler için güncelleştirilir. Böylece x yönlü tarama sonrasında  $h^{n+1/2} = \zeta^{n+1/2} - d^{n+1/2}$  ve y yönlü tarama sonrasında  $h^{n+1} = \zeta^{n+1} - d^{n+1}$  eşitliklerine ulaşılır. Ancak, Taylor serisine açılımdan ötürü kaynaklanan genel kesme hataları, benzeşim modeli sonuçlarının ölçülmüş değerlere göre kabul edilebilir bir sapma ile farklılık göstermesine neden olur [7].

### “X” Yönlü Momentum Denklemleri

Denklemlerinde, “y” yönündeki momentum denklemi “x” yönündeki momentum denklemine benzer olduğu için x yönü esas alınarak momentum denkleminin x yönündeki bileşeni;

$$\left. \begin{aligned}
& \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\
& + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q \\
& - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0
\end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

eşitliğini çözerek akım deseni (akıntı yönü ve hızı gibi) üzerinde meydana gelen değişimleri araştırmaktadır.



Şekil 2.7 Hesap ağı notasyonu, x yönündeki momentum denklemi [6]

(2.12) takımını oluşturan diferansiyel bileşenler tek tek incelendiğinde aşağıdaki bilgilere ulaşmak mümkün olmaktadır.

### Zamana Bağlı Terim

Denklem (2.12)'de verilen ilk terim zamana bağlı bir terimdir. Bu terime sonlu farklar yaklaşımı, Şekil 2.5 ve Şekil 2.7'de verilen hesap ağı ve zaman dilimleri gereği, (2.13)'deki gibi uygulanmaktadır.

$$\frac{\partial p}{\partial t} \approx \left[ \frac{p^{n+1} + p^n}{\Delta t} \right]_{j,k} - \frac{\Delta t^2}{24} \times \frac{\partial^3 p}{\partial t^3} + \text{HOT (Higher order terms)} \quad (2.13)$$

(2.12) içerisindeki yüksek mertebeli terimler (HOT) ihmal edilir. Standart hidrodinamik benzeşim modelleri için eşitliğin sağ tarafındaki birinci terim yeterli olmakla beraber ilgili problemin tipine göre yüksek doğruluk gerektiren çözümlerde, ikinci teriminde çözüm şemasına dahil edilmesi gerekli görülmektedir [7].

### Yerçekimi Terimi

Yer çekimi terimine bağlı yaklaşım, (2.14) ve (2.15)'deki gibidir.

$$gh\zeta_x = g \left( \frac{h_{j,k} - h_{j+1,k}}{2} \right)^n \cdot \left( \frac{\zeta_{j+1,k} - \zeta_{j,k}}{\Delta x} \right)^{n+1/2} \quad (2.14)$$

Burada FDS, (2.14) denkleminin sağ tarafıdır.

$$gh\zeta_x = \text{FDS} + g \left[ \frac{\Delta t}{2} \zeta_x \zeta_t - \frac{\Delta t^2}{8} \zeta_{tt} \zeta_x - \frac{\Delta x^2}{8} \zeta_{xx} \zeta_x - \frac{\Delta x^2}{24} h \zeta_{xx} \right] + \text{HOT} \quad (2.15)$$



(2.15) içerisindeki yüksek mertebeli terimler (HOT) ihmal edilir. Standart hidrodinamik benzeşim modelleri için eşitliğin sağ tarafındaki birinci terim yeterlidir. Ancak ilgili problemin tipine göre yüksek doğruluk gerektiren çözümlerde, ikinci teriminde çözüm şemasına dahil edilmesi gerekli görülmektedir [7].

### ***Konvektif ve Kısmi Momentum Düzeltme Terimleri***

Gel-git hareketi mertebesinde zamana bağlı değişimlerde, düzeltme terimleri son derece küçük olmaktadır. Bundan dolayı söz konusu terimlerin temel çözüme belirgin derecede katkıda bulunmayacağı belirtilmektedir [7].

$$\frac{\partial}{\partial} \left[ \frac{pp}{h} \right] + \frac{\partial}{\partial xy} \left[ \frac{qp}{h} \right] \quad (2.16)$$

### ***Taban Direnci Terimi***

Taban sürtünmesi Chezy formülü ile temsil edilir.

$$\frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2h^2} \quad (2.17)$$

Chezy sayısı (C), Manning sayısından (M) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C=M \times h^{*1/6} \quad (2.18)$$

### ***Momentum Yayılım Katsayısı (Eddy Vizkozitesi) Terimi***

Pürüzlü batimetri ve kıvrımlı kıyı alanlarından geçen akımların yapısında meydana gelen düzensizlikler, aşağıda belirtilen momentum yayılım katsayısı terimi ile hesaplara dahil edilir.

$$\frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] \quad (2.19)$$

### ***Coriolis Kuvveti Terimi***

Dünyanın dönmesinden kaynaklanan ve rüzgarın hareket yönü üzerinde etkili coriolis kuvveti, aşağıdaki terim ile hesaplara dahil edilir. Hareket yönü üzerindeki sapma miktarı, rüzgarın hızı ve bulunduğu enlemlerle yakından ilişkilidir [7].

$$\Omega q \quad (2.20)$$

### ***Rüzgar Sürtünmesi Terimi***

Rüzgar sürtünmesi terimi (2.21) denklemini çözümler. Buradaki tüm değişkenler her hesap noktası için ayrı ayrı değerlendirilmelidir [7].

$$f(v) \times V \times V_x \quad (2.21)$$

Buradaki tüm değişkenler her hesap noktasında bilinirler.

### ***Atmosfer Basıncı Terimi***

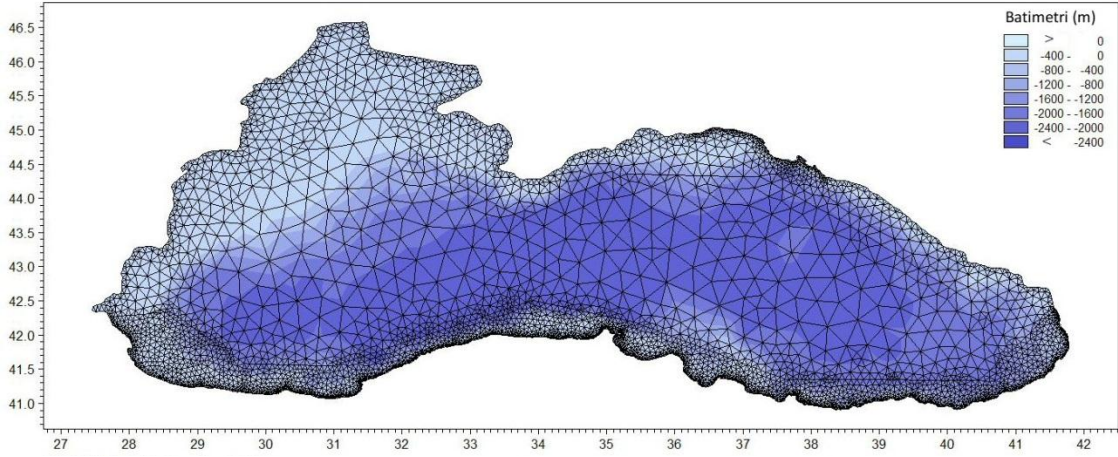
Atmosfer basıncına bağlı değişimler (2.22) denklemleri ile hesaplara dahil edilir.

$$\frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) \quad (2.22)$$

## **2.5 Karadeniz Hidrodinamik Modeli**

Seçilen alana ait hidrodinamik modelin kurulumu aşamasında kullanılacak batimetrik veriler; Türkiye Cumhuriyeti Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Seyir Hidrografi ve Oşinorafi Daire Başkanlığı (SHODB)'ndan alınan seyir haritalarının sayısallaştırılması ile oluşturulmuştur.

Karadeniz'e ait oluşturulan hidrodinamik modelin başarılı bir biçimde benzeştirilebilmesi amacı ile bölgeye ait batimetri girdilerinin en doğru şekilde temsil edecek olan en yüksek çözünürlüklü hesap ağı, SHODB'dan alınan en güncel veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada DHI Mike Zero Flexible Mesh Generator yazılımı kullanılarak elde edilen çok sayıda farklı yapılandırılmamış hesap ağları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu farklı hesap ağları gerekli yerlerde inceltirilerek, sonuçların doğruluğunun sağlanması ve modelin çalışma süresi arasında belli bir optimizasyonun elde edilmesi için denenmiştir. Denenen hesap ağları arasından seçilen hesap ağı model alanını üçgen elemanlara bölecek şekilde 5864 adet düğüm noktası ve 10056 elemandan oluşturulmuştur (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Karadeniz sayısal hesap ağı

Model elimizdeki veriler doğrultusunda bölgenin gerçekçi bir benzeşimini oluşturacak biçimde 01.01.1989 ile 24.12.2008 tarihleri arasında yaklaşık 10 yıllık bir dönemi kapsayacak şekilde kurulmuştur.

Avrupa Orta Vadeli Tahminler Merkezi (European Center For Medium Range Weather Forecasts, ECMWF) 34 ülke tarafından desteklenen hükümetler arası bağımsız bir kuruluştur. Bu kuruluş Avrupa başta olmak üzere birçok ülkenin meteoroloji birimlerinin bağlı olduğu ve veri alış verişi yaptığı en önemli meteoroloji merkezidir. Bu çalışmada  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  çözünürlükte, 1989 ile 2008 yılları arasında ECMWF'den alınan rüzgar verilerinin yatay ve düşeydeki hız bileşenleri ile basınç verileri kullanılmıştır. Buna göre hidrolik modelleme sisteminde, modeli besleyen bazı parametreler (örneğin; rüzgar verileri, batimetri bilgileri vb) arazi çalışmaları sonucunda elde edilen ölçümlerden alınarak modele girdi dosyası olarak işlenmiştir. Fakat bazı model parametrelerini (örneğin; eddy viskozitesi, rüzgâr sürtünme katsayısı ve taban sürtünmesi gibi) arazi çalışmalarından elde etmek mümkün değildir. Bu durumlarda belirsiz parametreler, literatürde sahip oldukları değer aralıkları dikkate alınarak modele uygulanmıştır.

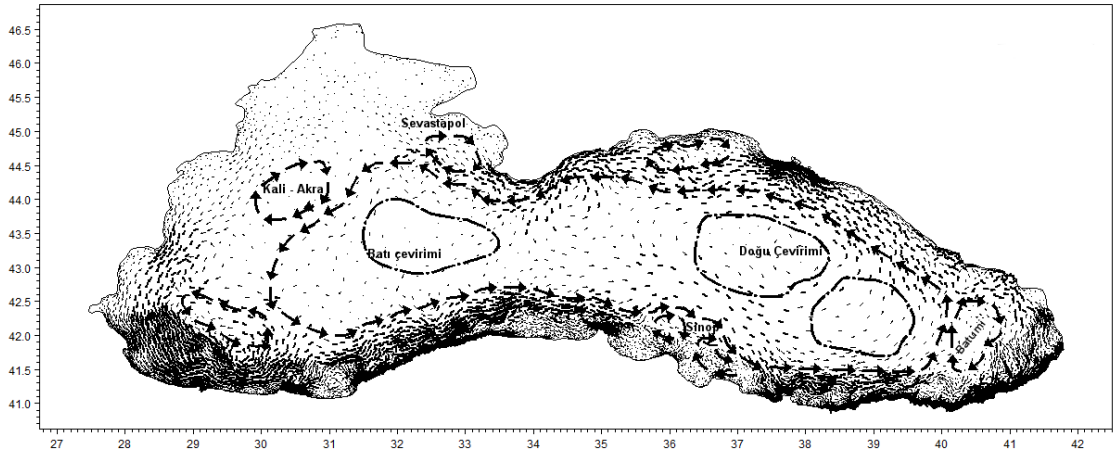
Hidrolik model seçilerek sıg su ve taşınım denklemleri için zaman adımı minimum 0.01s ve maksimum 600s arasında kritik CFL sayısı 0.8'den küçük olacak şekilde değişken seçilmiştir. Suyun özgül ağırlığı sıcaklık ve tuzluluğa bağlı bir değişken olarak değil barotropik olarak alınmıştır.

Yatayda eddy viskozitesi için Smagorinsky yaklaşımı seçilerek Smagorinsky sabiti olarak  $0.28 \text{ m}^2/\text{s}$  tanımlanmıştır. Eddy parametreleri olarak minimum eddy viskozitesi  $1.8e^{-006}$  maksimum eddy viskozitesi ise  $10^{10} \text{ m}^2/\text{s}$  seçilmiştir.

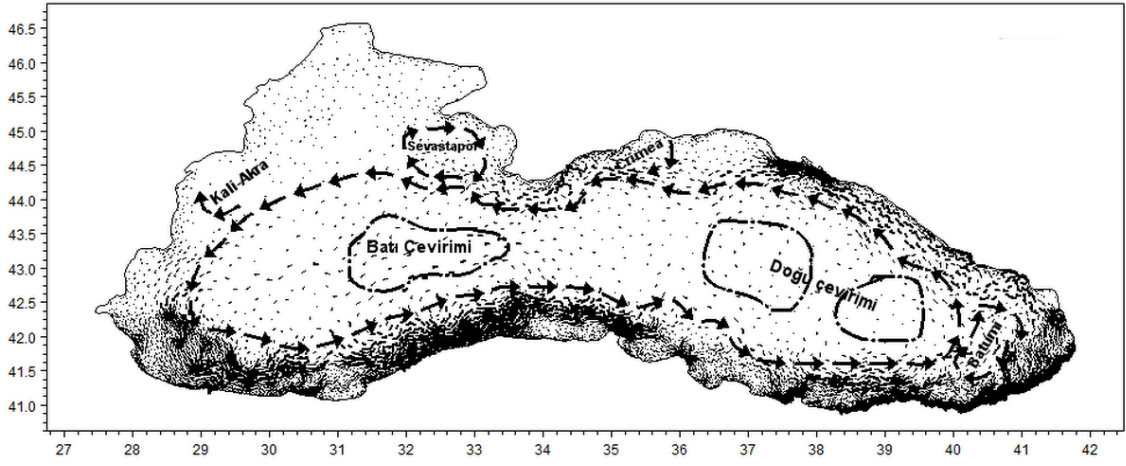
İki boyutlu oluşturulan benzeşimlerde taban direnci ihmal edilecek veya Manning ile Chezy sayılarına bağlı olacak şekilde belirlenmektedir. Modelde Manning sayısına bağlı olacak şekilde seçilen sabit değer  $20-40m^{1/3}/s$  arasında önerilen değer olarak  $32m^{1/3}/s$  alınmıştır. Coriolis etkisi ise hesap ağı üzerinde jeolojik özelliklere göre değişiklik gösterecek biçimde etkin olarak seçilmiştir.

## 2.6 Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi

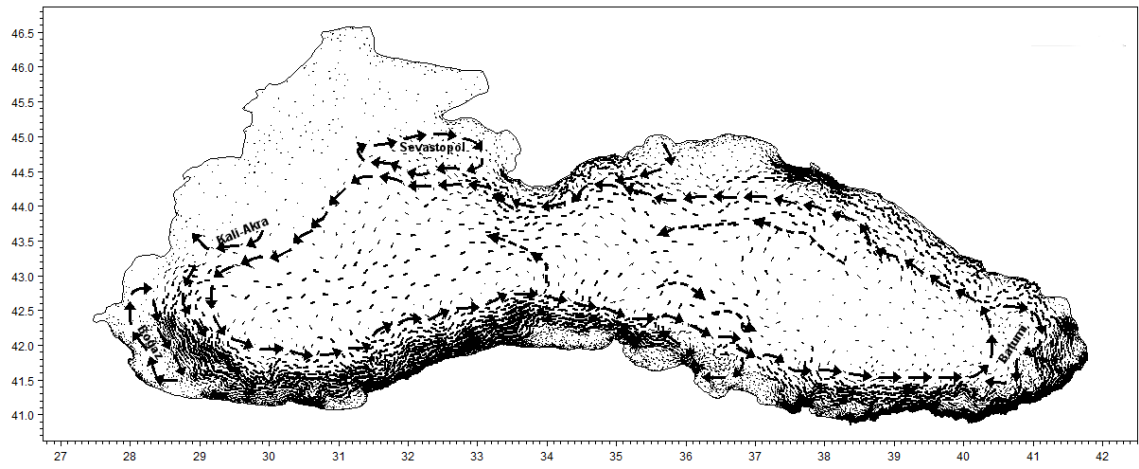
Elde edilen model çıktı dosyalarında bölgeye ait akıntı yapıları modelin koşturulduğu 01.01.1989 ile 24.12.2008 tarihleri arasında rüzgar ve atmosferik basınç alanı ile birlikte dikkate alınarak yaratacakları akıntı yapısı belirlenmiştir. Model sonuç verileri yatay ve düşey eksen derece cinsinden koordinatları gösterecek biçimde Şekil 2.9'dan Şekil 2.18'e kadar verilmiştir. Akıntı yapılarının denge koşuluna ulaştığı durumlar göz önüne alınarak yorumlanmıştır. Buna göre model çıktılarında görülen yüzey akıntı hızları ve yönlerinin daha önce Şekil 2.2'de literatürdeki sonuçlara dayalı olarak verilen Karadeniz'in genel sirkülasyon yapısı ile uyumlu olduğu görülmüştür. Karadenizde sıcaklık ve yoğunluk değişimlerine bağlı genel akıntı yapısı incelendiğinde literatürde de bahsedildiği gibi ana sirkülasyon saat akrebinin tersi yönünde meydana gelmektedir. Bu yapı kıyıdan gelen yüzey suları ve Boğazdan gelen Akdeniz suyu ile girişimde bulunarak daha küçük ölçekte sirkülasyonlar oluşturmaktadır.



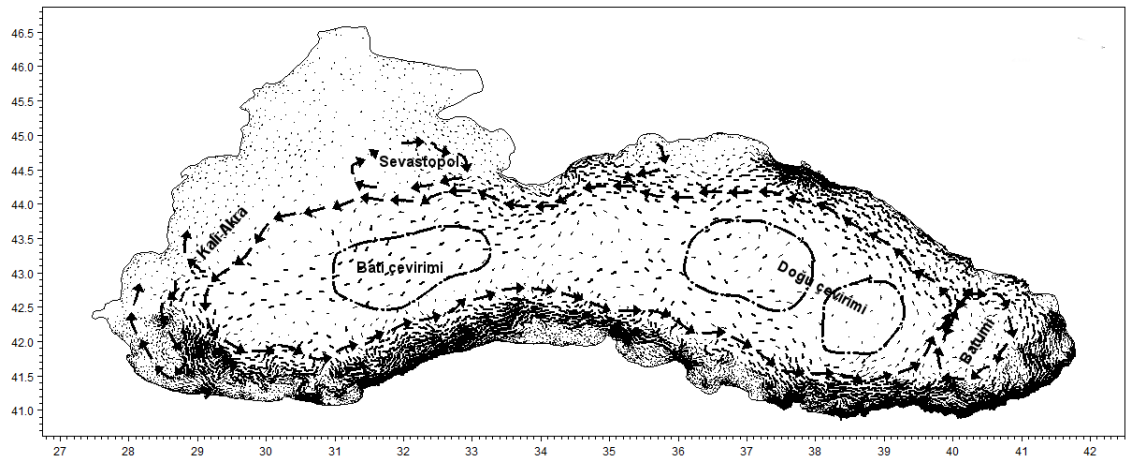
Şekil 2.9 Anlık modelin akıntı yapısı (25.12.1998)



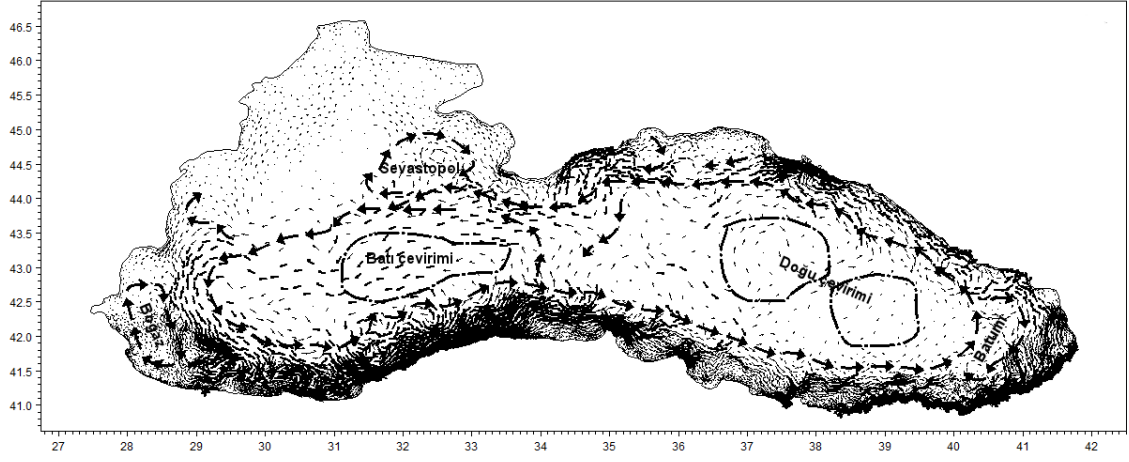
Şekil 2.10 Anlık modelin akıntı yapısı (08.10.1999)



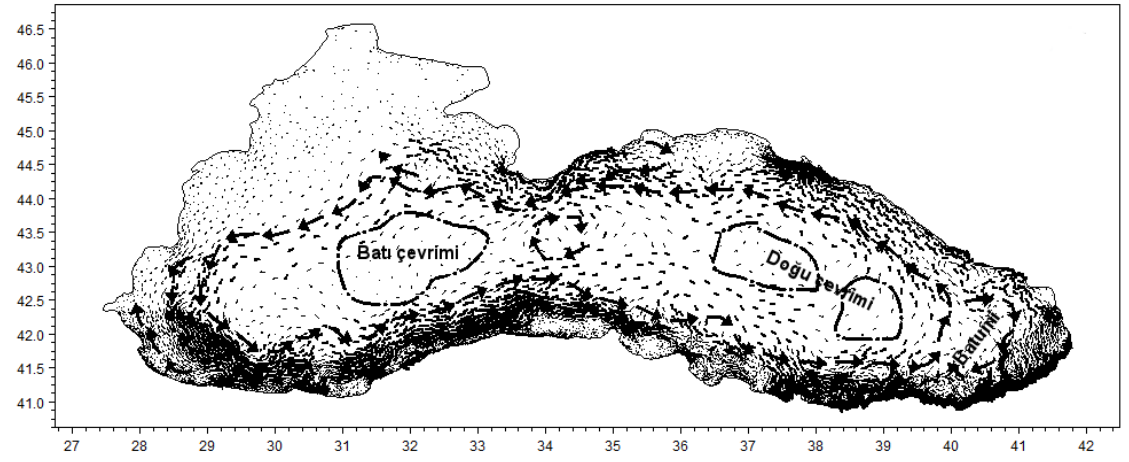
Şekil 2.11 Anlık modelin akıntı yapısı (07.11.2000)



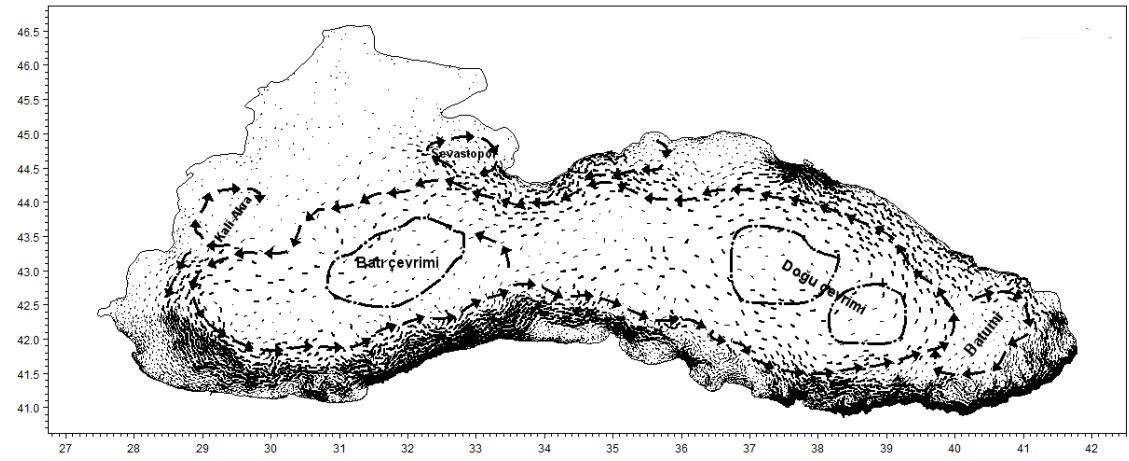
Şekil 2.12 Anlık modelin akıntı yapısı (29.12.2001)



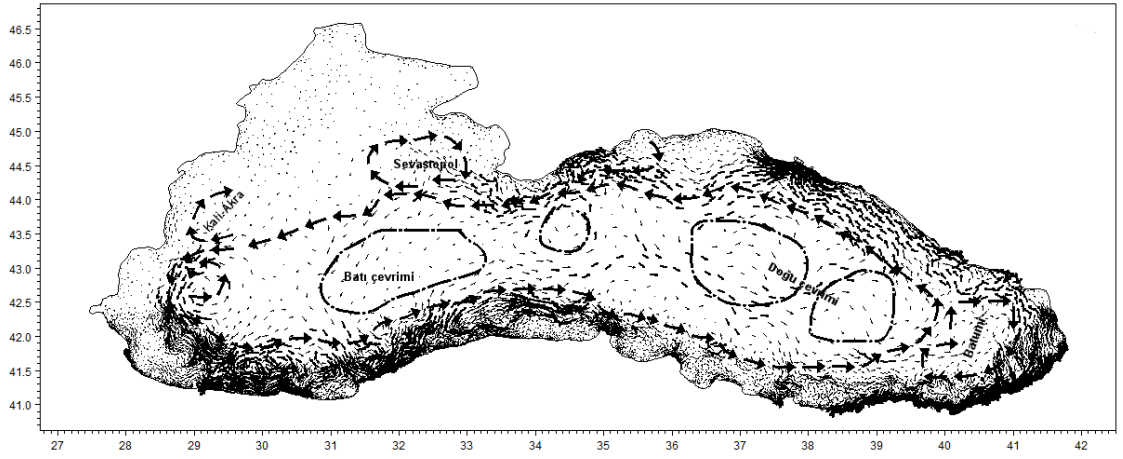
Şekil 2.13 Anlık modelin akıntı yapısı (07.12.2003)



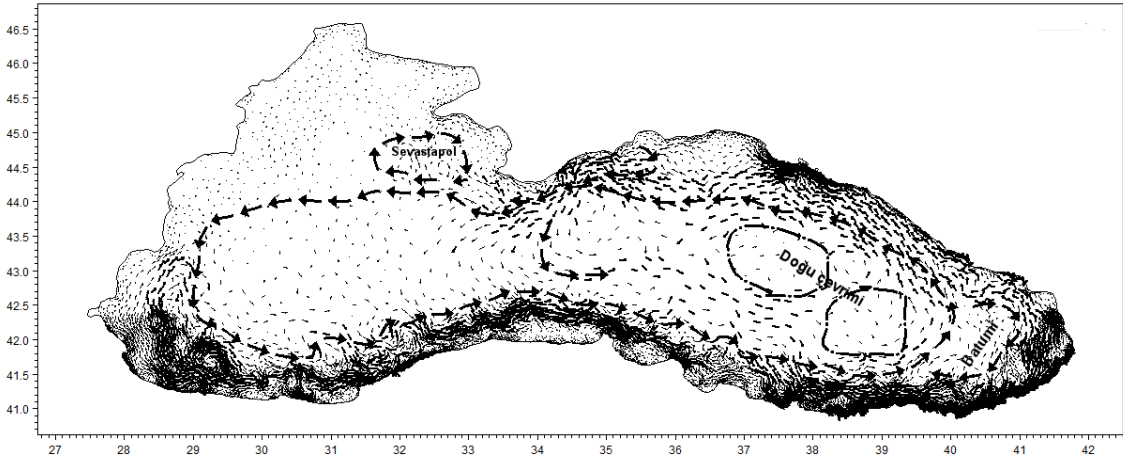
Şekil 2.14 Anlık modelin akıntı yapısı (23.08.2005)



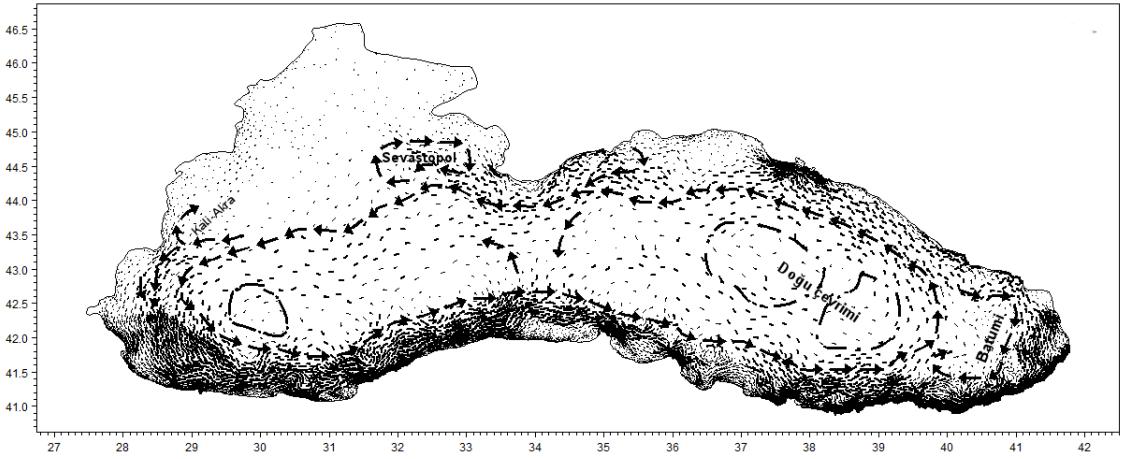
Şekil 2.15 Anlık modelin akıntı yapısı (10.11.2005)



Şekil 2.16 Anlık modelin akıntı yapısı (25.11.2006)



Şekil 2.17 Anlık modelin akıntı yapısı (05.12.2007)



Şekil 2.18 Anlık modelin akıntı yapısı (30.12.2008)

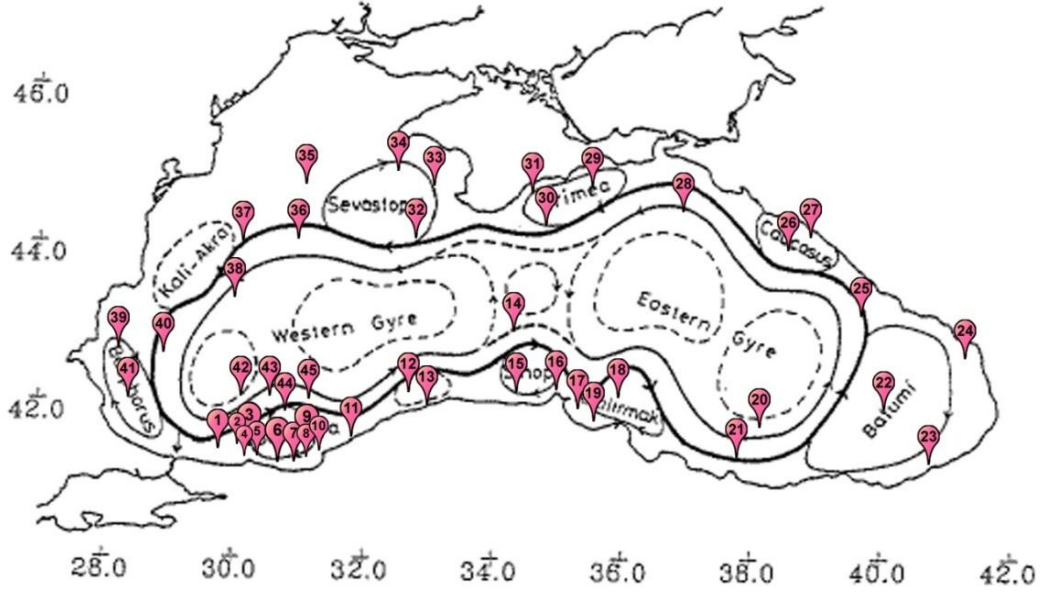


Model çıktısından elde edilen anlık akıntı yapısının yanısıra kıyı alanında belirgin konumlarda elde edilen akıntı gllerinin (Şekil 2.21, Şekil 2.22 ve Şekil 2.23)' de Karadeniz'in genel sirkülasyon yapısı ile uyumlu olduğu görülmüştür. Şekil 2.19 ve Şekil 2.20'de konumları verilen akıntı gülleri özellikle Karadenizin akıntı iklimini genel olarak tanımlamak amacıyla sayısal modelden elde edilmiştirdir. Akıntı gllerinin konumlarını tanımlayan koordinatlar ve derinlikler izelge 2.1'de verilmiştirdir. Akıntı gülleri özellikle Karasu kıyı alanında daha sık elde edilmiştirdir. Karasu kıta sahanlığı sınırı ve açıklarındaki dalga gülleri Karadenizin ana sirkülasyonunu tanımlamakla beraber bu bölge saat akrebi doğrultusunda sirkülasyonu yaratan kıyı boyu akıntılarıyla etkileşen akıntı iklimini de göstermektedir.



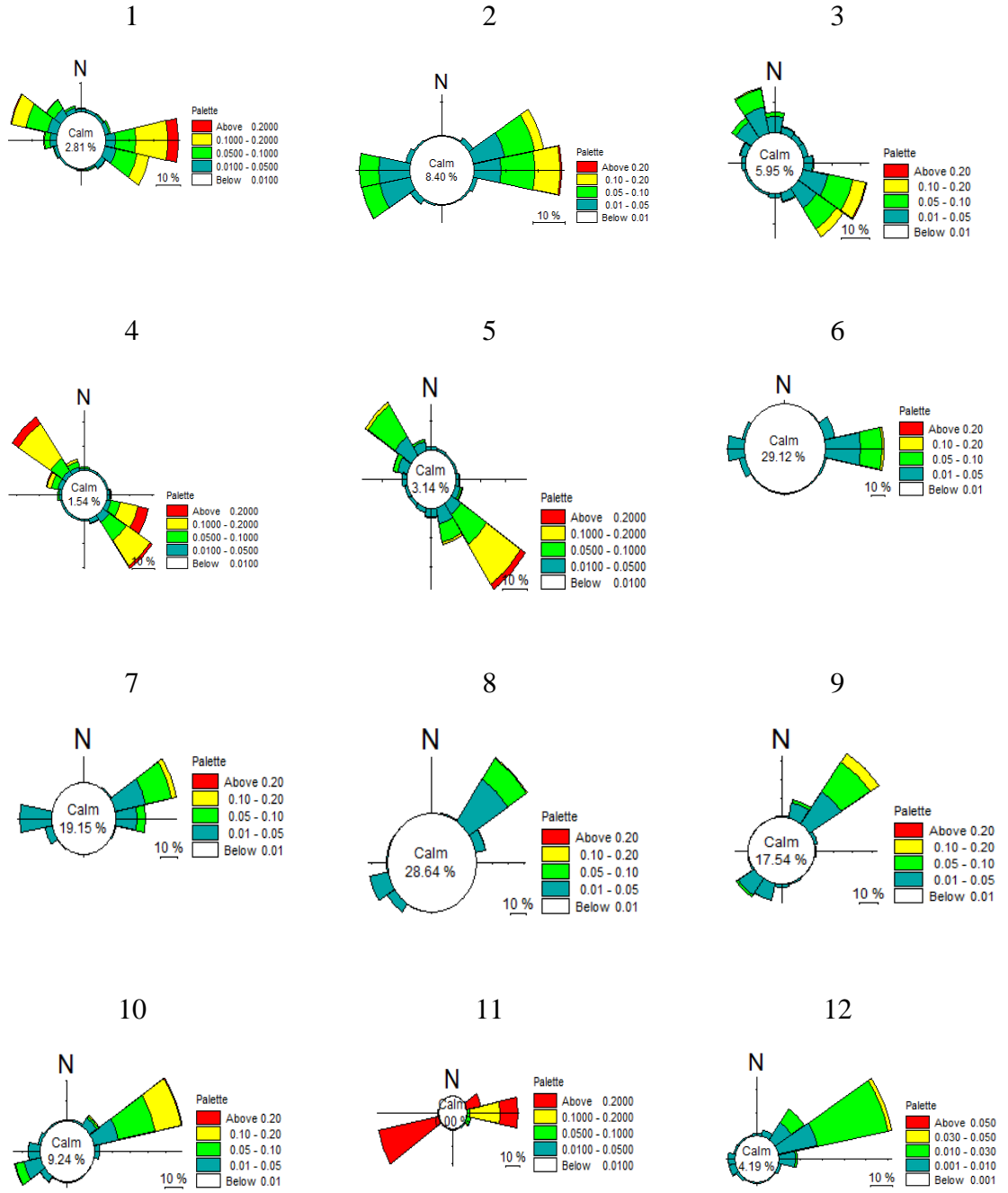


Şekil 2.19 Akıntı güllerinin çıkartılması için belirlenen noktalar (Google Earth, 2012)

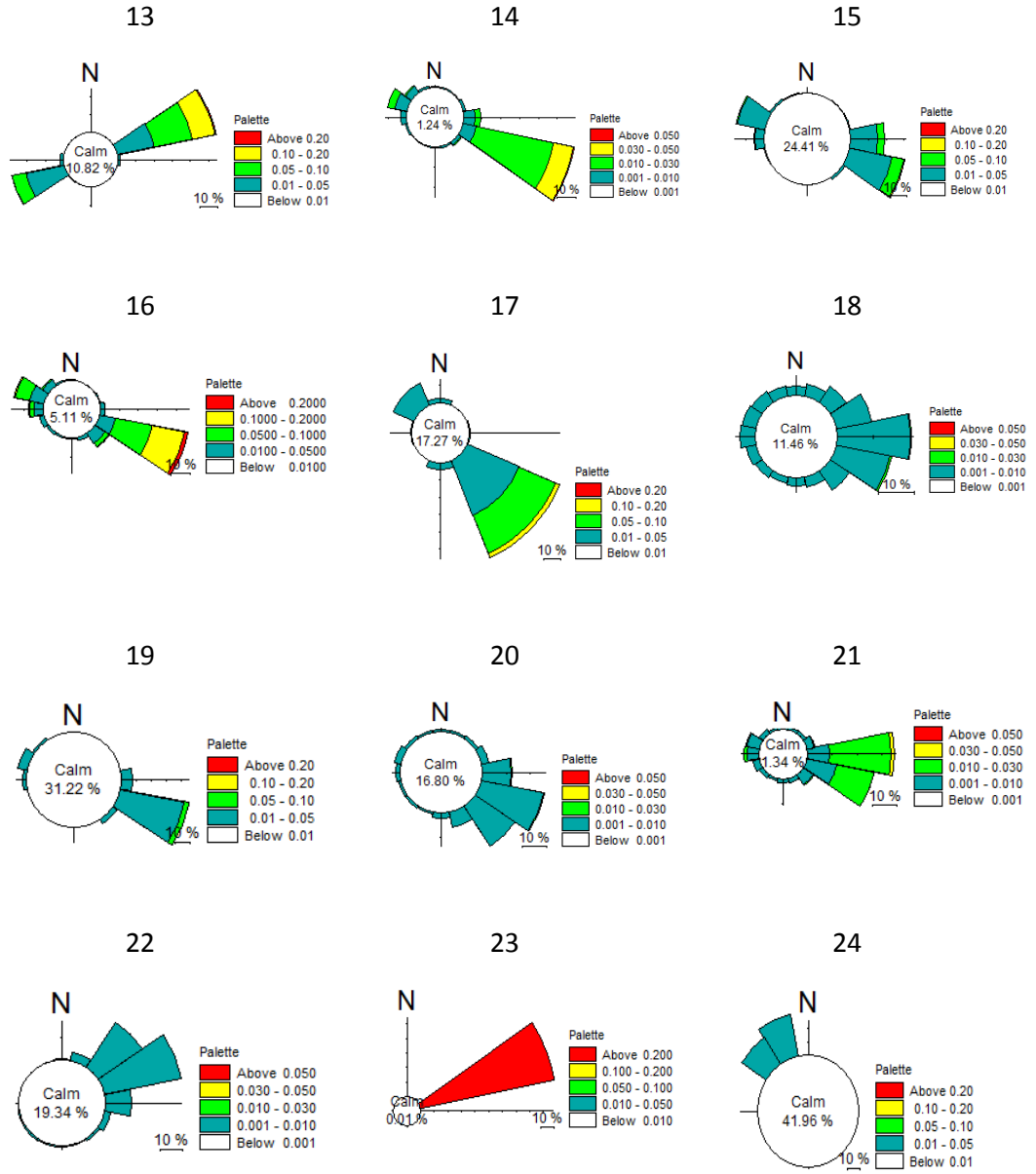


Şekil 2.20 Belirlenen noktaların Karadeniz sirkülasyon görüntüsüne işlenmesi

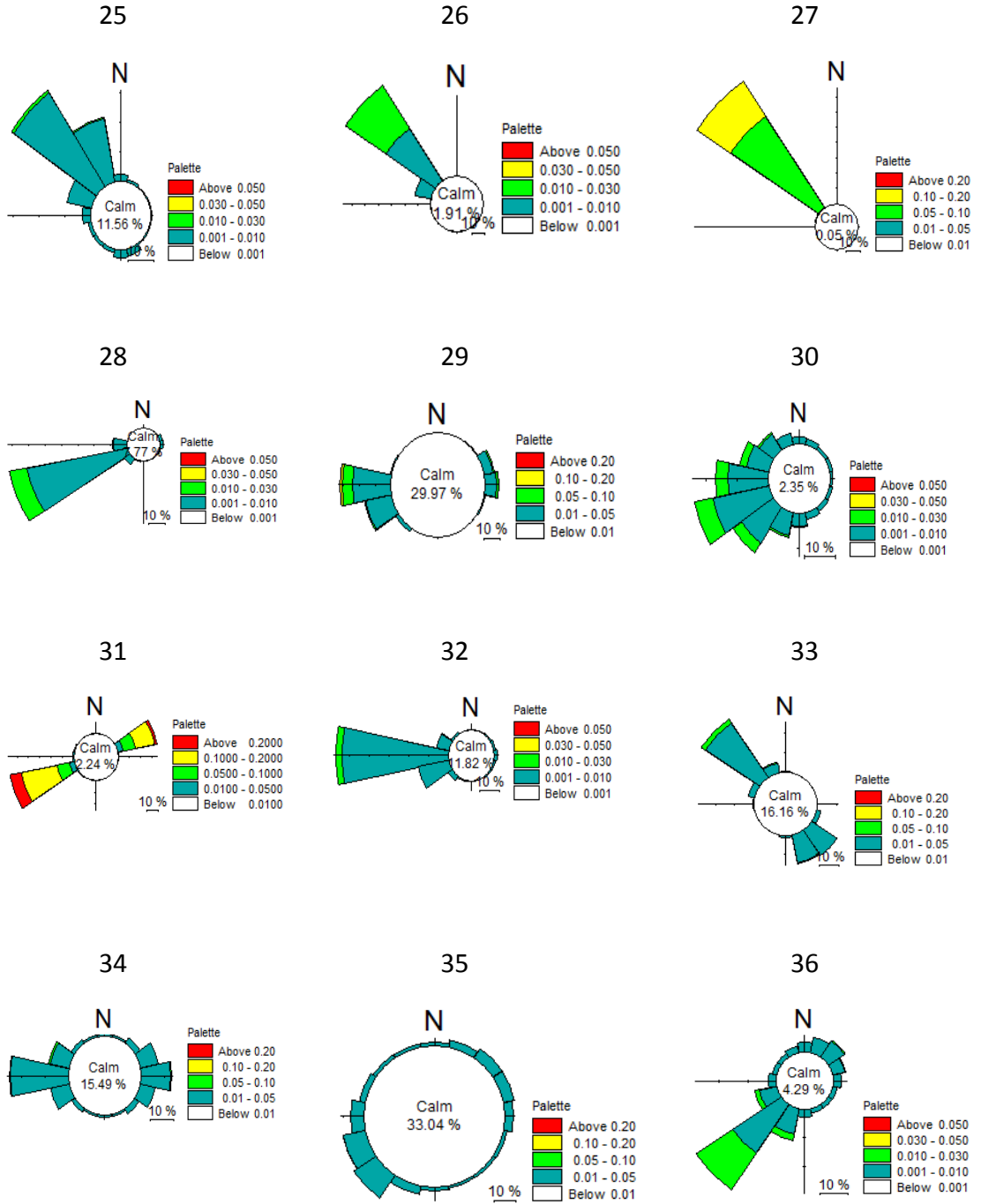
Karasu kıyı alanında mevsimsel olarak değişen debi girişine neden olan Sakarya nehri ile dalgaların sebep olduğu kıyı boyu akıntıları sirkülasyonun etki alanında ve girişimlerinde yıl boyunca değişimlere neden olmaktadır.



Şekil 2.21 Sırasıyla 1 ile 12. Noktalar arasında elde edilen akıntı gülleri



Şekil 2.22 13 ile 24. Noktalar arasından elde edilen akıntı gülleri



Şekil 2.23 25 ile 36. Noktalar arasından elde edilen akıntı gülleri

Çizelge 2.1 Akıntı güllerinin çıkartılması için belirlenen noktalara ait veriler

Nokta	Koordinatlar		Derinlik (m)	Nokta	Koordinatlar		Derinlik (m)
	Boylam (°)	Enlem (°)			Boylam (°)	Enlem (°)	
1	29.931	41.306	-100	24	41.327	42.607	-100
2	30.258	41.364	-100	25	39.690	42.990	-1550
3	30.370	41.340	-100	26	38.600	43.850	-1550
4	30.370	41.250	-65	27	38.967	43.998	-100
5	30.459	41.277	-100	28	36.987	44.380	-1700
6	30.920	41.187	-100	29	35.583	44.711	-100
7	31.108	41.200	-100	30	34.856	44.215	-2000
8	31.256	41.264	-100	31	34.645	44.630	-100
9	31.323	41.316	-100	32	32.85	44.050	-1500
10	31.390	41.354	-100	33	33.104	44.710	-100
11	31.940	41.550	-100	34	32.540	44.890	-100
12	32.800	42.130	-2000	35	31.104	44.694	-100
13	33.069	41.976	-100	36	31.020	44.000	-600
14	34.360	42.290	-1270	37	30.146	43.950	-100
15	29.931	41.306	-100	38	30.069	43.240	-1000
16	35.000	42.136	-100	39	28.279	42.562	-100
17	35.320	41.940	-100	40	29.000	42.490	-1900
18	35.930	42.070	-1000	41	28.490	41.885	-100
19	35.558	41.782	-100	42	30.245	41.998	-2000
20	38.045	41.637	-2000	43	30.749	42.016	-2000
21	37.680	41.273	-1300	44	30.890	41.850	-2000
22	39.960	41.850	-1900	45	31.286	42.000	-2000
23	40.620	41.075	-100				

### SAKARYA HAVZASI VE KARASU KIYI ALANI

Karasu kıyı alanında akıntı ve katı madde kaynağı olan Sakarya nehri kıyı alanının kontrol eden en önemli hidrodinamik etkidir. Bu alana ait Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ)'den alınan iki farklı Akarsu gözlem istasyonunununa (AGİ) ait debi ve katı madde taşınım verilerini sağlıklı bir şekilde değerlendirerek çalışma alanı hakkında bilgi edinilebilmesi ve havza ile nehre ait özelliklerin bilinmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle Havza ve kıyı alanının genel durumu ile EİEİ'den alınan verilerinin istatistiksel değerlendirilmesi bu bölüm kapsamında verilmiştir.

#### 3.1 Sakarya Havzası

Türkiye 25 hidrolojik havzaya bölünmüş olup bu havzalardan toplam ortalama yıllık akış 186 milyar m<sup>3</sup>'tür [9]. Topoğrafik yapıya göre oluşturulan 25 hidrolojik su havzası Şekil 3.1 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Türkiye Nehir Havzaları Haritası [9]

Türkiye'nin önemli akarsu havzalarından biri olan Sakarya Havzası; Kızılırmak, Batı Karadeniz, Marmara, Susurluk, Gediz, Akarçay ve Konya Havzaları ile çevrilidir. Uzun eksenini batı-doğu doğrultusunda olacak şekilde bir dikdörtgeni andıran havzanın görünümü Şekil 3.2'de verilmiştir.



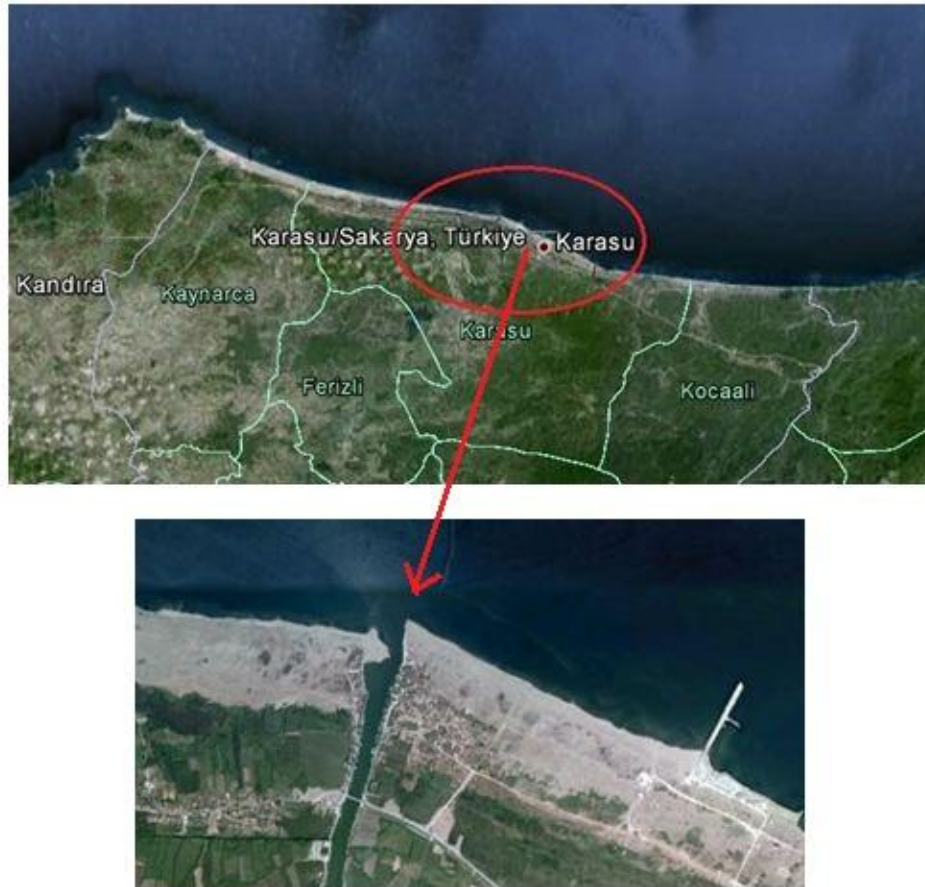
Şekil 3.2 Sakarya Havzası'nın genel görünümü [10]

Sakarya Havzasının önemli su kaynağı Sakarya Nehri olup drenaj alanı 58.200km<sup>2</sup>, toplam uzunluğu 824 km'dir. Sakarya Havzası büyüklüğü itibari ile üç bölüme ayrılmaktadır. Havzanın ilk bölümünde Yukarı Sakarya Bölgesi yer almaktadır. Bu bölge içerisinde Sakarya Nehri, Çifteler Sakaryabaşı kaynaklarından doğup sırası ile Seydi Suyu, Bardakçı Suyu, Sarı Su, Çardaközü Deresi, Gökpınar Kaynakları Deresi ve Ilıcaözü Deresi'ni almaktadır. Havza sahası İç Anadolu iklim karakterindedir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Havzanın ikinci bölümünü Orta Sakarya Bölgesi oluşturmaktadır. Porsuk Havzası'nın bittiği yerden başlar, Sakarya'nın Geyve ilçesinde son bulur. Bu bölümde Sakarya Nehrine sırasıyla Porsuk Çayı, Ankara Çayı, Çatak Çayı, Göksu Deresi, Papaz Deresi, Aksu Nehri ve Karaçay Deresi katılır. Bu havza sahası Eskişehir ve Bilecik illeri ile Ankara ilinin küçük bir kısmını içine alır. Havzanın üçüncü ve son bölümü ise Aşağı Sakarya Bölgesi olarak tanımlanmıştır. Orta Sakarya Havzasının bitiş yerinden başlar ve Karadeniz'de son bulur. Bu bölümde Sakarya Nehri sırasıyla Kayalar Çayı, Kanlı Çay, Dinsiz Suyu, Mudurnu Çayı, Çark Suyu, Darıçayır Deresini alır. Havza sahası içinde Adapazarı, ilçeleri ve Bolu'nun Mudurnu ilçesi yer almaktadır [10].



### 3.2 Karasu Kıyı Alanı

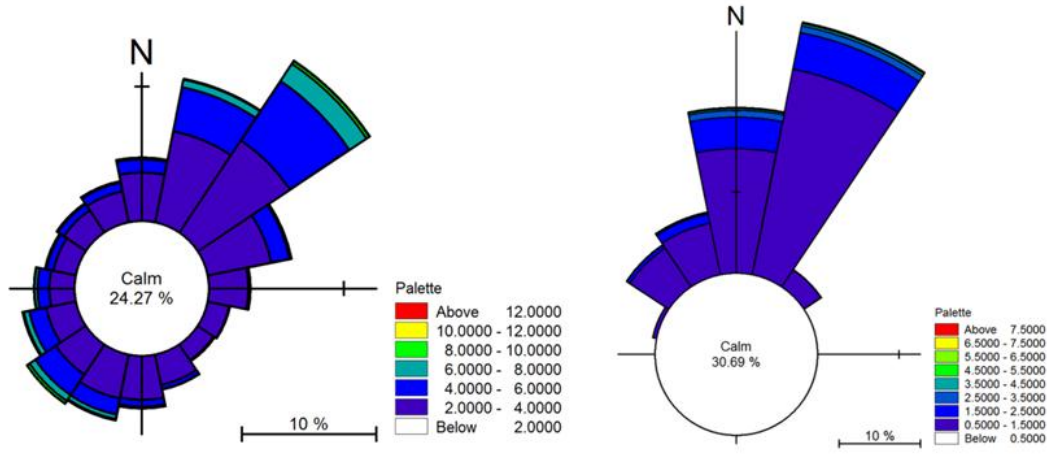
Çalışma bölgesi olan Sakarya ili Karasu ilçesi binlerce yılda oluşan bir kıyı alanına sahiptir. Karasu kıyı alanı; batı Karadeniz bölgesinde Sakarya Nehri ağzının batısında 30km, doğusunda ise 25km'lik plaj alanına sahip, Batı Karadeniz Bölgesi'nin nadir kumsal plajlarından biridir (Şekil 3.3). Bu bölgeden denize dökülen Sakarya Nehri ve Melen Çayı gibi akarsulardan gelen katı madde, kıyının en önemli beslenme malzemesi olup hayati önem taşımaktadır. Bu değerli malzemenin dalga ve akıntılar yardımıyla kıyıda taşınmasıyla doğal plaj alanları ve gerisinde kumul alanları oluşmuştur.



Şekil 3.3 Karasu kıyı alanı

Yüksel, 2010 [11] 'da yaptığı çalışmada Karasu kıyı alanı na ait rüzgar ve dalga iklimini Şekil 3.4' te verilen rüzgar ve dalga gülleri ile göstermiştir.





Şekil 3.4 Karasu kıyısı alanında etkili rüzgar ve dalga gülü [11]

Bu kıyı alanı alanı üzerinde etkin rüzgar Şekil 3.52' de görüldüğü gibi NE (poyraz)' dir. Karasu kıyısı kıyı çizgisi WNW ile ESE arasında uzanmaktadır. Buna göre Karasu kıyısı alanının konumu NNE doğrultusuna diktir (Şekil 3.5) ve etkili rüzgarlar kıyıya dik gelmektedir.



Şekil 3.5 Karasu kıyısı çizgisinin durumu (Google Earth, 2010)

Yüksel Y., [11]'a göre dalga alanı kıyısı alanında önemli ölçüde kıyıya dik kum taşınımına neden olmaktadır ve katı madde (kum) taşınımları kıyı boyu taşınım açısından aktif bir kıyı olduğunu göstermektedir. Ancak taşınımında her iki yönde (yani doğu-batı ve batı-doğu) etkili oldu böylece toplam katı maddenin daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır. Buna karşın uzun dönemde Batıdan Doğu'ya doğru kısmen daha fazla net taşınım olduğunda hesaplamalarda bulunmuştur [11]. Bu durum Sakarya ağzında oluşan kum birikimlerinden ve kıyının morfolojik yapısından da anlaşılmaktadır.

Bölgeden denize dökülen Sakarya nehri ve Melen çayı gibi akarsular taşıdıkları katı madde ile kıyı alanı için oldukça büyük öneme sahiptir. Çünkü akarsular ile taşınan katı

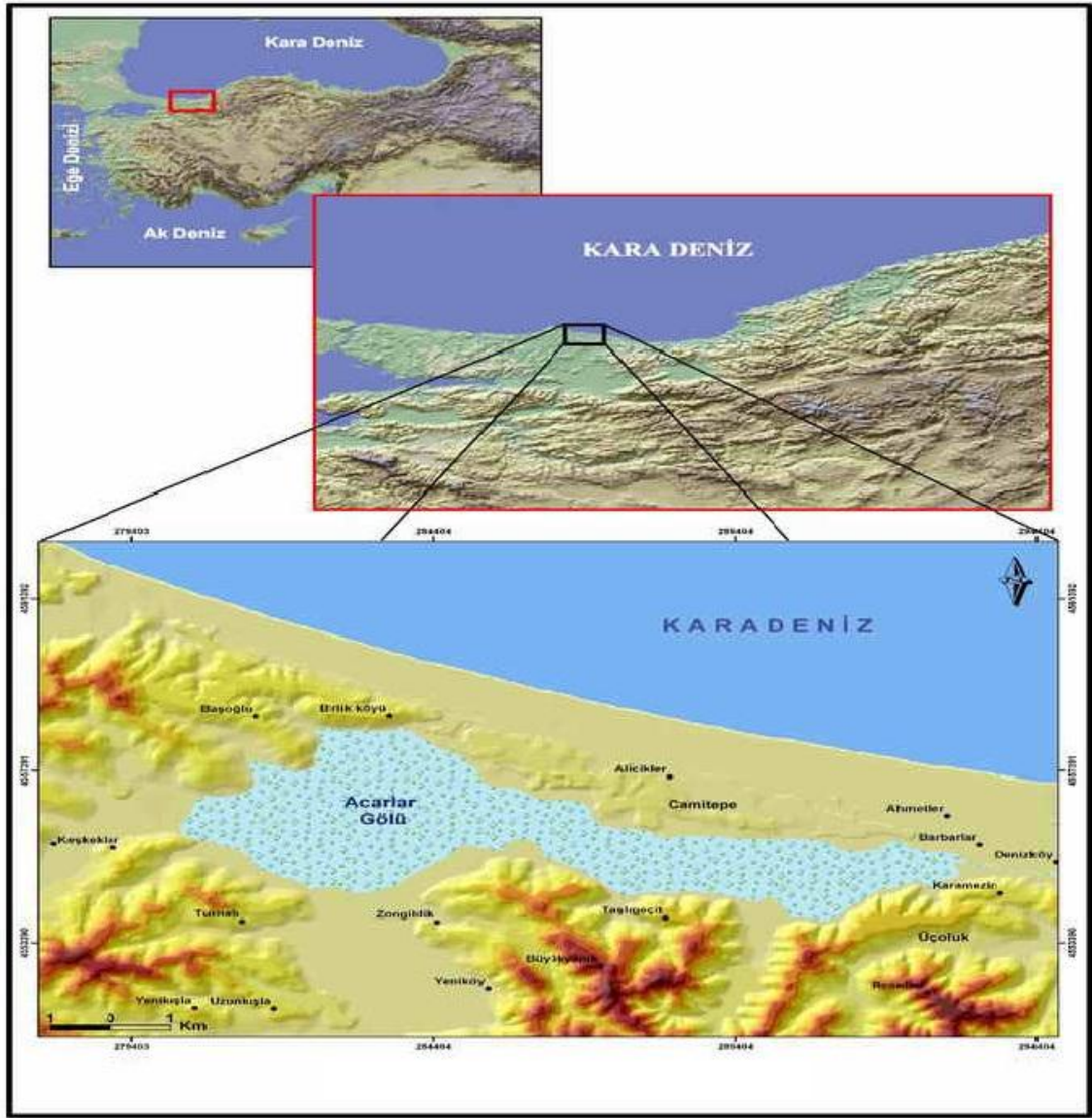
maddeler dalga ve akıntı etkisiyle doğal plaj alanları ile bu alanların gerisinde oluşacak kumul alanları üzerinde etkin rol oynamaktadır.

Sakarya nehrinin Karadeniz'e taşıdığı katı madde miktarlarının yıllık değişiminin istatistiksel değerlendirmeleri Bölüm 3.3.2 verilmiştir. Bu katı madde taşınımı dalga yapısı ile kıyı alanı morfolojisini büyük ölçüde etkilemektedir.

### **3.2.1 Acarlar Longozu ve Karasu Kumulları**

Sakarya nehrinin hemen batısında yer alan Acarlar longozu Türkiye'nin tek parça halindeki en büyük longozudur.

Marmara bölgesinin kuzeydoğusunda, Sakarya ili sınırları içinde, Karasu ve Kaynarca ilçeleri arasındaki bu Longoz; Karadeniz'in kıyı çizgisinden ortalama 1.5km içeride ve kıyıya paralel uzanmaktadır. Longoz sahası, yaklaşık 7.5km uzunluğunda en dar kesimi 250m, en geniş kesimi ise yaklaşık 1250m'yi kapsacak şekilde konumlanmıştır. Gölün alanı yaklaşık 23.200km<sup>2</sup>, derinliği ise yazın yaklaşık 1m'ye kadar düşerken, kışın ancak 5m'ye kadar çıkabilmektedir [11]. Gölün konumu Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6 Acarlar gölünün konumu [12]

Bu longoz suyunu Sakarya nehrine getiren yan kollardan almakta ve yine doğudan Sakarya nehrine bir çıkışa sahiptir. Göl içerisinde nadir bir ekosistem mevcuttur. Yani diğer adıyla bir su basman orman niteliğini taşımaktadır. Göl içerisinde orman yani Longoz kıyından kumullar ile ayrılmaktadır. Yani kıyı morfolojisi dengesinin bozulması ile başlayacak süreçte plaj erozyonu ve onu koruyan kumulların ortadan kalkması durumunda longoz çok kısa sürede ortadan kalkacaktır [11]. Dolayısıyla bölgedeki kıyı morfolojisini şekillendiren kumulların önemi oldukça büyüktür.



1998 yılında Bursa Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu tarafından 1.Derçe Doğal (Tabii) Sit alanı olarak ilan edilmiştir. Acarlar Gölü çevresinde Karadeniz iklimine bağlı olarak gür bir bitki örtüsü bulunmasına rağmen iç kesimlere, Acarlar gölünün çevresine ve daha çok güney kıyılarına gittikçe insan tahribine bağlı olarak, doğal bitki örtüsü azalmaya ve yer yer ortadan kalkmaya başlamış ve yerini çalı topluluklarına, tarım alanlarına bırakmıştır.

Saha coğrafi konumuna bağlı olarak Avrupa-Sibirya flora bölgesinin Öksit alt flora bölgesine dahildir. Öksit bölgesine ait türlerden dişbudak (*Fraxinus ornus*), kızılgağaç (*Alnus*), kızılıçık (*Cornus*), gürgen (*Carpinus betulus*-*Carpinus orientalis*), fındık (*Corylus*), akçaağaç (*Acer platanoides*-*Acer campestre*), üvez (*Sorbus torminalis*) ve kayın (*Fagus orientalis*) sahada kaşımıza çıkmaktadır (Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9).



Şekil 3.7 Karasu ilçe merkezinin batısında Acarlar Longozu [13]

Aynı zamanda sahada Küresel Ölçekte Tehlike Altında iki takson (*Centurea kilaea* ve *Galanthus plicatus* ssp. *byzantinus*) yer alır. Sulakalan bitki örtüsü ise Türkiye’de en fazla üç yerde kayıtlı olduğu bilinen iki nadir bitki türünü, *Hottonia plaustris* ve *Nymphoides peltata* içerir.





Şekil 3.8 Acarlar Longozu'nun kıyısında kavakların görünümü [13]



Şekil 3.9 Ağırlıklı olarak dişbudak ve kızılağaçlardan oluşan Acarlar Longozu'nun sınırındaki kavaklıklar ve tarlaların görünümü [13]

Göl ortamı oldukça yoğun bir bitki örtüsü tarafından kaplanmış sulak-bataklık özelliği ile longoz karakterine sahip bulunmaktadır.



Sahada su ortamlarına uyum sağlamış bazı bitkilerde yer almaktadır. Bunlar su küpesi (*Circea lutetiana*), su menekşesi (*Hottonia palustris*), göl soğanı (*Leucojum aestivum*), sarı nilüfer (*Nuphar luteus*), su gülü (*Nymphaea alba*), su keneviri (*Bidens tripartita*) ve *Thelypteris palustris*'dir. Sahada orman altında yer alan önemli su bitkilerinden su menekşesinin (*Hottonia palustris*) Türkiye'de önemli yayılış alanlarından birisi bu sahadadır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Acarlar Longozu [14]

Acarlar gölü ile kıyı arasında kumul dizileri uzanmaktadır. Kıyıda daha yeni kumul alanları üzerinde zambak (*Lilium*), süyleğen türleri (*Euphorbia*), peygamber çiçeği (*Centaurea*), katırtırnağı (*Spertium junceum*) ve kum sazı (*Ammophila arenaria*) bulunmaktadır. Gölün kuzey kıyılarında 3-4m'yi aşmayan ve yabancı bir çalı türü olan böğürtlenler (*Rubus*) yer almaktadır.

Acarlar Gölünün avifaunası çok çeşitlidir. Balıkçıl türlerinin, dalgıçların, ibislerin, karabatakların, yaban ördeklerinin ve bataklık kuşlarının bir çok türünün, deniz ve balık kartalının bu bölgede konakladığı ve bir kısmının da kuluçkaya yattığı belirlenmiştir.

Gölde yaşayan başlıca su canlıları ise sazan (*Cyprinus carpio.L.*), yayın (*Silurus triostegus*), yılan balığı (*Anguilla angilla*), kızılkanat (*Tinca tinca*), turna (*Esox lucius*), kefal (*Mugil auratus* Risso) gibi balık türleri de yer almaktadır. Acarlar Longozunda yaşayan küpeli yılan 'de verilmiştir.



Şekil 3.11 Acarlar longozunda yaşayan yarı sucul yılan [15]

Sakarya nehrinin Karadeniz'e taşıdığı katı madde kıyı alanının morfolojik yapısını şekillendirmede büyük bir öneme sahiptir (Şekil 3.12). Bu yapı çok geniş plaj alanlarının oluşmasına ve plaj gerisinde genç kumullardan (Şekil 3.13) fosilleşmiş kumullara doğru binlerce yılda oluşmuş kumsal görünüm ile gerçekleşmektedir. Oluşan bu morfolojik yapı içerisindeki kumullar kıyı alanında oluşacak erozyon için önemli bir kum bütçesini oluşturmaktadır. Kumulların bir şekilde zarar görmesi durumunda morfolojik denge bozulacak ve kıyı erozyonu hızlanacaktır [11].



Şekil 3.12 Sakarya Nehir ağzı [11]



Şekil 3.13 Karasu plaj alanı kumulları

### 3.2.2 Bölgedeki Kıyı Yapılarının Durumu

Sakarya nehrinin doğusunda kalan plaj alanı incelendiğinde, Sakarya ağzında yaklaşık 2km doğuda bir liman inşa edilmiştir. Liman doğudaki kıyı alanına ait morfolojik yapıyı etkilemiştir. Ancak yapılan saha incelemelerinde Sakarya nehrinde kontrolsüz çok sayıda kum çakıl alım ocağı nehrin kıyıya kum taşınımını etkilediğini ortaya çıkarmıştır (Şekil 3.14). Bu durumda azalan katı madde kaynağı (Sakarya) dalga ve/veya akıntı etkisi ile kıyı alanını yeterince besleyememektedir. Gelen kum ise doğudaki plaj alanına liman nedeni ile taşınmaktadır [11].



Şekil 3.14 Sakarya nehri kontrolsüz kum ocakları [11]





Şekil 3.15 Liman hava fotoğrafı [11]

Ayrıca Karasu kıyılarında ciddi miktarda kum midyesi çıkarımı yapılmaktadır. Çıkarılan kum midyeleri nedeniyle büyük hacimlerde deniz tabanı çukurlarının oluşmasına neden olmaktadır. Kıyıya dik kum taşınımı nedeniyle oluşan kum taşınım dengesi etkilenmektedir. Böylece Karasu kıyı alanı çizgisinde erozyon hızı artmaktadır. Bunun yanı sıra limanın doğusunda plajı koruma amacıyla inşa edilen mahmuzlar (Şekil 3.16, Şekil 3.17) bölgedeki dalga iklimi nedeniyle kıyı alanı stabilitesini olumlu yönde etkilemiştir.



Şekil 3.16 Liman yakınındaki mahmuzlar ve erozyon durumu [11]



Şekil 3.17 Karasu kıyısı 2010 [11]

Karasu kıyı alanının doğu tarafında kalan plajın nasıl hızla erozyona uğradığı süreç içerisinde Şekil 3.18’de gösterilmiştir.

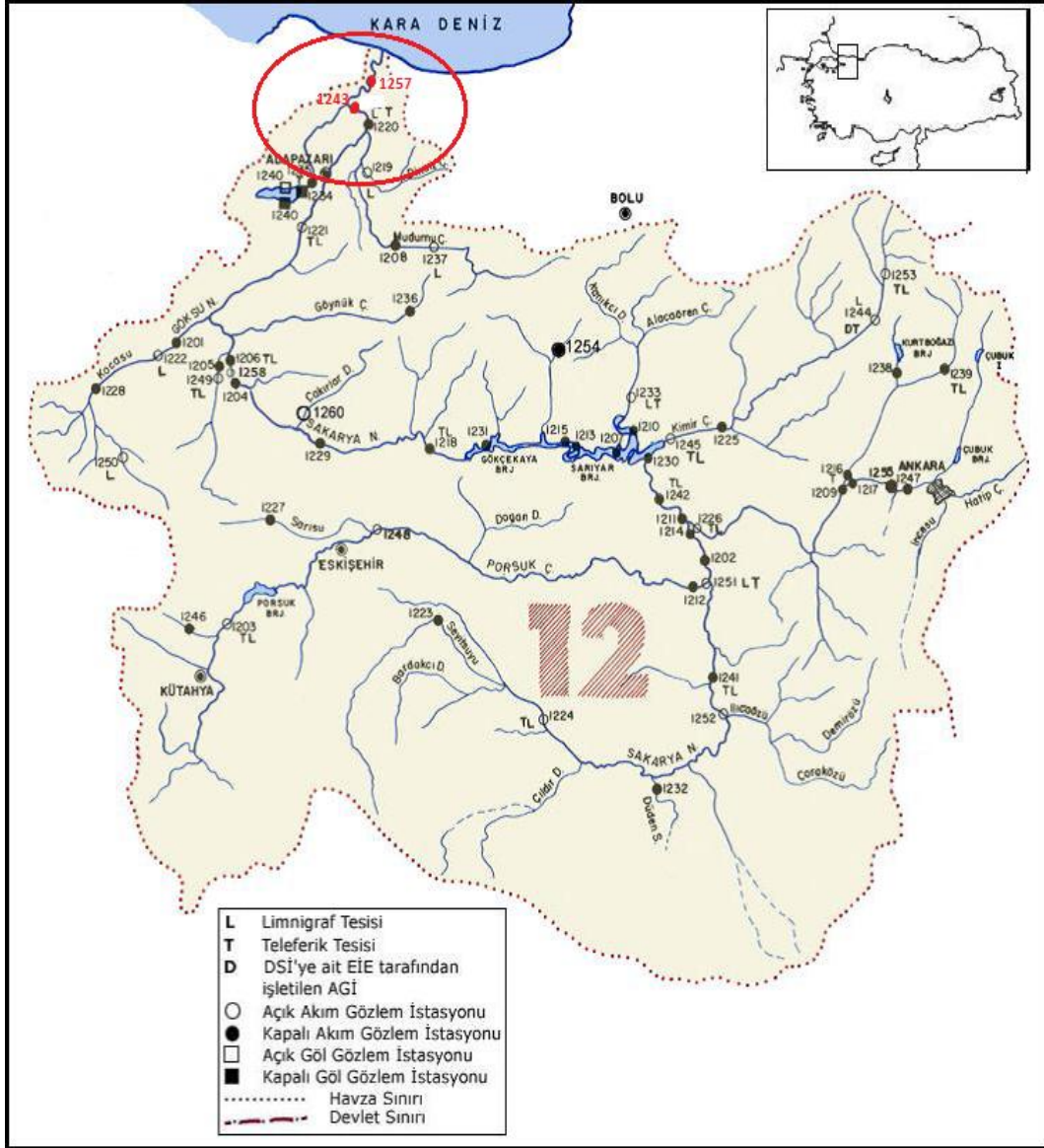


Şekil 3.18 Karasu kıyılarında kıyı erozyonu

### 3.3 Sakarya Nehri Akım ve Katı Madde Taşınımının Değerlendirilmesi

EİEİ Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığına bağlı 11 adet Hidrometrik Etüt Merkezinde hidrolojik gözlem amacıyla değişik tipte gözlem istasyonları işletilmektedir. Aşağı Sakarya Nehrinde debi ölçümleri Karadeniz’den itibaren 42.km’de Botbaşı ve 110. km’de Doğançay’da, katı madde ölçümleri ise sadece Botbaşı’nda yapılmaktadır. Bu çalışmada nehirdeki akım ve katı madde taşınım değişimlerini incelemek için EİEİ’den alınan iki ayrı gözlem istasyonunun verileri kullanılmıştır.

Koordinatları 30°36'07"D - 41°01'34"K olan Sakarya ili Karasu ilçesi karayolunda Karasu'ya 12 km kala sola ayrılan Adatepe köyü yolu üzerindeki köprüde yerleştirilen 1257 nolu Sakarya-Adatepe AGİ' dan alınan (Şekil 3.19) debi miktarları ölçüm sonuçları Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de verilmiştir. Bu istasyon 1 yıl süre ile 1243 nolu AGİ ile paralel işletilmiştir ve 1243 nolu istasyonunun kesitinin bozulmasından dolayı 30.09.2002 tarihinde kapatılması ile 13km mansaba 30°36'10"D - 41°03'33"K koordinatlarına taşınmıştır.



Şekil 3.19 1243 nolu Sakarya Havzası gözlem istasyonlarının yeri [16]

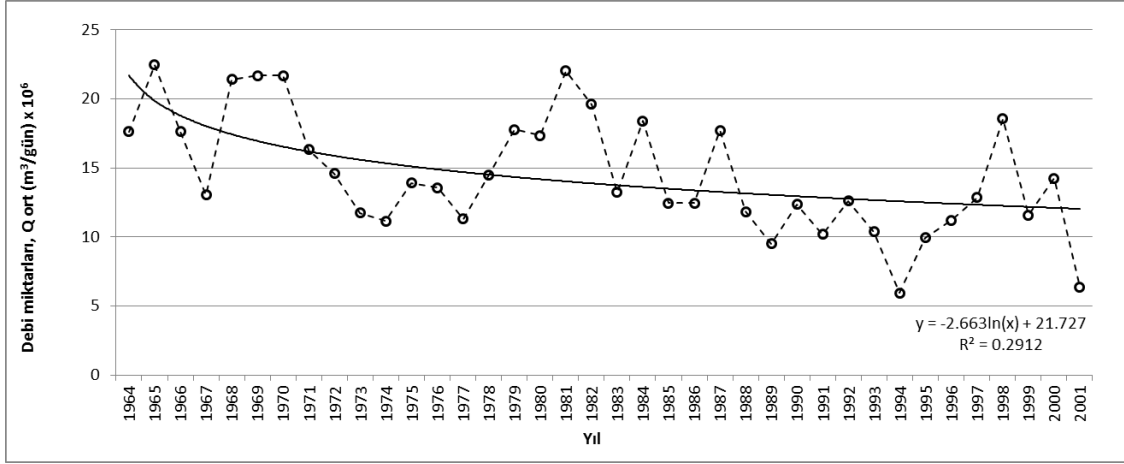
1243 nolu istasyondan alınan debi miktarları verisi 1964 yılından 2001 yılına kadar her yıl için günlük ortalama debi (m<sup>3</sup>/s) cinsindedir. Elde edilen veriler Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Aylara göre ölçülen ortalama debi miktarları (m<sup>3</sup>/s)

Yıl	Aylık Ortalama Debi (Q <sub>ort</sub> ) Miktarları												Yıllık Q <sub>ort</sub>
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
1964	226	317	369	255	239	142	76.2	57.4	124	147	163	331	203.9
1965	194	273	338	616	548	206	180	114	111	124	150	266	260.0
1966	264	310	365	440	208	140	93.1	91.7	92.6	133	133	182	204.4
1967	183	210	280	293	201	119	75.9	39.5	65.7	105	106	139	151.4
1968	289	350	573	582	224	134	107	120	137	121	122	215	247.8
1969	288	429	440	445	450	173	114	70.6	111	139	142	212	251.1
1970	293	474	478	507	254	214	122	99.1	106	89.8	186	191	251.2
1971	279	217	307	269	201	139	67.6	91.7	129	156	164	244	188.7
1972	214	200	194	156	114	216	142	107	118	178	123	268	169.2
1973	171	165	218	226	114	66.5	36.3	25.2	22.2	193	194	205	136.4
1974	123	173	196	140	172	141	84.4	132	87	48.1	79.7	177	129.4
1975	155	276	238	189	291	177	75.8	104	108	84.1	111	127	161.3
1976	226	227	197	243	149	105	97.8	68.9	69.9	125	171	209	157.4
1977	137	150	252	219	128	117	54	60.7	58.9	124	110	165	131.3
1978	231	267	228	360	184	103	95.8	102	137	84.1	81.3	148	168.4
1979	318	361	233	205	176	235	227	119	101	134	169	195	206.1
1980	246	264	375	335	238	156	120	107	97.2	104	154	215	200.9
1981	377	359	481	321	265	176	182	187	122	146	209	238	255.3
1982	399	395	329	293	236	189	96.8	104	188	114	150	234	227.3
1983	209	156	267	183	88.1	92.5	108	136	122	147	155	169	152.7
1984	194	268	303	408	380	148	121	106	137	135	187	169	213.0
1985	166	189	291	203	81.5	63.1	102	110	115	107	149	148	143.7
1986	263	268	278	144	97.6	79.1	101	36.8	47.2	154	116	143	144.0
1987	304	311	359	404	238	156	114	99.8	144	98.1	112	125	205.4
1988	151	116	183	222	147	152	94.1	68.4	71.6	150	99.9	184	136.6
1989	149	112	138	63.3	59.4	47	40.3	60.4	64.4	132	210	243	109.9
1990	201	145	204	197	220	82.5	58.1	42.6	94.3	84.4	160	233	143.5
1991	120	213	147	202	125	92	108	67.8	63	86.4	78.4	119	118.5
1992	163	205	299	397	157	82.6	76	47.9	47.3	74.1	59.1	141	145.8
1993	148	162	212	202	160	63.9	48.8	68.1	47.8	116	89	117	119.6
1994	101	125	116	70	54.1	30.2	19.9	28.9	32.1	45.9	98.8	102	68.7
1995	225	153	168	278	116	50.8	40.7	30.3	42.1	37.2	78.4	168	115.6
1996	186	193	238	271	114	67.6	53	55.3	59	64.5	122	139	130.2
1997	224	136	145	425	168	110	71.7	134	83.5	101	88.7	97.9	148.7
1998	242	357	260	285	320	214	141	103	87	145	127	298	214.9
1999	125	276	264	250	97.8	113	71.9	71	64.1	59.2	78.4	133	133.6
2000	215	188	238	374	209	147	137	78.5	61.5	80.6	137	120	165.5
2001	109	135	102	85.6	94.6	32.6	32.4	29.3	34	75.8	72.4	87.9	74.2



Şekil 3.20’ de debi miktarlarının yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Grafığe göre Sakarya nehri ortalama debilerinin 2001 yılına kadar toplam % 63.7 azaldığı görülmektedir. Bu azalmanın en önemli nedeni ölçüm istasyonunun memba tarafında inşa edilen barajlar ve regülatörler olarak düşünülmektedir.



Şekil 3.20 Yıllara karşılık ortalama debi miktarları değişimi

Koordinatları 30°30'35"E - 40°57'54"N olan Adapazarı İli'ne bağlı Karasu İlçe yolunun 28.km'sindeki beton köprü üzerine yerleştirilen 1243 nolu Sakarya-Botbaşı AGİ'den alınan (Şekil 3.21) toplam katı madde miktarları ölçüm sonuçları Çizelge 3.2' de verilmiştir.

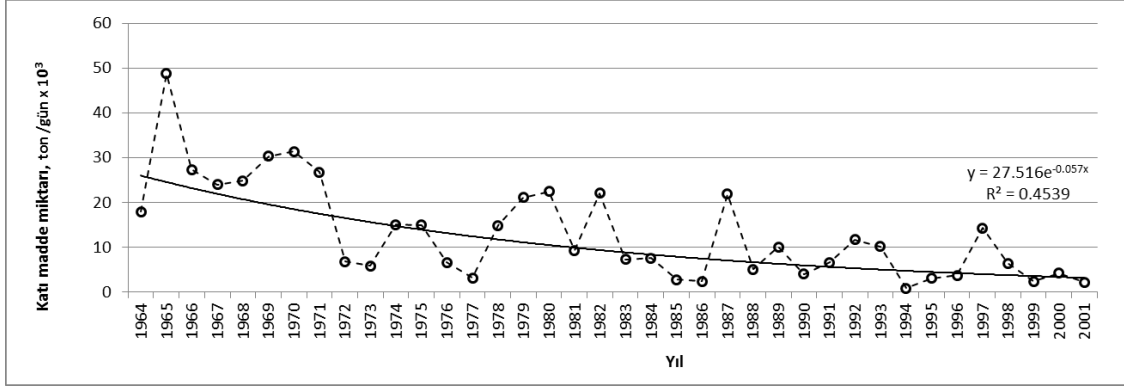


Şekil 3.21 1243 nolu Sakarya-Botbaşı Akarsu gözlem istasyonu

Çizelge 3.2 Yıllara karşılık ortalama katı madde miktarları değişimi

Yıl	Q <sub>s-ort</sub> (ton/gün)	Yıl	Q <sub>s-ort</sub> (ton/gün)
1964	17941.48	1983	7290.30
1965	48735.56	1984	7563.08
1966	27372.30	1985	2758.08
1967	24039.89	1986	2452.08
1968	24825.33	1987	21932.29
1969	30335.02	1988	5122.04
1970	31367.31	1989	10104.51
1971	26816.87	1990	4045.59
1972	6802.44	1991	6641.91
1973	5858.36	1992	11688.87
1974	15074.26	1993	10149.60
1975	14944.28	1994	882.54
1976	6665.34	1995	3098.89
1977	3217.12	1996	3779.49
1978	14840.35	1997	14353.15
1979	21102.41	1998	6431.71
1980	22507.15	1999	2400.15
1981	9305.20	2000	4197.92
1982	22079.37	2001	2234.39

Şekil 3.22’de Sakarya nehri boyunca taşınan toplam katı maddenin yıllara göre değişimi çizilerek verilmiştir. Şekilde taşınan ortalama toplam katı maddenin yıllara göre değişiminin %87.5 azaldığı gözlenmiştir. Bu azalmanın nedeni olarak akarsu üzerine yapılan barajların gelen katı maddeyi tutmasıdır. Katı madde miktarı 48735,56 ton/gün değerinden 2001 yılında 2234,39 ton/gün değerine kadar düşmüştür.



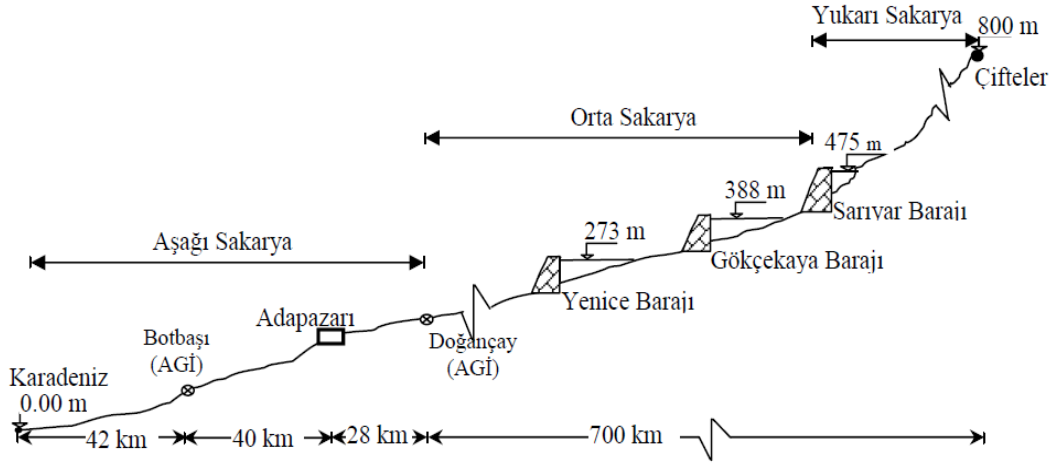
Şekil 3.22 Yıllara karşılık ortalama toplam katı madde miktarları değişimi

### 3.3.1 Sakarya Havzasında Yer Alan Barajların Değerlendirilmesi

Bazı hidrolik faktörlerin değişmesi sonucunda, alüvyal nehirlerin tabanında ve yan şevlerinde veya bir başka deyişle nehrin konumu ve kesitlerinde değişimler meydana gelir. Bu değişimler doğal olarak veya insani etkilerle; ani, yavaş ve uzun vadede olabilir. Nehrin herhangi bir noktasında yapılan yersel bir müdahale o noktanın hem memba hem de mansabında etkiler meydana getirecektir [18].

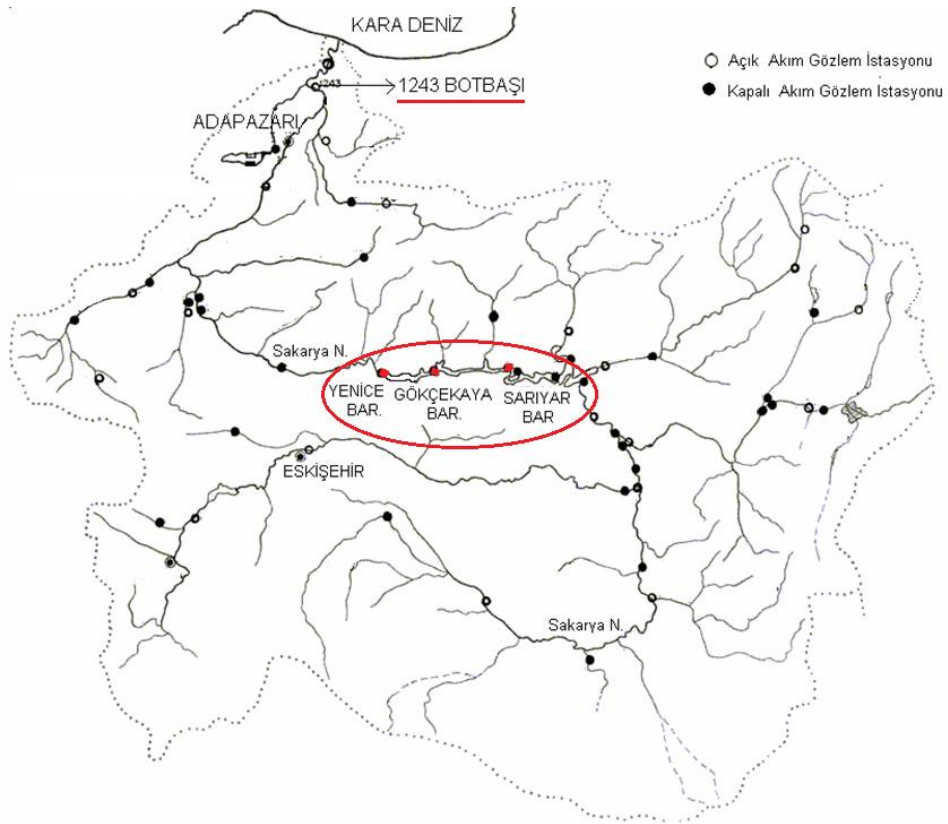
Barajların yapımından sonra, nehrin mansabındaki kesimde morfolojik ve hidrolojik özellikleri ile ve katı madde taşınım miktarlarında değişikliklerin gözlenmesi beklenmektedir. Çünkü barajlardan sonra nehirdeki debinin pik değerleri düşer, minimum değerleri artar ve böylece nehrin rejimi yeniden düzenlenir. Bunun yanında, barajlar gelen katı maddeyi tutarlar ve mansaba temiz su bırakırlar. Böylece katı madde taşıma kapasitesi azalan nehir, yakın ve uzak mansaptaki nehir yatağında erozyona neden olur. Başka bir deyişle, gelen katı madde rezervuarda tutulmakta ve baraj mansabına ulaşamamakta ve böylece mansap kesiminde taşınan katı madde gelen katı maddeden büyük ( $Q_{st} > Q_{sg}$ ) olduğu için nehir mansabında erozyon meydana gelmektedir [17]. Bu nedenle Nehir üzerine inşa edilen barajların özelliklerini ve bu barajların işletilmeye başlandığı süreçleri bilmemiz nehir üzerinde oluşan akım ve katı madde değişimlerini yorumlayabilmemiz açısından oldukça önemlidir.

Eskişehir'in Çifteler ilçe merkezinin 3km güneydoğusundan doğan ve daha sonra birçok küçük derelerle beslenen Sakarya Nehri üzerinde Sarıyar, Gökçekaya ve Yenice Barajları bulunmaktadır Sakarya Nehri üzerinde inşa edilen barajlar Şekil 3.23' de gösterilmiştir.



Şekil 3.23 Şematik Sakarya Nehri boykesiti ve üzerindeki barajlar [18]

Ölçeksiz boykesitte Nehrin Karadeniz'e döküldüğü yer olan Yenimahalle (nehir ağzı) ile başka bir akım gözlem istasyonu olan Doğançay'a kadar olan kısmı Aşağı Sakarya Nehri olarak adlandırılmaktadır. Bu nehir üzerindeki barajların havza üzerindeki plan görünüşleri Şekil 3.24'te, Nehri üzerine inşa edilen barajların özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.24 Sakarya Nehri üzerindeki barajların konumu [18]



Çizelge 3.3 Sakarya Nehri üzerindeki barajların genel özellikleri [18]

Barajlar	Baraj Tipi	Baraj Kotu(m)	Su Kotu(m)	Kret Kotu(m)	Rezervuar Alanı (m <sup>2</sup> )	Rezervuar Hacmi (m <sup>3</sup> )	İnşa Yılı
Sarıyar	Beton ağırlıklı	108	475	480	90.20x10 <sup>6</sup>	1900x10 <sup>6</sup>	1951-1956
Gökçekaya	Beton kemer	158	388	392	20x10 <sup>6</sup>	910x10 <sup>6</sup>	1967-1972
Yenice	Toprak dolgu	41.1	273.1	276.1	3.64x10 <sup>3</sup>	57.60x10 <sup>6</sup>	1985-1999

En düşük su seviyeleri Temmuz, Ağustos, Eylül gibi yaz sonu aylarında görülen Sakarya Nehrinde önceleri taşkınlarla etrafına zarar verdiği görülürken, son kırk yılda üzerinde yapılan barajlarla bu zararlarında ortadan kalktığı görülmüştür [18].

Işık ve diğ., (2006) [18]'de yaptıkları bir çalışmada Orta Sakarya Havzası'nda Gökçekaya Barajı'nın yapılmasından sonra Aşağı Sakarya Nehri'nde meydana gelen hidrolojik, hidroljik ve morfolojik değişimlerin gözlemlendiğini ve askı maddesi taşınma miktarının barajın yapılmasından sonra % 40-65 oranında azaldığını, 1965 ve 2003 yıllarında yapılan nehir en kesiti ölçümleri karşılaştırıldığında ise nehir yatağında genişleme ve 7m'ye kadar erozyon olduğu, Nehir ağız kısmında yığılmalar meydana gelirken, mansaba doğru erozyonun artarak devam ettiği belirlenmiştir.

### 3.3.2 Yıllık Katı Madde ve Debi Verilerinin İstatiksel Değerlendirilmesi

EİEİ'den alınan verilerin değerlendirilebilmesi ve yorumlanabilmesi için belli temel kavramların bilinmesi, daha sonra kurulacak olan istatistiksel hipotezler açısından da faydalı olacağından verilerin ortalaması, çarpıklığı, varyasyonu, standart sapması ve kurtosis katsayısı gibi istatistiksel özellikleri bulunmuştur (Çizelge 3.4). Böylece debi ve katı madde miktarları arasındaki ilişki de elde edilmiştir.

X ile Y, sırasıyla akım ve debi miktarlarının aralarında doğrusal bağımlılık bulunmasını beklediğimiz iki rastgele değişken olmak üzere 1964-2001 yılları arasında AGİ'den alınan 38 adet katı madde miktarı (ton/gün) ve debi (m<sup>3</sup>/gün) ölçüm verilerinin,

Aritmetik ortalaması denklem (3.1) ile elde edilmiştir.

$$\bar{x} = \left( \sum_{i=1}^N X_i \right) / N \quad (3.1)$$

Burada;  $X_i$ : i'inci veri değerlerini (i'inci rastgele değişkeni),  $N$ : veri sayısı,  $\bar{x}$ : verilerin aritmetik ortalaması ile gösterilmektedir.

Ortalama hesaplandıktan sonra verilerin ortalama çevresinde dağılımının büyüklüğünü ifade etmek için varyans tanımlanır ve bu değer ölçülen büyüklüğün karesi boyutunda olacağından fiziksel anlamı olan bir büyüklük olarak standart sapma ( $S_x$ ) denklem (3.2) ile edilmiştir [18].

$$S_x = [\text{Var}(X)]^{0.5} = \left[ \left( \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / N \right) \right]^{0.5} \quad (3.2)$$

Başka veri serilerini karşılaştırabilmek için ise boyutsuz bir büyüklük kullanılması daha uygun olacağından denklem (3.3) kullanılarak varyasyon katsayısı ( $C_{vx}$ ) elde edilmiştir.

$$C_{vx} = \frac{S_x}{\bar{X}} \quad (3.3)$$

3.mertebeden merkezsiz moment dağılımı çarpıklığın bir ölçüsü olmak üzere varyasyon katsayısı ( $C_{sx}$ ) denklem (3.4) ile bulunmuştur.

$$C_{sx} = \left[ \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 / N \right] / S_x^3 \quad (3.4)$$

4. mertebeden merkezsiz momenti kullanarak hesaplanan, dağılımın 'sivriligi' olarak ifade edilen kurtosis katsayısı ( $k_x$ ) denklem (3.5) ile ifade edilmiştir.

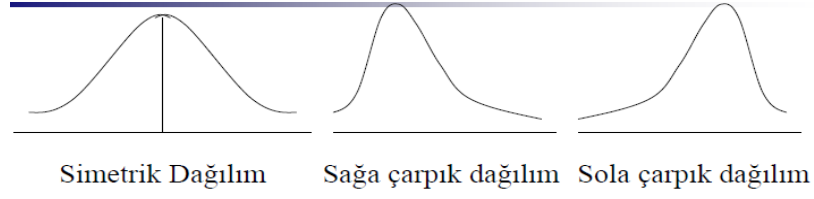
$$k_x = \left[ \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 / N \right] / S_x^4 \quad (3.5)$$

Çizelge 3.4 İstatistiksel veri sonuçları

	<b>Aritmetik Ortalama</b>	<b>Standart Sapma</b>	<b>Varyasyon Katsayısı</b>	<b>Çarpıklık Katsayısı</b>	<b>Kurtosis Katsayısı</b>
<b>Debi verileri</b>	14510652 m <sup>3</sup> /gün	49 m <sup>3</sup> /sn	0.292	0.231	2.33
<b>Katı madde verileri</b>	13183 ton/gün	10669 ton/gün	0.809	1.15	4.182

Çarpıklık katsayısının 0 olması dağılımın simetrik, pozitif olması sağa, negatif olması sola çarpık olduğunu gösterir (Şekil 3.25). Buna göre katı madde miktarları için bulunan 1.15 ve debi verisi için elde edilen 0.231 değerinin 0'dan istatistiksel olarak anlamlı

derecede farklı olması verilerin normal dağılıma uyup uymadığının kontrol edilmesini gerektirmektedir.



Şekil 3.25 Negatif çarpık, simetrik ve pozitif çarpık dağılımların olasılık yoğunluk fonksiyonu

Sakarya Nehri katı madde taşınımı ile nehir debisi arasındaki ilişkiyi bulabilmek için elimizdeki iki değişken arasında bir ilişki olup olmadığını görmek için kullanılan korelasyon testi uygulanmıştır.

Nehirdeki katı madde taşınımı ile debi miktarları arasındaki ilişkiyi inceleyebilmek için korelasyon katsayısı hesabı denklem (3.6) ile kullanılmıştır.

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{N \times S_x \times S_y} \quad (3.6)$$

Burada;

$R_{xy}$  : korelasyon katsayısını

$S_x, S_y$  : debi ve katı madde miktarları için elde edilen standart sapma değerlerini

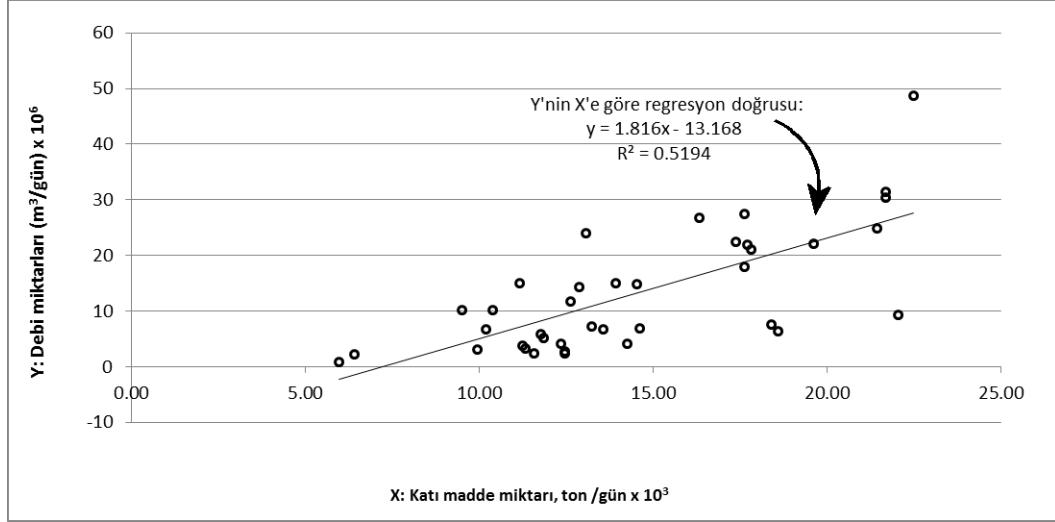
$X_i, Y_i$  : debi ve katı madde miktarlarını göstermek üzere, rastgele değişkenleri

$\bar{X}, \bar{Y}$  : debi ve katı madde miktarları için verilerin aritmetik ortalamalarını

göstermektedir.

Korelasyon katsayısı (R) denklem (3.6) ile 0.701 olarak elde edilmiştir. Bu değer debi ve katı madde verileri arasında pozitif ilişki olduğunu, değerlerden birinin artması durumunda diğer değerinde artacağını göstermektedir.

X ile Y, iki rastgele değişken olmak üzere aynı gözlemde ölçülen değer çiftleri x-y düzleminde birer nokta olarak işaretlenmiştir (Şekil 3.26). Elde edilen noktaların bir doğru çizgi ile çevresinde küçük bir yayılma ile dağılımları X, Y arasında doğrusal bir ilişki bulunduğunu göstermiştir. Şekil 3.26'da görüldüğü gibi X'in değeri arttıkça Y'nin değeri de genellikle artma eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.26 Debi ve katı madde miktarlarının karşılaştırılması

EİEİ'den alınan 1243 ve 1257 nolu AGİ'de ölçülen debi ve katı madde verilerinin dağılımının normal dağılıma uyup uymadığını görebilmek için güvenilir bir yöntem olması nedeni ile hipotez testi uygulanmıştır.

Araştırma hipotezlerinin yazılı hale dönüştürülmesinden daha sonra istatistiksel olarak test edilebilecek bir şekle dönüştürülmesi, bir araştırmanın istatistiksel hipotez test aşamasıdır. Hipotez testinde, hipotezin belirlenmesinden sonraki önemli bir aşamada önem derecesinin saptanmasıdır. Uygulamada en çok kullanılan önem dereceleri 0.1; 0.05 ve 0.01dir. 0.05 önem derecesinde birinci hipotez rededildi mi sonuç önemli, 0.01 önem derecesinde red edildiğinde sonuç çok önemli olarak nitelendirilmektedir.

### 3.3.2.1 Ki-Kare ( $\chi^2$ ) Testi

İstatistiksel verilerin elde edilmesi sırasında örnek değerlerinin dağılımının belirli bir teorik dağılıma uyma derecesinin saptanması (uygunluk testi) olarak uygulanan ki kare testinde katı madde miktarları ve debi verilerinin normal dağılıma uyup uymadığı kontrol edilmiştir.

Ki kare değerinin bulunması için denklem (3.7)'de verilmiştir;

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(N_i - N \times p_i)^2}{N p_i} \quad (3.7)$$

Burada;

$\chi^2$  : ki kare değeri

$N_i$  : Bir rastgele değişkene ait  $N$  elemanlı bir örneği  $m$  sınıfa ayırarak her bir sınıftaki eleman sayısı

$N$  : Seçilen olasılık yoğunluk fonksiyonuna göre aynı sınıf aralıklarında ki bulunma olasılığına sahip eleman sayısı

$p_i$  : Aynı sınıf aralıklarında ki bulunma olasılığı  
ile ifade edilmektedir.

Test uygulanırken sınıf aralıkları sayısının en az 5 ve her sınıfa en az 5 gözlem düşmesi tavsiye edilmektedir [15]. Buna göre sınıf aralıklarının aynı genişlikte alınmadan  $p_i$  olasılıkları eşit olacak şekilde  $p_i=1/m=1/5=0.20$  seçilmiştir ve buna karşılık tablodan [Ek-A] okunan  $z$  değerleri ve bunlara karşılık sınıf aralıkları ve eleman sayıları Çizelge 3.5 ' da verilmiştir.

Çizelge 3.5 Normal dağılım için sınıf aralıkları ve eleman sayıları

		Debi verilerine ait			Katı madde miktarlarına ait		
F(x)	z	$x=\mu_x+z\sigma_x$	Sınıf Aralığı	$N_i$	$x=\mu_x+z\sigma_x$	Sınıf Aralığı	$N_i$
0.2	-0.84	10953884	<10953884	6	4221	<4221	10
0.4	-0.25	13452090	10953884-13452090	13	10516	4221-10516	11
0.6	0.25	15569213	13452090-15569213	5	15850	10516-15850	5
0.8	0.84	18067419	1556921-18067419	6	22145	15850-22145	4
			>18067419	8		>22145	8

Çizelge 3.5'de elde edilen veriler (3.7) yardımı ile çözümlenerek debi ve katı madde miktarlarına ait ki kare değerleri sırasıyla 5.88 ve 4.895 olarak bulunmuştur. Serbestlik derecesi (s.d) ise denklem (3.8) kullanılarak elde edilmiştir.

$$s.d = m - n - 1 \quad (3.8)$$

Burada,  $n$ : parametre sayısı,  $m$ : sınıf sayısı olacak şekilde;  $s.d=2$  olmak üzere ki kare tablosundan [Ek-A] aşılma olasılığı 0.05 olan değer  $X_{0.05}^2=5.991$  olarak, hesaplanan 5.88 ve 4.895 değerleri 5.991 değerinden küçük olduğu için gözlenen dağılımın normal dağılıma uygun olduğu hipotezi kabul edilmiştir.

Aynı verilerin normal dağılıma mı lognormal dağılıma mı daha iyi uyduğunu araştırmak için ölçülen değerlerin bu sefer logaritması alınarak daha önce takip edilen işlemler tekrar uygulanmıştır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6 Lognormal dağılım için sınıf aralıkları ve eleman sayıları

F(x)	z	Debi verilerine ait			Katı madde miktarlarına ait		
		$x=\mu_x+z\sigma_x$	Sınıf Aralığı	Ni	$x=\mu_x+z\sigma_x$	Sınıf Aralığı	Ni
0.2	-0.84	16.184	<16.184	6	8.344	<8.344	9
0.4	-0.25	16.367	16.184- 16.367	10	8.887	8.344-8.887	7
0.6	0.25	16.523	16.367- 16.523	8	9.348	8.887-9.348	5
0.8	0.84	16.706	16.523- 16.706	6	9.892	9.348-9.892	6
			>16.706	8		>9.892	11

Çizelge 3.6'da elde edilen veriler (3.7) yardımı ile çözümlenerek debi ve katı madde miktarlarına ait ki kare değerleri sırasıyla 1.6 ve 3.05 olarak bulunmuştur. Burada elde edilen  $X^2$  değeri normal dağılım için elde edilmiş olan değerlerden daha küçük olduğu için verilerin normal dağılım yerine lognormal dağılıma daha iyi uydukları söylenebilir.

### 3.3.2.2 Student-t Testi

T-Testi, hipotez testlerinde en yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir. T-Testi ile iki grubun ortalamaları karşılaştırılarak, aradaki farkın rastlantısal mı, yoksa istatistiksel olarak anlamlı mı olduğuna karar verilmektedir. X: debi miktarına ait verileri, Y: katı madde verilerini temsil etmek üzere t istatistiğinin hesabı (3.9)'da verilmiştir.

$$t = \frac{r_{X,Y} \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r_{X,Y}^2}} \quad (3.9)$$

Burada;

N : veri sayısı,

$r_{xy}$  : X ve Y arasındaki korelasyonu

göstermektedir.

(3.9) ile bulunan t istatistik değeri 6.225'dir. X ile Y arasında doğrusal bir ilişki bulunmaması ( $H_0: \rho_{X,Y}=0$ ) halinde; X ile Y'nin normal dağılıma uyduğu kabul edilirse, bu durumda  $H_0: \rho_{X,Y}=0$  hipotezini  $H_1: \rho_{X,Y} \neq 0$  hipotezi ile kontrol etmek için  $s.d=N-2=36$  için [Ek-A]'de ki tablo kullanılarak  $\alpha=0.05$  anlamlılık düzeyinde  $t_{0.05}=1.690$  olarak bulunur. Hesaplanan t değeri bu değerden büyük olduğu için  $H_0: \rho_{X,Y}=0$  hipotezi reddedilir. Buna göre iki değişken arasında kuvvetli bir bağımlılık bulunduğu sonucuna varılır.

### **3.4 Kıyı Alanı Saha Çalışması**

#### **3.4.1 Katı Madde Özelliklerinin Belirlenmesi**

Karasu bölgesinde Sakarya Nehrinin denize döküldüğü yerden batısında Kefken'e kadar uzanan kıyı çizgisini inceleyebilmek için katı madde özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle kıyıdan dört farklı malzeme örneği alınmış ve granülometrik özellikleri belirlenmiştir.

Elek analizi tamamen kuru numunelerle yapılmıştır, bu sebeple deneylere başlamadan önce kum örnekleri değişmez ağırlığa gelene kadar etüvde kurutularak hazır hale getirilmiştir. İlk önce kare şeklinde gözenekleri bulunan 1mm'lik elek ile eleme işlemine başlanmıştır. Daha sonra ise 0.71mm, 0.6mm, 0.5mm, 0.355mm, 0.25mm ve 0.18mm'lik elekler kullanılmıştır. Eleme işlemi her bir numune için 1000'er gram örnek alınarak 0.1gr duyarlıklı bir terazi ile tartılmış ve sonuçlar Çizelge 3.7, Çizelge 3.8, Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Alınan örneklerin granülometrik özelliklerinin belirlenmesi için Yıldız Teknik Üniversitesi Malzeme Laboratuvar'ında elek analizi deneyleri yapılmıştır.

Çizelge 3.7 1. Numune için elek analizi sonuçları

Elek (mm)	Elek üstünde kalan ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan kümülatif ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan kümülatif ağırlık (%)	Elek üstünde geçen kümülatif ağırlık (%)
1	0.3	0.3	0.03	99.97
0.71	0.8	1.1	0.11	99.89
0.6	5.5	6.6	0.66	99.34
0.5	13.8	20.4	2.04	97.96
0.355	278.9	299.3	29.93	70.07
0.25	511.9	811.2	81.12	18.88
0.18	188.8	1000	100	0

Çizelge 3.8 2. Numune için elek analizi sonuçları

Elek (mm)	Elek üstünde kalan ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan kümülatif ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan kümülatif ağırlık (%)	Elek üstünde geçen kümülatif ağırlık (%)
1	4.1	4.1	0.41	99.59
0.71	34.7	38.8	3.88	96.12
0.6	145	183.8	18.38	81.62
0.5	129	312.8	31.28	68.72
0.355	554.5	867.3	86.73	13.27
0.25	88	955.3	95.53	4.47
0.18	44.7	1000	100	0



Çizelge 3.9 3. Numune için elek analizi sonuçları

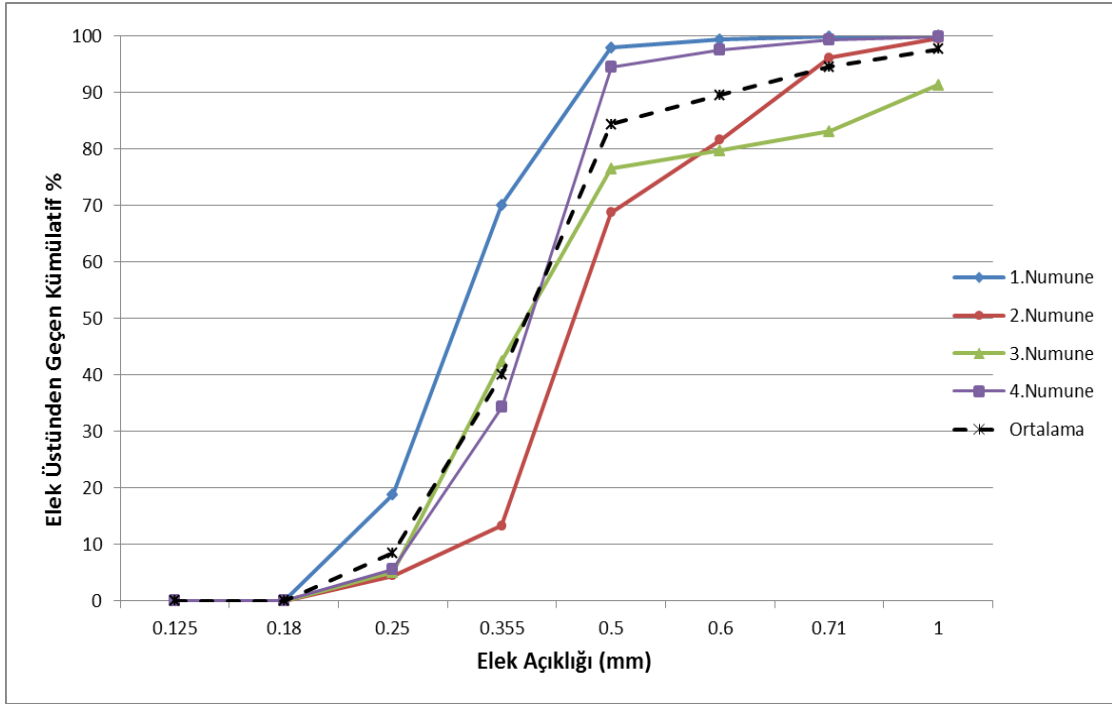
Elek (mm)	Elek üstünde kalan ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan kümülatif ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan kümülatif ağırlık (%)	Elek üstünde geçen kümülatif ağırlık (%)
1	86.9	86.9	8.69	91.31
0.71	82.2	169.1	16.91	83.09
0.6	33.6	202.7	20.27	79.73
0.5	32.5	235.2	23.52	76.48
0.355	340.7	575.9	57.59	42.41
0.25	373.5	949.4	94.94	5.06
0.18	50.6	1000	100	0

Çizelge 3.10 4. Numune için elek analizi sonuçları

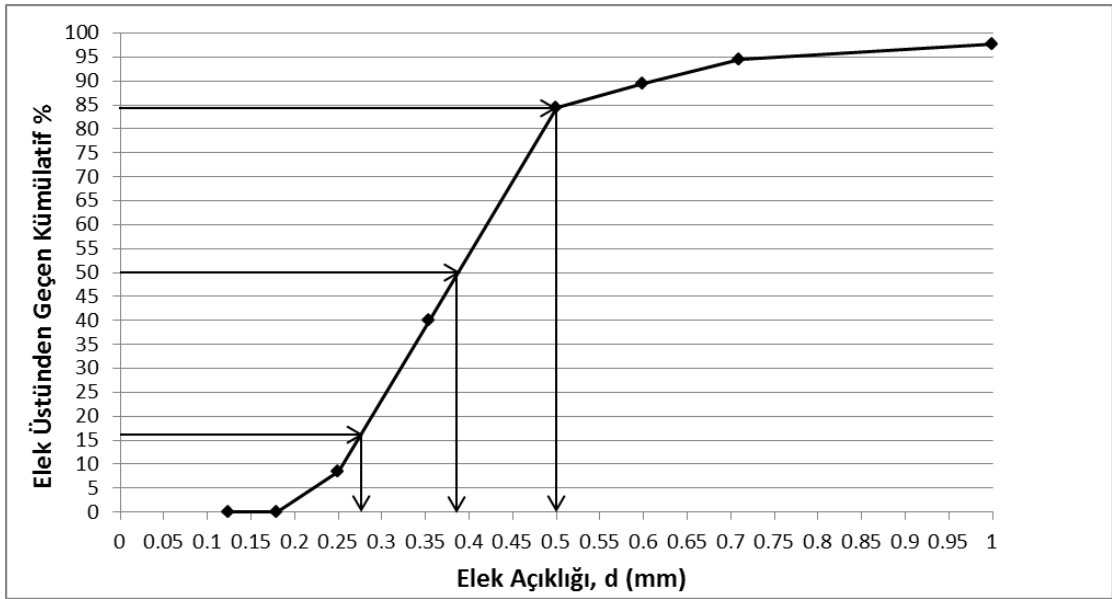
Elek (mm)	Elek üstünde kalan ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan kümülatif ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan kümülatif ağırlık (%)	Elek üstünde geçen kümülatif ağırlık (%)
1	1.4	1.4	0.14	99.86
0.71	5.9	7.3	0.73	99.27
0.6	17.2	24.5	2.45	97.55
0.5	30.1	54.6	5.46	94.54
0.355	602.6	657.2	65.72	34.28
0.25	287.3	944.5	94.45	5.55
0.18	55.5	1000	100	0

Eleme ve tartım işlemleri sonucunda kumun granülometrik özellikleri ve değişimi elde edilmiştir. 4 farklı numune için elde edilen granülometri eğrisi Şekil 3.27’de verilmiştir. Bölgeden alınan numunelerin ortalama değeri aynı şekil üzerinde kesikli çizgi ile gösterilmiş ve bu ortalama değer granülometrik eğrisi bölgeye ait kum özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Kum numuneye ait özellikleri temsil edecek şekilde  $d_{16}$ ,

$d_{50}$  ve  $d_{84}$  sırası ile numune içindeki tanelerin %16, %50 ve %84' ünün daha küçük olduğu tane çap değerlerini göstermektedir (Şekil 3.28).



Şekil 3.27 Numuneler ait granülometri eğrisi



Şekil 3.28 Tane çapı dağılımı eğrisinden elde edilen bazı özel tane boyutu değerleri

Buna göre elde edilen  $d_{10} > 0.06$  mm olduğu için katı maddenin koheziv özellik taşımadığı görülmüştür. Şekil 3.28'den elde edilen değerler Çizelge 3.11'de verilmiştir. Numunenin geometrik standart sapması ( $\sigma_g$ ) aşağıdaki denklem kullanılarak bulunmuştur.

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} \quad (3.10)$$

Elde edilen verilere göre  $d_{84}/d_{16}$  oranı 2'den küçük çıktığı için taban malzemesinin çok iyi sınıflanmış olduğu görülmüştür.

Genellikle taban malzemesi çapı için Wentworth ölçeği kullanılmaktadır.  $\phi$  birim ölçeği olarak verilmiştir [20].

Çizelge 3.11'de numunenin [Ek-B] ile verilen Wentworth ölçeğine göre  $\phi$  değeri ve bu ölçeğe göre hangi katı madde sınıfında olduğu verilmiştir.

$$\phi = -\log_2 d \quad (3.11)$$

Çizelge 3.11 Katı malzemenin özellikleri

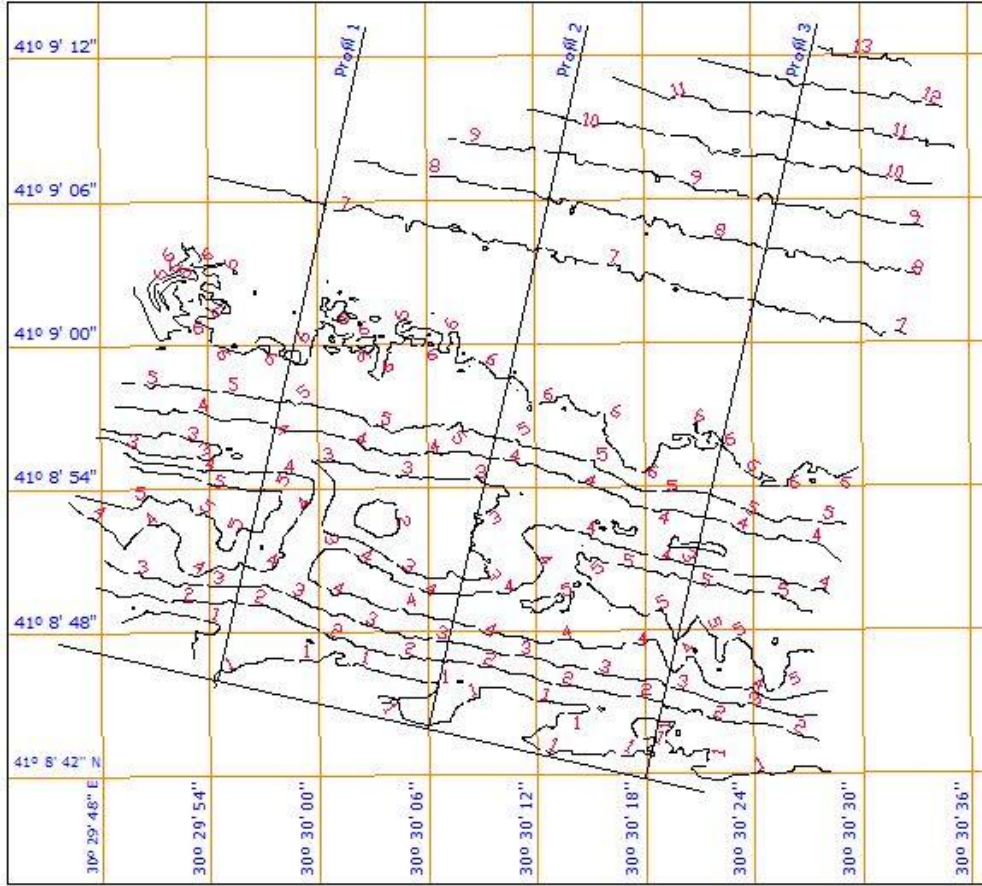
$d_{84}$ (mm)	$d_{50}$ (mm)	$d_{16}$ (mm)	$\sigma_g$	$\phi$	Malzeme sınıfı
0.5	0.383	0.28	1.336	1.39	Orta kum

### 3.4.2 Kumul ve Basamak Profillerinin Ölçülmesi

Model ile doğa arasında en iyi benzeşimi sağlayabilmek için kullanılacak verilerin sağlıklı olması oldukça önemlidir. Bu verilerden model girdisi olarak kullanılacak olan kıyı çizgisinin ve arkasında kalan kumulların yüksekliklerin ölçülmesi çalışması Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü ile birlikte yürütülmüştür. Kefken Harmankaya Burnundan Sakarya Nehri'nin Karadeniz'e döküldüğü yere kadar olan kıyı şeridi incelenmek üzere kullanılan batimetri haritası ile Şekil 3.29'de görüldüğü gibi verilmiştir.



Şekil 3.29 İncelenen kıyı alanı (Google Earth, 2012)



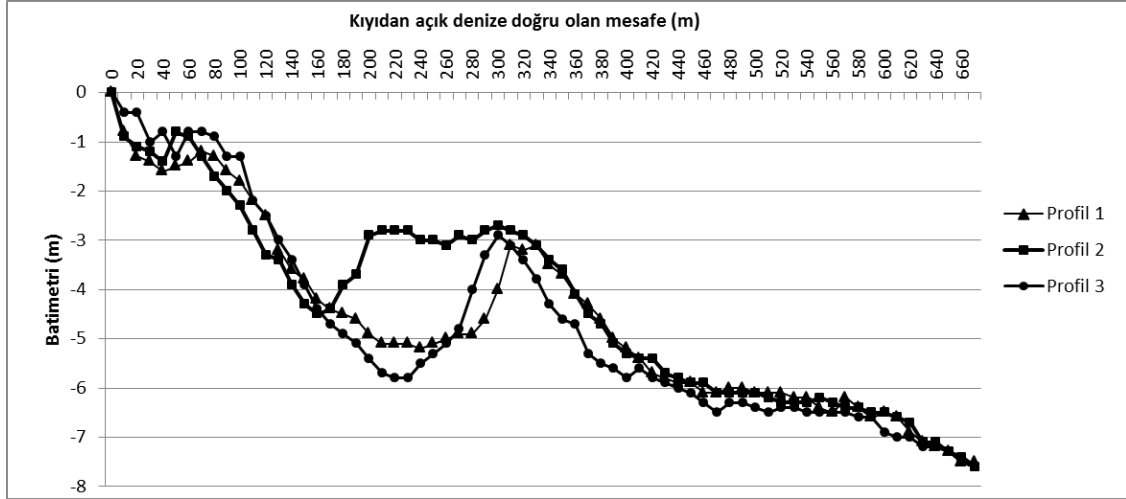
Şekil 3.30 Koordinatları ile çalışma alanına ait batimetri haritası

Batimetri haritasından yararlanılarak kıydan açık denize doğru 670 m'lik mesafede 3 farklı yerden alınan 3 ayrı profil örnekleri incelenmiştir. Bu profillerin her 10m'de bir sahip oldukları derinlikleri okunmuştur (Şekil 3.30). Derinlik ve kıyıya olan uzaklıkları Çizelge 3.12 ve Şekil 3.32'de verilmiştir.

Çizelge 3.12 Batimetriden elde edilen profillere ait derinlik ve kıyıya olan mesafeleri

Kıydan açık denize doğru olan mesafe(m)	Derinlik (m)			Kıydan açık denize doğru olan mesafe(m)	Derinlik(m)		
	Profil 1	Profil 2	Profil 3		Profil 1	Profil 2	Profil 3
<b>0</b>	0	0	0	<b>340</b>	3.5	3.4	4.3
<b>10</b>	0.8	0.9	0.4	<b>350</b>	3.7	3.6	4.6
<b>20</b>	1.3	1.1	0.4	<b>360</b>	4.1	4.1	4.7
<b>30</b>	1.4	1.2	1	<b>370</b>	4.3	4.5	5.3
<b>40</b>	1.6	1.4	0.8	<b>380</b>	4.6	4.7	5.5
<b>50</b>	1.5	0.8	1.3	<b>390</b>	5	5.1	5.6
<b>60</b>	1.4	0.9	0.8	<b>400</b>	5.2	5.3	5.8
<b>70</b>	1.2	1.3	0.8	<b>410</b>	5.4	5.4	5.6
<b>80</b>	1.3	1.7	0.9	<b>420</b>	5.7	5.4	5.8
<b>90</b>	1.6	2	1.3	<b>430</b>	5.8	5.7	5.9
<b>100</b>	1.8	2.3	1.3	<b>440</b>	5.9	5.8	6
<b>110</b>	2.2	2.8	2.2	<b>450</b>	5.9	5.9	6.1
<b>120</b>	2.5	3.3	2.5	<b>460</b>	6.1	5.9	6.3
<b>130</b>	3.2	3.4	3	<b>470</b>	6.1	6.1	6.5
<b>140</b>	3.6	3.9	3.4	<b>480</b>	6	6.1	6.3
<b>150</b>	3.8	4.3	3.9	<b>490</b>	6	6.1	6.3
<b>160</b>	4.2	4.5	4.4	<b>500</b>	6.1	6.1	6.4
<b>170</b>	4.4	4.4	4.7	<b>510</b>	6.1	6.2	6.5
<b>180</b>	4.5	3.9	4.9	<b>520</b>	6.1	6.3	6.4
<b>190</b>	4.6	3.7	5.1	<b>530</b>	6.2	6.3	6.4
<b>200</b>	4.9	2.9	5.4	<b>540</b>	6.2	6.3	6.5
<b>210</b>	5.1	2.8	5.7	<b>550</b>	6.4	6.2	6.5
<b>220</b>	5.1	2.8	5.8	<b>560</b>	6.5	6.3	6.5
<b>230</b>	5.1	2.8	5.8	<b>570</b>	6.2	6.4	6.5
<b>240</b>	5.2	3	5.5	<b>580</b>	6.4	6.4	6.6
<b>250</b>	5.1	3	5.3	<b>590</b>	6.6	6.5	6.6
<b>260</b>	5	3.1	5.1	<b>600</b>	6.5	6.5	6.9
<b>270</b>	4.9	2.9	4.8	<b>610</b>	6.6	6.6	7
<b>280</b>	4.9	3	4	<b>620</b>	6.9	6.7	7
<b>290</b>	4.6	2.8	3.3	<b>630</b>	7.1	7.1	7.2
<b>300</b>	4	2.7	2.9	<b>640</b>	7.2	7.1	7.2
<b>310</b>	3.1	2.8	3.1	<b>650</b>	7.3	7.3	7.3
<b>320</b>	3.2	2.9	3.4	<b>660</b>	7.5	7.4	7.5
<b>330</b>	3.1	3.1	3.8	<b>670</b>	7.5	7.6	7.6

Şekil 3.31’de verilen kıyı profilleri incelendiğinde, kıyıda tipik fırtına profilinin yapılandığı görülmektedir. Bu da kıyıda aktif bir kıyıya dik taşınımın olduğunu göstermektedir. Kum eşiği kıyıdan itibaren yaklaşık 100m açıktadır. Kum eşiğinin genişliği yaklaşık 200 m’dir. Kıyı eğimi ortalama 1/80’dir.



Şekil 3.31 Batimetri haritasından elde edilen profiller

İncelenecek kıyı alanında kumul ve basamak yüksekliklerinin belirlenebilmesi oluşturulacak kıyı profillerinde kıyı gerisi hakkında fikir edinebilmemiz için kurulacak sayısal model oldukça önemlidir. Böylece daha önce batimetri yardımı ile elde ettiğimiz deniz içerisindeki profillerin yanı sıra kıyı gerisine ait profillerde çıkartılmıştır. Bu profilleri oluşturmak için kullanılacak kumulların ve basamak yüksekliklerinin tespit edilmesi amacı ile 08.06.2012 ve 10.06.2012 tarihlerinde kıyı boyunca Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) GPS uygulaması ile ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Ölçümler Leica GS15 GNSS alıcıları kullanılarak, Real Time Kinematik Modda gerçekleştirilmiştir. Leica marka GNSS alıcılarından sabit istasyon ilk olarak ‘Poligon 1’ noktasına kurulmuştur (Şekil 3.32). Kumul yüksekliklerinin belirlenmesi amacı ile gezici alıcı olarak ayarlanan diğer Leica GS15 ile sahildeki noktalar ölçülmüştür (Şekil 3.33, Şekil 3.36).

GNSS alıcıları arası iletişim radyo frekansı üzerinden kurulduğu için yaklaşık 5km’ lik belirli çekim mesafesine sahiptir. Ölçüm yapılacak bazı noktalar bu radyo mesafesinin dışında kaldığından sabit GNSS alıcısı ‘Poligon 1’ noktasından ‘Poligon 2’ noktasına taşınarak ölçümlere devam edilmiştir.



Şekil 3.32 Leica sabit GNSS referans istasyonu; 1.poligon noktası



Şekil 3.33 Leica GS15 ile sahilde basamak ve kumullarda yapılan ölçümler



Şekil 3.34 Arazi çalışması alanına ait fotoğraflar



Şekil 3.35’de verilen çalışma alanı Kefken Harmankaya Burnundan Sakarya Nehri’nin Karadeniz’e döküldüğü yere kadar olan bölgede kıyı şeridinin gerisinde kalan kumullar üzerindeki farklı bitki türleri belirlenmiştir.



Şekil 3.35 Karasu bölgesi Denizköy’ de Karadeniz kıyısında bulunan kumullar ve bitki örtüsü



Ölçüm yapılan noktalara ait koordinat ve yükseklik değerleri verilmiştir (Çizelge 3.13). Tabloda verilen koordinatlar evrensel enlem merkatörü (UTM) cinsinden, yükseklik değerleri ise GPS'ten elde edilen elipsoid yükseklik değerlerinin ortometrik değerlere dönüştürülmesi ile elde edilmiştir (Şekil 3.36).



Şekil 3.36 Veri alınan noktalara ait Google Earth görüntüleri

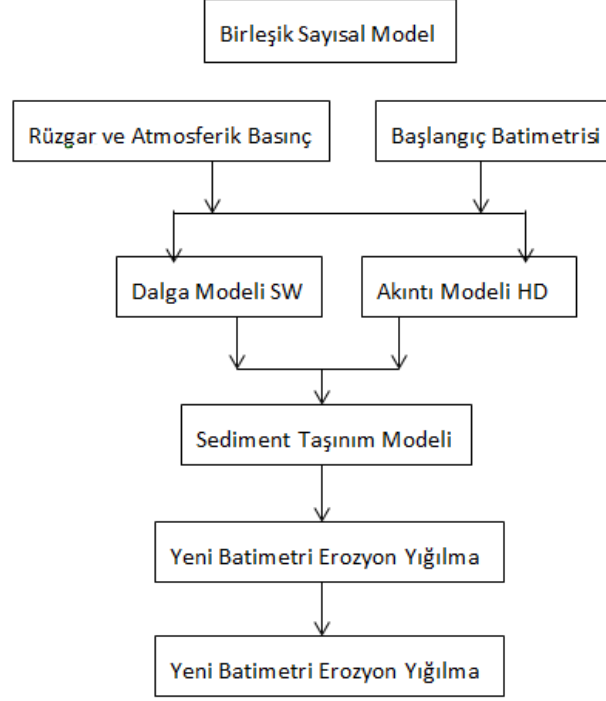
Çizelge 3.13 Verilere ait koordinat ve yükseklik değerleri

Nokta	Koordinat		Yükseklik (m)	Nokta	Koordinat		Yükseklik (m)
	Enlem	Boylam			Enlem	Boylam	
99	554122,959	4554819,941	3.648	404	545786,646	4556040,347	4.324
100	554122,878	4554825,314	2.963	405	545789,097	4556045,734	4.868
101	554123,362	4554831,555	2.672	406	545790,676	4556049,616	4.002
102	554123,630	4554841,002	1.839	407	545792,870	4556053,919	3.855
103	554124,105	4554848,770	1.392	408	545794,729	4556059,734	3.007
104	554123,562	4554853,550	1.175	409	545799,102	4556065,541	2.728
105	554125,611	4554862,504	1.028	410	545804,856	4556073,557	2.188
106	554125,042	4554859,483	1.004	411	545808,188	4556079,638	1.872
201	552007,012	4555133,426	3.730	412	545812,109	4556087,523	1.515
202	552008,813	4555138,272	4.134	413	545814,611	4556092,983	1.262
203	552009,644	4555141,555	4.520	414	545816,357	4556097,771	1.169
204	552009,560	4555146,082	4.443	415	545818,365	4556102,862	1.228
205	552010,731	4555149,337	3.957	416	545820,215	4556106,719	1.262
206	552011,427	4555152,482	4.023	417	545821,759	4556110,512	0.407
207	552011,555	4555154,102	4.444	501	543703,705	4556420,733	2.824
208	552011,916	4555155,675	4.564	502	543.704.097	4556424,126	3.723
209	552012,437	4555157,395	4.490	503	543703,882	4556431,749	3.843
210	552012,663	4555158,680	3.998	504	543703,790	4556438,452	4.290
211	552012,803	4555160,074	4.243	505	543704,118	4556445,310	4.673
212	552012,969	4555161,832	4.581	506	543704,281	4556448,137	4.931
213	552013,596	4555164,982	4.308	507	543704,928	4556449,933	4.076
214	552014,182	4555168,566	3.309	508	543704,568	4556452,239	2.552
215	552014,735	4555171,154	2.456	509	543705,509	4556457,392	1.743
216	552016,794	4555178,720	1.928	510	543706,122	4556463,166	1.240
217	552017,857	4555183,736	1.668	511	543707,160	4556468,173	0.974
218	552018,691	4555187,794	1.382	512	543708,066	4556474,597	0.842
219	552019,079	4555192,252	1.195	513	543708,728	4556477,156	0.447
221	552019,565	4555194,064	0.736	514	543708,803	4556478,330	0.315
301	547599,345	4555781,282	3.233	601	541638,344	4556637,582	9.365
302	547602,444	4555788,524	3.308	602	541640,149	4556645,504	9.499
303	547604,431	4555794,481	4.412	603	541641,495	4556656,459	9.540
304	547604,898	4555797,362	4.521	604	541641,259	4556671,871	9.431
305	547605,066	4555799,050	4.608	605	541642,708	4556691,268	8.858
306	547605,149	4555801,079	4.074	606	541639,450	4556700,763	8.400
307	547605,387	4555802,511	3.898	607	541636,670	4556714,357	7.413
308	547605,348	4555803,961	3.940	608	541609,982	4556851,247	5.138
309	547605,185	4555806,118	3.239	609	541.611.740	4556856,751	4.865
310	547605,019	4555807,968	2.203	610	541.614.252	4556864,057	4.086
311	547604,911	4555813,588	1.723	611	541621,257	4556877,074	3.130
312	547605,078	4555817,363	1.443	612	541623,065	4556882,057	2.970
313	547605,656	4555823,639	1.192	613	541626,656	4556890,106	2.308
314	547605,986	4555832,005	0.954	614	541629,239	4556897,264	1.909
315	547605,945	4555840,083	1.115	615	541.632.688	4556905,730	1.474
316	547606,498	4555845,958	1.052	616	541636,511	4556924,304	0.320
317	547606,817	4555848,747	0.647	Poligon 2	547508,649	4555755,329	3.398
401	545784,013	4556019,478	2.857	Poligon 1	552800,280	4554622,959	2.033
402	545782,172	4556028,791	3.442				
403	545784,571	4556034,736	4.018				

### KARASU KIYI ALANI MORFOLOJİSİNİN MODELLENMESİ

Bölüm 2.5’de çalıştırılan Karadeniz’e ait Hidrodinamik modelden elde edilen sınır koşullarının değerlendirilmesiyle Karasu kıyı alanının iyi anlaşılması için sınır koşulları tanımlanmış ve akıntı dalga koşulları birlikte gözönüne alınarak daha detaylı bir benzeşim yaratılmıştır. Bu amaçla Mike 21 Coupled Model FM (Birleşik Model) kullanılmıştır.

Model kurulumunda hidrodinamik modülün yanısıra spektral dalga ve katı madde taşınım modülünde kullanılmıştır. Mike 21 Sediment Transport modülü, kıyılarda kohezif olmayan katı madde (kum) taşınım miktarlarını belirlemektedir. Aynı zamanda bu modül akıntı ve su seviyelerini HD simülasyonundan alırken dalga alanını da SW modelinden almaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Birleşik model akış diyagramı

#### 4.1 MIKE 21 SW Spektral Dalga Modelleme Yazılımı

Ağırlık dalgalarının dinamiği, dalga hareketinin yoğunluğuna ait taşınım denklemiyle tanımlanmaktadır. Küçük ölçekli uygulamalar için temel taşınım genellikle kartezyen koordinatlar için formüle edilmiştir. Küresel kutupsal koordinatlar ise büyük ölçekli uygulamalar için kullanılmaktadır. Dalga hareket yoğunluğu spektrumu iki dalga faz parametresi fonksiyonu olup zaman ve alanda değişim göstermektedir. İki dalga faz parametreleri, dalga numarası vektörü ( $\vec{k}$ ) ve büyüklüğü ( $k$ ) ile dalga yönü ( $\theta$ ) olabilir. Ayrıca dalga faz parametreleri dalga yönü ( $\theta$ ) ile birlikte ya göreceli açısız frekans ( $\sigma=2\pi f_r$ ) ya da mutlak açısız frekans ( $\omega=2\pi f_a$ ) olabilmektedir. Burada sunulan modelin düzenlenmesinde parametre olarak dalga yönü ( $\theta$ ) ve göreceli açısız frekans ( $\sigma$ ) seçilmiştir. Hareket yoğunluğu,  $N(\sigma,\theta)$ , enerji yoğunluğu  $E(\sigma,\theta)$  ile ilişkilidir.

$$N = \frac{E}{\sigma} \quad (4.1)$$

Yavaş değişen derinliklerde ilerleyen dalgalar ve akıntı ile göreceli açısız frekans (akıntı hızıyla hareket eden referans bir bölge içerisinde gözlemlendiği gibi) ve mutlak açısız frekans (sabit bir bölge içerisinde gözlemlendiği gibi) arasındaki ilişki aşağıdaki lineer dispersiyon ifadesi ile verilmiştir [21].

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh(kd)} = \omega - \vec{k} \cdot \vec{U} \quad (4.2)$$

Burada  $g$ , yerçekimi ivmesini,  $d$ , su derinliğini ve  $\vec{U}$  akıntı hız vektörünü tanımlamaktadır. Dalga enerjisine ait grup hızı büyüklüğünün ( $c_g$ ) akıntı ile ilişkisi aşağıda verilmiştir.

$$c_g = \frac{\partial \sigma}{\partial k} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \frac{\sigma}{k} \quad (4.3)$$

Dalgaya ait faz hızının ( $c$ ) akıntı ile ilişkisi aşağıdaki ifade ile gösterilmiştir.

$$c = \frac{\sigma}{k} \quad (4.4)$$

Frekans spektrumu değerleri, minimum frekans ( $\sigma_{\min}$ ) ve maksimum frekans ( $\sigma_{\max}$ ) arasında sınırlandırılmıştır. Frekans spektrumu, kesme frekansından düşük frekans değerleri için deterministik prognostik kısım ve kesme frekansında yüksek frekans değerleri için analitik diyagnostik kısım olarak ikiye ayrılmaktadır. Kesme frekansının dinamiği yerel rüzgar hızına ve ortalama frekansa bağlıdır. WAM Cycle 4 modelinde (WAMDI Grup, 1988), Komen vd. (1994) tarafından bu şekilde kullanılmıştır. Spektrumun deterministik kısmında ki dalga hareket yoğunluğu, sayısal yöntem kullanılarak taşınım denkleminin çözülmesiyle belirlenmektedir. Parametrik koşul uygulandığında, kesme frekansının üstü prognostik bölgenin limit değeri olmaktadır [21].

$$E(\sigma, \theta) = E(\sigma_{\min}, \theta) \left( \frac{\sigma}{\sigma_{\max}} \right)^{-m} \quad (4.5)$$

Burada  $m$ , sabit bir değeri göstermektedir. Kullanılan modelde  $m$  değeri 5 olarak alınmıştır. Maksimum prognostik frekans aşağıdaki gibi belirlenmektedir.

$$\sigma_{\text{kesme}} = \min \left[ \sigma_{\max}, \text{maks} \left( 2.5 \bar{\sigma}, 4 \sigma_{PM} \right) \right] \quad (4.6)$$

$\sigma_{\max}$ , deterministik dalga modelinde maksimum aralıklı (kesikli) frekans olarak kullanılmaktadır.  $\bar{\sigma}$ , ortalama göreceli frekansı,  $\sigma_{PM} = g/28u_{10}$  Pierson-Moskowitz ait tam gelişmiş dalga ( $U_{10}$  ortalama su seviyesinden 10m yukarıdaki rüzgar hızı) için pik frekansı tanımlamaktadır. Lineer olmayan taşınım hesaplamalarında diyagnostik koşul kullanılmaktadır. İntegral parametrelerinin hesaplanması ise kaynak fonksiyonlarında

uygulanmaktadır. Minimum frekans altındaki spektral yoğunluklar sıfır olarak kabul edilmektedir [21].

#### 4.1.1 Dalga Hareketi Korunum Denklemleri

Dalga hareketi denkleminin dengesini kontrol eden ifade, küresel koordinatlara göre formüle edilmiştir (Komen vd. (1994) ve Young, (1999)).

##### *Kartezyen Koordinatlar*

Yatay kartezyen koordinatlarda dalga hareketi için korunum denklemi aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$\frac{\partial \mathbf{N}}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v} \mathbf{N}) = \frac{S}{\sigma} \quad (4.7)$$

$N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$ , hareket yoğunluğunu,  $t$ , zamanı,  $\vec{x}(x, y)$ , kartezyen koordinatlarını ve  $\vec{v}$   $(c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$  ise  $\vec{x}$  alanında ilerleyen 4 boyutlu dalga grup hızını göstermektedir.  $\sigma$ ,  $\theta$  ve  $S$  enerji dengesi denklemi için kaynak olan ifadelerdir  $\nabla$ ,  $\vec{x}$ ,  $\sigma$  ve  $\theta$  alanındaki 4 boyutlu diferansiyel operatör olarak kullanılmaktadır. İlerlemeye ait 4 karakteristik hız aşağıda verilmektedir.

$$(c_x, c_y) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c}_g + \vec{U} \quad (4.8)$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial t} \left[ \frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \cdot \vec{N}_{\vec{x}} d \right] - c_g \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{u}}{\partial s} \quad (4.9)$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{u}}{\partial m} \right] \quad (4.10)$$

$s$ , dalga yönüne ait uzay koordinat ve  $m$  ise  $s$ 'ye ait dik doğrultudaki koordinatı göstermektedir.  $\nabla_{\vec{x}}$ ,  $\vec{u}$  alanındaki 2 boyutlu diferansiyel operatörü için kullanılmaktadır.

### **Küresel Koordinatlar**

Küresel koordinatlarda  $\hat{N}(\vec{x},\sigma,\theta,t)$ , korunmuş özellikler hareket yoğunluğudur. Burada,  $\vec{x}(\phi,\lambda)$  küresel koordinatları,  $\phi$ , enlemi ve  $\lambda$  ise boylamı göstermektedir. Hareket yoğunluğu  $\hat{N}$  ile normal hareket yoğunluğu  $N$  (normal enerji yoğunluğu  $E$ ) arasındaki ilişki  $\hat{N} d\sigma d\theta d\phi d\lambda = N d\sigma d\theta dx dy$  ifadesiyle veya aşağıdaki denklemlerle verilmektedir [21].

$$\hat{N} = NR^2 \cos \phi = \frac{ER^2 \cos \phi}{\sigma} \quad (4.11)$$

$R$  burada dünyanın yarıçapını belirtmektedir. Küresel koordinatlarda dalga hareket denge denklemi aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$\frac{\partial \hat{N}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \phi} c_\phi \hat{N} + \frac{\partial}{\partial \lambda} c_\lambda + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma \hat{N} + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta \hat{N} = \frac{\hat{S}}{\sigma} \quad (4.12)$$

Burada  $\hat{S}(\vec{x},\sigma,\theta,t) = SR^2 \cos \phi$  tüm kaynak ve kuyu fonksiyonudur. 4 karakteristik yayılma hızı:

$$c_\phi = \frac{d\phi}{dt} = \frac{c_g \cos \theta + u_\phi}{R} \quad (4.13)$$

$$c_\lambda = \frac{d\lambda}{dt} = \frac{c_g \sin \theta + u_\lambda}{R \cos \phi} \quad (4.14)$$

$$\left. \begin{aligned} c_\sigma &= \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[ \frac{\partial d}{\partial t} - \frac{d}{R} \left( \frac{1}{\cos \phi} \frac{du_\lambda}{u_\lambda} + \frac{du_\phi}{d\phi} - u_\phi \tan \phi \right) \right] \\ & - \frac{kc_g}{R} \left[ \cos \theta \left( \sin \theta \frac{du_\lambda}{d\phi} + \cos \theta \frac{du_\phi}{d\phi} \right) + \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \left( \sin \theta \frac{du_\lambda}{d\lambda} + \cos \theta \frac{du_\phi}{d\lambda} \right) \right] \\ & \left. - \cos \theta \tan \phi (u_\lambda \sin \phi + u_\phi \cos \theta) \right] \end{aligned} \right\} \quad (4.15)$$

$$c_{\theta} = \frac{d\theta}{dt} = \frac{c_g \sin \theta \tan \varphi}{R} + \frac{1}{Rk} \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left( \sin \theta \frac{\partial d}{\partial \varphi} - \frac{\cos \theta}{\cos \varphi} \frac{\partial d}{\partial \lambda} \right) + \frac{\sin \theta}{R} \left( \sin \theta \frac{\partial u_{\lambda}}{\partial \varphi} - \frac{\cos \theta}{\cos \varphi} \frac{\partial d}{\partial \lambda} \right) + \frac{\sin \theta}{R} \left( \sin \theta \frac{\partial u_{\lambda}}{\partial \varphi} + \cos \theta \frac{\partial u_{\varphi}}{\partial \varphi} \right) - \frac{\cos \theta}{R \cos \varphi} \left( \sin \theta \frac{\partial u_{\lambda}}{\partial \lambda} + \cos \theta \frac{\partial u_{\varphi}}{\partial \lambda} \right) \quad (4.16)$$

Burada  $(u_{\varphi}, u_{\lambda})$  ortalama derinliğe göre akıntı hızının  $\vec{U}$ 'ya ait bileşenlerini göstermektedir. Dalga yönü deniz için kabul edilen (kuzeyden başlayarak pozitif saat yönünde) rüzgarın esme yöndür.

#### 4.1.2 Kaynak Fonksiyonları

Enerji kaynağı (S), farklı olaylar sonucu meydana gelen kaynak fonksiyonların süperpozisyonunu temsil etmektedir.

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \quad (4.17)$$

Burada;

$S_{in}$  : rüzgardan alınan enerj

$S_{nl}$  : lineer olmayan dalga-dalga etkileşiminden dolayı meydana gelen dalga enerji taşınımı

$S_{ds}$  : köpüklenme (köpüklenme katsayısı) nedeniyle dalga enerji kaybı

$S_{bot}$  : taban sürtünmesinde kaynaklanan enerji kaybı

$S_{surf}$  : derinliğe bağlı kırılmalar sonucu dalga enerji kaybı

ile ifade edilmektedir [21].

#### **Rüzgar Girdisi**

Janssen (1989), Janssen vd. (1989) ve Janssen (1991) çalışmalarında rüzgardan kaynaklanan dalga üretiminin artış derecesinin ayrıca dalga yaşına da bağlı olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni deniz durumunun aerodinamik direnç ile ilişkili olmasıdır. Kaynak girdisi  $S_{in}$  aşağıda verilmiştir.

$$S_{in}(f, \theta) = \gamma E(f, \theta) \quad (4.18)$$



$\gamma$ , büyüme oranını temsil etmektedir. Janssen (1991) tarafından gözlenen dalga büyüme miktarının basit bir şekilde parametreleştirilmesi daha önce yaptığı ayrıntılı sayısal sonuçların bir eğri haline dönüştürülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu eğri uygun olan Snyder vd. (1981)'e ait gözlemler ile karşılaştırılmıştır. Janssen'in önerisi aşağıda verilmiştir.

$$\gamma = \varepsilon \beta \sigma x^2 \quad (4.19)$$

$\varepsilon$ , hava ve suyun yoğunluk değerlerinin oranını göstermektedir ( $\rho_a/\rho_w$ ).  $\sigma$  ise göreceli açısal frekansı tanımlamaktadır.  $x$  aşağıdaki eşitlikle verilmiştir [20].

$$x = \frac{u^*}{c} \cos(\theta, \theta_w) \quad (4.20)$$

Burada  $u^*$ , rüzgar sürtünme hızını,  $c$ , faz hızını ve  $\theta$  ile  $\theta_w$  sırasıyla dalga ve rüzgar yönünü göstermektedir. Sonuç olarak  $\beta$  aşağıdaki ifade ile verilmiştir.

$$\left. \begin{array}{l} \beta = \frac{1.2}{\kappa^2} \mu \ln^4 \mu \rightarrow \mu \leq 1 \\ \beta = 0 \rightarrow \mu > 1 \end{array} \right\} \quad (4.21)$$

$\kappa$ , Von Karman sabitini temsil etmekte olup, 0.41 değerini almaktadır.  $\mu$  ise boyutsuz kritik yüksekliği göstermektedir.

$$\mu = kz_c \quad (4.22)$$

Burada  $k$ , dalga numarasını göstermektedir.  $z_c$ , rüzgar hızı ile faz hızının birbirine eşit olduğu su seviyesi üzerindeki kritik yüksekliği tanımlamaktadır. Logaritmik rüzgar profili göz önüne alınacak olursa kritik yükseklik aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$z_c = z_o \exp(\kappa/x) \quad (4.23)$$

WAM içerisindeki mevcut uygulamadaki (4.20) aşağıdaki ifade şeklinde değiştirilmiştir.

$$x = \left( \frac{u^*}{c} + z_\alpha \right) \cos(\theta - \theta_w) \quad (4.24)$$

$z_a$  değeri 0.011 olarak alınmaktadır. Janssen'e göre bu, WAM ile uygun büyüme oranının elde edilmesini gerektirmektedir.

(4.21) ve (4.24) kullanılarak rüzgar girdisinden kaynaklanan büyüme derecesi aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \left( \frac{\rho_a}{\rho_w} \right) \left( \frac{1.2}{\kappa^2} \mu \ln^4 \mu \right) \sigma \left[ \left( \frac{u_*}{c} + z_a \right) \cos(\theta - \theta_w) \right]^2 && \rightarrow \mu \leq 1 \\ \gamma &= 0 && \rightarrow \mu > 1 \end{aligned} \right\} \quad (4.25)$$

Burada;

$$\mu = \kappa z_o \exp(\kappa/x) \quad (4.26)$$

Belirli rüzgar hızı ile yönü için, belirli bir frekans ile yöne sahip dalganın büyüme derecesi sürtünme hızına ( $u_*$ ) ve deniz pürüzlülüğüne ( $z_o$ ) bağlı olmaktadır.  $u_*$ 'ı hesaplamak amacıyla, Janssen aşağıdaki gibi rüzgar hızı ( $u(z)$ ) için logaritmik bir profil sunmuştur.

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \left( \frac{z + z_{ow}}{z_{ob} + z_{ow}} \right) \quad z_o = z_{ob} + z_{ow} \quad (4.27)$$

$z_{ob}$  modelleri kapiler ağırlık dalgalarına,  $z_{ow}$  modelleri ise kısa ağırlık dalgalarına etki etmektedir.  $z_{ob}$  aşağıdaki parametreler ile açıklanmaktadır.

$$z_{ob} = z_{charnock} \frac{u_*^2}{g} \quad (4.28)$$

$z_{charnock}$ , Charnock parametresini göstermektedir.  $z_{charnock}$ 'nin burada varsayılan değeri 0.01'dir. Genellikle  $z \gg z_{ow}$  olmaktadır ve bu durumda;

$$u_* = \frac{\kappa u(z)}{\ln \left( \frac{z}{z_o} \right)} \quad (4.29)$$

$u_*$  ve  $z_c$ 'ı hesaplamak için farklı üç formül model içerisinde uygulanmaktadır.

#### ***Ayrık Modelde Kullanılan Direnç Yasası***

Burada  $z = z_{rüzgar}$  seviyesindeki rüzgar hızı ( $U_w = u(z)$ ) ile rüzgar sürtünme hızı arasındaki ilişki aşağıdaki basit ampirik formül ile verilmektedir [16].

$$u_*^2 = C_D \cdot U_w^2, C_D = \alpha_{drag} + \beta_{drag} + U_w \quad (4.30)$$

$a_{\text{drag}}$  ve  $\beta_{\text{drag}}$  sabit değerlerdir. Smith ve Banke (1975) tarafından kabul edilen değerler  $z_{\text{rüzgar}} = 10\text{m}$ ,  $a_{\text{drag}} = 6.3 \times 10^{-3}$  ve  $\beta_{\text{drag}} = 6.6 \times 10^{-5}$  'dir. Bu durumda denklem (4.29) kullanılarak elde edilen deniz pürüzlülüğü aşağıda verilmektedir.

$$z_o = z_{\text{rüzgar}} \exp\left(\frac{\kappa U_w}{u_*}\right) \quad (4.31)$$

### ***Ayrık Modelde Kullanılan Charnock***

$z_{ow}$  değerinin  $z_{ob}$  değerine nazaran küçük olduğu varsayıldığında hava pürüzlülüğü aşağıda verilen ifade ile gösterilmektedir.

$$z_o = z_{ob} = z_{\text{charnock}} u_*^2 / g \quad (4.32)$$

$z = z_{\text{rüzgar}}$  seviyesinde verilen rüzgar hızı ( $U_w = u(z)$ ) ile (4.29) ve (4.32)'nin iteratif bir şekilde çözülmesi sonucu pürüzlülük mesafesini ve sürtünme hızını elde etmek mümkün olabilmektedir. Bu tür tekrarlayan hesaplamaların sayısını sınırlandırmada,  $U_w$ 'nin farklı kombinasyonları için  $\tau$  değerleri ön hesapları yapılarak saklanabilmektedir.  $U_w$  kullanım aralığı: 0-50m/s aralığında 0.5m/s'dir [21].

### ***Birleşmiş Model***

Deniz pürüzlülüğü aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$z_o = z_{ob} + z_{ow} = z_{ob} \left(1 - \frac{\tau_w}{\tau}\right)^{-1/2} = \frac{z_{\text{charnock}} u_*^2}{g} \left(1 - \frac{\tau_w}{\rho_{\text{hava}} u_*^2}\right)^{-1/2} \quad (4.33)$$

$\tau_w$  dalganın neden olduğu gerilmeyi,  $\tau$  ise toplam gerilmeyi ( $\tau = \rho_{\text{hava}} u_*^2$ ) göstermektedir.

$z = z_{\text{rüzgar}}$  seviyesinde verilen rüzgar hızı ( $U_w = u(z)$ ) ve dalganın neden olduğu gerilme ile denklemler (4.29) ve (4.33)'ün iteratif bir şekilde çözülmesi sonucu  $u_*$ 'in elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu tür tekrarlayan hesaplamaların sayısını sınırlandırmada,  $U_{10}$  ve  $\tau_w$ 'nin farklı kombinasyonları için  $\tau$  değerleri ön hesapları yapılarak saklanabilmektedir.  $U_{10}$ 'un kullanım aralığı: 0-50 m/s aralığında 0.5 m/s'dir.  $\tau_w$  için kullanım aralığı: 0-5  $\text{m}^2/\text{s}^2$  aralığında 0.05  $\text{m}^2/\text{s}^2$ 'dir.

Dalganın neden olduğu gerilme aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [21].

$$\tau_w = \int \frac{\partial \vec{P}}{\partial t} \Big|_{\text{rüzgar}} df d\theta \quad (4.34)$$

Burada  $\vec{P}$ , dalga momentumunu göstermektedir ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\vec{P} = \rho_w \sigma E(f, \theta) \vec{t} \quad (4.35)$$

$\vec{t}$  dalga yönü ( $\vec{t} = \vec{k}/k$ ) boyunca olan birim vektörü göstermektedir. (4.18) kullanılarak elde edilen

$$\frac{\partial \vec{P}}{\partial t} = \rho_w \sigma \frac{\partial E}{\partial t} \Big|_{\text{rüzgar}} \vec{t} = \rho_w \sigma \gamma F \vec{t} \quad (4.36)$$

$\gamma$ , rüzgar nedeniyle dalgadaki büyüme derecesini göstermektedir. İntegralin düşük ve yüksek frekanslı kısımlara bölünmesiyle elde edilen formül aşağıda verilmektedir.

$$\vec{\tau}_w = \vec{\tau}_{w, \text{prognostik}} + \vec{\tau}_{w, \text{diyagnostik}} \quad (4.37)$$

Burada;

$$\vec{\tau}_{w, \text{prognostik}} = \int_0^{f_{\text{maks}}} \int_{\zeta} \rho_w \gamma E 2\pi f df d\vec{\theta} \quad (4.38)$$

$$\vec{\tau}_{w, \text{diyagnostik}} = \int_{f_{\text{maks}}}^{\infty} \int_{\theta} \rho_w \gamma E 2\pi f df d\vec{\theta} \quad (4.39)$$

$f_{\text{maks}}$ , maksimum prognostik frekansı tanımlamaktadır.

Prognostik kısım ( $\vec{\tau}_{w, \text{prognostik}}$ ) kesikli spektrum kullanılarak denklem(4.38)'deki sayısal integresyonun hesaplanmasıyla elde edilmektedir. Diyagnostik kısım  $\vec{\tau}_{w, \text{diyagnostik}}$  (4.5)'de verilen spektrum biçimi f-5 göz önüne alınarak hesaplanmaktadır. Bu yüksek frekanslı dalgalar için dalga hızı, derin sudaki dalgaya ait ifade ile hesaplanabilmektedir. Bu nedenle  $c = g/2\pi f$  'dir. (4.5) içerisine (4.25)'de m, değeri 5 alındığı şekli ile (4.39)'da yerine konduğunda elde edilen ifade aşağıda verilmektedir [21].

$$\vec{\tau}_{w, \text{diyagnostik}} = \frac{(2\pi)^4}{g^2} \cdot f_{\text{maks}}^5 \cdot \rho_a u_*^2 \int_{\theta} E(f_{\text{maks}, \theta}) \cos^2(\theta - \varphi) \cdot I_{\tau_w} d\vec{\theta} \quad (4.40)$$

Burada;

$$I_{\tau_w} = \int_{f_{\text{maks}}}^{\infty} \beta \frac{df}{f} \quad (4.41)$$

(4.41)'de kullanılan değişken  $f$ , yeni değişken  $y$  (karelerin ortalamasının karekökü ile tanımlanan boyutsuz pürüzlülük,  $(\sqrt{kz_o})$  ile değiştirildiğinde;

$$y = 2\pi f \sqrt{z_o/g} \quad (4.42)$$

Denklem yeniden yazıldığında (4.43)' de ki gibi olur.

$$I_{\tau_w} = \int_{y_{\text{maks}}}^1 \beta \frac{dy}{y} \quad (4.43)$$

$y_{\text{maks}}$  değeri  $2\pi f_{\text{maks}} \sqrt{z_o/g}$  ve en üst limiti 1.0'dir.  $z_{\text{ch}}$  değeri 0.0185 olarak alındığında üst limit, Pierson Moskowitz pik frekansının 180 katı olan frekansa karşılık gelmektedir.

(4.41) aşağıdaki gibi yeniden yazıldığında,

$$I_{\tau_w} = \int_{y_{\text{maks}}}^1 \frac{1.2}{\kappa^2} \mu \ln^4 \mu \frac{dy}{y} \quad (4.44)$$

Burada;

$$\mu = kz_o \exp(\kappa/x) = y^2 \exp(\kappa/x) \quad (4.45)$$

$$x = \left( \frac{u^*}{c} + z_a \right) \cos(\theta - \varphi) = \left( \frac{u^*}{\sqrt{gz_o}} y + z_a \right) \cos(\theta - \varphi) \quad (4.46)$$

(4.45); (4.46)'da yerine konduğunda aşağıda belirtilen ifade elde edilmektedir.

$$\mu = y^2 \exp \left\{ \frac{\kappa}{\left( \frac{u^*}{\sqrt{gz_o}} y + z_a \right) \cos(\theta - \varphi)} \right\} \quad (4.47)$$

Bu halde  $\vec{\tau}_{w,\text{diyagnostik}}$  aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$\vec{\tau}_{w,\text{diyagnostik}} = \frac{(2\pi)^4}{g^2} \cdot f_{\text{maks}}^5 \cdot \rho_a u_*^2 \int_{\theta=\varphi-\pi/2}^{\varphi+\pi/2} E(f_{\text{maks}}, \theta) \cos^2(\theta - \varphi) \cdot I_{\tau_w} d\theta \quad (4.48)$$

$I_{\tau_w}$ , (4.44) ile  $\mu$  ise (4.47) ile ifade edilmektedir.

(4.44) ve (4.47)'den açıkça görüldüğü gibi verilen  $z_o$ ,  $u^*$  ve  $(\theta - \varphi)$  değerleri için  $I_{\tau_w}(z_o, u^*, (\theta - \varphi))$  hesaplanabilmektedir.  $I_{\tau_w}$ 'in etkisini görebilmek amacıyla bağlı olduğu parametrelerin farklı değerleri için ön hesaplamaları yapılmalıdır. Aynı işlem  $\tau$  için de uygulanabilmektedir. Alternatif olarak,  $z_o = \alpha u_*^2 / g$  ise  $I_{\tau_w}, \alpha, u^*$  ve  $(\theta - \varphi)$  fonksiyonu olmaktadır. Bundan dolayı  $I_{\tau_w}$  için hesaplamalarda kullanılan parametre aralıkları verilmektedir:  $\alpha$  değeri 0.001 aralıklarla 0.01 → 0.11,  $u^*$  değeri 0.05 aralıklarla 0 → 0.5 m/s ve  $(\theta - \varphi)$  değeri  $\pi/12$  aralıklarla  $-\pi/2 @ \pi/2$  gitmekte olduğu gösterilmektedir [21].

Yukarıda açıklanan yöntemden belirgin farklılıklar göstermektedir bu da WAM Cycle versiyonun da uygulanmaktadır.

$$\overline{\tau_{w,diyagnostik}} = \frac{(2\pi)^4}{g^2} \cdot f_{maks}^5 \cdot \rho_a u_*^2 \int_{\theta=\varphi-\pi/2}^{\varphi+\pi/2} E(f_{maks}, \theta) \cos^3(\theta - \varphi) I'_{\tau_w}(\alpha, u_*) d\theta \overline{m} \quad (4.49)$$

Burada;

$$I'_{\tau_w}(\alpha, u_*) = \int_{y_{maks}}^1 \frac{1.2}{\kappa^2} \mu' \ln^4 \mu' \frac{dy}{y} \quad (4.50)$$

$$\mu' = y^2 \exp \left\{ \frac{\kappa}{\left( \frac{u_*}{\sqrt{gz_o}} y + z_\alpha \right)} \right\} \quad (4.51)$$

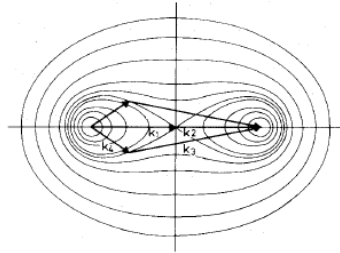
$\overline{m}$ , rüzgar yönüne ait birim vektörü göstermektedir. (4.51)'de kosinüs kısmının eksikliği hata olarak görülebilmektedir ((4.47) ve (4.51) kıyaslandığında). Bu hata  $\cos^2$  (4.48) yerine  $\cos^3$  (4.49) kullanılarak telafi edilememektedir. Buna ek olarak, neden yön olarak  $\overline{\tau_w}$  dalga yönü yerine rüzgar yönü alındığı açıklanamamaktadır. Bu sonuçların yazılması sırasında bir sonraki model için WAM uygulanmaktadır (4.49)'dan (4.51)'e kadar).

### ***Lineer Olmayan Etkileşimler***

$S_{nl}$  (Hasselmann, 1962) için lineer olmayan 3 boyutlu Boltzman integral ifadesine ait doğru bileşenleri genel sayısal dalga modeli ile çözümü çok zaman almaktadır. Bundan dolayı  $S_{nl}$ 'in parametreleştirilmesi gerekmektedir. Üçüncü nesil dalga modelleri çoğunlukla  $S_{nl}$ 'in parametreleştirilmesinde farklı etkileşim yaklaşımı DIA (Discrete Interaction Approximation) kullanılmaktadır. DIA yaklaşımı, Hasselmann vd. (1985) tarafından geliştirilmiştir. Aşağıdaki açıklama Komen vd. (1994)'den alınmıştır.

Hasselmann vd. (1985), lineer olmayan etkileşim operatörünü yakın ve sonlu mesafedeki etkileşim kombinasyonunu küçük sayıda olan farklı etkileşim yapılandırmasıyla birleştirerek oluşturmuştur. Lineer olmayan taşınımının orta düzeyli etkileşim yapılandırmasının sanal görüntü çifti ile iyi bir şekilde simülasyonunun yapılabileceğini bulmuşlardır. Her bir yapılandırmada iki dalga numarası eşit alındığında  $\vec{k}_1 = \vec{k}_2 = \vec{k}$ ,  $\vec{k}_3$  ve  $\vec{k}_4$  ( $1\vec{k}$ ) rezonans durumundan olayı  $\vec{k}$ 'ya ait açı üzerinde konumlanmaktadır.

İkinci yapılandırma, k eksenleri olarak  $\vec{k}_3$  ve  $\vec{k}_4$  görülmektedir (Şekil 4.2). Referans dalga numarası ölçüsü ve yönü dalga numarası alanı içerisinde devamlı değişime olanak vermektedir.



Şekil 4.2 Farklı etkileşim yaklaşımında kullanılan çift yönlü etkileşim yapılandırmaları  
Komen vd. [21]

Lineer olmayan operatörün sadeleştirilmesi taşınım integralinde kullanılan simetrik birleştirme yöntemi ile yapılmaktadır. Bunun dışında faz alanında 5 boyutlu etkileşim yerine 2 boyutlu sürekli ortam ve farklı etkileşimin birleştirilmesini üstlenmektedir. Enerji momentum ve hareket etkileşiminin korunumları tam olarak sağladığı durumdur.

Yapılandırılmalar için:

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= \omega_2 = \omega \\ \omega_3 &= \omega(1+\lambda) = \omega_+ \\ \omega_4 &= \omega(1-\lambda) = \omega_- \end{aligned} \right\} \quad (4.52)$$

Burada  $\lambda$  için hesaplamalarla yeterli uyumu göstermiş olan 0.25 değeri alınmaktadır. Rezonans durumundan dolayı  $k$ 'ya bağlı  $k_3(k_+)$  ve  $k_4(k_-)$  dalga numaralarına ait  $\theta_3$  ve  $\theta_4$  sırasıyla  $11.5^\circ$  ve  $-33.6^\circ$  olarak bulunmuştur.

Farklı etkileşim benzerliğinin en basit formu dalga numarası alanında zaman içerisinde hareket yoğunluğunun değişim oranı olarak belirtilmektedir.

Denge prensibine uygun olarak:

$$\frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} N \\ N_+ \\ N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2 \\ +1 \\ +1 \end{pmatrix} c_g^{-8} f^{-19} \left[ N^2 (N_+ - N_-) - 2NN_+N_- \right] \Delta k, \quad (4.53)$$

$\partial N / \partial t$ ,  $\partial N_+ / \partial t$ ,  $\partial N_- / \partial t$  dalga numarasının  $k$ ,  $k_+$ ,  $k_-$  farklı etkileşimler içerisindeki çok küçük faz-alan etkileşimi elementleri olan  $\Delta k$  ve  $C$  sabitleri dolayısıyla hareket oranlarındaki değişimi belirtmektedir.  $S_{nl}$  kaynak fonksiyonu (4.53)'ün tüm dalga numaraları, yönleri ve etkileşim yapılandırılmalarını çözmesiyle elde edilmektedir. Spektrum enerji yoğunluğunda ( $E(f_r, \theta)$ ), etkileşimde olan 3 dalga numarası için kaynak fonksiyonlarındaki ( $S_{nl}(f_r, \theta) (= \partial E / \partial t)$ ) artış aşağıda verilmektedir (Hasselmann vd. (1985)).

$$\left\{ \begin{aligned} \delta S_{nl} \\ \delta S_{nl+} \\ \delta S_{nl-} \end{aligned} \right\} = \begin{pmatrix} -2 \frac{\Delta f \Delta \theta}{\Delta f \Delta \theta} \\ (1+\lambda) \frac{\Delta f \Delta \theta}{\Delta f_+ \Delta \theta} \\ (1-\lambda) \frac{\Delta f \Delta \theta}{\Delta f_- \Delta \theta} \end{pmatrix} \varphi(f, E, E_+, E_-) \quad (4.54)$$

$$\varphi(f, F, F_+, F_-) = C' g^{-4} f^{11} \left[ E^2 \left( \frac{E_+}{(1+\lambda)^4} + \frac{E_-}{(1-\lambda)^4} \right) - \frac{2EE_+E_-}{(1-\lambda^2)^4} \right] \quad (4.55)$$



Denklemdede,  $C'$ ,  $C$  ile orantılı sayısal bir sabiti ifade etmektedir. Bu sabitin değeri 3.107 olarak verilmektedir.  $\Delta f, \Delta f_+, \Delta f_-$  sırası ile  $f_r, f_{r,+}, f_{r,-}$  'deki farklı spektral çözünürlüklerdir. Paydaki değişimler  $\Delta f / \theta$  farklı etkileşim faz-alan elemanını göstermektedir. Yukarıda  $\Delta f$  'ye bağlı olan olası bir frekansa izin verilmesine karşın,  $\theta_1, \theta_2$  ve  $\theta_3$  'deki açısal değişimler  $\Delta \theta$  aynı alınmaktadır, örneğin  $\Delta f_+ \neq \Delta f_- \neq \Delta f$ . (4.54) ağ kaynak fonksiyonunun ( $S_{nl}$ ) elde edilmesi için tüm frekansları, yönleri ve etkileşim yapılandırmalarını içermektedir [21].

Yukarıdaki analiz derin su için yapılmıştır. Rasgele su derinliği için tüm Boltzmann integralinin Hasselmann (1981) tarafından geliştirilen sayısal hesaplamaları, sonlu su derinliğinde ve derin sudaki transfer oranlarıyla ilişkili bir yaklaşımın olduğunu göstermektedir. Bu yaklaşımda verilen bir frekans-yön spektrumunu ve sonlu derinlik için transfer, sonlu olmayan bir derinlik için verilen transferle bir ölçeklendirme faktörü  $R$  haricinde benzerdir.

$$S_{nl}(\text{sonlu derinlik}) = R(\bar{k}h) S_{nl}(\text{sonlu olmayan derinlik}) \quad (4.56)$$

Denklemdede,  $\bar{k}$ , ortalama dalga numarasını ifade etmektedir. Bu ölçeklendirme ilişkisi,  $\bar{k}h > 1$  koşulu için geçerlidir. Ölçeklendirme faktörü kullanılarak yapılan kesin hesaplamalar gerçek değere yakın olarak elde edilebilmektedir.

$$R(x) = 1 + \frac{5.5}{x} \left(1 - \frac{5x}{6}\right) \exp\left(-\frac{5x}{4}\right) \quad (4.57)$$

$x = \left(\frac{3}{4}\right) \bar{k}h$  'dır. Bu yaklaşım WAM modelinde kullanılmaktadır.

Sabit frekans ağ aralığı için (4.54) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{Bmatrix} \delta S_{nl} \\ \delta S_{nl+} \\ \delta S_{nl-} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -2 \\ 1+\lambda \\ 1-\lambda \end{Bmatrix} f(f, E, E_+, E_-) \quad (4.58)$$

Logaritmik frekans ağ aralığı için ise (4.54) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\begin{Bmatrix} \delta S_{nl} \\ \delta S_{nl+} \\ \delta S_{nl-} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \phi(f, E, E_+, E_-) \quad (4.59)$$

Etkileşim dalga numarasındaki gradyan terimleri ( $\partial S_{nl}/\partial E$ )'ye olan katkılar aşağıdaki ifadeden elde edilmektedir.

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta(\partial S_{nl}/\partial E) \\ \delta(\partial S_{nl}/\partial E_+) \\ \delta(\partial S_{nl}/\partial E_-) \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} -2 \frac{\Delta f \Delta \theta}{\Delta f \Delta \theta} \cdot \frac{\partial f}{\partial E} \\ (1+\lambda) \frac{\Delta f \Delta \theta}{\Delta f_+ \Delta \theta} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial E_+} \\ (1+\lambda) \frac{\Delta f \Delta \theta}{\Delta f_- \Delta \theta} \cdot \frac{\partial f}{\partial E} \end{array} \right\} \quad (4.60)$$

(4.54)'de olduğu gibi verilen bir frekans  $f$  ve yön  $\theta$  için  $\partial S_{nl}/\partial E$ 'ye verilen toplam katkı, tüm yönler ve frekanslardan verilen katkıların toplanması ile bulunmaktadır.

Yukarıda verilen (4.54) ve (4.60)' in hesaplanmasından önce ilave varsayımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun nedeni, doğrusal olmayan etkileşimler için frekans-yön alanında  $(f, \theta)$ ,  $(f_+, \theta \pm \theta_3)$  ve  $(f_-, \theta \pm \theta_4)$  olarak tanımlanmış etkileşim dalga numarası ile enerji transferinin daima göz önünde bulundurulmasıdır. Frekanslar  $f_+$  ve  $f_-$  ise aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [21].

$$f_+ = (1+\lambda)f \quad (4.61)$$

$$f_- = (1-\lambda)f \quad (4.62)$$

(4.61) ve (4.62)' de yer alan  $\lambda$  0.25 değerini almaktadır. Frekans alanındaki ağ aralığının ise sonlu olmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayırıklaştırılmış frekans alanının iki sınırındaki (4.54) ve (4.60)' in değerlendirilmesiyle bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ancak  $f_+$ ' nin  $f_{maks}$ ' dan büyük ya da  $f_-$ ' nin  $f_1$ ' den büyük olması durumunda ne yapılmalıdır? Bu soruya cevap verebilmek için 2 duru ayrı ayrı ele alınır. Buna göre;

**Durum 1** :  $f_+ > f_{maks}$

İlk olarak  $f$ ' in  $f_{maks}$ ' dan büyük olduğu bölgede enerji spektrumunu  $f-5$  kuyruk frekansına sahiptir. Çünkü bu bölge tanımlayıcı bölgedir. İkinci olarak,  $f_{maks}$  civarında, modeldeki ayırıklaştırılmış maksimum frekanstan daha yüksek olan frekanslarda  $S_{nl}$ ' ye katkılar mevcuttur. Ayırıklaştırılmış frekans alanına enerji katkısı yapan maksimum frekans  $f_{maks}$  aşağıda verilen denklemin çözümüyle elde edilmektedir [21].

$$f_- = (1-\lambda)f_{üst} = f_{maks} \quad (4.63)$$

ya da

$$f_{\text{üst}} = f_{\text{maks}}/(1-\lambda) \quad (4.64)$$

Böylece,  $f_{\text{maks}}$  civarında  $S_{nl}$ ' ye olan katkıların doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için ayrıklaştırılmış frekans alanı,  $f_{\text{üst}}$  'e genişletilmektedir.

Durum 2 :  $f_- < f_1$

$f_-$  'in  $f_1$ 'den küçük olduğu bölgede  $E(f, \theta) = 0$  kabulü yapılmaktadır. Eğer ayrıklaştırılmış frekans alanı tüm frekansları içermek için dikkatli bir şekilde seçilmiş ise bu makul bir kabul olmaktadır.

Ayrıca,  $f_-$ 'in  $f_1$ 'den küçük olduğu bölgede  $E=0$  kabulü yapıldığından dolayı, ayrıklaştırılmış frekans alanına bu bölgeden gelen katkılar sıfır olmaktadır. Doğrusal olmayan kaynak teriminin çözümü aşamasında tekrarlanan hesaplamaları azaltmak amacıyla bir yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemin oluşturduğu beş adım sırasıyla aşağıda tanımlanmaktadır.

1. Her bir farklı yön için,  $\theta$  yön dizisindeki indisler  $\theta \pm \theta_3$  ve  $\theta \pm \theta_4$  'ün sağına ve soluna doğru hesaplanmaktadır [21].
2. Her bir farklı frekans için  $f_-$  genişletilmiş frekans alanındaki  $f_+ [(1+\lambda)f_-]$  ve  $f_- [(1-\lambda)f_-]$  'in sağına ve soluna doğru hesaplanmaktadır.
3. Her bir farklı frekans, yön ve yapılandırma için spektral enerji değerleri  $F(f_+, \theta \pm \theta_3)$ ,  $F(f_-, \theta \pm \theta_4)$  çift doğrusal interpolasyon kullanılarak belirlenmektedir.  $f-\theta$  ağının dört köşesindeki değerler yukarıda tanımlanan adım (1) ve (2)'den elde edilmiş indislerden yararlanılarak belirlenir [21].
4.  $F(f_+, \theta \pm \theta_3)$  ve  $F(f_-, \theta \pm \theta_4)$  'de  $S_{nl}$  ve  $\partial S_{nl}/\partial E$  'ye verilen hesaplanmış katkılar  $f-\theta$  ağının dört köşesinde farklı frekans-yön ağ noktalarına dağıtılmaktadır.
5. Yukarıda tanımlanan adım (3) ve (4)'de hesaplanmış olan  $\delta S_{nl}(f, \theta)$  ve  $\delta(\partial S_{nl}/\partial E)_{f, \theta}$  verilen katkılar, her bir  $f-\theta$  ağ noktasında  $S_{nl}(f, \theta)$  ve  $(\partial S_{nl}/\partial E)_{f, \theta}$  'yı elde etmek için tüm yapılandırma, yön ve frekanslarda toplanmaktadır.

### ***Köpüklenme***

Bir köpüklenme modelinin matematiksel gelişimi Hasselmann'ın 1974 yılında yapmış olduğu çalışmaya uzanmaktadır. Köpüklenme enerji kaybı için geliştirilen mekanizmanın basınç nedenli sönümlenmeden kaynaklandığı farzedilmektedir. Hasselmann (1974), spektral yoğunluk ve frekansın her ikisinde de lineer olan bir enerji kaybı kaynak fonksiyonu elde etmiştir [17].

$$S_{ds} \approx -\omega E \quad (4.65)$$

Ancak, daha sonra diğer mekanizmaların önemli olduğunun farkına varılmıştır. Bu mekanizmalar, köpüklenmenin boyutu ve büyük köpüklenme geçişleri tarafından kısa dalgaların dalga genliğindeki azalmadır. Bu süreçlerin bir araya getirilmesiyle, Komen vd. (1984) ortalama frekans terimlerinin formülleştirildiği bir enerji kaybı fonksiyonunu ileri sürmüştür. Bu ifade WAM grubu (1988) tarafından dalga numarasına göre sonlu su derinliğinde uygulanabilmesi için yeniden gözden geçirilmiştir.

$$S_{ds} = -C'_{ds} \left( \frac{\hat{a}}{\hat{a}_{PM}} \right) \frac{k}{\bar{k}} \bar{\sigma} E \quad (4.66)$$

Denklemden yer alan ;  $C'_{ds}$ , m ve n uyum parametreleri  $\bar{\sigma}$ , ortalama göreceli açısal frekans  $\bar{k}$ , ortalama dalga numarası  $\hat{a}$ , dalga alanının toplam dikliği  $\hat{a}_{PM}$ , ise Pierson-Moskowitz spektrumunu için  $\hat{a}$  değeridir. Toplam diklik ise aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\hat{a} = \bar{k} \sqrt{E_{top}} \quad (4.67)$$

$E_{top}$ , enerji spektrumunun toplam enerjisidir. Ayrıca  $\hat{a}_{PM} = (3.2 \times 10^{-3})^{-1/2}$ 'dir. WAM Cycle 3'de  $m=4$  ve  $C'_{ds} = 2.36 \times 10^{-5}$  olarak alınmaktadır (Komen vd. (1984) ve WAM (1988)).

Rüzgar girdisi için Janssen'in tanımının hesaba katılmasıyla birlikte yüksek frekanslardaki enerji kaybı ve rüzgar girdisi ile uygun bir denge yakalamak için enerji kaybı kaynak fonksiyonunun düzenlenmesine ihtiyaç duyulduğu ortaya konmuştur (Janssen vd. (1988)). Böylece (4.65) aşağıdaki gibi değiştirilmiştir (Komen vd. (1994)).

$$S_{ds}(f, \theta) = -C_{ds} \left( \frac{\hat{a}}{\hat{a}_{PM}} \right)^m \left\{ (1-\delta) \frac{k}{k} + \delta \left( \frac{k}{k} \right)^2 \right\} \bar{\sigma} E(f, \theta) \quad (4.68)$$

$C_{ds}, \delta$  ve  $m$  sabit değerlere sahiptirler. WAM Cycle 4'de  $C_{ds}, \delta$  ve  $m$  değerleri sırasıyla  $4 \times 10^{-5}, 0.5$  ve  $4$ 'dür. Mevcut uygulamalarda  $m=4$  iken ayarlanabilen sabitler  $C_{ds}^* = C_{ds} / (\hat{a}_{PM})^2$  ve  $\delta$ 'dir.  $C_{ds}^*$  ve  $\delta$  için önceden tanımlanmış değerler sırasıyla  $4.5$  ve  $0.5$ 'dir.

### ***Taban Sürtünmesi***

Taban sürtünmesi nedeniyle meydana gelen enerji kaybı oranı aşağıdaki denklem yardımıyla belirlenmektedir.

$$S_{bot}(f, \theta) = - \left( C_f + f_c \frac{(\bar{u}k)}{k} \right) \frac{k}{\sinh 2kd} E(f, \theta) \quad (4.69)$$

Yukarıdaki denklemde yer alan;

- $C_f$  : sürtünme katsayısını,
  - $k$  : dalga numarasını,
  - $d$  : su derinliğini,
  - $f_c$  : akıntı için sürtünme katsayısını,
  - $u$  : akıntı hızını
- tanımlamaktadır.

$C_f$  katsayısı genellikle akım koşulları ve tabana bağlı olarak  $0.001-0.01$  m/s olarak değişmektedir (Komen vd. (1994)).  $f_c$  katsayısı için ise taban sürtünmesi üzerindeki akıntı etkisi haricinde sıfır değeri uygundur.

Enerji kaybı katsayısı için olasılıkların belirlenmesi amacıyla oluşturulan dört model aşağıdaki gibi uygulanmaktadır.

1. Sürtünme katsayısı  $C_f$ , WAM modelinin yerel sürümleri ile test edilmektedir (Komen vd. (1994)). Bu durum,  $C_f = 2 \cdot 0.38/g = 0.0077$  m/s değerinin  $C_f$ 'nin ortalama JONSWAP değeriyle orta ölçekli fırtınalar için uygun olduğunu göstermektedir.  $C_f$  için önceden tanımlanmış değer  $0.0077$  m/s'dir.

2. Sürtünme katsayısındaki sabit sürtünme faktörü değeri aşağıdaki ifade yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$C_f = f_w u_b \quad (4.70)$$

Denklemdaki  $u_b$  ifadesi, tabandaki rms dalganın yörüngesel hızıdır ve aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$u_b = \left[ 2 \int_{f_1}^{f_{\text{maks}}} \int \frac{\overline{\sigma^2}}{\theta \sinh^2(kh)} E(f, \theta) d\theta df \right]^{1/2} \quad (4.71)$$

$f_w$  için verilen önceden tanımlanmış değer  $0.015 \times 2^{1/2} = 0.021$ 'dir.

3. Sabit geometrik pürüzlülük büyüklüğü  $k_N$ , Weber (1991) tarafından önerildiği gibi (4.70)'den hesaplanan sürtünme katsayısı yardımıyla belirlenmektedir. Sürtünme faktörü, Janssen ve Carlsen (1996) ifadesi kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\left. \begin{aligned} f_w &= e^{-5.977+5.213(a_b/k_N)^{-0.194}} && \rightarrow a_b/k_N \geq 2.016389 \\ f_w &= 0.24 && \rightarrow a_b/k_N < 2.016389 \end{aligned} \right\} \quad (4.72)$$

Burada  $a_b$ , tabandaki yörüngesel yerdeğiştirmeyi ifade etmekte ve aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$a_b = \left[ 2 \int_{f_1}^{f_{\text{maks}}} \int \frac{1}{\theta \sinh^2(kh)} E(f, \theta) d\theta df \right]^{1/2} \quad (4.73)$$

$k_N$  için önceden tanımlanmış değer 0.04m'dir.

4. Hareketli bir taban için tabandaki sabit bir ortalama tane çapı  $D_{50}$  kullanılmaktadır. Bu yaklaşım ilk olarak, Tolman (1996) tarafından geliştirilen üçüncü nesil rüzgar-dalga modelinde kullanılmıştır. Bununla birlikte, günümüz uygulamaları Tolman (1996)'nın formülasyonundan çok farklıdır. Dalgacık boyutlarının belirlenmesi için kullanılan Grant ve Madsen modeli yerine saha ölçümlerine dayanan Nielsen (1979) ampirik ifadesi kullanılmaktadır. Daha sonra Swart (1976) tarafından önerilen ifade kullanılarak taban pürüzlülüğü hesaplanmaktadır. Son olarak, taban yörüngesel hızı ve dalga sürtünme faktörünün bir sonucu olarak sürtünme katsayısına ulaşılmaktadır (Jonsson ve Carlsen (1996) ifadesi kullanılarak).  $D_{50}$  için kullanılan önceden tanımlanmış değer ise 0.00025 m'dir [21].

### ***Dalga Kırılması***

Derinlik etkili kırılma dalgaların çok sığ bölgelerde ilerlemesi esnasında meydana gelmektedir. Battjes ve Janssen (1978) tarafından elde edilen dalga kırılma formülasyonu kullanılmaktadır. Kaynak terim ise aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Eldeberky ve Battjes, 1996).

$$S_{\text{surf}}(f, \theta) = -\frac{2\alpha_{\text{BJ}}Q_b\bar{f}}{X} E(f, \theta) \quad (4.74)$$

Yukarıdaki denklemde;  $\alpha_{\text{BJ}}$ , kalibrasyon sabitidir ve değeri yaklaşık olarak 1.0'dir.  $Q_b$ , kırılan dalgaların sınıf aralığı  $\bar{f}$ , ortalama frekans  $X$  ise rasgele bir dalga katarındaki toplam enerjinin, maksimum olası dalga yüksekliğine sahip bir dalga katarındaki enerjiye oranı olarak tanımlanmaktadır. Aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$X = \frac{E_{\text{top}}}{\left(\frac{H_m^2}{8}\right)} = \left(\frac{H_{\text{rms}}}{H_m}\right)^2 \quad (4.75)$$

Denklemde;

$E_{\text{top}}$ ; toplam dalga enerjisini,  $H_m$ ; maksimum dalga yüksekliğini  $H_{\text{rms}}$  ise  $\sqrt{8E_{\text{top}}}$  yardımıyla hesaplanmaktadır.

Su derinliği  $d$  yardımıyla maksimum dalga yüksekliği  $H_m = gd$  ifadesi kullanılarak belirlenmektedir. Buradaki  $\gamma$  kırılma parametresidir. Kırılma parametresi değeri, dalga parametreleri ve kıyı eğimine bağlı olarak 0.5 ile 1.0 arasında değişmektedir.  $\alpha_{\text{BJ}}$  ve  $\gamma$  için önceden tanımlanmış değerler sırasıyla 1.0 ve 0.55'dir.

Dalga yüksekliğinin, kesikli Rayleigh dağılımına uyduğu rastgele bir dalga katarında kırılan dalgaların sınıf aralığı  $Q_b$  aşağıdaki ifade yardımıyla elde edilmektedir.

$$\frac{Q_b - 1}{\ln Q_b} = X = \left(\frac{H_{\text{rms}}}{H_m}\right)^2 \Leftrightarrow Q_b = \exp\left[\frac{-(1 - Q_b)}{\left(\frac{H_{\text{rms}}}{H_m}\right)^2}\right] \quad (4.76)$$

$Q_b$ 'ye, bir Newton-Raphson iterasyonu kullanılarak doğrusal olmayan (4.76)'nin çözümüyle ulaşılmaktadır. Doğrusal olmayan iterasyon için ilk tahmin olarak  $Q_b$ 'ye ait aşağıdaki ifade kullanılmaktadır [21].

$$\left. \begin{aligned}
Q_b &= (1 + 2x^2) \exp(-1/x) && \rightarrow x > 0.5 \\
Q_b &= 1 - (2.04z)(1 - 0.44z) \quad z = 1 - x; && \rightarrow 0.5 \leq 1 \\
Q_b &= 1 && \rightarrow x \geq 1
\end{aligned} \right\} \quad (4.77)$$

#### 4.2 MIKE 21 ST Sediment Taşınım Modeli

Mike 21 Sediment Taşınım modülü, kıyılarda kohezif olmayan katı madde taşınım miktarlarını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu modül ile sadece akıntı veya hem akıntı hem de dalga etkisinde katı madde taşınımı dikkate almak mümkündür.

Mike 21 ST modülü akıntı ve su seviyelerini HD simülasyonundan alırken dalga alanını da SW modelinden almaktadır. Taşınım miktarlarının yanısıra, benzetimler doğrudan taban seviyesi değişimlerini de verebilmektedir. Bu değişimler kıyı alanındaki potansiyel erozyon ve yığılma alanlarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Mike 21 Sediment taşınım modelinin bazı başlıca özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Sabit ya da uzamsal olarak değişim gösteren taban malzemesi tanımlamak mümkündür (median tane çapı ve derecelenmesi).
- Sadece akıntı etkisinde katı madde taşınımı modeli için Engelund-Hansen toplam yük taşınım teorisi, Engelund-Fredsøe toplam yük taşınım teorisi (sürüntü ve askı yükü olarak belirlenir), Zyserman- Fredsøe toplam yük taşınım teorisi (sürüntü ve askı yükü), Meyer-Peter-Müller sürüntü yükü taşınımı teorisi, Ackers-White toplam yük taşınım formülasyonu olmak üzere 5 farklı taşınım teorisi kullanılmaktadır.
- Akıntı ve Dalga etkisindeki modeller için DHI'nin deterministik intra-wave katı madde taşınımı modeli, STP ile Bijker'in toplam yük taşınım metodu olmak üzere iki simülasyon yöntemini içermektedir.
- STP model Mike 21 ST modülünde akıntıya göre farklı dalga ilerleme yönü tanımlayabilme, kırılan ve kırılmayan dalgalar arasında ayırım, taban malzemesini geometrik özellikleri tek bir tane çapı ya da tane çapı dağılımı eğrisi ile tanımlanabilmesi, düz/dalgacık kaplı taban ayırımı, dalga ve akıntının birarada olduğu problemlerde STP model kullanılırken iki boyutlu (2D) ya da kısmi-üç boyutlu katı madde taşınım modellerinden birini seçmek gibi



özellikleri sağlamaktadır ve çözüm için sonlu farklar tekniğini uygulamaktadır [22].

### ***Ackers-White Taşınım İfadesi***

Boyutsuz toplam yük taşınım oranı  $G_{gr}$  aşağıdaki gibi bulunmaktadır;

$$G_{gr} = C \left[ \frac{Fr}{A} - 1 \right]^m \quad (4.78)$$

Burada C, m ve A değerleri boyutsuz tane çapına ( $D_{gr}$ ) bağlı olarak değişen model parametreleridir.  $D_{gr}$ ;

$$D_{gr} = d \left[ \frac{g(s-1)}{v^2} \right]^{1/3} \quad (4.79)$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

d :tane çapı,

g :yerçekimi ivmesi,

s :taban malzemesinin rölatif yoğunluğu

$v$  :suyun kinematik viskozitesi

ile ifade edilir.

$F_{gr}$  ise katı madde hareketlilik parametresi olarak;

$$F_{gr} = \frac{U_f^n}{\sqrt{gd(s-1)}} \left[ \frac{V}{\sqrt{32 \log \left( \frac{10h}{d} \right)}} \right]^{1-n} \quad (4.80)$$

verilmektedir.

Burada  $U_f$  toplam sürüklenme hızını, h su derinliğini, V ortalama akıntı hızını göstermektedir. n değeri ise  $D_{gr}$  değerine bağlı kaba malzemeler için 0'dan, ince malzemeler için 1'e kadar değerler arasında seçilir.

Taşınım parametresi  $F_{gr}$ ;

$$F_{gr} = \frac{Xh}{sd} \left( \frac{U_f}{V} \right)^n \quad (4.81)$$

ile elde edilir. Burada X taşınan katı madde kütlesinin birim taşınan kütleyle oranıdır.

### ***Taban Pürüzlülüğü***

Taban pürüzlülük parametresi toplam sürüklenme hızı ile ortalama akıntı hızı arasındaki ilişkiyi göstermektedir (4.82). Bu parametre Manning sayısı cinsinden ifade edilmek istenilirse dönüşüm (2.17) ile yapılmaktadır [21].

$$U_f = \frac{\sqrt{g}}{C} V \quad (4.82)$$

### ***Bijker Taşınım Yöntemi***

Bijker Metoduna göre toplam katı madde miktarı ( $q_t$ ); sürüntü ( $q_b$ ) ve askı malzeme yükünün ( $q_s$ ) toplamı olarak bulunur (4.83) .

$$q_t = q_b + q_s = q_b(1 + 1.85Q) \quad (4.83)$$

Q boyutsuz integral faktörü olarak;

$$Q = \left[ I_1 \left( \frac{33h}{r} \right) + I_2 \right] \quad (4.84)$$

ile ifade edilir.

Burada;

r: taban pürüzlülüğü

$I_1$  ve  $I_2$ : herhangi bir referans seviyede boyutsuz  $A = r/h$  ve  $z^*$  değerlerinin geliştirilmesi ile elde edilen Einstein integralleridir.

$$z^* = \frac{w}{\kappa U_{f,wc}} \quad (4.85)$$

ile bulunmaktadır.

w: askıda katı malzemenin çökme hızını,  $\kappa$  von Karman sabitini (=0.40),  $U_{f,wc}$  dalga ve akıntı etkisinde kayma hızını temsil etmektedir.

Pürüzlülük (r) Chezy sayısı ile

$$C = 18 \log \left( \frac{12h}{r} \right) \quad (4.86)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Dalga ve akıntı etkisinde kayma hızı;

$$U_{f,wc} = U_{f,c} \sqrt{1 + \frac{1}{2} \left( \xi \frac{\hat{U}_b}{V} \right)^2} = \frac{\sqrt{gV}}{C} \sqrt{1 + \frac{1}{2} \left( \xi \frac{\hat{U}_b}{V} \right)^2} \quad (4.87)$$

ile elde edilmektedir. Burada;  $U_{f,c}$  akıntı etkisi altında kayma hızını,  $V$  ortalama akıntı hızını,  $U_b$  tabandaki yörüngesel dalga hızını,  $\xi$  dalga sürtünme katsayısı ( $f_w$ ) ve Chezy katsayısı ile ifade edilen boyutsuz Bijker parametresini temsil etmektedir.

$$\xi = C \sqrt{\frac{f_w}{2g}} \quad (4.88)$$

Swart'a göre  $f_w$  aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$1.47 < \frac{a_b}{r} < 3000 \rightarrow f_w = \exp \left[ -5.977 + 5.213 \left( \frac{a_b}{r} \right) \right] \quad (4.89)$$

$$\frac{a_b}{r} < 1.47 \rightarrow f_w = 0.32$$

$a_b$  dalga hareketinin yörüngesel genliği;

$$a_b = \frac{U_b T}{2\pi} \quad (4.90)$$

ile verilmek üzere  $a_b$  ve  $u_b$  lineer dalga teorisi yardımı ile ifade edilmiştir.

Sürüntü malzemesi taşınım formülü aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$q_b = B d_{50} U_{f,c} \exp \left( \frac{0.27 \Delta d_{50} g}{\mu U_{f,wc}^2} \right) \quad (4.91)$$

Burada  $\Delta$  katı malzemenin rölatif özgül kütlesi,  $\mu$  dalgacık faktörü olmak üzere aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

$$\Delta = s - 1 = \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \quad (4.92)$$

$$\mu = \left( \frac{C}{C'} \right)^{3/2} \quad (4.93)$$

$\rho_s$  katı malzemenin özgül kütlesi,  $\rho$  suyun özgül kütlesi ve  $C'$   $C_{90,d_{90}}$ 'ı esas alan Chezy katsayısıdır.

$$C' = 18 \log \left( \frac{12h}{d_{90}} \right) \quad (4.94)$$

### ***Engelund ve Fredsøe Taşınım Yöntemi***

Toplam katı madde miktarı ( $q_t$ ); sürüntü ( $q_b$ ) ve askı malzeme yükünün ( $q_s$ ) toplamı olarak bulunur.

$$q_t = q_b + q_s \quad (4.95)$$

Taşınan sürüntü malzemesi;

$$\theta' > \theta_c \rightarrow q_b = 5p \left( \sqrt{\theta'} - 0.07 \sqrt{\theta_c'} \right) \sqrt{(s-1)gd} \quad (4.96)$$

ile bulunmaktadır. Burada;

$p$ : tek bir tabakada hareket eden partikülün bulunma olasılığı,

$\theta'$ : sürtünme direncine karşılık gelen Shields parametresi,

$\theta_c$ : kritik Shields parametresi olmak üzere;

$$\theta' = \frac{U_f'^2}{(s-1)gd} \quad (4.97)$$

şeklinde bulunur.

$\beta$  dinamik sürtünme katsayısı olmak üzere  $p$  aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$p = \left[ 1 + \left[ \frac{\frac{\pi}{6} \beta}{\theta' - \theta_c} \right]^4 \right]^{-1/4} \quad (4.98)$$

Einstein (1950), sürüntü malzeme yükünü;

$$q_s = 11.6 U_f' c_b a \left[ I_1 \ln \left( \frac{30h}{k_N} \right) + I_2 \right] \quad (4.99)$$

ile vermiştir. Burada  $c_b$  askıdaki taban malzemesi konsatrasyonunu,  $U_f'$  sürtünme direncine karşılık sürüklenme hızını,  $a=2d$  olacak şekilde  $c_b$  için referans seviyeyi,  $k_N$  Nikuradse eşdeğerkum pürüzlülüğü olarak 2.5d'yi temsil etmektedir [21].

$I_1$  ve  $I_2$  integralleri referans seviyelerindeki  $A=a/h$  ve Rouse sayısı  $z=ws/\kappa U_f$  boyutsuzlarının fonksiyonudur. Tabandan su yüzeyine kadar olan mesafe  $y$  ile tanımlanmıştır.  $y=a$ 'dan  $y=h$ , su derinliğine kadar  $I_1$  ve  $I_2$  integre edilmektedir.

Engelund and Fredsøe  $c_b$  değeri için  $a=2d$ 'de ampirik bir ifade geliştirmiştir;

$$c_b = \frac{0.65}{(1+1/\lambda)^3} \quad (4.100)$$

Burada verilen linear konsantrasyon  $\lambda$ ;

$$\theta' > \theta_c + \pi p \beta / 6 \rightarrow \lambda = \sqrt{\frac{\theta' - \theta_c - \frac{\pi p \beta}{6}}{0.027 s \theta'}} \quad (4.101)$$

ile bulunmaktadır.

### ***Engelund ve Hansen Taşınım Yöntemi***

Boyutsuz toplam taşınım yükü  $\Phi_t$  aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\Phi_t = 0.1 \frac{C^2}{2g} \theta^{2.5} \quad (4.102)$$

$$\Phi_t = \frac{q_t}{\sqrt{(s-1)gd^3}} \quad (4.103)$$

Boyutsuz Shields parametresi  $\theta$  ifadesi (4.104) ile verilmiştir.

$$\theta = \frac{U_f^2}{(s-1)gd} \quad (4.104)$$

Bu ifadede Boyutsuz Shields parametresi ( $\theta$ ) taşınımın başlaması için tanımlanan kritik Shields parametresinden ( $\theta_c$ ) oldukça büyüktür.

Engelund ve Hansen'in geliştirdiği teori taban malzemesi özelliklerinden ortalama tane çapını ( $d_{50}$ ) kullandığı için  $\theta_c$  değeri modelde seçilememekte ancak  $d_{50}$  değeri girilebilmektedir.

### ***Meyer-Peter ve Müller Taşınım Yöntemi***

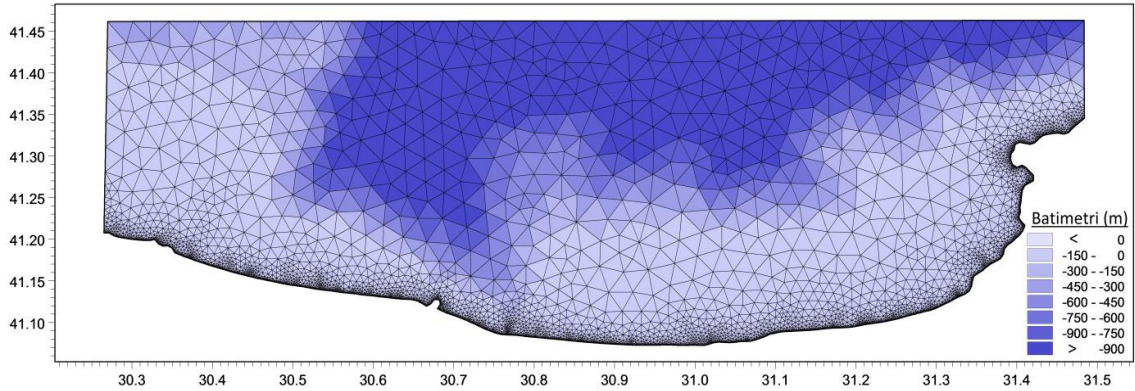
Meyer-Peter ve Müller taşınım ifadesine göre boyutsuz toplam taşınım yükü  $\Phi_t$  (4.103) ve (4.105) ile hesaplanmaktadır.

$$\Phi_b = 8(\theta' - \theta_c)^{1.5} \quad (4.105)$$

İnce malzeme ve/veya yüksek akıntı hızı etkisinde bu formül yerine Engelund ve Fredsøe taşınım teorisi veya Zyserman ve Fredsøe taşınım ifadesi kullanmak askıda taşınan malzemenin göz önüne alınması açısından daha uygundur.

### **4.3 Karasu Kıyı Alanı Mike 21/3 Birleşik Modelinin Kurulumu**

Modelin oluşturulmasında DHI Mike Zero Flexible Mesh Generator yazılımı kullanılarak elde edilen çok sayıda farklı yapılandırılmamış hesap ağları oluşturulmuştur. Oluşturulan bu farklı hesap ağları kıyı yakınlarında gerekli yerlerde inceltilecek, sonuçların doğruluğunun sağlanması ve modelin çalışma süresi arasında belli bir optimizasyonun elde edilmesi için denenmiştir. Denenen hesap ağları arasından seçilen hesap ağı model alanını üçgen elemanlara bölecek şekilde 5875 adet düğüm noktası ve 10322 elemandan oluşturulmuştur (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Karasu kıyı alanı model hesap ağı

Model elimizdeki veriler doğrultusunda bölgenin gerçekçi bir benzeşimini oluşturacak şekilde 01.09.2003 ile 12.09.2004 tarihleri arasındaki dönemi inceleyecek 1 yıllık bir süre için kurulmuştur. Bu süre modelin çalışma süresi de gözönüne alınarak belirlenmiştir.

Model kurulumunda hidrodinamik modül, spektral dalga ve kum taşınım modülleri birlikte kullanılmıştır.

Hidrodinamik modül girdilerinde Karadeniz Hidrodinamik modelinde kalibrasyonu daha önce sağlanmış veriler kullanılmıştır. Zaman aralığı minimum 0.01s ve maksimum 300s, kritik CFL sayısı ise 1'den küçük olacak şekilde 0.8 olarak alınmıştır. Suyun birim özgül ağırlığı sıcaklık ve tuzluluğa bağlı bir değişken olarak değil barotropik olarak alınmıştır. Yatayda eddy viskozitesi için Smagorinsky yaklaşımı seçilerek Smagorinsky sabiti olarak  $0.28\text{m}^2/\text{s}$  tanımlanmıştır. Eddy parametreleri olarak minimum eddy viskozitesi  $1.8\text{e}^{-006}$  maksimum eddy viskozitesi ise  $1010\text{ m}^2/\text{s}$  seçilmiştir. Modelde taban sürtünme direnci Manning sayısına bağlı olacak şekilde seçilen sabit değer  $32\text{ m}^{1/3}/\text{s}$  olarak alınmıştır. Coriolis etkisi ise hesap ağı üzerinde jeolojik özelliklere göre değişiklik gösterecek biçimde etkin olarak seçilmiştir.

Seçilen çalışma alanının doğu, batı ve kuzeyinde açık deniz sınır şartları ile kıyı alanı olmak üzere 4 ayrı hidrodinamik sınır tanımlanmıştır. Açık sınır şartlarında kullanılacak veriler daha önce çalıştırılan Karadeniz hidrodinamik modelinden alınmıştır.

Kum taşınım modülünde daha gerçekçi bir benzeşim oluşturabilmek için dalga ve akıntı etkisi birlikte göz önüne alınmıştır. Dalga verileri spektral dalga modülünden alınarak hesap yapılmıştır. Taşınım için önemli olan katı madde özellikleri için 3.4.1 bölümünde verilen deney sonuçları kullanılmıştır (Çizelge 3.11). Kum taşınım modülünde sınır koşulları 'zero sediment flux gradient' olarak belirlenmiştir.

Spektral dalga modülünde akıntı verileri Hidrodinamik modülden alınarak dönme, dalga kırılması, taban sürtünmesi etkileri gözönüne alınmıştır. Sınır koşulları için batı sınırı 'lateral boundary', doğu ve açık deniz sınır koşulları ise 'varying in time and along time' olarak tanımlanmıştır.

#### **4.4 Model Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Karasu bölgesi için elimizde yeterli ölçüm verisi bulunmadığından katı madde taşınımına ait model sonuçlarının kalibrasyon yapılamamış ancak Saraçoğlu E., [23] 'de yaptığı çalışmada dalga modeli ölçümleri ile, genel akıntı yapısı ise literatürde mevcut veriler ile kalibre edilerek doğrulanmıştır.

Kefken Babalı köyü'nden, Ereğli bölgesine kadar olan kıyı alanı boyunca modelden elde edilen sonuçlar Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 ile Şekil 4.1'de tanımlanan konumlarda



akıntı, dalga ve sediment gülleri ile verilmiştir. Sonuçları değerlendirebilmek amacı ile belirlenen konumlar 5, 20, 50 ve 100m derinlikleri için sırasıyla mavi, pembe, yeşil ve sarı yer imleri ile gösterilmiştir. Bu konumlara ait koordinat (X:enlem, Y:boylam olacak biçimde ondalık derece cinsinden) ve derinlik değerleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.4 Sakarya nehrinin batısında incelenen kıyı alanı üzerindeki noktalar



Şekil 4.5 Sakarya nehrinin doğusunda incelenen kıyı alanı üzerindeki noktalar

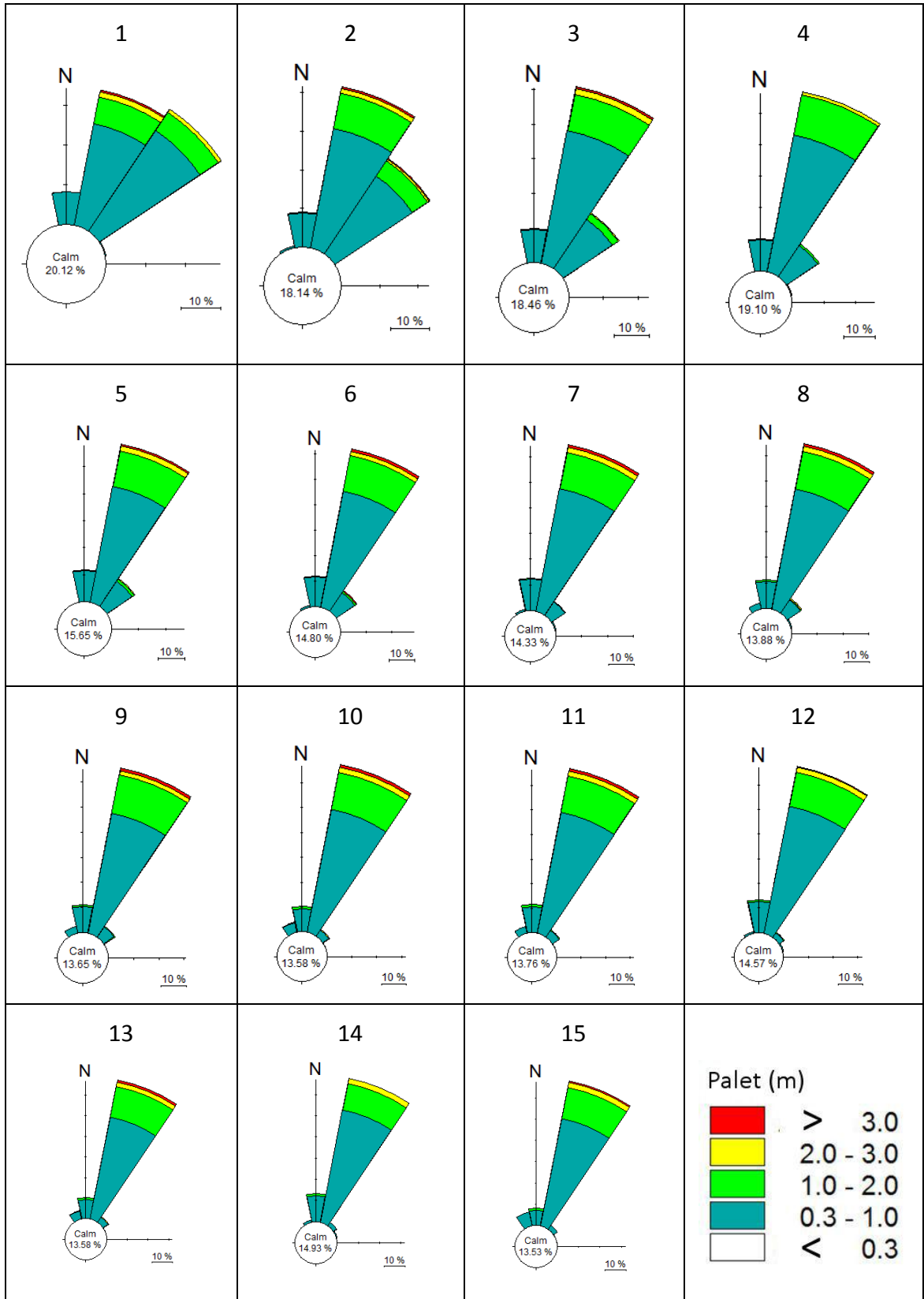


Çizelge 4.1 İncelenen kıyı alanı üzerindeki noktalara ait koordinat ve derinlik değerleri

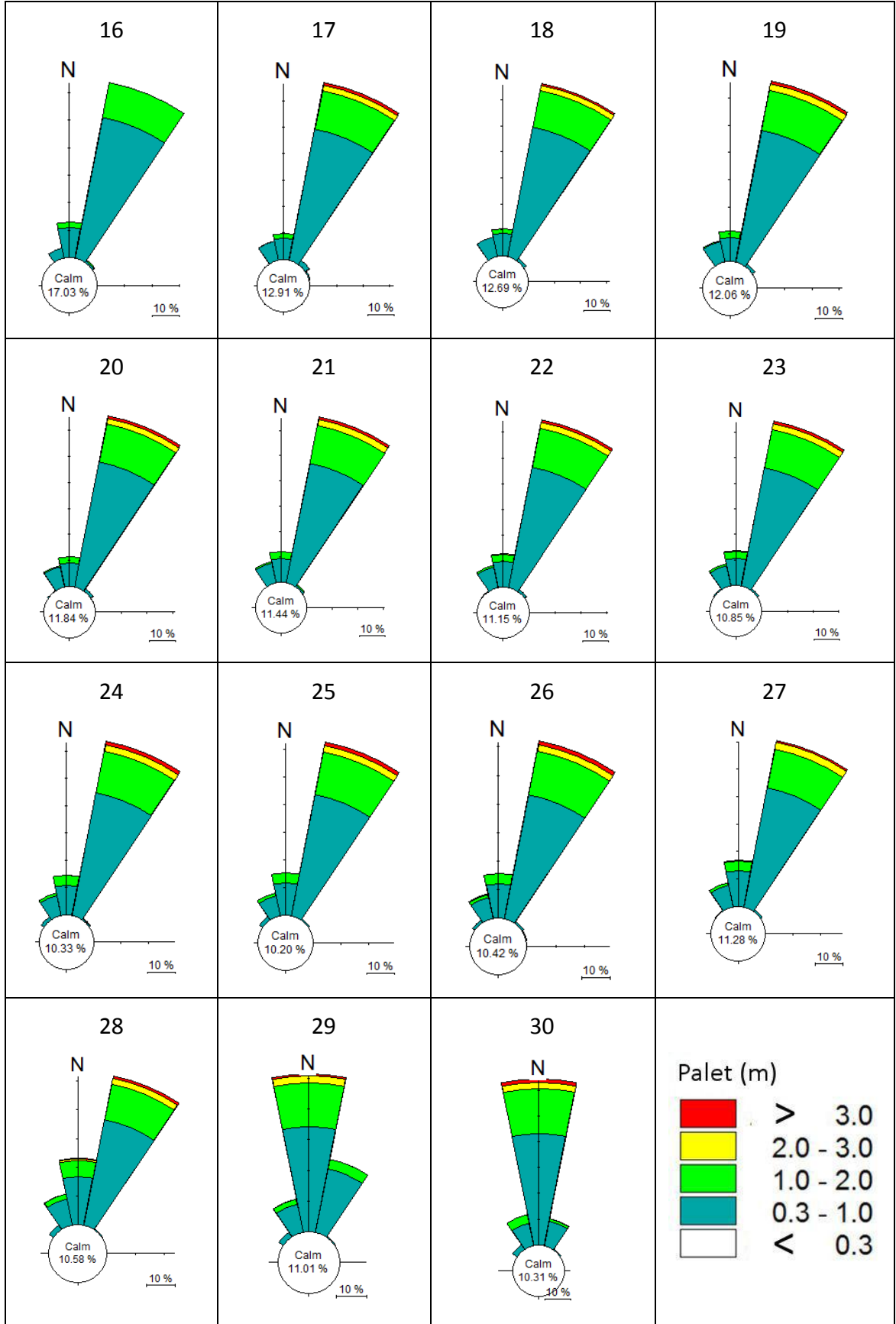
Konum	°	Derinlik (m)				Konum	°	Derinlik (m)			
		-5	-20	-50	-100			-5	-20	-50	-100
1	X	41.183	41.190	41.222	41.311	22	X	41.133	41.145	41.163	41.191
	Y	30.360	30.365	30.380	30.440		Y	30.600	30.602	30.604	30.610
2	X	41.179	41.187	41.214	41.307	23	X	41.131	41.144	41.164	41.186
	Y	30.370	30.377	30.392	30.450		Y	30.612	30.614	30.617	30.621
3	X	41.175	41.18	41.210	41.302	24	X	41.130	41.145	41.166	41.182
	Y	30.381	30.396	30.401	30.456		Y	30.624	30.626	30.628	30.630
4	X	41.171	41.175	41.200	41.297	25	X	41.129	41.143	41.164	41.178
	Y	30.393	30.396	30.410	30.460		Y	30.635	30.638	30.646	30.640
5	X	41.169	41.175	41.197	41.280	26	X	41.128	41.142	41.160	41.172
	Y	30.403	30.410	30.421	30.467		Y	30.647	30.648	30.650	30.650
6	X	41.165	41.173	41.192	41.232	27	X	41.128	41.137	41.140	41.147
	Y	30.414	30.418	30.432	30.460		Y	30.651	30.656	30.658	30.662
7	X	41.162	41.169	41.189	41.228	28	X	41.109	41.122	41.126	41.129
	Y	30.426	30.433	30.442	30.464		Y	30.703	30.712	30.720	30.720
8	X	41.160	41.168	41.184	41.229	29	X	41.09	41.093	41.099	41.121
	Y	30.437	30.442	30.451	30.474		Y	30.766	30.764	30.774	30.787
9	X	41.156	41.165	41.178	41.229	30	X	41.085	41.096	41.119	41.194
	Y	30.450	30.455	30.464	30.481		Y	30.815	30.816	30.820	30.850
10	X	41.154	41.162	41.176	41.227	31	X	41.076	41.091	41.115	41.201
	Y	30.460	30.466	30.474	30.496		Y	30.873	30.876	30.881	30.890
11	X	41.151	41.160	41.173	41.229	32	X	41.074	41.089	41.117	41.216
	Y	30.471	30.476	30.482	30.504		Y	30.933	30.936	30.941	30.938
12	X	41.149	41.155	41.170	41.226	33	X	41.080	41.091	41.122	41.189
	Y	30.483	30.485	30.492	30.511		Y	30.992	30.995	30.999	31.000
13	X	41.147	41.156	41.168	41.221	34	X	41.080	41.094	41.127	41.209
	Y	30.494	30.499	30.504	30.524		Y	31.054	31.055	31.057	31.056
14	X	41.145	41.151	41.166	41.218	35	X	41.090	41.105	41.137	41.111
	Y	30.506	30.500	30.515	30.532		Y	31.109	31.110	31.110	31.100
15	X	41.143	41.153	41.164	41.215	36	X	41.095	41.112	41.148	41.213
	Y	30.517	30.520	30.564	30.538		Y	31.168	31.170	31.172	31.166
16	X	41.142	41.145	41.163	41.209	37	X	41.101	41.117	41.160	41.244
	Y	30.529	30.530	30.534	30.546		Y	31.227	31.226	31.222	31.250
17	X	41.140	41.150	41.161	41.209	38	X	41.114	41.133	41.178	41.287
	Y	30.541	30.545	30.547	30.560		Y	31.284	31.283	31.270	31.250
18	X	41.139	41.147	41.162	41.212	39	X	41.136	41.162	41.198	
	Y	30.553	30.558	30.561	30.568		Y	31.335	31.332	31.322	
19	X	41.137	41.149	41.161	41.197	40	X	41.181	41.198	41.208	
	Y	30.564	30.567	30.570	30.581		Y	31.382	31.368	31.340	
20	X	41.136	41.147	41.162	41.192	41	X	41.206	41.218	41.224	
	Y	30.577	30.580	30.583	30.592		Y	31.404	31.384	31.350	
21	X	41.134	41.146	41.162	41.193	42	X		41.254	41.270	
	Y	30.588	30.590	30.593	30.598		Y		31.392	31.368	

#### **4.4.1 Dalga İklimi**

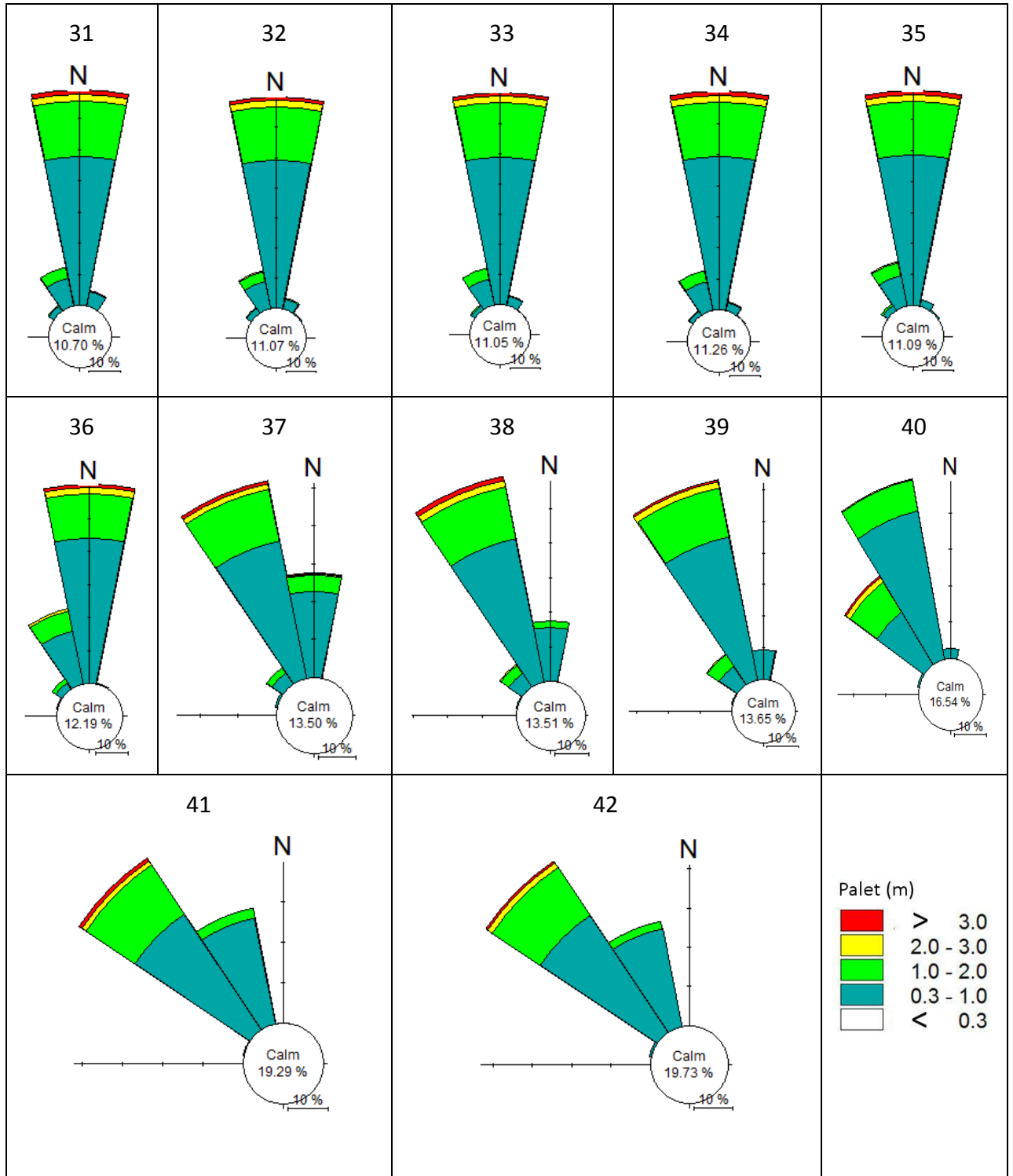
Karasu kıyı alanında dalga iklimi Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13'de gösterilen -20 m, -50 m ve -100 m'de elde edilmiş dalga gülleri incelenerek tanımlanmıştır. Her üç derinlikte de Sakarya nehri ağzının (29 nolu nokta) batısında etkin dalga yönünün NNE ve NE olduğu, akarsu ağzından doğuya doğru yön değiştirerek Akçakoca'ya kadar (36 nolu nokta) etkin yön N ve bu konumdan Ereğli'ye kadar ise NNW ile NW olduğu görülmektedir. Bu yönler kıyıya oldukça diktir.



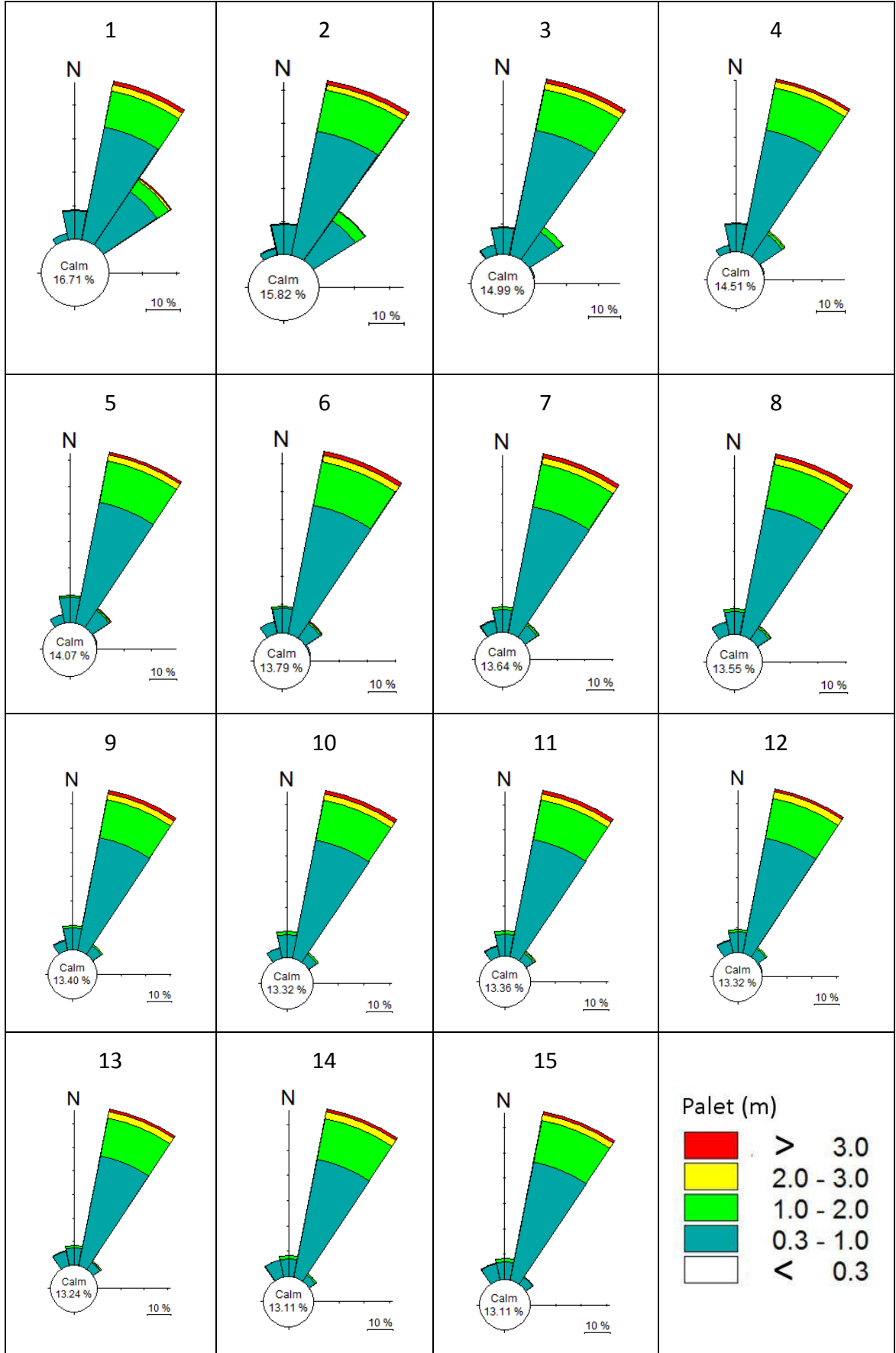
Şekil 4.6 20m derinlikteki dalga gülleri



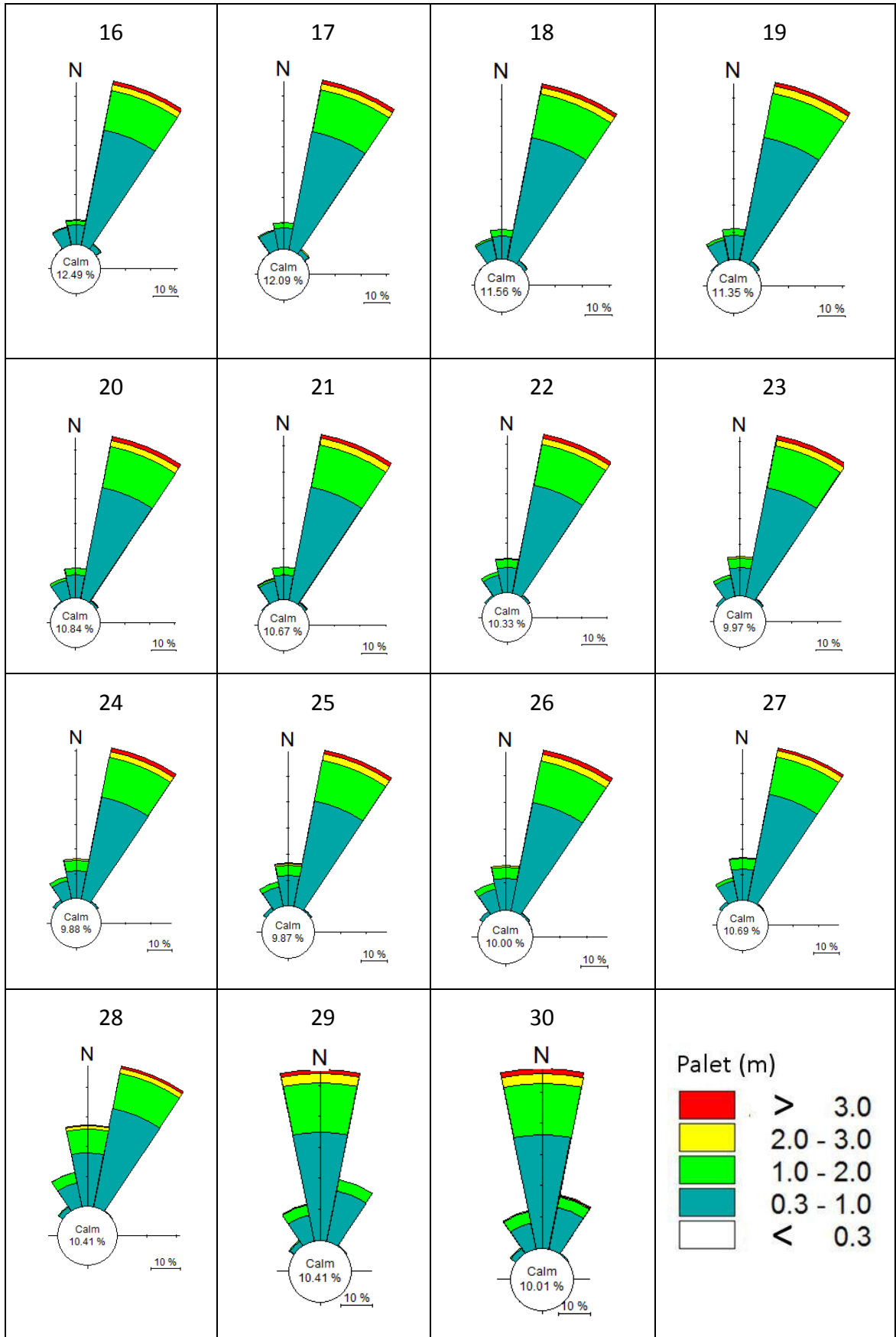
Şekil 4.7 20m derinlikteki dalga gülleri



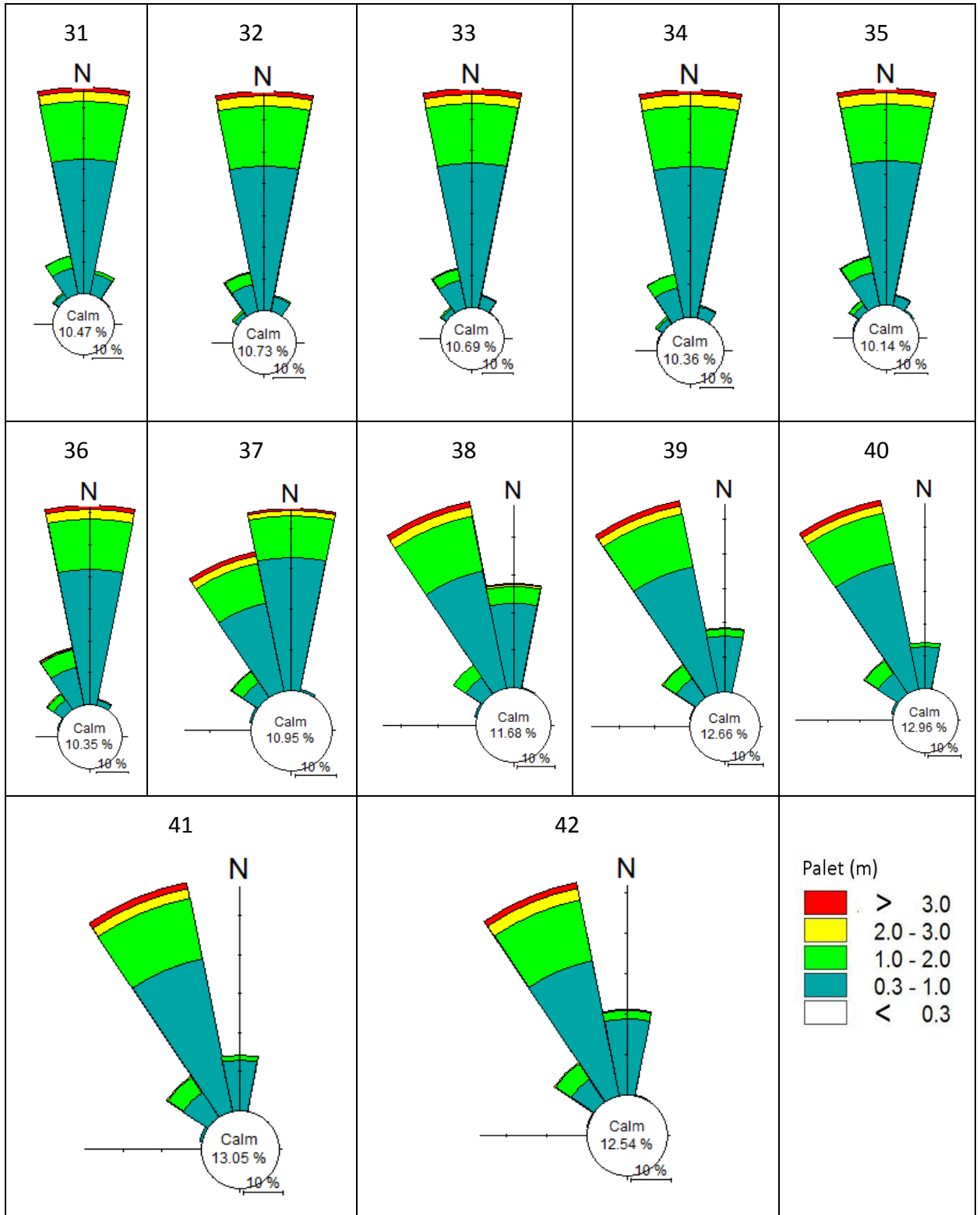
Şekil 4.8 20m derinlikteki dalga gülleri



Şekil 4.9 50m derinlikteki dalga gülleri

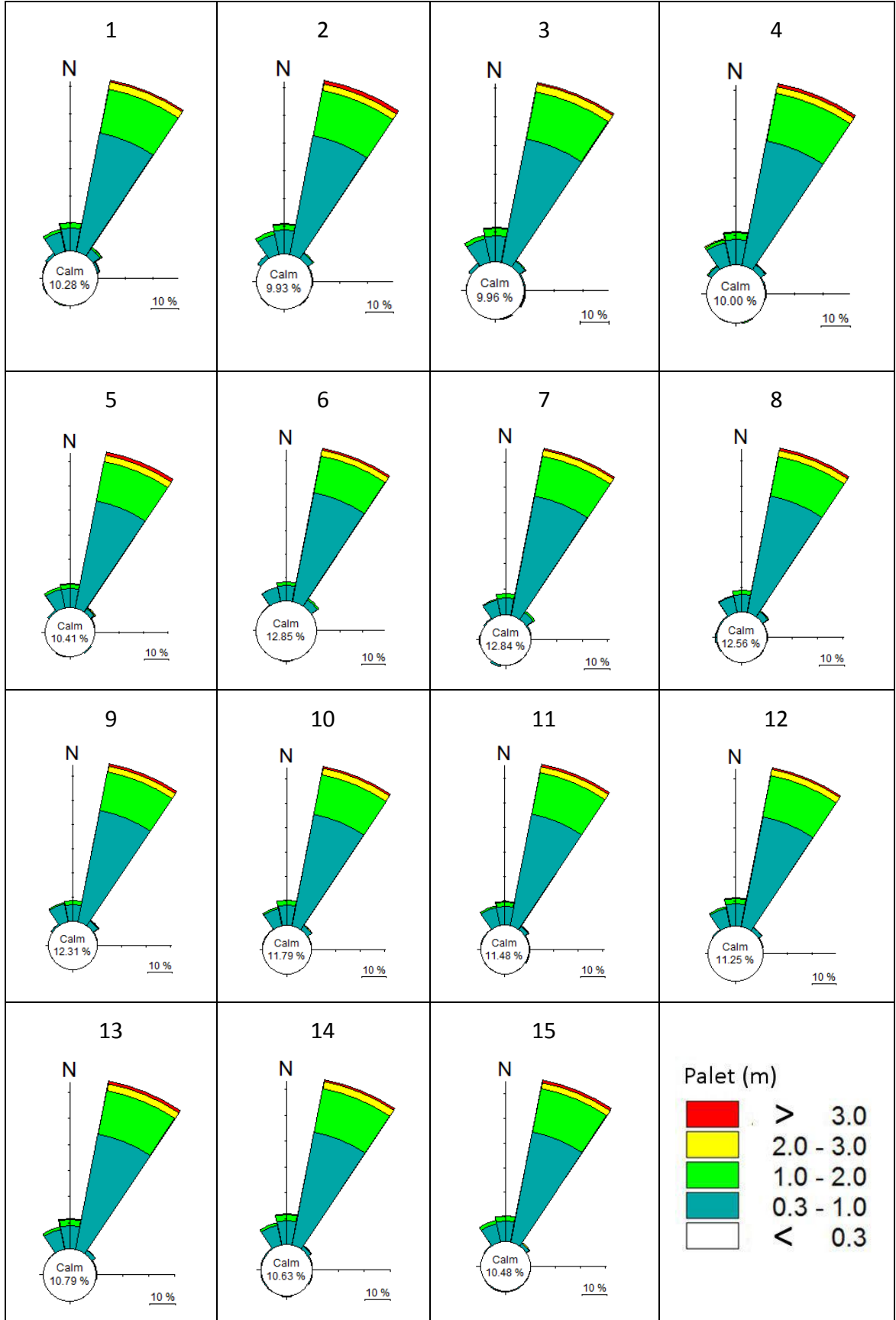


Şekil 4.10 50m derinlikteki dalga gülleri

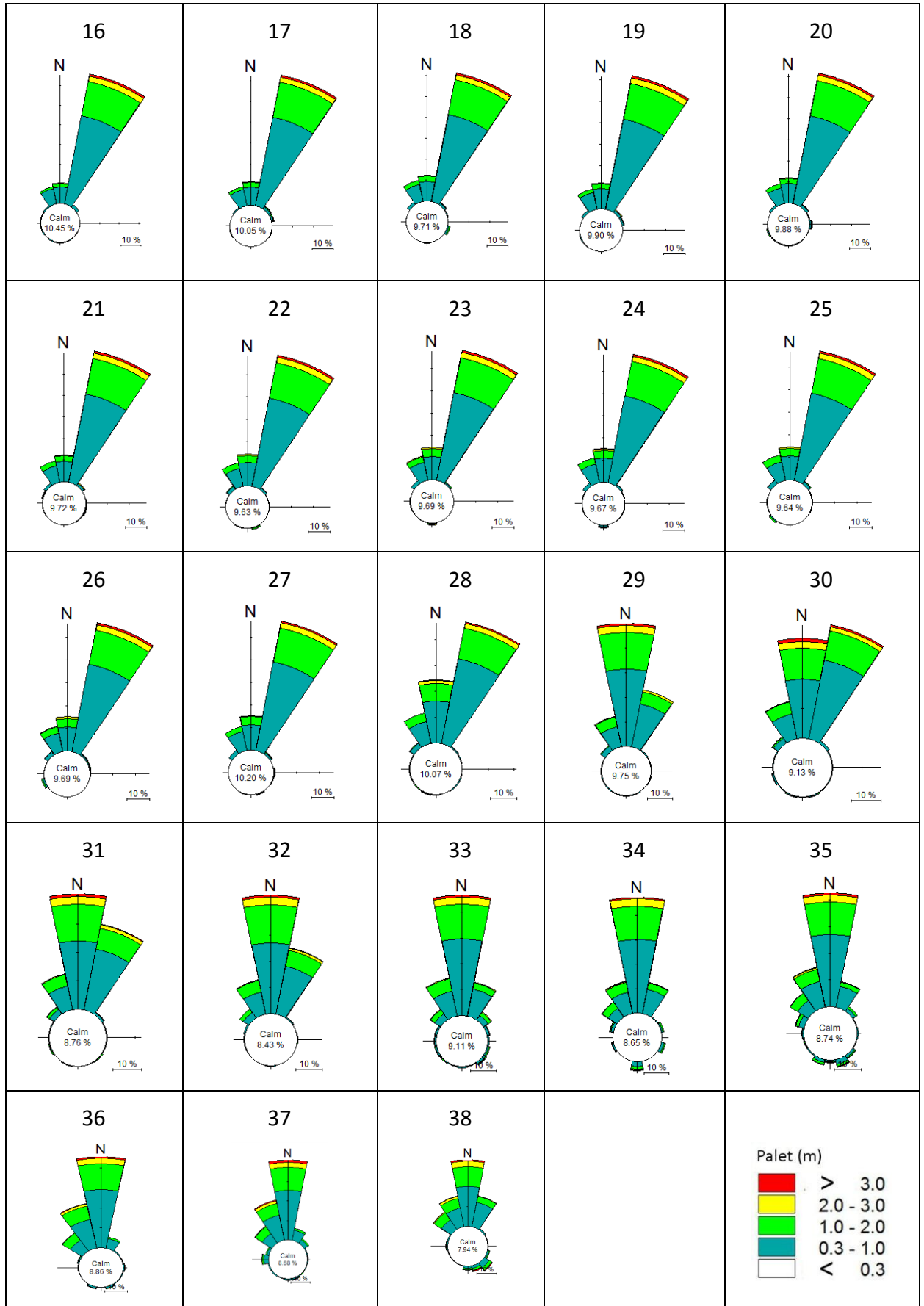


Şekil 4.11 50m derinlikteki dalga gülleri





Şekil 4.12 100m derinlikteki dalga gülleri



Şekil 4.13 100m derinlikteki dalga gülleri

#### 4.4.2 Akıntı İklimi

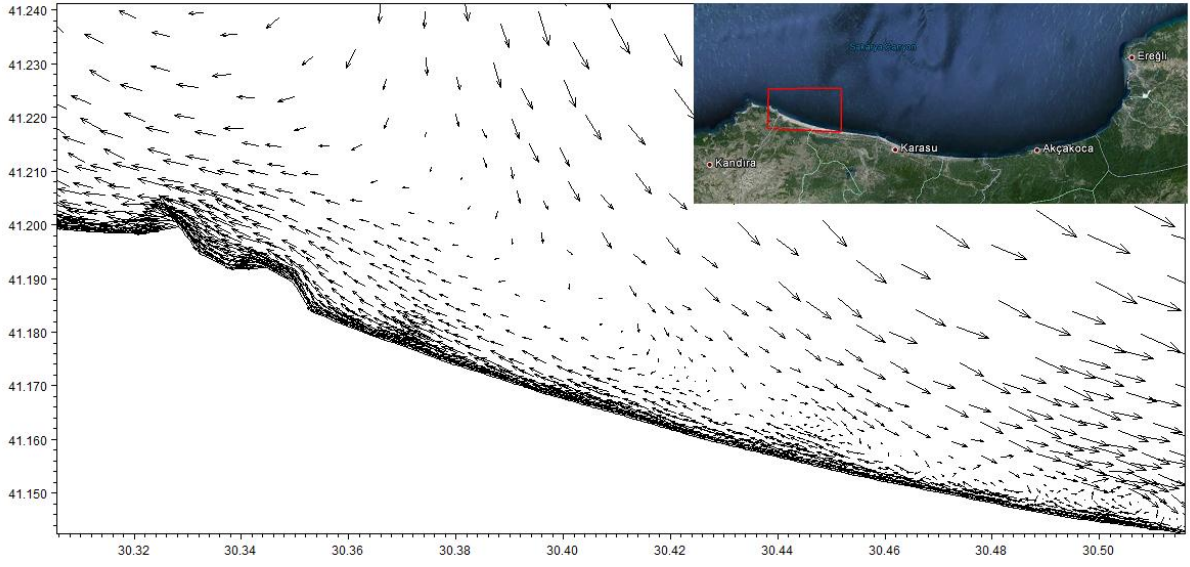
Sayısal model ağı sıklaştırması yapılarak Karasu kıyı alanındaki akıntı yapısı daha hassas olarak elde edilmiştir. Karasu bölgesi için oluşturulan modelden elde edilen anlık akıntı yapıları ve belirlenen noktalara ait akıntı gülleri gösterilmiştir (Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19).

Karasu kıyı alanı akıntı yapısı incelendiğinde kıta sahanlığı kıyısında şekillenen Karadenizin genel akıntı sirkülasyonu ile etkileşen ve küçük ölçekli sirkülasyonlarda oluşturan kıyı boyu akıntıları daha açık biçimde görülmektedir. -5m derinlikte akıntı Sakarya nehri ağzının batısından (23 nolu nokta) Kefken'e Harmankaya Burnuna kadar doğudan batıya doğru daha etkin bir yapı oluşturmaktadır. Ancak Sakarya nehri ağzından doğuya doğru doğu ve batı yönlerinde akıntılar aynı yüzdelerde oluşmasına karşın doğu yönünde şiddetleri artmaktadır.

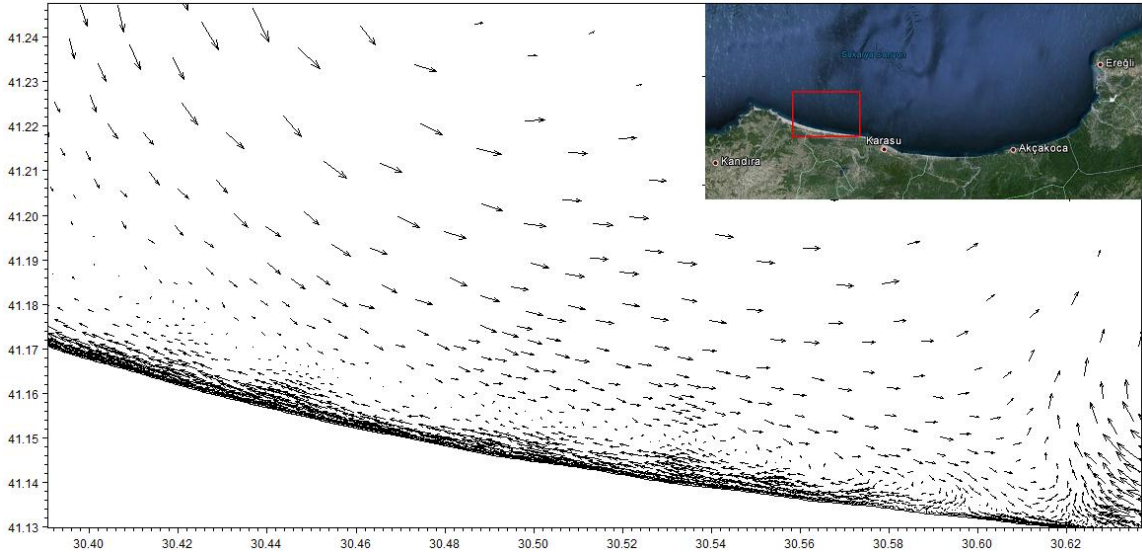
-20m derinlikteki akıntılar -5m derinlikteki akıntılar ile benzer bir yapı göstermekle birlikte kıyı ile daha açılı bir yapı göstermektedir (Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23). Sakarya nehri ağzında akıntı şiddeti artmaktadır. Ereğli bölgesinde kıyıya dik akıntılar daha belirginleşmektedir.

-50m derinlikte akıntı doğrultusundaki sapmalar daha belirginleşmekte ve doğuya doğru akıntılarının şiddeti artmaktadır (Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26). Akıntı batıdan doğuya doğru dönmektedir.

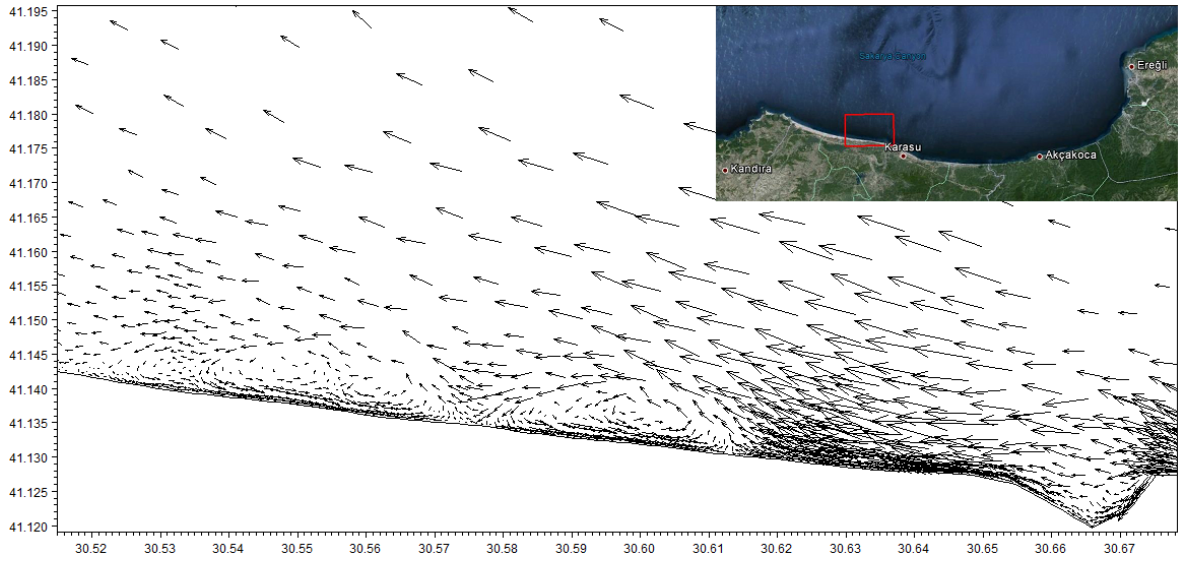
-100m' de Karasu kıyı alanının batı tarafında kıyıya doğru akıntılar oluşmaktadır ve doğuya doğru Karadenizin genel sirkülasyon yapısına uyan biçimde batıdan doğuya doğru belirginleşmektedir (Şekil 4.27, Şekil 4.28).



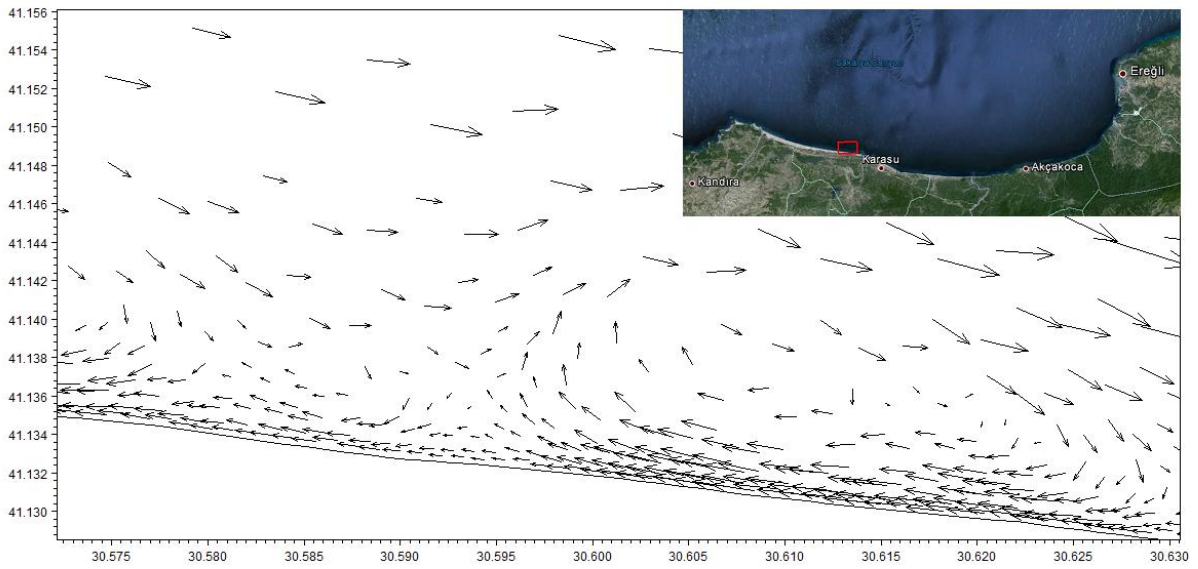
Şekil 4.14 Anlık modelin akıntı yapısı (14.04.2004)



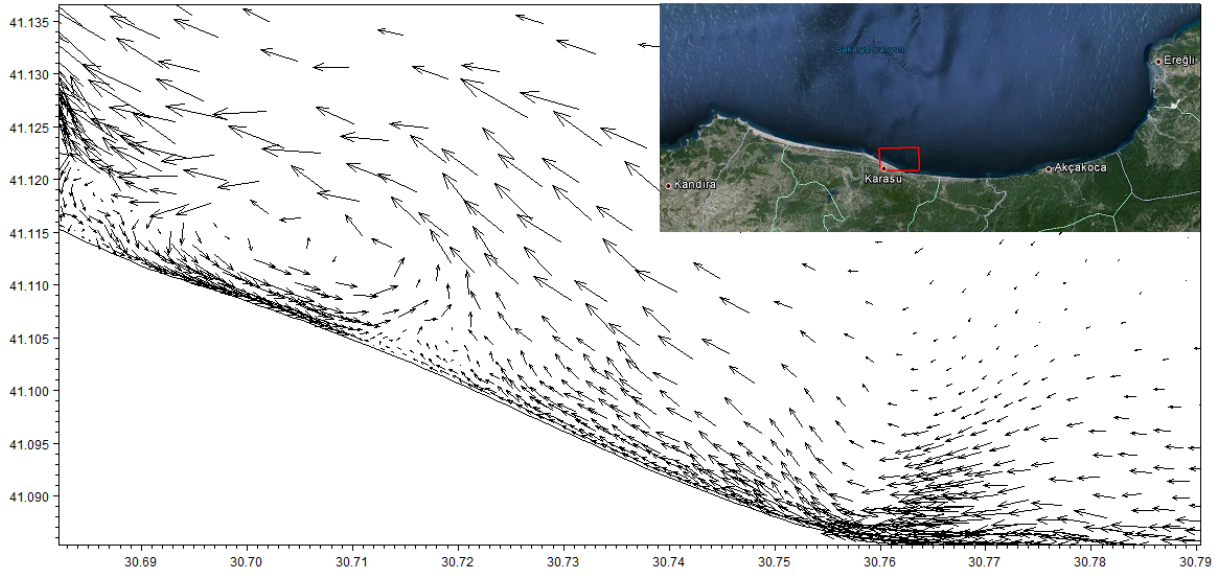
Şekil 4.15 Anlık modelin akıntı yapısı (08.09.2003)



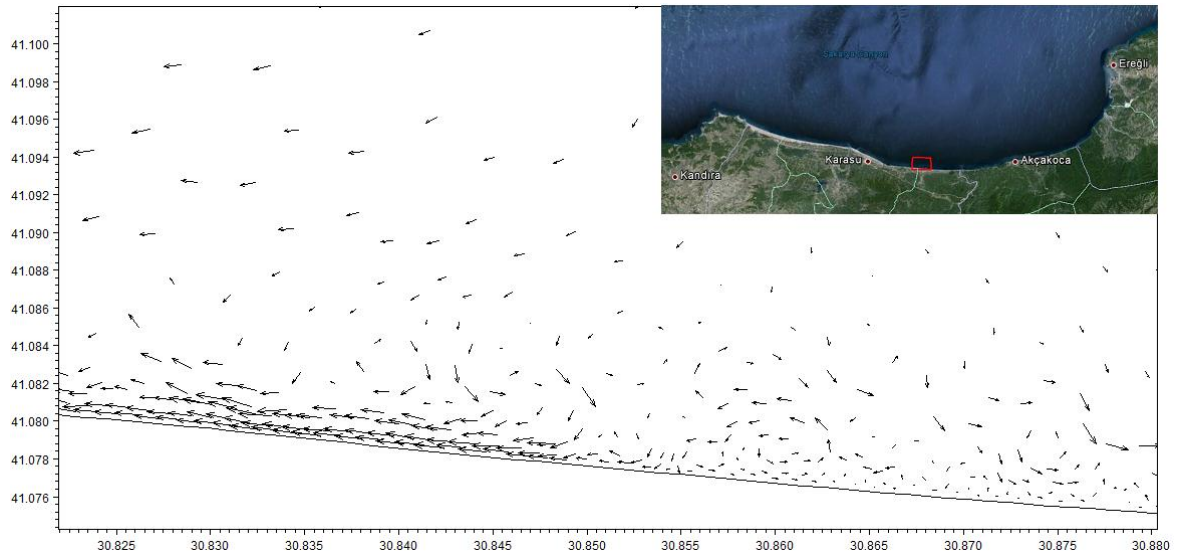
Şekil 4.16 Anlık modelin akıntı yapısı (12.10.2003)



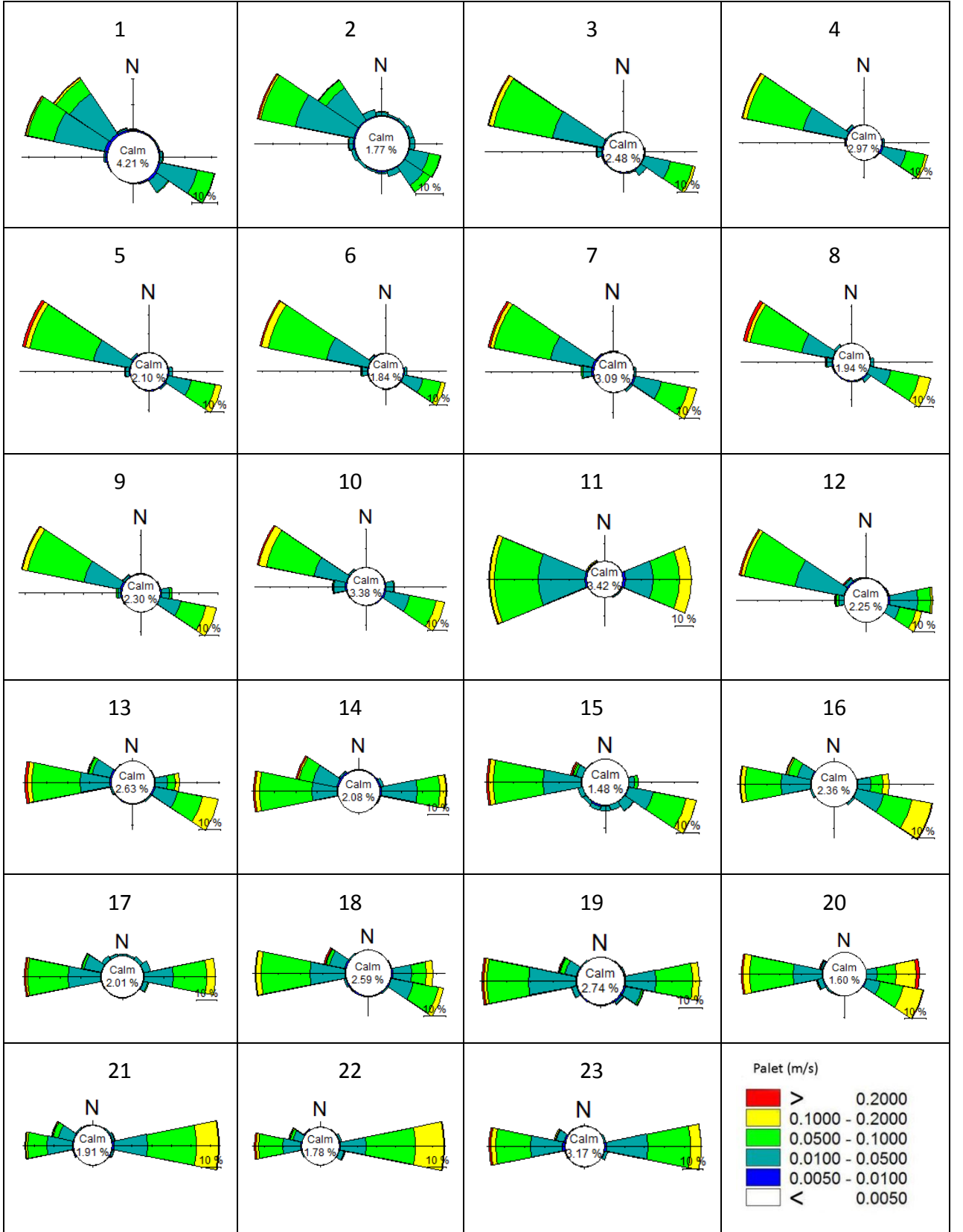
Şekil 4.17 Anlık modelin akıntı yapısı (13.07.2004)



Şekil 4.18 Anlık modelin akıntı yapısı (22.07.2004)

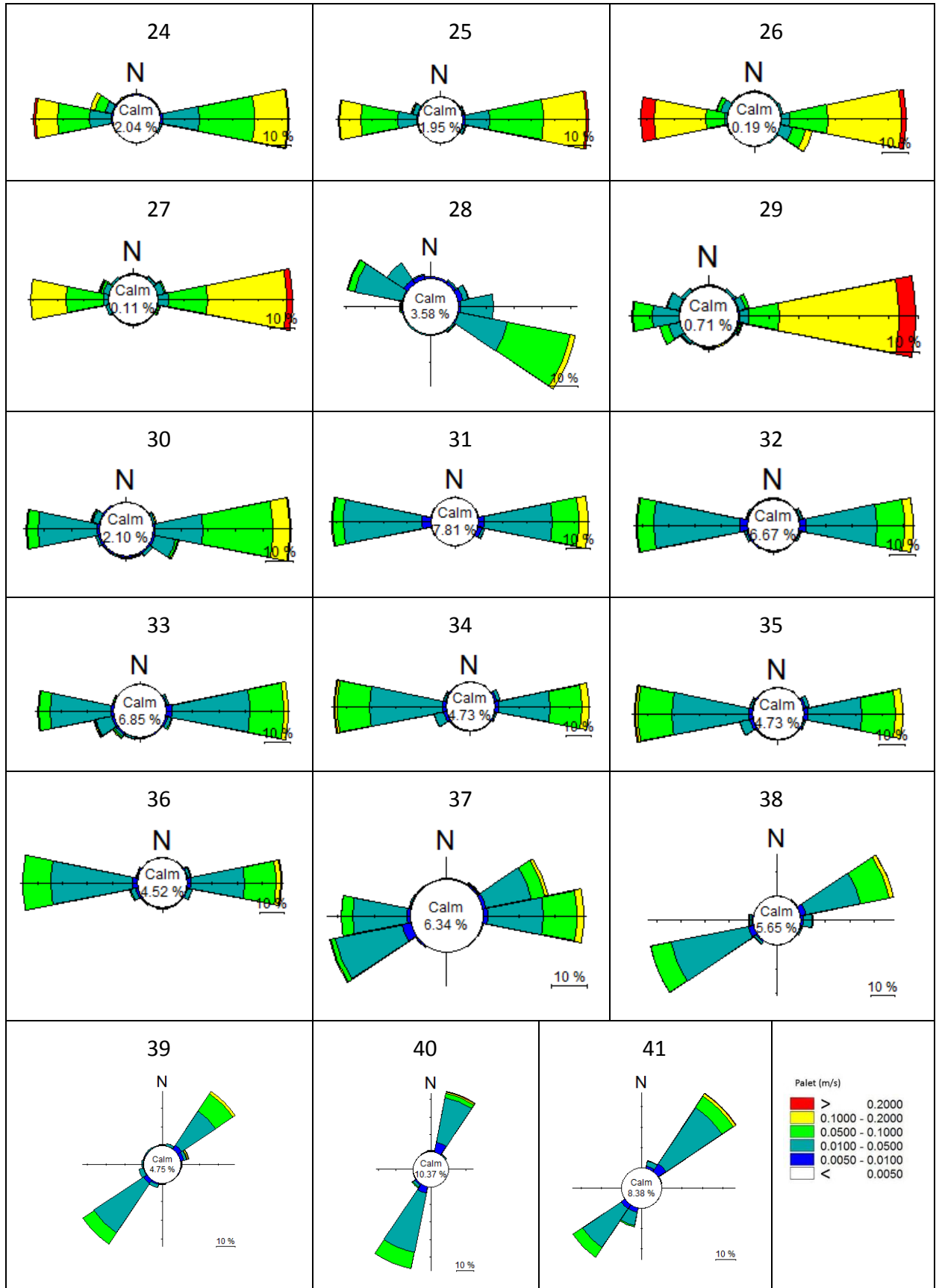


Şekil 4.19 Anlık modelin akıntı yapısı (28.03.2004)



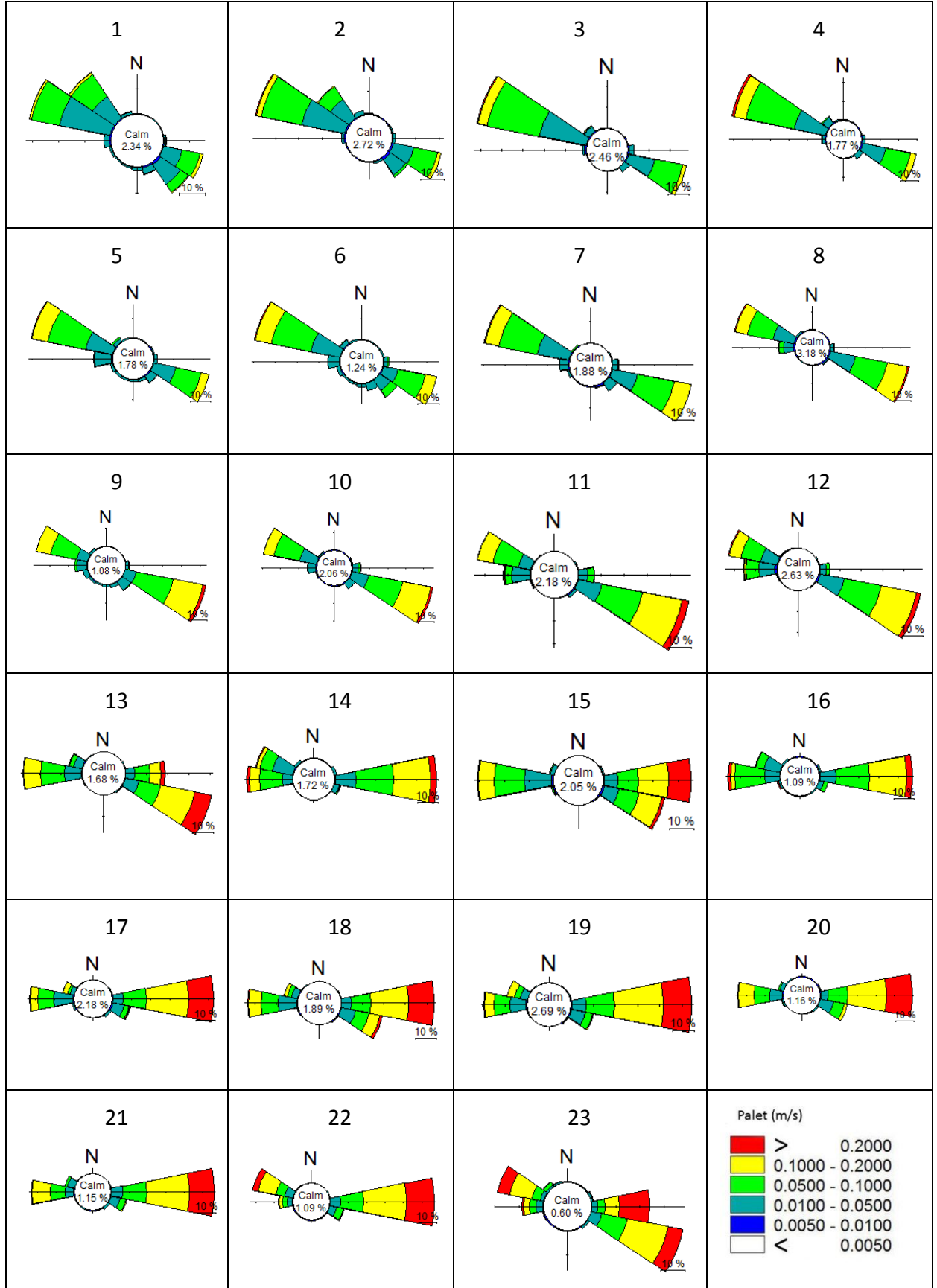
Şekil 4.20 5m derinlikteki akıntı gülleri



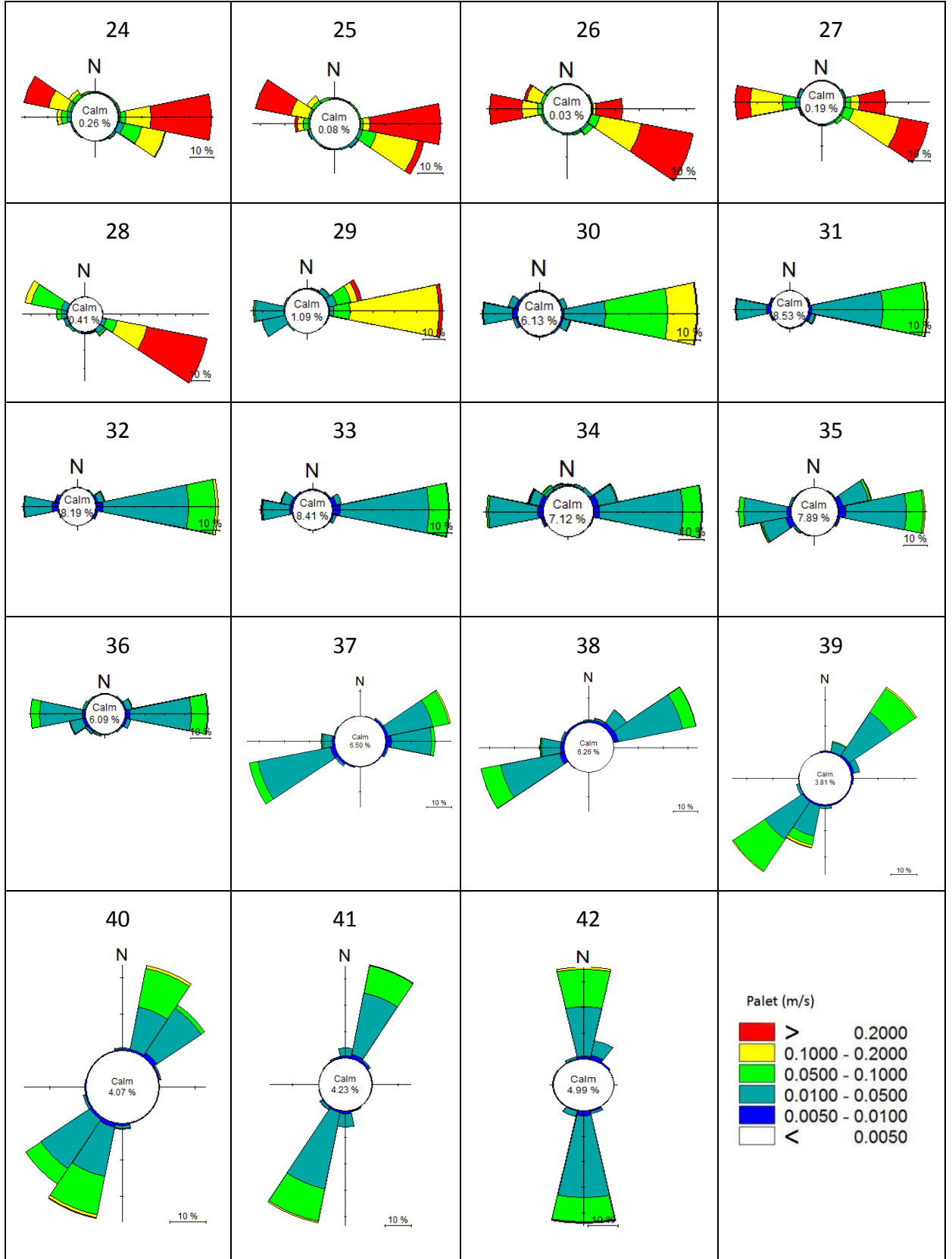


Şekil 4.21 5m derinlikteki akıntı gülleri

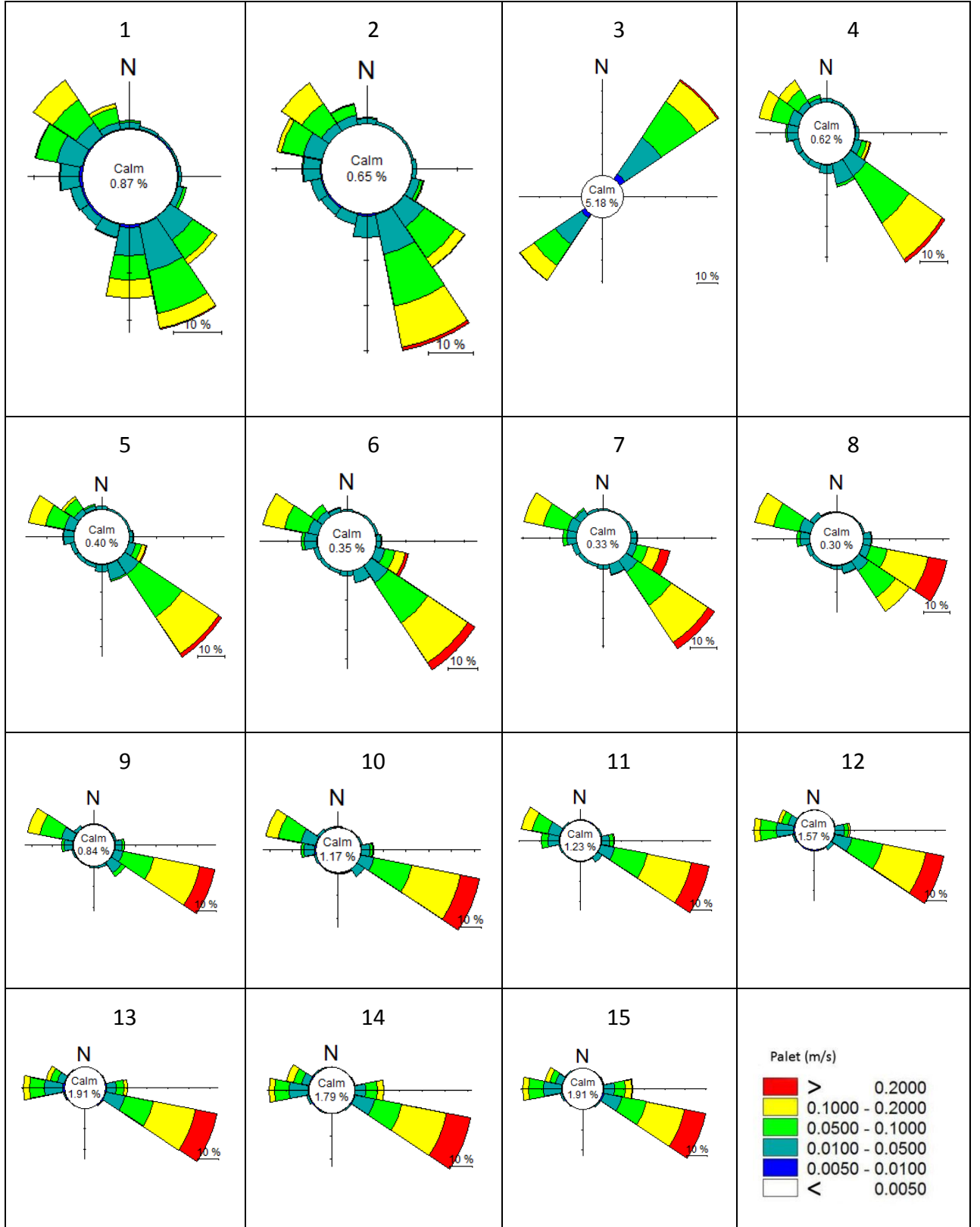




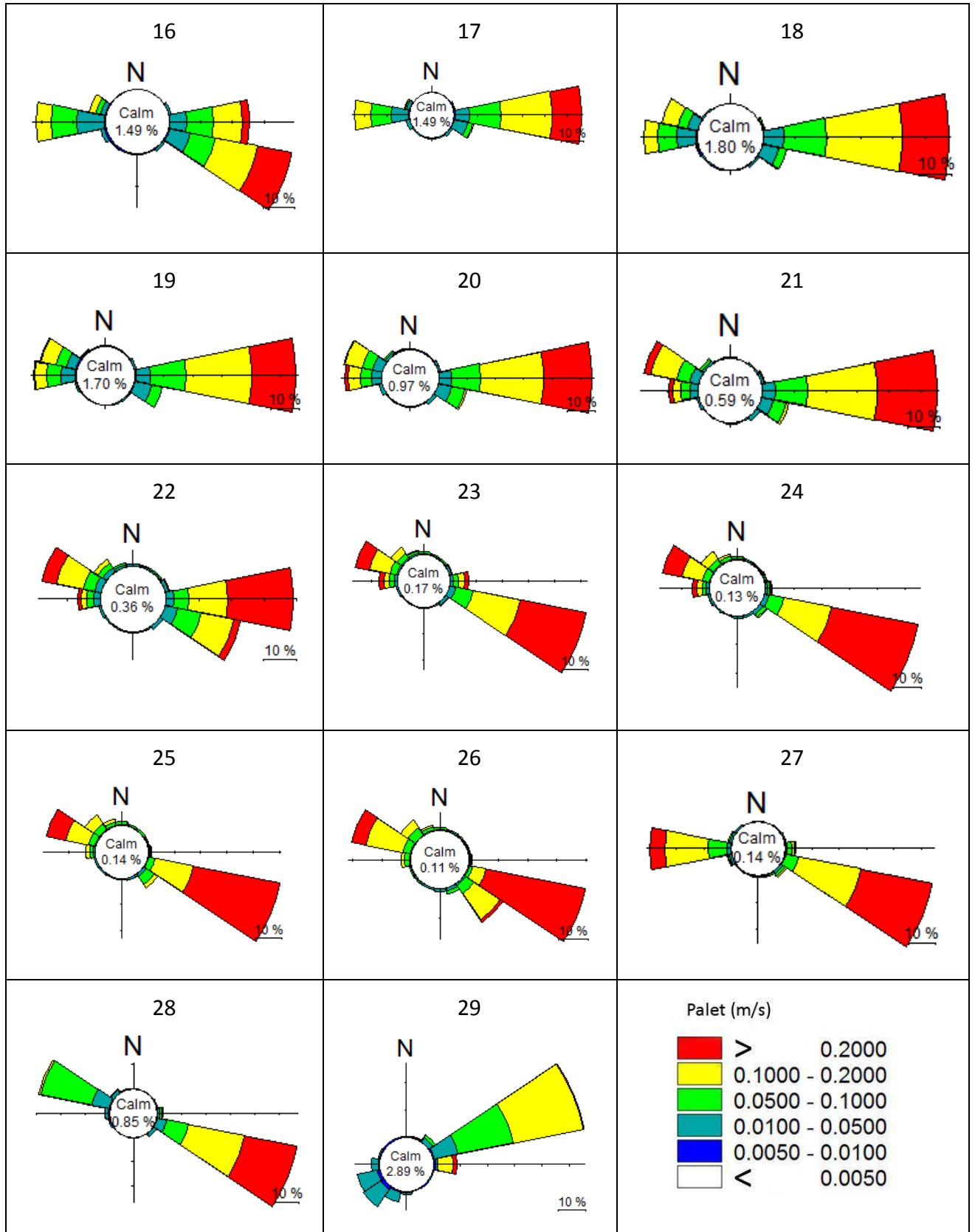
Şekil 4.22 20m derinlikteki akıntı gülleri



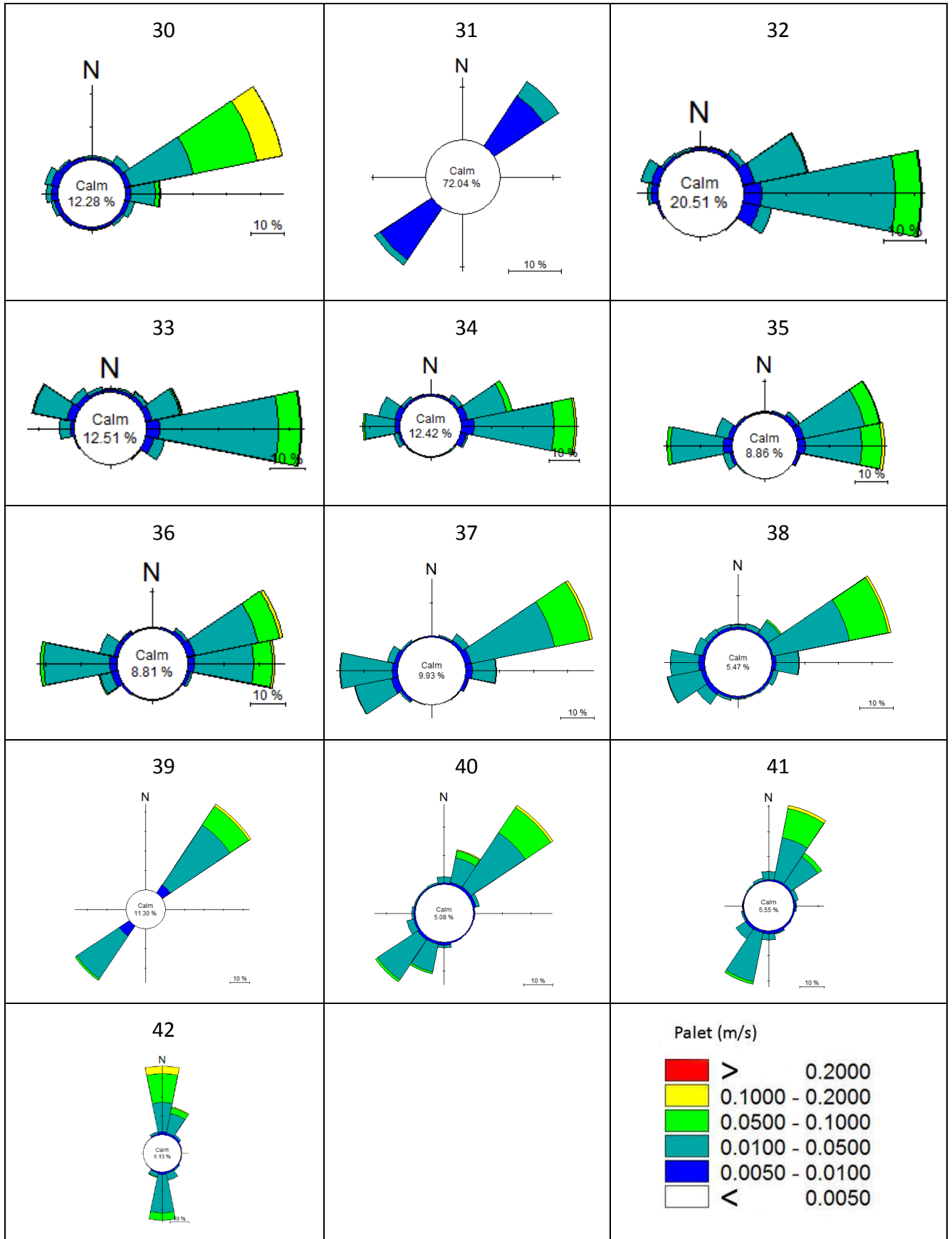
Şekil 4.23 20m derinlikteki akıntı gülleri



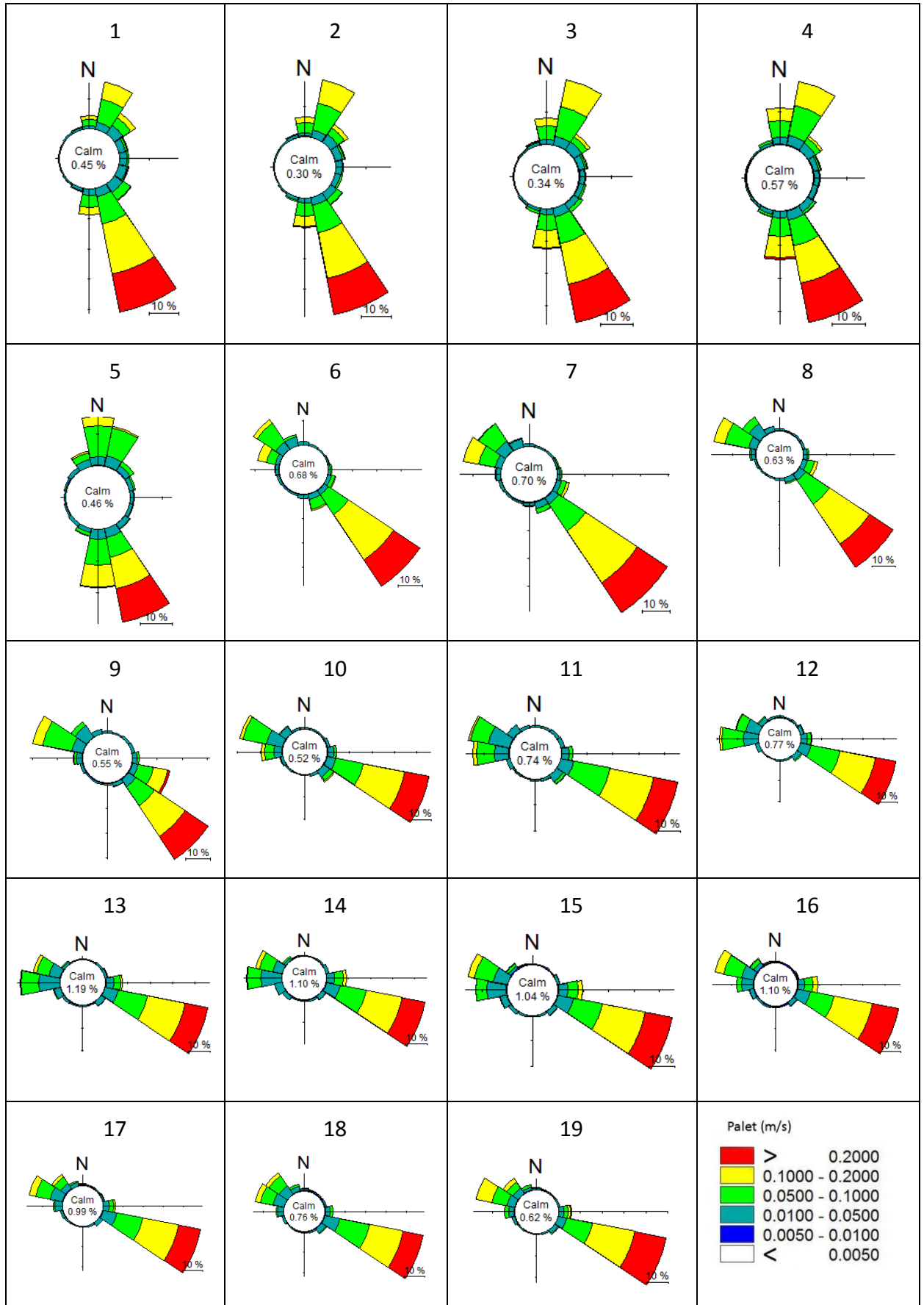
Şekil 4.24 50m derinlikteki akıntı gülleri



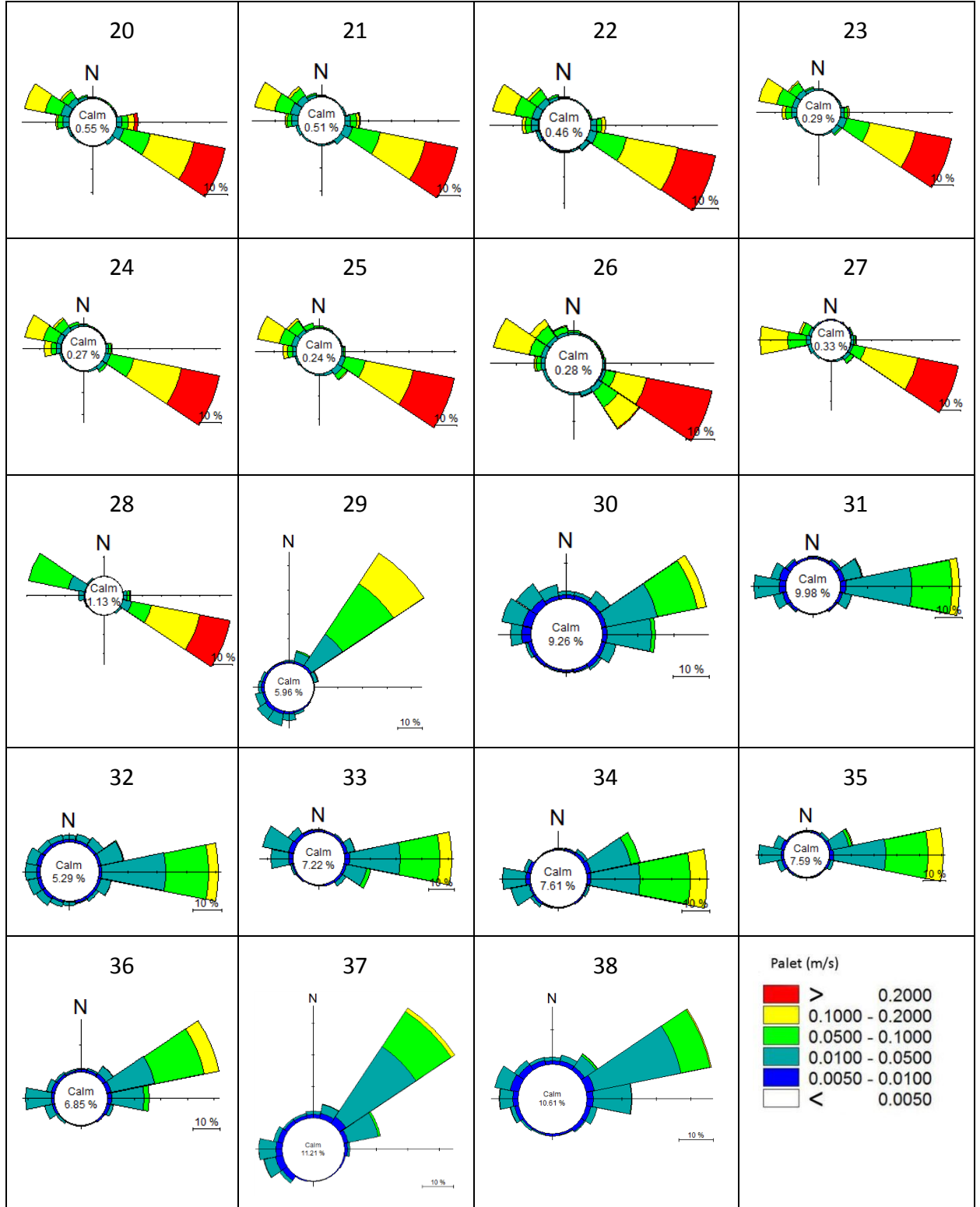
Şekil 4.25 50m derinlikteki akıntı gülleri



Şekil 4.26 50m derinlikteki akıntı gülleri



Şekil 4.27 100m derinlikteki akıntı gülleri



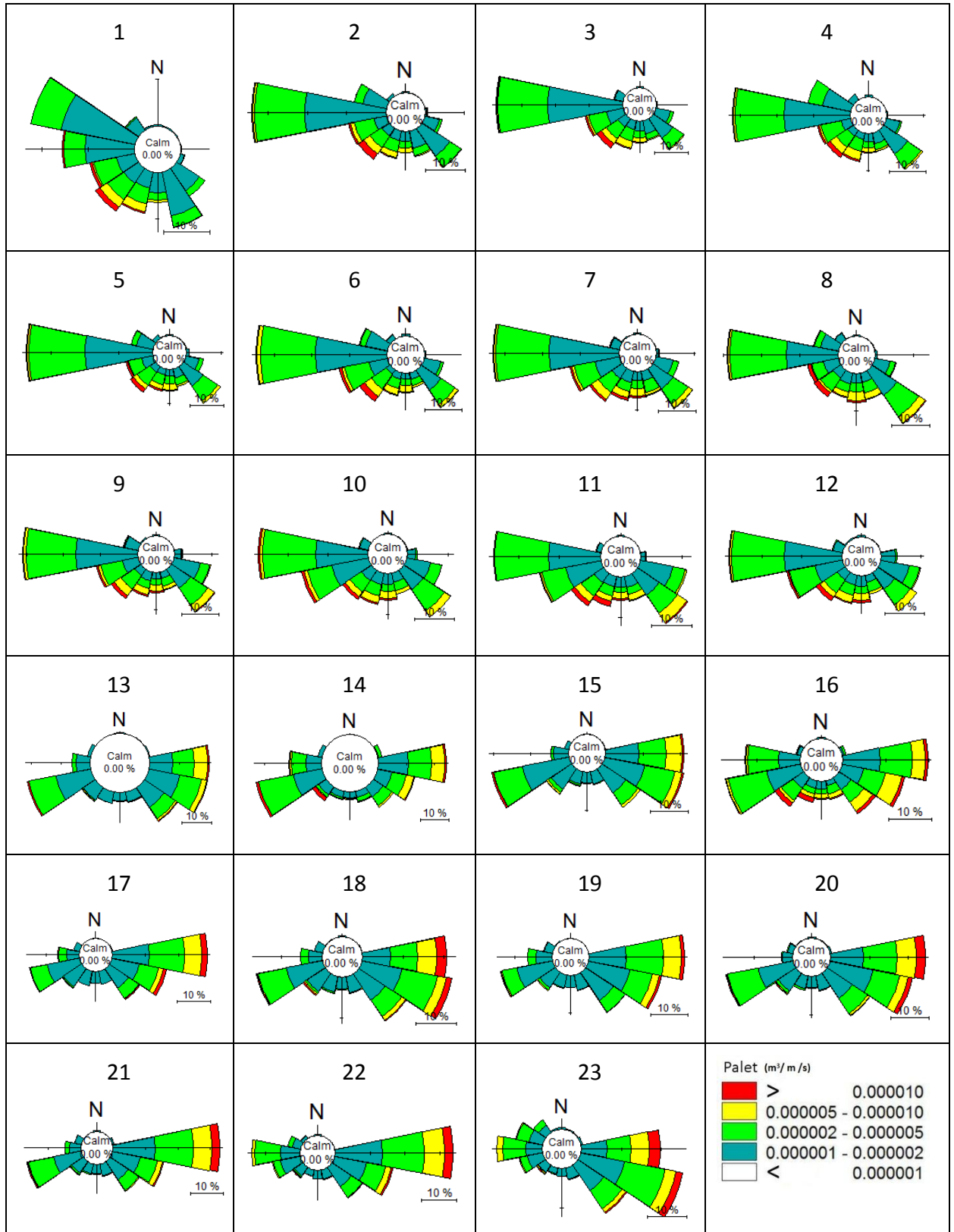
Şekil 4.28 100m derinlikteki akıntı gülleri

#### 4.4.3 Katı Malzeme Taşınımı

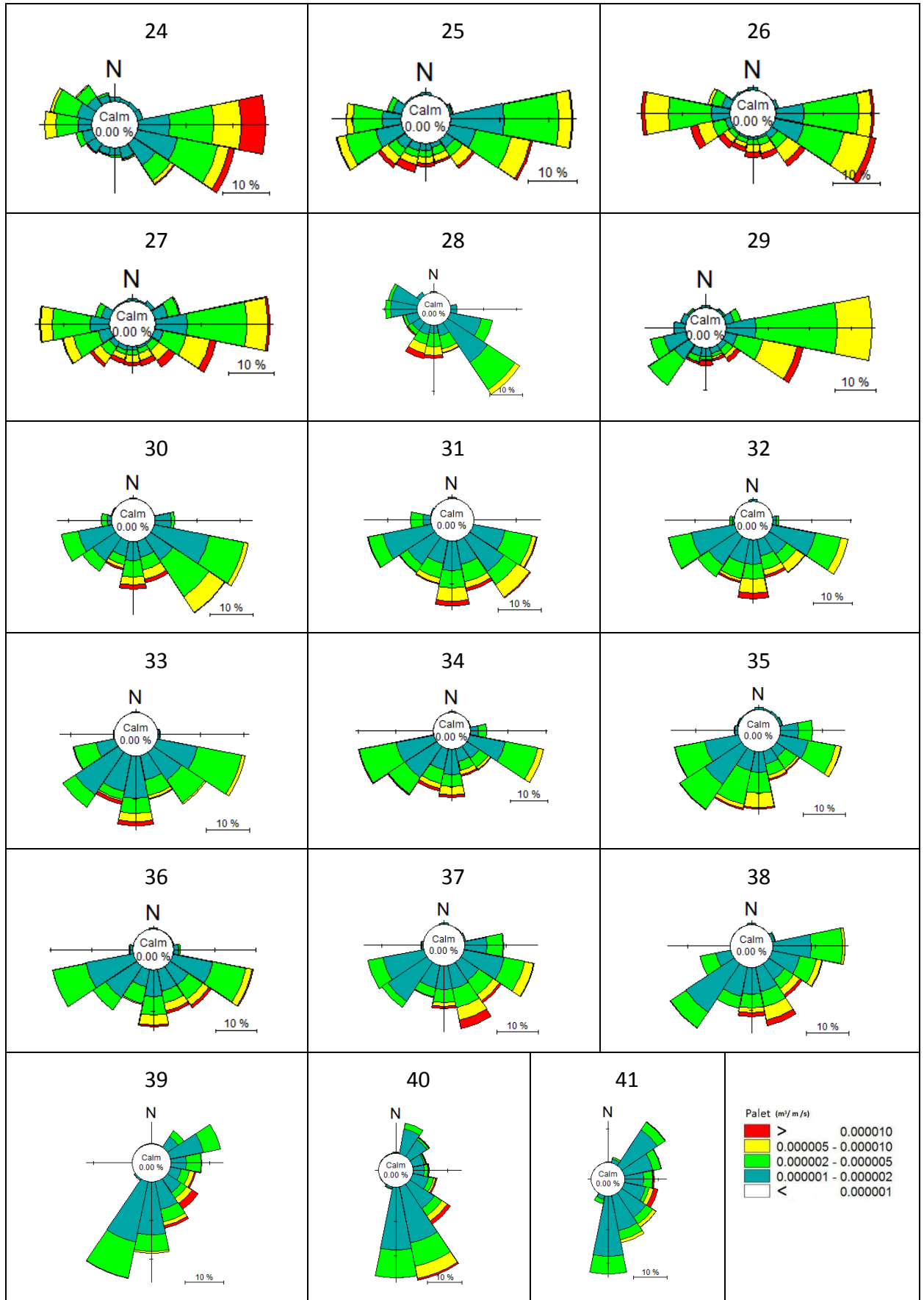
Karasu kıyı alanı katı madde taşınım ikliminin anlaşılması amacıyla -5m, -20m, -50m ve -100 m derinliklerde katı madde gülleri elde edilmiştir. Doğal olarak -5m ve -20m derinliklerde dalga etkisinde kıyı boyu akıntılarının ve -50m ile -100m derinliklerde çok küçükte olsa genel akıntı sirkülasyonunun neden olduğu katı madde taşınımları izlenmiştir. Karasu kıyı alanı çok aktif ve karmaşık katı madde taşınım iklimine sahiptir. Kıyıboyu ve kıyıya dik katı madde taşınım bileşenlerine sahiptir. -5m derinlikte Kalkan-Denizköy (13 nolu nokta) kıyıya dik taşınımın yanı sıra doğudan batıya doğru dalga etkisinden kaynaklanan kıyı boyu akıntılarının etkisiyle belirgin kıyı boyu taşınım gözlenmektedir. Denizköy ve Sakarya nehri ağzının batı tarafında (16 nolu nokta) her iki yönde net taşınımlar yapılmakta ve 16 nolu noktadan doğuya doğru net taşınım artmaktadır. Bu durum Karasu limanının kıyı alanında yarattığı deformasyondan da gözlenmektedir. Ancak özellikle Sakarya nehri ağzından itibaren (27 nolu nokta) kıyı dik taşınım şiddetini arttırarak belirginleşmektedir. Ereğli bölgesinde ise doğuya doğru net taşınımlar kıyıya dik taşınım ile birlikte görülmektedir. -20m derinlikteki taşınımlar -5m derinlikteki taşınımlara oldukça benzer bir yapı göstermektedir (Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32). -50m derinlikteki katı madde taşınımları incelendiğinde batıdan 13nolu noktaya kadar kıyıya dik bu noktadan doğuya doğru soldan sağa doğru taşınımında yapılandığı ve Sakarya nehri ağzından sonra kıyıya dik net taşınımın meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.31, Şekil 4.32, Şekil 4.33, Şekil 4.34). -100m derinlikte her noktada kıyıya dik bileşen daha belirginleşse de -50m derinliktekine benzer bir katı madde iklimi söz konusudur (Şekil 4.36, Şekil 4.37).

Sonuç olarak dalga, akıntı ve katı madde iklimine bakıldığında Sakarya nehri ağzının batı kıyısı ile doğu kıyısı dalga ve akıntı iklimlerinin göreceli olarak döndüğü bir yapıya sahiptir. Katı madde iklimi ise Sakarya nehri ağzının daha batısında Denizköy civarında bir dönüş göstermektedir.

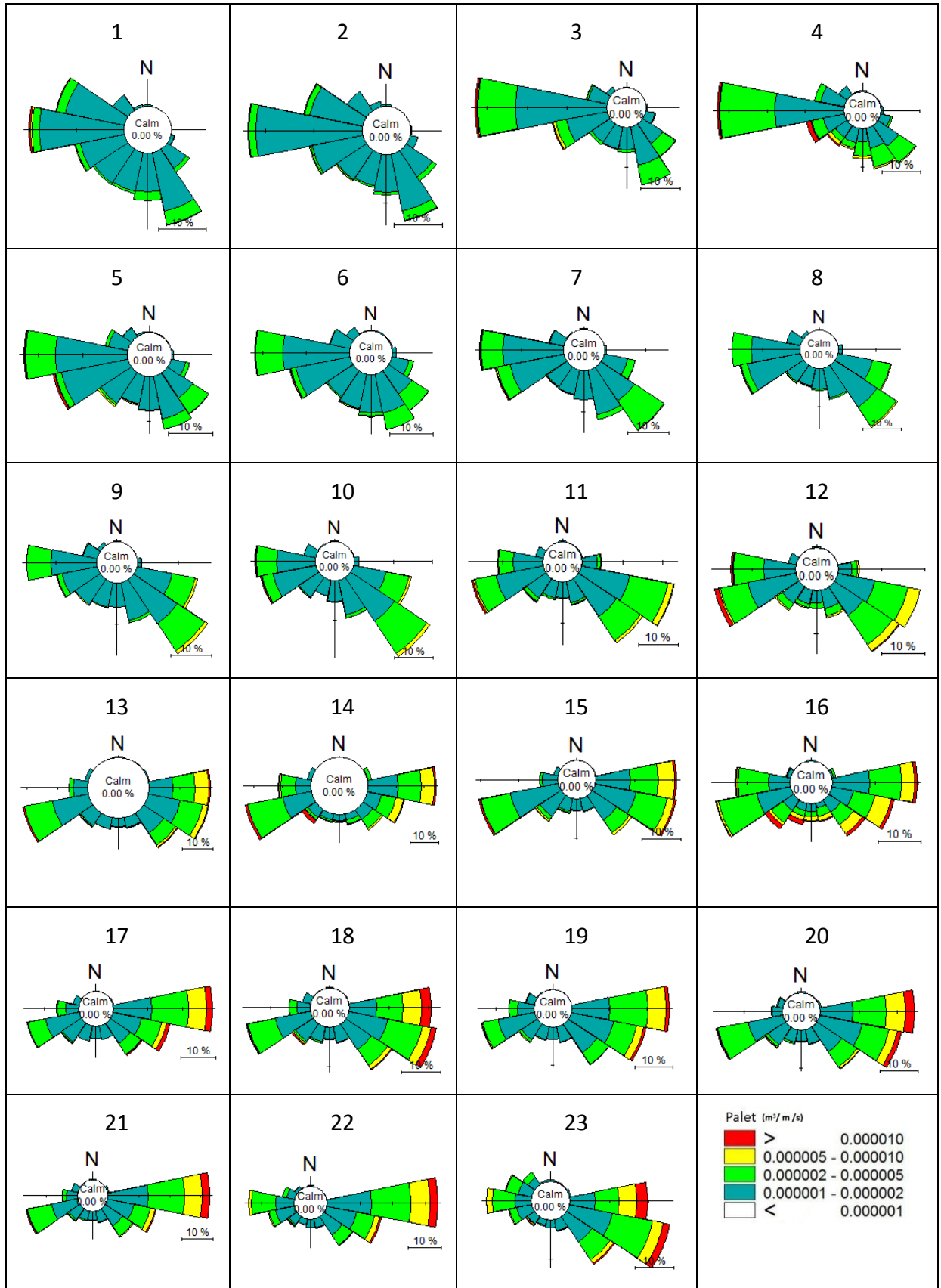




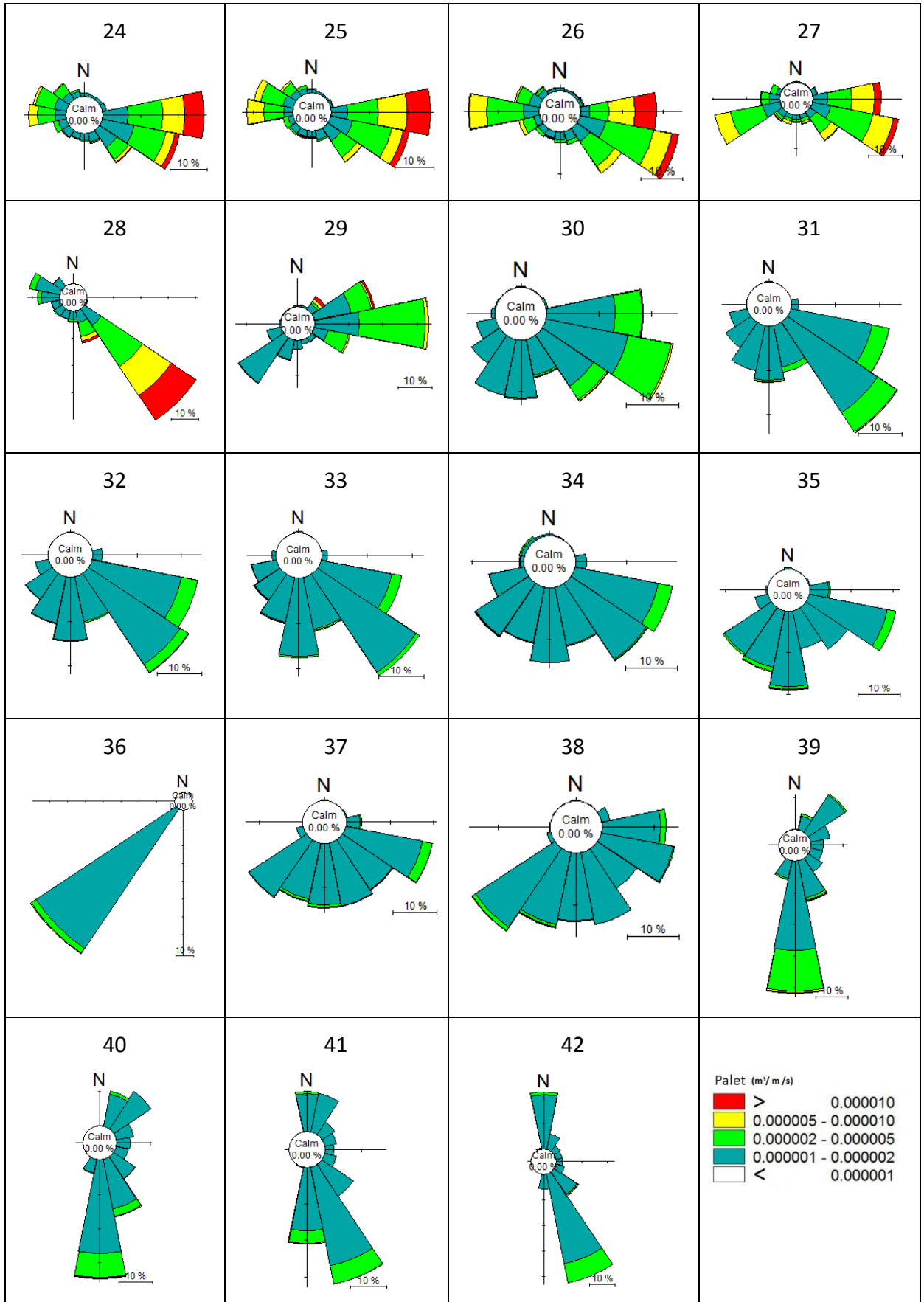
Şekil 4.29 5m derinlikteki katı madde gülleri



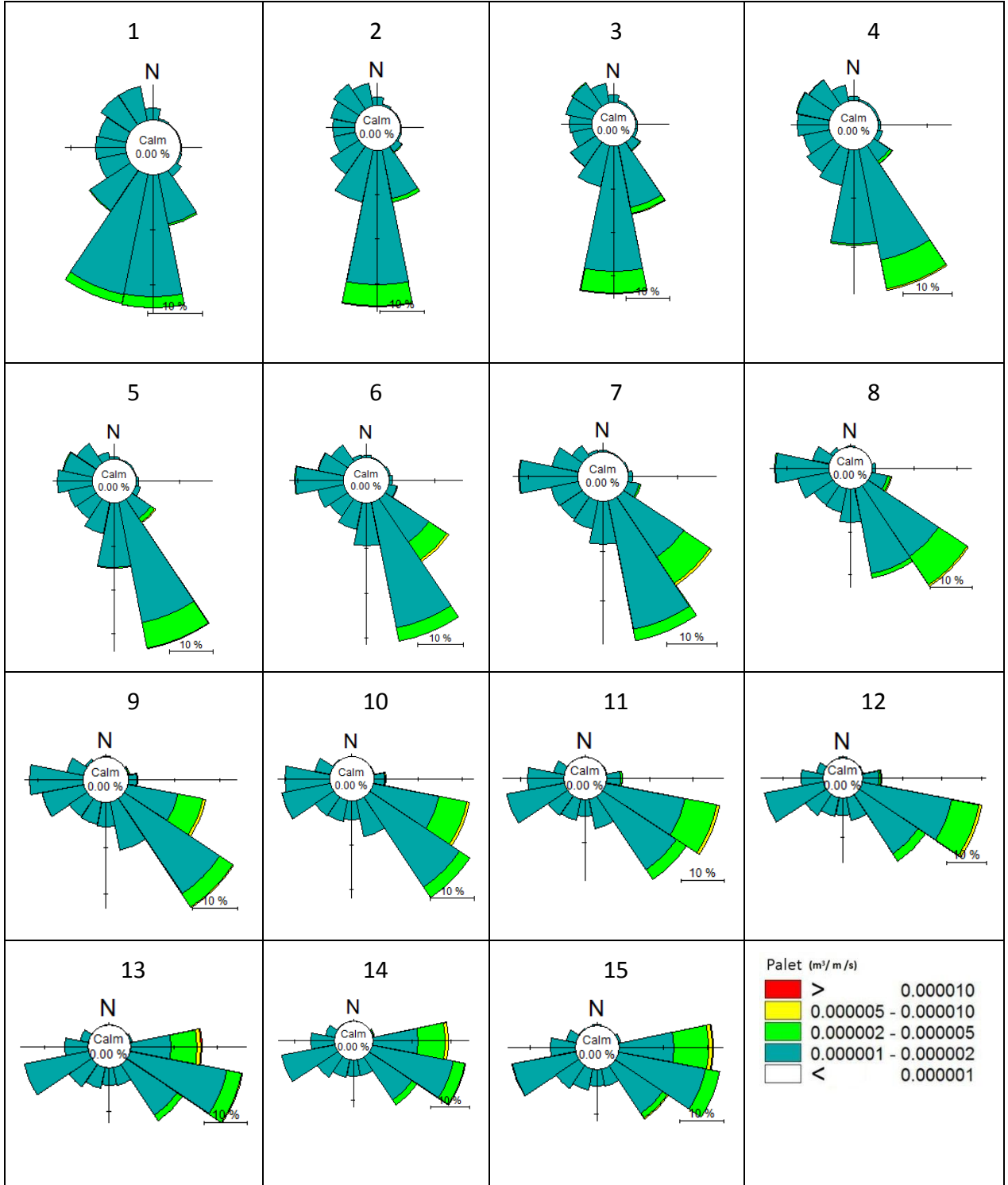
Şekil 4.30 5m derinlikteki katı madde gülleri



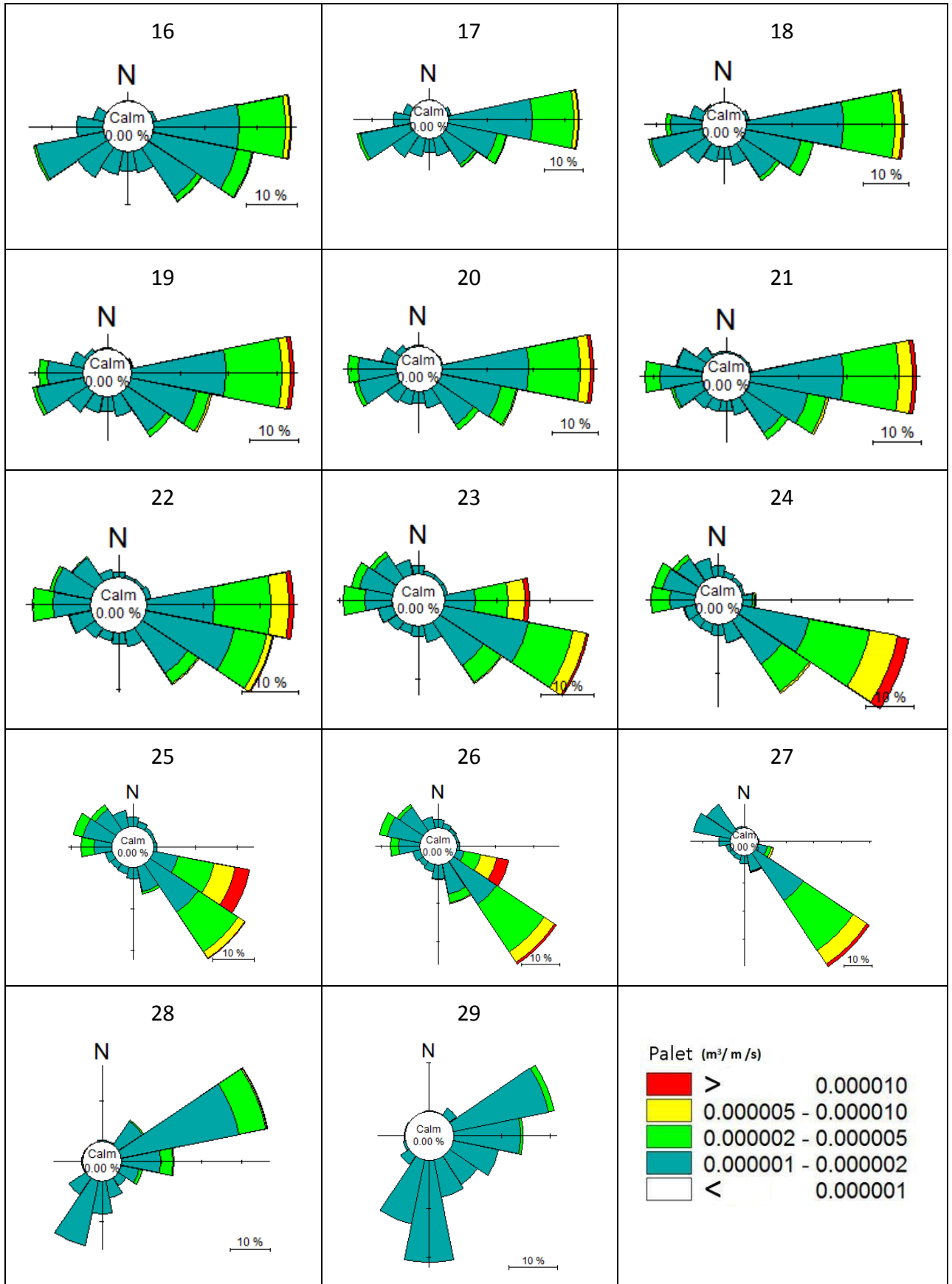
Şekil 4.31 20m derinlikteki katı madde gülleri



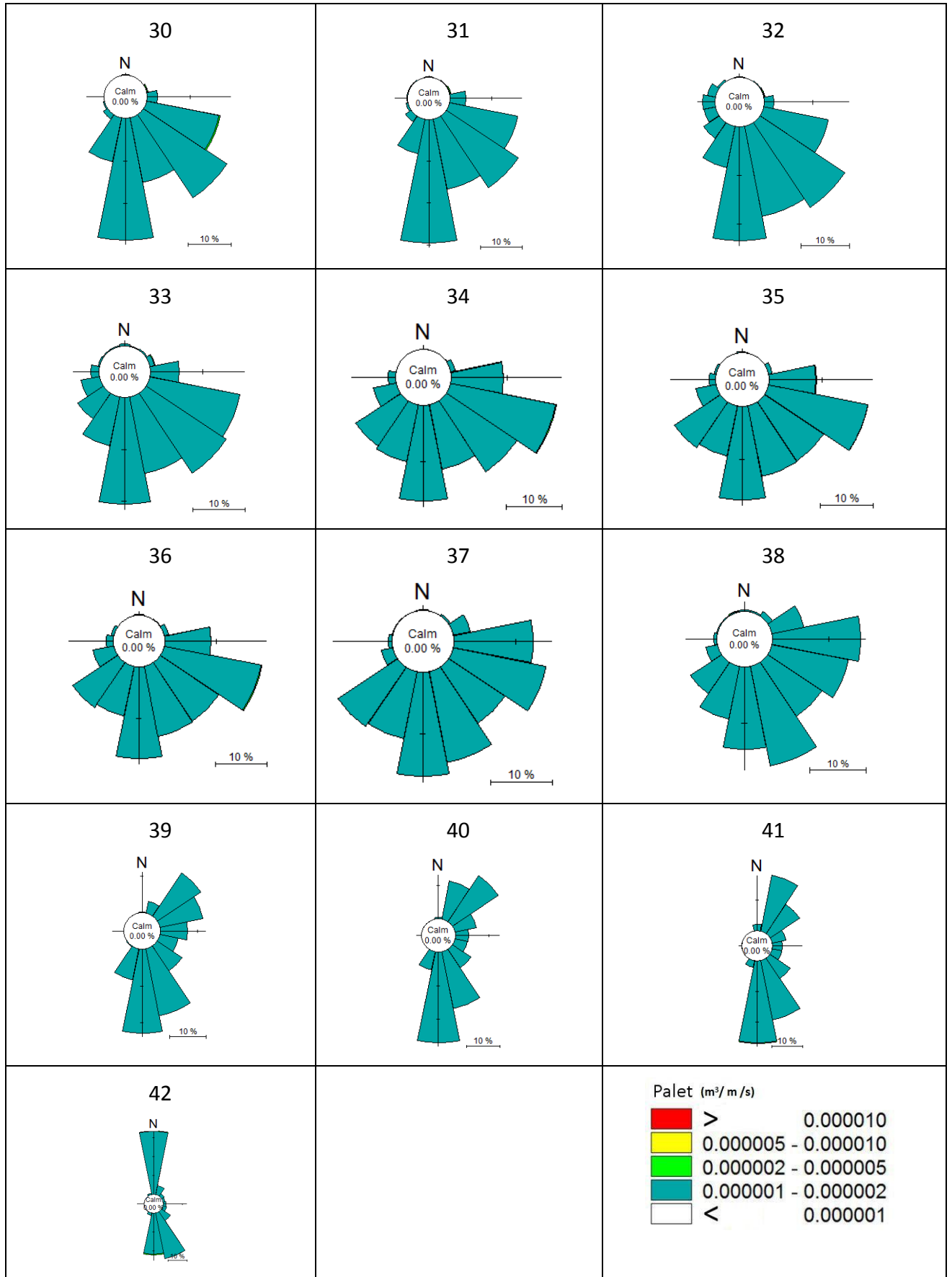
Şekil 4.32 20m derinlikteki katı madde gülleri



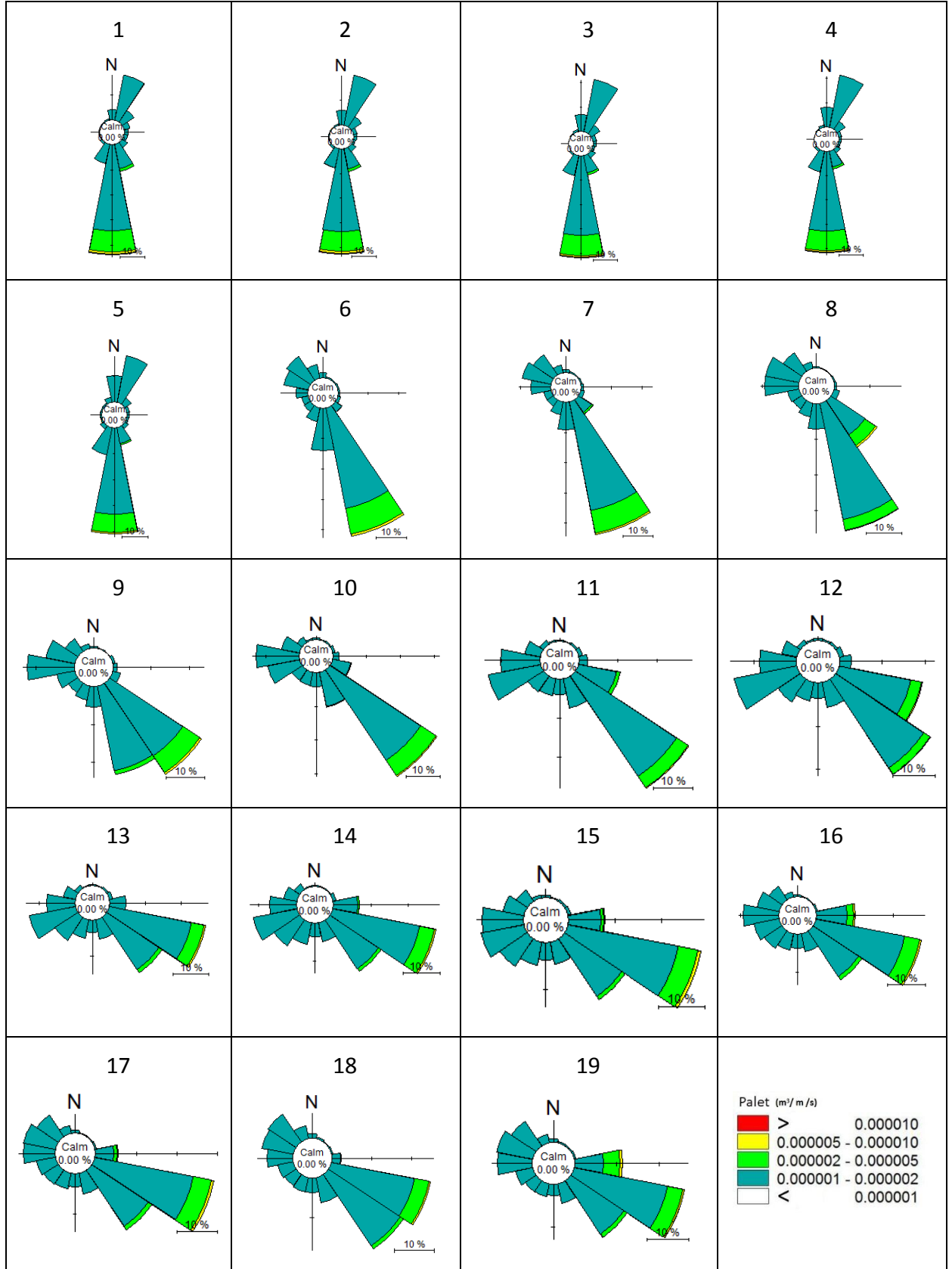
Şekil 4.33 50m derinlikteki katı madde gülleri



Şekil 4.34 50m derinlikteki katı madde gülleri

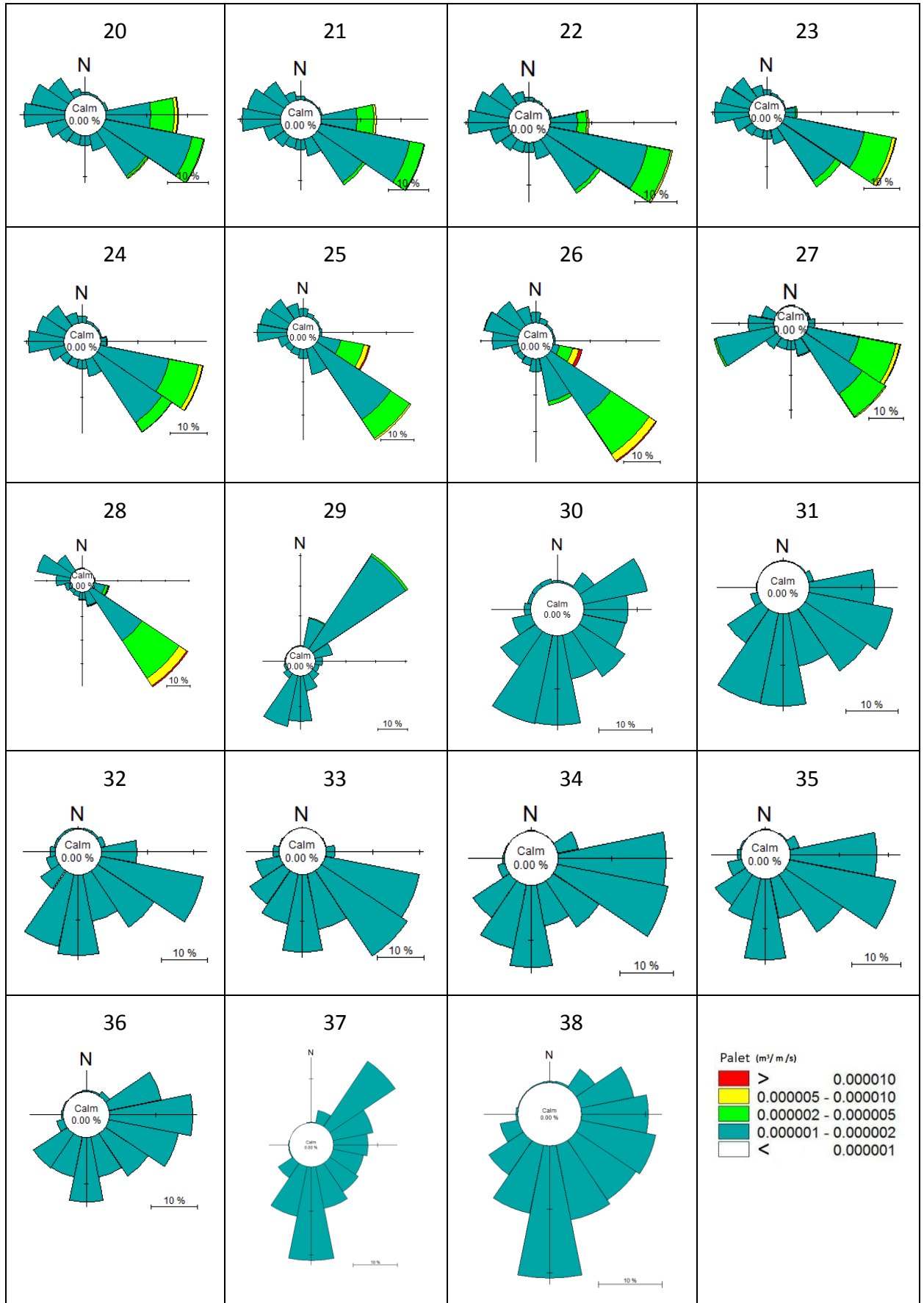


Şekil 4.35 50m derinlikteki katı madde gülleri



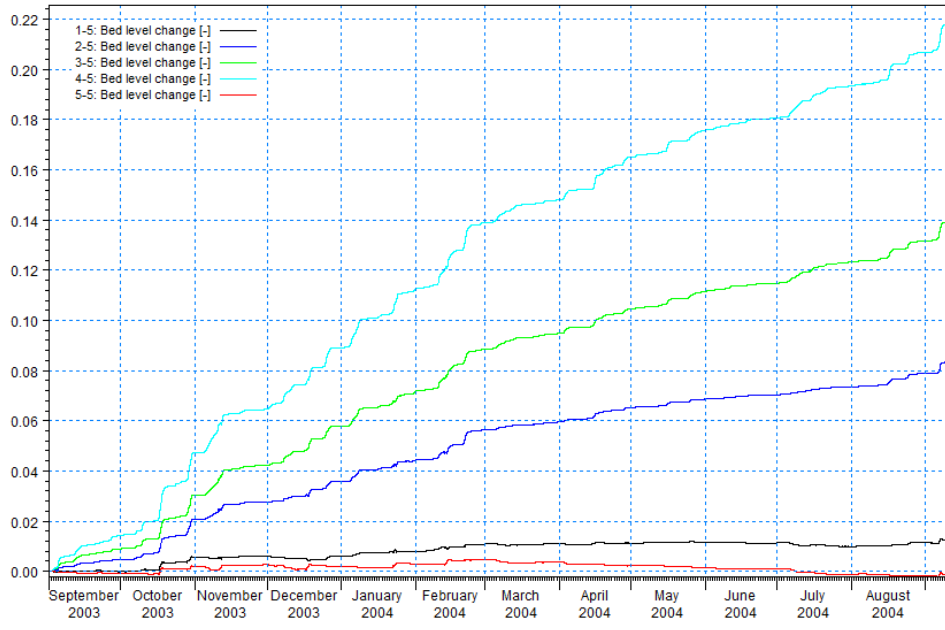
Şekil 4.36 100m derinlikteki katı madde gülleri



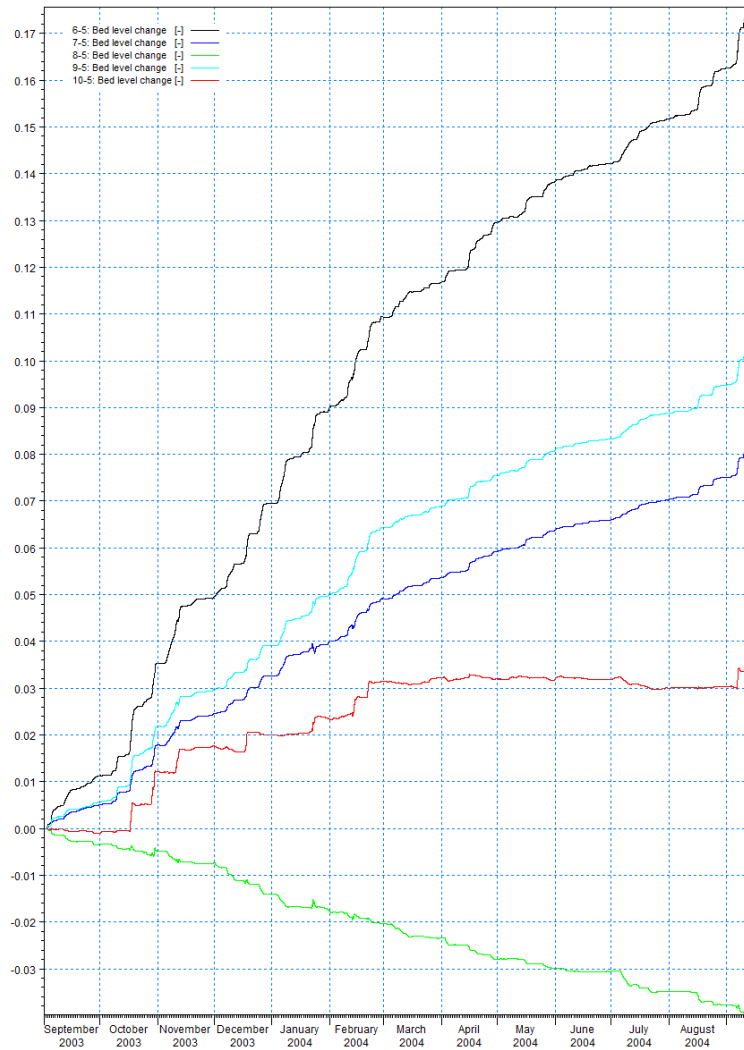


Şekil 4.37 100m derinlikteki katı madde gülleri

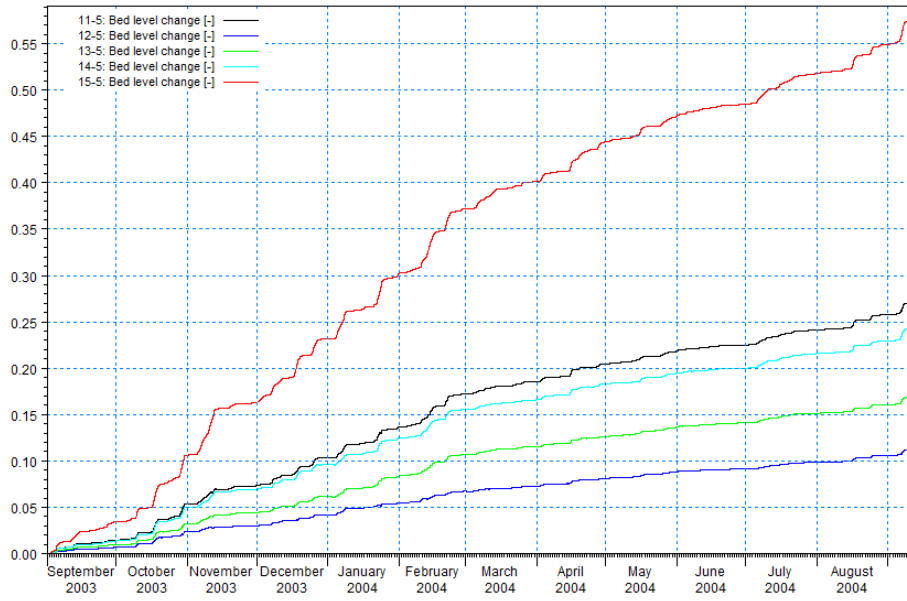
Deniz tabanındaki -5m, -20m, -50m ve -100m derinliklerde 1 yıl içinde deniz tabanındaki değişimler sırasıyla Şekil 4.38'den Şekil 4.68'e kadar farklı konumlar için zamanla kümülatif olarak değişimleri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi taşınım doğal olarak -5m derinlikte oldukça aktiftir. -5m derinlikte genelde birikim görülmektedir. Yıllık taban değişimi incelendiğinde Sakarya nehri ağızında +1m'ye ulaşmaktadır. Ağızdan doğu ve batı yönlerine uzaklaştıkça yığılma miktarları azalmaktadır. Ancak bu değişimler kıyının dik taşınım açısından oldukça aktif olduğunu göstermektedir. -20m derinlikte Sakarya nehri ağızında yığılma görülmesine karşın doğu ve batı kıyılarında azalma söz konusudur. Ancak derinlik arttıkça (-50m ve -100m) taban değişimi azalmakta genellikle azalma yönünde değişkenlik göstermektedir.



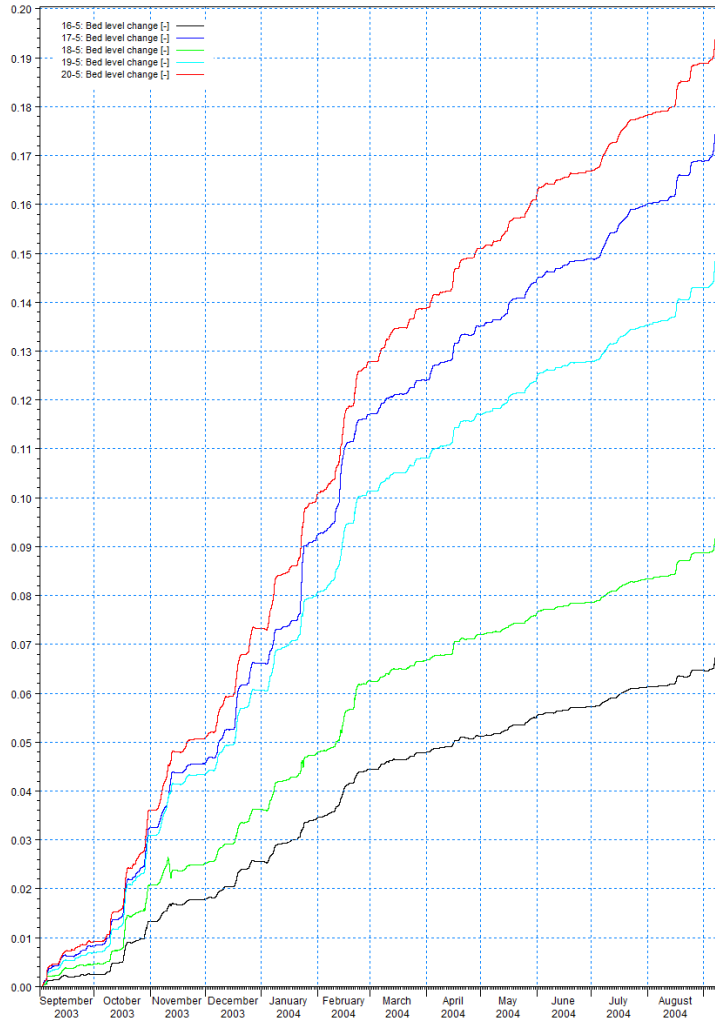
Şekil 4.38 5m derinliğine ait 1, 2, 3, 4 ve 5. noktalara ait taban değişim değerleri



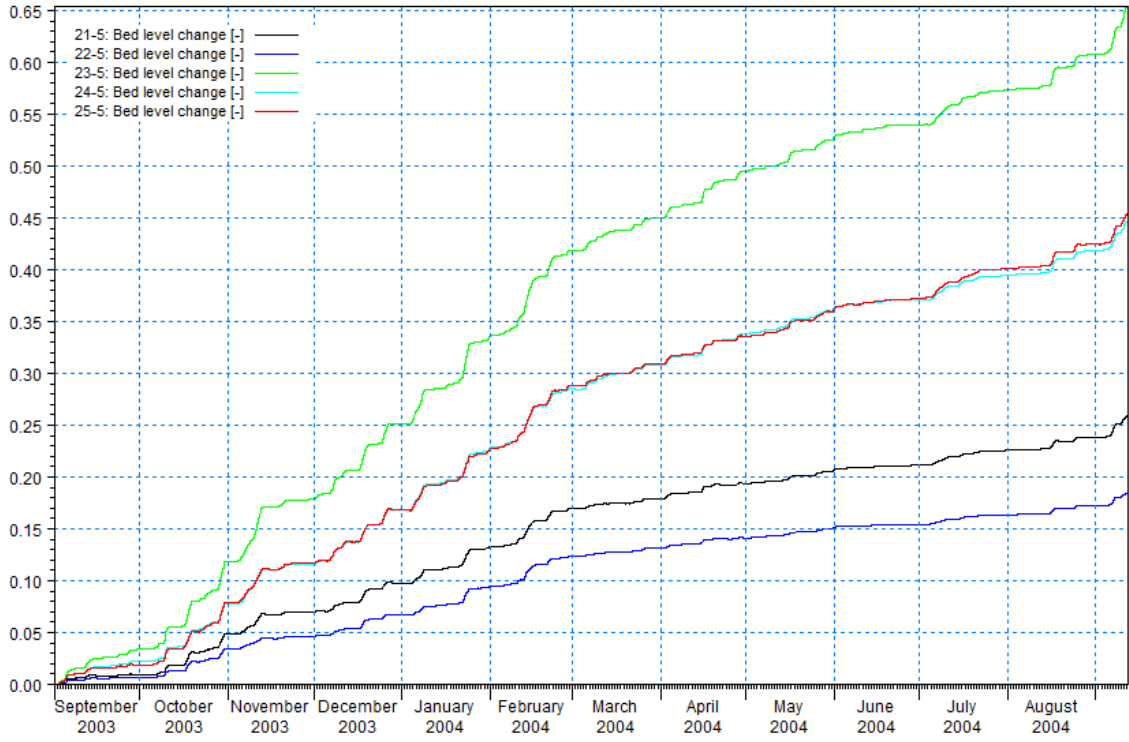
Şekil 4.39 5m derinliğine ait 6, 7, 8, 9, ve 10. noktalara ait taban değişim değerleri



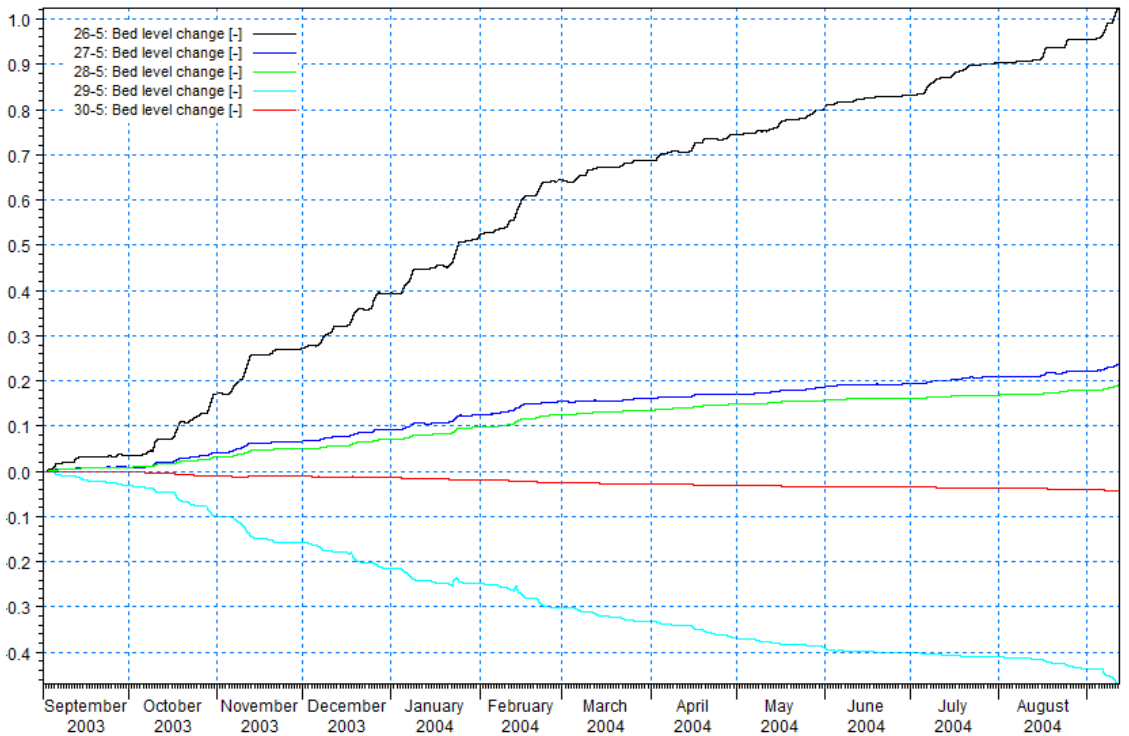
Şekil 4.40 5m derinliğine ait 11, 12, 13, 14 ve 15. noktalara ait taban değişim değerleri



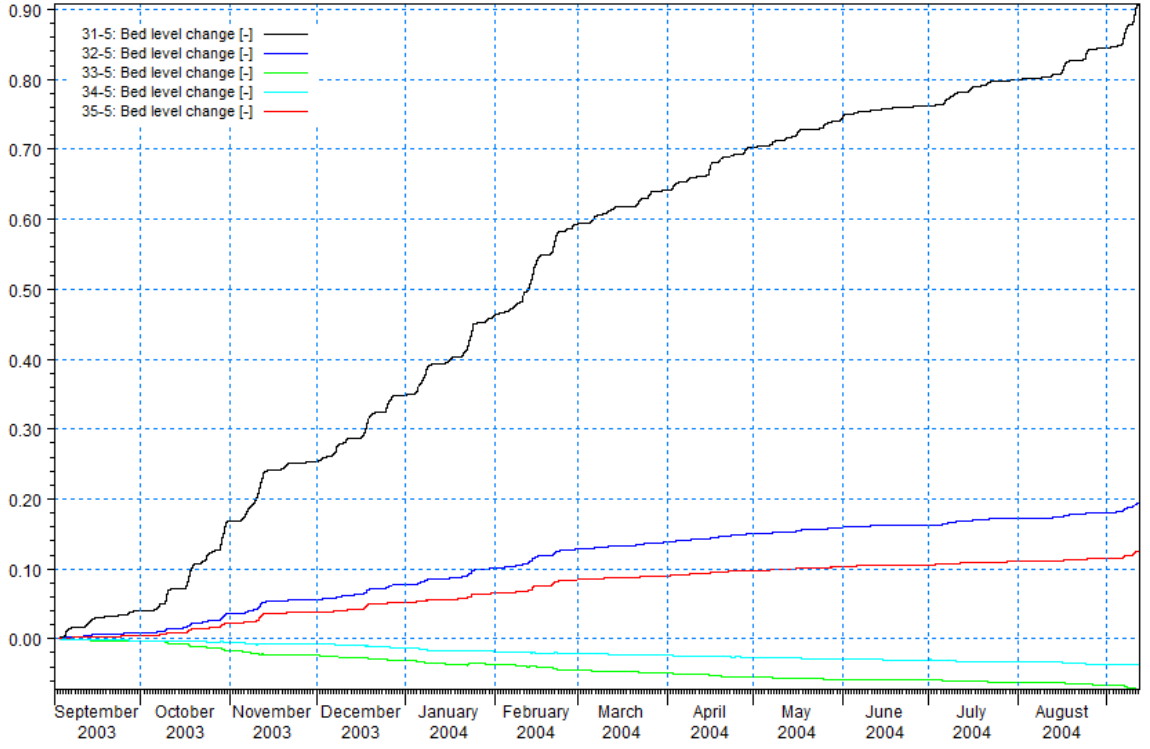
Şekil 4.41 5m derinliğine ait 15, 16, 17, 18, 19 ve 20. noktalara ait taban değişim değerleri



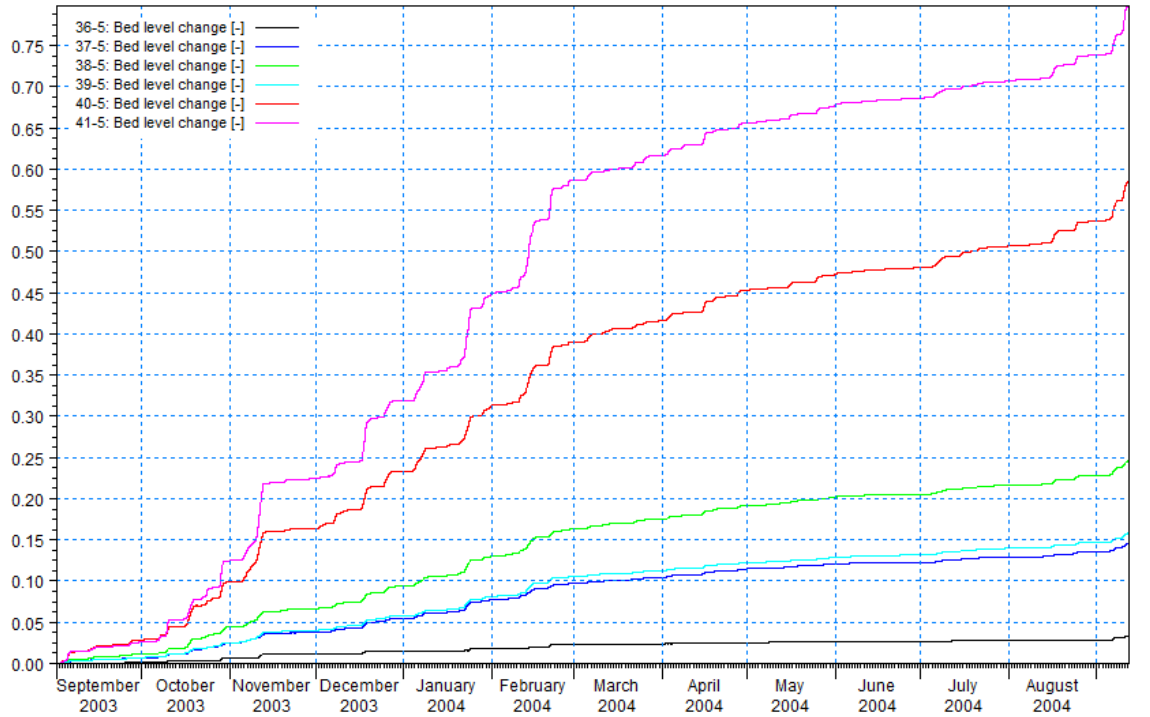
Şekil 4.42 5m derinliğine ait 21, 22, 23, 24 ve 25. noktalara ait taban değişim değerleri



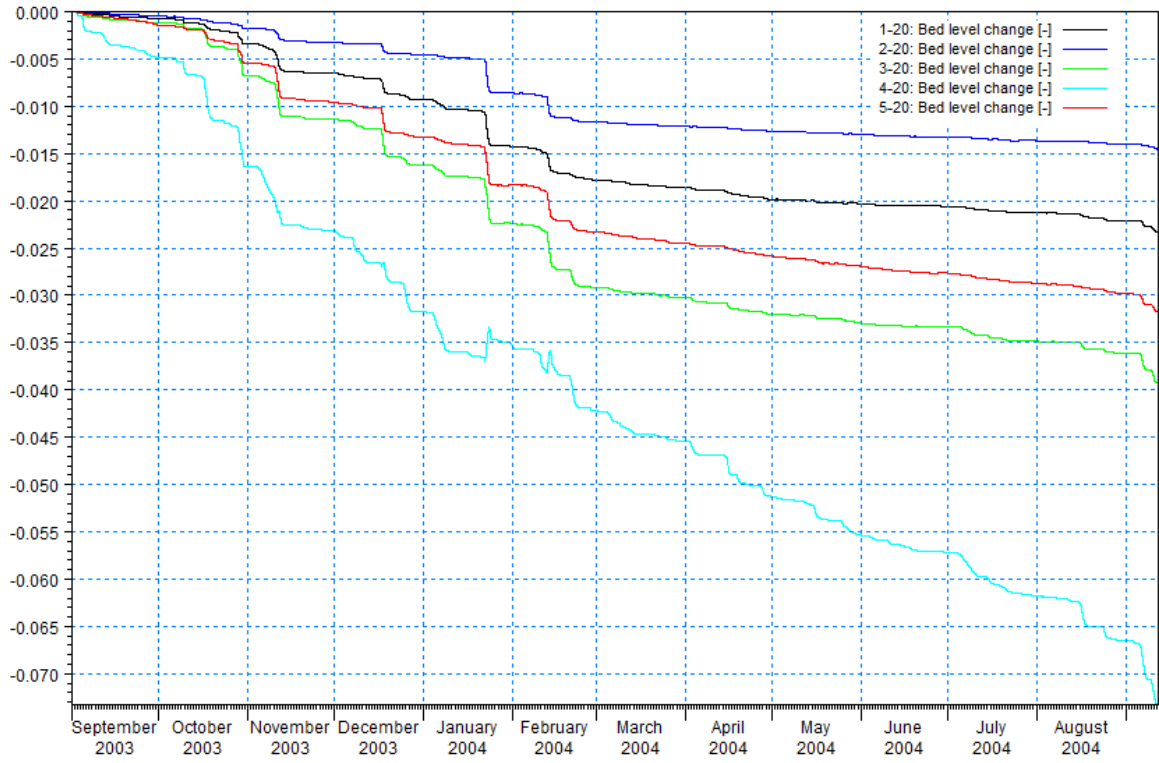
Şekil 4.43 5m derinliğine ait 26, 27, 28, 29 ve 30. noktalara ait taban değişim değerleri



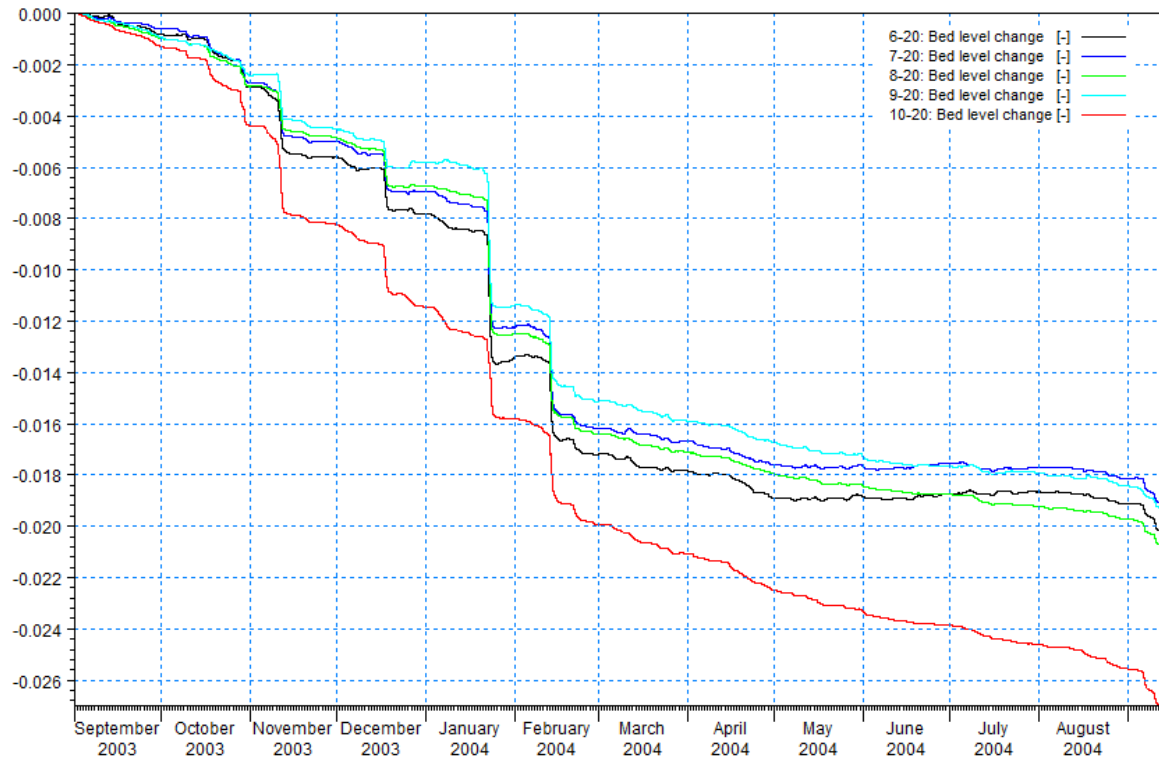
Şekil 4.44 5m derinliğine ait 31, 32, 33, 34 ve 35. noktalara ait taban değışim değeri



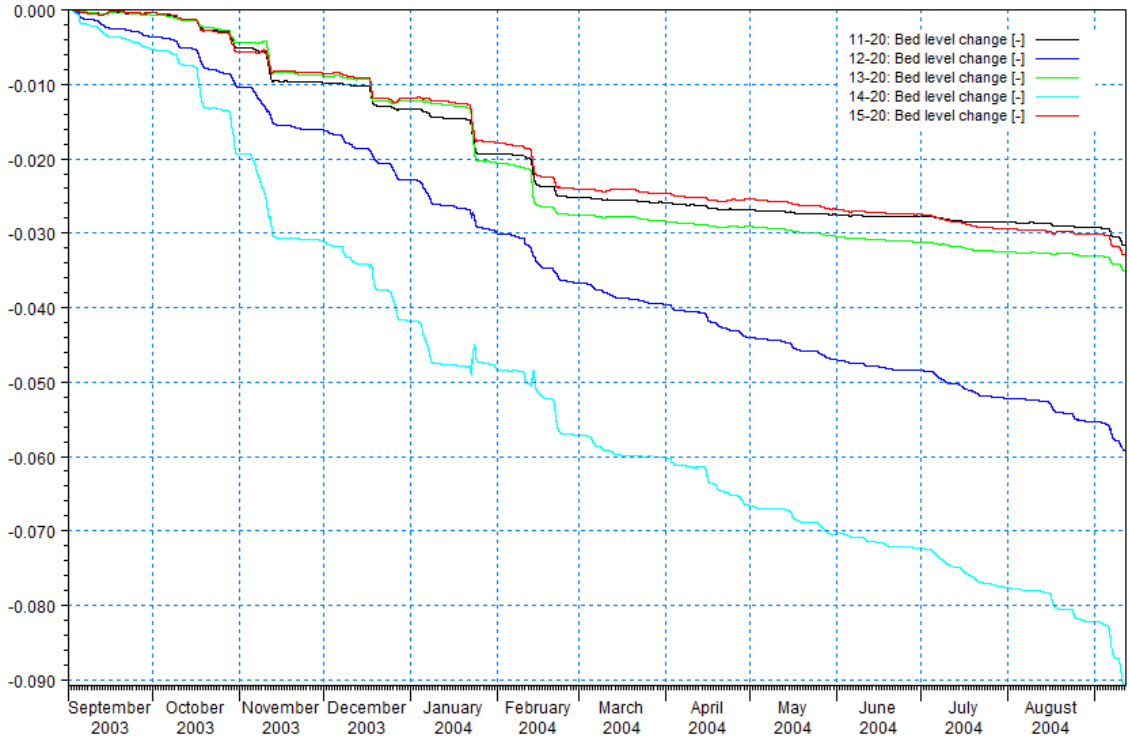
Şekil 4.45 5m derinliğine ait 36, 37, 38, 39, 40 ve 41. noktalara ait taban değışim değeri



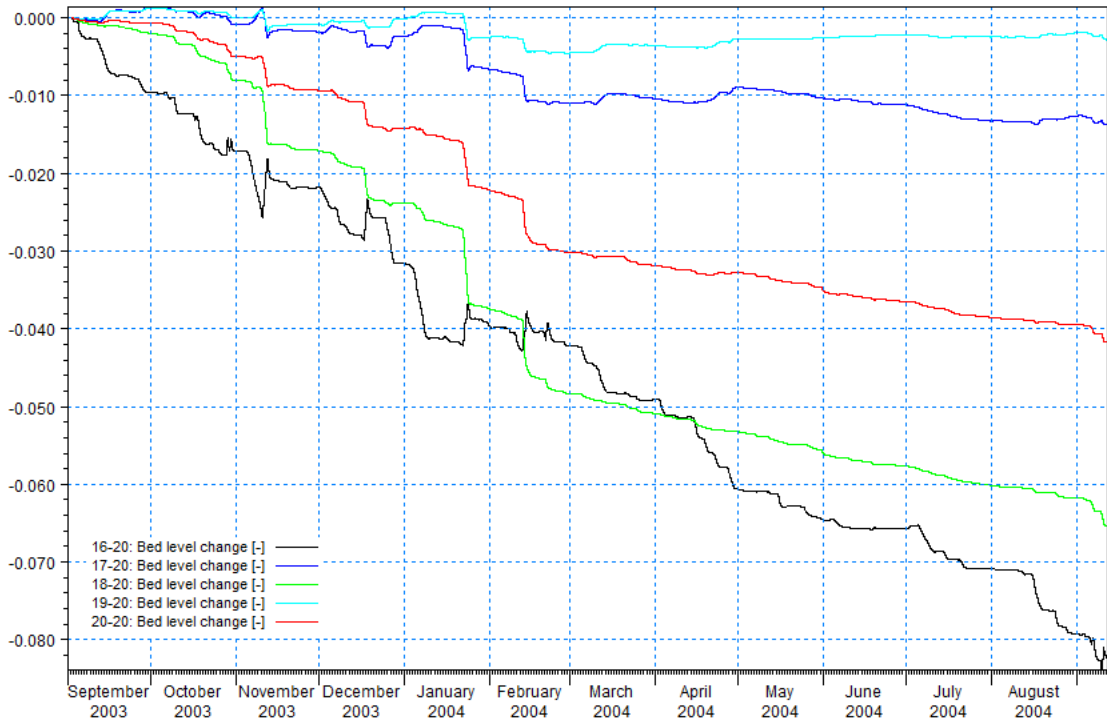
Şekil 4.46 20m derinliğine ait 1, 2, 3, 4 ve 5. noktalara ait taban değişim değerleri



Şekil 4.47 20m derinliğine ait 6, 7, 8, 9, ve 10. noktalara ait taban değişim değerleri

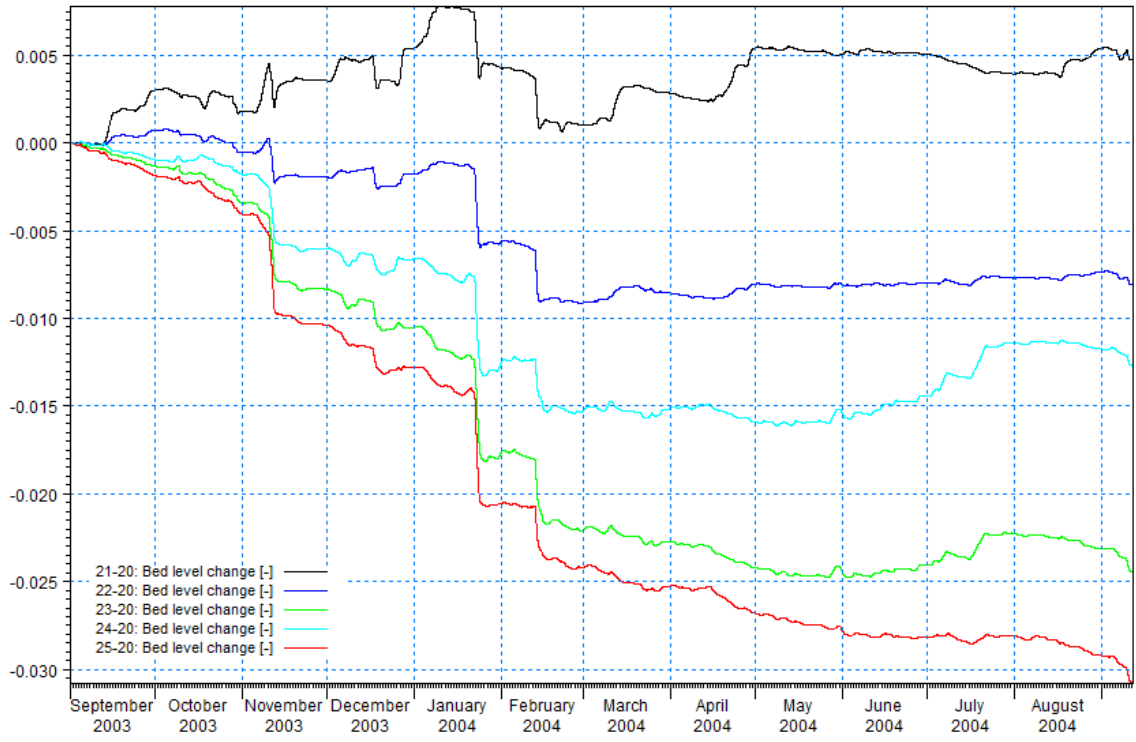


Şekil 4.48 20m derinliğine ait 11, 12, 13, 14 ve 15. noktalara ait taban değişim değerleri

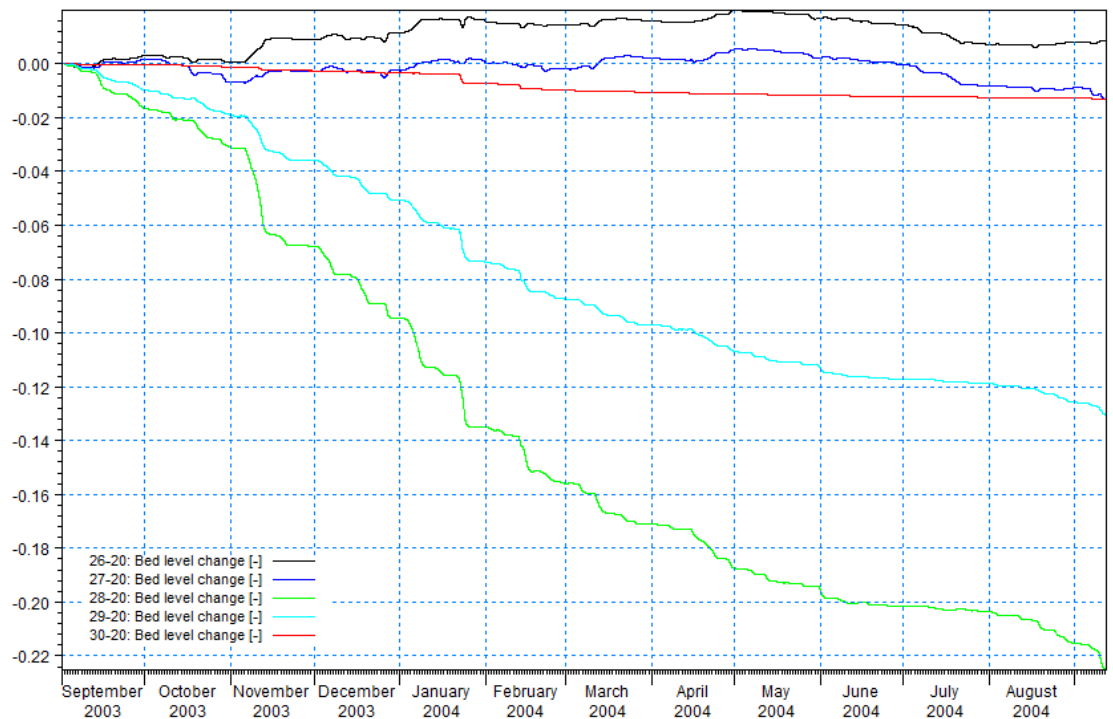


Şekil 4.49 20m derinliğine ait 15, 16, 17, 18, 19 ve 20. noktalara ait taban değişim değerleri

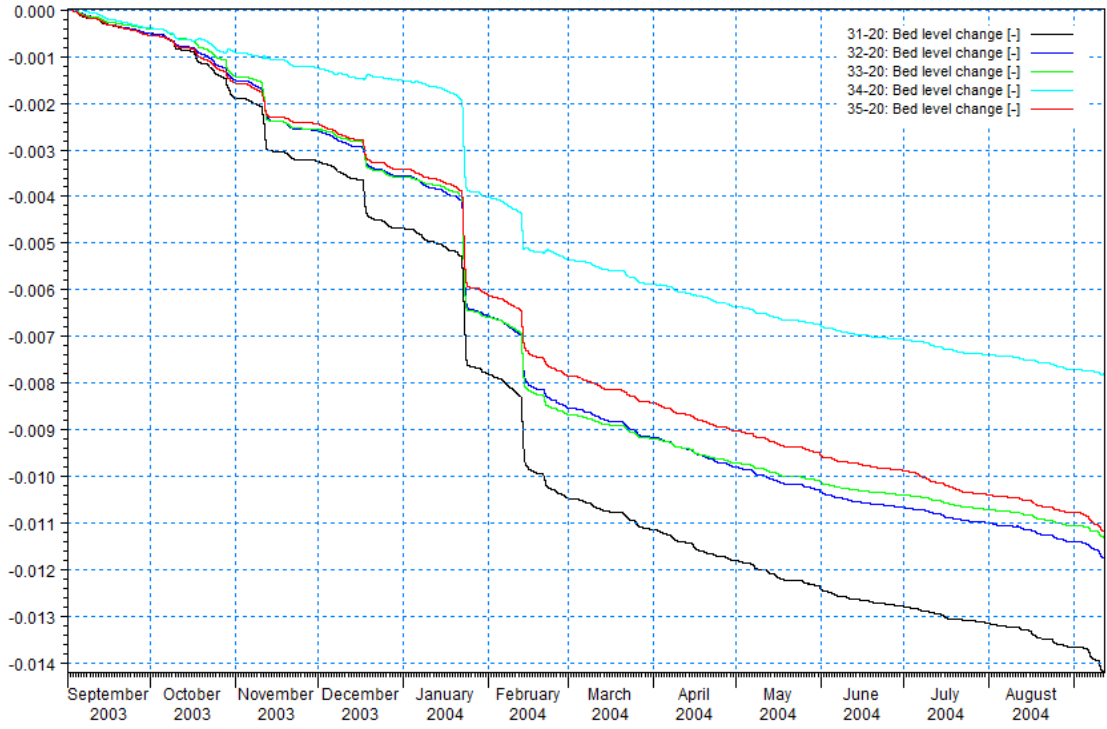




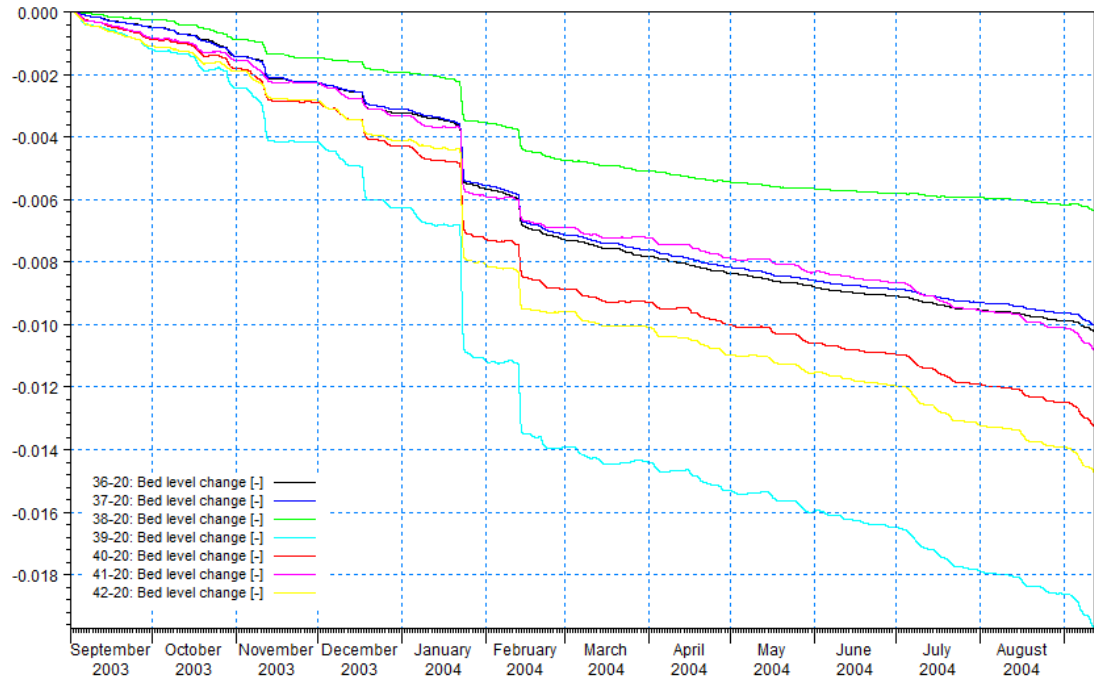
Şekil 4.50 20m derinliğine ait 21, 22, 23, 24 ve 25. noktalara ait taban değişim değerleri



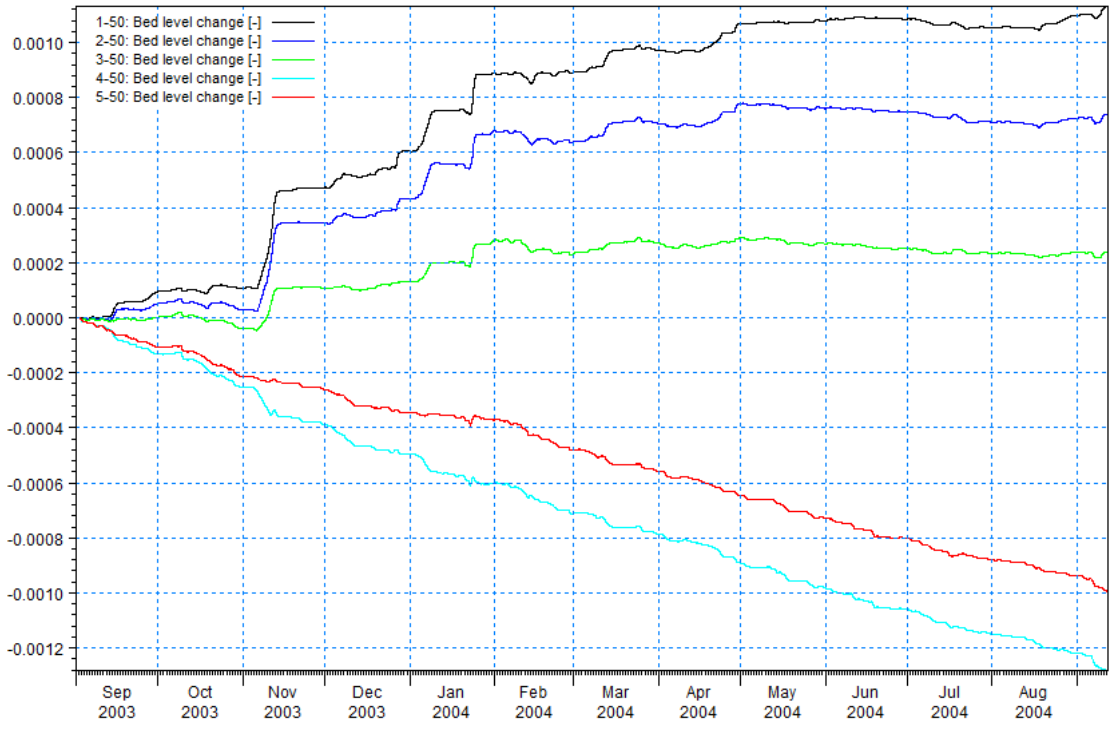
Şekil 4.51 20m derinliğine ait 26, 27, 28, 29 ve 30. noktalara ait taban değişim değerleri



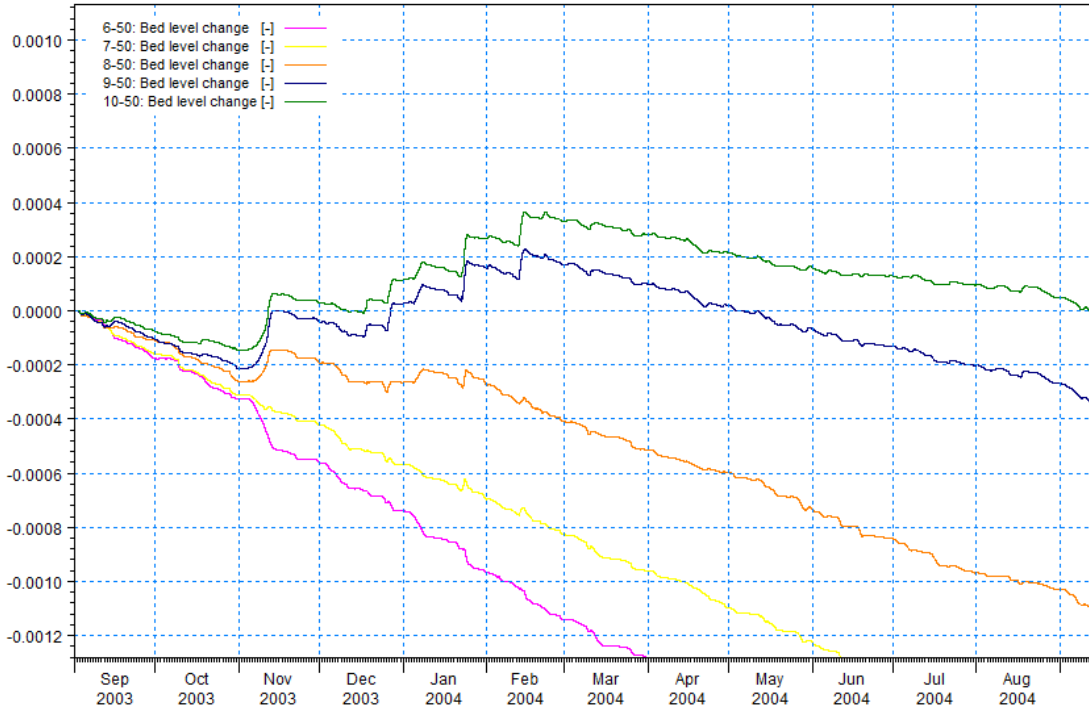
Şekil 4.52 20m derinliğine ait 31, 32, 33, 34 ve 35. noktalara ait taban değişim değerleri



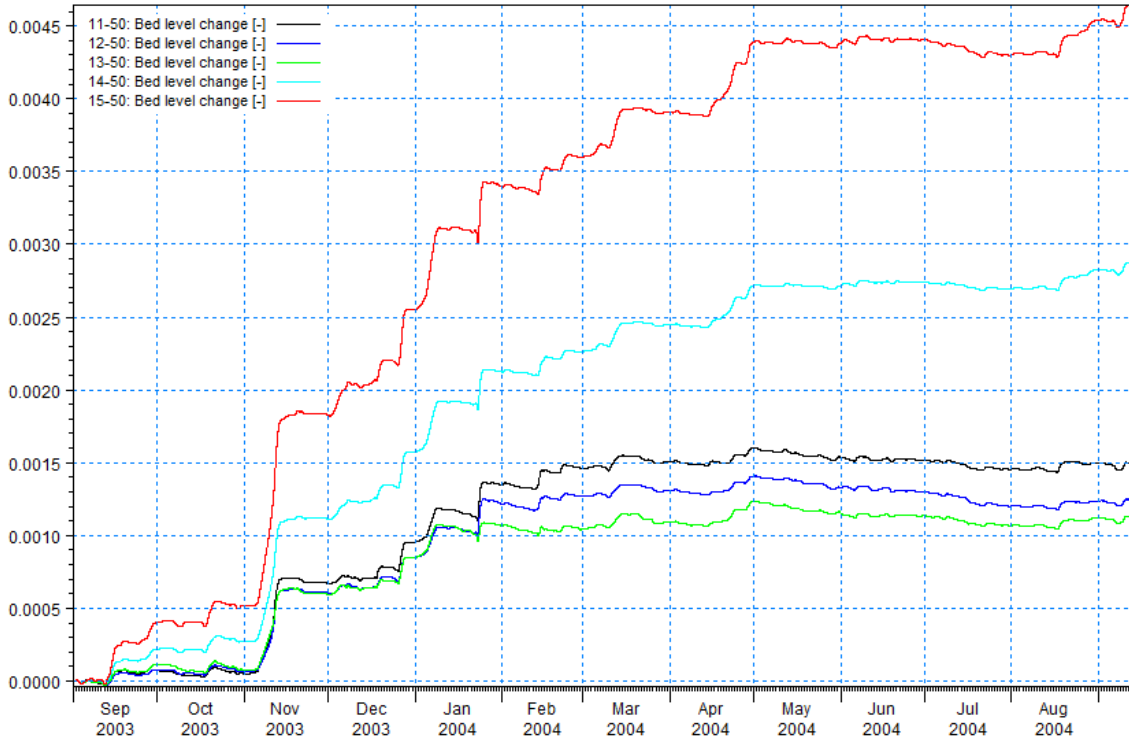
Şekil 4.53 20m derinliğine ait 36, 37, 38, 39, 40, 41 ve 42. noktalara ait taban değişim değerleri



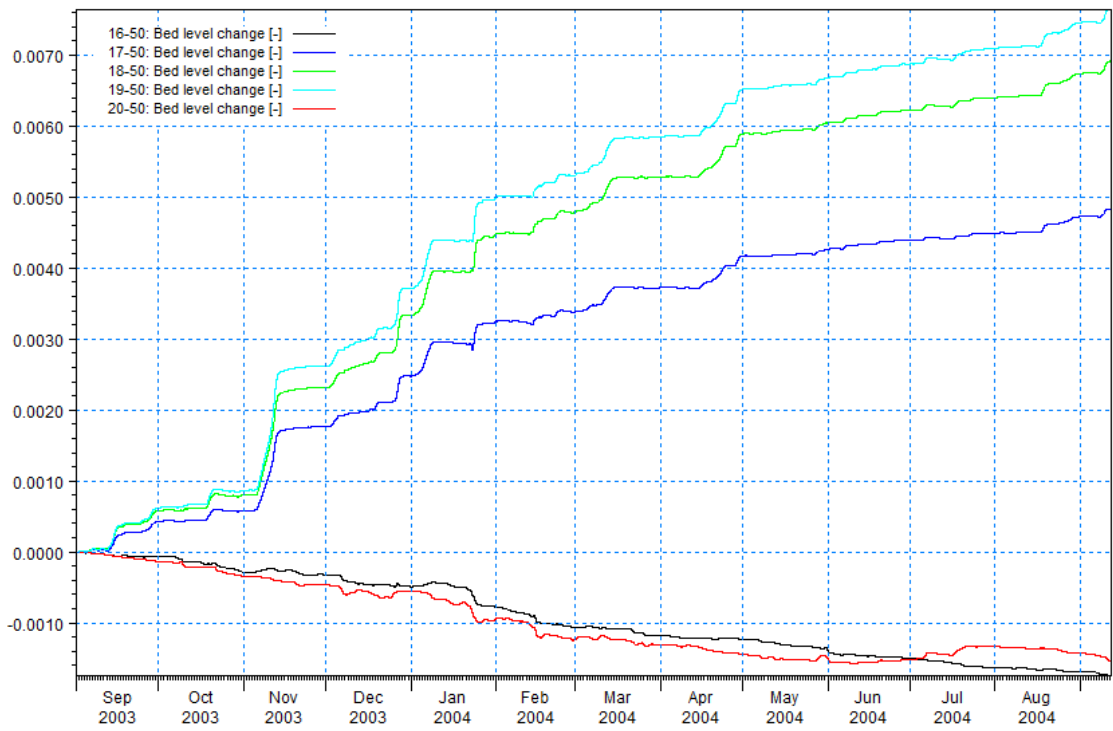
Şekil 4.54 50m derinliğine ait 1, 2, 3, 4 ve 5. noktalara ait taban değişim değerleri



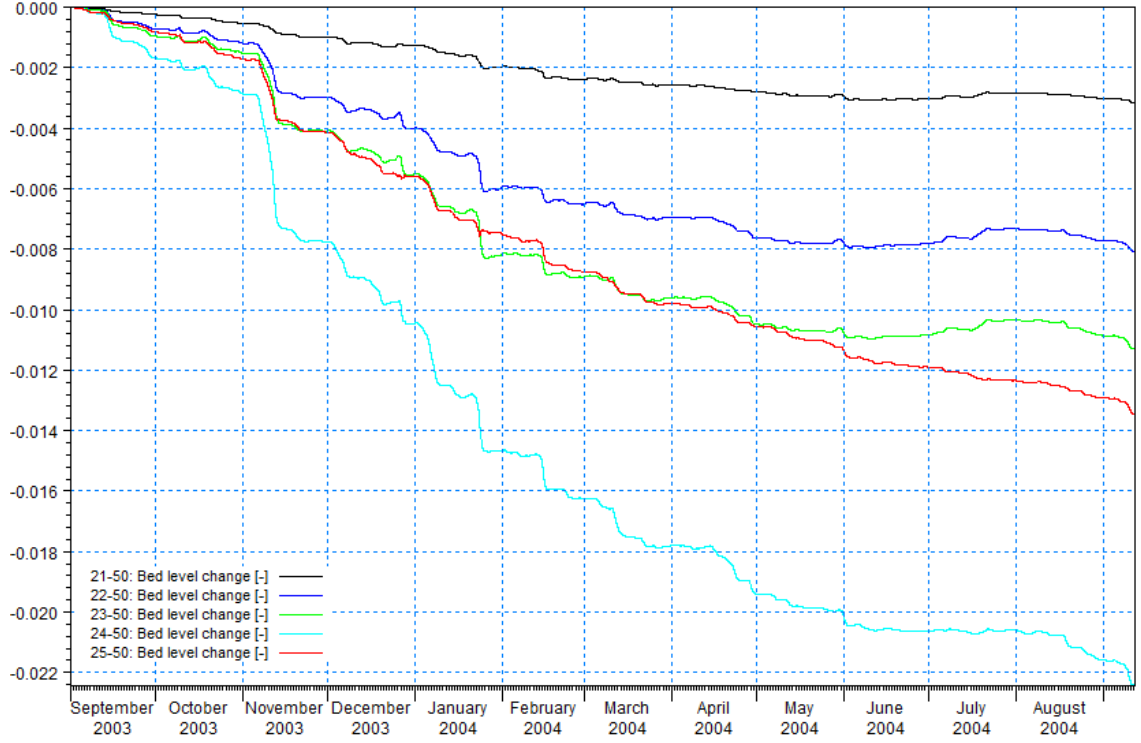
Şekil 4.55 50m derinliğine ait 6, 7, 8, 9, ve 10. noktalara ait taban değişim değerleri



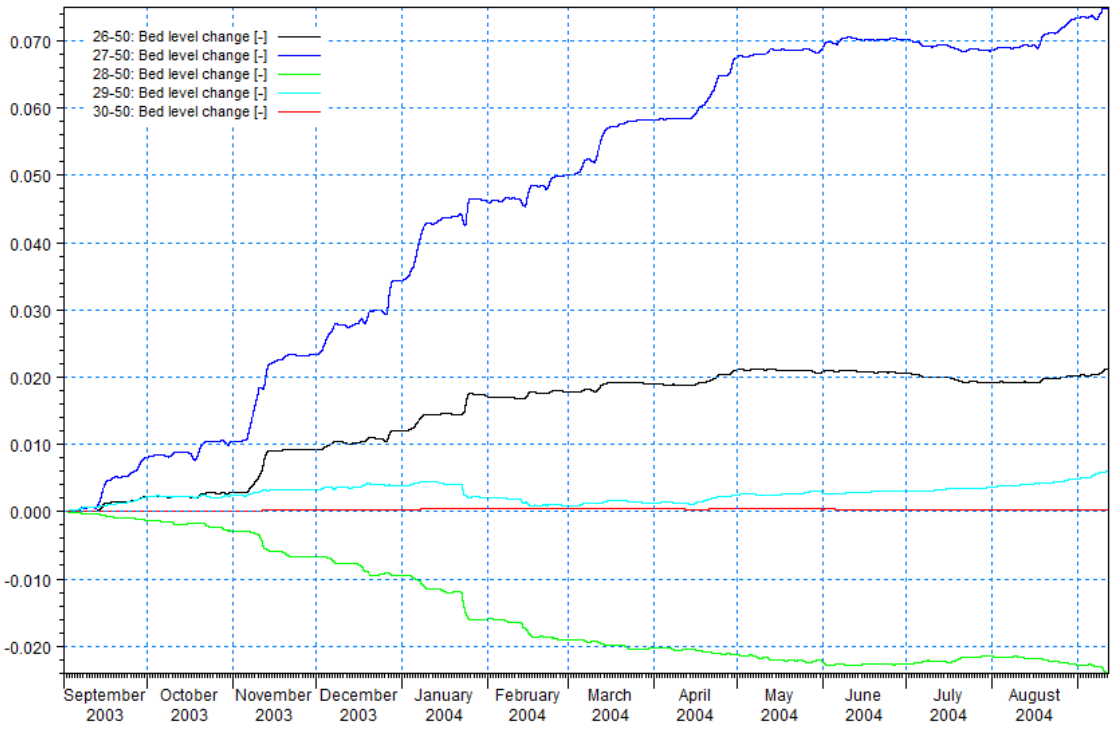
Şekil 4.56 50m derinliğine ait 11, 12, 13, 14 ve 15. noktalara ait taban değişim değerleri



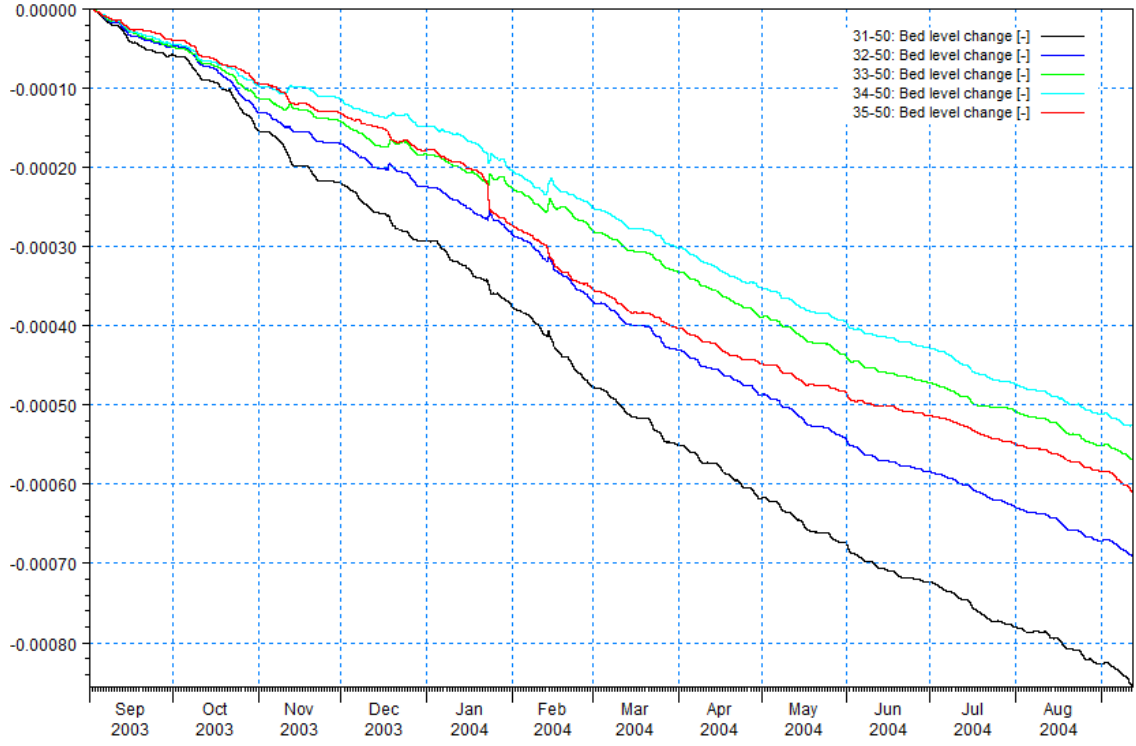
Şekil 4.57 50m derinliğine ait 15, 16, 17, 18, 19 ve 20. noktalara ait taban değişim değerleri



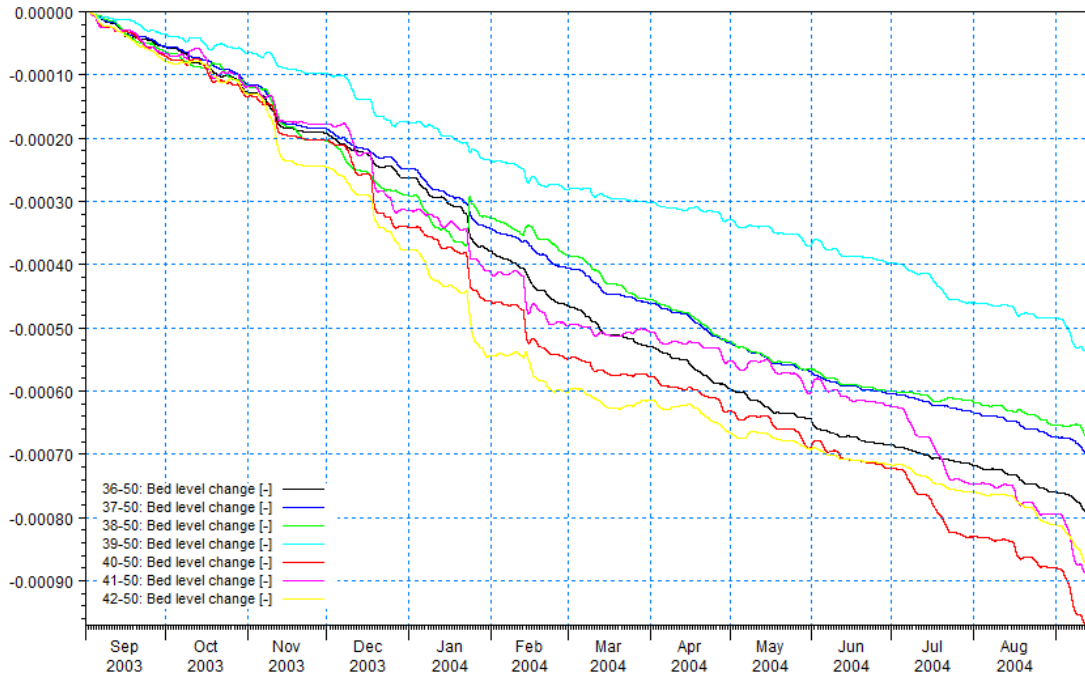
Şekil 4.58 50m derinliğine ait 21, 22, 23, 24 ve 25. noktalara ait taban değişim değerleri



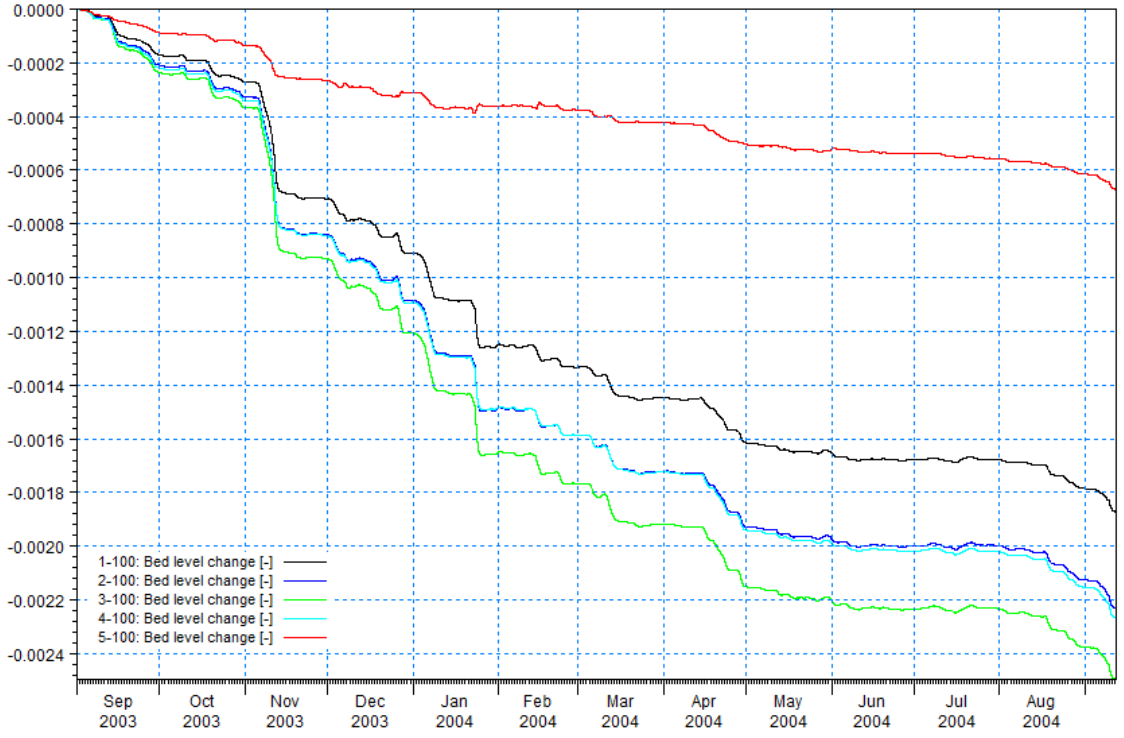
Şekil 4.59 50m derinliğine ait 26, 27, 28, 29 ve 30. noktalara ait taban değişim değerleri



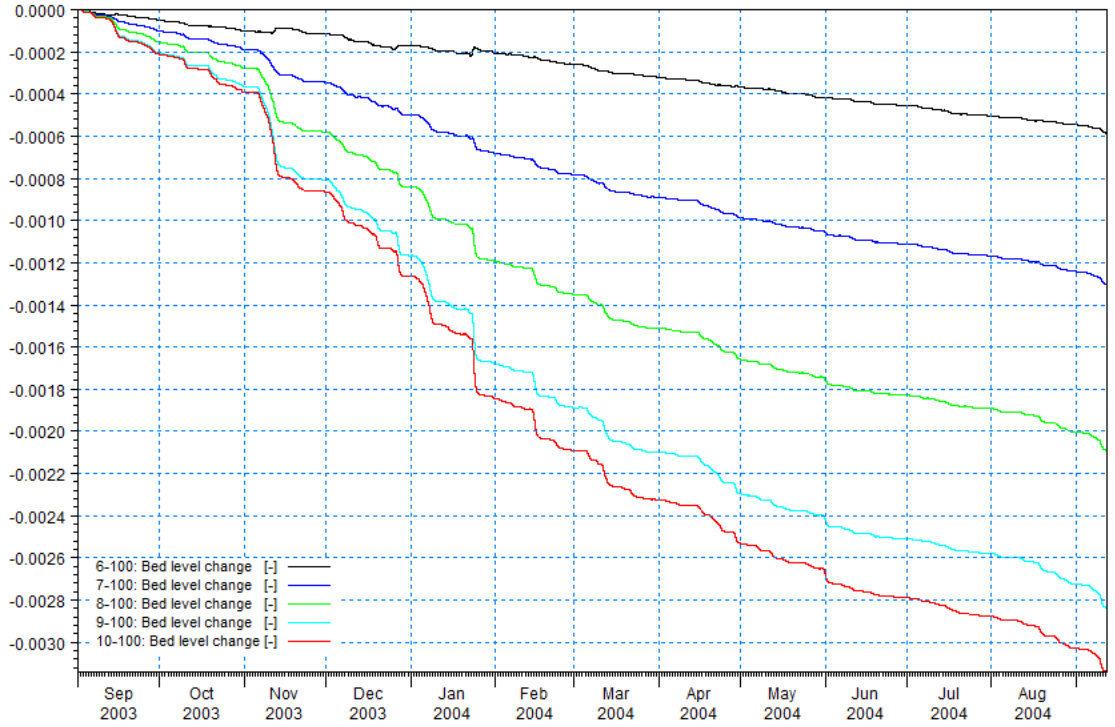
Şekil 4.60 50m derinliğine ait 31, 32, 33, 34 ve 35. noktalara ait taban değişim değerleri



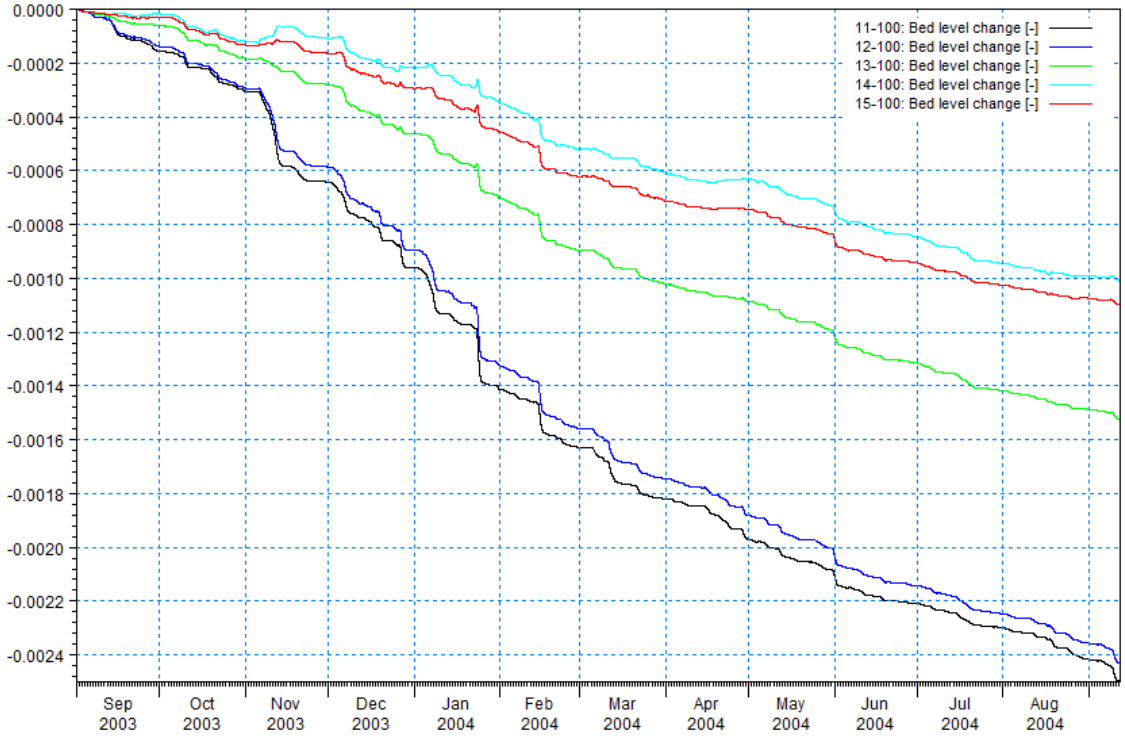
Şekil 4.61 50m derinliğine ait 36, 37, 38, 39, 40, 41 ve 42. noktalara ait taban değişim değerleri



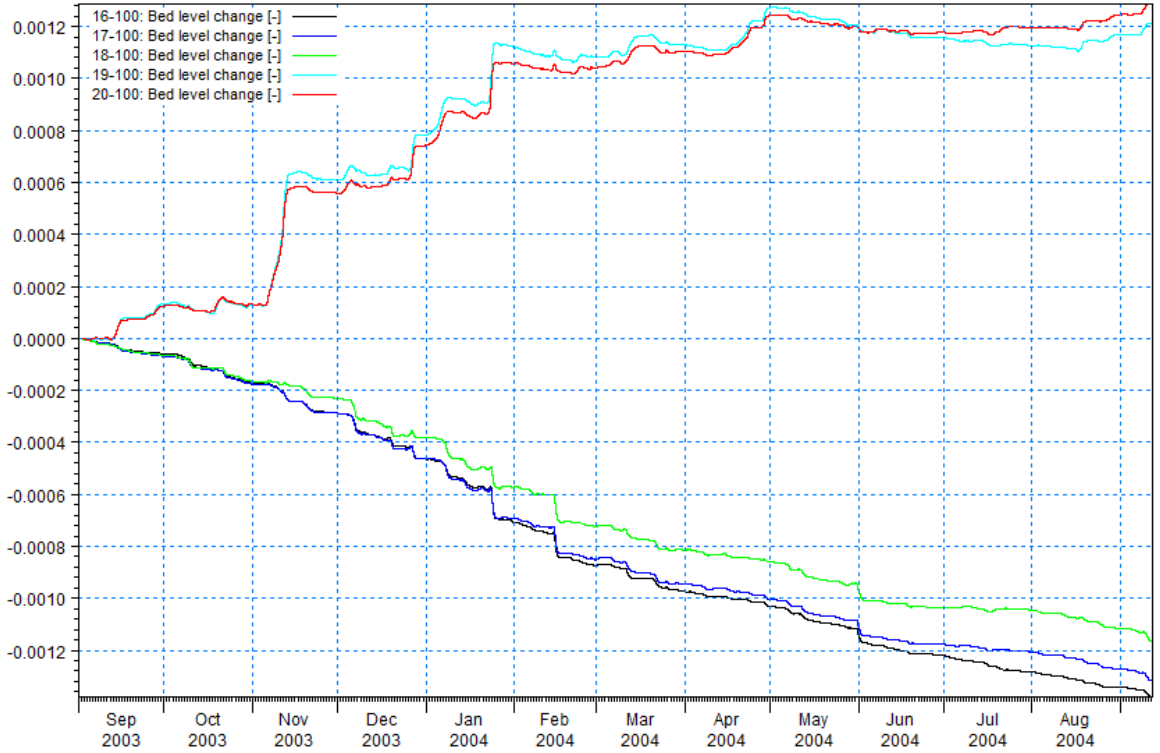
Şekil 4.62 100m derinliğine ait 1, 2, 3, 4 ve 5. noktalara ait taban değişim değerleri



Şekil 4.63 100m derinliğine ait 6, 7, 8, 9, ve 10. noktalara ait taban değişim değerleri

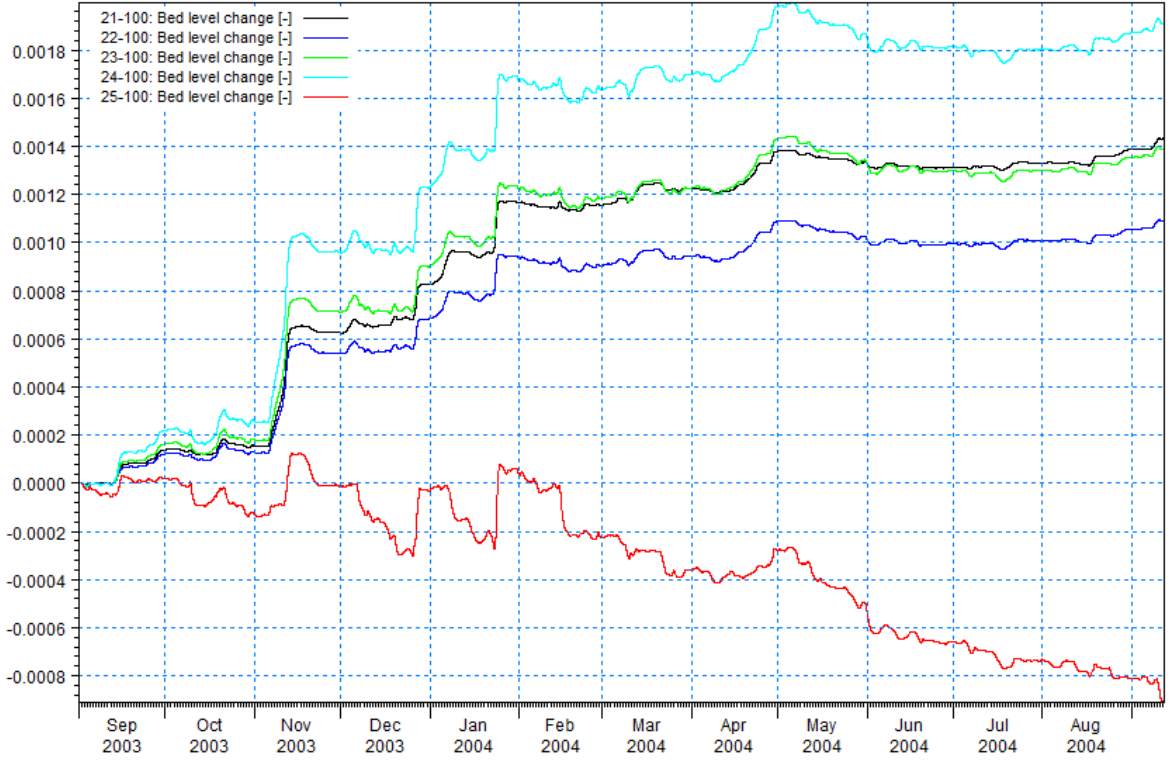


Şekil 4.64 100m derinliğine ait 11, 12, 13, 14 ve 15. noktalara ait taban değişim değerleri

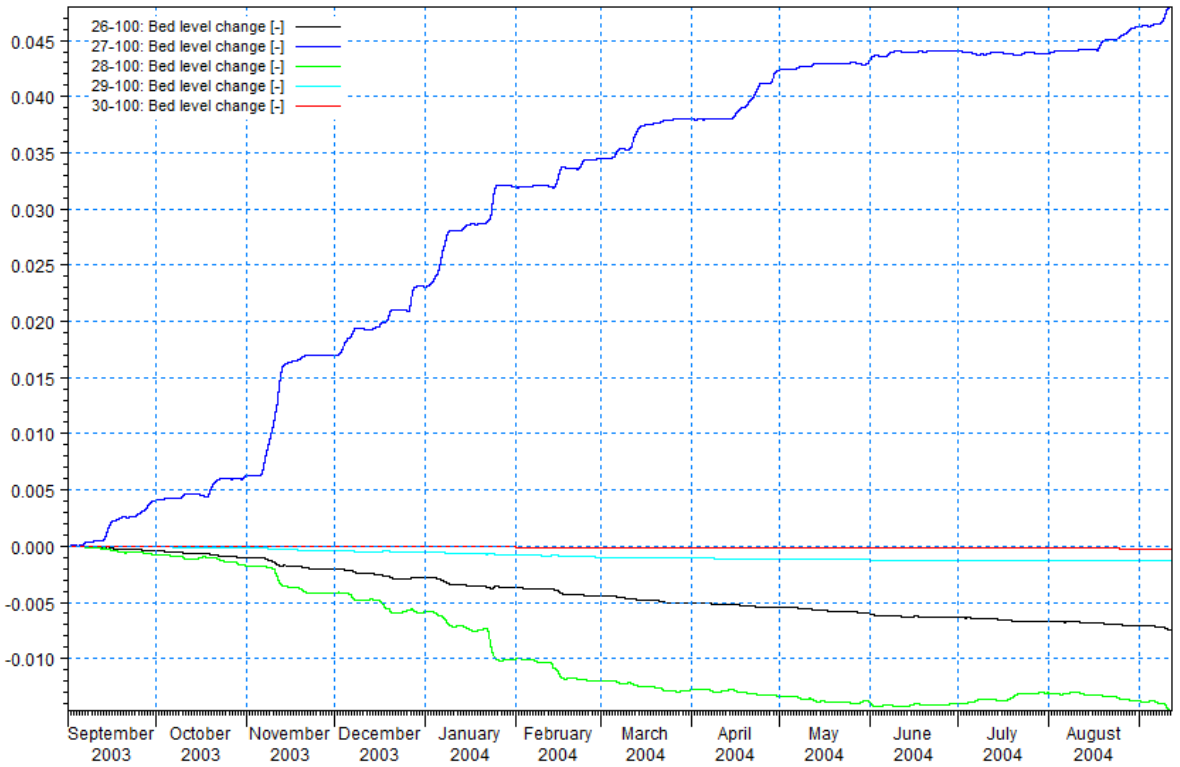


Şekil 4.65 100m derinliğine ait 15, 16, 17, 18, 19 ve 20. noktalara ait taban değişim değerleri

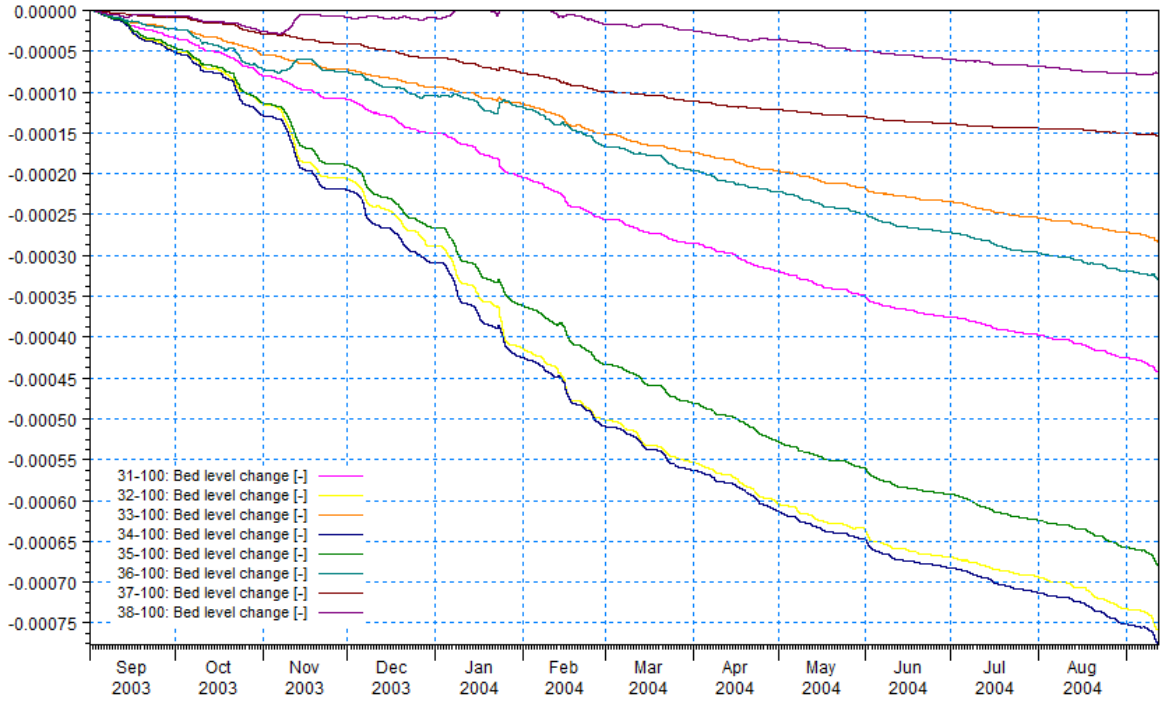




Şekil 4.66 100m derinliğine ait 21, 22, 23, 24 ve 25. noktalara ait taban değişim değerleri



Şekil 4.67 100m derinliğine ait 26, 27, 28, 29 ve 30. noktalara ait taban değişim değerleri



Şekil 4.68 100m derinliğine ait 31, 32, 33, 34, 35 ve 36. noktalara ait taban değişim değerleri

### KIYI MORFOLOJİSİNİN MODELLENMESİ

Kıyı morfolojisinin gelişimi karmaşık fiziksel işlemleri içermektedir. Bu gelişimi inceleyebilmek için kullanılan mevcut modeller;

- Kıyı profili modeli
- Kıyı çizgisi modeli
- 3 Boyutlu kıyı değişim modeli

olmak üzere üç ana kategoride sınıflandırılmaktadır.

Bu bölümde daha önce Mike 21 Birleşik modeli kullanılarak katı madde taşınımı ve morfolojisi modellenen Karasu bölgesine ait kıyı çizgisi değişiminin incelenebilmesi amacı ile LITPACK sayısal modeli koşturulmuştur. Modelde kıyı çizgisi değişimini belirleyen LITLINE, katı madde taşınımını belirli bir nokta için belirleyen LITSTP modülü ile kıyı boyu katı madde taşınım modülü olan LITDRIFT ve kıyıya dik profil değişimini belirlemek için LITPROF modülü kullanılmıştır. Kıyı çizgisinin değişiminin modellenmesindeki amaç uydu görüntüleri kullanılarak kalibrasyonu yapılan bu model yardımıyla uzun dönemde kıyı çizgisinde meydana gelecek değişimleri belirlemektir. Bu amaçla bölgede yapılan saha ölçümlerinden elde edilen veriler (basamak ve kumul yükseklikleri, kıyı profili, taban malzemesi özellikleri) girdi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca küresel iklim değişikliğinin ve kıyıdaکی yanlış uygulamaların yaratacağı risklerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 5.1 LITPACK Sayısal Modeli

LITPACK dalga ve akıntı etkisinde koheziv olmayan katı madde taşınımını modellemek için geliştirilmiş olan bir yazılımdır. LITPACK sayısal modelinin farklı kıyı çizgisi problemlerinde;

- LITSTP koheziv olmayan yerel katı madde taşınım modeli
- LITDRIFT kıyı boyu katı madde taşınım modeli
- LITLINE kıyı çizgisi gelişim modeli
- LITPROF kıyı profil değişim modeli
- LITREN dengede olmayan hendek kumlanması modeli

olmak üzere değişik özelliklere sahip beş farklı modülü bulunmaktadır [24].

### 5.1.1 LITSTP

LITSTP modülü, dalga ve akıntı etkisinde koheziv olmayan katı madde taşınımını, belirli bir derinlikteki dalga, akıntı ve katı madde parametre girdileri ile hesaplamaktadır [25].

LITSTP modülünde toplam katı madde debisi ( $q_t$ ) sürüntü ( $q_b$ ) ve askı halinde ( $q_s$ ) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Askı malzemesi taşınımı miktarı (5.1) ile verilen düşey türbülans difüzyon formülasyonu ile elde edilmektedir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \epsilon_s \frac{\partial C}{\partial z} \right) + w \frac{\partial C}{\partial z} \quad (5.1)$$

Burada;

t :zaman,

z :düşey koordinat (tabanda; z=0),

$\epsilon_s$  :katı madde türbülans difüzyon katsayısı (akım alanının eddy viskozitesine eşit alınmaktadır),

w :katı madde çökme hızıdır.

Askı malzemesi taşınım miktarı,  $q_s$  (dalga periyoduna göre zamansal ortalaması alınmış) katı madde konsantrasyonu ve akıntının hızı ile hesaplanmaktadır (Hedegaard vd., 1988);

$$q_s = \frac{1}{T} \int_0^T \int_{2d}^D (uc) dz dt \quad (5.2)$$

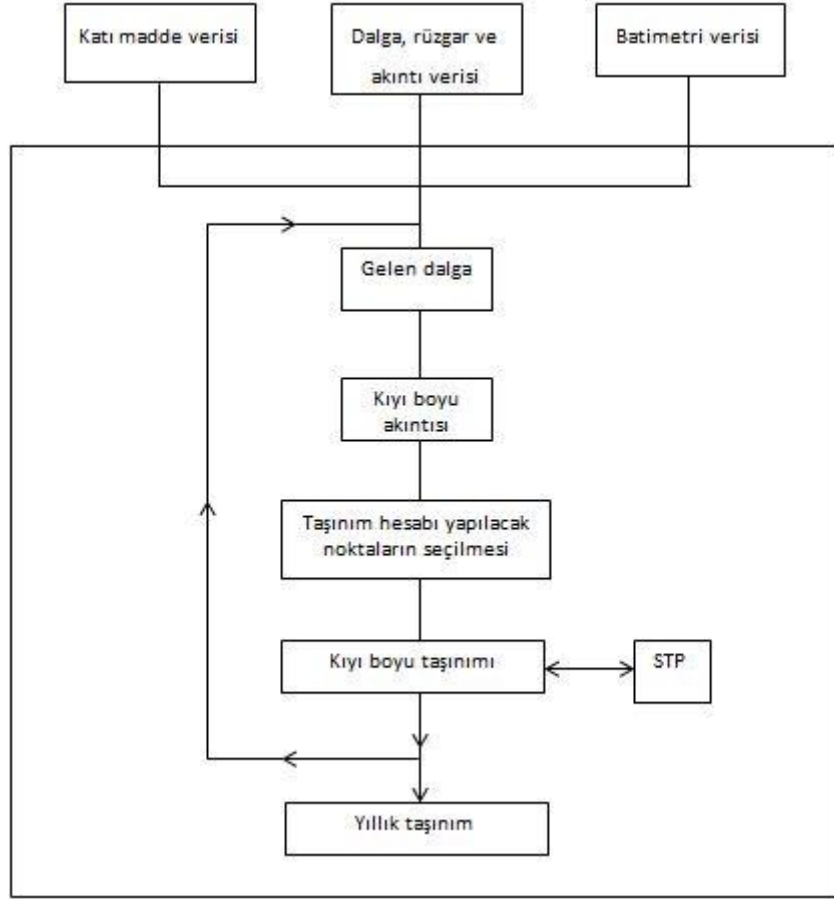
Koheziv olmayan sürüntü debisinin hesabı 4.Bölümde verilen MIKE 21 ST Sediment Taşınım Modelinde kullanılan Engelund ve Fredsøe (1976) taşınım ifadeler ile bulunmaktadır.

### 5.1.2 LITDRIFT

LITDRIFT modülü bir kıyı profili için dalga yüksekliğinin kıyıya dik dağılımını, dalga kabarmasını ve kıyı boyu akıntısını modellemekte ve katı madde bütçe analizini içermektedir. Bu modül bir katı madde bütçesinde oluşacak kıyı boyu hareketini hesaplamak için LITSTP modülünde derinliğe göre konumsal olarak hesaplanan debiler dikkate alınarak LITDRIFT modülünde integre edilmektedir (Şekil 5.1).

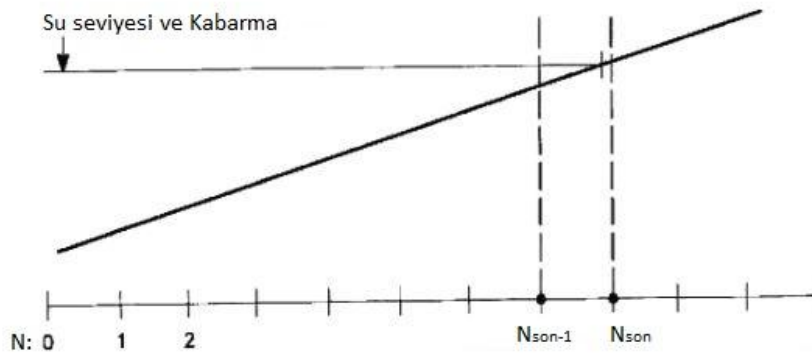
LITDRIFT modülünde yer alan hidrodinamik model dalgaların kırılması, düzenli ve düzensiz dalga koşulları altında herhangi bir batimetri için kıyı boyu katı madde taşınımının kıyıya dik dağılımını vermektedir. Modül kıyı boyu kum eşiklerini içeren karmaşık kıyı profillerinde de uygulanabilmektedir [26].

Bu modülde; hidrodinamik model ve katı madde taşınım modeli olmak üzere iki temel modelden faydalanılır. Böylece kıyı boyu akıntısı, kıyı boyu katı madde taşınımı ve yıllık katı madde taşınımı belirlenebilmektedir.



Şekil 5.1 LITDRIFT modülünün akım şeması [26]

LITDRIFT modülünde kıyı profili 0'dan N'e kadar ardışık noktalardan oluşan bir dizi şeklinde tanımlanmaktadır. Profilin son noktasının ( $N_{son}$ ) kıyıda bulunması gerekmektedir ve değeri 10'dan büyük olmalıdır. Su seviyesi ve kabarma hesapları  $N_{son-1}$  ve  $N_{son}$  noktaları arasında yeni bir kıyı çizgisi vermektedir. Kıyı çizgisindeki hidrodinamik parametreler sıfır olarak alınmaktadır. Şekil 5.2'de şematik kıyı profili verilmiştir.



Şekil 5.2 Şematik ayrıklaştırılmış kıyı profili [26]

Hidrodinamik ve katı madde taşınım modellerinin, dalga kırılma bölgesine yakın ve kıyı boyu akıntısının maksimum olduğu bölgelerde katı madde taşınım kapasitesinin en büyük değerini verdiği bilinmektedir. Bunun sebebi;

- Taşınımın akıntı hızı ile artması,
- Kıyı boyu akıntı hızı profilindeki en büyük değer sığ su koşullarında dalga kırılması ile oluşmaktadır. Bu nedenle taşınımın yüksek taban kayma gerilmeleriyle ve kırılan dalgalarla oluşan yüksek türbülans nedeniyle artmasıdır.

Katı madde taşınım hesaplarının yapılacağı noktalar (5.3) eşitliği ile verilen nokta seçim parametresi (S) ile bulunmaktadır.

$$S = \frac{V^3 H}{d_{50}^{3/2} h} \quad (5.3)$$

Burada; h:su derinliği, H:dalga yüksekliği,  $d_{50}$ :ortalama tane çapı, V:akıntı hızıdır.

Seçilen noktalardaki katı madde taşınım hesaplarından sonra, taşınım profil boyunca interpolate ve integre edilmektedir. Taşınımın seçilen noktalar arasında lineer değiştiği kabul edilmektedir.

Taşınan katı madde miktarına boşluk suyu dahil edilerek taşınan ıslak katı madde hacmi (5.4)eşitliği ile elde edilmektedir.

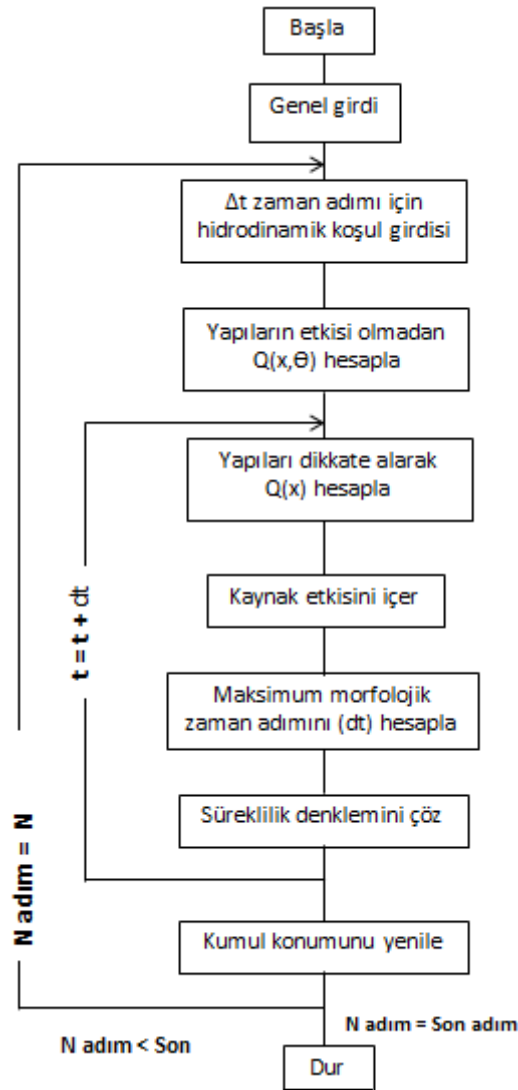
$$Q_{s,ıslak} = \frac{1}{(1 - \text{porozite})} Q_{s,kuru} \quad (5.4)$$

Yıllık taşınım miktarı ise bir yıl boyunca oluşan her dalga olayının taşınımına katkısı ile hesaplanmaktadır. Dalga iklimi modüle zaman serisi şeklinde verilmektedir ve her bir zaman adımında gelen bir dalgayı tarifleyen dalga parametreleri ile dalga sayısı. (5.5) 'de  $N_{dalga}$ : gelen dalgaların toplamı olacak şekilde; yıllık taşınımı tarifleyen ifadeyi göstermektedir [25].

$$Q_{yillik} = \sum_{i:1}^{N_{dalga}} Q_{si} \cdot \text{süre}(i) \quad (5.5)$$

### 5.1.3 LITLINE

LITLINE yazılımı, farklı kıyı yapıları ve kaynak/kayıp etkileri altında kıyı çizgisi gelişiminin belirlenmesinde kullanılan sayısal bir modeldir. Hesaplamaları kıyı çizgisi konumunu zaman serisi şeklinde tanımlanan dalga iklimine göre yapmaktadır. Model kıyıya dik profilin erozyon veya yığılma olması durumunda değişmediğini kabul eden tek çizgi teorisine dayanmaktadır. Bu sebeple kıyı morfolojisi sadece kıyı çizgisinin konumu ve kıyıya dik profillerle tanımlanmaktadır. LITLINE modülünün akım şeması Şekil 5.3’de verilmiştir [27].

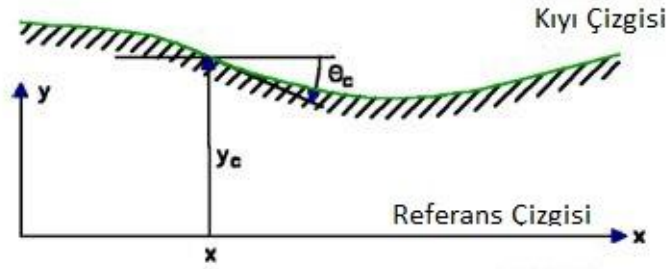


Şekil 5.3 LITLINE modülünün akım şeması [27]

LITLINE modülünde hesaplamalar Şekil 5.4’de görülen koordinat sistemine dayanmaktadır. Bu koordinat sisteminde x eksenini referans çizgisine paralel şekilde belirlenmektedir. y eksenini ise referans çizgisinden itibaren açık deniz doğrultusundadır.



Şekilde görülen  $y_c$  ise  $x$  eksenine bağlı olarak referans çizgisinden kıyı çizgisine olan dik mesafeyi vermektedir.



Şekil 5.4 LITLINE modülünde kullanılan koordinat sistemi [27]

LITLINE yazılımında kullanılan temel denklem katı madde taşınımı için süreklilik denklemi olarak verilmektedir.

$$\frac{\partial y_c(x)}{\partial t} = -\frac{1}{h_{\text{aktif}}(x)} \frac{\partial Q_k(x)}{\partial x} \Delta x \quad (5.6)$$

burada;

$y_c(x)$  :referans çizgisinden kıyı çizgisine olan dik mesafe,

$t$  :zaman,

$h_{\text{aktif}}$  :kıyı profilinin aktif yüksekliği,

$Q(x)$  :kıyı boyu katı madde taşınım debisi,

$x$  :kıyı boyu konumu,

$\Delta x$  :kıyı boyu ağ aralığı,

$Q_k(x)$ :kaynak ve kuyu taşınım debisini göstermektedir.

Denklemden verilen aktif kıyı profili yüksekliği basamak yüksekliği ( $h_{\text{basamak}}$ ), kumul yüksekliği ( $h_{\text{kumul}}$ ) ve kapama derinliği ( $h_c$ ) içermektedir.

$$h_{\text{aktif}} = h_{\text{kumul}} + h_{\text{basamak}} + h_c \quad (5.7)$$

LITLINE yazılımında tanımlanan bazı dalga parametreleri aşağıda verilmiştir;

$H_0$  :Referans derinliğindeki dalga yüksekliği (Düzensiz dalga yüksekliği için  $H_{\text{rms}}$ ),

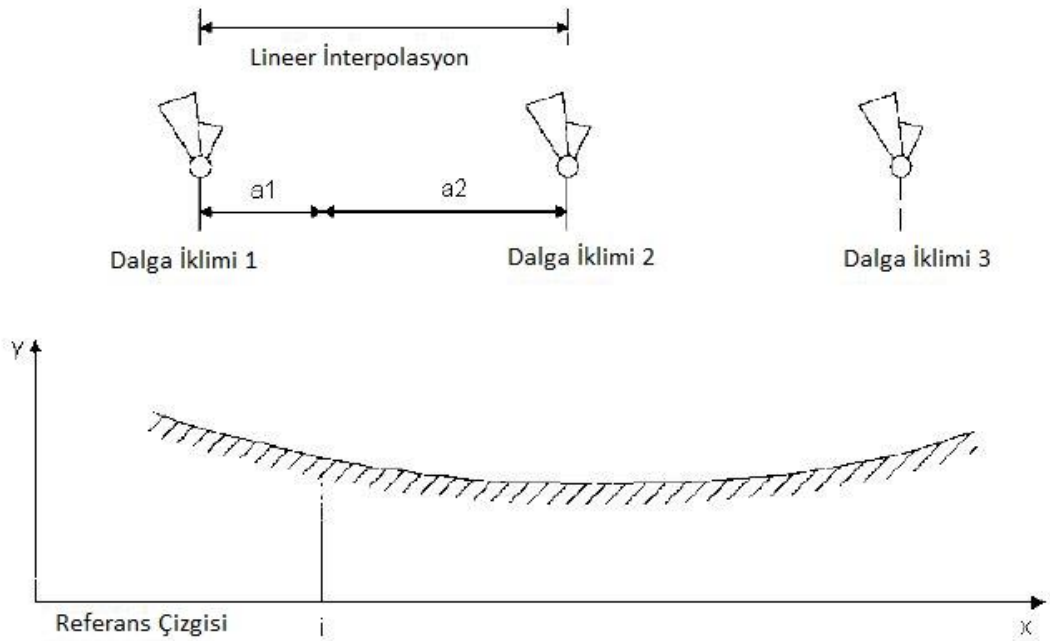
$\alpha_0$  :Referans derinliğindeki dalga geliş açısı,

$T$  :dalga periyodu,(Düzensiz dalga için  $T_m$  dalga periyodu)

SS:Ortalama su seviyesi,

$V_c$ :Akıntı hızıdır.

Şekil 5.5’de bir referans çizgisi boyunca birden çok belirlenmiş dalga iklimi görülmektedir. Sayısal model bu dalga iklimleri arasında lineer interpolasyon yaparak arada kalan bölgelerdeki dalga iklim parametrelerini hesaplamaktadır. Daha önce Karasu kıyı alanı için çalıştırılan Mike 21/3 Birleşik Model sonuçlarından elde edilen belirli noktalar için dalga iklim değerleri 4. Bölüm’de elde edilmiştir.



Şekil 5.5 Referans çizgisi boyunca değişen dalga iklimi [27]

Belirlenen bir kıyı konumunda ( $x_i$ ) dalga sapma ve sığlaşmaya uğratarak kırılma bölgesine iki aşamada getirilmektedir.  $L$ : Dalga boyu, $\alpha$ : Dalga yaklaşım açısı olmak üzere; sapma (5.8) ile verilen Snell yasasına göre belirlenmektedir.

$$\sin(\alpha_2) = \frac{L_2}{L_1} \sin(\alpha_1) \quad (5.8)$$

$k$ :Dalga numarası ( $k=(2\pi/L)$ ),  $h$ :su derinliğini temsil etmek üzere sığlaşma hesaplarında (5.9) ile verilen, dalga ortagonalleri boyunca enerji akısı dengesi kullanılmaktadır.

$$H_2 = H_1 \sqrt{\frac{\cos(\alpha_1)(1 + G_1) \tanh(k_1 h_1)}{\cos(\alpha_2)(1 + G_2) \tanh(k_2 h_2)}} \quad (5.9)$$

$$G = \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \quad (5.10)$$

LITLINE yazılımındaki her zaman adımı ( $\Delta t$ ) kıyı boyu taşınım debisindeki maksimum değişime göre hesaplanmaktadır. (5.11)'de Courant sayısı verilmektedir.

$$Cou_{maks} = \frac{\left| \frac{\partial y}{\partial t} \right|_{maks} \Delta t}{\Delta y} = \frac{\left( \frac{\Delta Q_{maks}}{\Delta x h_{aktif}} \right) \Delta t}{\Delta y} \quad (5.11)$$

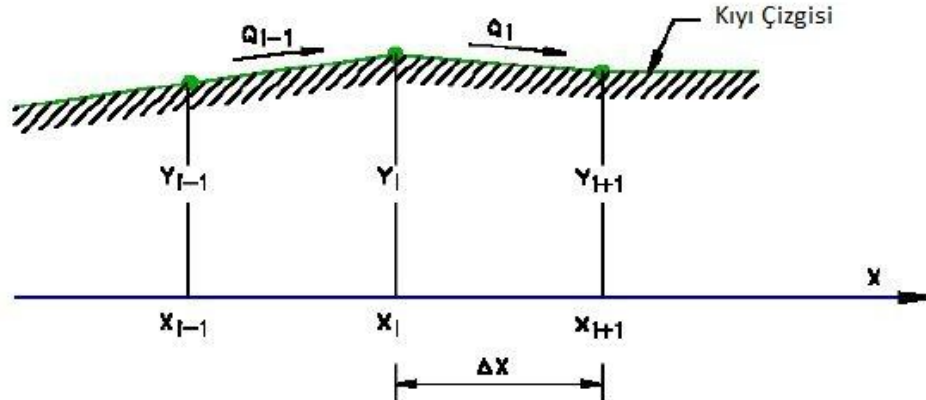
Courant sayısı girdisine göre morfolojik zaman adımı hesaplanmaktadır (5.12).

$$\Delta t = \frac{Cou_{maks} \Delta y \Delta x h_{aktif}}{\Delta Q_{maks}} \quad (5.12)$$

burada;

$$\Delta Q_{maks} = |Q(i) - Q(i-1)|_{maks} \quad (5.13)$$

(5.6) ile verilen katı madde taşınımı için süreklilik denklemi kapalı Cranck-Nicholson şeması kullanılarak çözülmektedir. Şekil 5.6'da kıyı boyu doğrultusundaki ayrıklaştırma görülmektedir.



Şekil 5.6 Kıyı boyu ayrıklaştırma [27]

$Q_i$ ,  $x_i$  ve  $x_{i+1}$  arasındaki taşınım miktarını belirlemektedir. "t" alt indisi şu andaki zamanı gösterirken "t+1" alt indisi gelecek zamanı belirtmektedir. "t+1" zamanına karşılık gelen taşınım debisi ( $d_i$ ) (5.14) ile hesaplanmaktadır.

$$a_i y_{i-1,t+1} + b_i y_{i,t+1} + c_i y_{i+1,t+1} = d_i \quad (5.14)$$

burada;

$$a_i = (1-\alpha)dQ_{i-1} \quad (5.15)$$

$$c_i = (1-\alpha)dQ_i \quad (5.16)$$

$$b_i = \frac{\Delta x^2 h}{\Delta t} - a_i - c_i \quad (5.17)$$

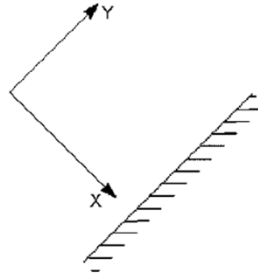
$$d_i = a_i y_{i-1,t} + b_i y_{i,t} + c_i y_{i+1,t} - \Delta x (Q_{i,t} - Q_{i-1,t} - QS_i) \quad (5.18)$$

#### 5.1.4 LITPROF

LITPROF yazılımı, kıyıya dik profillerin zamansal olarak dalga verilerine bağlı değişimini göstermek için kullanılan sayısal bir modeldir. Model kıyı boyu sediment ve hidrodinamik gradyanın ihmal edilmesi ve derinlik kontürlerinin kıyıya paralel olduğu varsayımı üzerine kuruludur. Bu nedenle kıyı morfolojisi sadece kıyıya dik profillerin tanımlanması için kullanılmaktadır [28].

Modelde hidrodinamik koşullar altında taşınan sediment miktarının hesapları STP programından faydalanılarak PRFTABL tanımlanması ile gerçekleştirilir [28].

LITPROF sayısal modeli hesaplamaları Şekil 5.7’de verilen koordinat sistemine göre yapılmaktadır [28].



Şekil 5.7 LITPROF koordinat sistemi [28]

LITPROF sayısal modelinde sapma, sığlaşma, yansıma, kırılma ve taban pürüzlülüğüne bağlı enerji kaybı gibi etkiler altında dalga transformasyon işlemleri dikkate alınmaktadır. Modelde kıyıya dik dalga yükseklik değişimleri dalga enerji denklemlerinden hesaplanmaktadır ifade (5.19).

$$\frac{d}{dx} (E_r \cos \alpha) = D_{br} + D_{bf} \quad (5.19)$$

Burada;  $E_f$ : dalga enerji akısı,  $\alpha$ : dalga yaklaşım açısı,  $x$ : kıyıya dik koordinat,  $D_{br}$ : dalga kırılmasından kaynaklanan kayıp,  $D_{bf}$ : taban pürüzlülüğünden dolayı meydana gelen enerji kaybını vermektedir [28].

Dalga enerji akısı ise lineer dalga teorisi kullanılarak hesaplanmaktadır (5.20).

$$E_f = \frac{1}{16} \rho g H_{rms}^2 c \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right) \quad (5.20)$$

Burada;  $g$ : yerçekimi ivmesi,  $\rho$ : suyun özgül kütlesi,  $H_{rms}$ : Dalga yüksekliklerinin karesel ortalamasının karekök değeri,  $k$ : dalga numarası,  $c$ : dalga yayılma hızı,  $h$ : su derinliğini vermektedir [28].

Düzensiz dalgalarda dalga kırılmasından dolayı meydana gelen enerji kaybı Battjes and Janssen (1978) tarafından verilen ifade (5.21) ile elde edilir [28].

$$\text{Kayıp} = \frac{\rho g Q_b H_m^3}{4T_h} \quad (5.21)$$

Burada  $Q_b$ : kırılan dalga yüzdesi,  $H_m$ : maksimum dalga yüksekliği,  $T_m$ : ortalama dalga periyodunu vermektedir.

Kırılan dalga yüzdesi ise ifade (5.22) ile bulunmaktadır.

$$\frac{1 - Q_b}{\ln Q_b} = - \left( \frac{H_{rms}}{H_m} \right)^2 \quad (5.22)$$

$H_m$  ise ifade (5.23) ile elde edilmektedir ve  $\gamma_1, \gamma_2$  katsayıları girdi verilerine göre 0.88 ile 0.8 arasında değerler almaktadır.

$$H_m = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \tanh \left( \frac{\gamma_2}{\gamma_1} kh \right) \quad (5.23)$$

Kıyı boyu akıntısı ifade (5.24) ile hesaplanmaktadır.

$$-\frac{dS_{xy}}{dx} - \tau_b + \frac{d}{dx} \left( \rho E h \frac{dV}{dx} \right) = 0 \quad (5.24)$$

Burada  $S_x$ : kıyı boyu momentum akısı,  $\tau_b$ : taban kayma gerilmesi,  $E$ : kıyıya dik momentum değişim faktörü,  $V$ : kıyı boyu akıntı hızını göstermektedir.

Kıyıya dik momentum değişim faktörü Fredsøe and Deigaard (1992) tarafından verilen (5.25) ile hesaplanmaktadır [28].

$$E = h\sqrt{gh} \frac{(H_{rms} / h)^3}{4\alpha_o^2 \sqrt{gT^2 / h}} \quad (5.25)$$

Burada;  $\alpha_o$  = dalga hareketi ile çevri (roller) arasındaki açıdır, yaklaşık olarak  $\tan(10^\circ)$  alınmaktadır.

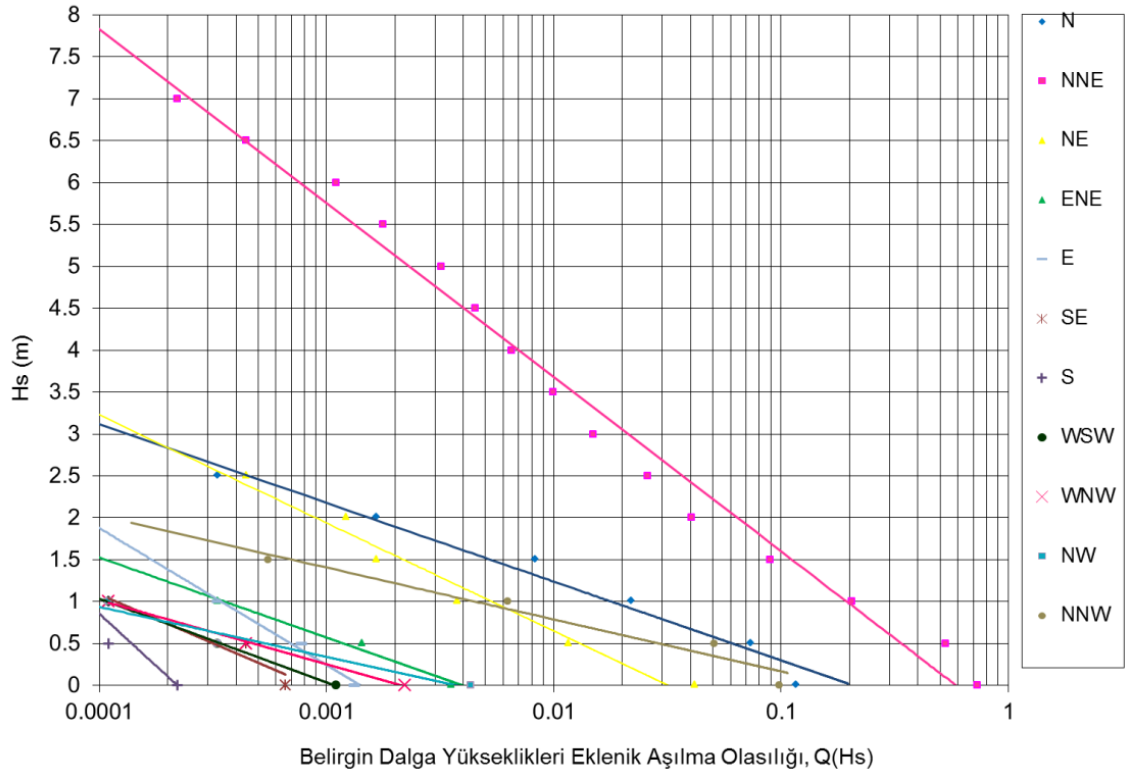
## **5.2 Kıyı Çizgisinin Sayısal Modellenmesi**

Belirli bir konumdaki katı madde taşınım debisi dalga iklimi, akıntı, kıyıya dik profil, katı madde özellikleri ve kıyı çizgisi konumunun fonksiyonudur. Bu nedenle LITLINE yazılımında taşınım debisinin belirlenmesi için bölgeye ait dalga ikliminin doğru olarak tanımlanması gerekmektedir.

### **5.2.1 Kıyı Boyu Katı Madde Taşınımının Modellenmesi**

#### **5.2.1.1 CERC (1984) ve Kamphuis (1991) Yöntemleri ile Kıyı Boyu Katı Madde Miktarlarının Belirlenmesi**

Kefken Harmankaya burnundan Sakarya nehri ağzına kadar olan kıyı alanında gerçekleşen kıyı boyu katı madde taşınımının belirlenmesi için uzun dönemli dalga iklimi çalışması yapılmıştır. Bölüm 4.4’de verilen sayısal dalga model verilerinden Sakarya nehri ağzının batısında 100m derinliğindeki bölgede (10 nolu nokta) sonuçlarından elde edilerek (Şekil 4.12, Şekil 4.27, Şekil 4.36) derin deniz için oluşturulan belirgin dalga yükseklikleri eklenik aşılma olasılıkları Şekil 5.8’de görülmektedir.



Şekil 5.8 Sayısal modelden elde edilen derin deniz belirgin dalga yükseklikleri eklenik aşılma olasılığı dağılımları

Sayısal modelden elde edilen dalga verilerine göre uzun dönem derin deniz belirgin dalga yükseklikleri olasılık denklemleri ise Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Uzun dönem derin deniz belirgin dalga yüksekliği eklenik aşılma olasılığı denklemleri

Yön	Derin Deniz Belirgin Dalga Yüksekliği Denklemi
N	$H_s = -0.409 \ln Q(H_s) - 0.6423$
NNE	$H_s = -0.903 \ln Q(H_s) - 0.478$
NE	$H_s = -0.56 \ln Q(H_s) - 1.9316$
ENE	$H_s = -0.415 \ln Q(H_s) - 2.2919$
E	$H_s = -0.71 \ln Q(H_s) - 4.6577$
SE	$H_s = -0.507 \ln Q(H_s) - 3.5857$
S	$H_s = -1.082 \ln Q(H_s) - 9.1084$
WSW	$H_s = -0.434 \ln Q(H_s) - 2.9621$
WNW	$H_s = -0.333 \ln Q(H_s) - 2.0491$
NW	$H_s = -0.259 \ln Q(H_s) - 1.4495$
NNW	$H_s = -0.269 \ln Q(H_s) - 0.4525$

Uzun dönem dalga istatistiği sonucu kullanılarak her yön için yılda 12 saat aşılma olasılığına karşılık gelen belirgin dalga yükseklikleri belirlenerek kapama derinlikleri Yüksel., Y. [19]'de verilen (5.26) eşitliği ile Hallermeier (1981) ifadesi kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.2).

$$h_c = 1.6 \cdot H_{s,12} \quad (5.26)$$

Çizelge 5.2  $H_{s,12}$ 'ye göre hesaplanan yönlere göre kapama derinlikleri

Yön	12 saatlik aşılma olasılığına karşılık gelen belirgin dalga yüksekliği ( $H_{s,12}$ ), m	Kapama derinliği ( $h_c$ ), m
N	2.18	3.5
NNE	5.75	8.9
NE	1.93	3.1
ENE	0.57	0.9
NNW	1.40	2.25

#### **CERC (1984) Yöntemi**

Bir dalga enerjisi modeli olarak CERC (1984) ifadesi, kırılma bölgesinin birim genişliğinde toplam kum taşınımını tanımlamaktadır. En yaygın kullanılan ifade olarak kullanılmasının yanısıra taban malzemesi, kıyı özellikleri ve kırılma bölgesi genişliği gibi faktörleri gözönüne almadığı için bazı durumlarda sınırlamalara sahiptir [29].

CERC ifadesi (5.27)'de verilmiştir [20].

$$Q = \frac{K_4(1+e)}{16\gamma^{0.5}(s-1)} g^{1/2} H_b^{5/2} \sin 2\alpha_0 \quad (5.27)$$

burada;  $s = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$  'dir.

Yüksel'e göre [20]' da  $K_4$  katsayı değeri orta büyüklükteki katı taneler için SPM, CERC (1984) tarafından 0.39; Komar (1976) tarafından 0.32 alınmasını önermektedir. Orta büyüklükteki kuma sahip (0.2-0.6 mm) rölatif olarak düzlem kıyılarda diğer sabitler de  $1/(1+e)=0.6$ ,  $\gamma=0.8$ ,  $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_s=2650 \text{ kg/m}^3$  için (5.27) aşağıdaki gibi yazılmıştır;

$$Q = 2.03 \times 10^6 H_0^{5/2} \sin 2\alpha_0 \quad (\text{m}^3 / \text{yıl}) \quad (5.28)$$



Göz önüne alınan kıyı bölgesinde dalga iklimindeki değişimler nedeniyle bir yıllık bir dönemde etkin kıyı boyu katı madde taşınımını belirlemek için katı madde hareketine yol açacak dalgaların yükseklikleri, yönleri ve etki süreleri belirlenmelidir. Böylece  $H_0$  yüksekliğinde  $\alpha_0$  açısına sahip dalganın bir yılda kıyıda etki etme yüzdesi  $f$  ise (5.28) ifadesi aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir.

$$Q = 2.03 \times 10^6 f H_0^{5/2} F(\alpha_0) \quad (5.29)$$

burada;

$$F(\alpha_0) = [\cos(\alpha_0)^{1/4} \cdot \sin(2\alpha_0)] \quad (5.30)$$

$F(\alpha_0)$ : Yön terimi [19]

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

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

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

Karasu'da Sakarya ağzının batısında kalan kıyıyı etkileyen dalga yönleri Şekil 5.9'de verilmiştir. Burada NNE yönünden gelen dalgaların Şekil 3.30'da verilen batimetri haritasına göre kıyı normali ile arasındaki açı  $9^\circ$ 'dir. Bu çalışmada NNE yönünden gelen dalgaların taşıdığı katı madde için öncelikle iki farklı senaryo çalışılmıştır. Birinci senaryoda bu açı değerinin oldukça küçük olduğu varsayılarak bu yönden gelen katı madde taşınım debisi sağdan sola ve soldan sağa olan taşınımın her ikisine de dahil edilmiştir. CERC [30] 'da net ve toplam katı madde miktarı hesaplanırken etki etme sürelerinin yüzdesi %1'den küçük olan dalgalar dikkate alınmamıştır (Çizelge 5.3). Hesaplamalara göre kıyı boyu taşınan toplam ve net katı madde miktarları aşağıda verilmiştir:

$$Q_{\text{sol-sağ}} = (\text{NNE} + \text{N} + \text{NNW} + \text{NW} + \text{WNW})$$

$$Q_{\text{sol-sağ}} = (348,001 + 21,625 + 19,190 + 0 + 0)$$

$$Q_{\text{sol-sağ}} = 388,816 \text{ m}^3 / \text{yıl}$$

$$Q_{\text{sağ-sol}} = (\text{NNE} + \text{NE} + \text{ENE} + \text{E})$$

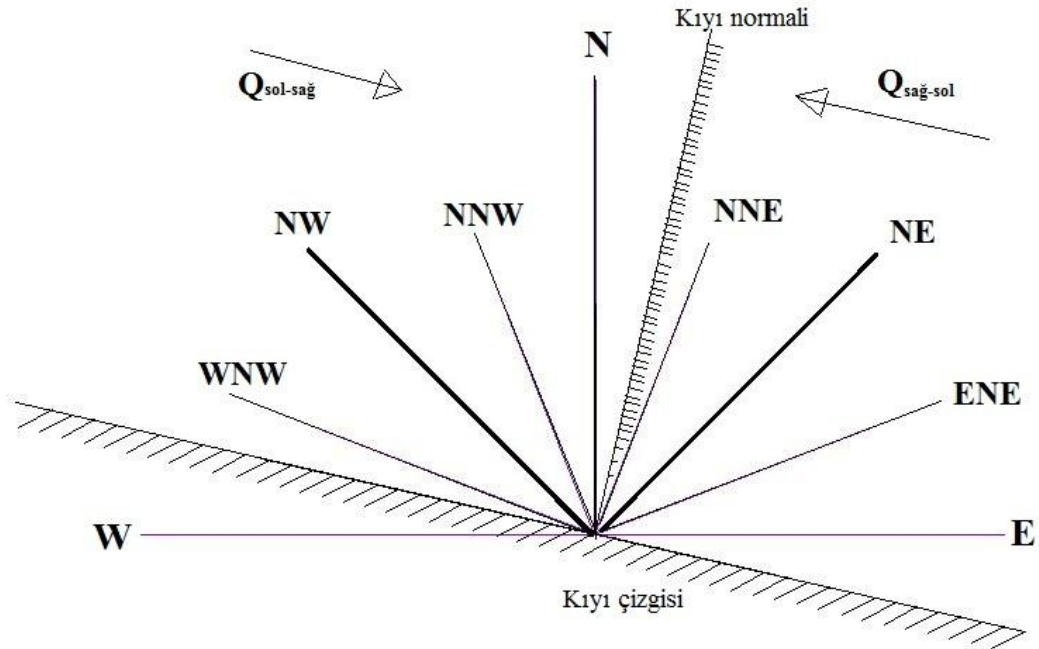
$$Q_{\text{sağ-sol}} = (348,001 + 0 + 0 + 0)$$

$$Q_{\text{sağ-sol}} = 348,001 \text{ m}^3 / \text{yıl}$$

$$Q_{\text{toplam}} = 388,816 \text{ m}^3 / \text{yıl}$$

$$Q_{\text{net}} = 40,815 \text{ m}^3 / \text{yıl}$$

Çizelge 5.3’de verilen bu sonuçlara göre Karasu kıyısında Sakarya nehri ağzının batısında kıyı çizgisi boyunca kırılma bölgesi içinde 40,815 m<sup>3</sup>/yıl net katı madde taşınımı gözlenirken, bir yıl içinde taşınan toplam katı madde miktarı ise 388,816 m<sup>3</sup>/yıl olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar aynı zamanda Bölüm 4.4.3’te elde edilen model sonuçları ile uyumlu olarak çalışma alanında katı madde taşınımının her iki yönde etkin olduğunu ancak düşük olan kıyı boyu taşınımının ise soldan sağa doğru kıyı boyu taşınımının yapılandığını göstermektedir. Kıyı boyu taşınım iki boyutlu model sonuçları ile uyumlu değildir.

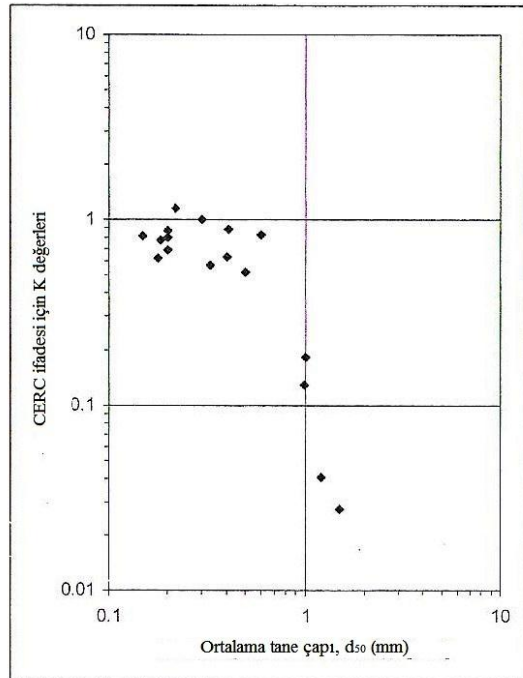


Şekil 5.9 Sakarya nehri batı kıyısını etkileyen dalga yönleri

Çizelge 5.3 CERC (1984) yöntemi ile yönlere göre katı madde taşınım miktarları

H (m)	Hort (m)	NNW			N			NNE		
		F( $\theta_0$ )	f (%)	Q (m <sup>3</sup> / yıl)	F( $\theta_0$ )	f (%)	Q (m <sup>3</sup> / yıl)	F( $\theta_0$ )	f (%)	Q (m <sup>3</sup> / yıl)
0-0.2	0.1	0.876	0.09755	548.6	0.437	0.08043	225.6	0.298	0.11702	223.8
0.2-0.4	0.3	0.876	0.04638	4065.7	0.437	0.049323	2156.9	0.298	0.09377	2796.2
0.4-0.6	0.5	0.876	0.02205	6932.1	0.437	0.030246	4743.3	0.298	0.07514	8035.3
0.6-0.8	0.7	0.876	0.01048	7643.4	0.437	0.018548	6745.7	0.298	0.06021	14932.5
1.0-1.2	1.1				0.437	0.011375	7753.9	0.298	0.04825	22428.6
1.2-1.4	1.3							0.298	0.03866	29681.7
1.4-1.6	1.5							0.298	0.03098	36113.9
1.6-1.8	1.7							0.298	0.02483	41386.1
1.8-2.0	1.9							0.298	0.01989	45348.1
2.0-2.2	2.1							0.298	0.01594	47987.8
2.2-2.4	2.3							0.298	0.01277	49386.2
2.2-2.5	2.4							0.298	0.01024	49680.6
Toplam ( m <sup>3</sup> / yıl)				19190			21625			348001

CERC (1984)'de tanımlanan ifade "ince-orta" kum için geliştirilmiştir. Ancak daha sonra yapılan çalışmalar ile kum tane çapına bağlı olarak K katsayısı tanımlanmaya çalışılmıştır. Bölüm 3.4.1'de arazi ölçümlerinden elde edilen taban malzemesinin granülometresinden  $d_{50}$ : 0.383mm'dir. Nielsen, P., [31]' in yaptığı çalışmada ortalama tane çapına karşılık K katsayı değerinin değişimi Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Bu grafik kullanılarak mevcut kum granülometresine bağlı olarak K değeri 0.55 olarak okunmuştur.



Şekil 5.10 Del Valla ve diğ. (1993)' de elde ettiği CERC ifadesi için K katsayısı [31]

Nielsen, P., [31] tarafından tablodaki K katsayı değerlerine bağlı olarak verilen CERC ifadesi eşitlik (5.31)' te verilmiştir.

$$Q = \frac{K}{16 \cdot (s-1) \sqrt{\gamma_b}} \sqrt{gH_b} \sin 2\alpha_b \quad (5.31)$$

(5.27) ifadesine göre bu eşitlikteki K değeri  $K_4(1+e)$ 'ye eşdeğerdir. Yüksel'e göre [20]' da "ince-orta" büyüklükteki kuma sahip rölatif olarak düzlem kıyılarda kullanılan sabitlerden  $1/1+e=0.6$  alınarak; okunan  $K=0.55$  için  $K_4=0.33$  olmaktadır. Bu değere göre düzenlenen (5.27) ifadesi (5.32)'de verilmiştir.

$$Q = 1.96 \times 10^6 H_0^{5/2} \sin 2\alpha_0 \quad (5.32)$$

Bu ifadeye göre hesaplanan kıyı boyu taşınım toplam ve net katı madde miktarları aşağıda verilmiştir:

$$Q_{\text{sol-sağ}} = (\text{NNE} + \text{N} + \text{NNW} + \text{NW} + \text{WNW})$$

$$Q_{\text{sol-sağ}} = (336,001 + 20,880 + 18,528 + 0 + 0)$$

$$Q_{\text{sol-sağ}} = 375,409 \text{m}^3 / \text{yıl}$$

$$Q_{\text{sağ-sol}} = (\text{NNE} + \text{NE} + \text{ENE} + \text{E})$$

$$Q_{\text{sağ-sol}} = (336,001 + 0 + 0 + 0)$$

$$Q_{\text{sağ-sol}} = 336,001 \text{m}^3 / \text{yıl}$$

$$Q_{\text{toplam}} = 375,408 \text{m}^3 / \text{yıl}$$

$$Q_{\text{net}} = 39,408 \text{m}^3 / \text{yıl}$$

Çizelge 5.4'de verilen bu sonuçlara göre CERC (1984) tarafından tanımlanan geleneksel ifadeden daha az taşınım elde edilmiştir. Bunun nedeni klasik CERC (1984)'te tanımlanan klasik ifadede dikkate alınan kuma göre çalışma alanındaki kumun biraz daha kaba olmasıdır. Bu sonuçlar da kıyıda her iki doğrultuda taşınımın etkin olduğunu göstermektedir. Ancak toplam kıyı boyu taşınım kıyı morfolojisi dengesi üzerinde etkindir.

Çizelge 5.4 Değişen K katsayısına göre CERC yöntemi ile yönlere göre katı madde taşınım miktarları

H (m)	Hort (m)	NNW			N			NNE		
		F(θ <sub>o</sub> )	f (%)	Q (m <sup>3</sup> / yıl)	F(θ <sub>o</sub> )	f (%)	Q (m <sup>3</sup> / yıl)	F(θ <sub>o</sub> )	f (%)	Q (m <sup>3</sup> / yıl)
0-0.2	0.1	0.876	0.097551	529.7	0.437	0.08043	217.8	0.298	0.11702	216.1
0.2-0.4	0.3	0.876	0.046381	3925.5	0.437	0.049323	2082.5	0.298	0.09377	2699.8
0.4-0.6	0.5	0.876	0.022051	6693.0	0.437	0.030246	4579.7	0.298	0.07514	7758.2
0.6-0.8	0.7	0.876	0.010484	7379.8	0.437	0.018548	6513.1	0.298	0.06021	14417.5
1.0-1.2	1.1				0.437	0.011375	7486.5	0.298	0.04825	21655.2
1.2-1.4	1.3							0.298	0.03866	28658.2
1.4-1.6	1.5							0.298	0.03098	34868.6
1.6-1.8	1.7							0.298	0.02483	39959.0
1.8-2.0	1.9							0.298	0.01989	43784.4
2.0-2.2	2.1							0.298	0.01594	46333.1
2.2-2.4	2.3							0.298	0.01277	47683.2
2.2-2.5	2.4							0.298	0.01024	47967.5
Toplam ( m <sup>3</sup> / yıl)				18528			20880			336001

### ***Kamphuis (1991) Yöntemi***

Kıyı boyu katı madde taşınımının belirlenmesinde kullanılan ampirik formüllerden biri de Kamphuis (1991) ifadesidir. Bu ifadenin elde edilmesinde boyut analizi yöntemi kullanılmıştır. Kamphuis (1991) [32]' de ifade (5.33) ile verilmiştir. İfadeye göre kıyı boyu taşınımında dalga dikliği veya periyodu, kıyı eğimi ve tane çapının etkisi de dikkate alınmaktadır.

$$Q = 6.4 \times 10^4 H_{sb}^2 T_p^{1.5} m^{0.75} d_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad (5.33)$$

Burada;

Q: Kıyı boyu katı madde taşınım miktarı (m<sup>3</sup>/yıl)

H<sub>sb</sub>: Kırılma derinliğindeki belirgin dalga yüksekliği (m)

T<sub>p</sub>: Pik dalga periyodu (s)

m: Kıyı eğimi

d<sub>50</sub>: Ortalama tane çapı (m)

olarak verilmiştir.

Dalga yüksekliği değerlerinin hesaplanması için Şekil 5.8'de verilen uzun dönem dalga istatistiğinden bir yıllık dalga verisinin oluşma yüzdeleri belirlenmiştir. Kıyı çizgisi değişimini incelemek amacı ile her yönden gelecek en büyük dalga yükseklik değerleri yerine ortalama dalga yükseklikleri kullanılmaktadır. Kıyıyı etkileyen dalga yönleri için derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ortalama değerleri Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5 Derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ortalama değerleri

Yön	H <sub>s0,ort</sub>
N	0.70
NNE	0.89
NE	0.47
ENE	0.50
E	0.67
WNW	0.25
NW	0.38
NNW	0.30

Kamphuis (1991) ifadesinde kırılma bölgesindeki belirgin dalga yükseklikleri kullanıldığı için kırılma hesapları yapılarak Çizelge 5.5’de verilen ortalama dalga yüksekliklerinin ve dalga geliş açılarının kırılma bölgesindeki değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.5’de verilen dalga yüksekliği değerlerine karşılık dalga periyotlarının belirlenmesi için Karasu bölgesine ait (5.34)’de verilen ifadeden yararlanılmıştır [33].

$$T_m = 4.54 \cdot H_{s0}^{0.33} \quad (5.34)$$

Çalışmada kullanılan değerler Çizelge 5.6’da verilmiştir. Pik periyodun hesabında ise katsayı 1.1 olarak alınmıştır.

$$T_p = (1.05 - 1.7)T_{ort} \quad (5.35)$$

Çizelge 5.6 Kamphuis (1991) ifadesinde kullanılan parametreler

Yön	H <sub>sort</sub>	T <sub>ort</sub>	T <sub>p</sub>	H <sub>sb</sub>	α <sub>b</sub>	Frekans (%)
N	0.70	4.04	4.45	0.74	6	12.04
NNE	0.89	4.37	4.81	0.93	4	75.33
NE	0.47	3.55	3.91	0.48	14	4.29
ENE	0.50	3.61	3.97	0.44	20	0.37
E	0.67	3.97	4.37	0.40	21	0.14
WNW	0.38	3.28	3.61	0.20	18	0.23
NW	0.30	3.06	3.36	0.26	19	0.45
NNW	0.54	3.71	4.08	0.54	15	10.13

Çizelge 5.6’ da bu çalışmaya ait verilen kırılan dalga yükseklikleri, dalga kırılma açısı, pik dalga periyodu verilerinin yanı sıra Bölüm 3.4’de hesaplanan Karasu kıyı eğimi: 0.013 ve ortalama tane çapı: 0.383mm olarak alınmıştır. (5.33) ile verilen Kamphuis (1991) ifadesi her bir dalga yönü için oluşma frekansları ile çarpılarak katı madde taşımın debileri elde edilmiştir.

Kamphuis (1991)'e göre her yönden gelen katı madde taşınım debileri Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Kamphuis (1991)'e göre yönlere göre kıyı boyu taşınım miktarları

Yön	Q (m <sup>3</sup> /yıl)
N	4245
NNE	37025
NE	854
ENE	76
E	28
WNW	8
NW	24
NNW	2832

Sonuçlar incelendiğinde taşınım miktarları CERC (1984)'e göre oldukça düşüktür. Bunun nedeni Kamphuis (1991)' in vermiş olduğu ifadenin kaba kum için geçerli olmasından kaynaklanmaktadır. Bu iki yöntem arasındaki fark Wang vd. tarafından [34] de, fırtına koşullarında CERC (1984) yönteminin, düşük enerjili dalga koşullarında olduğu durumlarda da Kamphuis (1991) yönteminin daha uygun sonuç verdiğini belirtmişlerdir.

$$Q_{\text{sol-sağ}} = (NNE + N + NNW + NW + WNW)$$

$$Q_{\text{sol-sağ}} = (37,025 + 4,245 + 2,832 + 24 + 8)$$

$$Q_{\text{sol-sağ}} = 44,134 \text{ m}^3 / \text{yıl}$$

$$Q_{\text{sağ-sol}} = (NNE + NE + ENE + E)$$

$$Q_{\text{sağ-sol}} = (37,025 + 854 + 76 + 28)$$

$$Q_{\text{sağ-sol}} = 37,983 \text{ m}^3 / \text{yıl}$$

$$Q_{\text{toplam}} = 45,092 \text{ m}^3 / \text{yıl}$$

$$Q_{\text{net}} = 6,151 \text{ m}^3 / \text{yıl}$$

CERC (1984) ve Kamphuis (1991) ile birinci senaryo için hesaplanan katı madde taşınım miktarları Çizelge 5.8 ile verilmiştir.

Mevcut batimetri haritasından yararlanılarak yerel ölçekte NNE yönünden gelen dalgalar ile kıyı normali arasındaki açı 9° olarak belirlenerek hesaplar yapılmıştır. Ancak çalışma alanına ait daha geniş ölçekte Şekil 5.11'da verilen kıyı alanına ait uydu görüntüleri sayısallaştırıldığında bu açının 4.5° olduğu belirlenmiştir. Bu açının 4.5° olması halinde yapılan hesaplamalara ait sonuçlarda Çizelge 5.8 de özetlenmiştir.

Çizelge 5.8 1. Senaryo için hesaplanan katı madde taşınım miktarları

Kıyı Normali ile NNE yönünden gelen dalgaların arasındaki açı (°)	Yöntem	$Q_{net}$ (m <sup>3</sup> /yıl)	$Q_{toplam}$ (m <sup>3</sup> /yıl)	Net katı madde taşınım yönü
9	CERC(1984)	40,815	388,816	soldan sağa
9	CERC(1984) (K=0.55)	39,408	375,408	soldan sağa
9	Kamphius(1991)	6,151	45,378	soldan sağa
4.5	CERC(1984)	45,932	221,100	soldan sağa
4.5	CERC(1984) (K=0.55)	45,830	214,958	soldan sağa
4.5	Kamphius(1991)	7,373	35,270	soldan sağa

2 senaryoda NNE yönlü dalganın kıyının normali ile 9° ve 4.5° yaparak sadece kendi doğrultusunda kıyı boyu taşınım yaratacağı düşünülmüştür. Bu durumda net kıyı boyu taşınım modu sağdan sola doğrudur ve hesaplama sonuçları Çizelge 5.9'da özetlenmiştir.

Çizelge 5.9 2. Senaryo için hesaplanan katı madde taşınım miktarları

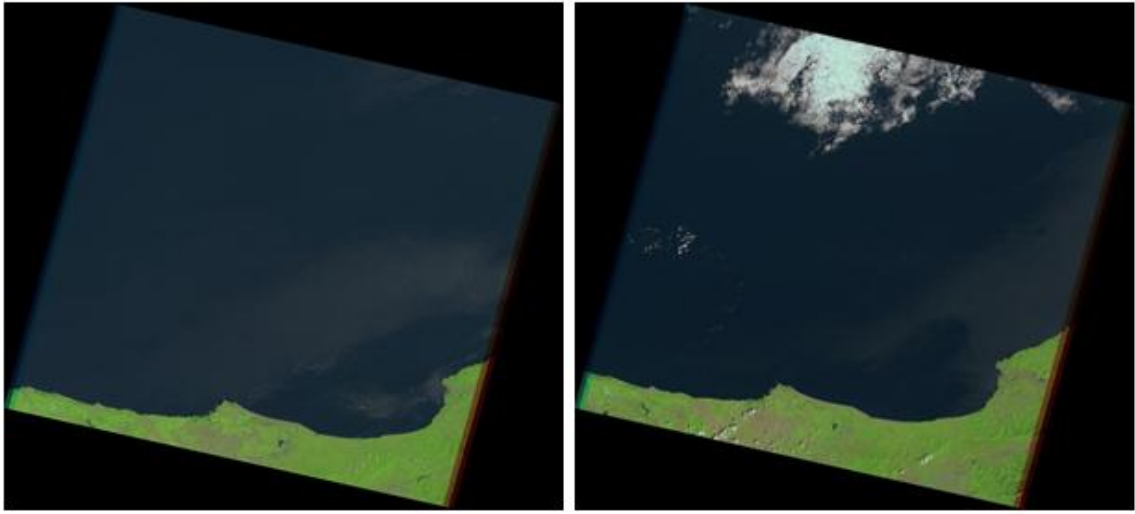
Kıyı Normali ile NNE yönünden gelen dalgaların arasındaki açı (°)	Yöntem	$Q_{net}$ (m <sup>3</sup> /yıl)	$Q_{toplam}$ (m <sup>3</sup> /yıl)	Net katı madde taşınım yönü
9	CERC(1984)	307,186	388,816	sağdan sola
9	CERC(1984) (K=0.55)	296,593	375,408	sağdan sola
9	Kamphius(1991)	30,874	45,378	sağdan sola
4.5	CERC(1984)	129,236	221,100	sağdan sola
4.5	CERC(1984) (K=0.55)	123,298	214,958	sağdan sola
4.5	Kamphius(1991)	18,756	35,270	sağdan sola

Taşınımın hesaplandığı konumda BÖLÜM 4'de yapılan iki boyutlu modelde de taşınımın sağdan sola doğru meydana geldiği gösterilmiştir. Burada elde edilen sonuçlar iki boyutlu model ile uyumludur. Ayrıca sonuçlar kıyı boyu katı madde taşınımı üzerinde dalga yaklaşım açısının oldukça hassas olduğunu göstermektedir. Ayrıca sonuçlar kıyının katı madde taşınımı açısından aktif olduğunu göstermesinin yanı sıra kıyı boyu net taşınımına göre kıyıya dik taşınımın daha etkin olduğunu göstermektedir.



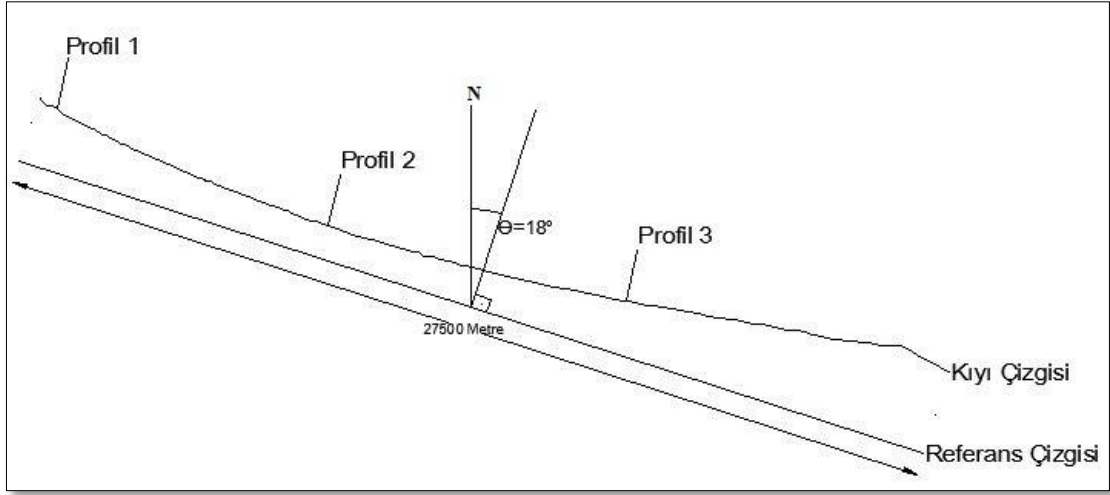
### 5.2.1.2 Katı Madde Taşınımının Sayısal Modeli (LITDRIFT)

Hidrodinamik ve katı madde taşınım modelleri olmak üzere iki temel modelden faydalanan, uzun ve üniform bir kıyı boyunca dalga kaynaklı akıntı ve koheziv olmayan kıyı boyu katı madde taşınımı çalışmalarında kullanılan bu modül de çalışma alanı olan Karasu kıyı çizgisi modele 2002 Haziran ayı Landsat uydu görüntüsü (Şekil 5.11) sayısallaştırılarak girilmiştir. Sayısallaştırma Yıldız Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği tarafından geliştirilen Coast-Fit programı ile gerçekleştirilmiştir.



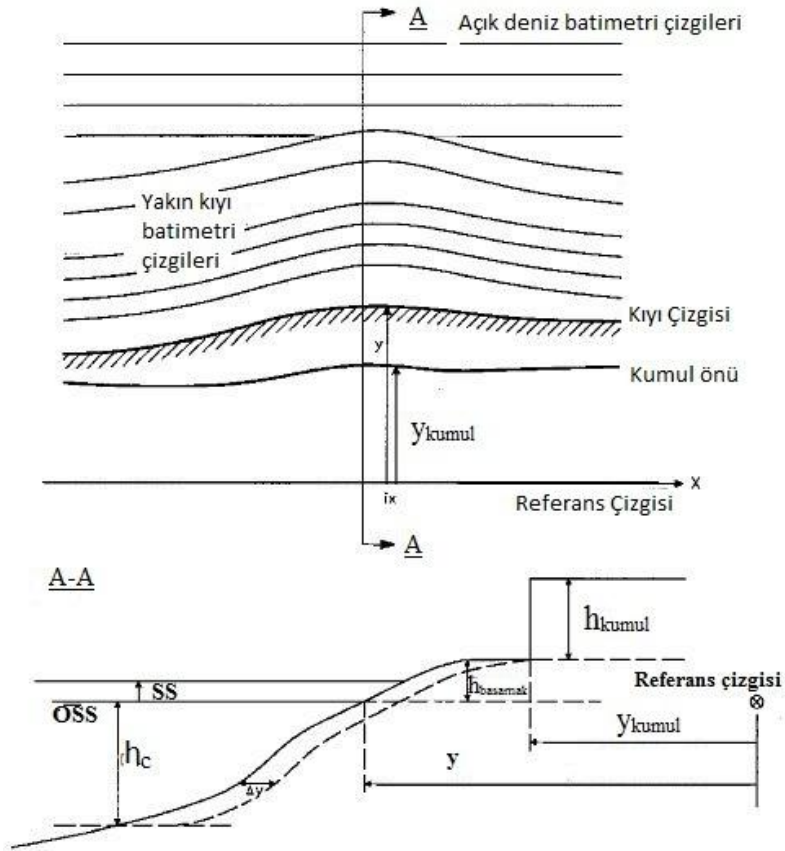
Şekil 5.11 2002 Haziran ayı (sağda) ve 2003 (solda) yılına ait Landsat uydu görüntüleri [35]

01.01.2002 ve 01.01.2003 yılları arasında katı madde taşınım miktarını belirlemek üzere oluşturulan sayısal modelde 1 yıllık dalga iklim verileri için Bölüm 2.5’de elde edilen model sonuçlarından alınarak modele girilmiştir. Orjinal kıyı çizgisinin alınan referans çizgisine göre durumu ve modelde tanımlanan kıyı profillerinin konumları Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 LITDRIFT katı madde taşınım modülünde kullanılmak üzere sayısallaştırılmış kıyı çizgisi ve referans çizgisinin konumu

Modelde kullanılan kıyı çizgisi parametreleri Şekil 5.13’de verilmiştir. Karasu kıyı bölgesine ait yapılan çalışmada kullanılan kıyı çizgisi özellikleri Çizelge 5.10’da özetlenmiştir.

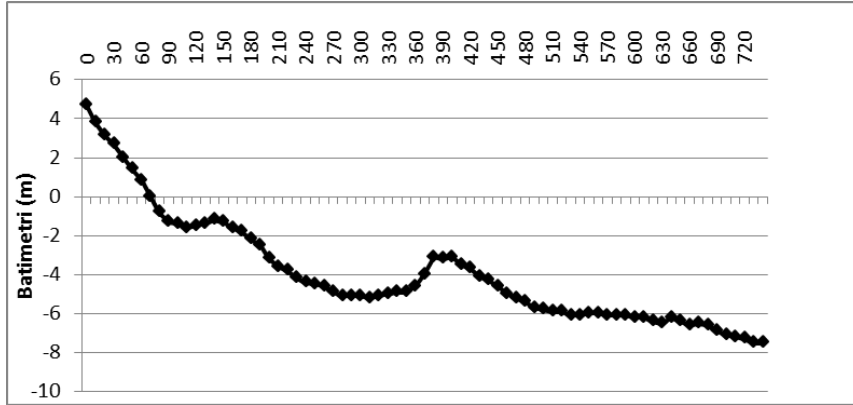


Şekil 5.13 LITPACK sayısal modelinde kullanılan kıyı çizgisi parametrelerinin şematik gösterimi [24]

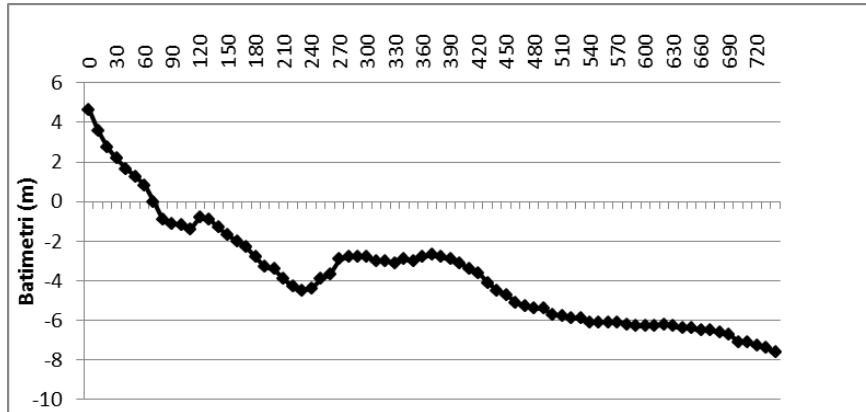
Çizelge 5.10 Karasu kıyı çizgisi için sayısal modele ait özellikler

Ağ aralığı (m)	10
Kıyı Çizgisi uzunluğu (m)	27500
Düğüm noktası sayısı	515
Referans çizgisinin Kuzey yönü ile yaptığı açı (°)	18
Profil sayısı	3
Kıyı yüksekliği ( $h_{\text{basamak}}$ ) (m)	2
Profil 1,2 ve 3 için sırasıyla kumul yüksekliği (m)	4.673 ; 4.652 ; 3.705
Aktif derinlik ( $h_{\text{aktif}}$ ) (m)	16

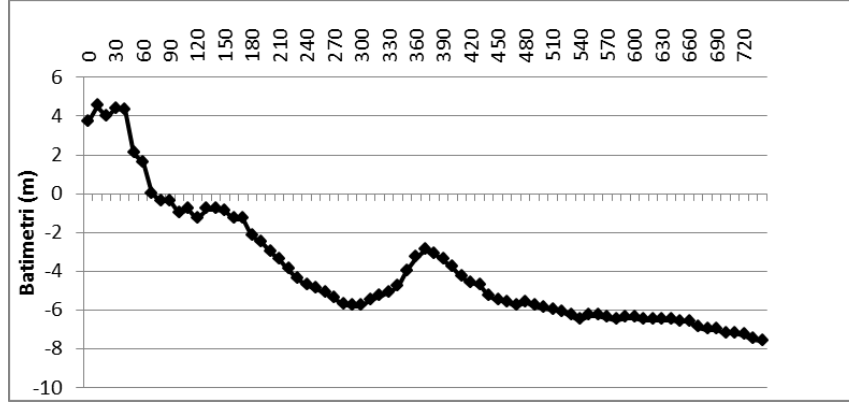
LITDRIFT yazılımında başlangıç kıyı çizgisi ile birlikte çalışma alanına ait kıyı profillerinin de girdi olarak tanımlanması gerektiğinden Bölüm 3.4.2’ de verilen kumul yükseklikleri ve batimetri verileri kullanılarak elde edilen 3 adet kıyı profili Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’de (yatay eksen kıyıdan açık denize doğru olan mesafeleri metre cinsinden gösterecek biçimde) verilmiştir. Profillere ait plan görünümü Şekil 3.30’da verilmiştir.



Şekil 5.14 (1.)Kıyı profili



Şekil 5.15 (2.)Kıyı profili



Şekil 5.16 (3.)Kıyı profili

Kıyı profillerine ait özelliklerden ortalama tane çapı ve geometrik standart sapma değerleri Bölüm 3.4.1’de elde edilen  $d_{50}=0.383\text{mm}$  ve  $\sigma_g=1.336$  olarak modele girilmiştir.

Modelin kalibrasyonunu gerçekleştirebilmek için çalışma alanına ait katı madde taşınım verilerine sahip olmadığımızdan farklı rüzgar etkisi, taban pürüzlülüğü ve kıyı çizgisi doğrultuları için model koşturulularak CERC (1984) ve Kamphius (1991) yöntemleri ile hesaplanan taşınım miktarlarının kıyaslanması ile model kalibre edilmiştir. Bunun için de farklı taban pürüzlülüğü ve referans kıyı çizgisinin eğimleri değiştirilerek Çizelge 5.11’de verilen farklı etkilerin gözönünde bulundurulduğu durumlar sınanmıştır.

Taban pürüzlülüğü DHI (2008) [26]’de verilen düz taban için (5.36) eşitliği ile ve kum dalgacıkları ile kaplı taban için (5.37) eşitliği ile hesaplanarak bu değer  $k=0.001\text{m}$  ile  $0.007\text{m}$  arasında bulunmuştur. Taban pürüzlülüğü parametresi modelin kalibrasyonunun yapılması için de oldukça önemli bir parametredir. Bu nedenle bu parametrenin  $0.001-0.007\text{m}$  arasındaki farklı değerleri için model koşturulmuş ve CERC (1984) yönteminde  $K=0.55$  alınarak yeniden hesaplanan taşınımın katı madde miktarına göre kalibrasyonu yapılmıştır. Taban pürüzlülüğünün  $0.001\text{m}$  olarak alındığında elde edilen model sonuçları model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6’da pürüzlülüğün  $0.007\text{m}$  olarak alındığında elde edilen model sonuçları ise model 7, 8 ve 9’da verilmiştir (Çizelge 5.12). Farklı taban pürüzlülükleri için en doğru yaklaşımı sağlayan  $0.007\text{m}$  taban pürüzlülüğü modele girdi olarak tanımlanmıştır.

$$k = 2.5d_{50} \quad (5.36)$$

$$k = 2.5d_{50} + k_R \quad (5.37)$$

Burada;  $k$  : taban pürüzlülüğü,  $k_R$ : kum dalgacıklarından dolayı oluşan pürüzlülüktür.

Sayısal modelde kıyı çizgisi belirli bir referans çizgisine göre tanımlanmaktadır. Bu referans çizgisine göre girilen dikey mesafeler kıyı çizgisi verisini oluşturmaktadır. Kıyı verisinin sağlıklı bir biçimde modele girilebilmesi için referans çizgisinin konumu oldukça önemlidir. Modelin kalibrasyonun yapılması için de oldukça önemli bir parametre olan referans çizgisi; çalışma alanına ait kıyı çizgisi uydu görüntülerinin (Şekil 5.11) sayısallaştırması sonucunda elde edilen verilere göre belirlenmiştir.

Şekil 5.12’de referans çizginin normali kuzey ile  $\Theta = 18^\circ$ ’lik açı yapmaktadır. Bu eğilimin belirlenmesi için modelde farklı açılarda referans çizgileri de koşturulmuş. En uygun sonucun yine  $\Theta = 18^\circ$ ’lik açı ile hesaplandığı görülmüştür.

Buna göre referans çizgisinin doğrultusu  $\Theta = 18^\circ$  ve taban pürüzlülüğü 0.007m olarak alınmış ve birbirinden farklı etkileri içeren modeller koşturulmuştur. Çizelge 5.11’de verilen tabloda oluşturulan modellerde etkisi gözönünde bulundurulan veya ihmal edilen girdiler verilmiştir. Kalibrasyon LITDRIFT taşınım yönleri dikkate alındığında parametrik yöntemlerdeki 2.senaryonun göz önüne alınmasının doğru olacağını ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.11’de rüzgar etkisi için ECMWF’ten elde edilen yerel rüzgar yönü ve hızının girdi olarak tanımlandığı durum (+), rüzgar hızı ve yönünün sıfır alınarak gözardı edildiği durum (-) ile gösterilmiştir. Akıntı etkisinin gözardı edildiği durum için (-), akıntı verilerinin girdi olarak tanımlandığı durum için ise (+) işareti kullanılmıştır. Aynı şekilde tabandaki kum dalgacıklarının (ripple) etkisini içeren model için (+) bu etkiyi ihmal eden model için (-) işareti kullanılmıştır. Taban malzemesinin üniform ve ya derecelenmiş olarak modele girilmesi durumu için malzemenin derecelenmiş olarak tanımlanması durumu (+), üniform taban malzemesi olarak modele girilmesi (-) ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.11 LITDRIFT ile oluşturulan modeller

	<b>Model 1</b>	<b>Model 2</b>	<b>Model 3</b>	<b>Model 4</b>	<b>Model 5</b>	<b>Model 6</b>	<b>Model 7</b>	<b>Model 8</b>	<b>Model 9</b>
<b>Rüzgar etkisi</b>	+	-	+	+	+	+	+	+	+
<b>Akıntı etkisi</b>	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<b>Taban malzemesi (single/graded)</b>	+	+	+	-	-	+	+	-	-
<b>Kum dalgacıklarının (ripple) etkisi</b>	+	+	-	+	-	+	+	+	-
<b>Taban pürüzlülüğü (m) (k)</b>	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.007	0.007	0.007

Daha önce Kamphius (1991) ve CERC (1984) yöntemleri ile hesaplanan ve LITDRIFT sayısal modeli kullanılarak bulunan katı madde taşınım miktarları Çizelge 5.12’de verilmiştir.

Çizelge 5.12 LITDRIFT model sonuçları ile CERC(1984) ve Kamphius(1991) yöntemleri ile hesaplanan katı madde taşınım miktarları

	<b>Q<sub>net</sub> (m<sup>3</sup>/yıl)</b>	<b>Q<sub>toplam</sub> (m<sup>3</sup>/yıl)</b>
<b>Model 1</b>	128,500	539,900
<b>Model 2</b>	136,600	511,700
<b>Model 3</b>	101,000	397,200
<b>Model 4</b>	140,400	510,800
<b>Model 5</b>	108,500	374,200
<b>Model 6</b>	154,200	542,400
<b>Model 7</b>	57,830	275,300
<b>Model 8</b>	41,590	215,590
<b>Model 9</b>	41,110	193,300
<b>CERC (1984)</b>	129,236	221,100
<b>CERC(1984) (K=0.55)</b>	123,298	214,958
<b>Kamphius (1991)</b>	18,756	35,270

Kıyı boyu katı madde taşınım hesaplarında en fazla kullanılan CERC(1984) yönteminde toplam kıyı boyu katı madde taşınımının kıyı boyu enerji akısı ile değiştiği kabul edilmektedir. CERC (1984) kıyı boyu katı madde taşınım hesabı eşitlik (5.27)’de verildiği gibi dalga yüksekliği, dalga yaklaşım açısı ve bu dalgaların oluşma yüzdelerine bağlı olarak ifade edilir. Ancak kıyı bölgesinde özellikle surf bölgesinin karmaşık bir yapıya sahip olması nedeniyle bu yöntem oldukça basit yaklaşımlara sebep olabilmektedir. Bu yöntem taban malzemesi özellikleri özellikle 0.175 mm ve 1 mm

arasında ortalama çapa sahip üniform kumlu kıyıları için üretilmiştir [20]. Bölüm 3.4.1’de çalışma alanına ait yapılan taban malzemesi analizlerinde katı madde ortalama çapı 0.383mm olarak belirlenmiştir. Bu değer CERC (1984) yönteminde tavsiye edilen tane çapı aralığı içerisinde bulunmaktadır.

Kamphuis (1991) yöntemi temelinde kıyı parametrelerini içeren boyut analizine ve bu analizin fiziksel model deneyleriyle ilişkilendirilmesine dayanmaktadır. Kamphuis düzenli ve düzensiz dalgalarda üç boyutlu hidrolik model deneyleri gerçekleştirmiş ve katı madde taşınım debisini dalga dikliği, kıyı eğimi, tane çapı ve dalga kırılma yüksekliği ile ifade etmiştir [29]. Kamphuis (1991)’in vermiş olduğu ifadenin daha kaba kum ve daha düşük enerjili dalgalar için geçerli olmasından dolayı çalışma alanında oldukça düşük miktarda katı madde taşınımı hesaplamaktadır. Bu nedenle LITDRIFT sayısal modelin kalibrasyonu K katsayısının katı malzeme çapına göre  $K=0.55$  alındığı CERC (1984) yöntemi ile daha uyumlu bulunmuştur. Sonuçlardan taban malzemesi karakteristiklerinin katı madde taşınımında etkin olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.12’de verilen model sonuçlarına göre  $K=0.55$  için CERC (1984) yöntemine göre hesaplanan net ve toplam katı madde taşınım miktarları ile model 7,8 ve 9 sonucunda hesaplanan taşınım miktarı kıyaslandığında en yakın model sonucu rüzgar ve kum dalgacıkları etkisinin birlikte gözönüne alındığı, tabanın üniform kabulü ile akıntı etkilerinin gözardı edildiği 8. modeldir. Net kıyı boyu taşınım modu sağdan sola doğrudur.

### **5.2.1.3 Kıyı izgisi Modeli (LITLINE)**

Kıyıda veya açık denizde bulunan dalgakıran, mahmuz, jetty ve kaplamalar gibi farklı kıyı yapıları ve kaynak/kayıp etkileri altında kıyı çizgisi gelişiminin belirlenmesinde kullanılan bu modül kıyıya dik profilin erozyon veya yığılma durumunda değişmediğini kabul eden tek çizgi teorisine dayanmaktadır. LITLINE modülünde kıyı çizgisi ve kıyıya dik profillerin tanımlanması gerektiği gibi dalgakıran, mahmuz, jetty, kaplama gibi farklı yapı tipleri de modele girilebilmektedir.

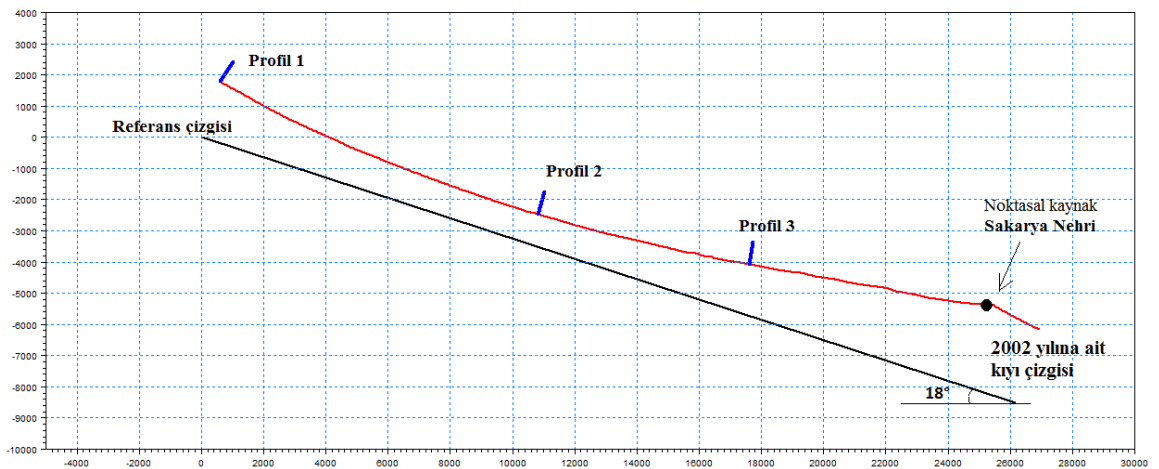
LITPACK yazılımı içerisinde yer alan LINTABL modülü, LITDRIFT modülünde su seviyesi, yerel akıntılardan oluşan yüzey eğimi, dalga yüksekliği, periyodu ve yönünün fonksiyonu olarak katı madde taşınım debisini hesaplamaktadır. Bu hesaplara göre elde

edilen katı madde taşınımına göre kıyı çizgisinde meydana gelen değişim belirlenmektedir.

Modelin temel kalibrasyon parametresi yıllık taşınan net katı madde miktarıdır. Bu nedenle LITDRIFT modülünde yapılan hatalı bir hesaplama LITLINE modülü ile belirlenecek kıyı çizgisindeki değişimi de hatalı verecektir. Kıyı çizgisinin doğru hesaplanması için ilk kalibrasyon basamaklarından biri olan katı madde miktarı, Bölüm 5.2.1.2’de verildiği gibi CERC (1984) yöntemi ile yakın sonuçlar vererek doğrulanmıştır. LITLINE modülünün koşturulması sırasında  $K=0.55$  için CERC (1984) yöntemi ile en yakın sonucu veren LITDRIFT 8. modelinde göz önüne alınan etkiler dikkate alınmıştır.

Kıyının aktif yüksekliği ( $h_a$ ) ise bir diğer kalibrasyon parametresidir. Bu değer kapama derinliği ( $h_c$ ), basamak yüksekliği ( $h_{\text{basamak}}$ ) ve kumul yüksekliğinin ( $h_{\text{kumul}}$ ) toplamı sonucunda elde edilmektedir. Buna göre Bölüm 3.4.2’de yapılan GPS ölçümleri ile elde edilen 3.7-4.6 m arasında ölçülen kumul yükseklikleri ve 2m basamak yüksekliği olacak şekilde eşitlik (5.26) ile bulunan kapama derinliği olan 8.9 m’nin toplamı şeklinde  $h_{\text{aktif}}=14-16$  m bulunmuştur. Modele girdi olarak tanımlanan bu değer aralığı için model sonucunda elde edilen kıyı çizgisi ile sayısallaştırılmış uydu görüntüsünün karşılaştırılması ile en iyi sonuç  $h_a=16$  m değeri için bulunmuştur.

LITLINE modülünde kaynak ve kayıp parametreleri de girdi parametreleri olarak tanımlanabilmektedir. Çalışma alanının doğusunda yer alan Bölüm 3.3’de verilen Sakarya nehrinden gelen katı madde debileri de zamana göre değişen noktasal kaynak olarak modele tanımlanmıştır.



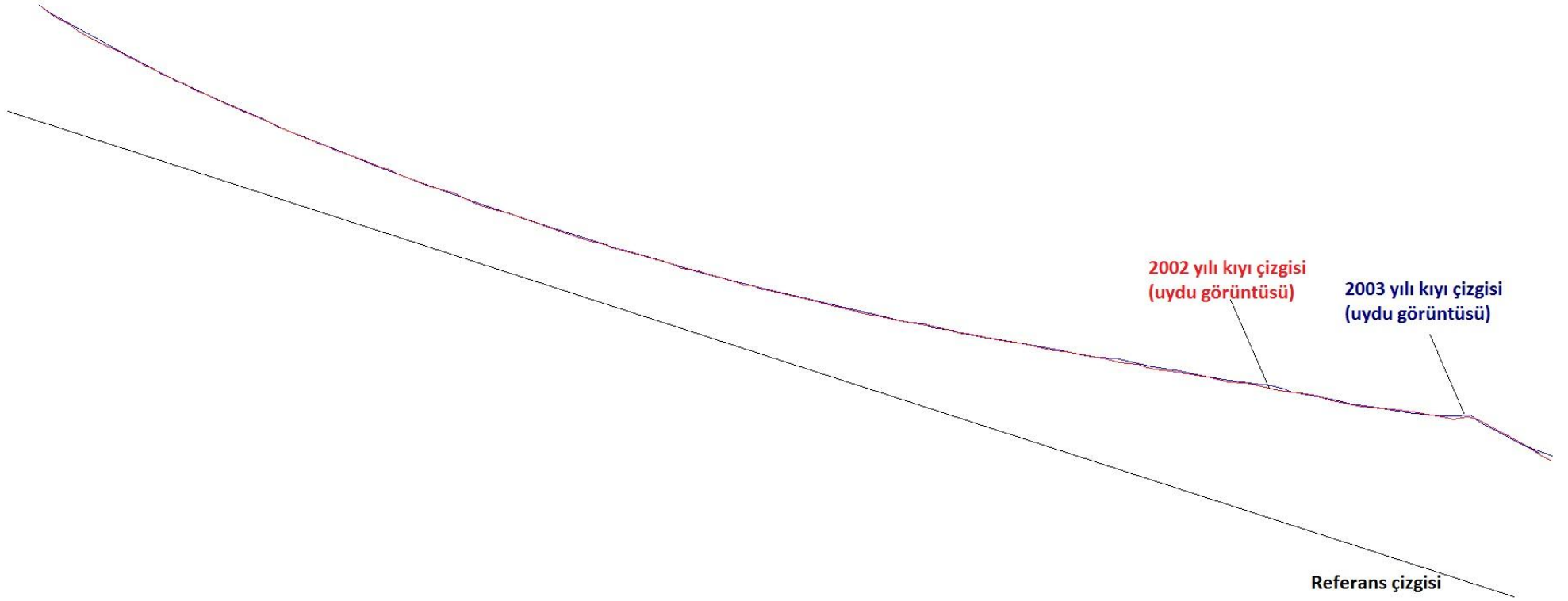
Şekil 5.17 LITLINE sayısal modeli



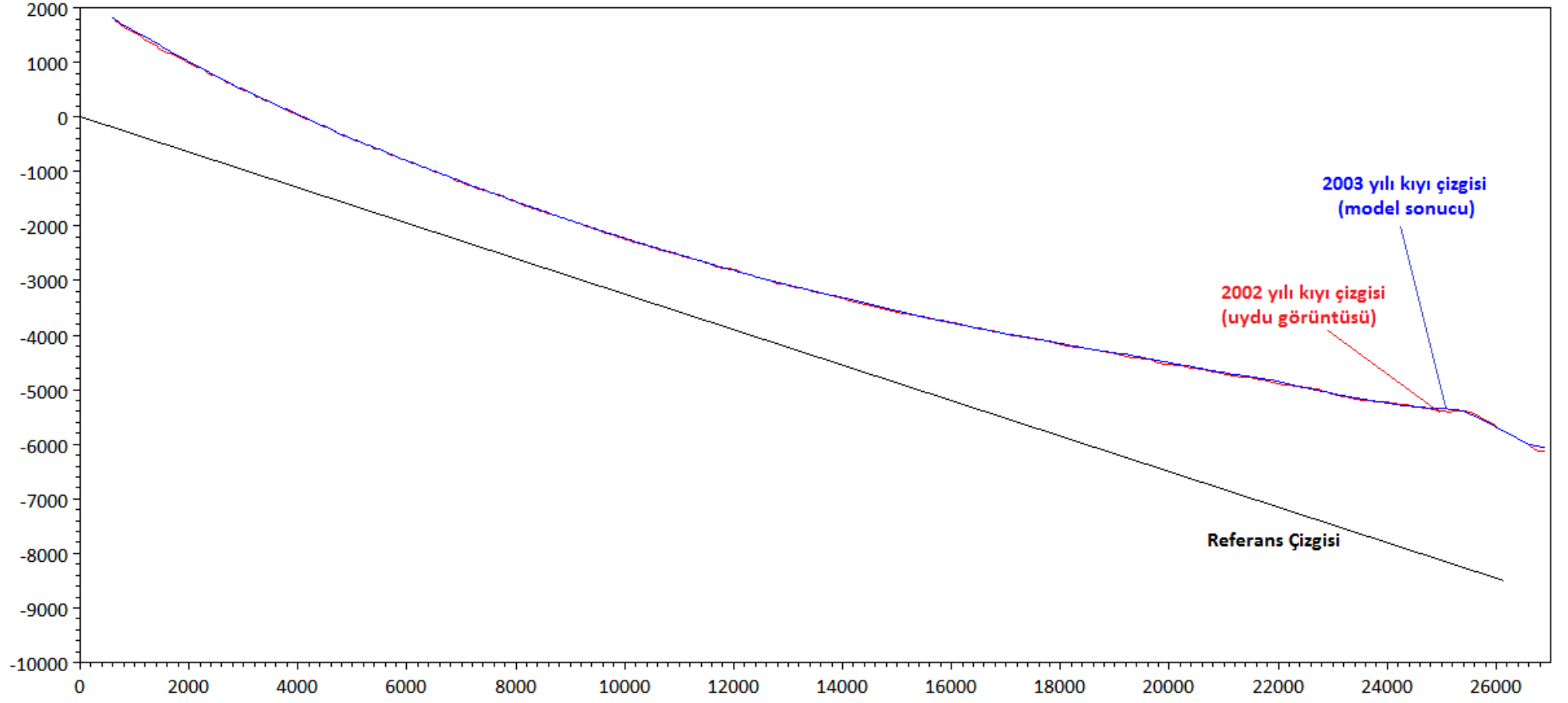
01.01.2002 ile 01.01.2003 yılları arasında dalga modelinden elde edilen dalga verileri bu modelde girdi olarak kullanılmıştır. Koşturulan model sonucunda elde edilen 2003 yılına ait kıyı çizgisi Şekil 5.11'da verilen 2003 yılına ait Landsat uydu görüntüsünün sayısallaştırılmış verisi ile karşılaştırılarak modelin doğruluk (validation) testi yapılmıştır.

LITLINE modülünde kullanılan sayısallaştırılmış uydu görüntüleri ile koşturulan model sonucu elde edilen 2003 yılına ait kıyı çizgisi verilerinin karşılaştırılması Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20'de verilmiştir.

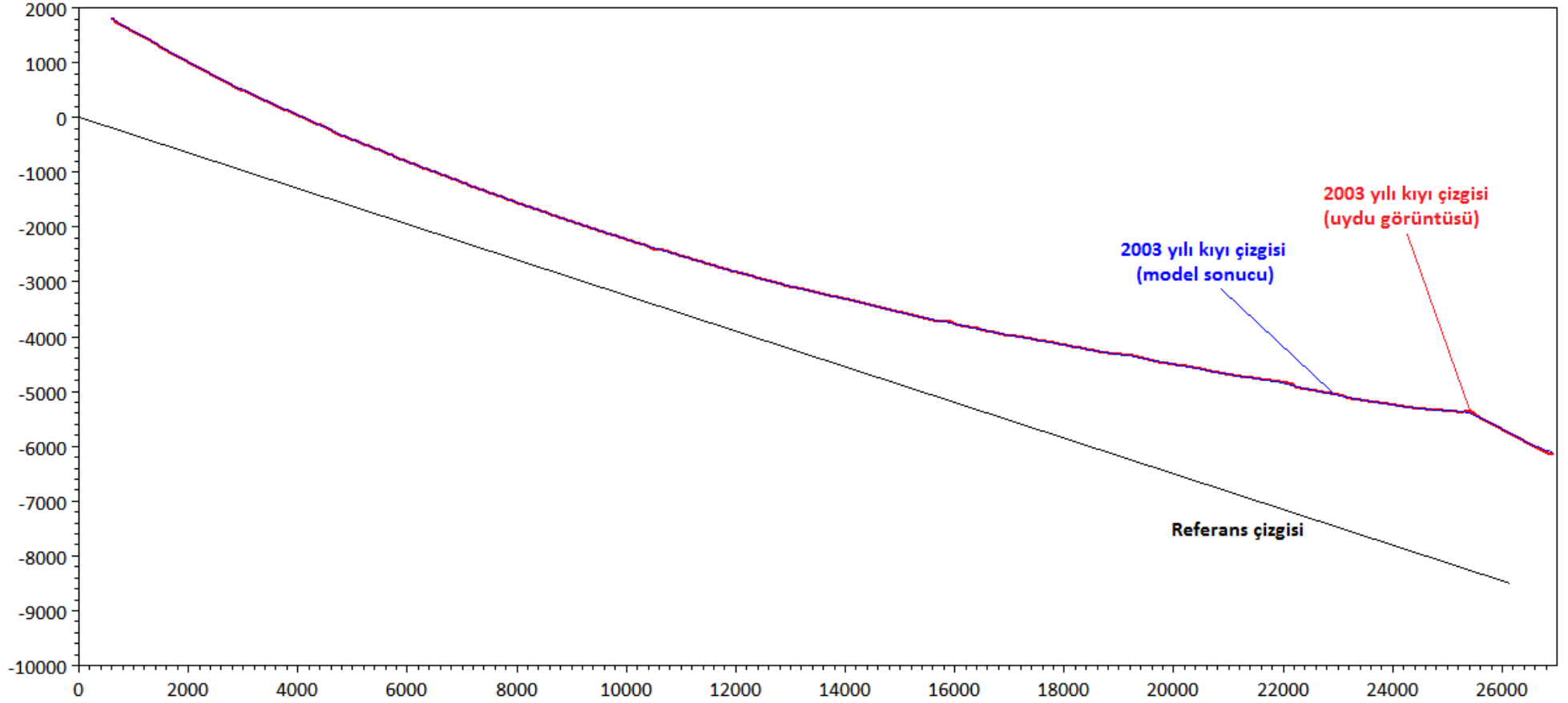
2003 yılına ait uydu görüntüsü ile model sonucu elde edilen 2003 yılı kıyı çizgilerinin referans çizgisine olan uzaklıkları karşılaştırılarak kök ortalama kare hata (Root Mean Square Error, RMSE) değeri hesaplanmış ve 7.09 m/yıl olarak bulunmuştur.



Şekil 5.18 2002 ve 2003 yılına ait uydu görüntülerinin karşılaştırılması

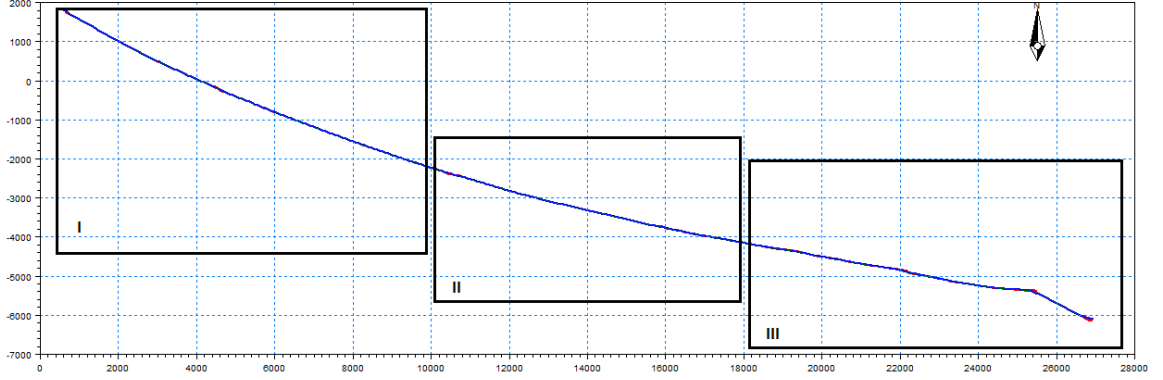


Şekil 5.19 2002 yılı uydu ve 2003 yılı model görüntülerinin karşılaştırılması

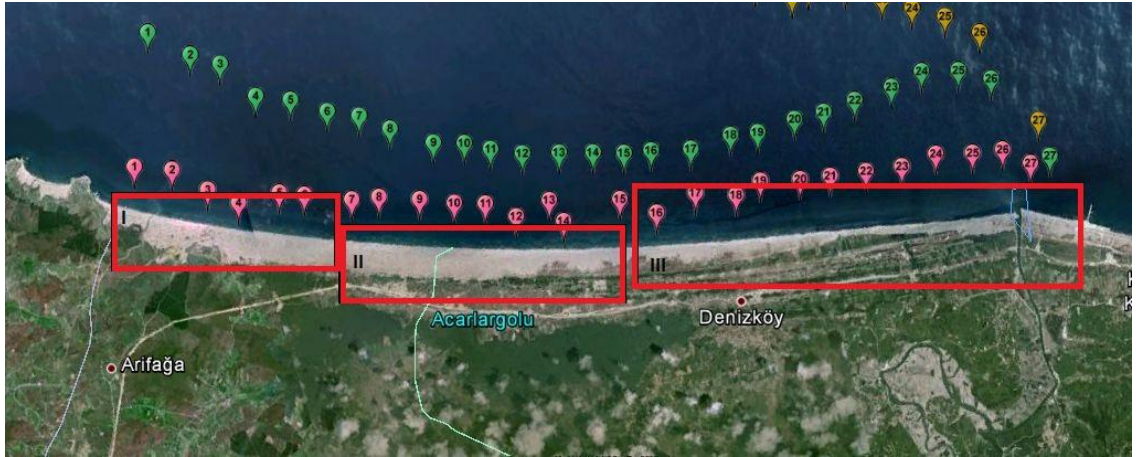


Şekil 5.20 2003 yılına ait uydu ve model sonuç görüntülerinin karşılaştırılması

Şekil 5.21’de 2002 yılına ait uydu görüntülerinden elde edilen kıyı çizgisi ile LITLINE modülü kullanılarak elde edilen 2003 yılına ait kıyı çizgisi birlikte verilmiştir. Kıyı çizgisinde meydana gelen değişimlerin daha iyi yorumlanabilmesi için kıyı çizgisi üç ayrı bölgeye ayrılarak daha detaylı görüntüleri elde edilmiştir (Şekil 5.21). Bu bölgelerin çalışma alanındaki konumları Şekil 5.22’de verilmiştir.

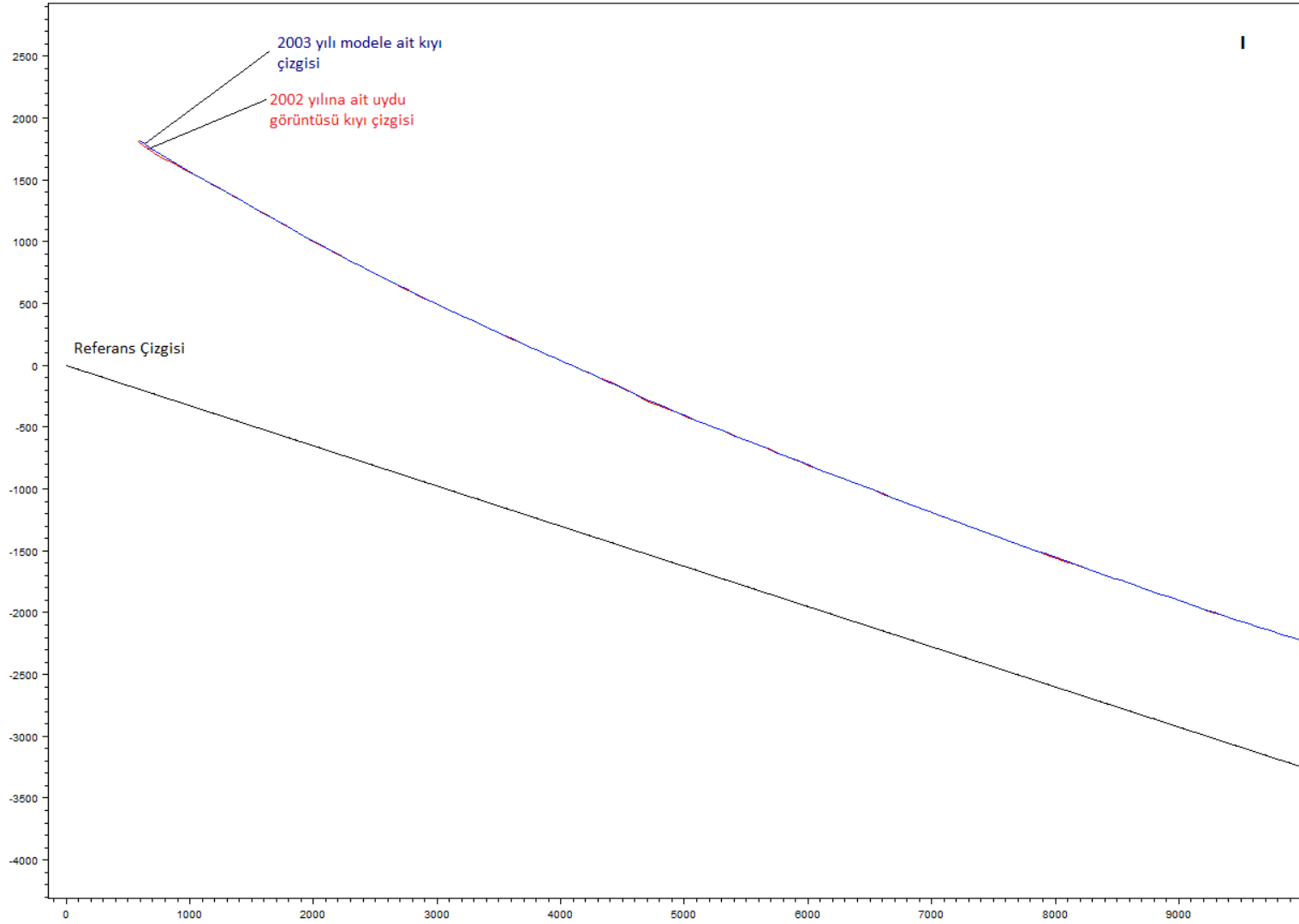


Şekil 5.21 2002 yılı uydu görüntüsü ile 2003 yılına ait sayısal model verilerinin karşılaştırılması

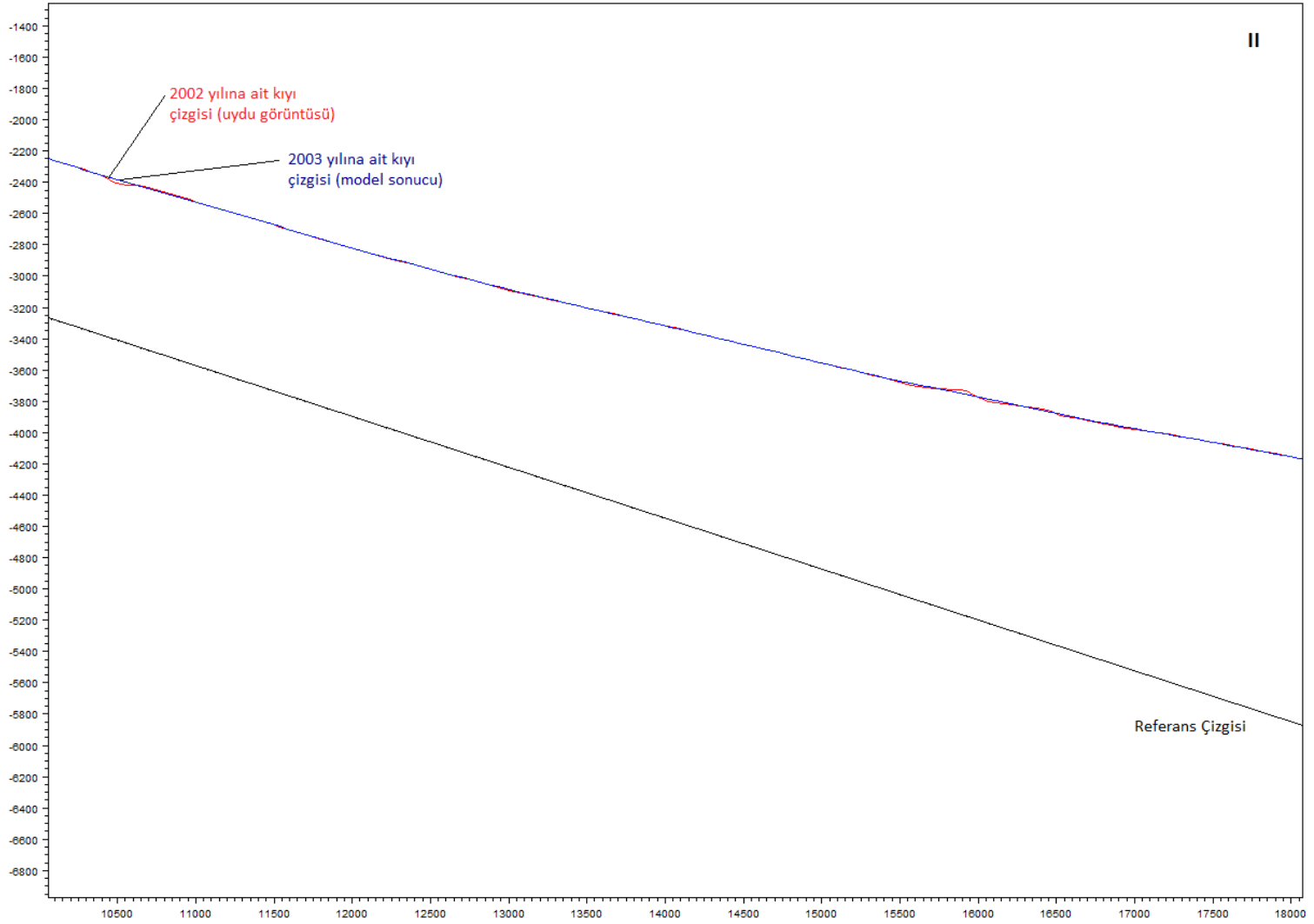


Şekil 5.22 Çalışma alanının görünümü

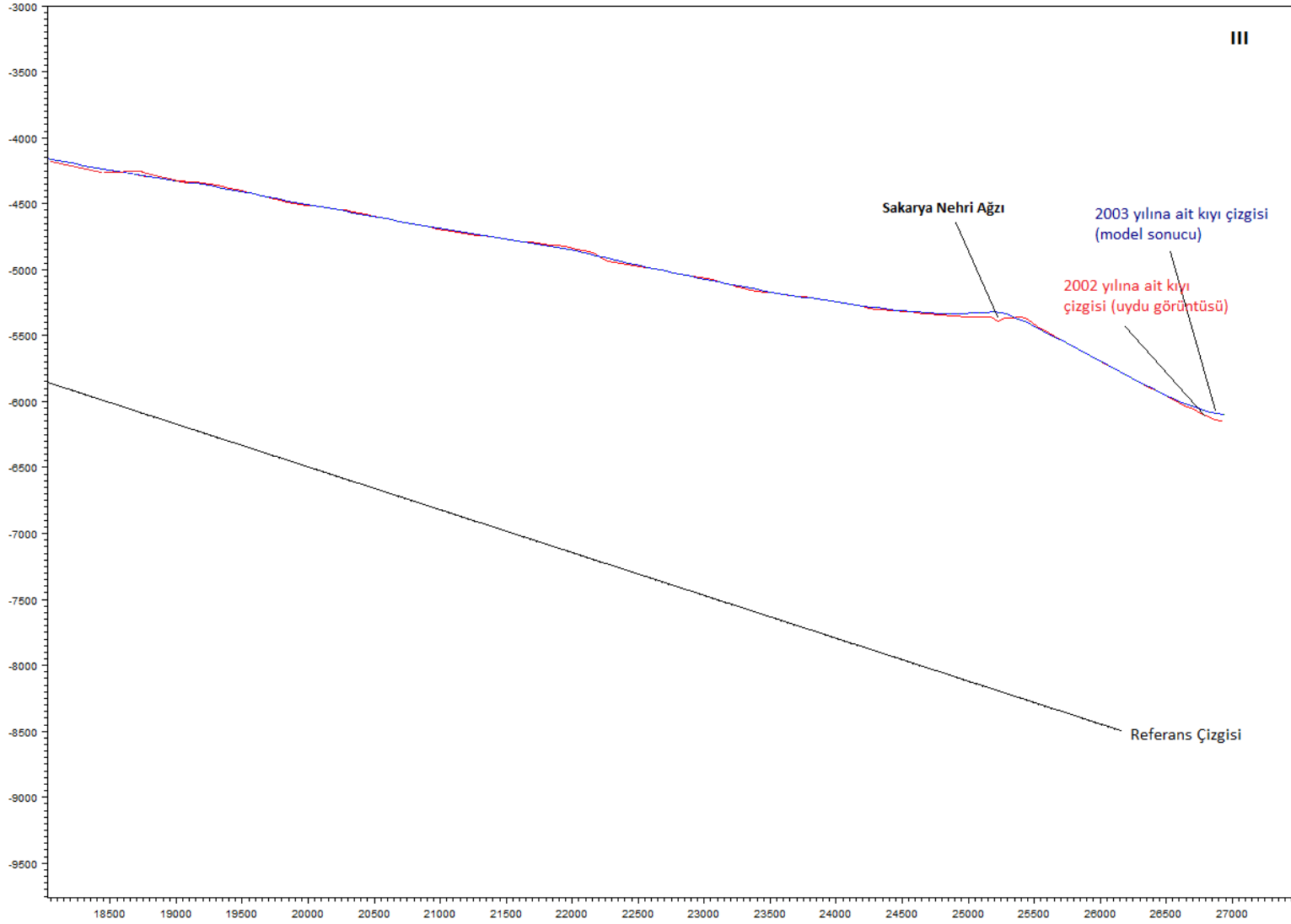
Şekil 5.23 (I.Bölge)’de kıyı çizgisi değişimleri oldukça küçüktür. Ancak Şekil 5.24 (II.Bölge)’nin doğusu ve Şekil 5.25 (III.Bölge)’nin batısında katı malzeme birikmesi (yığılma) ve erozyonlar gözlenmektedir. Bu bölge Bölüm 4.4’de model sonuçlarının değerlendirilmesi için belirlenen noktalardan hakim dalganın ve taşınımın yön değiştirdiği 16. noktanın çevresinde Denizköy civarında olduğu görülmektedir. Şekil 5.25 (III.Bölge)’nin doğusunda yığılma meydana gelmektedir.



Şekil 5.23 2002 yılı uydu görüntüsü ile 2003 yılına ait sayısal model verilerinin karşılaştırılması (I.Bölge)



Şekil 5.24 2002 yılı uydu görüntüsü ile 2003 yılına ait sayısal model verilerinin karşılaştırılması (II.Bölge)



Şekil 5.25 2002 yılı uydu görüntüsü ile 2003 yılına ait sayısal model verilerinin karşılaştırılması (III.Bölge)



#### 5.2.1.4 Kıyı Profil Değişim Modeli (LITPROF)

Kıyı profilleri yaz veya normal profil ile kış veya fırtına profili olmak üzere ikiye ayrılır. Yaz ve kış profilleri başlıca dalga karakteristiklerine bağlıdır. Kış aylarında dalga şartları yaz aylarına göre daha şiddetlidir. Malzeme açığa doğru hareket eder, surf bölgesindeki kıyı değişimi daha yumuşak bir hale gelir. Sonuç olarak bir veya daha fazla açık kıyı eşiği meydana gelebilir. Yaz aylarında ise ortalama dalga yüksekliği azalır, ortalama dalga periyodu artar. Kıyı yenilenmeye başlar. Kum kıyıya doğru taşınır ve tırmanmadan dolayı yeni bir basamak oluşur. Bu kıyıya doğru katı madde taşınımı surf bölgesinde eğimin daha dik hale gelmesine neden olur [20].

Kıyıya dik profillerin zamansal olarak dalga verilerine bağlı değişimini göstermek için kullanılan LITPROF sayısal modelinde 01.01.2002 ile 01.01.2003 yılları arasında daha önce oluşturulan dalga modelinden elde edilen dalga verileri ile koşturularak 2002-2003 yılına ait kıyı profili elde edilmiştir.

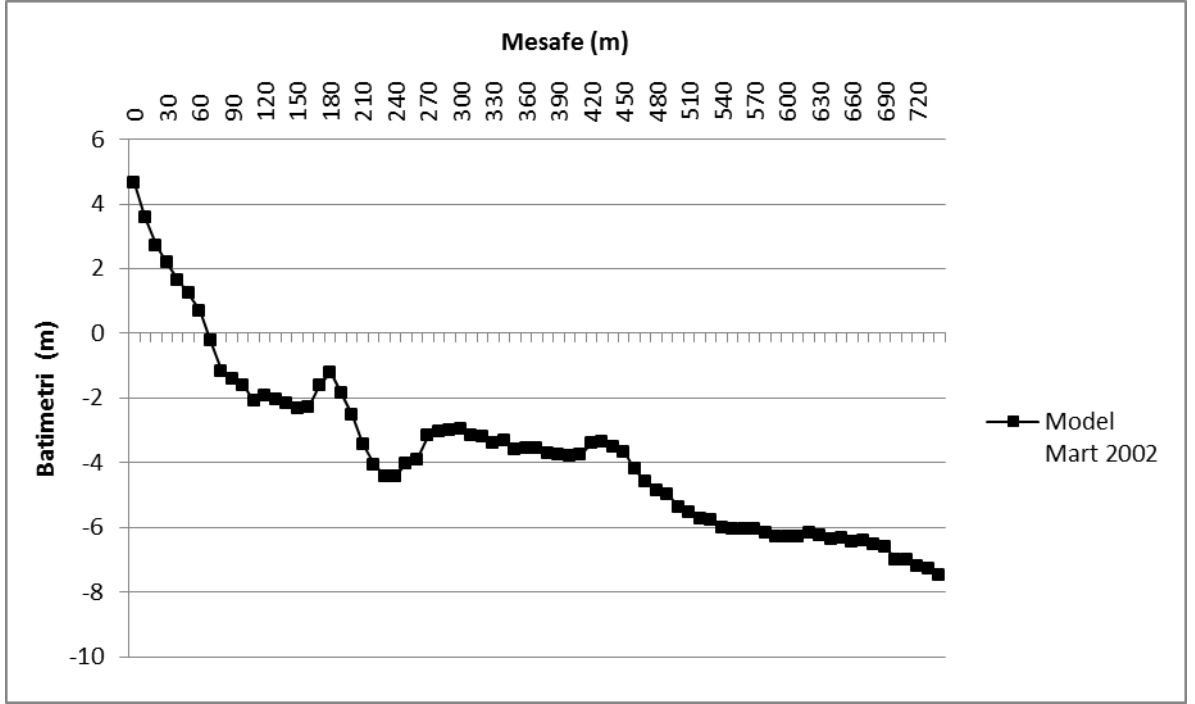
Modele girdi olarak başlangıç profili Şekil 3.30'da konumu verilen Denizköy civarında ki 3.profil tanımlanmıştır. Bu profile ait batimetri özellikleri Şekil 5.15'de verilmiştir.

Daha önce LITLINE modülünün oluşturulmasında  $K=0.55$  için CERC (1984) yöntemi ile en yakın sonucu veren LITDRIFT 8. modelinde elde edilen parametreler dikkate alınmıştır. Buna göre LITPROF modülünün koşturulması için de aynı parametreler gözönüne alınarak kum dalgacıkları etkisinin gözönüne alındığı ve tabanın üniform olduğu kabulü yapılmıştır.

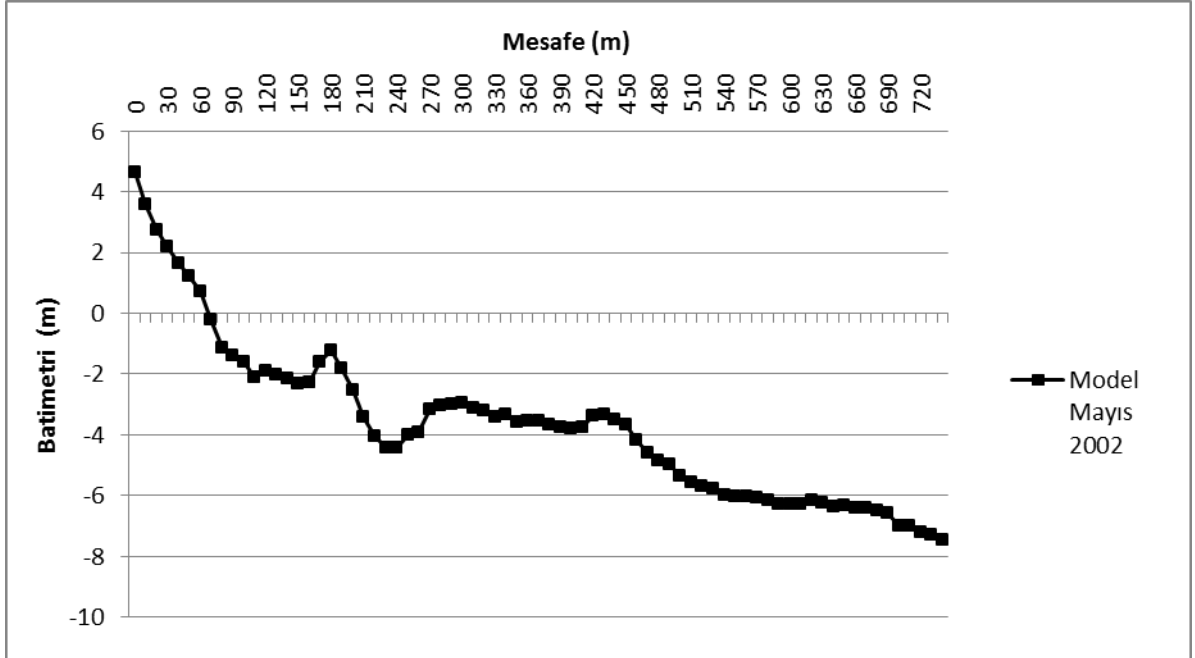
Model sonucunda elde edilen profil ve başlangıç profilleri Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'da verilmiştir. Şekiller incelendiğinde bölgede kıyıya dik taşınımın etkin olduğu açıkça görülmektedir ve oluşan kıyı profili fırtına profili tipindedir. Bölgede fırtına tipi dalgalar hakimdir. Açıkta kum eşiği yapılanmıştır. Ancak bir yıllık süreç içinde mevsimsel olarak eşik açığa doğru göç etmektedir. Profilin genel yapısı incelendiğinde bir yıl sonrasında model ile ölçüm sonuçları uyum içindedir (Şekil 5.30).

Model sonuçları kıyının yılda  $\Delta x=10m$  gerilediğini göstermiştir, bu durumda düşey değişim ise  $\Delta y=1.62m$  dir. Kıyı çizgisi modelinde ise aynı bölgede 7.5m/yıl erozyon belirlenmiştir. Sonuçlar oldukça uyumludur ve kıyıda erozyon eğili vardır. Bu durum uydu verilerinden de belirlenmiştir. Erozyon kıyı kumullarını tehdit etmektedir.

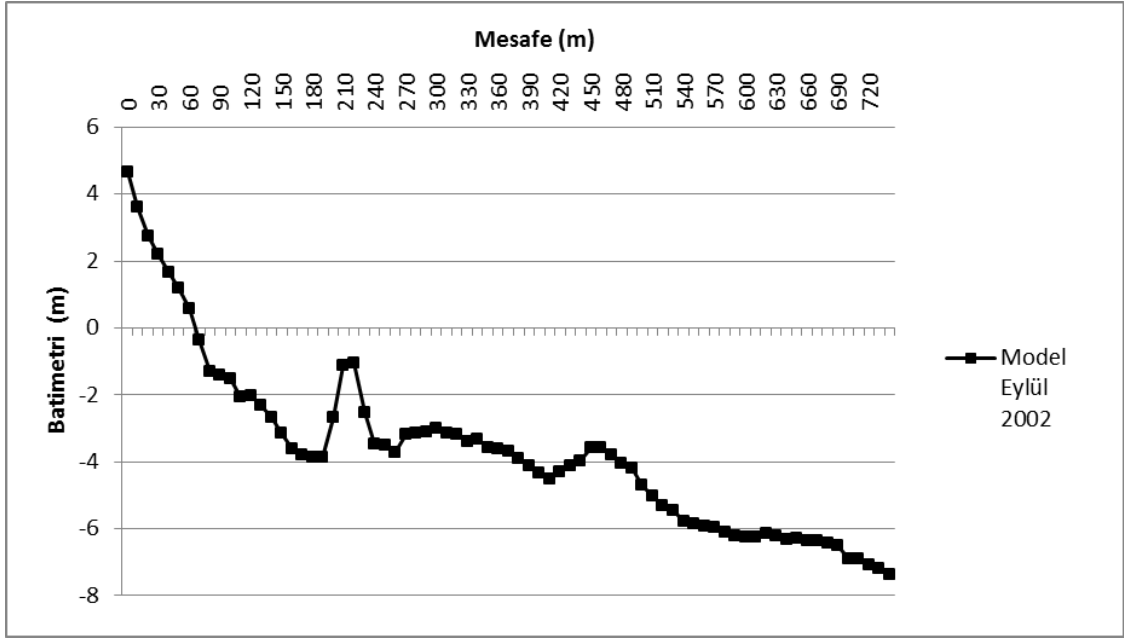
Erozyonun gerek Karasu kıyılarını gerekse Acarlar Longozunu tehlike altında olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.26 Modelden elde edilen kıyı profili (15.03.2002)



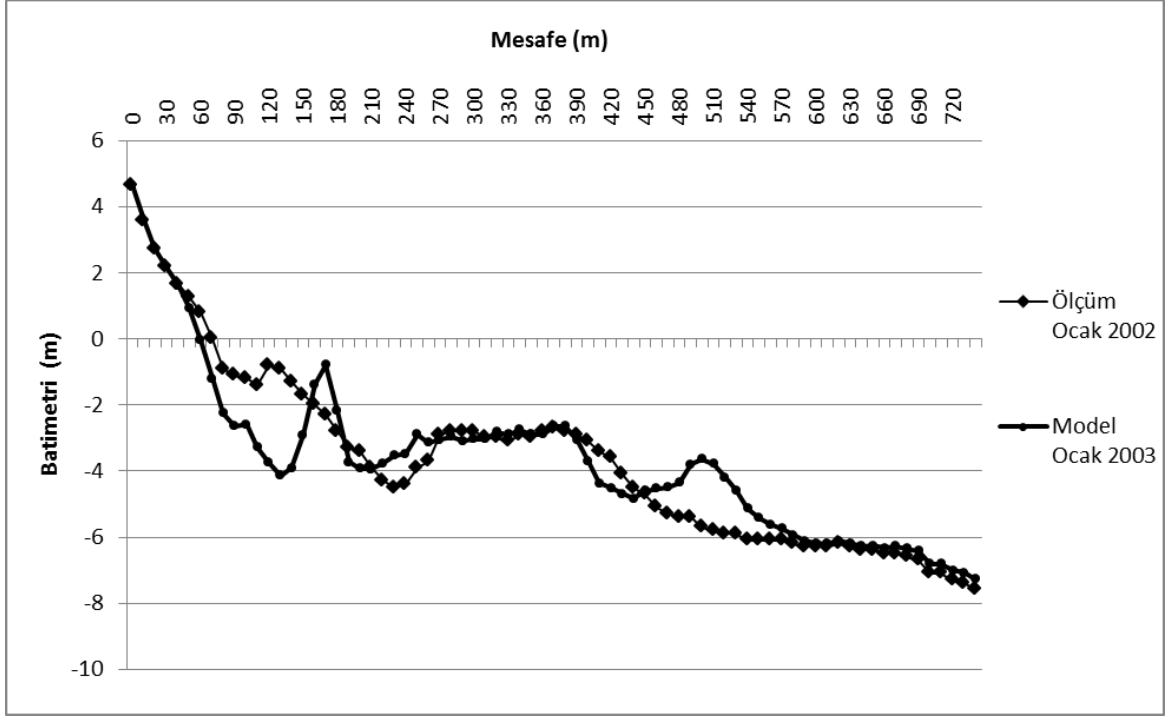
Şekil 5.27 Modelden elde edilen kıyı profili (15.05.2002)



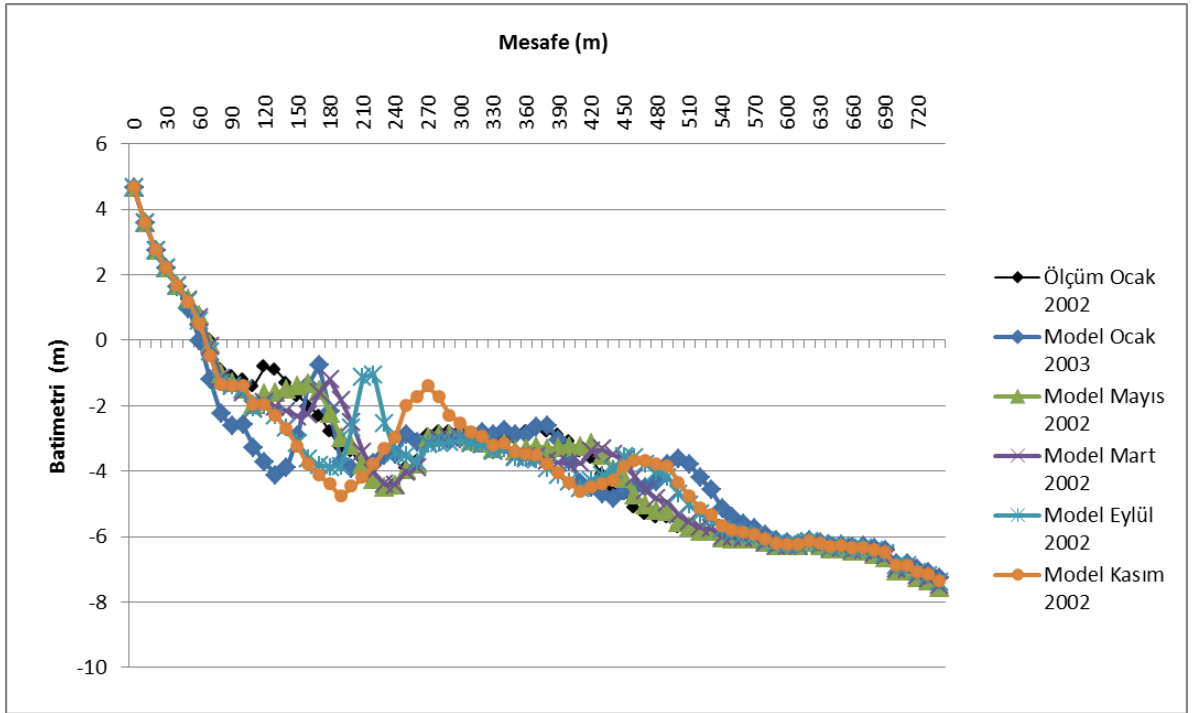
Şekil 5.28 Modelden elde edilen kıyı profili (15.09.2002)



Şekil 5.29 Modelden elde edilen kıyı profili (15.11.2002)



Şekil 5.30 Modelden elde edilen kıyı profili ile ölçülen başlangıç profilinin karşılaştırılması



Şekil 5.31 Modelden elde edilen kıyı profilleri ile ölçülen başlangıç profilinin gösterimi

### KIYI ALANLARINDA RİSKE DAYALI TASARIM

Olasılığa dayalı risk analizi çerçevesi sürdürülebilir gereksinimleri karşılayan kıyı taşkınları için yapılan koruma yapıları tasarımı üzerine kurulmuştur. Bu çerçevenin tamamı tasarım sürecinin önemli bir parçası olan risk faktörünün yönetimini içermektedir. Risk analizinin uygulanmasında,

- taşkın riskinin önceden tahmin edilmesi,
- kabul edilebilir taşkın riskinin değerlendirilmesi ile
- kabul edilebilir ve önceden tahmin edilen taşkın risk seviyelerinin karşılaştırılarak değerlendirilmesinin,

yapılması gereklidir [36].

#### 6.1 Kıyı Taşkınlarına Karşı Kıyı Koruma Yapılarında Olasılığa Dayalı Risk Analizi

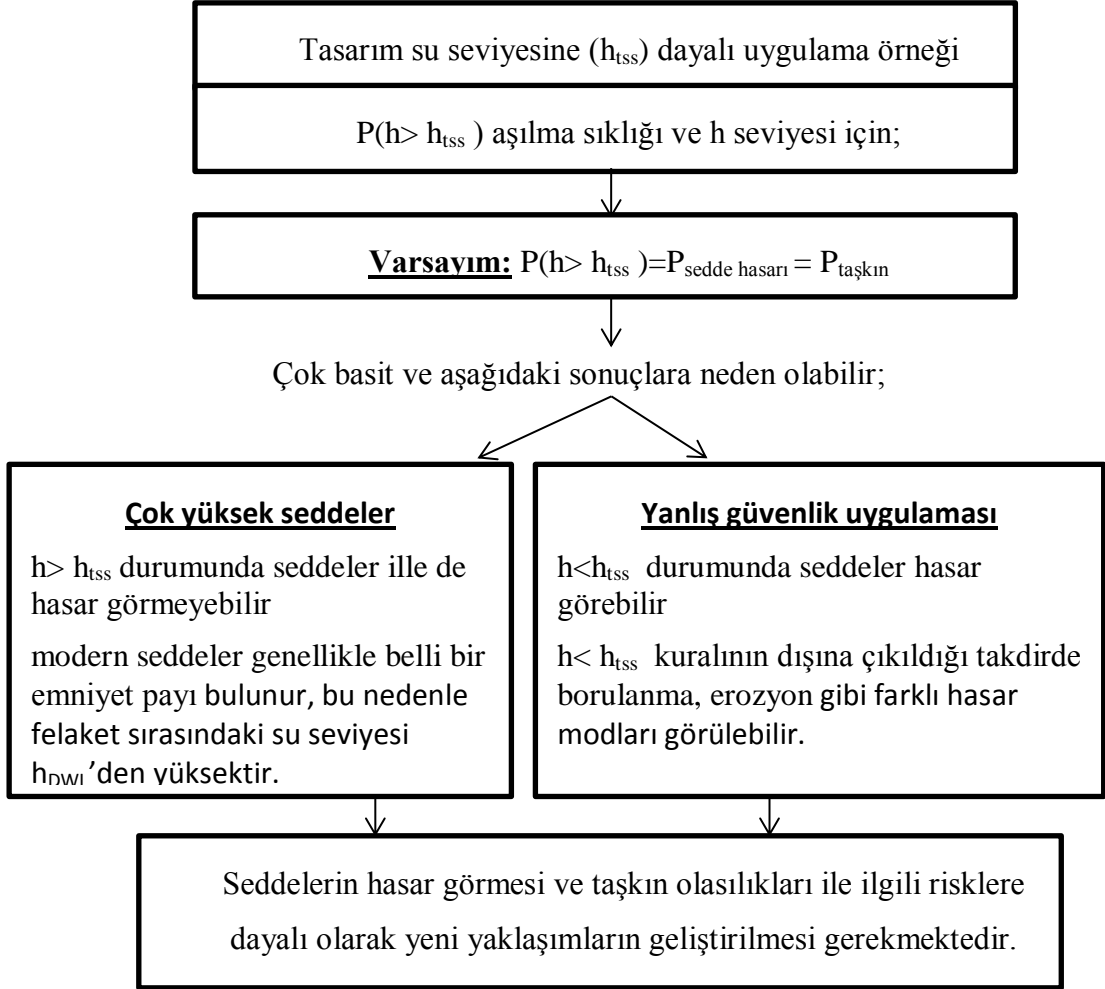
Kıyı taşkınlarına karşı kıyı koruma yapıları her ülkede farklı tasarım metodu ve güvenlik standartlarına göre uygulanmaktadır, ancak temel olarak taşkına karşı yapılan yapıların tasarım kriterleri; su seviyesi ve aşılma frekansları ile belirlenmektedir. Şekil 6.1'de Kuzey Avrupa'daki sedde tasarımı örneği verilmiştir [36]. Şekil 6.1'de  $h_{tss}$  tasarım su seviyesi olarak verilmiştir.

Belirlenen aşılma olasılığı dolaylı olarak taşkın olasılığı ile ifade edilen hasar olasılığı olarak yorumlanmaktadır. Oldukça basit olan bu yaklaşım aşağıdaki sonuçlara neden olabilir:

- çok yüksek ve pahalı sedde yapımına; tasarım su seviyesi aşıldığında (ki modern seddelerde genellikle belli bir emniyet payı bulunur) seddeler ille de hasar

görmeyebilir, bu nedenle modern sedde tasarımında felaket sırasındaki su seviyesi kesinlikle tasarım su seviyesinden çok yüksek olmalıdır,

- yanlış güvenlik uygulaması; seddeler tasarım su seviyesi aşılmaya dahi (borulanma, topuk göçmesi vb.) hasar görebilir, ve bu sebeple görevini yerine getiremeyecek hale gelen sedde korunan alanda yıkıcı etkilere yol açabilir.



Şekil 6.1 Yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerekliliğini gösteren kıyı koruma yapısı tasarım örneği [36]

Olasılık Risk Analizi (PRA) çalışmasında;

- çok çeşitli karmaşık yönleri ile birlikte belirsizliklerin açıkça ele alınması,
- doğanın bütünleşik ve karmaşık yapısının tasarım problemlerine neden olması,
- tasarım ve güvenlik gibi birçok farklı disiplinin uyum içerisinde çalışması gerekliliği (kıyı mühendisliği, ulaştırma, nükleer santraller vb.)

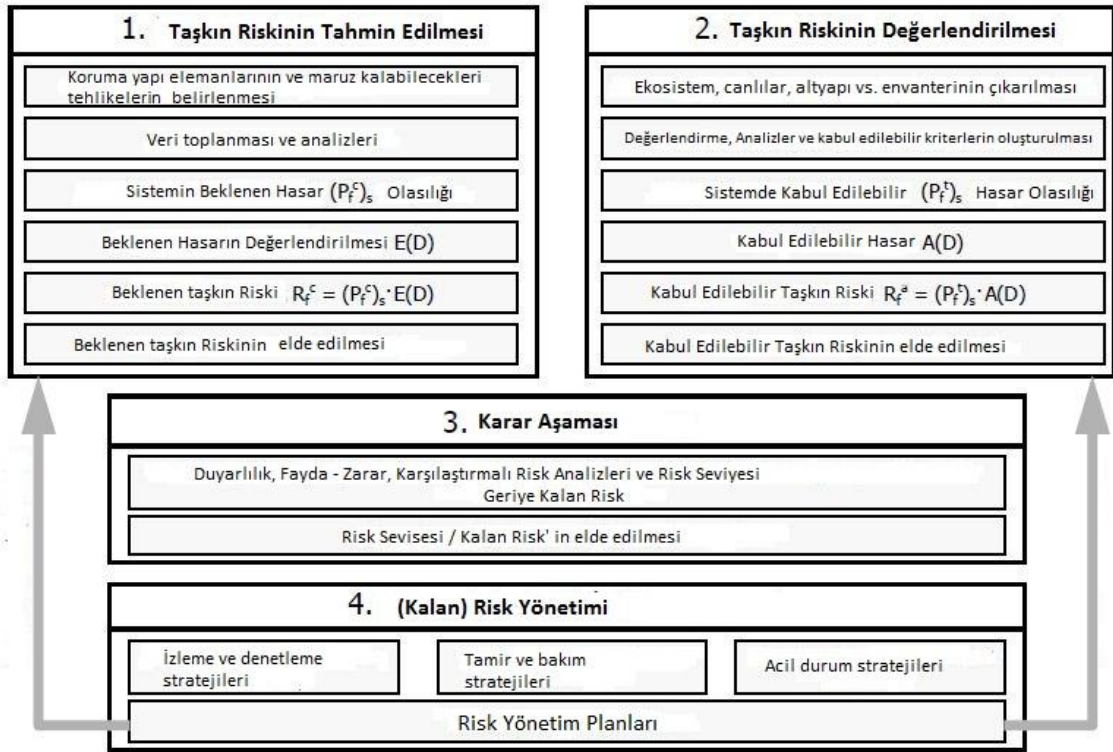
gibi unsurlara dikkat edilmesi gerekir [36].

Bununla birlikte daha detaylı bilimsel ve teknik çerçeveden;

- geçerli bir güvenilirliğe dayalı yaklaşımlar ile belirsizliklere kapsamlı bir şekilde erişebilmek,
- risk kavramı ve yeni risk mertebelerini belirleme de teknik ve teknik olmayan karar vericiler arasındaki uçurumu gidermek,
- sağlam bir temel oluşturmak üzere kıyı taşkın risklerinin yönetimi için daha geniş ve daha genel bir çerçevede izleme, muayene, bakım, onarım, inceleme, güvenlik değerlendirmesi güncelleştirmeleri ve acil önlemler almak,

gibi unsurlarda sağlanmalıdır.

‘‘Dalgakıranlar için olasılık tasarım araçları (PROVERBS)’’ (Oumeraci 2000)’e göre Avrupa Birliği MASTIII-projesi Kıyı taşkınlarına karşı kıyı koruma yapıları için geliştirilen yeni kavramsal Olasılık Risk Analizi tabanlı sistemi Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Bu çalışmanın önemli özelliklerinden birisi risk yönetimini tasarım sürecinin ayrılmaz bir parçası olarak birleştirmesidir. Aslında, hiçbir tasarım optimizasyonu risk ve risk yönetimi bilgisine sahip olmadan yapılmamalıdır [36].

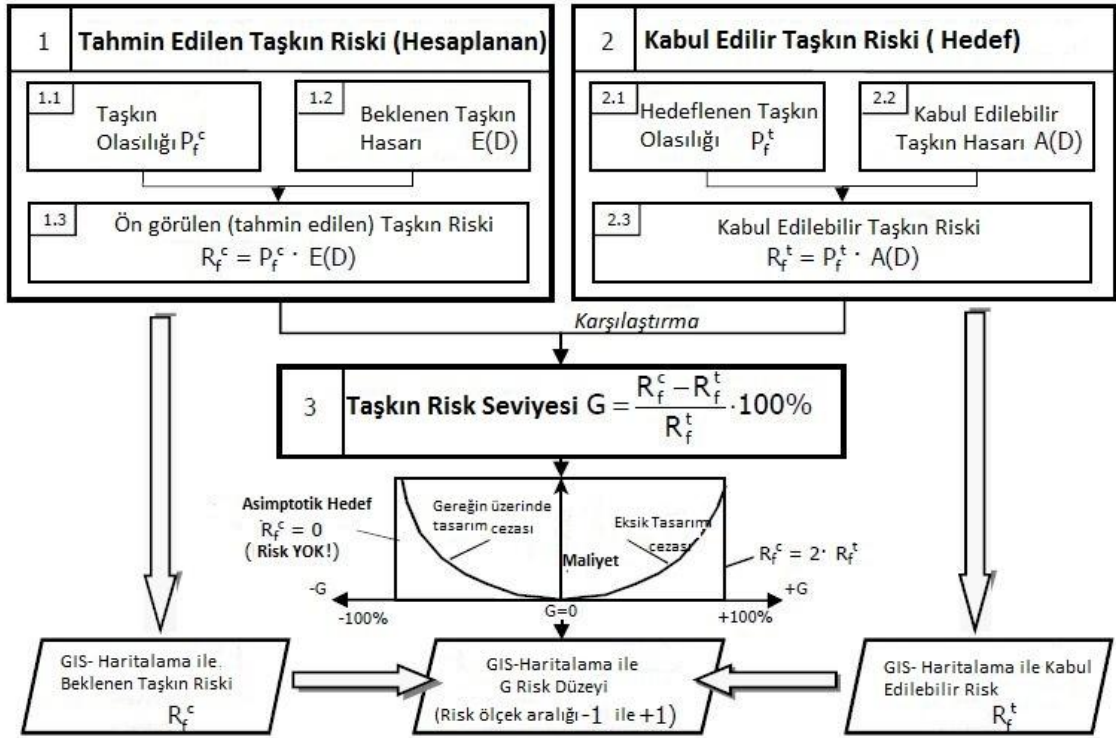


Şekil 6.2 Kıyı koruma yapı tasarımları için olasılığa dayalı risk analizini üzerine kurulu taslak çalışması [36]

Şekil 6.3’de gösterilen;

- Taşkın riskinin önceden tahmin edilmesi,
- kabul edilebilir taşkın riskinin değerlendirilmesi,
- taşkın risk düzeyinin hesaplanması (geriye kalan risk),

ile ilgili yöntem bilim (metodoloji) üzerinde durulması risk analizinin doğru bir biçimde yapılabilmesi için oldukça önemlidir.



Şekil 6.3 Geriye kalan risk değerlendirmesi için metodoloji [36]

Bilgi gerektiren taşkın riskinin tahmin edilebilmesi;

- morfolojik, topoğrafik, hidrolik ve diğer sınır koşulları,
- koruma yapısı elemanlarının hasar modları, bunların etkileşimleri ve ilgili limit durum denklemleri,
- Koruma yapılarında yerel hasarlar ile taşkın dalgasının ilerlemesini müteakip korunan alanda hasara yol açabilmesi; gibi belirsizlikler ile ilgilidir.



### ***Hasar Modlarının Analizi, Yerel Hasar Başlangıcı ve Taşkın Dalga İlerlemesi***

Topoğrafik, hidrolik, yapısal ve sosyo-ekonomik sınır koşullarına bir kere karar verildikten sonraki adım tüm ilgili sistemi tanımlamak ve taşkın sonucunda bütün ilgili hasar modlarını hidrolik yükleri de içerecek şekilde analiz etmektir. Örnek olarak bir sedde için taşkından dolayı oluşan yerel hasar;

- deniz tarafında tekrarlanan dalga etkileri yolu ile yapıda aşınma meydana gelmesi,
- kara tarafından sızma, dalga aşması, taşma etkileri veya bu etkilerin birlikte gelişmesi ile borulanma, arka şev kaplamasında kayma ve göçmeye yol açabilir.

Taşkın dalgası ilerlemesinin ve korunan alanda yol açtığı yıkıcı etkilerin modellenmesinde en önemli belirsizlik taşkın dalgasına ait seddelerde oluşan yerel hasarlar tarafından yönlendirilen başlangıç koşullarıdır [36].

Deniz tarafından ya da kara tarafından sedde oluşan yerel hasar arasında da büyük bir fark vardır ve bu durum çeşitli deneylerle sorgulanmalıdır. Korunan alana ilerleyen taşkın dalgalarının her iki durum içinde başlangıç koşulu olarak modellenmesi gerekir.

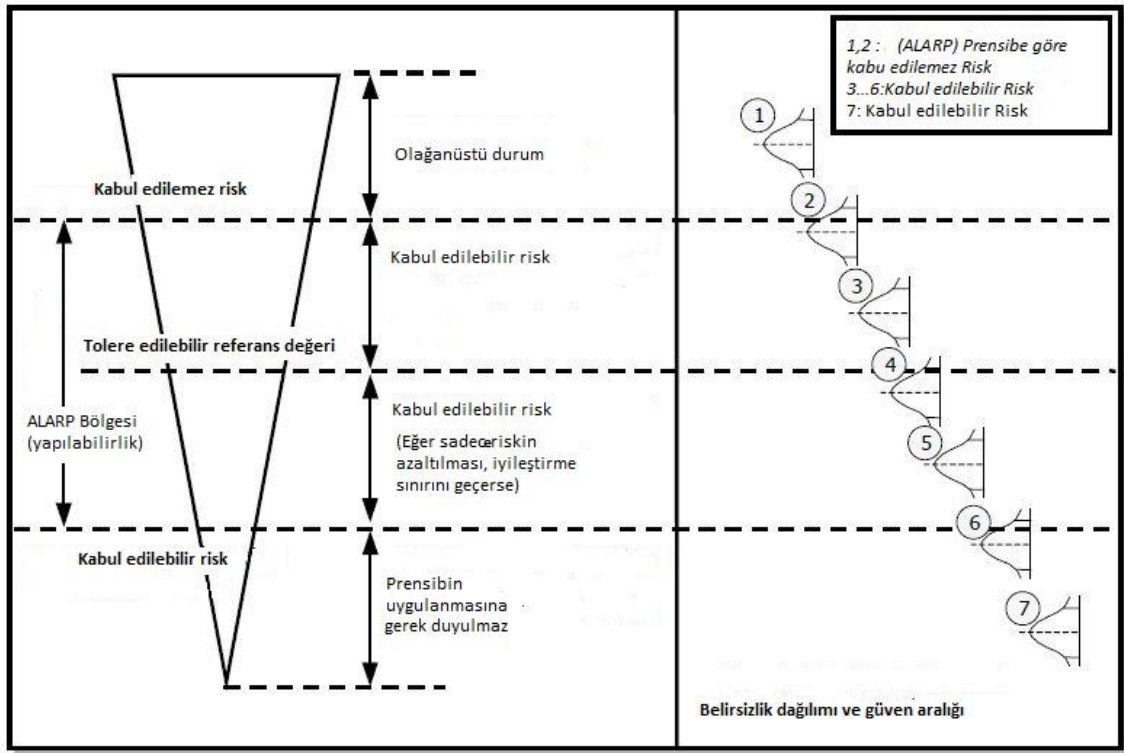
Taşkından korunma şemasındaki adımlar arasındaki bağlantılar ve korunan alanın kırılma derecesi gözönünde tutulmalıdır.

### ***Kabul Edilebilir Taşkın Riskinin Değerlendirilmesi***

Bir çok disiplinde risk değerlendirmesi açısından büyük ölçüde kabul gören ‘‘Mümkün olduğu kadar makul ve yapılabilirlik ‘‘ (As Low As Reasonable Practicable- ASAP) prensibinin kullanılması taşkın koruma yapılarının güvenlik ve tasarım aşamasında da önerilmektedir. Bu prensibin dezavantajları ile başa çıkabilmek için geliştirmeler yapılmıştır [35]. Bunlar;

Belirsizlik; Çok düşük riskte yüksek belirsizlik, çok yüksek riskte düşük belirsizliğe kıyasla daha kabul edilebilirdir (Şekil 6.4).

Ağırlık faktörleri; Bir çok disiplin için kesin olarak hangi riskin dikkate alınacağı konusunda fikir birliğine varılması oldukça önemlidir (Örnek olarak bir seddedeki yerel hasar oluşumuna göre trafik kazaları daha büyük risk faktörü olarak kabul edilmektedir ve 1 ölümlü sonuçlanan 1000 tane tehlikeli olay, 1000 tane ölüme yol açan tek bir tehlikeli olaydan daha dikkate değer olabilmektedir).



Şekil 6.4 ALARP Prensibi içinde belirsizlik [36]

### ***Maddi ve Manevi Kayıpların Değerlendirilmesi***

Kabul edilebilir taşkın riski üzerinde diğer disiplinlerle (ulaştırma, baraj mühendisliği, nükleer santraller vs.) fikir birliği elde etmek için sağlam ve şeffaf ALARP prensibi çerçevesinde farklı metodlar ve araçlar geliştirilmiştir. Bu şeffaflığı arttırmak ve diğer disiplinlerde kabul edilebilir riskleri kıyaslamak için kabul edilebilir (hedef) taşkın riski  $R_f^t$ ; kabul edilebilir (hedef) taşkın olasılığı  $P_f^t$  ve kabul edilebilir (hedef) hasarlar ve kayıpların  $A(D)$  neticesi olarak tanımlanabilir [36].

Eğer hasarlar gözlenebilir şekilde ise hedef taşkın olasılığı  $P_f^t$  maliyet optimizasyon problemi ile ifade edilebilir. Varsayımlar sonucundaki belirsizlikler ve maliyet hesapları olasılıklar çerçevesinde açıkça genel içinde dikkate alınmalıdır.

Taşkınların yol açtığı manevi kayıp olarak ifade edilen insanların ölümü, kültürel ve çevresel kayıpların değerlendirilmesinin yapılması da en büyük zorluklardan birisidir.

Etik olarakta insan hayatının kaybının değerini sorgulama problemi genellikle o hayatı kurtarabilmek için toplumun ödeyeceği bedel ile ölçülür. Taşkın sebep olduğu manevi kayıpları önlemeyebilmek için literatürde geçen bir çok metottan uygun olan yöntem elde edilerek analiz edilmedilir [36].

Beklenen taşkın riski ( $R_f^c$ ) ve kabul edilebilir taşkın riski ( $R_f^t$ ) maliyet ve manevi kayıpların bir fonksiyonu olarak uygun olan risk mertebesine karar verilmesi ile ölçülür. Örnek olarak risk mertebesi  $G=(R_f^c-R_f^t)/R_f$  Şekil 6.3’de verilmiştir, burada  $G=0$  optimum risk mertebesini göstermektedir.  $G$ ’nin negatif değerleri tasarımın gerektirdiğinden fazlasının yapıldığını, pozitif değerleri ise tasarım gereklerinin altında tasarım yapıldığını göstermektedir.

Buraya kadar verilen risk analizi ile bilgilerin kullanılması doğrultusunda yapılacak çalışmada aşağıda verilen soruların yanıtlanması da oldukça önemlidir;

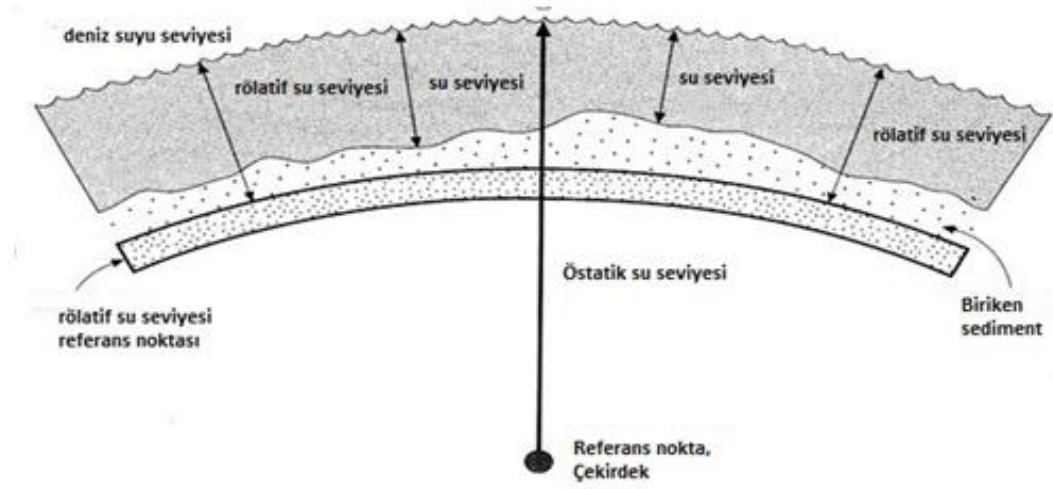
- ASAP- ‘Mümkün olduğu kadar makul /basit ve yapılabirlik ‘ prensibine göre gelişmiş metodlar önemli yönlerini kaybetmeden nasıl daha basite indirgenir? Bu basitleştirme eski dönemlerden beri yerel geleneklerin ve yönetimlerin üstün geldiği oldukça önemli bir konu olmuştur. Tasarım ve yönetim aşamasında günümüzde kullanılan nicel analiz yöntemleri ile kendi özünde ve arka planında çok karmaşık, ama uygulamalarında basit yapılmalıdır.
- Verimlilik ve maliyet gibi iki unsuru içerecek şekilde nicel risk değerlendirilmesi nasıl yapılır? (Genellikle çok sınırlı) Mevcut kısıtlamalar altında bir ön yaklaşım olarak; odak noktalarını belirlemek, daha detaylı ve pahalı adımlarda optimizasyonu sağlamak üzere geliştirilen Olasılığa dayalı risk analizi (PRA) uygulanır.
- Sürdürülebilir ve sürdürülebilir olmayan taşkın koruma arasındaki eşiği tahmin etmek için yeni önerilen PRA çerçeve nasıl uygulanır? Bu durum dolaylı ve doğrudan maliyet değerlendirmesi, hayat kaybı, çevresel ve kültürel kayıpların ile yüksek seviyede entegrasyon ile mümkün olabilir.

## 6.2 Deniz Suyu Seviyesi Değişimi

Deniz suyu Dünya’mızın oluşumundan itibaren süregelen birçok etki altında günümüzdeki seviyesine ulaşmıştır. Bu seviyenin son 240 milyon yılda alçalıp yükseldiğine dair ilk kanıt bulan petrol jeologlarıdır. Petrol jeologları östatik (eustasy) kelimesini küresel ölçekteki deniz seviyesi değişimlerini ifade etmekte kullanmaktadır. Karalar sabit kalmak şartı ile kara yüzeyindeki buzullaşmaya ve buzulların erimesine bağlı olarak deniz seviyesinde meydana gelen geniş ölçüde alçalma ve yükselme östatik

su seviyesi değişimi olarak tanımlanmaktadır. Bu değişimler ister kabuk hareketlerinden, ister okyanus hareketlerinden meydana gelsin, deniz seviyesinin yükselmesi pozitif östatik hareket, deniz seviyesinin alçalması ise negatif östatik hareket olacak şekilde ikiye ayrılmaktadır. Pozitif östatik hareketler transgresyonlara, negatif östatik hareketler regresyonlara yol açar.

Daha küçük ölçekte düşünöldüğünde referans bir noktaya göre su seviyesinde meydana gelen değişimler gözlenebilir. Bu değişim rölatif su seviyesi değişimi olarak tanımlanmaktadır. Bu seviye değişimleri daha çok kıyılar referans alınarak ölçölmektedir (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 Referans noktaya göre östatik ve rölatif su seviyeleri [37]

Deniz seviyesinde meydana gelen değişimler;

- yerel ve küresel ölçekteki tektonik hareketler,
- kıta buzullarının ilerlemesi veya geri çekilmesi
- deniz suyu sıcaklığının değişimi ile suyun termal genişlemesi,
- plaka tektonikleri,
- izostatik çökme ile kıtasal sekmeler
- iklimsel değişiklikler

sonucunda oluşmaktadır.

Günümüzdeki Deniz seviyesi değişimleri daha çok küresel ölçekteki iklimsel değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle Dünya'nın oluşumundan günümüze

kadar meydana gelen küresel ölçekteki iklimsel değişiklikler hakkında bilgi edinmemiz gelecekteki su seviye değişimlerini tahmin edebilmemiz açısından da oldukça önemlidir.

### ***Holosenden Günümüze Meydana Gelen Deniz Seviyesi Değişimleri***

Jeolojik zaman ölçeği Şekil 6.6’da dikkate alındığında östatik, izostatik ve tektonik faktörlerin bir fonksiyonu olan deniz seviyesi, iklim değişimlerinin yüksek sıklıkla meydana geldiği Kuaterner dönemi boyunca çok fazla değişime uğramıştır.

Kuaterner dönemi yaklaşık 1.81 ile 0.01 milyon yıl öncesine kadar olan zaman dilimini ifade etmektedir. Bu dönem boyunca kıtaların buldukları konum günümüzdekinden çok farklı olmamakla beraber buzul çağına bağımlı olarak değişen buzul ve deniz seviyeleri nedeniyle, coğrafya oldukça fazla değişime uğramıştır. İki alt bölümden oluşan bu dönemin büyük bölümünü kapsayan Pleistosen, pek çok buzul çağı yaşanmıştır. Kuaterner dönemin diğer alt bölümü olarak bilinen Holosen bölüm ise Pleistosen yaşanan son buzul çağının kapanmasıyla başlayan, 11 bin yıl öncesinden günümüze kadar süren zaman dilimini ifade etmektedir.

DEVİR	ZAMAN	DÖNEM	BÖLÜM
Fanerozoik Devir (545 myö-Günümüz)	Senozoik (65.5 myö- Günümüz)	Kuaterner (1.81 myö- Günümüz)	Holosen (0,01 myö- Günümüz)
			Pleistosen (1,81-0,01 myö)
		Neojen (23.8 myö-1.81 myö)	Pliyosen(5,32-1,81 myö)
			Miyosen(23.8-5,32 myö)
		Paleojen (65.5 myö-23.8 myö)	Oligosen(33.7-23.8 myö)
			Eosen (55.0-33.7 myö)
	Mezozoik (251.4 myö-65.5 myö)	Paleozoik (545 myö-251.4 myö)	Kretase (142 myö-65.5 myö)
			Jura (205.1 myö-142 myö)
			Trias (251.4 myö- 205.1 myö)
			Permiyen (292 myö-251.4 myö)
			Karbonifer (354 myö-292 myö)
			Devoniyen (417 myö-354 myö)
			Silüryen (440 myö- 417 myö)
			Ordovisyen (495 myö- 440 myö)
Kambriyen (545 myö -495 myö)			
Kambriyen Öncesi (545 milyon yıl ve öncesi)	Proterozoik Devir (2500 myö- 545 myö)		
	Arkeyan Devir (3600 myö-2500 myö)		

Şekil 6.6 Jeolojik zaman ölçeği [38]

Kuaterner' deki iklim değişiklikleri, hidrolojik çevirimde farklılıkların oluşmasına yol açarak soğuk dönemlerde düşük deniz seviyeleri, sıcak dönemlerdeyse rölatif olarak yüksek deniz seviyelerinin oluşmasına neden olmuştur. Örneğin son interglasyal'den Holosen başlangıcına kadar olan yaklaşık 120 bin yıllık dönem (Geç Pleistosen) ele alındığında, içerisinde bulunduğumuz sıcak periyottan ortalama 2-3°C daha sıcak geçmiş olan son interglasyal ( $\approx$ 130-115 bin yıl) sırasında küresel deniz seviyesinin bugünkü deniz seviyesi civarında olduğu tespit edilmiştir Son Glasyal Maksimum (30-19 bin yıl) sırasında ise, deniz seviyesi  $\geq$  -120m'ye düşmüştür [39].

Derin okyanus sedimentlerinin analiziyle elde edilen oksijen izotop değerleriyle, birbirini sürekli olarak izleyen sıcak-soğuk dönemlerdeki küresel deniz seviyesi değişimlerinin oranı tahmin edilebilmektedir. Ancak iklim değişiklikleri nedeniyle oluşan etkilerin yanı sıra izostatik ve tektonik hareketlerin de rölatif deniz seviyesi değişimlerine sebep olması nedeniyle dünyanın farklı kıyılarında deniz seviyesi değişimleriyle ilgili olarak yapılan çalışmalarda elde edilen veriler birbirleriyle tam bir uyum göstermemektedir.

İzostatik hareketlere sebep olan birbirinden farklı çeşitli nedenler olsa da, bunlar arasında en önemlileri glasyo- ve hidro-izostazidir. Postglasyal dönemde yükselmeye başlayan deniz seviyesi ile yerkabuğundaki yük değişimlerinin birlikte düşünöldüğü küresel izostatik modellere göre, Holosen' deki rölatif deniz seviyesi değişimlerinde farklı olaylar söz konusudur. Örneğin Postglasyal dönemde eski büyük buzullaşma alanlarında (near-field sites), ve kenar kısımlarda (ice-margin sites) yer alan karalardaki buzul örtülerinin erimesi sonucu litosfer üzerindeki yük hafiflemektedir ve bunun sonucu olarak meydana gelen izostatik yükselim, deniz seviyesinin östatik olarak yükselme oranından oldukça fazladır ve bu yüzden bu alanlarda deniz seviyesi yükseldiği halde aslında rölatif olarak düşmektedir.

Eski buzullaşma alanlarından uzakta yer alan bölgelerde ise (far-field sites), östatik deniz seviyesi değişimi glasyo-izostaziden çok daha fazla bir etkiye sahiptir; ancak, hidrolojik dolasıma katılan eriyen buzul sularının okyanus havzalarının hacminde meydana getirdiği değişiklikler, bu alanlarda deniz seviyesinin rölatif olarak düşmesine neden olur. Çünkü buzulların erimesi sonucu (örneğin Son Glasyal Maksimum'un bitiminden deniz seviyesinin bugünkü pozisyonuna ulaştığı zamana kadar yaklaşık olarak 50 milyon km<sup>3</sup> su, okyanuslara transfer olmuştur) hidrolojik dolasıma katılan

daha fazla miktardaki suyun yarattığı kütle artışı, okyanus tabanlarının tedricen çökmesine ve böylelikle de deniz seviyesinin rölatif olarak düşmesine yol açmaktadır. Bu iki alanın arasında yer alan sahalarda (intermediate-field sites) ise, postglasyal dönem buzul erimeleri etkisinde yükselen östatik deniz seviyesi, diğer bölgelere göre çok daha düzenli bir trende sahiptir. Ancak bu alanlar eski büyük buzullaşma alanlarını kuşattığından ötürü, postglasyal dönemde söz konusu sahalardaki (near-field ve ice-margin sites) kalın buzul örtülerinin kısmen ya da tamamen ortadan kalması sonucu, bu bölgelerdeki yükü hafifleyen litosferde meydana gelen yükselimi dengelemek üzere çökerler (peripheral bulge) ve bu durum denizin rölatif olarak yükselmesine yol açar. Bunların yanında, tektonik ya da volkanik olarak aktif olan alanlarda meydana gelen kabuk hareketleri de, rölatif deniz seviyesi değişimlerine neden olabilmektedir. Levha sınırlarına yakın olan bölgelerde kabukta meydana gelen deformasyonlar ya da aktif volkanik alanlardaki kabukta meydana gelen kabarmayla (domming) değişen rölatif deniz seviyesinin yanısıra dotalarda sediment kompaksiyonunun ve hatta bu alanlardaki fazla taban suyu tüketiminin sübsidansa yol açarak deniz seviyesinin rölatif olarak yükselmesine neden olduğu bilinmektedir [39].

#### ***İklim Değişiklikleri Nedeni ile Deniz Seviyelerinde Beklenen Yükselme Miktarları***

- İklim değişiklikleri sonucu deniz düzeyi değişimleri özellikle;
- Mevsimsel ve dönemsel değişiklikler,
- Güneş ışınları, su sıcaklığı ve rüzgarlar,
- Muson yağışları,
- Sıcaklığına bağlı su hacminde değişimler,
- Küresel akıntılar ve
- El Nino etkisi

ile farklılık gösterir. İklimdeki mevsimsel ve dönemsel değişimler deniz düzeyi değişimini bölgesel olarak etkilemektedir ve bu değişim miktarı küresel ölçekte denizlerde 10-30 cm arasında değişikliğe yol açmaktadır. Bahar aylarında su seviyesi en düşük iken Sonbahar aylarında su düzeyi en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Ekvator bölgesine yaklaştıkça bu değişim miktarı ise çok azalmaktadır.

Mevsimsel deniz düzeyi değişimlerine bakmanın en basit ve en kolay yolu yağışlara bakmaktır. Güneş yeryüzü enlem kuşakları üzerinde hareket ederken deniz düzeyi sıcaklığı iner ya da çıkar. Güneşin etkisine bağlı olarak rüzgarlar da değişir ve deniz düzeyi değişimi de aslında bu tür iklim değişimlerine bir tepkidir. Rüzgar şiddetlenirse su bir yöne doğru itilir. İtilen yönde bir su kabarması görülürken, diğer kısımlarda su seviyesinde bir alçalma izlenmektedir.

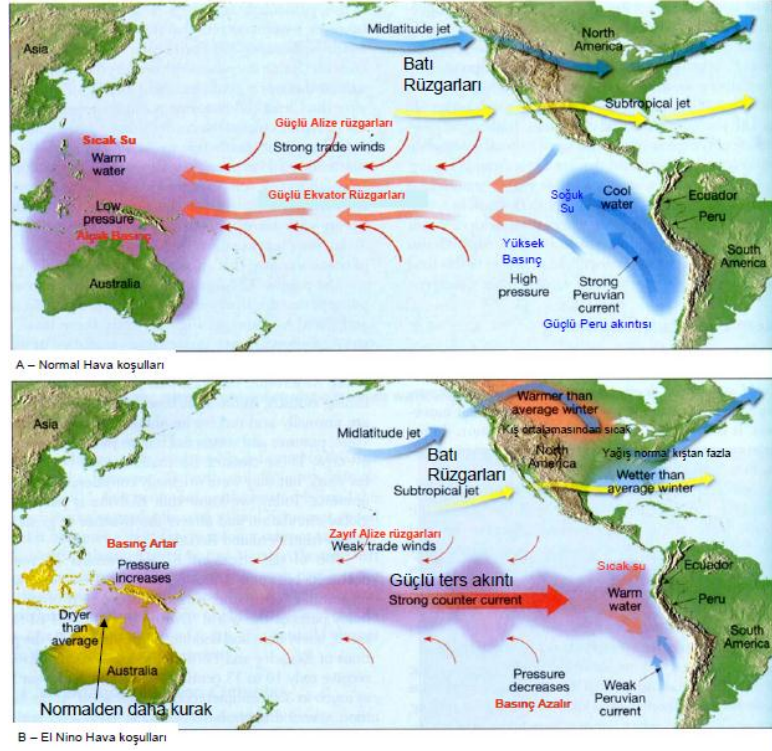
Mevsimsel farklılıklar bölgeye göre değişir. Bengal Körfezinde (Hindistan) mevsimsel su düzeyi değişimi 100 cm'ye kadar çıkabilmektedir (Şekil 6.7). Yazları güneyden esen Muson rüzgarları şiddetli yağışlar getirmesi ile birlikte önemli su kütlesi artışına bağlı olarak da yerel dalga, akıntı rejimlerinde farklılıklar görülmektedir.



Şekil 6.7 Dünya bankası raporlarından alınmış Bengal Körfezinde ki mevsimsel su baskınına gösteren fotoğraf

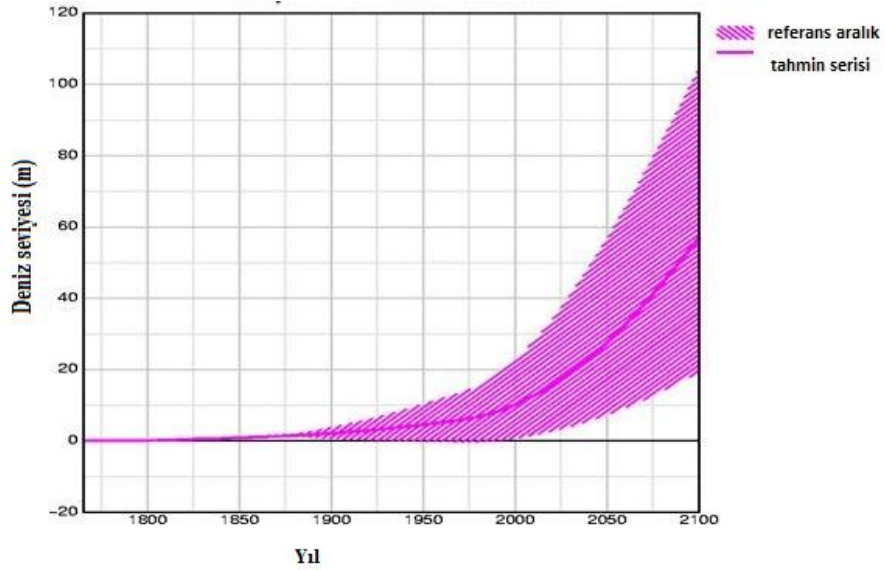
Değişik bölgelerde ortalama aylık ölçümlerle belirlenerek oluşturulan yıllık deniz düzeyinin değişim modellerindeki farklılıklar kıyının şekli, suyun sıcaklığı, iklim tipi ve büyük akıntı sistemlerine göre değişmektedir. Örnek olarak Peru (Güney Amerika'nın batısı) kıyılarındaki deniz suyu düzeyi yükselmesi daha çok El-Nino hava koşullarından etkilenir. El Nino, basit olarak ekvatorial Pasifik'in doğu bölgesindeki yüzey sularının düzensiz olarak ısınmasından kaynaklanır. Bununla beraber, El Nino'nun nedenleri ve etkileri karışıktır. Pasifik okyanusunun ekvatorial kuşağındaki, Alize rüzgarları bölgedeki akıntı yapısı üzerinde oldukça etkilidir. Alize rüzgarlarının El-Nino hava koşullarında zayıflaması ile batıya taşınan sıcak su kütlesi doğuya doğru hareket eder ve bu kıyı bölgelerinde su seviyesinde artışa sebep olur (Şekil 6.8).





Şekil 6.8 El-Nino ve La-Nino akıntısının oluşumu [40]

Bütün bu etkiler altında Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 2007 yılında açıkladığı verilerden 2100 yılında deniz seviyesi yükselmesi 20-60 cm olarak tahmin edilmektedir (Şekil 6.9). Bu yükselme altında en çok etkilenecek alanlar öncelikle deniz seviyesindeki kıyı alanları ve deltalardır. Bu nedenle kıyı alanlarının deniz seviyesi artışından nasıl etkileneceğinin anlaşılması oldukça önemlidir.



Şekil 6.9 2100 yılında beklenen deniz seviyesi artış miktarı [41]

### ***İklim ve Buzullarda Görülen Değişimler Nedeni Meydana Gelen Deniz Suyu Seviyesindeki Yükselmenin Oluşturacağı Etkiler***

Deniz seviyesi yükselmesine bağlı olarak özellikle delta ve nehir ağzlarında gözlenen kıyılarda oluşacak başlıca en önemli etkenlerden bazıları;

- deniz suyu seviyesi yükselmesine bağlı toprak kayıpları ve erozyon,
- fırtına kabarmalarında gözlenecek yükselme ve gözlenen fırtınaların sıklığının artması,
- kıyı yerleşimlerinin deniz etkilerine daha fazla maruz kalması,
- kıyıdaki tarım arazilerinin bir kısmının sular altında kalması,
- deniz suyunun kıyı içlerine daha fazla girmesi sonucu yer altı sularının ve nehir sularında tuzlanma,

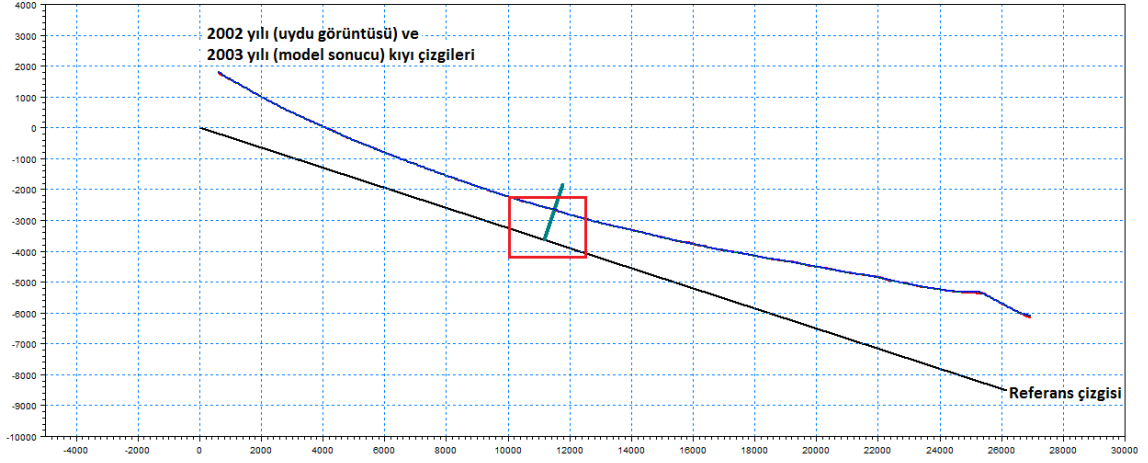
olarak sıralanabilir.

### **6.3 Karasu Kıyı Alanı Örneği**

Burada Karasu kıyı alanında planlanacak bir yapının kıyı ile etkileşimi ve bunun sonucunda yaratacakları risk çalışılmıştır. Bu amaçla önce Denizköy'de planlanacak limanın bir jetty ile benzeştirilerek sonra Sakarya ağzının batı tarafında bir jetty yapılmasının yaratacağı etkileri tartışmak için kıyı çizgisi modeli kurulmuştur.

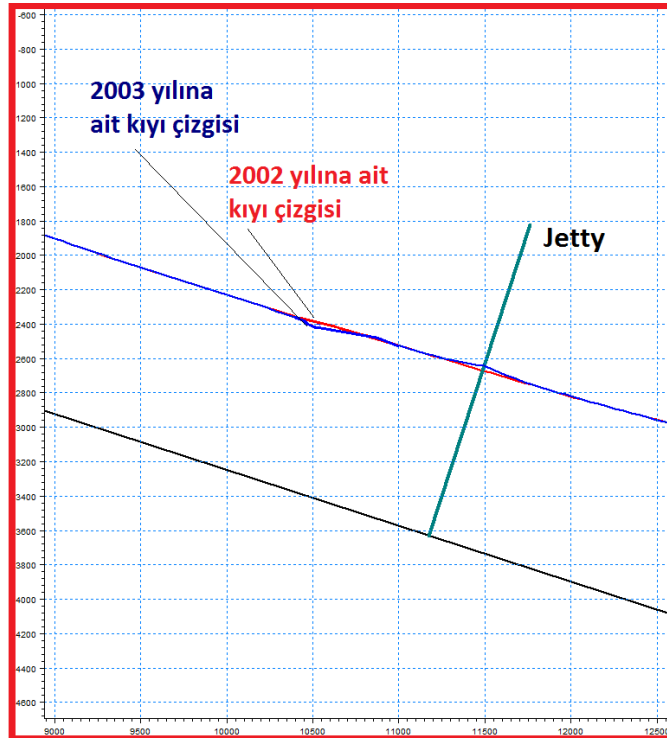
Bölüm 5.2.1.3'de kıyı çizgisi değişimini görebilmek için koşturulan model ve sonuçları verilmiştir. Bu bölümde de çalışma alanının iki farklı bölgesinde jetty olması durumunda gerçekleşecek kıyı çizgisi değişimi araştırılmıştır. Başlangıçtaki kıyı çizgisi 2002 yılına ait uydu verisi kullanılarak oluşturulmuş ve 1 yıl içerisinde ki değişim miktarının hesaplanması için model koşturulmuştur. Bu modelde Denizköy ve Sakarya Nehri ağzının batısı olmak üzere iki ayrı yerde jetty bulunması durumu için iki farklı senaryo oluşturulmuştur.

1.senaryo jetty'nin Şekil 3.30'da verilen Denizköy'e ait batimetri haritasında ikinci profilin olduğu yere yapıldığı durum için oluşturulmuştur (Şekil 6.10). Jetty kapama derinliği olan 8.9m derinliğe ulaşana kadar uzatılarak kıyıdan itibaren 750m olacak şekilde tasarlanmıştır.



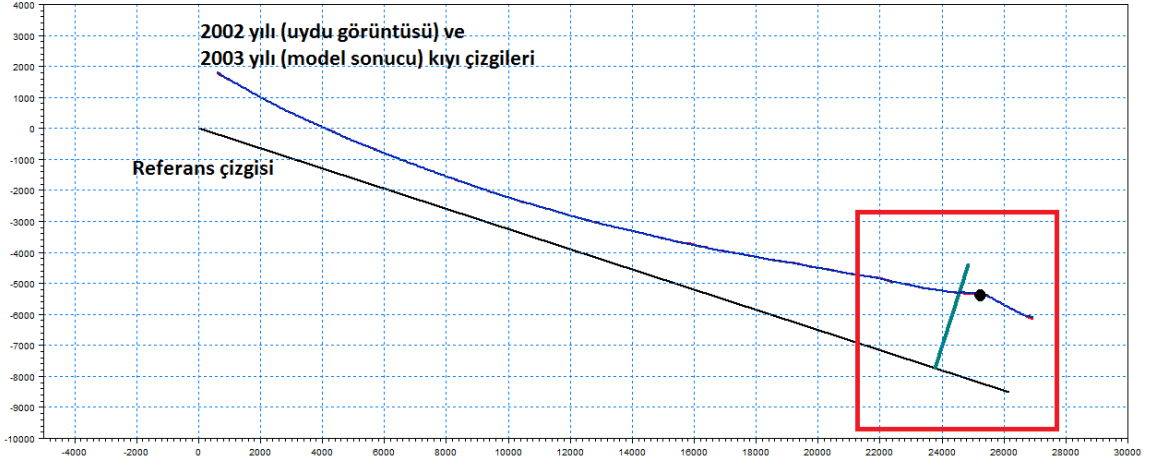
Şekil 6.10 Denizköy kıyı alanında uygulanan jetty LITLINE sayısal modelinde görünümü

Şekil 6.11’de jett’in batısında katı malzemenin biriktiği (yığıldığı) doğusunda ise erozyona uğradığı görülmüştür.



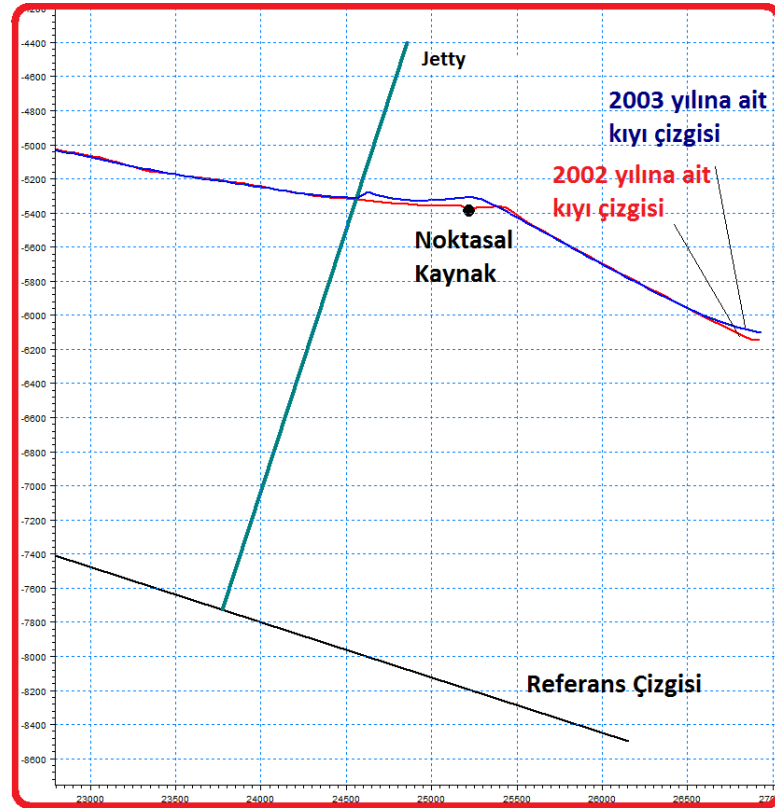
Şekil 6.11 Jetty çevresinde kıyı çizgisi değişimi

2.senaryoda LITLINE modülünde noktasal kaynak olarak tanımlanan Sakarya nehrinin batısında 1.senaryoda olduğu gibi 750m uzunluğunda bir jetty'nin planlanması durumu araştırılmıştır (Şekil 6.12).



Şekil 6.12 Sakarya Nehrinin batısında uygulanan jetty LITLINE sayısal modelinde görünümü

Şekil 6.13'de jetty'nin doğusunda katı malzemenin biriktiği bunun sebebinin Sakarya Nehri ile taşınan katı malzemeden kaynaklandığı görülmüştür.



Şekil 6.13 Jetty çevresinde ki kıyı çizgisi değişimi

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Batı Karadeniz’de yer alan Karasu bölgesinde hidrodinamik koşulların belirlenmesi amacı ile 1989 ile 2008 yılları arasında koşturulan Hidrodinamik model ve 2002-2003 yılları arasında koşturulan Birleşik model olmak üzere iki farklı model sistemi kurularak çalışma alanına ait iki boyutlu akıntı, katı madde taşınım ve dalga iklimi elde edilmiş, ayrıca kıyı morfolojisi gelişiminin anlaşılabilmesi 2003-2004 yılları arasında kıyı çizgisi modeli koşturularak kıyı çizgisi değişimi belirlenmiştir.

Karadeniz bölgesi için kurulan Hidrodinamik modelden elde edilen yeni ve daha küçük ölçekte sınır koşulları Karasu kıyı alanı için oluşturulan Birleşik modelde kullanılmıştır. Model sistemlerinin kurulum aşamasında EİEİ’den alınan Sakarya Nehri’ne ait katı madde taşınım ve debi miktarları ile SHODB’dan alınan batimetri verilerinden yararlanılmıştır. Model alanı üzerinde etkili olan atmosferik basınç alanları ile rüzgar hız ve yönlerine ait meteorolojik veriler ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast)’ ten sağlanmıştır. Hidrodinamik model literatür araştırmalarında verilen Karadeniz bölgesine ait akıntı sirkülasyon yapısı verileri ile Birleşik Model dalga modeli ölçümleri ile kalibre edilmiştir.

Karasu kıyı alanında katı madde taşınım miktarları ve kıyı gelişimini görmek üzere oluşturulan model için Sakarya Nehri Ağzı’nın batısındaki 30 km’lik kıyı alanı seçilmiştir. Modelin kurulması ve kalibrasyon aşamasında U.S. Geological Survey [34]’den alınan uydu görüntülerinin sayısallaştırılmış verilerinin yanısıra bu çalışmada yapılan saha çalışmalarından yararlanılmıştır. Üretilen Birleşik ve kıyı gelişimini veren modellere ait sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Karasu bölgesini sağlıklı bir şekilde bezeştirebilmek amacı ile farklı ağ sistemleri arasından en iyi şekilde benzeşimi sağlayan yüksek çözünürlüklü bir hesap ağı seçilmiştir. Hesap ağına bilgisayar kapasitesi ve çalışma süresi gözönüne alınarak en hassas hesap ağının belirlenmesi ile karar verilmiştir. Karasu bölgesinin değişken batimetrik özellikleri nedeni ile üçgen yapılandırılmış hesap ağı kullanılmıştır. Çalışmada farklı hesap ağları da denenmiş ve hesap ağının model doğruluğu üzerinde oldukça büyük bir öneme sahip olduğu görülmüştür. Model hesap ağı gibi model sınırlarının da model sonuçlarında etkisi önemlidir. Bu nedenle Karasu bölgesinde sınır koşulları bölgeyi temsil edebilen, bilgisayarın çalışma süresi ile optimum sonucu verecek şekilde belirlenmiştir.

Karasu bölgesine ait oluşturulan model sonuçlarının değerlendirilmesi için kıyı alanı boyunca -5m, -20m, -50m ve -100m olmak üzere farklı derinliklerde toplam 162 noktaya ait katı madde taşınım, akıntı ve dalga iklimleri elde edilmiştir. Elde edilen iklim çalışmaları incelendiğinde etkin dalga yönlerinin kıyıya oldukça dik olduğu görülmektedir. Akıntı yapısı -5m derinlikte Sakarya nehri ağzının batısından Kefken'e Harmankaya Burnuna kadar doğudan batıya doğru daha etkin bir yapı oluşturmaktadır. -20m ve -100m derinlikteki akıntılar -5m derinlikteki akıntılar ile benzer bir yapı göstermekle birlikte kıyı ile daha açılı bir yapı göstermektedir ve Sakarya nehri ağzında akıntı şiddeti artmaktadır. -50m derinlikte akıntı doğrultusundaki sapmalar daha belirginleşmekte ve doğuya doğru akıntıların şiddeti artmaktadır ve akıntı batıdan doğuya doğru dönmektedir. -100m'de Karasu kıyı alanının batı tarafında kıyıya doğru akıntılar oluşmaktadır ve doğuya doğru Karadenizin genel sirkülasyon yapısına uyan biçimde batıdan doğuya doğru belirginleşmektedir. Karasu kıyı alanı katı madde taşınımını incelendiğinde ise Karasu kıyı alanı çok aktif ve karmaşık katı madde taşınım iklimine sahip olduğu görülmüştür. Dalga, akıntı ve katı madde iklimlerine göre Sakarya nehri ağzının batı kıyısı ile doğu kıyısı dalga ve akıntı iklimlerinin göreceli olarak dönen bir yapıya sahip olduğu, katı madde iklimine göre ise Sakarya nehri ağzının daha batısında Denizköy civarında bir dönüş gösterdiği belirlenmiştir.

Bir kıyı yöresi, üzerine etkiyen dalgalara, kendisinde meydana gelen erozyon ve yığılma gibi değişimlerle tepki vererek binlerce yıllarla ifade edilebilecek uzun bir dönemde denge haline ulaşır. Kıyı hidrodinamik dengesi bir sistem olarak ele alındığında kıyının durumunu sisteme giren madde ile sistemden çıkan madde miktarları arasındaki ilişki belirlemektedir.

Karasu bölgesinde kıyı morfolojisi gelişimini yorumlayabilmek üzere çalışma alanı olarak Sakarya Ağzı'ndan batıya doğru 30km'lik kıyı alanı seçilmiştir. Bu bölgede meydana gelen kıyı boyu katı madde taşınımının belirlenmesi amacı ile kıyı çizgisi sayısal modeli oluşturulmuş ve kıyı boyu katı madde taşınımı model sonuçları CERC (1984) ve Kamphuis (1991) yöntemleri ile hesaplanan değerler ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır. CERC(1984) yöntemi K katsayısının saha çalışmaları ile elde edilen madde çapına göre değiştirilerek hesaplanmıştır. Kamphuis (1991)'in vermiş olduğu ifadenin daha kaba kum ve daha düşük enerjili dalgalar için geçerli olmasından dolayı çalışma alanında bu yöntem ile yapılan hesaplarda oldukça düşük miktarda katı madde taşınımı elde edilmektedir. Bu nedenle kıyı boyu katı madde taşınım sayısal modelin kalibrasyonu K katsayısının katı malzeme çapına göre değiştirilmiş CERC (1984) yöntemi ile yapılmıştır.

LITDRIFT sayısal modelin kalibrasyonu aşamasında rüzgar, akıntı, taban malzemesi sınıflanması ve kum dalgacıklarının etkilerini içeren farklı modelleri kurulmuştur. Sonuçta rüzgar ve kum dalgacıkları etkisinin birlikte gözönüne alındığı, tabanın üniform kabulü ile akıntı etkilerinin gözardı edildiği modelin kullanılmasının daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Modelin önemli kalibrasyon parametrelerinden olan referans çizgisinin doğrultusu ve taban pürüzlülüğü de farklı değerler için sınanarak sırasıyla  $\Theta = 18^\circ$  ve 7mm olarak kullanılmıştır. Katı madde taşınımı için yapılan hesaplar ve modeller sonucunda net kıyı boyu taşınım modunun sağdan sola (doğudan batıya) doğru olduğu görülmüştür. Ancak çalışma alanında toplam katı madde taşınımı daha büyüktür.

Çalışmada kıyı çizgisi değişiminin belirlenmesi için LITLINE sayısal modeli kullanılmıştır. Modelde kullanılan en önemli kalibrasyon parametresi kıyının aktif yüksekliği ( $h_{aktif}$ )'dir. Bu değer kapama derinliği ( $h_c$ ), basamak yüksekliği ( $h_{basamak}$ ) ve kumul yüksekliğinin ( $h_{kumul}$ ) toplamaları sonucunda elde edilmektedir. Buna göre yapılan GPS ölçümleri ile elde edilen 3.7-4.6m arasında bulunan kumul yükseklikleri ve 2m basamak yüksekliği ile hesaplanan kapama derinliği olan 8.9m'nin toplamı şeklinde  $h_{aktif} = 14-16m$  elde edilmiştir. Kıyının aktif yüksekliği içinde yer alan kapama derinliğinin doğru olarak belirlenmesinin önemli etkenlerden biri olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu değer doğru olarak tanımlanması model benzeşiminde sağlanacak doğruluğu da arttırmaktadır.

Doğruluğu sayısallaştırılmış uydu görüntüleri ile sağlanan LITLINE modelinin sonucuna göre 2003 yılından 2004 yılına kadar Kefken Harmanmaya Burnu'ndan Sakarya Nehri'nin Ağzına kadar olan kıyı çizgisinde; maksimum 16m/yıl erozyonun Sakarya Nehri Ağzı'nın batısında Denizköy civarında meydana geldiği, 14m/yıl yığılmanın ise Sakarya Nehri Ağzı'nın doğusunda meydana geldiği görülmüştür.

Şekiller incelendiğinde bölgede kıyıya dik taşınımın etkin olduğu açıkça görülmektedir ve oluşan kıyı profili fırtına profili tipindedir. Bölgede fırtına tipi dalgalar hakimdir. Açıkta kum eşiği yapılanmıştır. Ancak bir yıllık süreç içinde mevsimsel olarak eşik açığa doğru göç etmektedir. Profilin genel yapısı incelendiğinde bir yıl sonrasında model ile ölçüm sonuçları uyum içindedir.

Model sonuçları kıyının yılda  $\Delta x=10m$  gerilediğini göstermiştir, bu durumda düşey değişim ise  $\Delta y=1.62m$  dir. Kıyı çizgisi modelinde ise aynı bölgede 7.5m/yıl erozyon belirlenmiştir. Sonuçlar oldukça uyumludur ve kıyıda erozyon eğilimi vardır. Bu durum uydu verilerinden de belirlenmiştir. Erozyon kıyı kumullarını tehdit etmektedir. Erozyon gerek Karasu kıyılarını gerekse Acarlar Longozunu tehlike altında olduğunu göstermektedir.

Akıntı ve katı madde kaynağı olarak nitelendirilebilecek yapıya sahip kıyı alanını kontrol eden en önemli hidrodinamik etken; Sakarya nehri, kıyı kesimine taşıdığı katı madde ile kıyı alanını beslemekte ancak taşınan maddelerin azalması ile tam tersi bir durum olarak kıyıda aşınmaya yol açmaktadır. Nehir üzerinde ki barajlar katı madde taşınımını engelleyerek bu durumda etkin rol oynamaktadır.

Sakarya Nehri ile taşınan katı madde miktarlarının etkisini risk analizi kapsamında değerlendirilen Sakarya Nehrinin doğusunda jetty bulunduğu taktirde meydana gelen katı madde hareketinin modellenmesi ile daha açık bir şekilde görülmüştür. Bu durumda jetty arkasında 35 m yığılma meydana geldiği belirlenmiştir.

Kurulan Birleşik modelden elde edilen sonuçlara göre katı madde ikliminin incelenen kıyı çizgisi üzerinde Denizköy civarında dönen bir yapıya sahip olduğu bulunmuştur. Bu durum yine risk analizi kapsamında değerlendirilen Denizköy'de planlanacak bir liman jetty ile benzeştirilerek modellenmesi ile daha açık bir şekilde görülmüştür. Bu durumda jetty'nin batısında 14m/yıl erozyon doğusunda ise 15m/yıl yığılma meydana geldiği görülmüştür.



Karasu kıyı alanı Karadeniz'in en geniş plajıdır. Arkasında nadir yaşam zincirini barındıran ve Dünyada'ki bir kaç longozdan biri olan Acarlar Longozunu kumulları ile korumaktadır. Ancak Sakarya nehriindeki yapılaşma, kum alımı, denize yapılan müdahalelerle denge bozulmuş ve erozyon başlamıştır. Ohalde sadece “BÜTÜNLEŞİK HAVZA YÖNETİMİ (BHY)” ve “BÜTÜNLEŞİK KIYI ALANLARI YÖNETİMİ (BKAY)” tekil olarak değil özellikle böylesi riskli alanlarda **“BÜTÜNLEŞİK HAVZA ve KIYI ALANLARI YÖNETİMİ (BHKAY)”** uygulanmalıdır.

## KAYNAKLAR

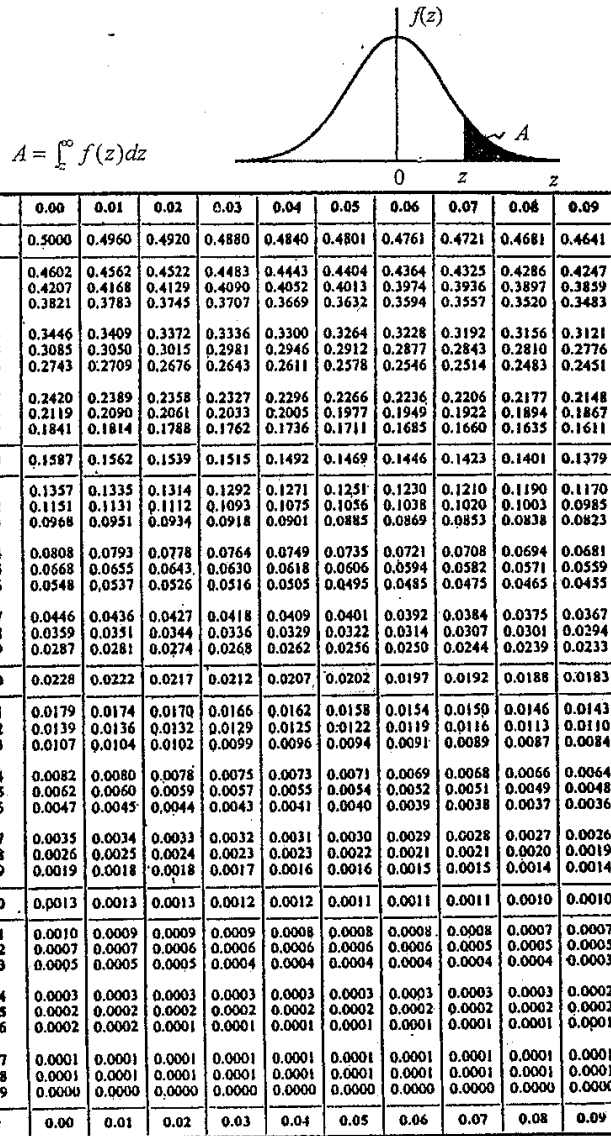
---

- [1] Kideyş, A.E., Mutlu, E. , Oğuz, T., Okyar M., Özsoy, E., Tuğrul, S., ve A. Yılmaz, (2000). Ulusal Deniz Araştırma ve İzleme Programı, Akdeniz, Marmara Denizi, Türk Boğazlar Sistemi, Karadeniz ve Atmosfer Alt Projeleri, 1995-1999 Dönemi Sentez Raporu, TÜBİTAK.
- [2] SHOD, (2011). Karadeniz (1/200.000 ölçekli) 310 nolu seyir haritası, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı, Çubuklu, İstanbul.
- [3] Ünlüata, U., Oguz, T., Latif, M.A., ve Ozsoy E., (1990). "On the physical oceanography of the Turksh Straits", NATO/ASI Series, 25-60.
- [4] Altınoluk, H., Yüce, H., ve Alpar, B., (2000). Seasonal variation of the cold intermediate water in Southwestern Black Sea and its interaction with the Sea of Marmara, Mediterranean Marine Science, 1(2): 31-40
- [5] Oğuz, T., Vilademirov V., Latun, V.S., Latif M.A., Markov, A.A., Sur, H.İ., Özsoy, E., Kotovshchikov B.B., Emereev V.V., ve Ünlüata Ü., (1993). Circulation in the Surface and Intermediate Layers of the Black Sea, Deep Sea Research I, 40(8): 1597-1612.
- [6] Ayat, B., (2010). İstanbul Boğazı Su Kalitesinin Modellenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Gündemir, S., (2006). İki Boyutlu Kıyı Alanı Hidrodinamik Model Kalibrasyonu Mike 21 HD Örneği, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Akın, M., ve Akın, G., (2007). "Suyun Önemi Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği", Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 2: 105-118.
- [9] TC Orman ve Su İşleri Bakanlığı, (2012). 2012-2023 Ulusal Havza Yönetimi Stratejisi (UHYS), Ankara.
- [10] Dündar M.Ş., (2008). Aşağı Sakarya Nehir Sediment ve Su Kalitesinin Belirlenmesi, TÜBİTAK.
- [11] TMMOB, (2010). Risk Altındaki Kıyı Alanları, Kıyı Mühendisliği Çalıştayı, 4-5 Şubat 2011, Sakarya.

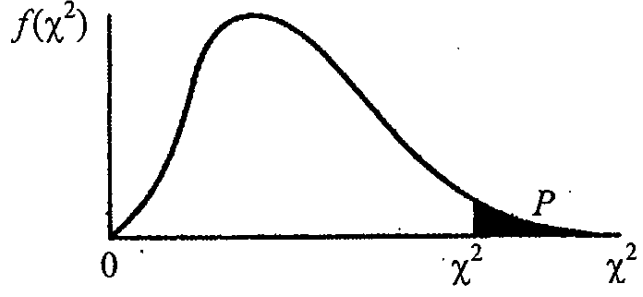
- [12] T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı I.Bölge, <http://sakarya.ormansu.gov.tr/Sakarya/AnaSayfa/DKMP/acarlarLongozu.aspx?sflang=tr>, 05 Kasım 2012.
- [13] Yeşil Atlas, <http://www.yesilatlas.com/GaleriDetay.aspx?GaleriID=8>, 05 Kasım 2012.
- [14] Foto kritik, Acarlar Longozu, Karasu, <http://www.fotokritik.com/2927992/acarlar-longozu-karasu>, 05 Kasım 2012.
- [15] Türkiye Kubağa ve Sürüngenleri Gözlemciliği ve Fotoğrafçılığı Topluluğu, <http://www.turkherptil.org/gozlemDetay.asp?Uyeld=649&Bilgild=11341>, 15 Kasım 2012.
- [16] Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etüdlar İdaresi Bşk., <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/HES/hidroloji/12sakarya.html>, 14 Eylül 2011.
- [17] Mater, B., ve Gönençgil B., (2011). "Karasu Kumulları ve Acarlar Longozu", 7. Kıyı Mühendisliği Çalıştayı, 21-23 Kasım 2011, Trabzon.
- [18] Işık, S., Şaşal M., ve Doğan E., (2006). "Sakarya Nehrinde Barajların Mansap Etkisinin Araştırılması", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(3): 401-408.
- [19] Bayazıt, M., ve Oğuz B., (2005). Probability and Statistics for Engineers, Güncelleştirilmiş yeni basım, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [20] Yüksel, Y. (2011). Deniz Tabanı Hidrodinamiği ve Kıyı Morfolojisi (Planlama ve Tasarım), Deniz Mühendisliği Serisi No: 2, Arkan Ltd., İstanbul.
- [21] DHI, (2007). Spectral Wave Module, Scientific Documentation.
- [22] Yüksel, Y. (2011). Çanakkale Yat Limanı Çalkantı ve Kumlanma Modeli Çalışması Raporu, YTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul.
- [23] Saraçoğlu, E., (2011). Karadeniz ve Marmara Denizi Dalga Modellemesi ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [24] DHI, (2008). LITPACK An Integrated Modelling System for Littoral Processes and Coastline Kinetics, Short Introduction and Tutorial, DHI Water and Environment.
- [25] DHI, (2008). LITSTP Noncohesive Sediment Transport in Currents and Waves LITSTP User Guide.
- [26] DHI, (2008). LITDRIFT Longshore Current and Littoral Drift, LITDRIFT User Guide.
- [27] DHI, (2008). LITLINE Coastline Evaluation, LITLINE User Guide.
- [28] DHI, (2008). LITPROF Coastline Evaluation, LITLINE User Guide.
- [29] Arı, A.,(2008). İstatiksel Bir Dalga Modeli Kurulumu ve Kıyı Boyu Katı Madde Taşınımının Modellenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [30] CERC (1984). Shore Protection Manual, Co. Eng. Res. Center, U.S. Corp. Of Eng., Vicksburg.
- [31] Nielsen, P., (2009). Coastal and Estuarine Processes, Advanced Series on Ocean Eng. 29. The University of Queensland, Australia.
- [32] Kamphius, J.W., (1991). Along Shore Sediment Transport Rate, J. Warney, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, 117:624-640.
- [33] Yüksel, Y., Çevik, E., Aydoğan B., Arı, A., Saraçoğlu, E., Alpli, E., ve Bekar, B., (2011). "Türkiye Denizleri Dalga İklim Modeli ve Uzun Dönem Dalga İklim Analizi", 7. Kıyı Mühendisliği Çalıştayı, 21-23 Kasım 2011, Trabzon.
- [34] Wang, P., Kraus, N.C., And Davis, ve R.A., Jr., (1998). Total rate of longshore sediment transport in the surf zone: field measurements and empirical predictions. Journal of Coastal Research, 14(1): 269-283.
- [35] U.S. Geological Survey, <http://www.usgs.gov/>, 10 Ekim 2012.
- [36] Oumeraci, H., ve Kortenhaus, A., (2001). "Risk based- Design of Coastal Flood Defences." Leichtweiss-Institute, Technical University of Braunschweig.
- [37] Allen, Philip A., Allen, ve John R.,(2005). Basin Analysis Principles and Applications, Second Eddition, Blackwell Publishing Ltd., Oxford.
- [38] TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/jeolojik/index2.htm>, 01 Aralık 2011.
- [39] Bekaroğlu, E., (2008). "A review on the elevated shorelines in the Eastern Mediterranean during the Late Holocene" Coğrafi Bilimler Dergisi, 6 (1): 1-21.
- [40] Madl, P., The El-Niño (ENSO) Phenomenon, <http://biophysics.sbg.ac.at/atmo/elnino.htm>, 6 Kasım 2011.
- [41] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Fourth Assessment Report, Climate Change 2007, [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_figures\\_and\\_tables.shtml#.T2Y1hxHdnX4](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_figures_and_tables.shtml#.T2Y1hxHdnX4), 20 Kasım 2011.
- [42] Michigan State University, [https://www.msu.edu/~tuckeys1/education/PROMSE\\_06/Supplemental%20Material/Grain Size Translation Figure.htm](https://www.msu.edu/~tuckeys1/education/PROMSE_06/Supplemental%20Material/Grain%20Size%20Translation%20Figure.htm), 04 Mart 2012.

## İSTATİSTİKSEL VERİLERİN DAĞILIMI

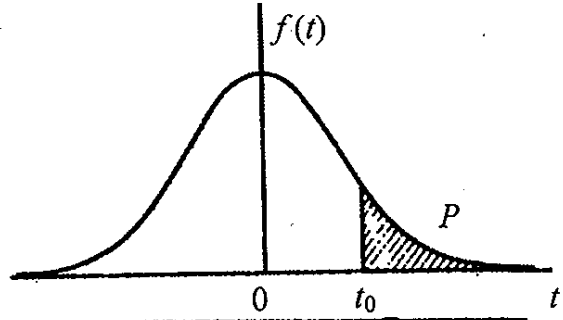


Şekil A.0.1 Normal dağılım eğrisinin altındaki alanı veren tablo [19]



$n \backslash P$	0.99	0.98	0.95	0.90	0.50	0.10	0.05	0.02	0.01
1	0.0002	0.0006	0.0039	0.0158	0.455	2.706	3.841	5.412	6.635
2	0.0201	0.0404	0.103	0.211	1.386	4.605	5.991	7.824	9.210
3	0.115	0.185	0.352	0.584	2.366	6.251	7.815	9.837	11.34
4	0.297	0.429	0.711	1.064	3.357	7.779	9.488	11.67	13.28
5	0.554	0.752	1.145	1.610	4.351	9.236	11.07	13.39	15.09
6	0.872	1.134	1.635	2.204	5.348	10.64	12.59	15.03	16.81
7	1.239	1.564	2.167	2.833	6.346	12.02	14.07	16.62	18.48
8	1.646	2.032	2.733	3.490	7.344	13.36	15.51	18.17	20.09
9	2.088	2.532	3.325	4.168	8.343	14.68	16.92	19.68	21.67
10	2.558	3.059	3.940	4.865	9.342	15.99	18.31	21.16	23.21
11	3.053	3.609	4.575	5.578	10.34	17.28	19.68	22.62	24.72
12	3.571	4.178	5.226	6.304	11.34	18.55	21.03	24.05	26.22
13	4.107	4.765	5.892	7.042	12.34	19.81	22.36	25.47	27.69
14	4.660	5.368	6.571	7.790	13.34	21.06	23.68	26.87	29.14
15	5.229	5.985	7.261	8.547	14.34	22.31	25.00	28.26	30.58
16	5.812	6.614	7.962	9.312	15.34	23.54	26.30	29.63	32.00
17	6.408	7.255	8.672	10.08	16.34	24.77	27.59	31.00	33.41
18	7.015	7.906	9.390	10.86	17.34	25.99	28.87	32.35	34.80
19	7.633	8.567	10.12	11.65	18.34	27.20	30.14	33.69	36.19
20	8.260	9.237	10.85	12.44	19.34	28.41	31.41	35.02	37.57
21	8.897	9.915	11.59	13.24	20.34	29.62	32.67	36.34	38.93
22	9.542	10.60	12.34	14.04	21.34	30.81	33.92	37.66	40.29
23	10.20	11.29	13.09	14.85	22.34	32.01	35.17	38.97	41.64
24	10.86	11.99	13.85	15.66	23.34	33.20	36.42	40.27	42.98
25	11.52	12.70	14.61	16.47	24.34	34.38	37.65	41.57	44.31
26	12.20	13.41	15.38	17.29	25.34	35.56	38.88	42.86	45.64
27	12.88	14.13	16.15	18.11	26.34	36.74	40.11	44.14	46.96
28	13.57	14.85	16.93	18.94	27.34	37.92	41.34	45.42	48.28
29	14.26	15.57	17.71	19.77	28.34	39.09	42.56	46.69	49.59
30	14.95	16.31	18.49	20.60	29.34	40.26	43.77	47.96	50.89
$n \backslash P$	0.99	0.98	0.95	0.90	0.50	0.10	0.05	0.02	0.01

Şekil A.0.2  $X^2$  Dağılımı veren tablo [19]



$n \backslash P$	0.45	0.40	0.35	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.158	0.325	0.510	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66
2	0.142	0.289	0.445	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.137	0.277	0.424	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.134	0.271	0.414	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.132	0.267	0.408	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.131	0.265	0.404	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.130	0.263	0.402	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.130	0.262	0.399	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.129	0.261	0.398	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.129	0.260	0.397	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.129	0.260	0.396	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.128	0.259	0.395	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.128	0.259	0.394	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.128	0.258	0.393	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.128	0.258	0.393	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.128	0.258	0.392	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.128	0.257	0.392	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.127	0.257	0.392	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.127	0.257	0.391	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.127	0.257	0.391	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.127	0.257	0.391	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.127	0.256	0.390	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.127	0.256	0.390	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.127	0.256	0.390	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.127	0.256	0.390	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.127	0.256	0.390	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.127	0.256	0.389	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.127	0.256	0.389	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.127	0.256	0.389	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.127	0.256	0.389	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.126	0.255	0.388	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.126	0.254	0.387	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.126	0.254	0.386	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
$\infty$	0.126	0.253	0.385	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576
$n \backslash P$	0.45	0.40	0.35	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005

Şekil A.0.3 t (student) dağılımını veren tablo [19]

## WENTWORTH TANE BOYUTU ÖLÇEĞİ

Millimeters	$\mu\text{m}$	Phi ( $\phi$ )	Wentworth size class	
4096		-20		
1024		-12	Boulder (-8 to -12 $\phi$ )	
256		-10		
64		-8	Pebble (-6 to -8 $\phi$ )	
16		-6		
4		-4	Pebble (-2 to -6 $\phi$ )	Gravel
		-2		
3.36		-1.75		
2.83		-1.50	Gravel	
2.38		-1.25		
2.00		-1.00		
1.68		-0.75		
1.41		-0.50	Very coarse sand	
1.19		-0.25		
1.00		-0.00		
0.84		0.25		
0.71		0.50	Coarse sand	
0.59		0.75		
1/2	500	1.00		Sand
0.42	420	1.25		
0.35	350	1.50	Medium sand	
0.30	300	1.75		
1/4	250	2.00		
0.210	210	2.25		
0.177	177	2.50	Fine sand	
0.149	149	2.75		
1/8	125	3.00		
0.105	105	3.25		
0.088	88	3.50	Very fine sand	
0.074	74	3.75		
1/16	63	4.00		
0.0530	53	4.25		
0.0440	44	4.50	Coarse silt	
0.0370	37	4.75		
1/32	31	5		
1/64	15.6	6	Medium silt	
1/128	7.8	7	Fine silt	
1/256	3.9	8	Very fine silt	Mud
0.0020	2.0	9		
0.00098	0.98	10		
0.00049	0.49	11		
0.00024	0.24	12	Clay	
0.00012	0.12	13		
0.00006	0.06	14		

Şekil B.0.1 Udden-Wentworth tane boyutu sınıflandırma ölçeği [42]



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Remziye İlayda Tan  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 24.06.1988 Edirne  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : ilayda\_tan@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lisans	Çevre Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi	2006

### YAYINLARI

#### Bildiri

1. Automatic shore line detection and analyzing sediment transport: case study Istanbul – Terkos/Turkey
2. A Coastal Management Case Study in Karasu at BlackSea Region

## **Proje**

1. Marmara Denizi'nin Değişen Oşinografik Şartlarının İzlenmesi  
TÜBİTAK Projesi 2007 Yaz Ayağı Proje Ekibi