

**Kıyılarda İklim Değişikliğine Karşı Kumlanma Modeli
Destekli Kırılganlık Analizi Projesi - KIDEKA**

Proje No: 108M589

Prof. Dr. Ayşen ERGİN
Prof. Dr. Ahmet Cevdet YALÇINER
Doç. Dr. İsmail YÜCEL
Dr. Işıkhan GÜLER
Dr. Gülizar ÖZYURT
Dr. Cüneyt BAYKAL
Yük. Müh. Mustafa ESEN

MAYIS 2012
ANKARA

ÖNSÖZ

TUBITAK 108M589 Kıyılarda İklim Değişikliğine Karşı Kumlanma Modeli Destekli Kırılabilirlik Analizi Projesi – KIDEKA Projesi TUBITAK Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı kapsamında 2009-2012 yılları arasında desteklenmiştir. Araştırma kapsamında, Türkiye'nin jeolojik, ekolojik ve sosyoekonomik önemi olan kıyı alanlarındaki kalkınmanın sürdürülebilirliği ve de deniz seviyesi yükselmesine karşı yapılacak uyumluluk çalışmalarına kaynak aktarımının en uygun şekilde düzenlenebilmesi için bulanık mantık yöntemi kullanılarak insan ve fiziksel parametreleri bir arada kullanan bir kıyı alanları kırılabilirlik modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelin çıktılarından olan kıyı erozyonu sorununun sayısal olarak modellenmesi için de 2 boyutlu bir kumlanma modeli 4 alt modelden oluşturularak tasarlanmıştır. Bu modellerde kullanılan rüzgar ve dalga verilerinin güvenilirliği çeşitli veri setlerinin karşılaştırılması ile test edilmiştir.

Proje kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda iki adet doktora tezi tamamlanmış, üçüncü doktora tezi ise tamamlanma aşamasına gelmiştir.

Proje kapsamında uluslararası iki konferans ve sempozyumda sunumlar yapılmış, proje sırasında geliştirilen modellerin farklı bölgeler kullanılarak elde edilen bilgiler ise kitap bölümü olarak "Studies on Environmental and Applied Geomorphology" (Eds. Tommaso Piacentini ve Enrico Miccadei, ISBN: 978-953-51-0361-5) kitabında basılmıştır.

Proje sırasında ayrıca Adana ve Bafra bölgelerine teknik gezi düzenlenmiş olup, bu geziler sırasında hem veri toplama çalışması yapılmış hem de gidilen yerlerde proje hakkında seminerler verilmiştir.

Bu çalışmaya destek veren TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU (TÜBİTAK) Mühendislik Araştırmaları Grubuna teşekkür ederim.

Prof. Dr. Ayşen ERGİN
Proje Yürütücüsü

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTELERİ	iv
TABLO LİSTELERİ.....	xiii
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvi
1 GİRİŞ	1
2 DALGA VE RÜZGAR VERİLERİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	4
2.1 DMİGM KIYI METEOROLOJİ İSTASYONLARI VERİLERİ VE ECMWF VERİLERİ ..	4
2.1.1 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Verileri.....	5
2.1.2 ECMWF.....	6
2.1.3 PanoplyWin	9
2.1.4 Matlab Numerik Kodu	13
2.1.5 ECMWF 6 Saatlik Rüzgar Verilerinden Saatlik Veri Elde Edilmesi	16
2.2 LİTERATÜR ÇALIŞMASI	20
2.2.1 Karşılaştırmalar	22
3. KUMLANMA MODELİ	53
4.1 KUMLANMA MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ.....	53
4.2 YAKIN KIYI SPEKTRAL DALGA TAŞINIM MODELİ	55
4.2.1 Chawla ve diğ. (1998) Laboratuvar Ölçümleri	77
4.2.2 Vincent ve Briggs (1989) Laboratuvar Ölçümleri.....	80
4.3 YAKIN KIYI DALGA KAYNAKLI AKINTI ÇEVİRİMİ MODELİ	82
4.3.1 Tang ve diğ. (2008) Laboratuvar Ölçümleri.....	85
4.3.2 Hamilton ve Ebersole (2001) Laboratuvar Ölçümleri.....	86
4.3.3 Reniers ve Battjes (1997) Laboratuvar Ölçümleri.....	88
4.3.4 Düzensiz kıyıda Rip Akıntılarının Modellenmesi (Parker ve Borthwick, 2001).....	89
4.3.5 HORS Saha Ölçümleri.....	90
4.3.6 FRF-DELILAH Saha Ölçümleri	92
4.4 KUM TAŞINIM MODELİ	94
4.4.1 LSTF Hareketli Taban Deneyleri (Wang ve diğ., 2002a; Gravens ve Wang, 2007)	98
4.4.2 FRF-SANDYDUCK Saha Ölçümleri (Miller, 1999)	103
4.5 DENİZ TABANI DEĞİŞİMİ MODELİ.....	111
4.5.1 LSTF Kıyı Yapıları Çevresinde Taban Değişimi Deneyleri (Gravens ve Wang, 2007)	112
4.5.2 Kıyıya Dik Mahmuz Çevresinde Kıyı Değişimi	115
4.5.3 Seri Açık Deniz Dalgakıranlar Çevresinde Kıyı Değişimi.....	116
4.6 SAHA UYGULAMASI: KIZILIRMAK NEHİR AĞZI KIYI KORUMA SİSTEMİ ÇEVRESİNDEKİ KIYI DEĞİŞİMİ	117
4 KIYI ALANLARI KIRILGANLIK MODELİ.....	124
4.1 KIYI ALANLARI DENİZ SEVİYESİ YÜKSELMESİ KIRILGANLIK MODELİ.....	127
4.2 BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE GELİŞTİRİLEN KIYI ALANLARI KIRILGANLIK MODELİ.....	132
4.2.1 Parametre Belirleme Çalışmaları	132
4.2.2 Veri Toplama ve İşleme	134

4.2.3	<i>Parametre Ağırlıkları – Ahp ile Uzman Deneyiminin Modele Entegre Edilmesi</i>	140
4.2.4	<i>Model Altyapısı – Bulanık Mantık Yöntemi</i>	146
4.2.5	<i>Örnek Model Uygulaması (Ozyurt, 2010)</i>	154
4.3	SAHA ÇALIŞMALARI VE PİLOT UYGULAMALAR	157
4.3.1	<i>Bölgesel Kırılabilirlik Analizleri</i>	159
4.3.2	<i>Kırılabilirlik Modeli Uygulaması – Yerel Uygulama</i>	162
5.	SONUÇLAR	166
	KAYNAKLAR	169

ŞEKİL LİSTELERİ

Şekil 2.1 ECMWF Operasyonel Arşiv'ine ait Akdeniz Alt Arşiv'inin 2004 yılı 3. ayının (Mart) 1. Günü 0'ıncı saatine ait belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerini gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının PanoplyWin programı ile elde edilen görüntüsel çıktısı.....	9
Şekil 2.2 ECMWF ERA-Interim Arşiv'ine ait 47.3°N-5.5°W-30.2°N-41.8°E Alt Arşiv'inin 2004 yılı 3. ayının (Mart) 1. Günü 0'ıncı saatine ait belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerini gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının PanoplyWin programı ile elde edilen görüntüsel çıktısı.....	10
Şekil 2.3. ECMWF Operasyonel Arşiv Akdeniz Alt Arşiv'inin 2004 yılı 3. ayının (Mart) 1. Günü 0'ıncı saatine ait belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin enlem ve boylamlar boyuncaki dökümünü gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının PanoplyWin programı ile elde edilen çıktısı	11
Şekil 2.4. ECMWF ERA-Interim Arşiv 47.3°N-5.5°W-30.2°N-41.8°E Alt Arşiv'inin 2004 yılı 3. ayının (Mart) 1. Günü 0'ıncı saatine ait belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin enlem ve boylamlar boyuncaki dökümünü gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının PanoplyWin programı ile elde edilen çıktısı	11
Şekil 2.5. ECMWF, Operasyonel Arşiv'e ait Akdeniz Alt Arşiv'inin kapsadığı alana ait 32° E boylamının Akdeniz Alt Arşiv'inin sınırları içerisindeki tüm enlemleri boyuncaki 2004 yılının 3. ayına (Mart) ait bütün 6 saat aralıklı belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin dökümünü gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının PanoplyWin programı ile elde edilen görüntüsel çıktısı.....	12
Şekil 2.6 ECMWF, ERA-Interim Arşiv 47.3°N-5.5°W-30.2°N-41.8°E Akdeniz Alt Arşiv'inin kapsadığı alana ait 32° E boylamının Akdeniz Alt Arşiv'inin sınırları içerisindeki tüm enlemleri boyuncaki 2004 yılının 3. ayına (Mart) ait bütün 6 saat aralıklı belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin dökümünü gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının PanoplyWin programı ile elde edilen görüntüsel çıktısı.....	13
Şekil 2.7 ECMWF, Operasyonel Arşiv'e ait Akdeniz Alt Arşiv'inin kapsadığı alanın GoogleEarth'te gösterilen yaklaşık sınırları	14
Şekil 2.8 ECMWF, ERA-Interim Arşiv 47.3°N-5.5°W-30.2°N-41.8°E Akdeniz Alt Arşiv'inin kapsadığı alanın GoogleEarth'te gösterilen yaklaşık sınırları.....	14
Şekil 2.9 ECMWF, Operasyonel Arşiv'e ait Akdeniz Alt Arşiv'indeki 2004 yılının 3. ayına (Mart) ait bütün belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin Akdeniz Alt Arşiv'inin sınırları içerisindeki 44°E-24°N enlemi ve boylamındaki 6 saat aralıklı bütün belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin dökümünü gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının "Grib_Oku.m" Matlab kodu ile elde edilen çıktısı ve ilgili ekran	15
Şekil 2.10 6 Saatlik Verilerden 1 Saatlik Veri Elde Etme Yaklaşımına Dayanan Yöntemle Elde Edilen Eğri.....	17
Şekil 2.11 6 Saatlik Verilerden 1 Saatlik Veri Elde Etme Yaklaşımıyla Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü	17
Şekil 2.12 UK Meteoroloji Ofisi Tarafından Daha Önce Yöre İçin Yapılmış Bir Çalışmada Elde Edilmiş Yıllık Rüzgar Gülü	18
Şekil 2.13 Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'nda 41.75°N-41.00°E koordinatları için elde edilen yıllık rüzgar gülü	18
Şekil 2.14 Derin deniz belirgin dalga periyotları vs derin deniz belirgin dalga yükseklikleri grafiği (ECMWF).....	19
Şekil 2.15 Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'nda 41.75°N 41°E koordinatları için elde edilen derin deniz ortalama dalga periyotları vs derin deniz belirgin dalga yükseklikleri grafiği.....	19
Şekil 2.16 Yıllık en büyük değer dalga yüksekliklerinin en büyük değerler istatistiği (ECMWF)	20

Şekil 2.17 Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'nda 41.75°N-41.00°E koordinatları için elde edilen yıllık en büyük değer dalga yüksekliklerinin en büyük değerler istatistiği	20
Şekil 2.18 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonlarının Lokasyonları	24
Şekil 2.19 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Akçaabat) (sağ)	25
Şekil 2.20 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Rize) (sağ)	26
Şekil 2.21 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Samsun) (sağ)	26
Şekil 2.22 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Akçakoca) (sağ)	26
Şekil 2.23 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Ayvalık) (sağ)	27
Şekil 2.24 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Dikili) (sağ)	27
Şekil 2.25 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Finike) (sağ)	27
Şekil 2.26 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Anamur) (sağ)	28
Şekil 2.27 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Alata-Erdemli) (sağ)	28
Şekil 2.28 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Mersin) (sağ)	28
Şekil 2.29 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Akçaabat)	29
Şekil 2.30 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Rize)	29
Şekil 2.31 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Samsun)	30
Şekil 2.32 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Akçakoca)	30
Şekil 2.33 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Ayvalık)	30
Şekil 2.34 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Dikili)	31
Şekil 2.35 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Finike)	31
Şekil 2.36 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Anamur)	31
Şekil 2.37 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Alata-Erdemli)	32
Şekil 2.38 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Mersin)	32

Şekil 2.39 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Akçaabat) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Akçaabat Açıkları, 41.25°N-39.20°E)	33
Şekil 2.40 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Rize) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Rize Açıkları, 41.25°N-40.40°E)	34
Şekil 2.41 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Samsun) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Samsun Açıkları, 41.50°N-36.20°E)	34
Şekil 2.42 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Akçakoca) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Akçakoca Açıkları, 41.25°N-31.10°E)	34
Şekil 2.43 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Ayvalık) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Ayvalık Açıkları, 39.25°N-26.50°E)	35
Şekil 2.44 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Dikili) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Dikili Açıkları, 38.75°N-26.50°E)	35
Şekil 2.45 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Finike) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Finike Açıkları, 36.00°N-30.10°E)	35
Şekil 2.46 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Anamur) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Anamur Açıkları, 36.00°N-32.50°E)	36
Şekil 2.47 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Alata-Erdemli) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Erdemli Açıkları, 36.00°N-34.00°E)	36
Şekil 2.48 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Mersin) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Mersin Açıkları, 36.50°N-34.30°E)	36
Şekil 2.49 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sağ) (Trabzon, 41.20°N-39.80°E)	38
Şekil 2.50 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sağ) (Bafra, 41.80°N-36.20°E)	39
Şekil 2.51 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sağ) (Şile, 41.30°N-29.60°E)	39
Şekil 2.52 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sağ) (Fethiye, 36.30°N-28.90°E)	39
Şekil 2.53 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sağ) (Alanya, 36.50°N-31.90°E)	40
Şekil 2.54 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sağ) (Silifke, 36.20°N-34.30°E)	40
Şekil 2.55 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sağ) (Karataş, 36.50°N-35.50°E)	40
Şekil 2.56 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları (Trabzon, 41.20°N-39.80°E)	41

Şekil 2.57 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları (Bafra, 41.80°N-36.20°E).....	41
Şekil 2.58 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları (Şile, 41.30°N-29.60°E).....	42
Şekil 2.59 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları (Fethiye, 36.30°N-28.90°E).....	42
Şekil 2.60 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları (Alanya, 36.50°N-31.90°E).....	42
Şekil 2.61 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları (Silifke, 36.20°N-34.30°E).....	43
Şekil 2.62 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları (Karataş, 36.50°N-35.50°E).....	43
Şekil 2.63 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Trabzon, 41.20°N-39.80°E) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Trabzon, 41.20°N-39.80°E) vs. Dalga Atlası Yıllık Rüzgar Gülü (Trabzon, 41.25°N-39.80°E).....	44
Şekil 2.64 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Bafra, 41.80°N-36.20°E) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Bafra, 41.80°N-36.20°E) vs. Dalga Atlası Yıllık Rüzgar Gülü (Bafra, 41.75°N-36.20°E).....	44
Şekil 2.65 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Şile, 41.30°N-29.60°E) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Şile, 41.30°N-29.60°E) vs. Dalga Atlası Yıllık Rüzgar Gülü (Şile, 41.25°N-29.60°E).....	44
Şekil 2.66 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Fethiye, 36.30°N-28.90°E) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Fethiye, 36.30°N-28.90°E) vs. Dalga Atlası Yıllık Rüzgar Gülü (Fethiye, 36.25°N-28.90°E).....	45
Şekil 2.67 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Alanya, 36.50°N-31.90°E) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Alanya, 36.50°N-31.90°E) vs. Dalga Atlası Yıllık Rüzgar Gülü (Alanya, 36.50°N-31.90°E).....	45
Şekil 2.68 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Silifke, 36.20°N-34.30°E) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Silifke, 36.20°N-34.30°E) vs. Dalga Atlası Yıllık Rüzgar Gülü (Silifke, 36.25°N-34.30°E).....	45
Şekil 2.69 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Karataş, 36.50°N-35.50°E) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Karataş, 36.50°N-35.50°E) vs. Dalga Atlası Yıllık Rüzgar Gülü (Karataş, 36.50°N-35.50°E).....	46
Şekil 2.70 ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sol) (Alanya, 36.50°N-31.90°E) vs. Dalga Atlası En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sağ) (Alanya, 36.50°N-31.90°E).....	47
Şekil 2.71 ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sol) (Bafra, 41.80°N-36.20°E) vs. Dalga Atlası En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sağ) (Bafra, 41.75°N-36.20°E).....	47

Şekil 2.72 ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sol) (Fethiye, 36.30°N-28.90°E) vs. Dalga Atlası En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sağ) (Fethiye, 36.25°N-28.90°E)	48
Şekil 2.73 ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sol) (Şile, 41.30°N-29.60°E) vs. Dalga Atlası En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sağ) (Şile, 41.25°N-29.60°E).....	48
Şekil 2.74 ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sol) (Trabzon, 41.20°N-39.80°E) vs. Dalga Atlası En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sağ) (Trabzon, 41.25°N-39.80°E)	48
Şekil 2.75 ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sol) (Silifke, 36.20°N-34.30°E) vs. Dalga Atlası En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sağ) (Silifke, 36.25°N-34.30°E)	49
Şekil 2.76 Modife Edilmiş ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Dalga Dikliği (Trabzon, 41.20°N-39.80°E)	50
Şekil 2.77 Modife Edilmiş ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Dalga Grafiği (Trabzon, 41.20°N-39.80°E)	51
Şekil 2.78. Dalga Atlası'ndaki En Büyük Değer Dalga Grafiği (Trabzon, 41.25°N-39.80°E) ..	52
Şekil 3.1 Kumlanma modelinin şematik yapısı	54
Şekil 3.2 Düzensiz ve yönsel dalgaların kırılması	56
Şekil 3.3 Rayleigh dağılımına sahip düzensiz dalgalarda kırılma (Q_b : kırılan dalgaların oranı)	58
Şekil 3.4 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Tajima (2004) 'nin dalga kırılma modeli ve Okayasu ve Katayama (1992) ölçümleri ile karşılaştırılması (sabit taban eğimi).....	60
Şekil 3.5 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Tajima (2004) 'nin dalga kırılma modeli ve Okayasu ve Katayama (1992) ölçümleri ile karşılaştırılması (değişken taban eğimi)	60
Şekil 3.6 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Baldock ve diğ. (1998) J2 ölçümleri ile karşılaştırılması (değişken taban eğimi)	61
Şekil 3.7 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Baldock ve diğ. (1998) J3 ölçümleri ile karşılaştırılması (değişken taban eğimi)	61
Şekil 3.8 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Battjes ve Janssen (1978) R3 ölçümleri ile karşılaştırılması (sabit taban eğimi)	62
Şekil 3.9 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Battjes ve Janssen (1978) R2 ölçümleri ile karşılaştırılması (sabit taban eğimi)	62
Şekil 3.10 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Battjes ve Janssen (1978) R13 ölçümleri ile karşılaştırılması (değişken taban eğimi)	63
Şekil 3.11 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Battjes ve Janssen (1978) R12 ölçümleri ile karşılaştırılması (değişken taban eğimi)	63
Şekil 3.12 Koordinat sistemi (Mase, 2001).....	64
Şekil 3.13 Tek bir frekans ve açısız dağılıma sahip spektral dalga enerjisi	65
Şekil 3.14 Çözüm şeması (Mase, 2001)	66
Şekil 3.15 1/20 sabit eğimli batimetri üzerinde H_s/H_{s0} ve θ_m , ortalama dalga yönü değişimi ..	66
Şekil 3.16 Bodrum yarımadası Gümbet koyu batimetrisi, H_s/H_{s0} değişimi ve ortalama dalga yönü değişimi (Bretschneider-Mitsuyasu spektrumu, $H_{s0}=2.5m$, $T_s=6.0$ sn, $\theta_{m0}=-30^\circ$; x eksenini ile yaptığı açı).....	67
Şekil 3.17 Dalga Dikliği (H_o/L_o) ile Yönsel Dağılım Parametresi (S_{max}) Arasındaki İlişki.....	68
Şekil 3.18 $S_{max}=10$ için 2 Boyutlu Model, SWAN, ve Goda (2000) karşılaştırması	71
Şekil 3.19 $S_{max}=25$ için 2 Boyutlu Model, SWAN, ve Goda (2000) karşılaştırması	72
Şekil 3.20 $S_{max}=75$ için 2 Boyutlu Model, SWAN, ve Goda (2000) karşılaştırması	72
Şekil 3.21 $S_{max}=10$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması Karşılaştırması	73
Şekil 3.22 $S_{max}=25$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması Karşılaştırması	73
Şekil 3.23 $S_{max}=75$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması Karşılaştırması	74
Şekil 3.24 $S_{max}=10$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması ve Kırılması Karşılaştırması	74

Şekil 3.25 $S_{max}=25$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması ve Kırılması Karşılaştırması	75
Şekil 3.26 $S_{max}=75$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması ve Kırılması Karşılaştırması	75
Şekil 3.27 $S_{max}=25$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması, Kırılması ve Sapması Karşılaştırması ($H_{s0} = 2$ m, $\theta_0 = 15$ derece)	76
Şekil 3.28 $S_{max}=25$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması, Kırılması ve Sapması Karşılaştırması ($H_{s0} = 2$ m, $\theta_0 = 45$ derece)	76
Şekil 3.29 $S_{max}=25$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması, Kırılması ve Sapması Karşılaştırması ($H_{s0} = 2$ m, $\theta_0 = 75$ derece)	76
Şekil 3.30 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasında dalga ölçerlerin bulunduğu eksenlerin ve dalga basenin plan görüntüsü (Mase ve diğ., 2005)	78
Şekil 3.31 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasından Test 3 Kesit A-A ölçümleri ile sayısal model karşılaştırması	78
Şekil 3.32 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasından Test 3 Kesit B-B ölçümleri ile sayısal model karşılaştırması	78
Şekil 3.33 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasından Test 3 Kesit E-E ölçümleri ile sayısal model karşılaştırması	79
Şekil 3.34 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasından Test 4 Kesit A-A ölçümleri ile sayısal model karşılaştırması	79
Şekil 3.35 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasından Test 5 Kesit A-A ölçümleri ile sayısal model karşılaştırması	79
Şekil 3.36 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasından Test 6 Kesit A-A ölçümleri ile sayısal model karşılaştırması	80
Şekil 3.37 Vincent ve Briggs (1989) çalışmasında dalga ölçerlerin bulunduğu eksenlerin ve dalga basenin plan görüntüsü	81
Şekil 3.38 Vincent ve Briggs (1989) çalışmasında dalga ölçerlerin bulunduğu eksenlerin ve dalga basenin plan görüntüsü	81
Şekil 3.39 Yakın kıyı akıntı modeli çözüm şeması	85
Şekil 3.40 Tang ve diğ. (2008) Dalga Yüksekliği Ölçümleri ile Dalga Taşınım Modeli Karşılaştırması	85
Şekil 3.41 Tang ve diğ. (2008) Su Seviyesi Değişimi Ölçümleri ile Yakın Kıyı Akıntı Modeli Sonuçları Karşılaştırması	86
Şekil 3.42 Tang ve diğ. (2008) Kıyı Boyu Akıntı Ölçümleri ile Yakın Kıyı Akıntı Modeli Sonuçları Karşılaştırması	86
Şekil 3.43 Hamilton ve Ebersole (2001) Dalga Yüksekliği Ölçümleri ile Dalga Taşınım Modeli Karşılaştırması	87
Şekil 3.44 Hamilton ve Ebersole (2001) Su Seviyesi Değişimi Ölçümleri ile Yakın Kıyı Akıntı Modeli Sonuçları Karşılaştırması	87
Şekil 3.45 Hamilton ve Ebersole (2001) Kıyı Boyu Akıntı Ölçümleri ile Yakın Kıyı Akıntı Modeli Sonuçları Karşılaştırması	87
Şekil 3.46 Reniers ve Battjes (1997) Dalga Yüksekliği Ölçümleri ile Dalga Taşınım Modeli Karşılaştırması	88
Şekil 3.47 Reniers ve Battjes (1997) Dalga Yüksekliği Ölçümleri ile Dalga Taşınım Modeli Karşılaştırması	88
Şekil 3.48 Reniers ve Battjes (1997) Dalga Yüksekliği Ölçümleri ile Dalga Taşınım Modeli Karşılaştırması	89
Şekil 3.49 Parker ve Borthwick (2001) 'de verilen yaklaşıma göre üretilen batimetri ve akıntı düzeni	90
Şekil 3.50 HOLF İskelesi Yakın Kıyı Batimetrisi, 31 Mart 1989 (Kuriyama, 2004)	91
Şekil 3.51 28 Mart 1989 HORS Ölçümleri ile Sayısal Model Sonuçlarının Karşılaştırması	92
Şekil 3.52 4 Nisan 1989 HORS Ölçümleri ile Sayısal Model Sonuçlarının Karşılaştırması	92
Şekil 3.53 FRF-DELILAH Ölçüm Noktaları (Birkemeier ve diğ., 1997)	93

Şekil 3.54 11 Ekim 1990 FRF-DELILAH Ölçümleri ile Sayısal Model Sonuçlarının Karşılaştırması	94
Şekil 3.55 14 Ekim 1990 FRF-DELILAH Ölçümleri ile Sayısal Model Sonuçlarının Karşılaştırması	94
Şekil 3.56 LSTF Deney baseni plan görünümü (Wang ve diğ., 2002a; Gravens ve Wang, 2007).....	98
Şekil 3.57 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s), ortalama su seviyesi değişimleri (η) ve kıyı boyu derinlik ortalamalı akıntı hızları (V) (T1-C1; Wang ve diğ., 2002a).....	99
Şekil 3.58 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s), ortalama su seviyesi değişimleri (η) ve kıyı boyu derinlik ortalamalı akıntı hızları (V) (T3-C1; Wang ve diğ., 2002a).....	99
Şekil 3.59 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s), ortalama su seviyesi değişimleri (η) ve kıyı boyu derinlik ortalamalı akıntı hızları (V) (T5-C1; Wang ve diğ., 2002a).....	100
Şekil 3.60 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s), ortalama su seviyesi değişimleri (η) ve kıyı boyu derinlik ortalamalı akıntı hızları (V) (T6; Wang ve diğ., 2002a).....	100
Şekil 3.61 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s), ortalama su seviyesi değişimleri (η) ve kıyı boyu derinlik ortalamalı akıntı hızları (V) (TEST-BC1; Gravens and Wang, 2007).....	100
Şekil 3.62 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ($q_{total,y}$) T1-BC1 (sol) ve T3-C1 (sağ) deneyleri (Wang ve diğ., 2002a)	101
Şekil 3.63 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ($q_{total,y}$) T5-BC1 (sol) ve T6 (sağ) deneyleri (Wang ve diğ., 2002a)	101
Şekil 3.64 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ($q_{total,y}$) TEST-BC1 deneyi (Gravens and Wang, 2007)	101
Şekil 3.65 Ölçülen ve hesaplanan (Baykal, 2012; $\epsilon=0.002$) yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri LSTF hareketli taban deneyleri (Wang ve diğ., 2002a; Gravens ve Wang, 2007).....	102
Şekil 3.66 Ölçülen ve hesaplanan (Watanabe, 1992; $A=1.0$) yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri LSTF hareketli taban deneyleri (Wang ve diğ., 2002a; Gravens ve Wang, 2007).....	102
Şekil 3.67 FRF iskelesindeki ölçüm sistemi (URL-2).....	103
Şekil 3.68 Ölçüm sistemine bağlı su seviyesi, hız, konstrasyon ölçerler (Miller, 1999).....	104
Şekil 3.69 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 11 Mart 1996 Ölçümü	105
Şekil 3.70 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 27 March 1996 Ölçümü.....	106
Şekil 3.71 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 2 Nisan 1996 Ölçümü	106
Şekil 3.72 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 31 Mart 1997 Ölçümü	106
Şekil 3.73 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 1 Nisan 1997 Ölçümü	106
Şekil 3.74 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 19 Ekim 1997 Ölçümü.....	107
Şekil 3.75 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 20 Ekim 1997 Ölçümü.....	107
Şekil 3.76 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 4 Şubat 1998 Ölçümü	107
Şekil 3.77 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 5 Şubat 1998 Ölçümü	107

Şekil 3.78 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ($q_{total,y}$), SANDYDUCK, 11 Mart 1996 (sol) ve 27 Mart 1996 (sağ) ölçümleri	108
Şekil 3.79 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ($q_{total,y}$), SANDYDUCK, 2 Nisan 1996 (sol) ve 31 Mart 1997 (sağ) ölçümleri	108
Şekil 3.80 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ($q_{total,y}$), SANDYDUCK, 1 Nisan 1997 (sol) ve 19 Ekim 1997 (sağ) ölçümleri.....	109
Şekil 3.81 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ($q_{total,y}$), SANDYDUCK, 20 Ekim 1997 (sol) ve 4 Şubat 1998 (sağ) ölçümleri	109
Şekil 3.82 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ($q_{total,y}$), SANDYDUCK, 5 Şubat 1998 ölçümü	109
Şekil 3.83 Ölçülen ve hesaplanan (Baykal, 2012; $\epsilon=0.002$) yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri SANDYDUCK Saha Ölçümleri (Miller, 1999)	110
Şekil 3.84 Ölçülen ve hesaplanan (Watanabe, 1992; $A=2.0$) yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri, SANDYDUCK Saha Ölçümleri (Miller, 1999)	110
Şekil 3.85 LSTF Deney baseni plan görünümü ve açık deniz dalgakıranının yeri (Gravens ve Wang, 2007).....	113
Şekil 3.86 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yüksekliklerinin (H_s) karşılaştırması (Test1-Case1; Gravens ve Wang, 2007)	114
Şekil 3.87 Ölçülen (mavi-kalın) ve hesaplanan derinlik (siyah-ince) ortalamalı akıntı hızlarının vektörel karşılaştırması (Test1-Case1; Gravens ve Wang, 2007)	114
Şekil 3.88 Ölçülen (---) ve hesaplanan (blue) taban topografyaları (185 dk sonra Test1-Case1; Gravens ve Wang, 2007)	115
Şekil 3.89 Kıyıya dik I-tipi mahmuz çevresinde 200 saat öncesi (kesikli çizgi) ve sonrası (sürekli çizgi) taban topografyasındaki değişim	116
Şekil 3.90 Kıyıya paralel üç adet açık deniz dalgakıran çevresinde 200 saat öncesi (kesikli çizgi) ve sonrası (sürekli çizgi) taban topografyasındaki değişim	117
Şekil 3.91 Bafra alüvyon deltası ve Kızılırmak nehir ağzı çevresindeki kıyı koruma sistemi (Google Earth, 2011).....	118
Şekil 3.92 Kızılırmak nehir ağzında doğu mahmuz ile Y-tipi mahmuz-1 çevresinde 1999 ve 2003 yılları arasındaki kıyı çizgisi değişimleri plan görünümü (Baykal, 2012)	118
Şekil 3.93 14-16 Nisan 2011 Bafra Deltası Kızılırmak nehir ağzı kıyı çizgisi ölçümleri ve DSİ tarafından alınan önceki yıllara ait kıyı çizgisi ölçümleri.....	119
Şekil 3.94 Geliştirilen kumlanma modeli için hazırlanan çalışma alanı yakın kıyı batimetrisi (Baykal, 2012)	120
Şekil 3.95 Çalışma alanı için belirlenen dalga yönleri (Google Earth, 2011)	121
Şekil 3.96 BKB dalgaları için çalışma alanındaki eşdeğer belirgin dalga yükseklikleri eğrileri ve yaklaşma açılarının vektörel gösterimi	122
Şekil 3.97 BKB dalgaları için akıntı düzeninin vektörel gösterimi	122
Şekil 3.98 Kızılırmak nehir ağzında doğu mahmuz ile Y-tipi mahmuz-1 arasında 3 yıl sonunda hesaplanan ve ölçülen kıyı çizgisileri plan görünümü (Baykal, 2012)	123
Şekil 4.1 Etki hiyerarşi yapı şeması	141
Şekil 4.2 Ana model hiyerarşi yapısı.....	141
Şekil 4.3 Kırılganlık Model Modülleri, uygulama aşamaları, sonuçlar ve kullanım önerileri .	148
Şekil 4.4 Deniz seviyesi yükselme hızının Fuzzy C-Means algoritması ile sınıflandırılması	150
Şekil 4.5 Deniz Seviyesi Yükselme Hızı üyelik fonksiyonları.....	151
Şekil 4.6 Jeomorfoloji için üyelik fonksiyonları	152
Şekil 4.7 Modül çalışma süreci (fiziksel parametreler)	154
Şekil 4.8 Modül çalışma süreci (insane etkisi parametreleri).....	155
Şekil 4.9 Modül çalışma süreci (etki indeksi)	156
Şekil 4.10 Etkiler için fiziksel ve insan etkisi parametrelerinin karşılaştırmalı kırılganlık dereceleri	157
Şekil 4.11 Göksu için parametre grupları karşılaştırması (maviler fiziksel parametreleri, kırmızılar insan etkisi parametrelerini göstermektedir).....	161

Şekil 4.12 Göcek için parametre grupları karşılaştırması (maviler fiziksel parametreleri, kırmızlar insan etkisi parametrelerini göstermektedir)	161
Şekil 4.13 Karataş için parametre grupları karşılaştırması (maviler fiziksel parametreleri, kırmızlar insan etkisi parametrelerini göstermektedir)	161
Şekil 4.14 Göksu nehri üzerindeki barajlar ve alt havzalar	162
Şekil 4.15 Göksu Delta'sı yakınlarındaki kıyı yapıları.....	162
Şekil 4.16 Göksu Delta'sı sulama sistemleri, alanları ve yeraltı su kuyuları	163
Şekil 4.17 Göksu Delta'sı kıyı şeridi jeomorfolojik sınırlar ve kırılma analiz çalışma birimleri	163
Şekil 4.18 Göksu Deltası Kırılma Analiz Haritası – Mekansal Değerlendirme.....	164
Şekil 4.19 Göksu Deltası Kırılma Analiz Haritası – Fiziksel ve İnsan Parametre Karşılaştırması Mekansal Değerlendirme	165

TABLO LİSTELERİ

Tablo 2-1 6 Saat Aralıklı Veriler ve Eğri Atama Yöntemi İle Elde Edilen 1 Saat Aralıklı Veriler	16
Tablo 2-2 DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonlarına Ait Detaylar	23
Tablo 2-3 ECMWF ERA-Interim ve Dalga Atlası verileri kullanılarak gerçekleştirilen en büyük değer rüzgar istatistiği grafikleri değerleri ve denklemleri.....	49
Tablo 2-4 ECMWF ERA-Interim ve Dalga Atlası verileri kullanılarak gerçekleştirilen en büyük değer rüzgar istatistiği çalışmaları arasındaki bağıntı	50
Tablo 2-5 Modife Edilmiş ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Dalga İstatistiği Sonuçları (Trabzon, 41.20°N-39.80°E)	51
Tablo 3-1 2 Boyutlu Model ile 1 Boyutlu Model Arasındaki Karşılaştırma (Dalga yüksekliği hata oranı).....	68
Tablo 3-2 2 Boyutlu Model ile 1 Boyutlu Model Arasındaki Karşılaştırma (Yaklaşma açısı hata oranı).....	69
Tablo 3-3 2 Boyutlu Model ile 1 Boyutlu Model Arasındaki Karşılaştırma (Yaklaşma açısı hata oranı).....	71
Tablo 3-4 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasında kullanılan dalga koşulları	77
Tablo 3-5 Vincent ve Briggs (1989) çalışmasında kullanılan dalga koşulları	80
Tablo 3-6 Tang ve diğ. (2008) Deney Dalga Koşulları	85
Tablo 3-7 HORS 28 Mart ve 4 Nisan 1989 Ölçümleri (Kuriyama, 2004; Goda, 2008)	91
Tablo 3-8 DELILAH 11 ve 14 Ekim 1990 Ölçümleri (Birkemeier ve diğ. 1997; Goda, 2008)	93
Tablo 3-9 LSTF hareketli taban deneylerinde kullanılan dalga koşulları	99
Tablo 3-10 Ölçülen ve hesaplan debilerin karşılaştırması, LSTF hareketli taban deneyleri (Wang ve diğ., 2002a; Gravens ve Wang, 2007)	103
Tablo 3-11 8 metre derinlikte ölçülmüş dalga koşulları (Miller, 1999; van Rijn, 2009; Bayram, 2011, URL-2).....	104
Tablo 3-12 SANDYDUCK Saha ölçümleri kumlanma modelinde kullanılan katsayılar	105
Tablo 3-13 Ölçülen ve hesaplan debilerin karşılaştırması, SANDYDUCK Saha Ölçümleri (Miller, 1999)	111
Tablo 3-14 Bütün dalga yönleri için yıllık temsili dalga yükseklikleri, ilgili periyotları ve oluşma süreleri	120
Tablo 4-1 Fiziksel kırılma parametreleri ve sınıfları	128
Tablo 4-2 İnsan etkisi parametreleri ve kırılma sınıfları	129
Tablo 4-3 Kıyı Alanları Kırılma Matrisi.....	130
Tablo 4-4 Model parametreleri ve tanımladıkları fiziksel etkiler.....	134
Tablo 4-5 Kırılma Modeli için kullanılacak veritabanları listesi	136
Tablo 4-6 Model parametre veri özellikleri	139
Tablo 4-7 AHS ikili karşılaştırma yargı puan sistemi	142
Tablo 4-8 Su basması için AHP sonuçları.....	144
Tablo 4-9 Fırtına kabarması için AHP sonuçları	144
Tablo 4-10 Irmak Tuzlanması için AHP sonuçları	144
Tablo 4-11 Kıyı erozyonu için AHP sonuçları.....	145
Tablo 4-12 Yer altı su kaynaklarının tuzlanması için AHP sonuçları	145
Tablo 4-13 Fiziksel etkiler için AHP sonuçları	146
Tablo 4-14 Analiz sonuçları ve üyelik fonksiyonları karşılaştırması	150
Tablo 4-15 Erozyon için kural seti : Kural seti "EGER Erozyonu tanımlayan Fiziksel parametre kırılma çok düşük VE Erozyonu tanımlayan İnsan Etkisi parametre kırılma çok düşük İSE Erozyon Kırılma Çok Düşük'tür." olarak değerlendirilmelidir.	153
Tablo 4-16 Göksu Deltası için girdi verileri.....	156
Tablo 4-17 Kırılma Modeli Analiz Sonuçları	157

Tablo 4-18 Göcek, Göksu ve Karataş Bölgelerini tanımlayan veri setleri – kırılma analizi modeli girdi parametreleri	160
Tablo 4-19 Kırılma model analiz sonuçları (5'li derecelendirme üzerinden)	160

ÖZET

İklim değişikliği ve yükselen deniz seviyesinin kıyı alanlarında yaratacağı etkiler alçak rakımlı kıyı alanlarında sorunlara yol açacaktır. Türkiye'nin jeolojik, ekolojik ve sosyoekonomik önemi olan kıyı alanlarındaki kalkınmanın sürdürülebilirliği ve de deniz seviyesi yükselmesine karşı yapılacak uyumluluk çalışmalarına kaynak aktarımının en uygun şekilde düzenlenebilmesi için bu alanların deniz seviyesi yükselmesine karşı kırılganlık analizinin yapılması gerekmektedir.

Bu amaçla, kıyı alanlarının deniz seviyesi yükselmesine olan kırılganlıklarını belirlemekte kullanılacak olan çeşitli fiziksel ve insan etkisi parametreleri tanımlanmış, bölgesel veri kullanılarak uygulanacak, bir kıyı alanları kırılganlık modeli oluşturulmuştur. Böylece, kıyı alanının hem fiziksel hem de insan kullanımına bağlı özelliklerini kullanarak, fiziksel kırılganlığın ortaya konması, yörenin deniz seviyesi yükselmesinin fiziksel etkilerine (su basması, fırtına kabarması sonucu su basması, kıyı erozyonu, ırmaklarda tuzluluk artışı ve yer altı su kaynaklarında tuzlanma) olan kırılganlıklarının ayrı ayrı analiz edebilmesi ve adaptasyon çalışmalarında önemli olabilecek fiziksel ve insan etkisi parametrelerinin ortaya çıkarılması sağlanmaktadır. Her parametrenin beşli bir sınıflandırma (1-çok düşük, 5-çok yüksek) kullanılarak kırılganlık sınıflarının bulanık mantık yöntemi ile belirlendiği modelde, kıyı alanları kırılganlık matrisi oluşturularak fiziksel etki alt-endeksleri ve toplam kırılganlık endeksi de hesaplanabilmektedir. Bu model; farklı kıyı alanlarına deniz seviyesi yükselmesine olan kırılganlıkları göz önüne alınarak öncelik verilmesini; kıyı alanında yaşanacak etkilerin o bölge için önem sırasına dizilmesini ve de her hangi bir etki için kritik olan parametrelerin anlaşılmasını sağlamaktadır.

Geliştirilen bütün modellerin etkili ve doğru sonuçlar verebilmesi, kullanılan veri setlerinin de doğruluğuna büyük ölçüde bağlıdır. Kıyı mühendisliği çalışmalarındaki en önemli parametrelerden biri rüzgar verileri ve de rüzgar verileri kullanılarak elde edilen dalga verileridir. Bu amaçla, ülkemizde yoğun şekilde kullanılan DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu rüzgar ölçüm verileri ve yine ülkemizde kullanımı artmakta olan ECMWF rüzgar verileri karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Proje kapsamında, meteorolojik verilerle ilgili gerçekleştirilen çalışmalar, bu çalışmaların sonuçlarının projedeki diğer çalışmalar olan kırılganlık modeline ve kum taşınım modeline girdi olarak kullanılabileceğinden ötürü önem taşımaktadır.

Kırılganlık modeli tarafından değerlendirilen fiziksel etkilerin başında, ülkemizde de şiddetti her geçen gün daha fazla hissedilen kıyı erozyonu gelmektedir. Bu nedenle, proje kapsamında, kıyı erozyonuna olan kırılganlığı yüksek olan alanlarda kullanılmak üzere iki boyutlu derinlik ortalamalı bir kıyı değişimi sayısal modeli geliştirilmiştir. 4 alt modelden oluşan kumlanma modeli, dalga etkileri altında kıyı koruma yapıları (çeşitli mahmuz tipleri ve açık deniz dalgakıranları) çevresindeki morfolojik değişimlerin sayısal benzetimlerinin yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: iklim değişikliği, kıyı alanları kırılganlık modeli, adaptasyon stratejileri, kum taşınım modellemesi, coğrafi bilgi sistemler ve haritalama

ABSTRACT

Climate change and the anticipated impacts of sea level rise such as increased coastal erosion, inundation, flooding due to storm surges and salt water intrusion to freshwater resources will affect all the countries, but small island countries of the oceans and the countries having coastlines along the oceans and the seas will be the most affected. Turkey having 8333 km of coastline including low-lying deltas which are important both physically, ecologically and socio-economically; should also prepare for the impacts of sea level rise as well as other impacts of climate change while participating in the mitigation efforts. Thus, a vulnerability assessment of coastal areas of Turkey to sea level rise is needed both as a part of coastal zone management policies for sustainable development and as a guideline for resource allocation for preparation of adaptation options for the upcoming problems due to sea level rise.

This study aimed to develop a coastal vulnerability assessment of a region to sea level rise using physical and human activity parameters of the impacts of sea level which use the commonly available data. By defining vulnerability ranges of each parameter using a classification system from 1(very low vulnerability) to 5(very high vulnerability), both overall vulnerability of the region as well as impact vulnerability classes can be calculated using Analytical Hierarchy Process and Fuzzy Logic modeling. The model enables decision makers to compare different regions and rank them according to their vulnerabilities to sea level rise, to prioritize the impacts of sea level rise on the region according to the vulnerability of the region to each impact and to determine which parameters are the most vulnerable parameters that need to be considered when planning for adaptation to sea level rise.

To have reliable results from the developed models, it is very important to use accurate datasets. The basic data set used in coastal engineering applications is the wind and wave data. As part of this Project, it was aimed to determine the accuracy of the available wind and wave datasets used in many coastal applications in Turkey. Comparison of datasets from measurements performed by DMİGM and the datasets downloaded from ECMWF database were analyzed to determine the reliability and accuracy of these datasets. This was a very important assessment since these datasets are used for development and implementation of the fuzzy coastal vulnerability model and sediment transport model within the Project.

One of the impacts highlighted by fuzzy coastal vulnerability assessment model applications was the vulnerability of Turkish coastlines to coastal erosion. Considering this particular information, a two dimensional shoreline model was developed. The model is built of 4 sub models which analyzes the morphological changes of shorelines under different conditions considering the impact of coastal structures.

Keywords: climate change, coastal vulnerability assessment model, GIS, adaptation strategies, sedimentation model

1 GİRİŞ

İklim değişikliği ve buna bağlı olarak yükselen deniz seviyesinin yaratacağı etkiler kıyı alanlarında hem fiziksel hem de sosyo-ekonomik sorunlara yol açacaktır. Bu artış alçak rakımlı kıyı alanlarını özellikle de deltaları ciddi şekilde tehdit etmektedir (IPCC, 2007). Türkiye kıyılarında da hem sosyo-ekonomik, hem de ekolojik açıdan önemi yüksek deltaların bulunması, bu konuda yapılması gereken çalışmaların zorunluluk olduğunun en önemli göstergesidir. Her ne kadar denizlerdeki yükselmenin okyanuslardaki kadar etkili olmayacağı öngörülse de, sadece su yükselmesinin yaratacağı toprak kaybı değil, artacak kıyı erozyonu, yükselen fırtına kabarmaları ve yer altı su kaynaklarında gözlenecek tuzluluk artışı gibi etkilerin bütün kıyı alanlarında ciddi sorunlara yol açacağı göz önüne alınmalıdır. Kıyı alanlarında sadece yeni sorunlar değil, kıyı alanı yönetimi konularını kapsayan ve hali hazırda yaşanan bir çok sorunun daha da etkili olarak ortaya çıkması beklenmektedir.

Yaşanacak fiziksel sorunlar beraberinde can ve mal kaybı başta olmak üzere, yerleşim yerlerinin ve altyapılarının yeni kıyı dinamiğine göre uyum planlarının yapılıp, uygulanması, kıyı yapılarının yeniden gözden geçirilmesi, doğal kaynakların kullanımının yeniden planlanması, kıyı ile ilgili ekonomik sektörlerin kayıplarını bir çok sosyoekonomik sorunu tetikleyecektir. Bu nedenler ışığında, kıyılardaki kalkınmanın sürdürülebilirliğini ve de deniz seviyesi yükselmesine karşı yapılacak olan uyum çalışmalarına kaynak aktarımının en uygun şekilde düzenlenebilmesi için Türkiye kıyılarının deniz seviyesi yükselmesine karşı kırılganlık analizinin yapılması gerekmektedir.

Genel tanım olarak kırılganlık(vulnerability) bir sistemin iklim değişikliğinin olumsuz etkileri(iklim değişkenliği ve uçdeğerler dahil olmak üzere) karşısındaki geri dönülemez biçimde bozulma sınırı olarak tanımlanmaktadır. (IPCC, 2007) Kesin tanım üzerinde tam bir anlaşma olmamakla beraber, kırılganlık kavramı 3 farklı görüş ışığında çalışılmaktadır. Birinci görüşe göre kırılganlık, önceden varolan bir durumdur ve risk oluşturan duruma maruz kalma potansiyeli ile tanımlanmaktadır. İkinci görüş sosyal açıdan kırılganlığı ele alır. Üçüncü görüş ise ilk iki görüşün birleşmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Hem biyolojik ve fiziksel parametreleri hem de sosyal tepki parametrelerini bütünler.

İklim değişikliğinin neden olduğu sorunlar her yerde aynı şiddetle ortaya çıkmayacaktır. Bu nedenle bazı bölgeler fiziksel olarak daha çok kırılganken, bir bölgedeki bazı insan grupları da toplumun geri kalanına göre daha kırılgan olmaktadır. Bu nedenle yapılacak iklim değişikliği kırılganlık analizlerinin önceliği, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine yoğun şekilde maruz kalacak bölge ve insan gruplarını tespit etmek ve uygun kaynak aktarımını sağlamaktır. Bu analizlerin etkili olmasını sağlayan faktörlerin başında bölgenin jeolojik, fiziksel ve sosyoekonomik veri tabanlarının bütünlüğü ve geçerliliği ile riskin önceliği ve yerel karar mekanizmalarının tutumları gelmektedir. Bugüne kadar çeşitli kırılganlık analizleri yapılmış olup, farklı kırılganlık modelleri de (IPCC, 2007) literatürde bulunmaktadır. Ancak çoğunlukla ayrıntılı veri gereksinimi, analizleri ve insan gücü gerektiren modeller, özellikle küçük yerel yönetimleri maddi kaynak açısından zorlamakta ve proaktif bir yöntem belirlenmesine engel olmaktadır.

Ülkemiz başta olmak üzere özellikle veri, kaynak, maddi ve insan gücü açısından sorun yaşayan bütün ülkelerde yerel mekanizmaların belirli bilgi birikimi kullanarak

kullanabilecekleri, kıyı alanlarının deniz seviyesi yükselmesine olan kırılganlığını ortaya koyan bir modelin ODTÜ İnşaat Mühendisliği Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezince altyapısı ortaya konmuştur. Bu proje ile altyapısı ortaya konan modelin bulanık mantık yöntemi ile çok katmanlı belirsizlikler altında daha güvenilir olması sağlanmış, coğrafi bilgi sistemler ile bütünleştirilmesi için temel altyapısı hazırlanmış ve böylece bütünleşik kıyı alanları kırılganlık çalışmaları için da yeni bir bakış açısı ortaya koyduğu gösterilmektedir.

Kıyılar, sundukları avantajları, olanakları ve imkanlarından dolayı insanlar için her zaman birer çekim ve etkileşim alanı olmuşlardır. Bu etkileşim ve çekim sonucu yıllar içerisinde kıyısız alanlardaki nüfus artmıştır ve halen artmaya devam etmektedir. İnsanların, kıyıların sundukları olanaklardan yararlanmak istemelerinden dolayı kıyısız alanlardaki yapılaşma da artmıştır. İlgili yapılaşmalar sadece konut veya sanayi bazında değil ulaşım, balıkçılık, turizm gibi diğer dallarda da gerçekleşmiştir. Bu olanakların daha iyi değerlendirilmesi amacıyla kıyısız alanlara pek çok deniz yapısı yapılmıştır (ör. ticari limanlar, yat limanları, kıyı koruma yapıları, vs.). Kıyılardaki bu hızlı gelişim ve yapılaşma çoğu zaman planlı olarak gerçekleşmediği için çoğu durumda olumlu sonuçlara yol açmamıştır. Kıyısız alanlarda toprak kayıpları ve kıyı erozyonu sorunları görülmüştür. Kimi durumlarda bu sorunların giderilmesi için gerçekleştirilen yapısal önlemler olumlu sonuçlara yol açsa da pek çoğu kıyı erozyonunu durduramamış ve bu alanlardaki kıyı erozyonu kronik hal almıştır. Kıyı erozyonu sadece ülkemiz için değil tüm dünya için sorun teşkil etmektedir. Örnek olarak ABD’de yapılan bir incelemede 33000 kilometrelik bir kıyı şeridinde kıyı erozyonu görülmekte ve 4300 kilometrelik bir kıyı şeridinde ise kıyı erozyonu ciddi boyutlarda görülmektedir (Phillips ve Jones, 2005). Yoğun ve plansız yapılaşmanın yanı sıra önceki paragraflarda belirtildiği üzere küresel ısınma sonucu oluşacak deniz seviyesi yükselmesi ve artan kıyı erozyonu da ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. SOPAC’ın çalışması sonucu elde ettiği bilgilere göre kıyı erozyonunun ana nedenleri aşağıdaki gibi verilmektedir (1991);

1- Doğal nedenler

- İklimde meydana gelen değişiklikler
- Kıyıya ulaşan kum miktarındaki azalmalar
- Deniz seviyesi yükselmesi

2- İnsan etkisi ile meydana gelen değişiklikler

- Kıyısız alanlardan kum çıkarılması ve taşınımı
- Madenler
- Kıyı yapılarının inşası (kıyı duvarları, mahmuzlar)
- Adalar etrafındaki gelgit akıntılarını ve dalga etkisiyle oluşan süreçleri engelleyen ve kum taşınım düzeneğini değiştiren kazıklı yollar veya köprüler
- Mangrovların yok edilmesi
- Deniz dibi kanallarının açılması ve tarama yapılması

İnsan etkisi ile meydana gelen değişimler kıyı erozyonuna neden olurken, küresel ısınma sonucu oluşacak doğal nedenlerden dolayı meydana gelecek kıyı erozyonu da mevcut duruma eklenirse, kıyı erozyonunu incelemek, boyutlarını ve büyüklüklerini belirlemek ve bu sorunlara uygun çözümleri üretmek ve geliştirmek için kumlanma modellerinin geliştirilmesi kaçınılmaz olmaktadır. İlgili kumlanma modelleri 1987’de Hanson tarafından geliştirilen tek çizgi teoremine dayanan GENESIS modelinin geliştirilmesinden ve uygulanmaya başlanılmasından bu yana zaman içerisinde değişik boyutlara ulaşmış ve araştırmacılar tarafından yenileri geliştirilmiştir. Zaman içerisinde tek çizgi teoreminden iki ve üç boyutlu

modellere geçilmiştir. Ama günümüzde bile bu modellerin eksikleri mevcuttur. Bazı araştırmacılara ve bilim insanlarına göre bu modellerin tek çizgide çalışan modellere göre daha iyi sonuç vermediği, karmaşık iç sistemleri ve denklemleriyle kendilerini cazip kılmakta oldukları belirtilmektedirler. Türkiye geneline bakıldığında, kıyı sorunları üzerinde çalışan özel veya kamu kurumlarının pek çoğunun kumlanma modellerine sahip olmadığı ve benzer modellere sahip olanların ise yüksek maliyetler ödeyerek bu modellerin bazı modüllerini alabildiği, çok az uygulama şansları olduğu ve bu modellerin alt yapılarını öğrenemedikleri bilinmektedir. Bu eksikliği gidermek amacıyla ODTÜ İnşaat Mühendisliği Kıyı ve Liman Laboratuvarı'nda bir kumlanma modeli (CSIM) geliştirilmiştir (Artagan, 2006, Baykal, 2006, Şafak 2006, Esen, 2007). İlgili kumlanma modelinin geliştirilmesi amacıyla, bu kumlanma modeli baz alınarak modelde yenilikler ve eklemeler yapılarak daha kapasiteli ve işlevli bir kumlanma modeli bu proje sürecinde oluşturulmuştur. Bu model, doğal nedenlerle ve insan etkisiyle meydana gelen kıyı erozyonuna ve bu soruna karşı adaptasyon tekniklerinin ve yöntemlerinin geliştirilmesi hususlarında bir araç olarak geliştirilmiştir. Bu amaçla, dalgaları dönüştürerek derin denizden kırılma bölgesine taşıyıp kıyı yapıları etkisiyle kıyıya kum taşınımı olarak yansıtan tek çizgi teoremine dayalı bir kumlanma modeli üzerinde çalışılmış; dalga transformasyon modeline eklemeler yapılmış, dalga dönüşümü için yeni modüller geliştirilmiş ve her tür çeşit kıyıda çalışılabilirlik ve kıyıya dik kum taşınımının çözümlenmesi sağlanmıştır.

Ülke için önemli sosyoekonomik değeri olan kıyı alanlarının yönetimi hem ulusal hem de yerel politakalarla sağlanmaktadır. Ancak kıyı alanlarının dinamik yapısı ve sosyoekonomik alandaki hızlı gelişimi birçok farklı parametrenin aynı anda irdelenmesini gerektirmektedir. İnsan aktivitelerinin en yoğun olduğu bu alanlarda yapılacak geleceğe yönelik her türlü yatırım planlanırken günümüzde artık iklim değişikliği ve yaratacağı sorunlar da düşünülmelidir. Bu nedenle hazırlanacak ya da uygulanmakta olan kıyı alanları yönetim planlarına iklim değişikliği ve deniz seviyesi yükselmesinin etkileri mutlaka eklenmelidir. Böylece ileriye dönük adaptasyon çalışmaları yerel ve ulusal politikalar ile bütünleştirilebilir. Ancak adaptasyon planlamasının için öncelikle kıyı alanlarındaki öncelikli noktaların belirlenmesi ve uygulanacak politikanın hedef kitleyi ortaya konmalıdır. 8333 kmlik kıyı çizgisi ile ülkemizin kıyı alanlarının özellikle kırılma derecelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Böylece ileride yaşanabilecek sorunlar için şimdiden bir hareket planı ulusal anlamda oluşturulabilir. Ayrıca uygulanacak modelin çıktısı olarak hazırlanacak deniz seviyesi yükselmesinin herbir etkisi için yapılacak değerlendirmeler yerel kıyı alanları yönetimi planları için de büyük önem arzedecektir.

Eldeki yöre verileri ve model için gerekli olan temel veriler kullanılarak yapılan çalışma sonucunda, öncelikli olarak kıyı çalışmaları için en önemli veri olan meteorolojik (rüzgar) verilerinin güvenilirliği farklı kaynaklardan karşılaştırmalı olarak test edilmiş (Bölüm 2), kumlanma modeli dört altmodel ile destelenecek şekilde geliştirilmiş (Bölüm 3) ve deniz seviyesi yükselmesine karşı kırılma yapı gösteren kıyı alanlarını belirleyecek, en kritik etkileri ortaya koyacak ve bu etkiyi yönlendiren fiziksel ve insan parametrelerini analiz edecek kıyı alanları kırılma modeli (Bölüm 4) ortaya konmuştur. Türkiye kıyılarında farklı alanlarda yapılan uygulama çalışmaları ile de geliştirilen modellerin çalışma özellikleri, limitasyonları ve ortaya koydukları sonuçlar değerlendirilerek (Bölüm 5) bu çalışmanın, tüm Türkiye kıyıları için uygulanabilir temel bir çalışma olması hedeflenmiştir.

2 DALGA VE RÜZGAR VERİLERİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Proje kapsamında, meteorolojik verilerin değerlendirilmesi amacıyla çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kıyı mühendisliği çalışmalarındaki en önemli parametrelerden biri rüzgar verileri ve de rüzgar verileri kullanılarak elde edilen dalga verileridir. Proje kapsamında, meteorolojik verilerle ilgili gerçekleştirilen çalışmalar, bu çalışmaların sonuçlarının projedeki diğer çalışmalar olan kırılma modeline ve kum taşıma modeline girdi olarak kullanılabileceğinden ötürü önem taşımaktadır.

Proje kapsamında, meteorolojik veri kaynakları olarak iki alternatif öne çıkmaktadır. Birincisi halen çok yoğun şekilde kullanılmakta olan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne (DMİGM) ait kıyı meteoroloji istasyonlarında gerçekleştirilen saatlik rüzgar ölçümü verileridir. Bir diğer kaynak ise özellikle son birkaç yıldır kullanım yoğunluğu artan ECMWF'nin (European Centre For Medium- Range Weather Forecasts, Avrupa Orta Mesafe Hava Tahmin Merkezi) geliştirdiği numerik modellerle gerçekleştirdiği hava tahmini ve analizi verileridir. İlgili hava tahminleri ve analizleri arasında rüzgar ve dalga verileri de mevcuttur.

Dalga ve Rüzgar verileri ile ilgili çalışmalar takip eden bölümlerde verilecektir. İlk kısımda Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne (DMİGM) ait kıyı meteoroloji istasyonlarında gerçekleştirilen saatlik rüzgar ölçümü verileri ve ECMWF'ye (European Centre For Medium-Range Weather Forecasts, Avrupa Orta Mesafe Hava Tahmin Merkezi) ait veri tabanları ile ilgili bilgi verilecektir. İkinci kısımda literatürde, bu proje kapsamında yapılması hedeflenen çalışmalarda kullanılacak veri tabanlarının kullanıldığı ve değerlendirildiği akademik çalışmalar ve bu çalışmaların özetlerine değinilecektir. Üçüncü kısımda literatür taraması sonucu elde edilen bulgular özetlenmiştir. Literatür taraması özellikle ECMWF verileri kullanılarak gerçekleştirilmiş çalışmalar üzerine yoğunlaştırılmıştır. Dördüncü kısımda, ECMWF veri tabanları arasında, ECMWF veri tabanları ve DMİGM kıyı meteoroloji istasyonları rüzgar ölçüm verileri arasında, ECMWF veri tabanları ve Dalga Atlası arasında, DMİGM kıyı meteoroloji istasyonları rüzgar ölçüm verileri ve Dalga Atlası verileri arasında çeşitli karşılaştırmalara yer verilmiştir. İlgili karşılaştırmalar, rüzgar yönü ve rüzgar hızı odaklıdır.

2.1 DMİGM KIYI METEOROLOJİ İSTASYONLARI VERİLERİ VE ECMWF VERİLERİ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde geliştirilen numerik modellerden bazıları, ör. CSIM kumlanma modeli (Şafak, 2006, Artagan 2006, Baykal 2006, Esen 2007), dalga verilerini girdi olarak kullanılmaktadır. Yukarıda belirtilen numerik modelin ve benzeri diğer numerik modellerin kullandığı dalga verileri, DMİGM'den alınan rüzgar verilerinin ODTÜ İnşaat Mühendisliği Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi'nde geliştirilen bir başka numerik model tarafından işlenmesi ile elde edilmektedir. Bu projenin diğer kısımlarında geliştirilen numerik modellerde de benzer dalga verilerinin girdi olarak kullanılması planlanmaktadır. Bu amaçla dalga verilerinin elde edildiği kaynak olan rüzgar verilerinin ve dolayısıyla rüzgar verisi kaynaklarının detaylı incelenmesi gereklidir. Bu kısımda DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu rüzgar verileri ve ECMWF rüzgar verileri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

2.1.1 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Verileri

DMİGM çok uzun süredir Türkiye’de pek çok lokasyonda saatlik rüzgar ölçümleri de gerçekleştiren meteoroloji istasyonlarını bünyesinde barındırmaktadır. Bu meteoroloji istasyonlarında bazıları da Türkiye kıyıları boyunca konuşlanmıştır. DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu saatlik rüzgar ölçüm verileri yoğunlukla geçmişten günümüze, kıyı mühendisliği yapılarının tasarımında kullanılacak tasarım dalga verisinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu konuda kullanılabilecek pek çok ara numerik model veya kod da elde mevcuttur. Ancak son birkaç yılda DMİGM’nin bünyesinde gerçekleştirdiği yenileme ve revizyon çalışmaları sonucu rüzgar verilerinin formatlarında değişiklikler gerçekleştirilmiştir.

DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu rüzgar ölçüm verilerinin düzenlendiği formatlar zaman içerisinde değişiklikler göstermiştir. Elde DMİGM’nin eski formatta hazırladığı ve kullanıcılara ilettiği rüzgar verilerini işleyen çeşitli numerik modeller bulunmaktadır. Bu numerik modeller Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi’nde geliştirilmiştir. Yaklaşık olarak son 15 yıldır bu numerik modeller rüzgar verilerinin işlenmesinde ve fırtınaların dolayısıyla tasarım dalga özelliklerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Ancak ilgili meteorolojik ölçümlerin formatları, belirli bir süre önce pek çok meteoroloji istasyonundaki ölçüm sisteminin ve yönteminin değişmesi ile değişmiştir.

DMİGM kıyı meteoroloji istasyonları rüzgar ölçüm verilerine ait format değişimi ile ilgili bilgiler DMİGM’nin ilgili bölümlerindeki uzmanlarla temasa geçirilerek öğrenilmiştir. Ayrıca yeni formatın daha kolay anlaşılabilmesi için Türkiye kıyıları çevresindeki tüm kıyı meteoroloji istasyonlarına ait saatlik rüzgar verileri talep edilmiş ve pek çoğu tarafımıza iletilmiştir. Kullanılmakta olan formatı gösteren örnek bir rüzgar ölçüm verisi aşağıda verilmiştir. Örnek veri 17026 kodlu meteoroloji istasyonuna ve 2007 yılının 1. ayının 1. gününe aittir. İlgili veride saatlik rüzgar hızları ve bu hızlara denk gelen rüzgar yönleri de mevcuttur. Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi’nde geliştirilen bir başka numerik model ile yeni formattaki meteorolojik veriler eski formata dönüştürülerek işlenebilir duruma getirilmiştir. Geliştirilen numerik model komplike bir model olmamakla birlikte format değişiminin gerçekleştirilebilmesine el veren komutlardan oluşmaktadır.

17026;2007;1;1;0;2.0/S
17026;2007;1;1;4;1.4/SSE
17026;2007;1;1;5;1.5/SSE
17026;2007;1;1;6;2.5/SSE
17026;2007;1;1;7;2.8/SSE
17026;2007;1;1;8;2.8/SSE
17026;2007;1;1;9;1.9/S
17026;2007;1;1;10;1.9/S
17026;2007;1;1;12;2.2/NW
17026;2007;1;1;13;4.6/NW
17026;2007;1;1;14;3.8/NW
17026;2007;1;1;15;2.8/NW
17026;2007;1;1;16;1.6/SSE

17026;2007;1;1;17;2.1/SSE
17026;2007;1;1;19;2.2/SSE
17026;2007;1;1;20;2.2/SSE
17026;2007;1;1;21;3.0/SSE
17026;2007;1;1;22;3.2/SSE
17026;2007;1;1;23;4.0/SSE

Yukarıda DMİGM kıyı meteoroloji istasyonlarından elde edilen rüzgar verisi örneği gösterilmiştir. Burada birinci rakam “17026” ilgili meteoroloji istasyonu numarasını, ikinci rakam “2007” ölçüm yılını, üçüncü rakam “1” ölçüm ayını, dördüncü rakam “1” ölçüm gününü, beşinci rakam “1-23” ölçüm saatini, altıncı rakam rüzgar hızını (m/s birimli) ve sondaki harfler de (ör. “S”) rüzgar esiş yönünü belirtmektedir. Rüzgar verileri txt veya xls formatlarında temin edilebilmektedir. Ancak kullanılan numerik modeller için txt formatlı girdiler gerekli görülmektedir.

DMİGM kıyı meteoroloji istasyonunda gerçekleştirilen rüzgar ölçüm verilerinin, bu proje kapsamında geliştirilen numerik modellerde veya herhangi bir kıyı mühendisliği çalışmasında girdi olarak kullanılabilmesi için doğruluğunun veya hata paylarının detaylı incelenmesi ve belirlenmesi gereklidir. Belirtilen bu çalışmalar takip eden bölümlerde verilecektir.

2.1.2 ECMWF

Bu proje kapsamında geliştirilen numerik modellerin ve ODTÜ İnşaat Mühendisliği Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi bünyesinde geliştirilmiş ve geliştirilmekte olan numerik modellerin uluslararası boyutta daha rahat uygulanabilir ve kullanılabilir olabilmesi için bazı yönlerinin de geliştirilmesi gerekli görülmektedir. Numerik modellere ait girdilerinin uluslararası düzeyde rahatça hazırlanabilmesi ve uygulanabilmesi için numerik model girdilerinin de uluslararası bazda erişilebilir bir kaynaktan elde edilebilirli olması gerekmektedir. Bu amaçla, ECMWF’in gerçekleştirdiği rüzgar ve dalga tahmin ve analiz verileri ve ECMWF veri tabanları kaynaklı ile ilgili bilgiler toparlanmıştır. İlgili bilgiler takip eden kısımlarda verilmiştir.

ECMWF, aktif olarak uydulardan elde ettiği meteorolojik ölçümleri ve verileri yine kendi bünyesinde geliştirmiş olduğu numerik modelleri kullanarak işlemekte ve meteorolojik tahminler ve analizler gerçekleştirmektedir. ECMWF, geliştirdiği numerik modellerle günlük ve geçmişe yönelik rüzgar ve dalga analizleri ve ileriye dönük rüzgar ve dalga tahminleri de yapmaktadır. ECMWF operasyonel ve deneysel amaçlarla iki tane sistem geliştirmiştir. Bu sistemlerden biri “Belirleyici Sistem” diğeri ise “Grup Tahmin Sistemi”dir (“Deterministic System” ve “Ensemble Predictive System”). Bu sistemlerin içinde atmosferik ve dalga modellerinden elde edilen tahminler ve analizler de mevcuttur. Bu sistemler dahilindeki tahmin ve analiz sonuçlarının hepsi ECMWF veri tabanında kullanıma açık olmamakla birlikte, veri çeşitliliği ve süresi açısından zengin bir içerik sağlamaktadır.

ECMWF veri tabanları içerisinde özel veri tabanları da bulunmaktadır. Bu veri tabanları arasında, ERA-15, ERA-40 ve ERA-Interim tekrar analiz projelerine ve kooperasyon yapılan çeşitli projelere (PROVOST, DEMETER, ENSEMBLES, etc) ait değişik tahmin ve analiz verileri de bulunmaktadır. Yıllar içerisinde ölçümlerde meydana gelen değişiklikler, numerik

modellerdeki ilerlemeler ve gerçekleştirilen modifikasyonlar sonucunda ilgili tahminlerin ve analizlerin çeşitliliği artmıştır ve sonuçların kalitesi geliştirilmiştir. ECMWF, analiz yöntemlerinin ve araçlarının yanı sıra, geliştirdiği numerik modelleri geriye dönük analizleri yenilemek amacıyla da kullanmaktadır. Buradaki amaç eski verilerden elde edilen analizlerin geliştirilmesi ve yenilenmesidir. Tekrar analiz denilen geriye dönük analizlerin ve ilgili tekrar analiz sonuçlarını içeren veri tabanlarının yapılış ve hazırlanış amaçlarından en önemlisi, uzun süreli meteorolojik değişimlerin daha rahat gözlemlenebilmesi ve incelenebilmesidir. İlgili veriler ve veri tabanları, belirtilen uzun dönemli değişiklikler için daha uygundur.

ECMWF bünyesinde, ilk tekrar analiz 1980'lerin başında yapılmıştır. Bu kapsamda gerçekleştirilen ilk tekrar analiz projesi ERA-15'tir ve 1979-1995 yıllarını kapsamaktadır. ERA-15 1995 yılında tamamlanmıştır. İkinci tekrar analiz projesi ERA-40 (1957-2002), 2002 yılında tamamlanmıştır. ERA-40 sonuçları 1.5° grid çözünürlüklüdür ve 6 saat aralıktır. Bu tekrar analiz projesi kapsamında çok az miktarda veri, 3 saat aralıklı olarak bulunmaktadır. ERA-40 kapsamında 01.01.1989 ile 14.12.1991 tarihleri arasında analiz verisi bulunmamaktadır ve bazı yıllar arasında 6 saatlik zaman aralıklı analiz sonuçları da bulunmamaktadır. ERA-15 ve ERA-40 sonuçları çok yoğun olarak Türkiye'nin de aralarında olduğu ECMWF'e üye olan ülkeler tarafından kullanılmaktadır. Tekrar analiz sonuçları, ECMWF bünyesinde geliştirilen numerik modellerde modifikasyonlar yapmak ve ECMWF'in geliştirdiği diğer numerik model sonuçları ile karşılaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. ECMWF halen ERA-Interim adıyla yeni bir uluslararası tekrar analiz projesini uygulamaktadır. ERA-Interim 1979 yılından sonraki süreyi kapsamaktadır. ERA-Interim, 2008 yılının sonlarına doğru günlük model analizlerine yetişmiştir ve halen günümüzde de günlük analizler bu tekrar analiz sistemiyle yapılmaktadır. Bütün ECMWF tekrar analiz projeleri ve sistemleri ile detaylı bilgi ECMWF'in resmi internet sitesinden kolayca öğrenilebilmektedir (<http://www.ecmwf.int>).

ECMWF tekrar analiz projelerinin özeti aşağıda verilmiştir:

- 1- ERA-15
 - a. Atmosferik model (1978-1995)
 - b. Dalga modeli (1992-1995)
- 2- ERA-40
 - a. Atmosferik model (1957-2002)
 - b. Dalga modeli (1992-2002)
- 3- ERA-Interim
 - a. Atmosferik model (1979-2009)
 - b. Dalga modeli (1992-2009)

ECMWF tekrar analiz verilerinin yanı sıra "Operasyonel Arşiv" (Operational Archive) adı altında çözünürlüğü daha yüksek olan (0.1° grid) bir başka veri tabanı daha mevcuttur. Operasyonel Arşiv, "Global" ve "Akdeniz" olmak üzere iki alt veri tabanından oluşmaktadır. Ancak, Operasyonel Arşiv, tekrar analiz veri tabanlarına göre daha dar bir süreyi kapsamaktadır. Fakat daha önce ODTÜ İnşaat Mühendisliği Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi'nde yapılan yüksek lisans tezlerinde bu verilerin kullanılması, ilgili yüksek lisans tezlerinde bu verilerin işlendiği çeşitli numerik modellerin geliştirilmiş olması ve dolayısıyla daha geniş bilgiye sahip olunması, Akdeniz veri tabanının kullanılmasının daha yararlı ve

daha kolay olacağını göstermiştir. Ancak takip eden bölümlerde de değinileceği gibi Akdeniz veri tabanı dışında bu çalışma kapsamında, ERA-Interim veri tabanına ait veriler de incelenmiştir. Gerçekleştirilen karşılaştırmalar, incelemeler ve elde edilen neticeler takip eden bölümlerde verilecektir. Bu kısımda belirtilmelidir ki takip eden bölümlerde değinilen çalışmalar yalnızca rüzgar verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunun nedenleri de ilerleyen bölümlerde açıklanacaktır.

Bir diğer husus ise, tıpkı DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu rüzgar ölçüm verilerinde olduğu gibi, ECMWF rüzgar verilerinin doğruluğunun ve hassasiyetinin incelenmesidir. ECMWF'nin kendi geliştirmiş olduğu numerik modelleri kullanarak tahminler ve analizler gerçekleştirdiği belirtilmişti. Her tahmin ve analiz sonucunda olduğu gibi, ECMWF numerik model sonuçlarının da modife edilmeden kullanılmasına olanak yoktur. Bundan dolayı ECMWF verileriyle, saha ölçüm verilerinin veya meteorolojik ölçümlerin karşılaştırılması ve ECMWF verilerinin bu ölçüm sonuçlarına göre modife edilmesi gerekli görülmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmanın detayları da ilerleyen bölümlerde verilecektir.

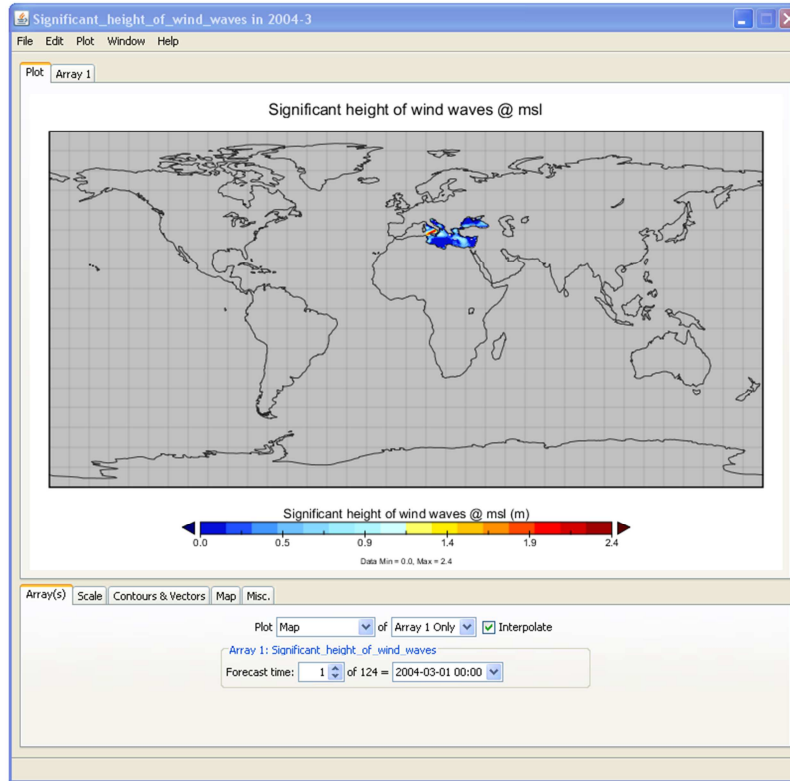
Proje başlangıcından itibaren, ECMWF veri tabanları detaylı olarak incelenmiştir. Bu incelemeler sırasında hangi veri tabanının ne gibi özelliklere sahip olduğu ve ne kadar detaylı oldukları araştırılmıştır. Bu kapsamda yatay ve dikey aralığı daha az olan, yani çözünürlüğü daha yüksek olan Operasyonel Arşiv'in (Operational Archive) 0.1° grid çözünürlükteki "Akdeniz" (Mediterranean) veri tabanından ve ERA-Interim'in 0.1° grid çözünürlükteki "47.3°N-5.5°W-30.2°N-41.8°E" veri tabanından yararlanılmasının daha uygun olacağı öngörülmüştür. Bu kapsamda, ECMWF, Operasyonel Arşiv, Akdeniz Alt Arşiv'indeki ve ECMWF, ERA-Interim 47.3°N-5.5°W-30.2°N-41.8°E Alt Arşiv'indeki bütün tahmin sonuçları grib formatında, ECMWF sitesinden (www.ecmwf.int) indirilmiştir. Operasyonel Arşiv'in atmosferik alt sitesindeki rüzgar verileri 1983 yılından günümüze kadarki süreyi, dalga alt sitesindeki dalga tahmin verileri de 1992 yılından günümüze kadarki süreyi kapsamaktadır. ERA-Interim'in atmosferik alt sitesindeki rüzgar verileri 1979 yılından günümüze kadarki süreyi, dalga alt sitesindeki dalga tahmin verileri de 1979 yılından günümüze kadarki süreyi kapsamaktadır. Ancak dalga ve rüzgar verilerinin aynı yıllar içinde olması daha uygun görüldüğünden 1983-2011 yılları arasındaki tüm verilerin indirilmesi daha uygun görülmüştür.

İndirilen grib formatındaki dosyalar, işlenmesi ve okunması zor olan, çeşitli başlıklar altında toplanan verilerin değişik düzenlerde kopyalanıp, yapıştırılıp, elektronik ortamda daha küçük boyutlarda saklanabilmesine olanak tanıyabilirler. Grib formatında indirilen ECMWF rüzgar verileri deniz seviyesinden 10 m yukarıdaki U (yatay) ve V (dikey) yönlerindeki rüzgar hızlarını (m/s) içermektedir. Grib formatındaki ECMWF dalga verileri de rüzgar dalgalarının belirgin dalga yüksekliklerini, ortalama periyotlarını ve ortalama yönlerini içermektedir. Grib formatındaki ilgili dosyalarda, verilerin değişik düzenlerde saklanmasından dolayı (grib dosyası içindeki belirli bir verinin, örnek U, dosya içindeki yerinin değişmesi veya belirli bir verinin bir başka veriden sonra gelmek zorunda olmaması), grib formatındaki dosyaları okumak için Windows ortamında çalışan programlar araştırılmıştır. Grib formatındaki dosyaları okuyabilen pek çok programın, Linux işletim sisteminde çalıştığından ötürü, daha önce bu dosyaların içeriğine ulaşamamıştı. Bu amaç için, dosyaları grib formatından txt formatına çeviren programlar kullanılıyordu. Ancak ilgili txt formatlı çıktıların okunması da bir başka ara programın kullanılmasını gerekli kılıyordu. Bundan dolayı grib formatındaki dosyaları okuyan programlar ve numerik kodlar araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar

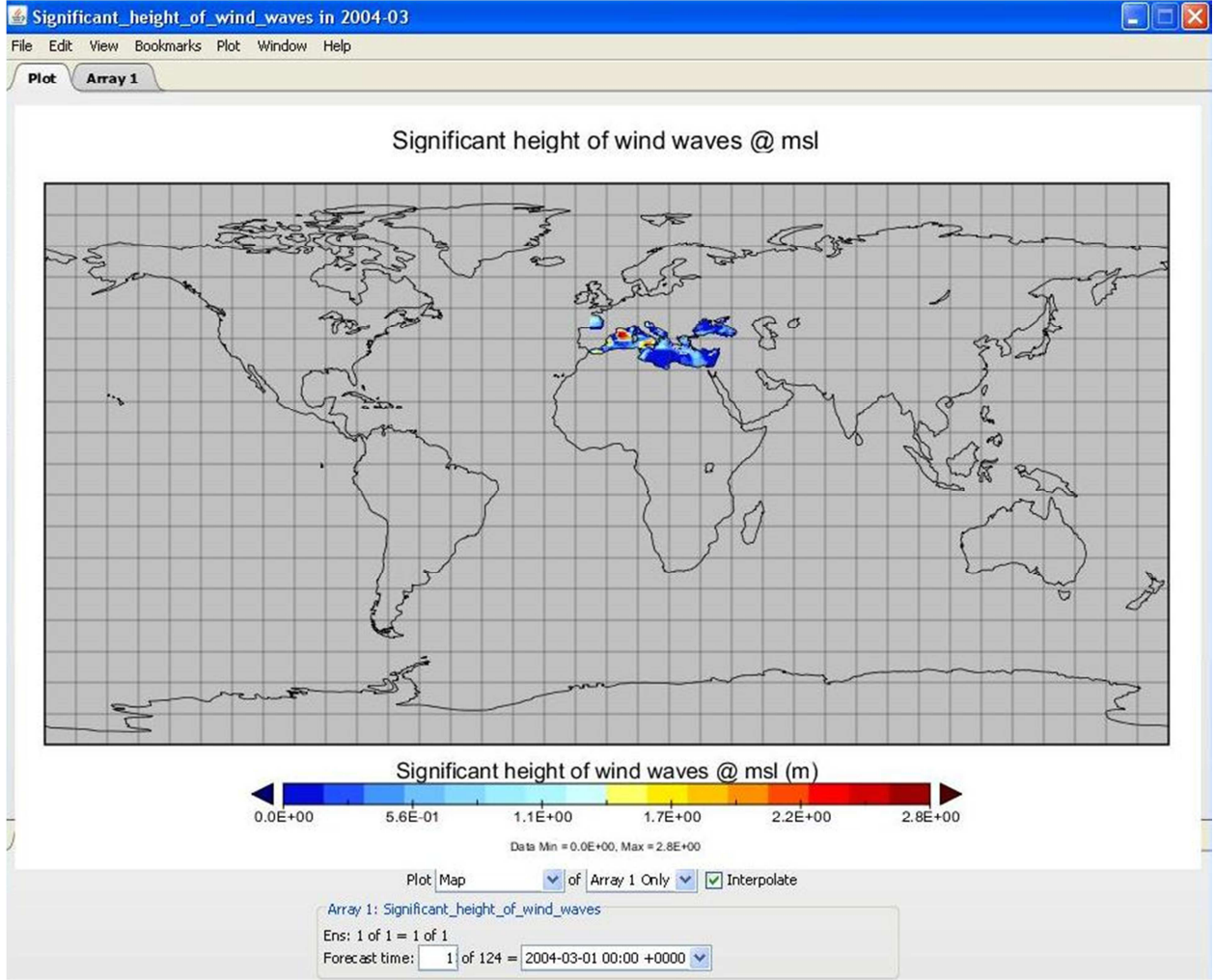
sonucunda NASA tarafından yazılan PanoplyWin programına ve Matlab ortamında yazılmış olan bir başka grib okuyucu numerik koda ulaşılmıştır. Bundan sonraki kısımlarda, PanoplyWin ve Matlab dilinde yazılmış olan grib okuyucu programlar ve numerik kodlar ile ilgili bilgilere yer verilecektir.

2.1.3 PanoplyWin

PanoplyWin, NASA Goddard Institutes for Space Studies, New York, NY, tarafından geliştirilmiş atmosferik verileri içeren grib, NetCDF, HDF formatındaki dosyaları okuyan bir programdır. PanoplyWin, ilgili grib formatlı dosyaları enlem boylamlar dahilinde herhangi bir enlem-boylam kesişimindeki ilgili verinin sonuçlarını okuyan ve gösteren veya ilgili noktada grib dosyasındaki verinin süresi boyunca değişimlerini gösteren görsel amaçlı da yoğun kullanılan bir programdır. Örnek olarak, PanoplyWin programında okutulmuş big grib formatlı veri **Şekil 2.1** ECMWF Operasyonel Arşiv'ine ait Akdeniz Alt Arşiv'inin 2004 yılı 3. ayının (Mart) 1. Günü 0'ıncı saatine ait belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerini gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının PanoplyWin programı ile elde edilen görüntüsel çıktısı **Şekil 2.1**'de görülmektedir. **Şekil 2.1**'de, ECMWF'in Operasyonel Arşiv'ine ait Akdeniz Alt Arşiv'inin kapsadığı alan renkli olarak görülmektedir. 2004 yılının 3. ayının (Mart) 1. Günü 0'ıncı saatindeki belirgin rüzgar dalgası yükseklikleri şekilsel olarak burada görülmektedir. **Şekil 2.2**'de ECMWF'in ERA-Interim Arşiv'ine ait 47.3°N-5.5°W-30.2°N-41.8°E Alt Arşiv'inin kapsadığı alan renkli olarak görülmektedir. 2004 yılının 3. ayının (Mart) 1. Günü 0'ıncı saatindeki belirgin rüzgar dalgası yükseklikleri şekilsel olarak burada görülmektedir.

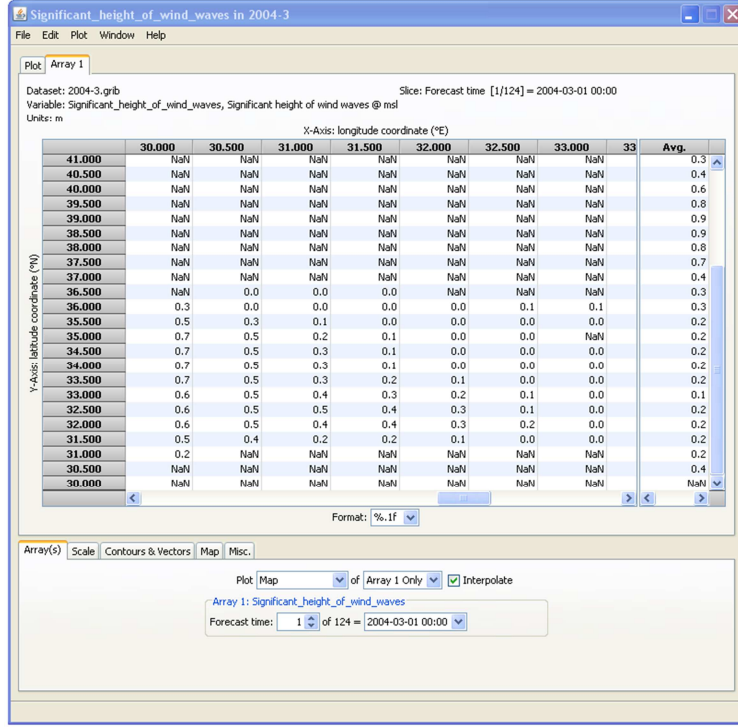


Şekil 2.1 ECMWF Operasyonel Arşiv'ine ait Akdeniz Alt Arşiv'inin 2004 yılı 3. ayının (Mart) 1. Günü 0'ıncı saatine ait belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerini gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının PanoplyWin programı ile elde edilen görüntüsel çıktısı

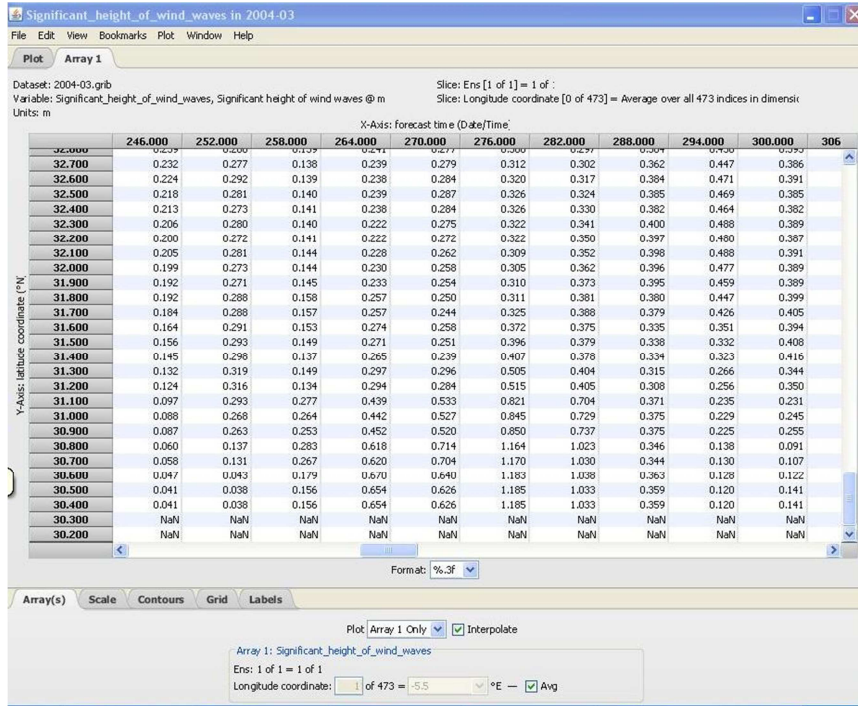


Şekil 2.2 ECMWF ERA-Interim Arşiv'ine ait 47.3°N-5.5°W-30.2°N-41.8°E Alt Arşiv'inin 2004 yılı 3. ayının (Mart) 1. Günü 0'ıncı saatine ait belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerini gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının PanoplyWin programı ile elde edilen görüntüsel çıktısı

Şekil 2.3'te ECMWF'in Operasyonel Arşiv'ine ait Akdeniz Alt Arşiv'indeki 2004 yılının 3. ayının (Mart) 1. Günü 0'ıncı saatindeki belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin enlem ve boylam olarak çıktısı yer almaktadır. **Şekil 2.3**'te "NaN" olarak belirtilen noktalar karaya denk gelen noktalardır. **Şekil 2.4**'te ECMWF'in ERA-Interim Arşiv'ine ait 47.3°N-5.5°W-30.2°N-41.8°E Alt Arşiv'indeki 2004 yılının 3. ayının (Mart) 1. Günü 0'ıncı saatindeki belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin enlem ve boylam olarak çıktısı yer almaktadır. **Şekil 2.4**'te "NaN" olarak belirtilen noktalar karaya denk gelen noktalardır.

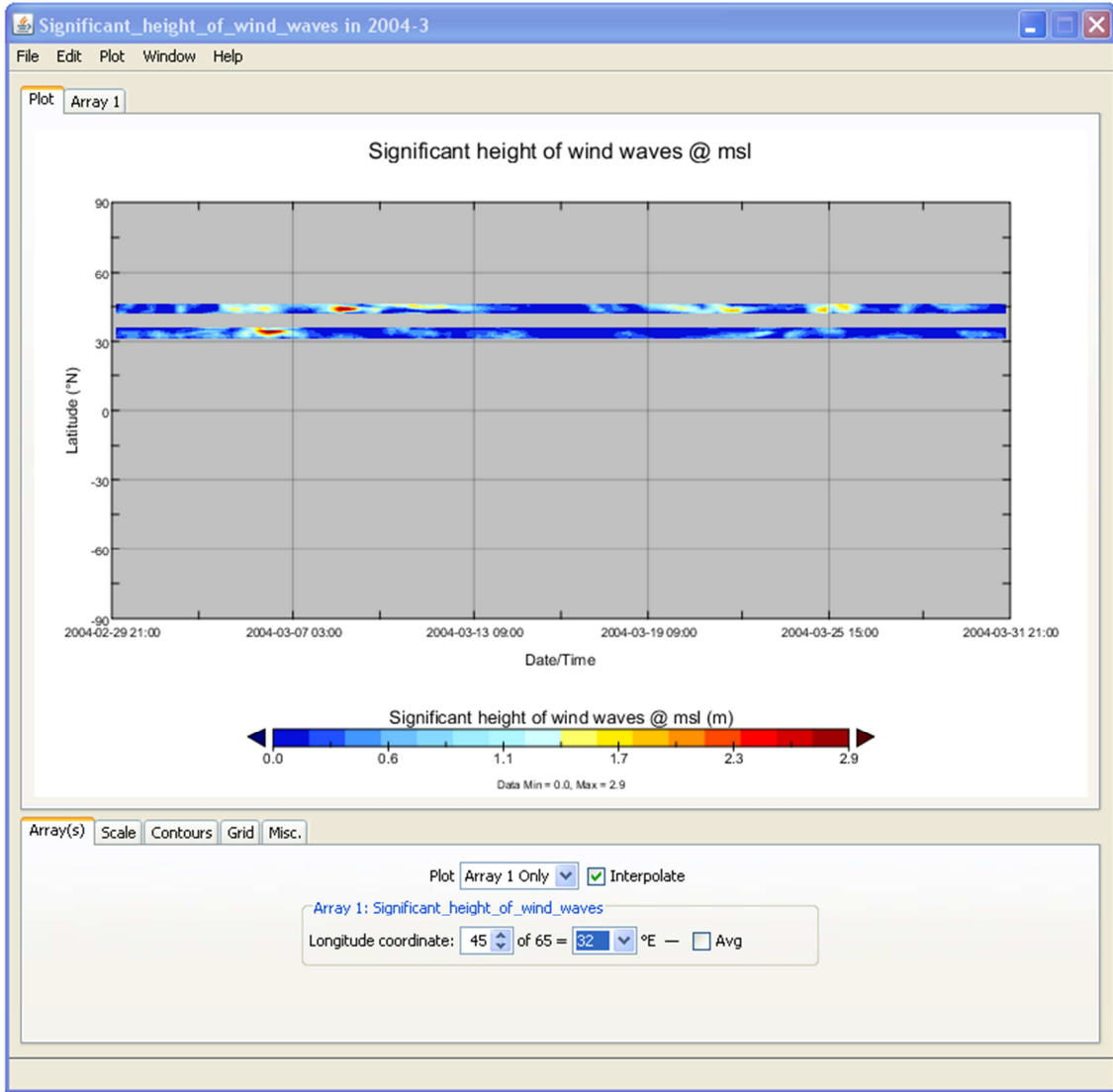


Şekil 2.3. ECMWF Operasyonel Arşiv Akdeniz Alt Arşiv'inin 2004 yılı 3. ayının (Mart) 1. Günü 0'ıncı saatine ait belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin enlem ve boylamlar boyuncaki dökümünü gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının PanoplyWin programı ile elde edilen çıktısı

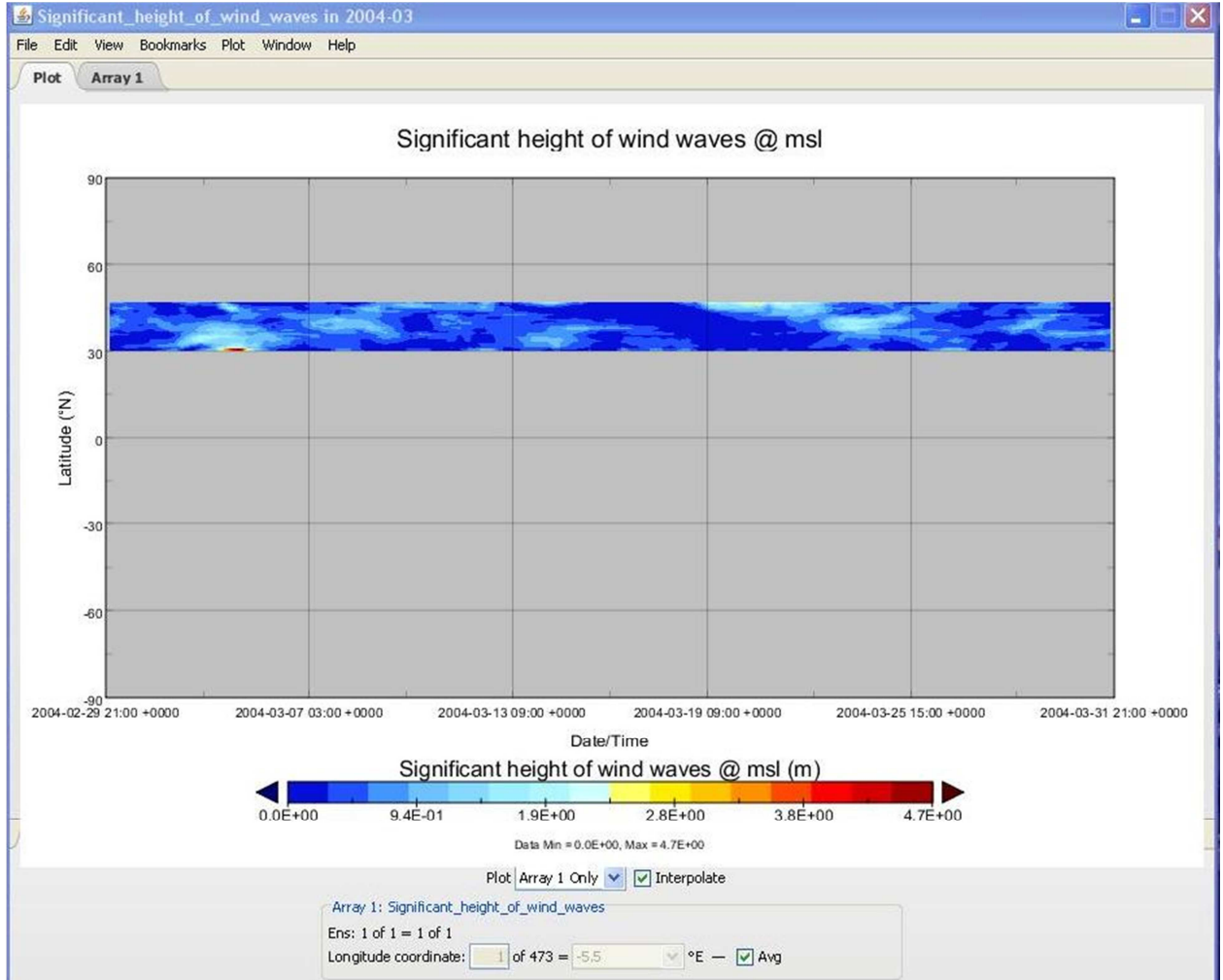


Şekil 2.4. ECMWF ERA-Interim Arşiv 47.3°N-5.5°W-30.2°N-41.8°E Alt Arşiv'inin 2004 yılı 3. ayının (Mart) 1. Günü 0'ıncı saatine ait belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin enlem ve boylamlar boyuncaki dökümünü gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının PanoplyWin programı ile elde edilen çıktısı

Şekil 2.5'te ECMWF'in Operasyonel Arşiv'ine ait Akdeniz Alt Arşiv'inin kapsadığı alana ait 32° E boylamının Akdeniz Alt Arşiv'inin sınırları içerisindeki tüm enlemleri boyunca 2004 yılının 3. ayına (Mart) ait 6 saat aralıklı bütün belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin görüntüsel çıktısı verilmektedir. Enlemler arasında veri görülmeyen yerler karaya denk gelen kısımlardır. **Şekil 2.6**'da ECMWF'in ERA-Interim Arşiv'ine ait 47.3°N-5.5°W-30.2°N-41.8°E Alt Arşiv'inin kapsadığı alana ait 32° E boylamının Akdeniz Alt Arşiv'inin sınırları içerisindeki tüm enlemleri boyunca 2004 yılının 3. ayına (Mart) ait 6 saat aralıklı bütün belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin görüntüsel çıktısı verilmektedir. Enlemler arasında veri görülmeyen yerler karaya denk gelen kısımlardır.



Şekil 2.5. ECMWF, Operasyonel Arşiv'e ait Akdeniz Alt Arşiv'inin kapsadığı alana ait 32° E boylamının Akdeniz Alt Arşiv'inin sınırları içerisindeki tüm enlemleri boyunca 2004 yılının 3. ayına (Mart) ait bütün 6 saat aralıklı belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin dökümünü gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının PanoplyWin programı ile elde edilen görüntüsel çıktısı



Şekil 2.6 ECMWF, ERA-Interim Arşiv 47.3°N-5.5°W-30.2°N-41.8°E Akdeniz Alt Arşiv'inin kapsadığı alana ait 32° E boylamının Akdeniz Alt Arşiv'inin sınırları içerisindeki tüm enlemleri boyunca 2004 yılının 3. ayına (Mart) ait bütün 6 saat aralıklı belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin dökümünü gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının PanoplyWin programı ile elde edilen görüntüsel çıktısı

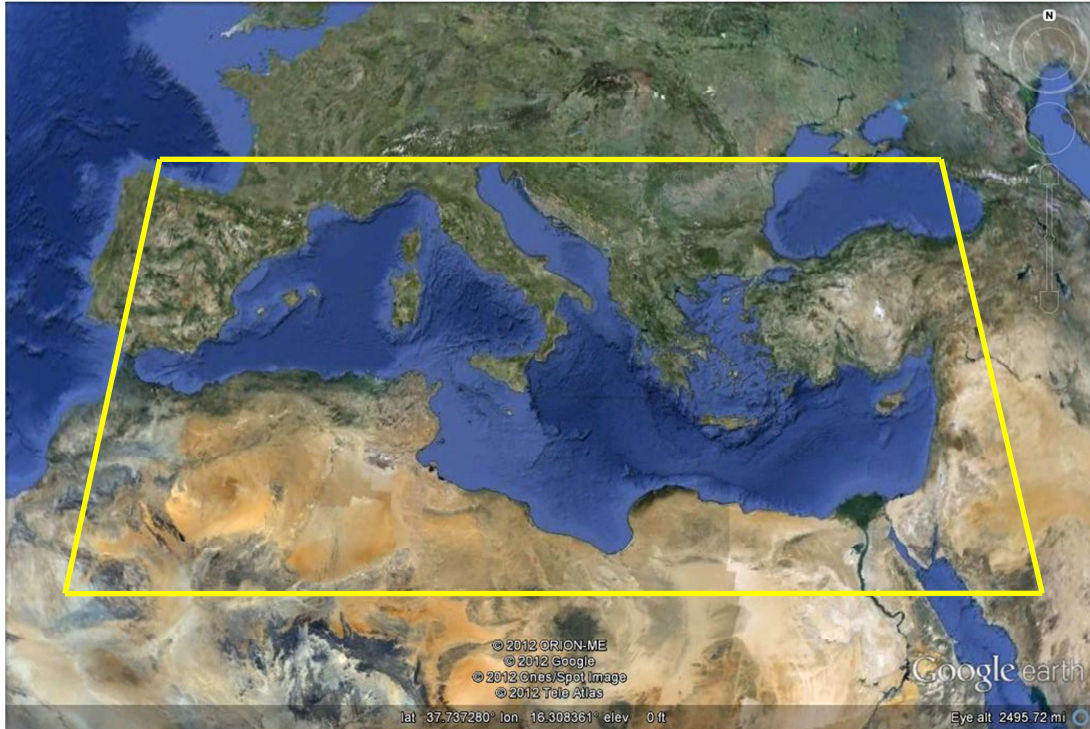
PanoplyWin programının elde bulunan grib formatlı dosyaları nasıl okuduğunu ve ne gibi çıktılar sunduğu **Şekil 2.1-Şekil 2.6**'da gösterilmiştir. Yapılan çalışmalarda PanoplyWin'in kısmen yavaş çalışan bir program olduğu ve görsel amaçlı bir program olarak yazılmış olmasından dolayı PanoplyWin'den okunacak grib dosyalarının verilerinin karşılaştırmalarda, doğrulamalarda veya okunamamış eksik verilerin okunabilmesi amacıyla kullanılmasının daha doğru olacağı öngörülmüştür. Bundan dolayı kullanım açısından daha uygun ve hızlı olacağı öngörülen Matlab dilinde yazılmış grib okuma numerik kodunun kullanılması daha uygun olacağı öngörülmüştür.

2.1.4 Matlab Numerik Kodu

Grib formatındaki verilerin okunabilmesi için yapılan araştırmalarda, Matlab kodunda yazılmış "grib_read.m" adında açık bir Matlab numerik koduna ulaşılmıştır. İlgili Matlab numerik kodu kullanılarak verinin sınırlarına enlem ve boylam olarak bakılmış ve PanoplyWin'de belirtilen sınırlarla karşılaştırılmıştır. Matlab kodunun sınırlarının PanoplyWin'in okuduğu sınırlarla aynı olduğu görülmüştür (**Şekil 2.7** ve **Şekil 2.8**).



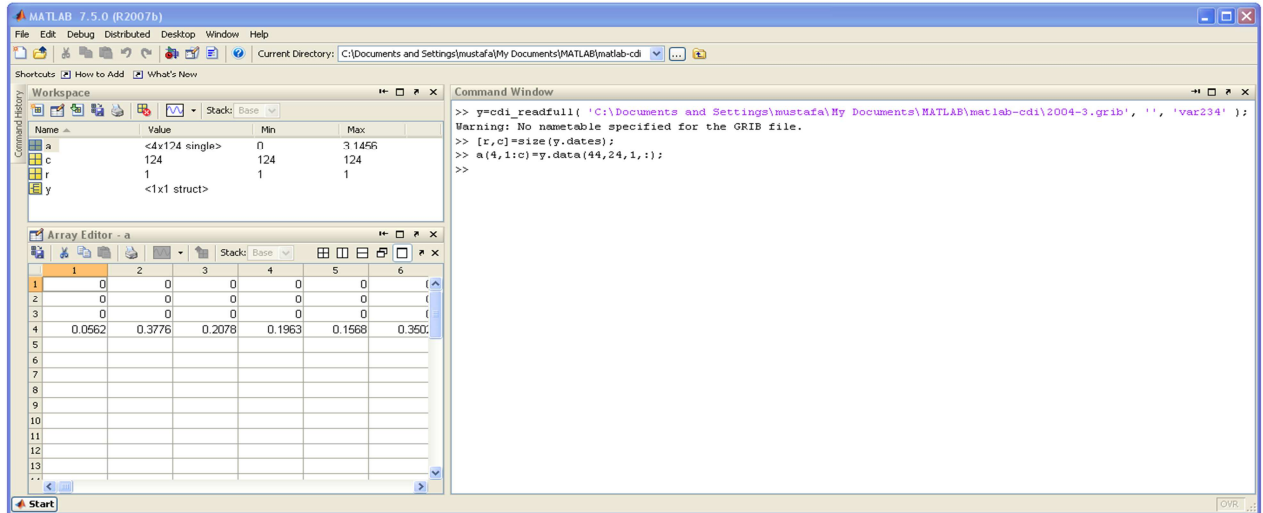
Şekil 2.7 ECMWF, Operasyonel Arşiv'e ait Akdeniz Alt Arşiv'inin kapsadığı alanın GoogleEarth'te gösterilen yaklaşık sınırları



Şekil 2.8 ECMWF, ERA-Interim Arşiv 47.3°N-5.5°W-30.2°N-41.8°E Akdeniz Alt Arşiv'inin kapsadığı alanın GoogleEarth'te gösterilen yaklaşık sınırları

Matlab numerik kodu ile da okunan ECMWF Operasyonel Arşiv'e ait grib formatındaki dosyanın 65 x 33 veriden oluştuğu görülmüştür. Ancak Matlab numerik kodu ile gerçekleştirilen çalışmalarda, belirli bir enlem ve boylamdaki verinin, PanoplyWin'deki aynı eylem ve boylamdaki veriyle herhangi bir enlem boyunca verilerin aynadaki simetriğine göre eşit oldukları görülmüştür. Örnek olarak PanoplyWin'de okunan 33°E-20°N enlem ve boylamlarına ait bir verinin aynısı Matlab numerik koduyla 33°E-14°N enlem ve boylamlarında okunmaktadır. Bu da ilgili veri arşivi sınırlarının 33 enlemi kapsamından dolayı enlem boyunca Matlab numerik kodunun okuduğu haritanın PanoplyWin'in okuduğu haritanın belirli bir enlem ekseninde aynadaki simetriği olduğunu göstermektedir. Benzer bir durum ECMWF ERA-Interim Arşiv'ine ait grib formatındaki dosyalarda da (174 x 124) görülmüştür.

Grib dosyalarını, araştırmalar sonucu bulunan Matlab numerik kodu ile okuduktan sonra elde edilen verilerin toplanmasının ve işlenmesinin de uzun süreceği görülmüştür. Dolayısıyla açık haldeki Matlab numerik kodundan belirli komutlar alınarak, çeşitli değişiklikler yapılarak ve yeni komutlar eklenerek "Grib_Oku.m" adı altında daha kısa ve hızlı bir program yazılmıştır. "Grib_Oku.m" Matlab numerik koduna ait komutların Matlab'daki kullanımı ve **Şekil 2.1.-Şekil 2.4.**'te gösterildiği gibi 2004 yılının 3. ayına (Mart) ait 44°E-24°N enlem ve boylamındaki 6 saat aralıklı bütün belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin dökümü **Şekil 2.9**'da gösterilmektedir. **Şekil 2.9**'da sağ taraf Matlab'da ilgili komutların yazıldığı kısım, sol üstteki kısım elde edilen ve girdi olarak verilen değerlerin yazıldıkları dosyaları ve sol alttaki de belirtilen enleme ve boylama ait ilgili tarih içindeki 6 saat aralıklı bütün belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin yazıldığı dosyayı göstermektedir. **Şekil 2.9**'daki komutların ard arda komut ekranına yazılmasıyla, bir boyunca herhangi bir eylem ve boylam kesişimindeki veri bütünü elde edilebilmektedir.



Şekil 2.9 ECMWF, Operasyonel Arşiv'e ait Akdeniz Alt Arşiv'indeki 2004 yılının 3. ayına (Mart) ait bütün belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin Akdeniz Alt Arşiv'inin sınırları içerisindeki 44°E-24°N enlemi ve boylamındaki 6 saat aralıklı bütün belirgin rüzgar dalgası yüksekliklerinin dökümünü gösteren grib formatındaki tahmin verisi sonuçlarının "Grib_Oku.m" Matlab kodu ile elde edilen çıktısı ve ilgili ekran

“Grib_Oku.m” Matlab numerik kodu ile ECMWF’e ait herhangi bir veri seti istenilen formatta çekilebilmektedir. Ancak bu verilerin ileride gerçekleştirilecek çalışmalarda kullanılabilmesi için 6 saat aralıklı veriden saatlik veri elde edilmesi gereklidir. Bu amaçla aşağıdaki bölümde detayları verilen çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2.1.5 ECMWF 6 Saatlik Rüzgar Verilerinden Saatlik Veri Elde Edilmesi

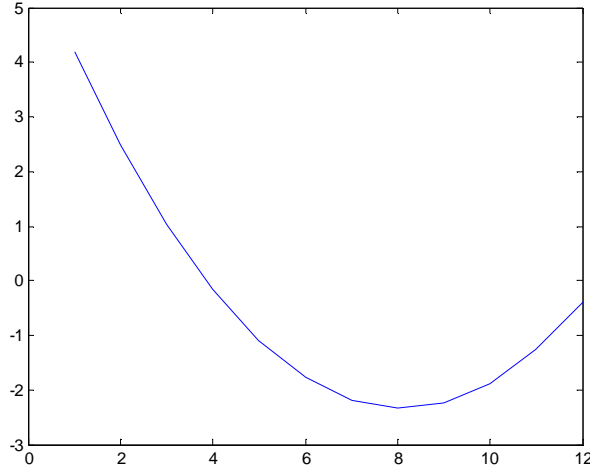
Bu aşamada, ECMWF’den elde edilen grib formatındaki verilerle ilgili belirtilmesi gereken nokta yukarıdaki kısımlara ait açıklamalarda belirtildiği gibi, ECMWF rüzgar verilerinin 6 saat aralıklı olmasıdır. 6 saat aralıklı ECMWF rüzgar verilerinden fırtına dalgalarının elde edilmesi çok zordur. Bunun nedeni 6 saat aralıklı rüzgar verilerinin, bazı fırtınaların kaçırılmasına, fırtına sürelerinin veya kuvvetlerinin daha düşük elde edilmesine sebep olabileceğidir. Bundan dolayı ECMWF rüzgar verilerinin belirlenecek uygun bir yöntemle 6 saat aralıklı mevcut durumlarından, 1 saat aralıklı kullanılabilir bir formata dönüştürülmeleri gereklidir.

ECMWF dalga tahminleri için böyle bir durum geçerli olamamaktadır. Bunun bir nedeni, ECMWF’in de kendi rüzgar verilerini kullanarak, yine kendi numerik modelleriyle dalga analizlerini yapmasıdır. Dolayısıyla ECMWF de benzer bir yaklaşım uygulamaktadır. Bundan dolayı ECMWF dalga verileri yerine, ECMWF rüzgar verilerinin 6 saatlik aralıklardan 1 saatlik aralıklara indirilmesinin daha uygun olacağı öngörülmüştür.

Bu kapsamda, ECMWF 6 saat aralıklı deniz seviyesinden 10 metre yükseklikteki rüzgar verilerinin (U ve V bileşenleri), “Grib_Oku.m” Matlab numerik kodu ile elde edilerek dökümünün çıkarılması ve bu dökümden bir başka numerik model ile saatlik rüzgar verilerin elde edilmesi uygun görülmüştür. Bu amaçla yine Matlab diliyle yeni bir numerik model yazılmıştır. Bu numerik model, “6hr_to_1hr.m”, deniz seviyesinden 10 metre yükseklikteki rüzgar hızlarının 6 saat aralıklı U ve V bileşenlerini, her üç ardışık bileşenin belirli bir eğriye oturtulması ve elde edilen grafiğin denklemlerinin çözülerek ara değerlerin elde edilmesi sistemine dayanmaktadır. Örnek olarak 6 saat aralıklı üç veriyi içeren bir veri topluluğunda, veriler arasında belirtilen yöntemle atılan değerleri içeren **Tablo 2-1** aşağıda verilmektedir. **Şekil 2.10**’da ise bu yöntemin görsel çıktısı gösterilmektedir.

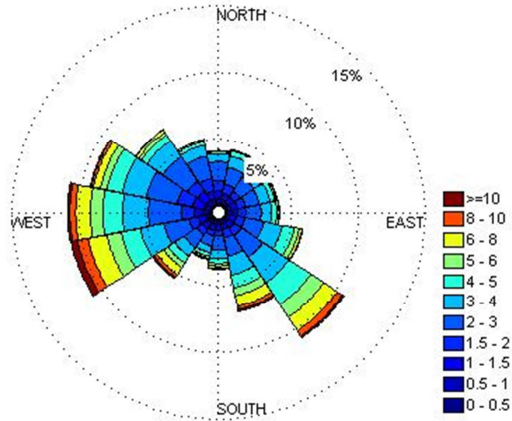
Tablo 2-1 6 Saat Aralıklı Veriler ve Eğri Atama Yöntemi İle Elde Edilen 1 Saat Aralıklı Veriler

Saat	6 Saat Aralıklı Veriler	1 Saat Aralıklı Veriler
1	4.203	4.203
2		2.492
3		1.040
4		-0.154
5		-1.089
6	-1.765	-1.765
7		-2.183
8		-2.342
9		-2.243
10		-1.885
11		-1.268
12	-0.393	-0.393

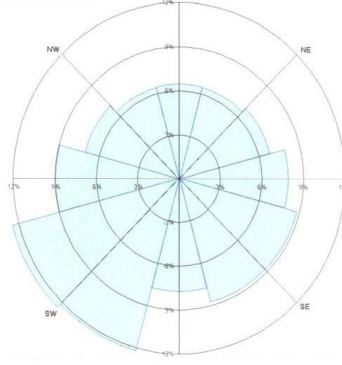


Şekil 2.10 6 Saatlik Verilerden 1 Saatlik Veri Elde Etme Yaklaşımına Dayanan Yöntemle Elde Edilen Eğri

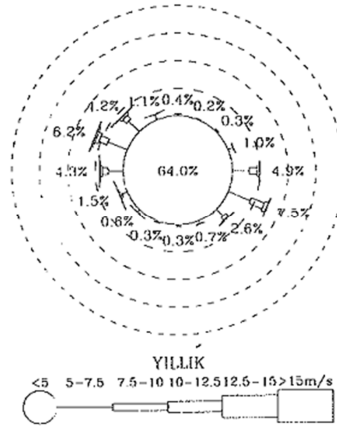
Yukarıda değinilen yöntemle elde edilen saatlik rüzgar verilerinden, rüzgar yönleri de bulunarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların amacı bu yöntemle elde edilen dalga verilerini ve özelliklerini daha önce literatürde yer alan çalışmaların neticeleriyle karşılaştırmaktır. Örnek bir çalışma, Doğu Karadeniz yöresi (Hopa açıkları, 42.00°N-41.00°E) için gerçekleştirilmiştir. Eldeki 6 saat aralıklı ECMWF rüzgar verileri kullanılarak, yukarıdaki yöntemle saatlik rüzgar verileri elde edilmiştir ve öncelikli olarak, elde edilen saatlik rüzgar verileri kullanılarak yıllık rüzgar gülleri çizimleri gerçekleştirilmiştir. **Şekil 2.11**'de ECMWF verilerinden elde edilen yıllık rüzgar gülü görülmektedir. **Şekil 2.12**'de UK Meteoroloji Ofisi tarafından yöre için elde edilen yıllık rüzgar gülü görülmektedir. **Şekil 2.13**'te Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'nda belirtilen koordinatlara en yakın koordinatlar olan 41.75°N-41.00°E için elde edilen yıllık rüzgar gülü görülmektedir.



Şekil 2.11 6 Saatlik Verilerden 1 Saatlik Veri Elde Etme Yaklaşımıyla Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü



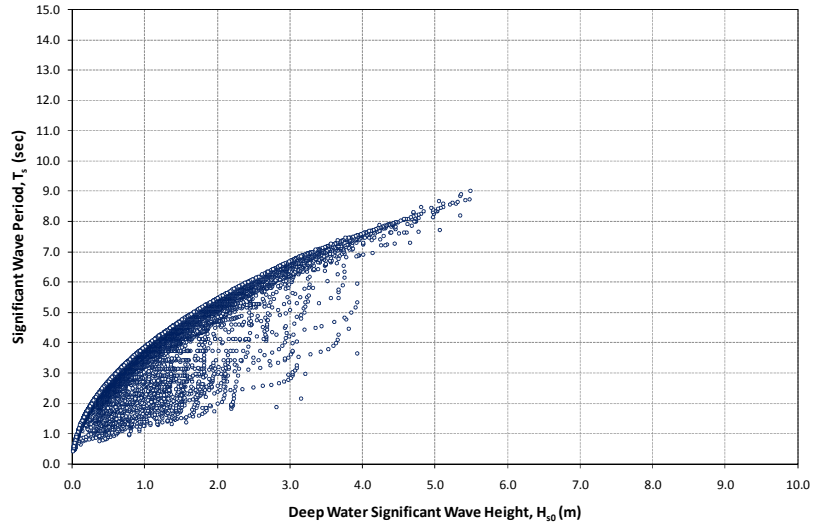
Şekil 2.12 UK Meteoroloji Ofisi Tarafından Daha Önce Yöre İçin Yapılmış Bir Çalışmada Elde Edilmiş Yıllık Rüzgar Gülü



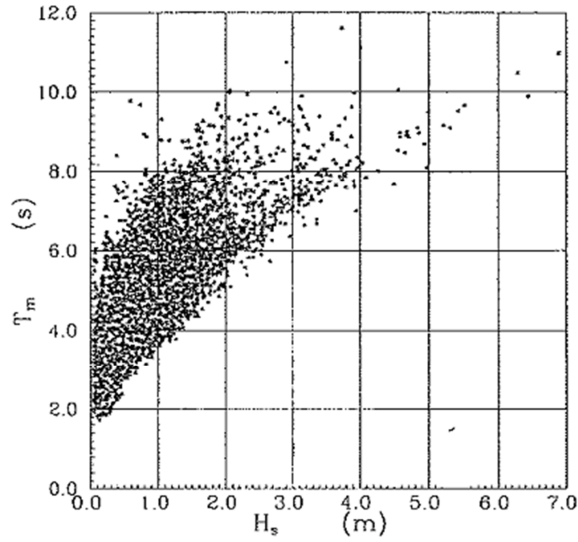
Şekil 2.13 Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'nda 41.75°N-41.00°E koordinatları için elde edilen yıllık rüzgar gülü

Şekil 2.11-Şekil 2.13 incelendiğinde özellikle etkin rüzgar yönleri olarak nitelendirilebilecek olan WSW, W, WNW ve SE yönlerinden esen rüzgar hızları bakımından yaklaşık olarak benzerlik görülmektedir. Fakat sadece bu çalışmadan yola çıkılarak tüm Karadeniz veya Türkiye kıyıları hakkında benzer bir çıkarım yapılmamalıdır. Daha uygun ve daha doğru neticelerin alınabilmesi için benzer çalışmaların başka araştırmalar kapsamında da Türkiye kıyıları boyunca yapılması gereklidir.

Rüzgar gülleriyle yapılan karşılaştırmaların dışında yukarıda belirtilen yöntemle (6 saatlik verilerden 1 saatlik verilerin elde edilmesi) elde edilen saatlik rüzgar verileri arasından fırtınalar seçilmiştir. Seçilen fırtınalar, W61 adındaki Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi'nde geliştirilmiş Fortan programlama dilindeki numerik model kullanılarak işlenmiştir. Numerik modellerle işlenmesi sonucu elde edilen fırtınaların karakteristik özelliklerini en iyi anlatan verilerden dalga dikliği ve 50 ve 100 yıllık en büyük değer belirgin dalga yüksekliği verileri karşılaştırılmaları yapılmıştır. **Şekil 2.14** ve **Şekil 2.15**'te, sırasıyla belirtilen yöntemle bulunan dalga dikliği grafikleri ve Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'nda 41.75°N-41.00°E koordinatlarındaki dalga dikliği verilmiştir. **Şekil 2.16** ve **Şekil 2.17**'de, sırasıyla belirtilen yöntemle bulunan 50 ve 100 yıllık en büyük değer belirgin dalga yüksekliği verilerini gösteren grafik ve Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'nda 41.75°N-41.00°E koordinatlarındaki 50 ve 100 yıllık en büyük değer belirgin dalga yüksekliği verilerini gösteren grafik verilmiştir.

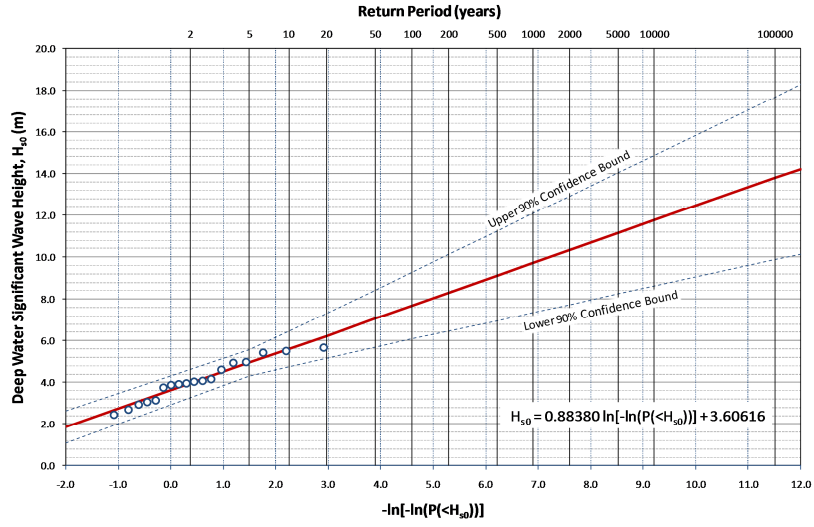


Şekil 2.14 Derin deniz belirgin dalga periyotları vs derin deniz belirgin dalga yükseklikleri grafiği (ECMWF)

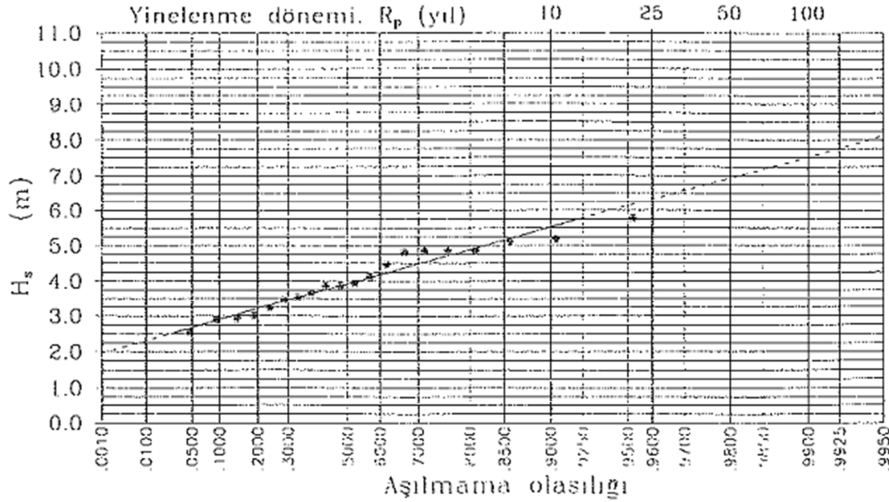


Şekil 2.15 Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'nda 41.75°N 41°E koordinatları için elde edilen derin deniz ortalama dalga periyotları vs derin deniz belirgin dalga yükseklikleri grafiği

Şekil 2.14 elde edilirken derin deniz belirgin dalga periyotları ve **Şekil 2.15** elde edilirken derin deniz ortalama dalga periyotları kullanılmıştır. Dolayısıyla bu iki şekille alakalı tüm karşılaştırmalarda bu durum göz önüne alınmalıdır. Ancak ileride yapılacak benzer çalışmalar veya araştırmalar sırasında yine aynı işlemler yapılacağından dolayı her iki şekil ve veri arasında belirli bir bağlantı bulunması beklenmektedir. Bunun için literatürde bulunan, T_s ve T_m arasındaki ilişkiyi belirten bağıntılar kullanılabilir ($T_s \approx 1.2 \cdot T_m$; Goda, 2000).



Şekil 2.16 Yıllık en büyük değer dalga yüksekliklerinin en büyük değerler istatistiği (ECMWF)



Şekil 2.17 Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'nda 41.75°N-41.00°E koordinatları için elde edilen yıllık en büyük değer dalga yüksekliklerinin en büyük değerler istatistiği

Şekil 2.16 ve **Şekil 2.17** incelendiğinde 50 ve 100 yıllık yinelenme dönemleri için elde edilen derin deniz belirgin dalga yüksekliklerinin birbiriyle tutarlı değerler oldukları görülmektedir. Ancak daha önce de değinildiği gibi benzer karşılaştırmaların ve çalışmaların daha uygun ve doğru neticelerin alınabilmesi için başka araştırmalar kapsamında da Türkiye kıyıları boyunca seçilmiş kıyı alanlarında yapılması gereklidir.

2.2 LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Literatür çalışması kısmında, ECMWF verileri ile ilgili gerçekleştirilmiş uluslararası yayınlar incelenmiştir. Literatür taraması sırasında, bir önceki kısımda belirtilen ECMWF verilerinin doğruluğu, hassasiyeti ve modifikasyonu ile ilgili geçmişte yapılmış herhangi bir çalışmanın olup olmadığı araştırılmıştır.

ECMWF tekrar analiz sonuçlarının kalibre edilmeden kullanılmaması gerektiği yapılan literatür taraması sonucunda pek çok bilimsel makalede görülmüştür. Bu kapsamda, özellikle kapalı ve yarı kapalı denizlerde yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Yarı kapalı ve kapalı denizlerin incelenmesinin ana nedeni, Türkiye'yi çevreleyen denizlerin de kapalı (Marmara ve Karadeniz) ve yarı kapalı (Doğu Akdeniz ve Ege) olmalarından ötürüdür. Akdeniz ise diğer denizlerimize göre daha büyük olmakla beraber literatürdeki çalışmalarda kapalı bir deniz olarak ele alınmaktadır. Karadeniz ise Marmara Denizi'nden farklı olarak yüzey alanı olarak daha geniş olmasında ötürü Marmara Denizi'ne nazaran ECMWF tahmin verileri açısından daha şanslıdır.

İncelenen makalelerde, ECMWF tahmin ve analiz sonuçları arasından, rüzgar hızlarının ve özellikle dalga yüksekliklerinin yerinde yapılan ölçümlerle karşılaştırıldıklarında daha düşük oldukları görülmüştür (Ardhuin et al. 2006, Bertotti & Cavaleri 2006, Caires & Sterl 2002, Cavaleri 2005, Cavaleri & Bertotti 1996, Cavaleri & Bertotti 2003, Cavaleri & Bertotti 2004, Cavaleri & Bertotti 2006, Cavaleri & Sclavo 2005, Cavaleri & Sclavo 2006, Christopoulos 1997, Lavagnini et al. 2006, Signell et al. 2005). İlgili makalelerin büyük çoğunluğunda, yerinde gerçekleştirilen ölçümler, ECMWF tahminleri ve analizleri ile karşılaştırılmıştır. Bu nedenle proje kapsamında geliştirilen numerik modellerde, ECMWF tahmin ve analiz sonuçlarının kullanılabilmesi için benzer karşılaştırmaların ve karşılaştırmalardan elde edilecek katsayılarla ECMWF verilerinin modife edilmesinin gerekli olduğu anlaşılmıştır.

Bu amaçla, Türkiye kıyılarında yapılan yerinde gerçekleştirilen dalga ölçümlerinin yoğunluğu ve süresi araştırılmıştır. İlk olarak, deniz ölçümleri ile uğraşan özel bir şirket ile görüşülmüştür. Elde edilen bilgiye göre Ceyhan yöresinde 2008 yılı sonu ile 2009 yılı başlangıçları arasında (14.12.2008 – 10.01.2009) yaklaşık bir aylık bir dalga ölçüm verisinin bulunduğu görülmüştür. Bu veriler akademik amaçlı kullanılmak amacıyla tarafımıza verilmiştir. İlgili veriler belirgin dalga yüksekliği, maksimum dalga yüksekliği, ortalama dalga periyodu, en yüksek dalga periyodu, dalga enerjisi ve dalga dikliği bilgilerini içermektedir. Yukarıda belirtilen verilere ek olarak, DLH'nın ilgili birimlerinin yaptığı, çeşitli süreleri içeren değişik lokasyonlara ait dalga ölçümleri de bulunmaktadır. Bu ölçümler çoğunlukla İstanbul ilinin Karadeniz sahillerinde yapılmıştır. İlgili veriler akademik amaçlı kullanım amacıyla tarafımıza iletilmiştir. Ancak yukarıda değinilen tüm yerinde ölçüm verileri, ilgili ölçümlerin güvenilirliğinin bilinmemesinden ve genellikle kısa süreleri içermelerinden ötürü kullanılamamıştır.

Eldeki yerinde gerçekleştirilen dalga ölçümlerinin yanı sıra, Karaburun'da gerçekleştirilen yerinde rüzgar ölçümleri de bulunmaktadır. Ancak alınan bilgiler dahilinde rüzgar ölçümlerinde kullanılan rüzgar ölçüm cihazının, deniz fenerinin tepesine yalnızca kuzeyli yönlerden esen rüzgarları alabilecek şekilde yerleştirilmiştir. Dolayısıyla, yerinde rüzgar ölçümü verileri de modifikasyon için kullanılamamıştır.

Yukarıdaki paragraflarda verilen bilgiler dahilinde ECMWF ve DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu verilerinin karşılaştırılabileceği ve kullanılacak özelliklere sahip (ölçüm süresi, güvenilirliği, vs.) herhangi bir yerinde ölçüm verisine ulaşılamamıştır. Dolayısıyla, modifikasyon amaçlı karşılaştırmalar için, geçmişte Türkiye kıyıları için yapılan çeşitli çalışmalardan yararlanılması düşünülmüştür. Bu amaçla Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 1999) kaynak olarak seçilmiştir. Dalga Atlası, NATO-TU wave projesi kapsamında

gerçekleştirilen yerinde ölçümlerin ve kısa süreyi içeren ECMWF verilerinin kullanılması ile gerçekleştirilmiş çalışmalar neticesinde oluşturulmuş bir kaynaktır. Yerinde gerçekleştirilen ölçümler dalga ölçümlerini içermektedir ve Karadeniz'de ve Akdeniz'de 2'şer noktada ve Ege'de 1 noktada gerçekleştirilmiştir. İlgili ölçümlere günümüzde yalnızca grafiksel olarak ulaşılabilmektedir.

Bu proje kapsamında gerçekleştirilen karşılaştırmalarda, yukarıdaki paragraflarda belirtilen nedenlerden ötürü, yalnızca rüzgar verilerinin kullanılmasında karar kılınmıştır. Bu kararın bir diğer nedeni de, ECMWF'in, dalga yüksekliklerini, rüzgar hızlarına göre çok daha düşük tahmin etmesidir. Bunun ana nedeni dalga tahminlerinde rüzgar verilerinin girdi olarak kullanılmasıdır. Literatür çalışmaları neticesinde ortaya çıkan diğer nedenler ise kapalı veya yarı kapalı denizlerin dalgaların ve rüzgarların gelişebilmesi için yeterli alana sahip olmamaları, kıyıya yakın kara batimetrisinin yol açtığı sınırsal engellerin rüzgar ikliminin yansıtılmasında sorunlara yol açması, kapalı ve yarı kapalı denizlerdeki adaların engeller ortaya çıkarmaları gibi daha ziyade numeric modeldeki batimetri ve çözünürlük kaynaklı sorunlardır. Dolayısıyla, öncelikli hedefin, rüzgar verilerinin modife edilmesi olması gerektiği öngörülmüştür. Böylece modife edilmiş rüzgar verisi ile doğru dalga tahmini yapılabilmesi de sağlanabilecektir. Bu amaçla bir sonraki bölümde detayları verilen karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir.

2.2.1 Karşılaştırmalar

Proje kapsamında, sırasıyla aşağıdaki karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir

- i. DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu rüzgar ölçüm verileri ile ECMWF rüzgar verilerinin karşılaştırılması
- ii. DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu rüzgar ölçüm verileri ile Dalga Atlası rüzgar verilerinin karşılaştırılması
- iii. ECMWF Operasyonel Arşiv rüzgar verileri ile ECMWF ERA-Interim rüzgar verilerinin karşılaştırılması
- iv. ECMWF Operasyonel Arşiv ve ERA-Interim rüzgar verileri ile Dalga Atlası rüzgar verilerinin karşılaştırılması

Yukarıda sıralanan karşılaştırmalarda, öncelikle rüzgar yönlerinin ve rüzgar güllerinin mukayeseleri yapılmıştır. Daha sonra da rüzgar hızları kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

2.2.1.1 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Rüzgar Ölçüm Verileri ile ECMWF Rüzgar Verilerinin Karşılaştırılması

Rüzgar verileri ile gerçekleştirilen karşılaştırmaların ilki, DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu rüzgar ölçüm verileri ile ECMWF rüzgar verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. **Tablo 2-2'**de Türkiye kıyıları çevresindeki tüm DMİGM kıyı meteoroloji istasyonlarının koordinatları, kotları ve adları detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 2-2 DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonlarına Ait Detaylar

Meteoroloji İstasyonu	Koordinat	Kot (m)	Meteoroloji İstasyonu	Koordinat	Kot (m)
Kumluca	3623N-3017E	60	Zonguldak	4127N-3148E	135.35
Kas	3612N-2939E	153.39	İnebolu	4159N-3347E	63.82
Finike	3618N-3009E	2.02	Bozkurt	4157N-3401E	167
Kemer	3636N-3034E	10	Catalzeytin	4157N-3413E	75
Antalya	3652N-3042E	47.328	Eregli	4116N-3125E	191
Manavgat	3647N-3126E	38	Sinop	4202N-3510E	32
Alanya	3633N-3200E	5.88	Samsun	4121N-3615E	4
Gazipasa	3616N-3219E	21	Unye	4108N-3717E	20
Anamur	3605N-3250E	3.94	Ordu	4055N-3823E	38
Silifke	3623N-3356E	15.01	Giresun	4059N-3754E	4.13
Mersin	3648N-3438E	3.4	Akcaabat	4101N-3933E	6
Karatas	3634N-3523E	22	Trabzon	4059N-3945E	30
Yumurtalık	3646N-3547E	27	Trabzon Meydan	4059N-3945E	38.83
İskenderun	3635N-3610E	3.59	Rize	4102N-4030E	8.6
Alata-Erdemli	3637N-3418E	9	Hopa	4124N-4125E	32.56
Antalya-Meydan	3642N-3044E	63.572	Karasu	4106N-3042E	40
Kale-Demre	3615N-2959E	25	Pazar-Rize	4110N-405357E	79
Samandag	3605N-3558E	4	Cide	4153N-3300E	36
Dortyol	3651N-3613E	28	Alacam-Samsun	4137N-3536E	50
Marmaris	3651N-2815E	16.19	Alaplı	4110N-3123E	30
Dalaman	3645N-2847E	13	Carsamba Meydan	4115N-3633E	6.9
Fethiye	3637N-2907E	3	Bozcaada	3950N-2604E	30
Dalaman Meydan	3642N-2847E	5	Gokceada	4011N-2554E	79
Kirecburnu	4109N-2903E	58.54	Edremit	3936N-2701E	20.66
Florya	4059N-2847E	37.2	Edremit K.M.	3934N-2701E	18.95
Erdek	4024N-2748E	2	Ayvalık	3919N-2642E	3.55
Mudanya	4023N-2853E	13	Foca	3840N-2645E	10
Lapseki	4021N-2641E	25	Aliağa	3848N-2658E	27
Bandırma	4019N-2759E	63	Dikili	3904N-2653E	3.4
Bandırma Meydan	4019N-2758E	42	İzmir	3823N-2704E	28.55
Çınarcık	4039N-2907E	16.25	Çeşme	3818N-2618E	5
Çanakkale	4008N-2624N	5.5	Seferihisar	3812N-2651E	22
Çanakkale Meydan	4008N-2625N	8	Kuşadası	3752N-2715E	25
Tekirdağ	4059N-2730E	3.6	Didim	3721N-2715E	44
Yalova Meydan	4041N-2923E	12.637	Milas	3719N-2747E	52
Yalova	4040N-2917E	3.81	Bodrum	3703N-2726E	26.47
Gemlik	4026N-2909E	10	Datca	3642N-2740E	28
Gölcük	4044N-2948E	18.4	Bodrum Milas Meydan	3714N-2740E	11
Gebze	4048N-2926E	130	İmsik-Bodrum	3708N-2740E	59.6
Göztepe İstanbul Bölge	4058N-2905E	32.98	Kaklıc-İzmir	3832N-2659E	5
Kocaeli-İzmit	4046N-2956E	76	Burhaniye	3930N-2658E	20
Kumköy-Kilyos	4115N-2902E	38.18	Bornova	3828N-2713E	27
Şile	4110N-2936E	83	Cigli Meydan - İzmir	3831N-2701E	5.07
Akcakoca	4105N-3110E	10	Mordogan	3831N-2636E	56
Amasra	4145N-3223E	73	Zonguldak	4127N-3148E	135.35

Tablo 2-2'de belirtilen kıyı meteoroloji istasyonlarının yerleri Şekil 2.18'de gösterilmektedir.



Şekil 2.18 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonlarının Lokasyonları

Tablo 2-2'de verilen bilgiler dahilinde deniz seviyesinden itibaren kotları 20 metreyi geçmeyen (0-20 metre arasında) bütün kıyı meteoroloji istasyonlarının verileri karşılaştırmalarda kullanılmıştır. İlgili meteoroloji istasyonları Tablo 2-2'de kırmızı ile yazılmıştır. Bu istasyonların belirlenme koşulları aşağıdaki maddelerde sıralanmıştır.

- Karşılaştırmalarda, deniz seviyesinden 20 metreye kadar olan (0-20 metre) kıyı meteoroloji istasyonları kullanılmıştır. Bunun nedeni ECMWF model çıktılarının ve kıyı meteoroloji istasyonları ölçümlerinin farklı ortamlarda (ECMWF numerik model sonuçlarının denizde, kıyı meteoroloji istasyonları ölçümlerinin karada) elde edilmiş olmalarıdır. Karadaki rüzgar hızı ölçüm verilerinin deniz üzerine taşınması gerekmektedir. Bunun için Hsu (1980) formülü kullanılacaktır (**Denklem 2-1**). Hsu'nun gerçekleştirdiği çalışma sonucu elde ettiği empirik formül, 20 metreden daha düşük olan meteorolojik ölçümlerin kara-deniz dönüşümü için kullanılabilir.

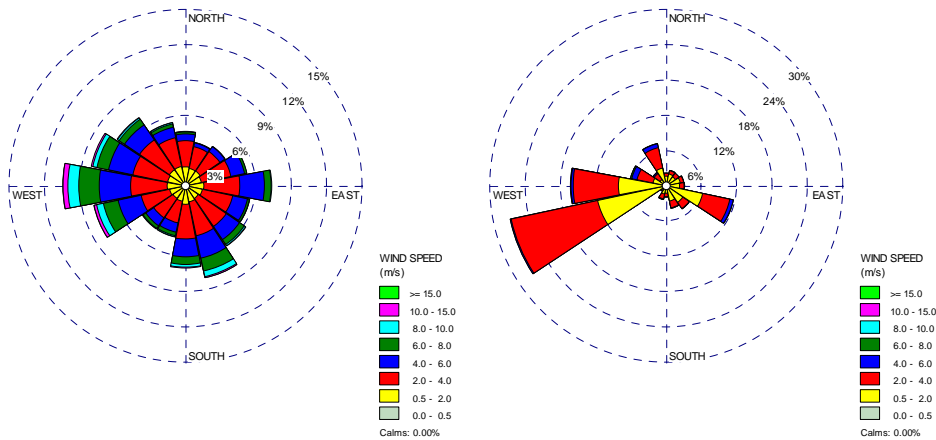
$$(U_{\text{sea}} = 3 * (U_{\text{land}})^{(3/2)} \quad (h < 20\text{m})$$

Denklem 2-2

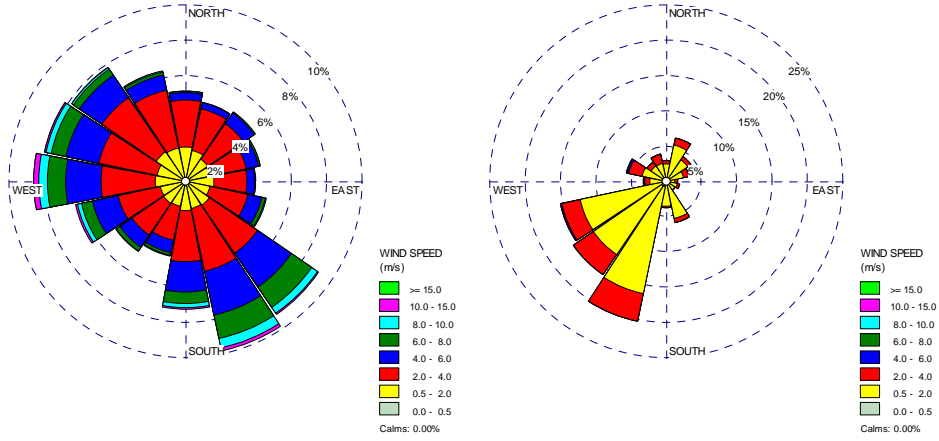
- Çok kapalı denizlerdeki (örnek Marmara Denizi) kıyı meteoroloji istasyonlarına ait rüzgar ölçüm verileri karşılaştırmalarda kullanılmamıştır. Bunun nedeni, daha önceki kısımlarda da bahsedildiği üzere özellikle kapalı denizlerde, ki Marmara Denizi diğer denizlerimize göre çok daha küçük bir hacme sahiptir bir kapalı denizdir, ECMWF rüzgar tahmin ve analiz sonuçlarının kötü ve düşük olmasıdır.

- Deniz seviyesinden itibaren kotu 20 metreden düşük olan ve Marmara Denizi dışında kalan bazı kıyı meteoroloji istasyonları verilerinin bütün ölçüm yıllarına ait verilerinin henüz elde edilememiş olmasından veya ölçüm sürelerinin ve özelliklerinin karşılaştırmalar için uygun olmamasından (ör. ölçüm sürelerinin çakışmamasından) dolayı bu çalışma sırasında kullanılamamıştır. Karadaki kotu 20 metreden düşük olup karşılaştırması yapılan bazı kıyı meteoroloji istasyonları da kırmızılanmamıştır.
- Metropoller (İstanbul, İzmir) içerisinde kalan (örnek Göztepe, İzmir, Kartal) meteoroloji istasyonları verileri, ilgili meteoroloji istasyonlarının çok yoğun yapılaşma içerisinde kalmış olmalarından dolayı kullanılmamıştır. Nüfus ve yapılaşma yoğunlukları, İstanbul ve İzmir gibi büyük metropollere göre daha az olmalarından dolayı, diğer kıyı şehirleri içerisinde kalan meteoroloji istasyonlarına ait veriler kullanılmıştır. Bu yaklaşımın küçük şehirler için ne kadar doğru olduğu yapılacak çalışmalardan sonra netleşecektir.

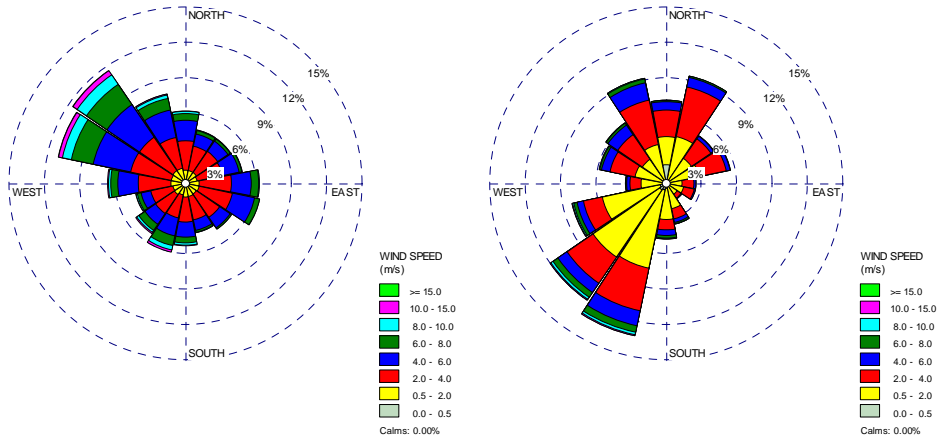
Buna göre gerçekleştirilen karşılaştırmalar sonucunda elde edilen grafikler sırasıyla **Şekil 2.19-Şekil 2.28**'de verilmiştir. **Şekil 2.19-Şekil 2.28**'de rüzgar gülleri karşılaştırmaları, **Şekil 2.29-Şekil 2.38**'de rüzgar hızları karşılaştırmaları verilmiştir. **Şekil 2.19-Şekil 2.28**'de verilen karşılaştırmalarda ilgili kıyı meteoroloji istasyonuna en yakın denizdeki ECMWF rüzgar verilerinin olduğu koordinatlar seçilmiştir.



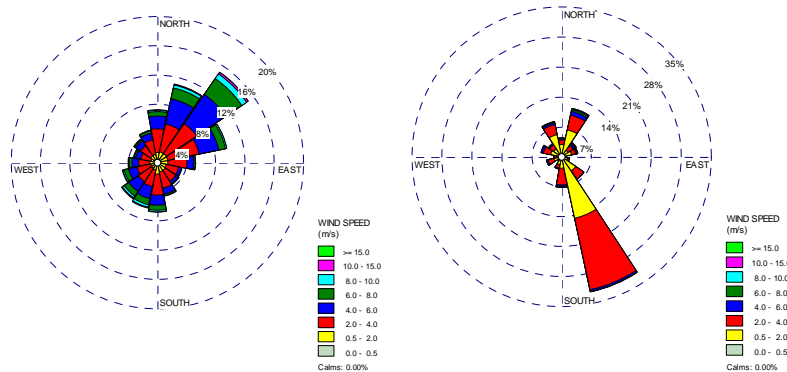
Şekil 2.19 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Güllü (sol) vs. DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Güllü (Akçaabat) (sağ)



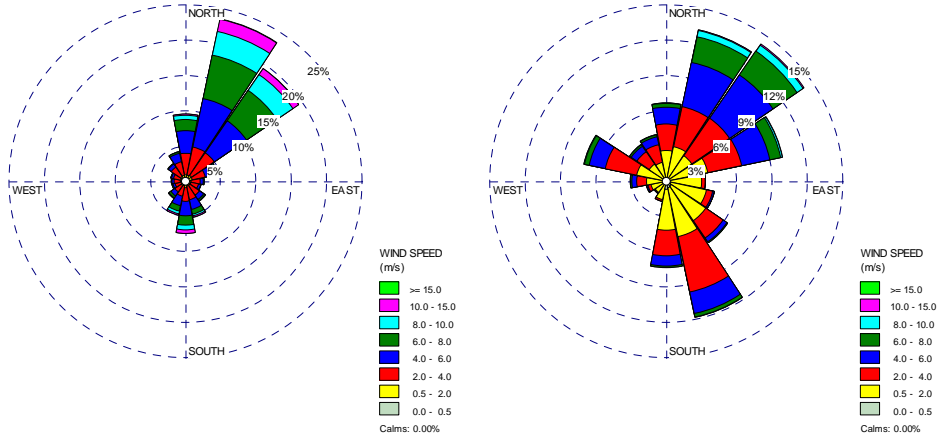
Şekil 2.20 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Rize) (sağ)



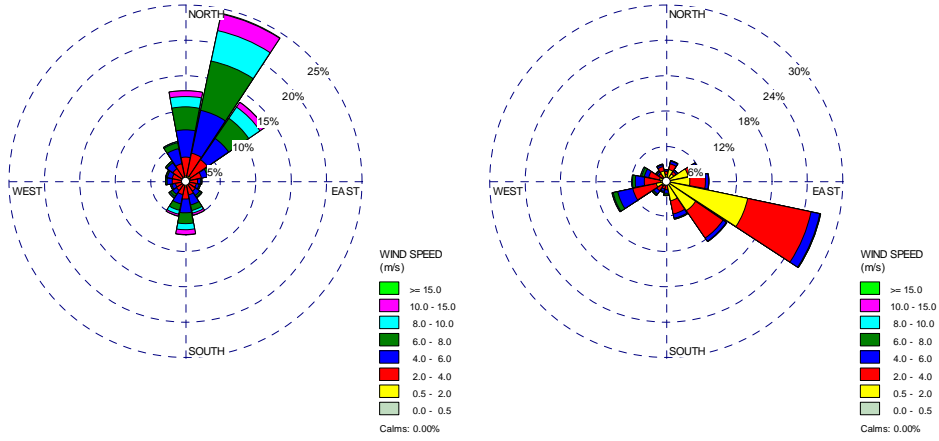
Şekil 2.21 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Samsun) (sağ)



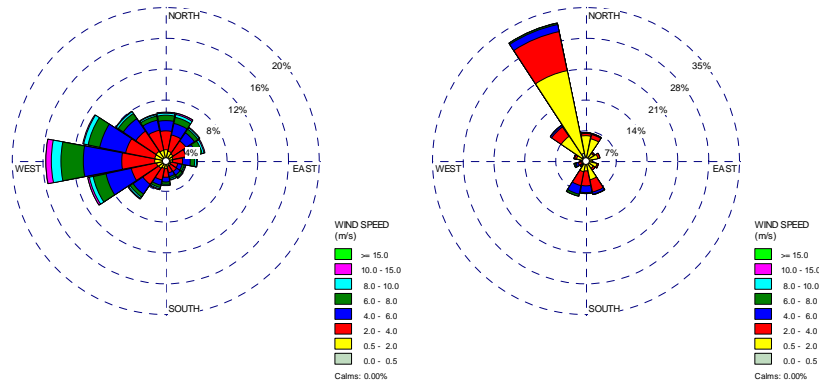
Şekil 2.22 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Akçakoca) (sağ)



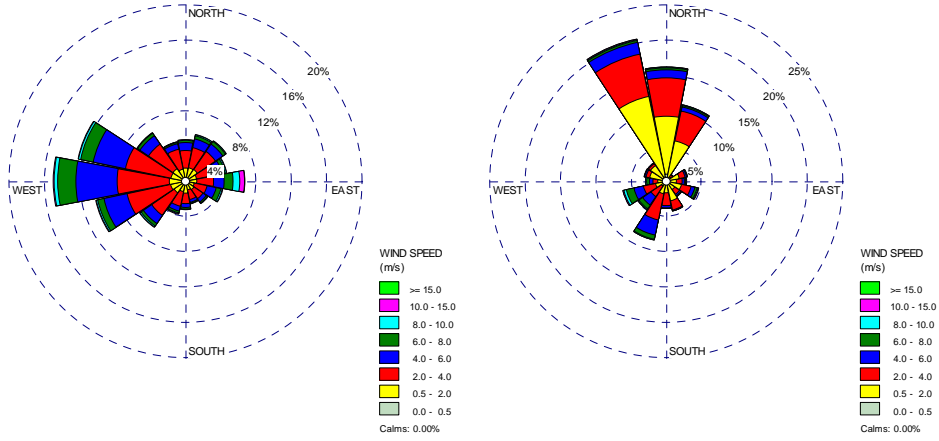
Şekil 2.23 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Ayvalık) (sağ)



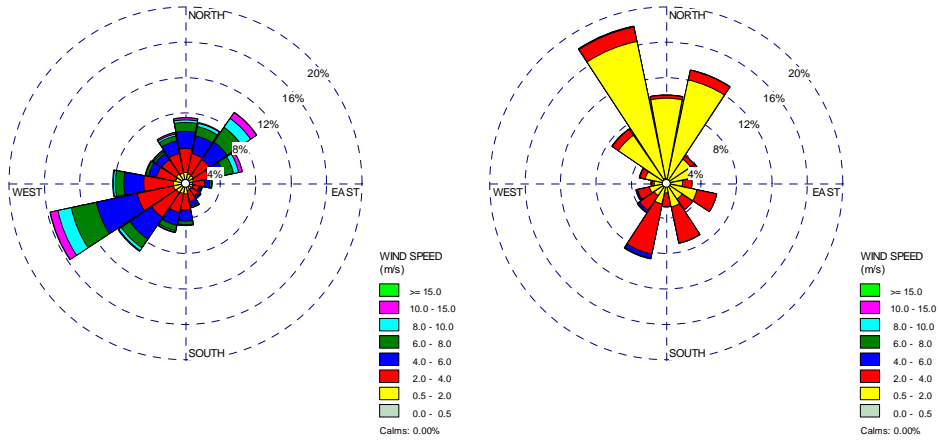
Şekil 2.24 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Dikili) (sağ)



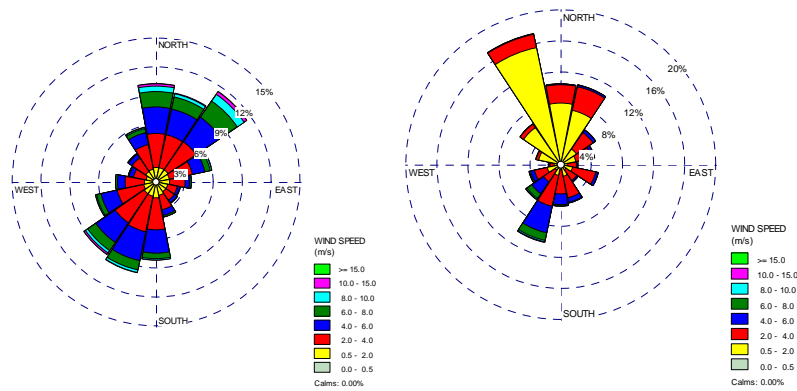
Şekil 2.25 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Finike) (sağ)



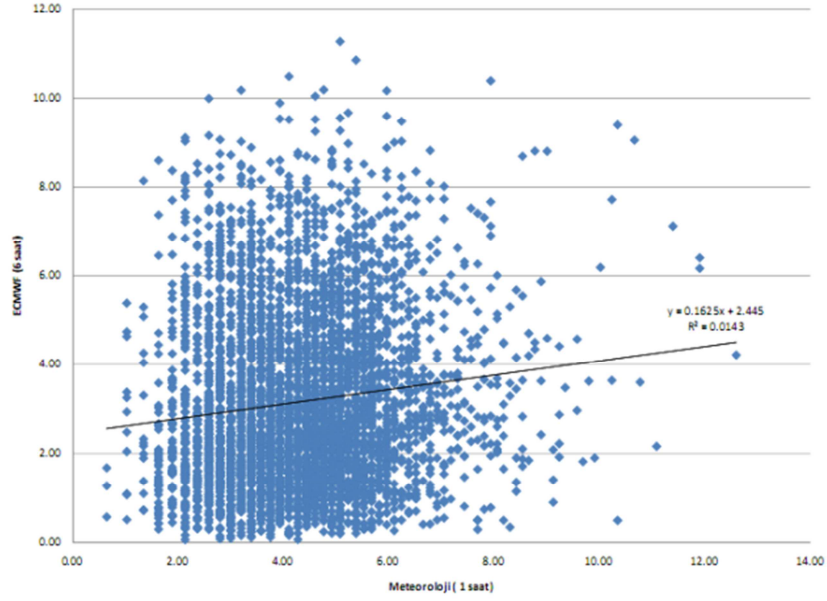
Şekil 2.26 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Anamur) (sağ)



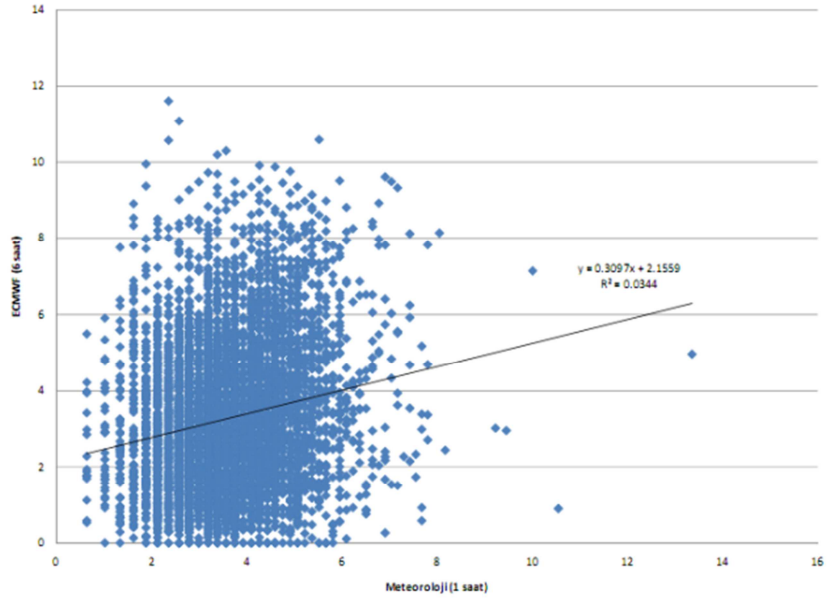
Şekil 2.27 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Alata-Erdemli) (sağ)



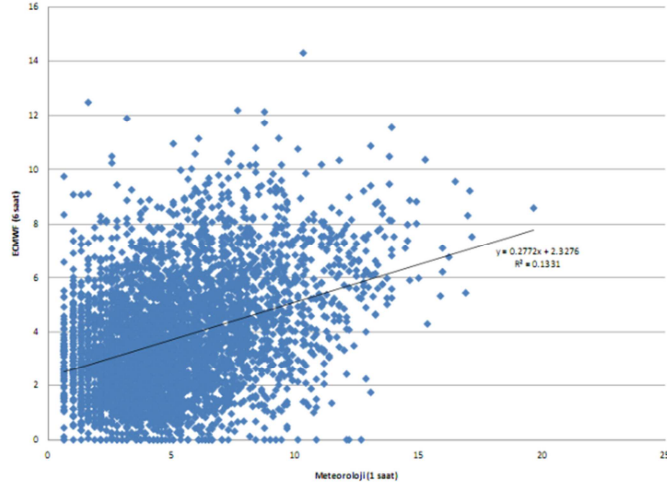
Şekil 2.28 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Mersin) (sağ)



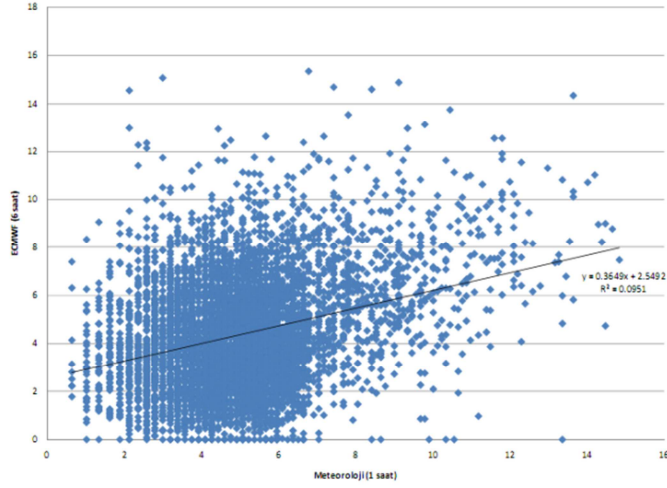
Şekil 2.29 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Akçaabat)



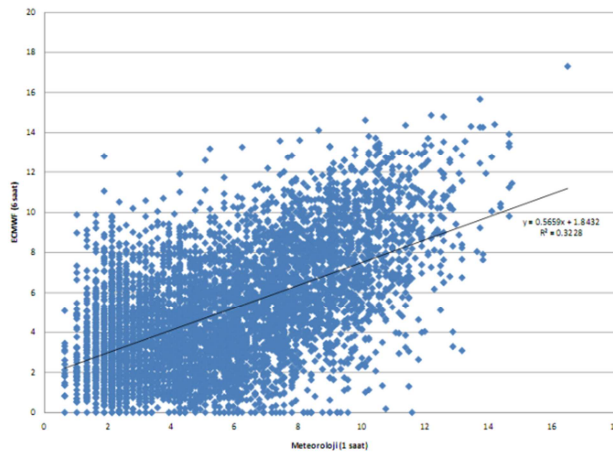
Şekil 2.30 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Rize)



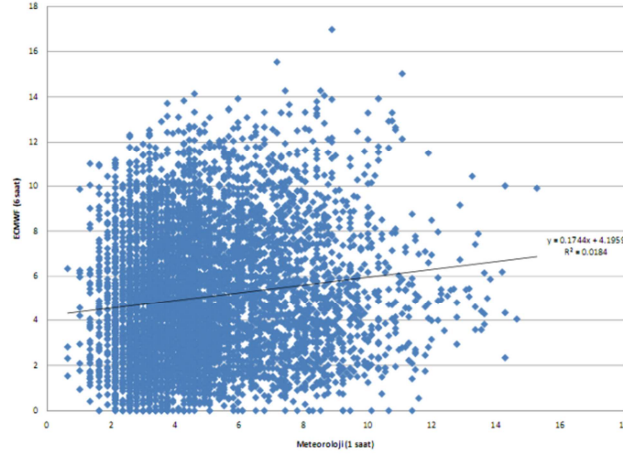
Şekil 2.31 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMGİM Kıy Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Samsun)



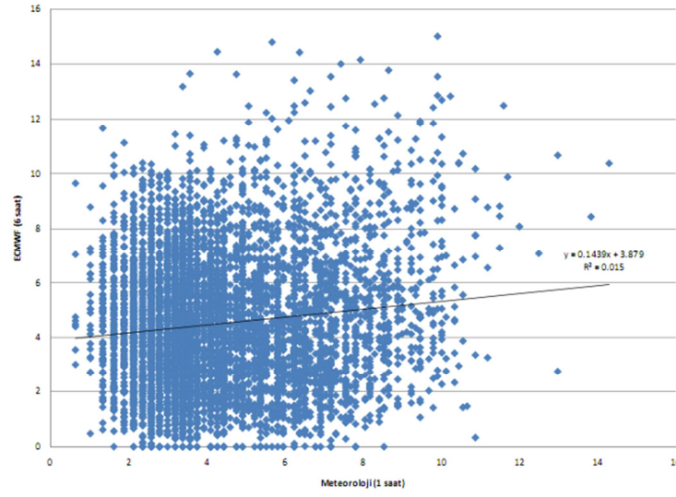
Şekil 2.32 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMGİM Kıy Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Akçakoca)



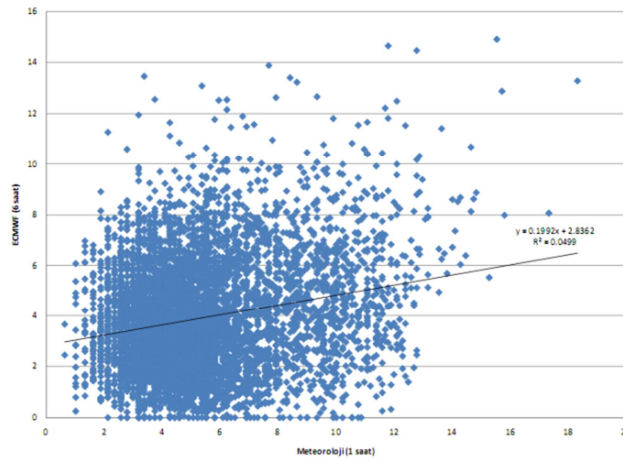
Şekil 2.33 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMGİM Kıy Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Ayvalık)



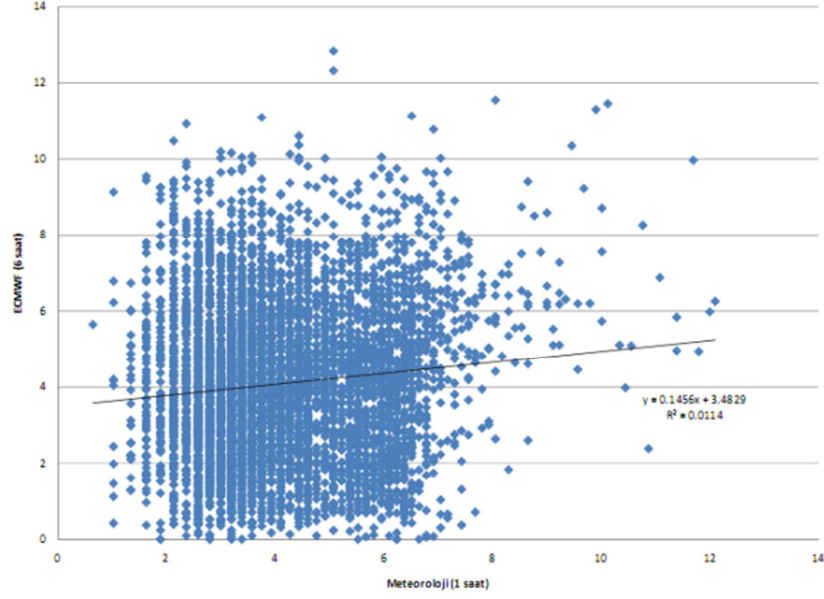
Şekil 2.34 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Dikili)



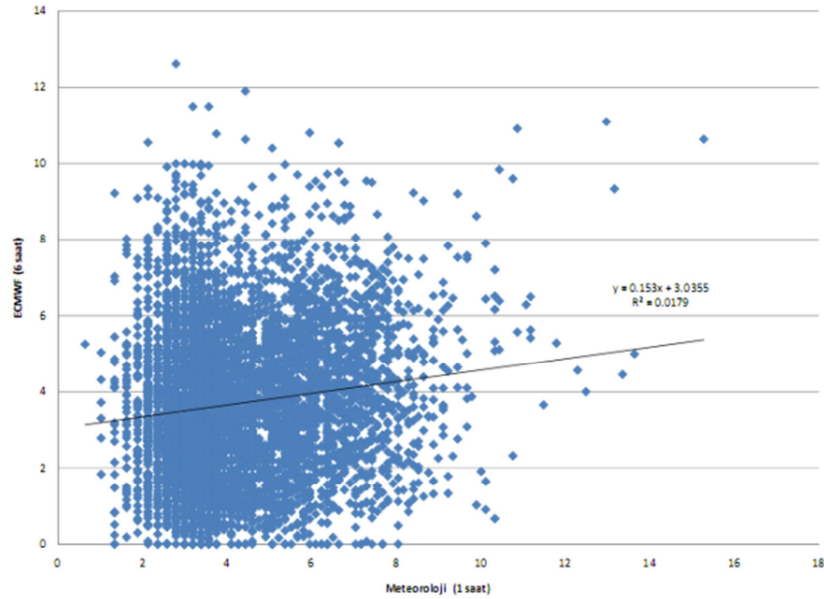
Şekil 2.35 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Finike)



Şekil 2.36 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Anamur)



Şekil 2.37 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Alata-Erdemli)



Şekil 2.38 ECMWF Operasyonel Arşiv 6 Saatlik Analiz Rüzgar Hızlarının ve DMGİM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Hızlarının Karşılaştırılması (Mersin)

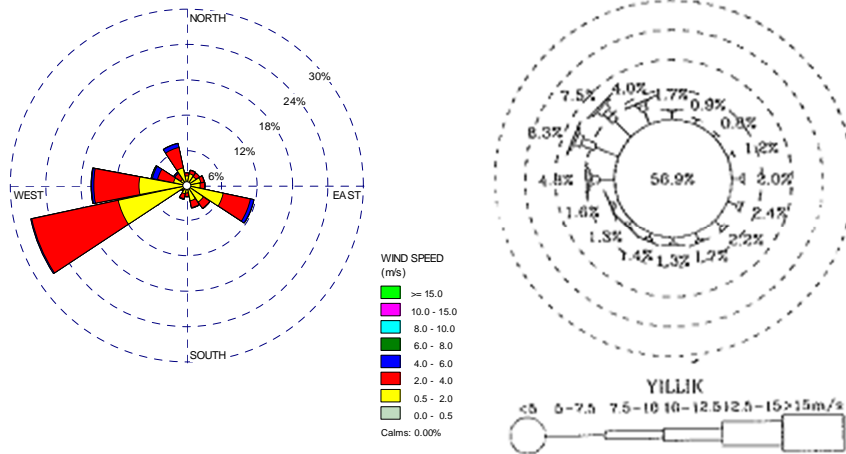
Şekil 2.29-Şekil 2.38'de karşılaştırmaları verilen yörelere ait saatlik kıyı meteoroloji istasyonları rüzgar hızı ölçümleri ile ilgili meteoroloji istasyonu koordinatlarına en yakın denizdeki 6 saat aralıklı ECMWF analiz rüzgar hızlarının karşılaştırılmaları verilmiştir. **Şekil 2.29-Şekil 2.38**'de görülebileceği gibi 6 saatlik ECMWF Operasyonel Arşiv rüzgar hızları ile DMİGM kıyı meteoroloji istasyonlarının ölçtüğü saatlik rüzgar hızları arasındaki korrelasyon sayıları çok düşük çıkmaktadır. Korrelasyon katsayıları (R^2) ve best fit doğrusuna (en uygun doğrusuna) ait eğim değeri (m) yöreden yöreye değişmektedir. Buna göre kıyı meteoroloji istasyonlarından elde edilen saatlik rüzgar hızları genel olarak daha yüksek değerler vermektedir. Ancak Hsu'nun (1980) yaklaşımının yalnızca $U \geq 2$ m/s kistası için kullanılabilir

olduğu da göz önüne alınmalıdır. Bu durumda karadan denize Hsu (1980) yaklaşımı ile aktarılan bütün rüzgar hızları deniz üzerinde kabul edilen fırtına hızı sınırının ($U \geq 3$ m/s) üzerinde olacaktır. 2 m/s'den daha düşük karadaki DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu rüzgar hızlarının denize aktarılması gerçekleştirilememektedir. Bu durumda elde edilebilecek herhangi bir korrelasyon veya modifikasyon katsayısının da geçerliliği yalnızca fırtına durumları için olacaktır. Ayrıca elde edilen korrelasyon katsayılarının da çok düşük olmaları bir diğer önemli handikaptır. Bu kadar düşük korrelasyon katsayılarının kullanılacağı bir modifikasyon yanlış sonuçların elde edilmesine yol açabilir.

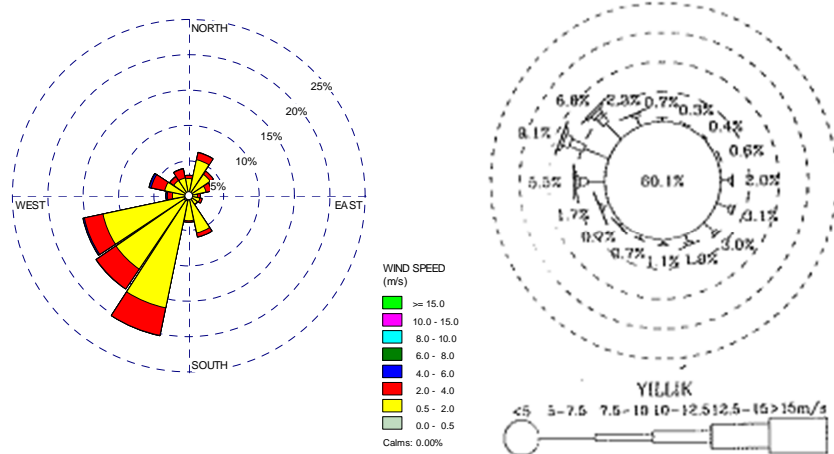
Yukarıdaki paragraflarda belirtilen durumlara bakıldığında, DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu rüzgar ölçüm verileri ile ECMWF rüzgar analiz verilerinin aralarındaki korrelasyonun hem rüzgar hızları bakımından hem de rüzgar yönleri bakımından çok düşük oldukları gözükmemektedir. Gerçekleştirilen karşılaştırmalar ışığında, DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu rüzgar hızlarının daha yüksek oldukları görülmektedir. Ancak, hangi veri kaynağının, daha doğru neticeler verdiğini belirtmek yanlış olacaktır. Daha farklı kaynaklarla gerçekleştirilebilecek karşılaştırmalar bir sonuca varılmasında yardımcı olabilir. Bu amaçla takip eden bölümlerdeki çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2.2.1.2 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Rüzgar Ölçüm Verileri ile Dalga Atlası Rüzgar Verilerinin Karşılaştırılması

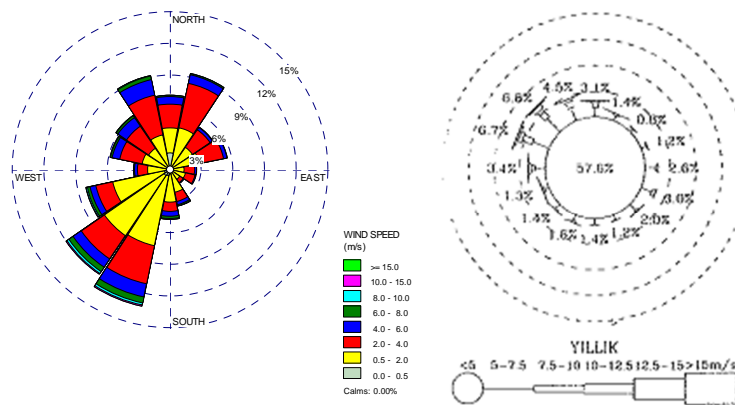
Bu bölümde, DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu rüzgar ölçüm verilerinin, Dalga Atlası'danki rüzgar verileri ile karşılaştırılmaları gerçekleştirilmiştir. Bu karşılaştırmalarda ana kıstas rüzgar yönleridir. İlk olarak rüzgar yönlerinden elde edilen rüzgar gülleri incelenmiştir. Her iki kaynaktaki rüzgar gülleri arasında ciddi farklılıklar görülüyor ise bir sonraki aşamada rüzgar hızları da karşılaştırılmıştır. Ancak aşağıda sıralanan **Şekil 2.39**-**Şekil 2.48** incelendiğinde, yukarıda belirtilen ve istenilen rüzgar güllerindeki çakışmanın gerçekleşmediği görülecektir.



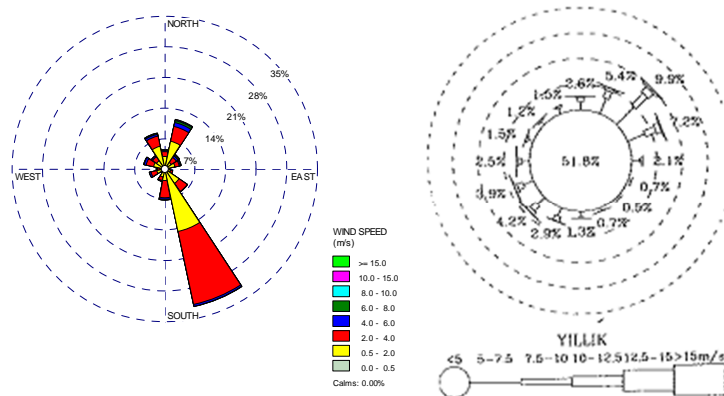
Şekil 2.39 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Güllü (Akçaabat) vs. Yıllık Rüzgar Güllü (Dalga Atlası, Akçaabat Açıkları, 41.25°N-39.20°E)



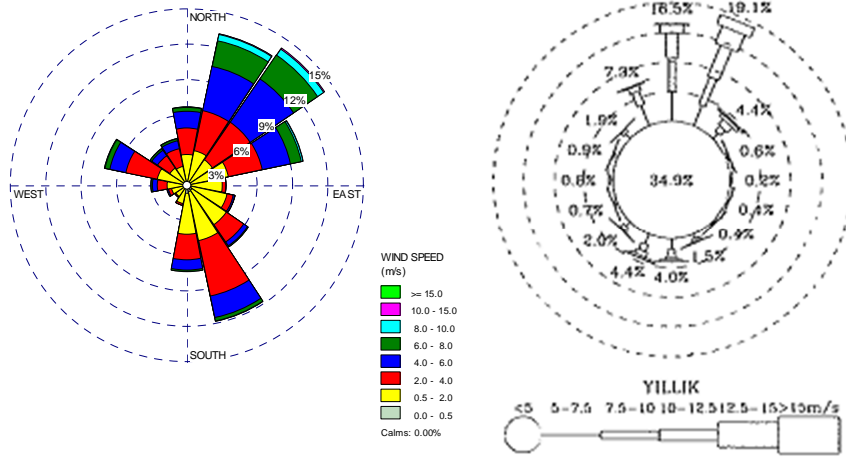
Şekil 2.40 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Rize) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Rize Açıkları, 41.25°N-40.40°E)



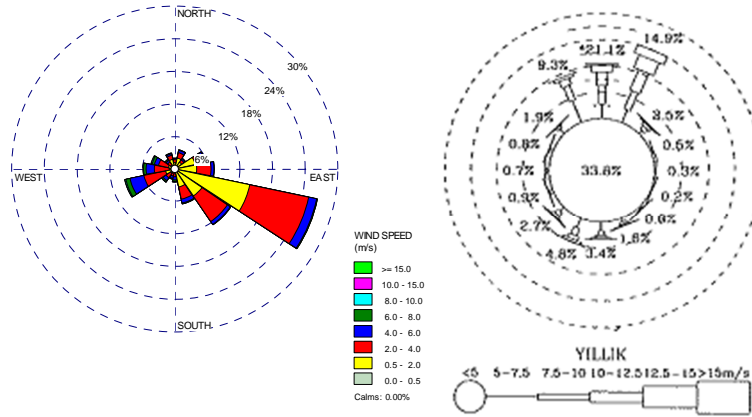
Şekil 2.41 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Samsun) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Samsun Açıkları, 41.50°N-36.20°E)



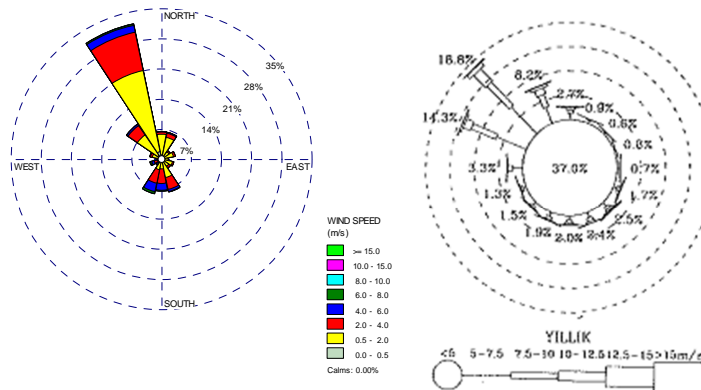
Şekil 2.42 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Akçakoca) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Akçakoca Açıkları, 41.25°N-31.10°E)



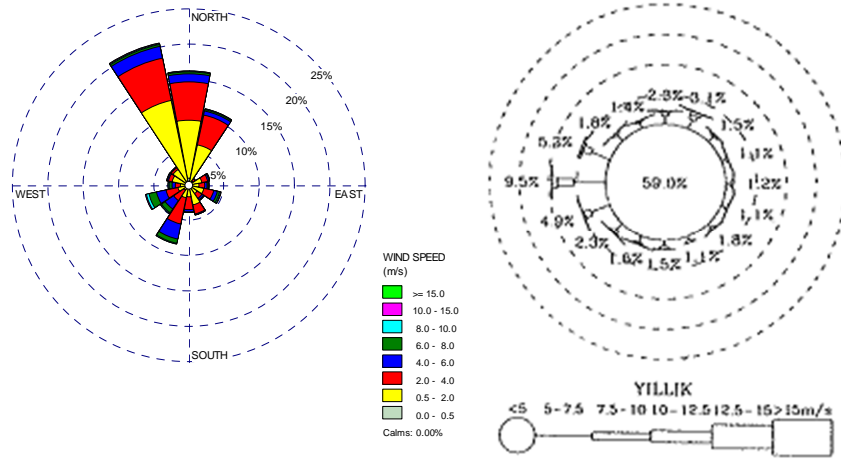
Şekil 2.43 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Ayvalık) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Ayvalık Açıkları, 39.25°N-26.50°E)



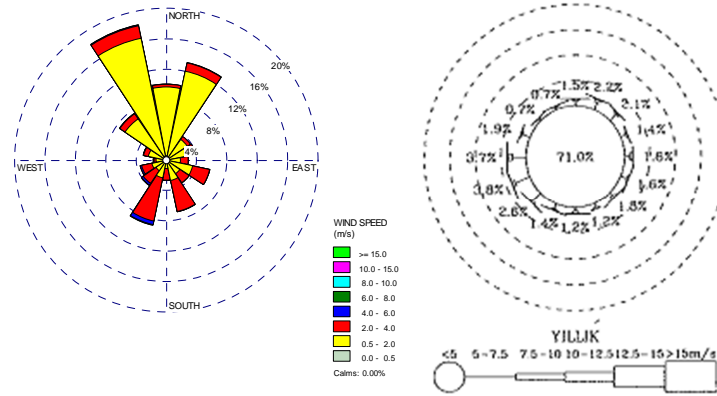
Şekil 2.44 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Dikili) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Dikili Açıkları, 38.75°N-26.50°E)



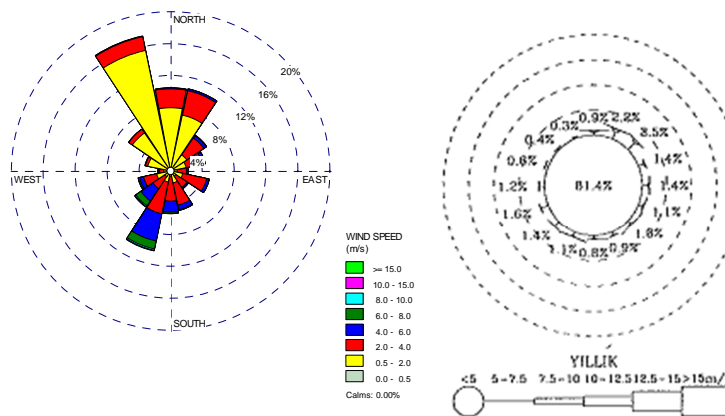
Şekil 2.45 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Finike) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Finike Açıkları, 36.00°N-30.10°E)



Şekil 2.46 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Anamur) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Anamur Açıkları, 36.00°N-32.50°E)



Şekil 2.47 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Alata-Erdemli) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Erdemli Açıkları, 36.00°N-34.00°E)



Şekil 2.48 DMİGM Kıyı Meteoroloji İstasyonu Saatlik Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Mersin) vs. Yıllık Rüzgar Gülü (Dalga Atlası, Mersin Açıkları, 36.50°N-34.30°E)

Şekil 2.39.-Şekil 2.48 incelendiğinde, DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu saatlik rüzgar verilerinden elde edilen yıllık rüzgar güllerinin Dalga Atlası'ndan elde edilen yıllık rüzgar gülleri ile örtüşmediği görülecektir. Buradaki örtüşmeden kastedilen, rüzgar hızları bakımından bir örtüşme değildir. Rüzgar güllerinin karşılaştırılmasındaki asıl amaç, rüzgar esiş yönlerinin ve trendinin incelenmesidir. Bu neticenin elde edilmesinde çeşitli nedenler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenlerin nelerden kaynaklanıyor olabileceğine aşağıdaki maddelerde değinilmiştir

- Dalga Atlası yıllık rüzgar güllerinin deniz üzerindeki rüzgar verilerinden elde edilmesi ve DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu saatlik rüzgar verilerinden elde edilen yıllık rüzgar güllerinin karada alınan ölçümlere yani karadaki bir noktaya ait olması
- Lokal rüzgarların rüzgar güllerinde farklılıklar yaratabilmesi
- DMİGM kıyı meteoroloji istasyonlarının karadaki engellerden ve çevresel faktörlerden ciddi oranda etkilenmesi (kıyı meteoroloji istasyonu çevresindeki fiziksel engeller, ör. ağaçlar, binalar vs.)
- DMİGM kıyı meteoroloji istasyonlarındaki ölçüm aletlerinin kalibrasyonları ve bakımları ile ilgili eksiklikler

Her ne kadar, rüzgar güllerinin veri kaynakları farklı olsa da (biri denizde biri karada) koordinat olarak her iki veri kaynağının yakınlıklarından ötürü, her ne kadar lokal rüzgarların etkinliğinin görülebilme ihtimali ortada olsa da, elde edilen yıllık rüzgar güllerinde ciddi farklılıkların gözükmesine neden olmamasının beklendiği söylenebilir. Ancak yukarıdaki şekillerde (**Şekil 2.39.-Şekil 2.48**) bu durum görülmemektedir.

Yukarıda belirtilen durumun dışında, DMİGM kıyı meteoroloji istasyonlarının karadaki engellerden ve çevresel faktörlerde etkilenmesi, dolayısıyla gerçekleştirilen ölçümlerin güvenilirliğinin de göz önüne alınması gerekliliği bir başka parametredir. Proje kapsamında Adana'ya ve Karataş'a gerçekleştirilen teknik gezi sırasında iki meteoroloji istasyonu ziyaret edilmişti. Adana ve Karataş meteoroloji istasyonları, biri karada diğeri kıyıda olmak üzere, incelendiğinde ve yetkililerden alınan bilgiler dahilinde, etraflarındaki yapılaşmalardan dolayı bazı yönlerden rüzgara kapalı oldukları ortaya çıkmaktadır. Bu durum, her ne kadar kıyı meteoroloji istasyonu olmamakla birlikte Adana meteoroloji istasyonunda daha yoğun görülmektedir. Bunun nedeni, Adana meteoroloji istasyonunun, yapılaşmanın ve gelişmenin daha yoğun ve fazla hissedildiği bir büyük şehir içinde kalmış olması olarak nitelendirilebilir. Benzer bir durum, daha az hissedilmek ve gözlemlenmekle birlikte Karataş kıyı meteoroloji istasyonu için de söylenebilir. Her ne kadar proje kapsamında teknik bir gezi ile ziyaret edilmemiş olsa bile , yapılaşmanın kıyı meteoroloji istasyonlarına etkisinin çok net görüldüğü bir diğerkıyı meteoroloji istasyonu da Alanya'dır. Alanya kıyı meteoroloji istasyonu, Alanya Kalesi'nin batı tarafında yer aldığı için doğudan gelen rüzgarlara kapalıdır. Bu durum her ne kadar burada grafiksel olarak belirtilmemiş olsa bile, proje kapsamında yapılan incelemelerde ortaya çıkmıştır.

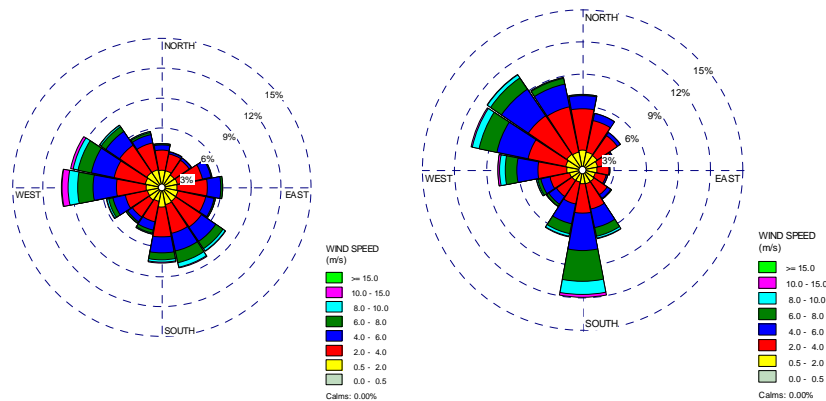
Bir diğerkhusus da, DMİGM kıyı meteoroloji istasyonlarındaki ölçüm aletlerinin kalibrasyonları ve bakımları ile ilgili eksikliklerdir. Proje kapsamında gerçekleştirilen alan gezisinde edinilen bilgiler dahilinde, örnek vermek adına, Adana Bölgesi'ndeki hiçbir meteoroloji istasyonuna çok uzun süredir (yaklaşık 10 yıl), ölçüm aletlerinin kalibrasyonunu veya bakımını yapmak adına yetkililerin gelmediği öğrenilmiştir. Bu bilgi Adana meteoroloji istasyonu yetkililerinden alınmıştır. Bozulan herhangi bir aletin Ankara'daki merkeze yollandığı ve tamir edildikten sonra tekrar monte edildiği öğrenilmiştir. Montaj sırasında kalibrasyonun gerçekleştirilip

gerçekleştirilemediği ise bir soru işareti olarak ortaya çıkmaktadır. Bu konu hakkında ise detaylı bir bilgi elde edilememiştir.

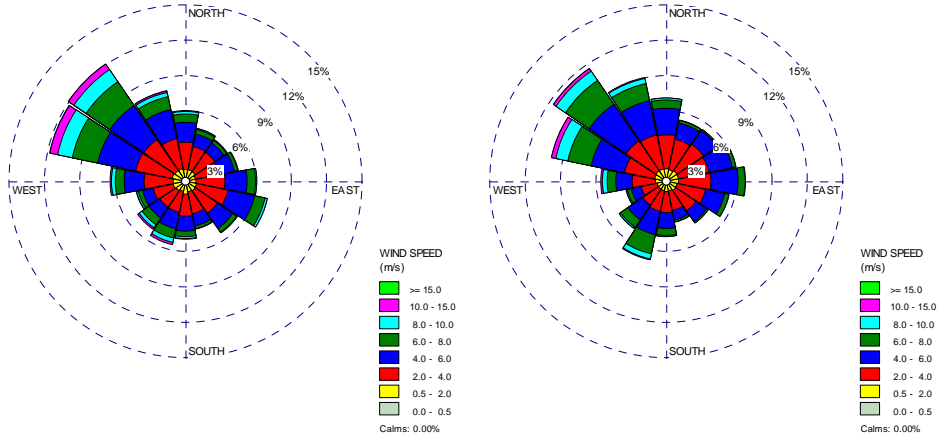
Yukarıda değinilen tüm bu hususlar ışığında DMİGM kıyı meteoroloji istasyonları verilerinin rüzgar hızları açısından değerlendirilmesine gerek görülmediği ortaya çıkmaktadır. Bunun ana nedenleri yukarıda değinildiği gibi DMİGM kıyı meteoroloji istasyonları ölçüm aletlerinin kalibrasyon ve bakım eksiklikleri, DMİGM kıyı meteoroloji istasyonlarının ölçüm yaptığı noktalardaki fiziksel ve çevresel engeller ve bu nedenlerden dolayı ortaya çıkan rüzgar yönleri ile ilgili ciddi farklılıklardır. Dolayısıyla rüzgar hızları ile ilgili herhangi bir karşılaştırma yapılmasına gerek olmadığı ortay çıkmıştır. Bu durum, proje kapsamında DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu verilerinin kullanılabilirliğini de ortadan kaldırmıştır. Bu amaçla ECMWF verilerine yönelinmesinde fayda görülmektedir ve bundan sonraki bölümlerde ECMWF rüzgar verileri daha detaylı incelenecektir.

2.2.1.3 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verileri ile ECMWF ERA-Interim Rüzgar Verilerinin Karşılaştırılması

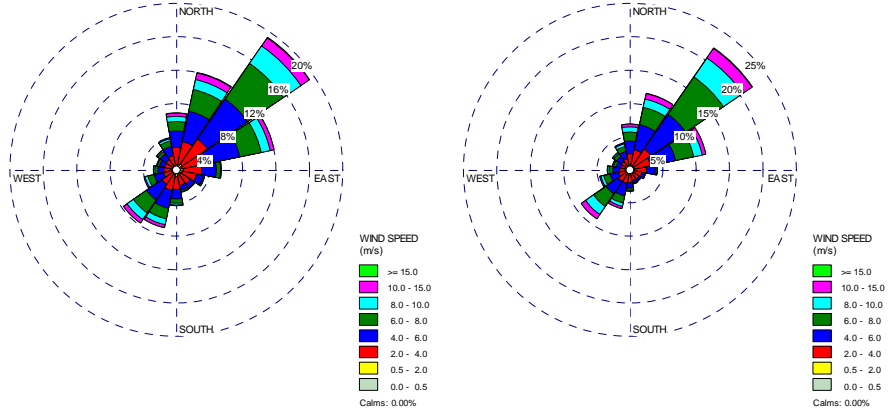
Bu bölümde, EMCWF Operasyonel Arşiv rüzgar analiz verileri ile ECMWF ERA-Interim rüzgar analiz verileri karşılaştırılmıştır. Her iki veri setindeki rüzgar analiz aralıkları 6 saattir ve her iki ölçüm de deniz üzerindeki rüzgar verisini içermektedir. Dolayısıyla herhangi bir deniz-kara dönüşümünün gerçekleştirilmesi gerekliliği bulunmamaktadır. Ayrıca bundan önceki bölümlerde görülebileceği gibi ECMWF rüzgar analiz verilerinden elde edilen rüzgar gülleri de Dalga Atlası'ndan elde edilen rüzgar gülleri ile örtüşmektedir. Her ne kadar Dalga Atlası hazırlanırken ECMWF rüzgar verilerinden yararlanılmış olsa da Dalga Atlası'nın hazırlanmasında kullanılan ECMWF rüzgar verileri kısa süreyi içermektedir. Ancak ECMWF Operasyonel Arşivi ve ECMWF ERA-Interim Arşivi çok daha geniş süreleri kapsamaktadır. Dolayısıyla elde edilecek değerler arasında farklılıklar olabileceği düşünülmelidir. **Şekil 2.49-Şekil 2.55.**'de Türkiye kıyılarında farklı 7 nokta için rüzgar gülleri elde edilmiştir. Rüzgar gülleri ECMWF Operasyonel Arşiv'ine ve ECMWF ERA-Interim Arşiv'ine ait rüzgar verilerinden elde edilmiştir.



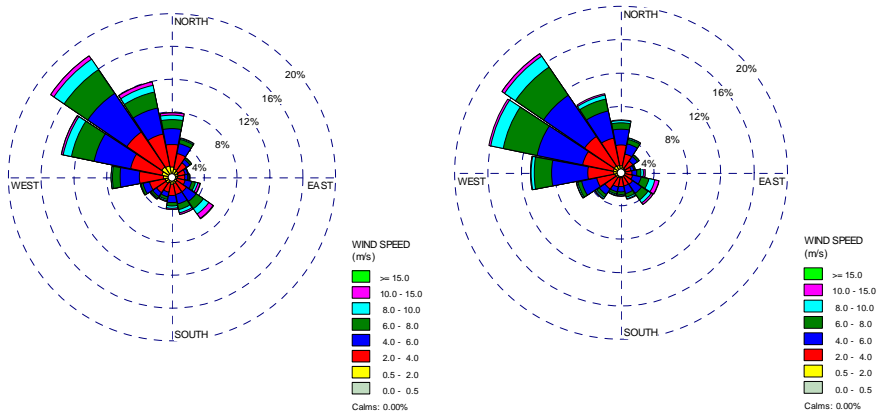
Şekil 2.49 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Güllü (sol) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Güllü (sağ) (Trabzon, 41.20°N-39.80°E)



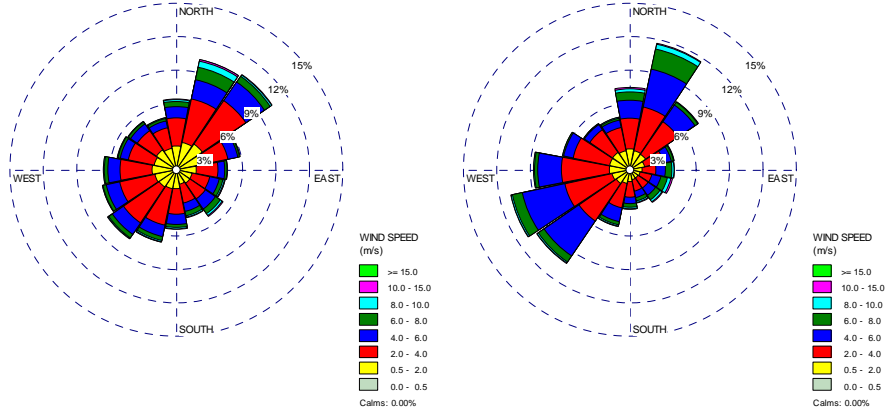
Şekil 2.50 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sağ) (Bafra, 41.80°N-36.20°E)



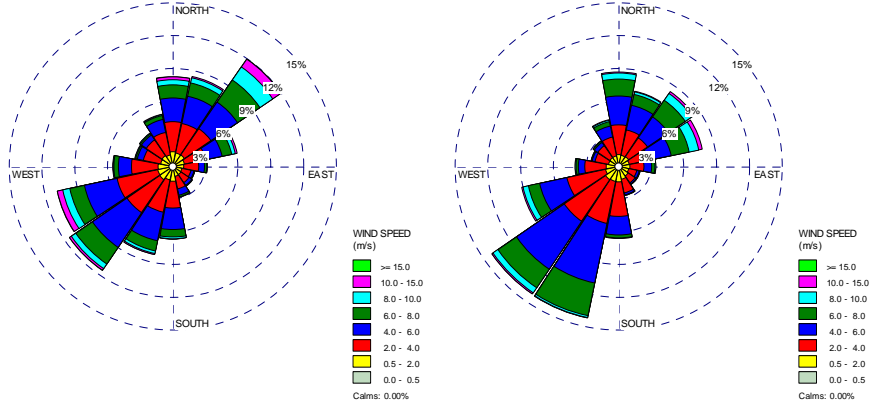
Şekil 2.51 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sağ) (Şile, 41.30°N-29.60°E)



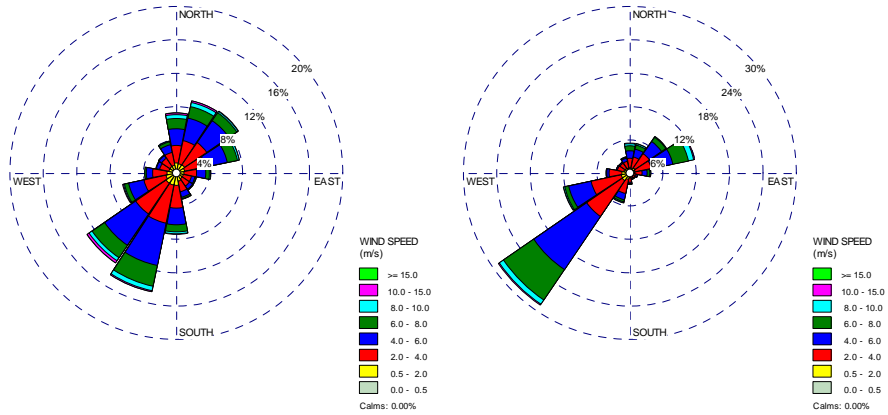
Şekil 2.52 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sağ) (Fethiye, 36.30°N-28.90°E)



Şekil 2.53 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sağ) (Alanya, 36.50°N-31.90°E)



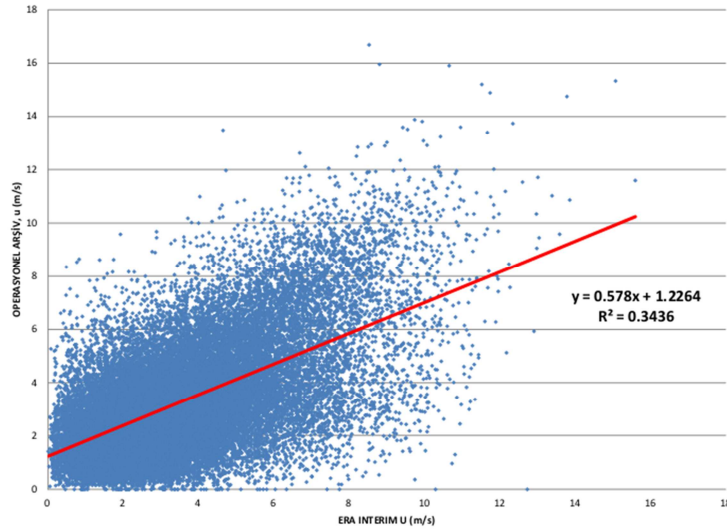
Şekil 2.54 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sağ) (Silifke, 36.20°N-34.30°E)



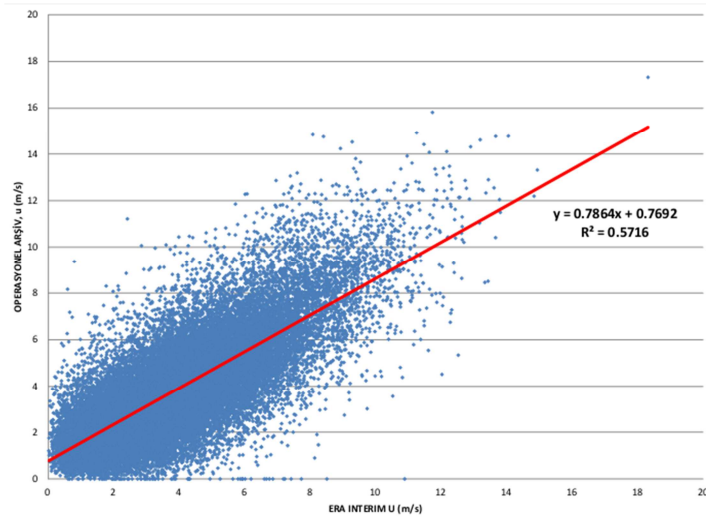
Şekil 2.55 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sol) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (sağ) (Karataş, 36.50°N-35.50°E)

Şekil 2.49-Şekil 2.55 incelendiğinde ECMWF Operasyonel Arşiv verilerinden elde edilen yıllık rüzgar gülleri ve ECMWF ERA-Interim verilerinden elde edilen yıllık rüzgar gülleri arasında genel olarak uyum gözükmemektedir. En az uyumlu gözükene Trabzon (**Şekil 2.49**) ve Alanya (**Şekil 2.53**) yıllık rüzgar gülleri için bile rüzgar esiş yönleri açısından bir uyum gözükmediği belirtilebilir. Dolayısıyla yönsel olarak ECMWF kaynakları arasında genel bir uyum olduğu sonucuna varılabilir.

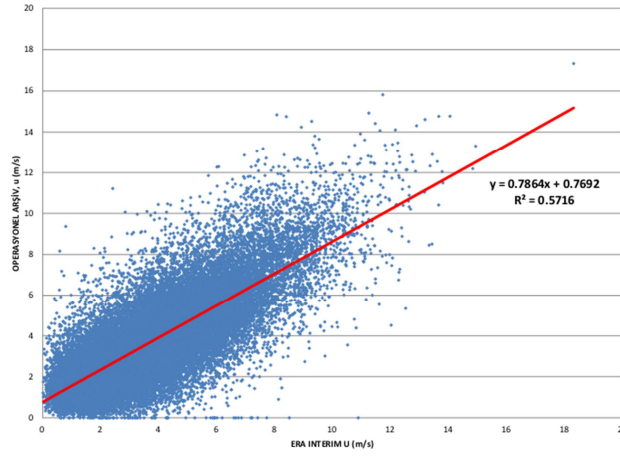
Bir sonraki karşılaştırma rüzgar hızları bazında gerçekleştirilmiştir. ECMWF Operasyonel Arşiv verilerinden elde edilen rüzgar hızları, ECMWF ERA-Interim verilerinden elde edilen rüzgar hızlarıyla karşılaştırılmıştır ve aralarındaki uyumluluk incelenmiştir. Elde edilen grafikler **Şekil 2.56-Şekil 2.62**'de verilmiştir.



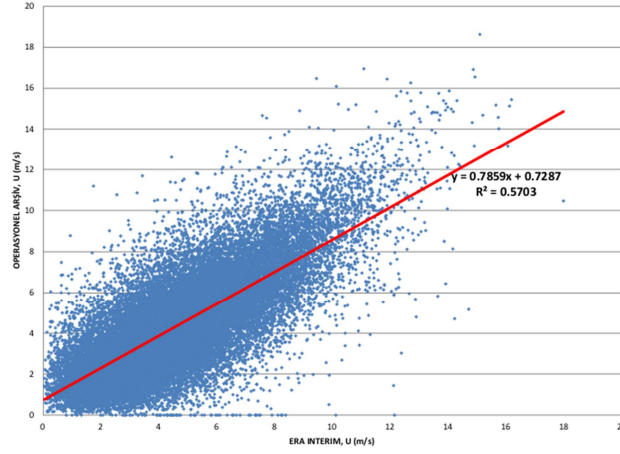
Şekil 2.56 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları (Trabzon, 41.20°N-39.80°E)



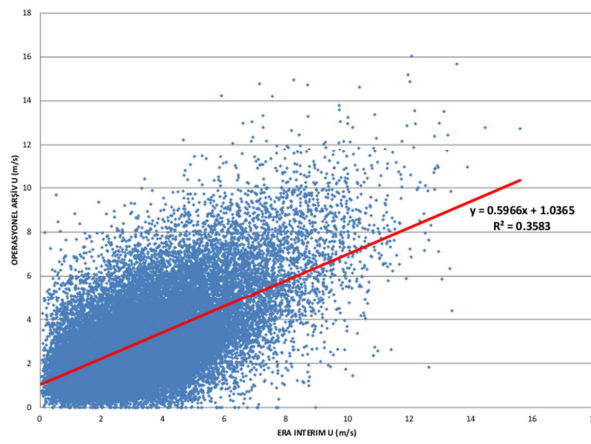
Şekil 2.57 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları (Bafra, 41.80°N-36.20°E)



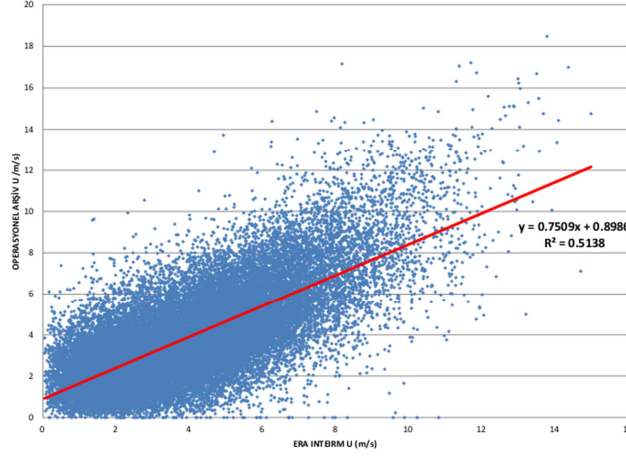
Şekil 2.58 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları (Şile, 41.30°N-29.60°E)



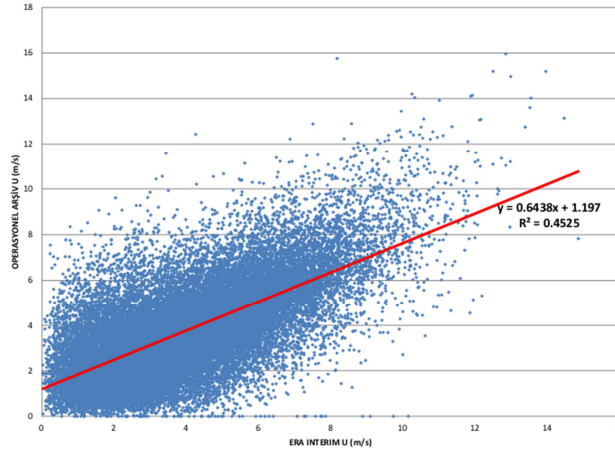
Şekil 2.59 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları (Fethiye, 36.30°N-28.90°E)



Şekil 2.60 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları (Alanya, 36.50°N-31.90°E)



Şekil 2.61 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları (Silifke, 36.20°N-34.30°E)

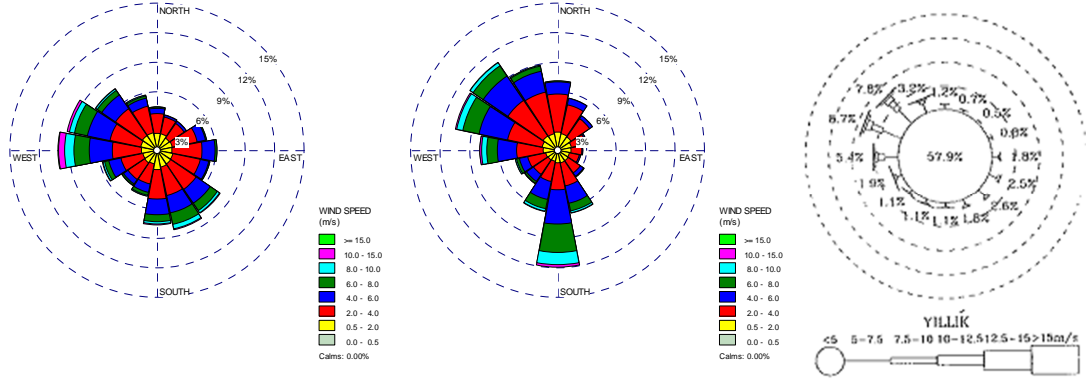


Şekil 2.62 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Hızları (Karataş, 36.50°N-35.50°E)

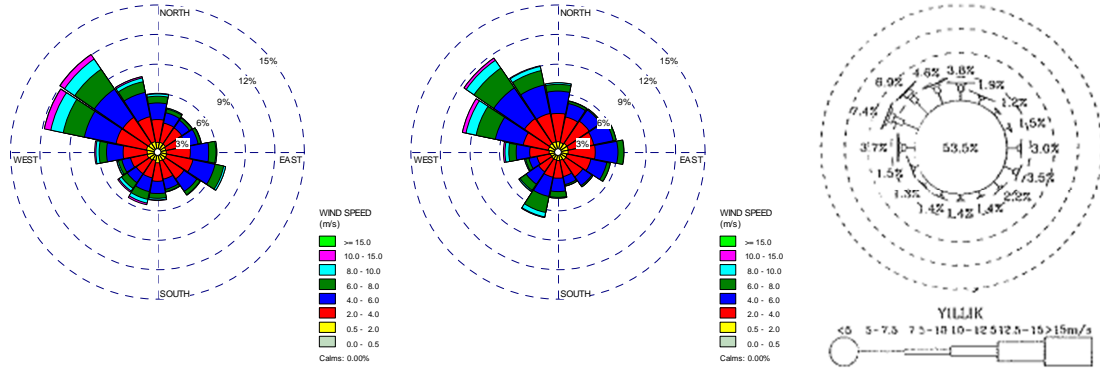
Şekil 2.56-Şekil 2.62 incelendiğinde ECMWF Operasyonel Arşiv ve ECMWF ERA-Interim arşivlerine atı rüzgar hızları arasındaki korrelasyonun da düşük olduğu görülecektir. ECMWF ERA-Interim rüzgar hızlarının ECMWF Operasyonel Arşiv rüzgar hızlarına göre genel olarak daha büyük oldukları görülecektir. Çok düşük rüzgar hızlarında ise ECMWF Operasyonel Arşiv rüzgar hızlarının ECMWF ERA-Interim rüzgar hızlarına göre daha büyük oldukları genel olarak gözlemlenmektedir.

2.2.1.4 ECMWF Operasyonel Arşiv ve ERA-Interim Rüzgar Verileri ile Dalga Atlası Rüzgar Verilerinin Karşılaştırılması

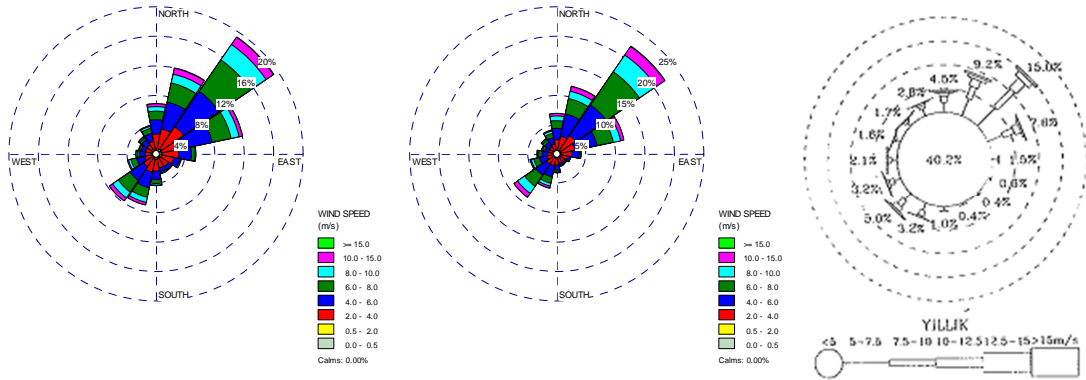
Bu bölümde, ECMWF Operasyonel Arşiv ve ERA-Interim rüzgar verileri ile Dalga Atlası verileri karşılaştırılmıştır. BU amaçla tıpkı daha önceki bölümlerdeki gibi rüzgar gülleri karşılaştırmaları öncelikli gerçekleştirilmiştir (**Şekil 2.63-Şekil 2.69**).



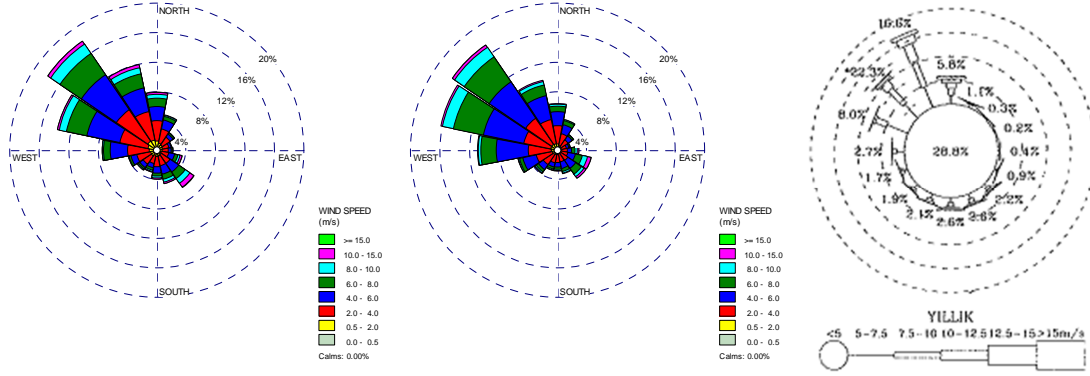
Şekil 2.63 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Trabzon, 41.20°N-39.80°E) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Trabzon, 41.20°N-39.80°E) vs. Dalga Atlası Yıllık Rüzgar Gülü (Trabzon, 41.25°N-39.80°E)



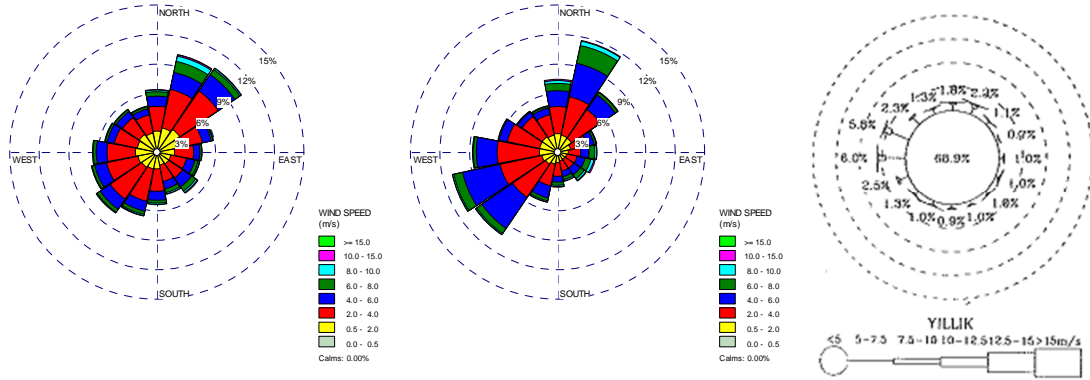
Şekil 2.64 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Bafla, 41.80°N-36.20°E) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Bafla, 41.80°N-36.20°E) vs. Dalga Atlası Yıllık Rüzgar Gülü (Bafla, 41.75°N-36.20°E)



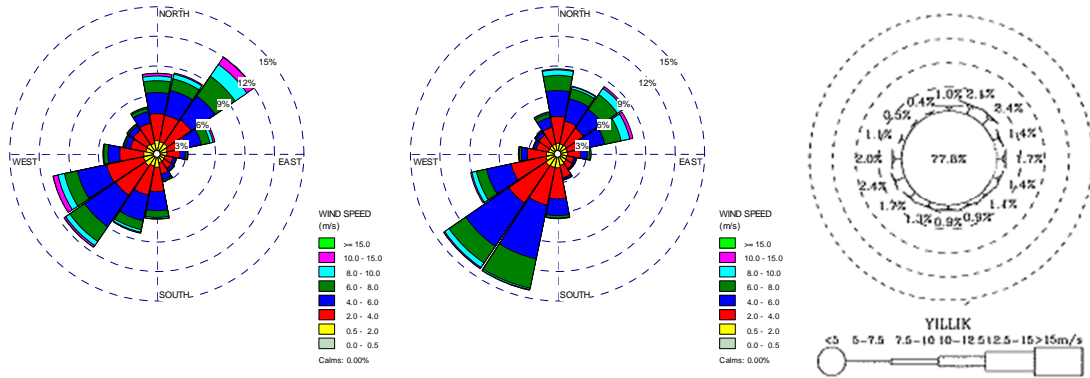
Şekil 2.65 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Şile, 41.30°N-29.60°E) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Şile, 41.30°N-29.60°E) vs. Dalga Atlası Yıllık Rüzgar Gülü (Şile, 41.25°N-29.60°E)



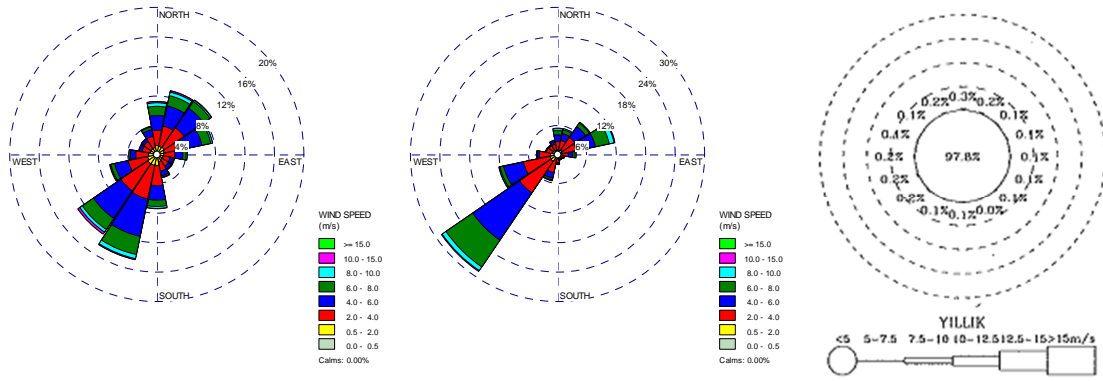
Şekil 2.66 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Fethiye, 36.30°N-28.90°E) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Fethiye, 36.30°N-28.90°E) vs. Dalg Atlası Yıllık Rüzgar Gülü (Fethiye, 36.25°N-28.90°E)



Şekil 2.67 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Alanya, 36.50°N-31.90°E) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Alanya, 36.50°N-31.90°E) vs. Dalg Atlası Yıllık Rüzgar Gülü (Alanya, 36.50°N-31.90°E)



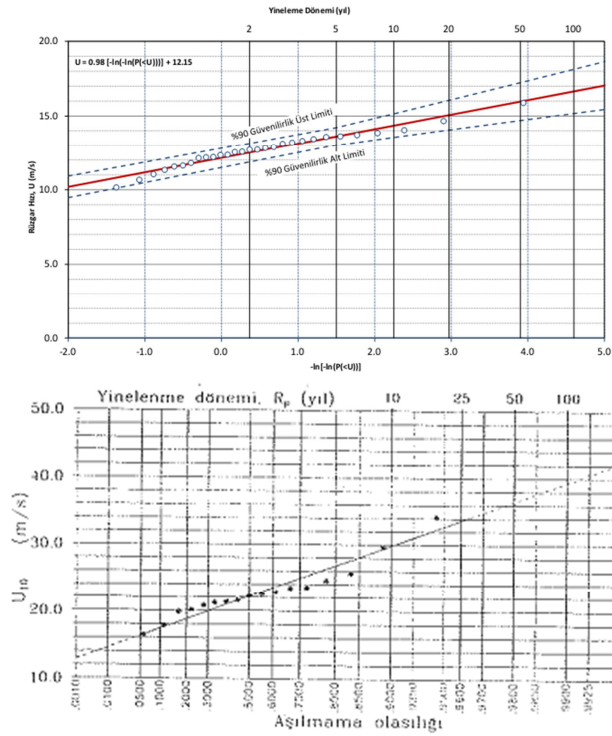
Şekil 2.68 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Silifke, 36.20°N-34.30°E) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Gülü (Silifke, 36.20°N-34.30°E) vs. Dalg Atlası Yıllık Rüzgar Gülü (Silifke, 36.25°N-34.30°E)



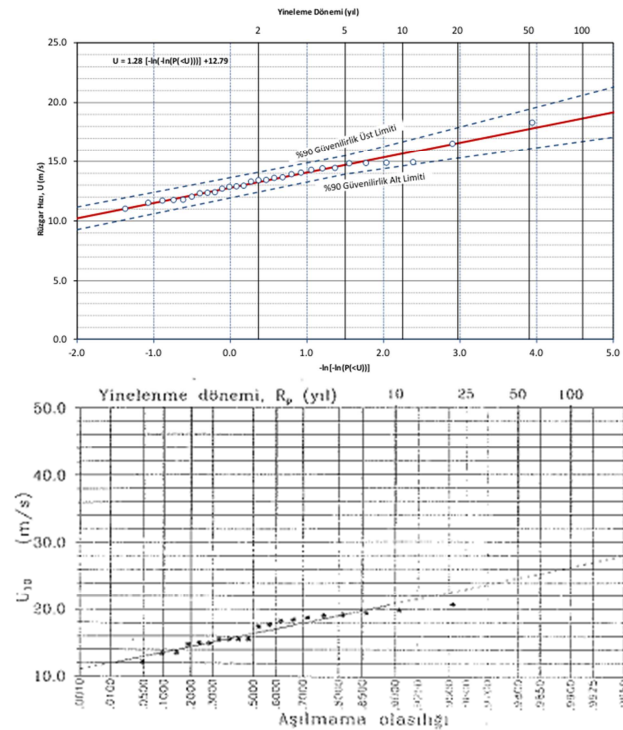
Şekil 2.69 ECMWF Operasyonel Arşiv Rüzgar Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Güllü (Karataş, 36.50°N-35.50°E) vs. ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen Yıllık Rüzgar Güllü (Karataş, 36.50°N-35.50°E) vs. Dalga Atlası Yıllık Rüzgar Güllü (Karataş, 36.50°N-35.50°E)

Şekil 2.63-Şekil 2.69 incelendiğinde ECMWF Operasyonel Arşiv verilerinden elde edilen yıllık rüzgar gülleri ve ECMWF ERA-Interim verilerinden elde edilen yıllık rüzgar gülleri arasında genel olarak uyum gözükmemektedir. ECMWF veri tabanlarından elde edilen yıllık rüzgar gülleri ile Dalga Atlası yıllık rüzgar gülleri arasında da belirli bir uyum gözükmemektedir. Ancak özellikle **Şekil 2.67-Şekil 2.69**'daki Dalga Atlası kaynaklı yıllık rüzgar gülleri ECMWF veri tabanlarından elde edilen yıllık rüzgar gülleri ile uyumsuzluklar içermektedir. Özellikle rüzgar gülleri içinde belirtilen rüzgar hızlarının Dalga Atlası kaynaklı rüzgar gülleri içinde çok düşük oldukları gözükmemektedir. Her ne kadar bu durum bir olumsuzluk veya uyumsuzluk olarak gözükse de genel olarak ECMWF veri tabanlarından elde edilen rüzgar gülleri ile Dalga Atlası kaynaklı rüzgar gülleri arasında bir uyum olduğu söylenebilir.

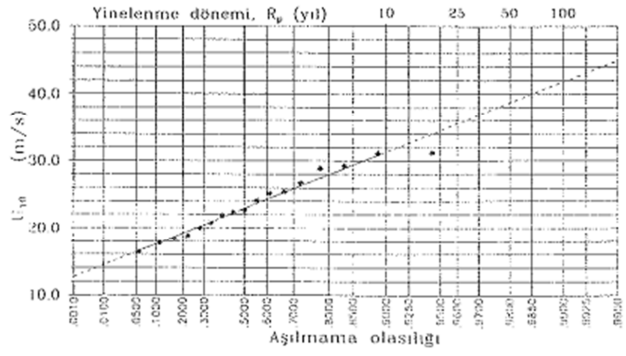
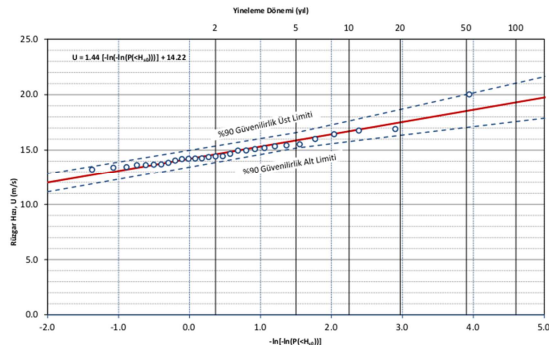
Bir sonraki karşılaştırma rüzgar hızları bazında gerçekleştirilmiştir. ECMWF Operasyonel Arşiv verilerinden elde edilen rüzgar hızları, ECMWF ERA-Interim verilerinden elde edilen rüzgar hızlarıyla karşılaştırılmıştır ve aralarındaki uyumluluk incelenmiştir. Bu amaçla her yılın maksimum rüzgar hızları ECMWF ERA-Interim veri tabanından çekilmiş ve en büyük değer rüzgar istatistiği çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerler ve en büyük değer dalga istatistiği grafiği denklemleri, Dalga Atlası'ndaki en büyük değer rüzgar istatistiği grafiği ile ve bu grafikten elde edilen en büyük değer rüzgar hızları ve denklemleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen grafikler sonuçlar **Şekil 2.70-Şekil 2.75**'te verilmiştir.



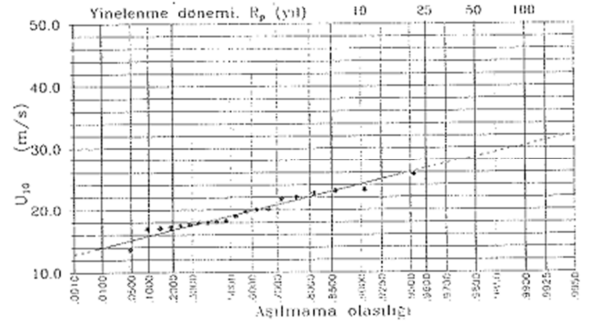
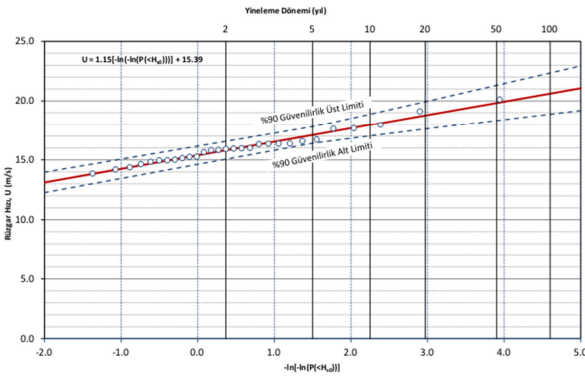
Şekil 2.70 ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sol) (Alanya, 36.50°N-31.90°E) vs. Dalga Atlası En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sağ) (Alanya, 36.50°N-31.90°E)



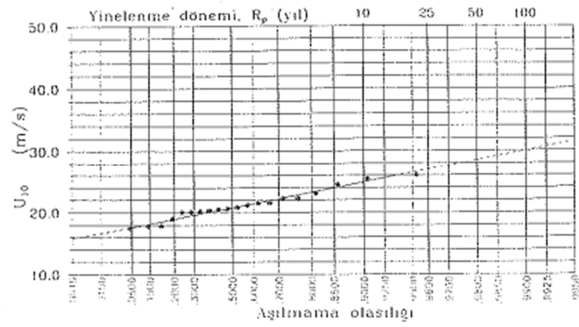
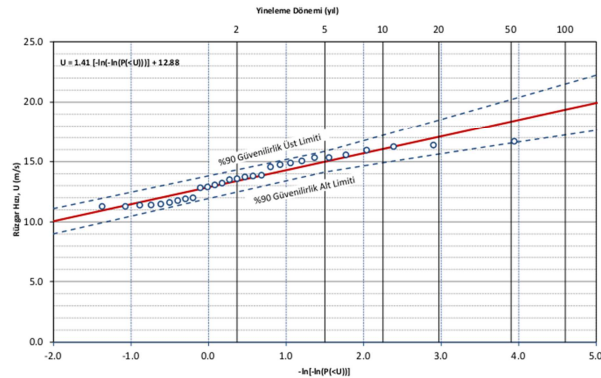
Şekil 2.71 ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sol) (Bafra, 41.80°N-36.20°E) vs. Dalga Atlası En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sağ) (Bafra, 41.75°N-36.20°E)



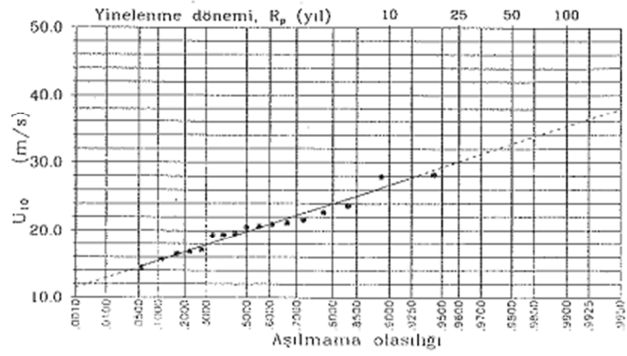
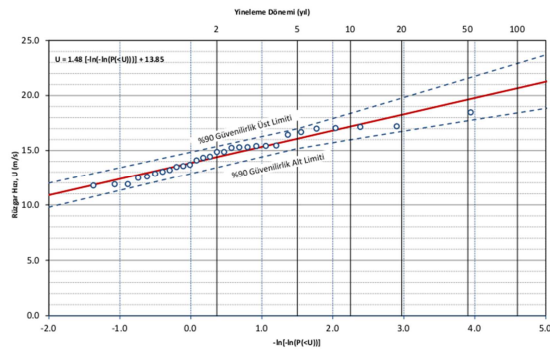
Şekil 2.72 ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sol) (Fethiye, 36.30°N-28.90°E) vs. Dalga Atlası En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sağ) (Fethiye, 36.25°N-28.90°E)



Şekil 2.73 ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sol) (Şile, 41.30°N-29.60°E) vs. Dalga Atlası En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sağ) (Şile, 41.25°N-29.60°E)



Şekil 2.74 ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sol) (Trabzon, 41.20°N-39.80°E) vs. Dalga Atlası En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sağ) (Trabzon, 41.25°N-39.80°E)



Şekil 2.75 ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sol) (Silifke, 36.20°N-34.30°E) vs. Dalga Atlası En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği Grafiği (sağ) (Silifke, 36.25°N-34.30°E)

Şekil 2.70-Şekil 2.75 kullanılarak **Tablo 2-3**'deki değerler elde edilmiştir. **Tablo 2-3**'de Denklem kısmında ECMWF ERA-Interim ve Dalga Atlası verileri kullanılarak gerçekleştirilen en büyük değer rüzgar istatistiği grafikleri denklemleri görülmektedir. Her yöre için, iki denklem arasında bir kullanılabilir bağıntı elde edilmiştir. Elde edilen bağıntılar **Tablo 2-4**'de özetlenmiştir. **Tablo 2-4**'de U_{DA} Dalga Atlası rüzgar hızlarını ve U_{ECMWF} ise ECMWF ERA-Interim rüzgar hızlarını ifade etmektedir. **Tablo 2-4**'de "Kıstas" olarak belirtilen koşul belirtilen bağıntıların kullanılacağı aralığı ifade etmektedir.

Tablo 2-3 ECMWF ERA-Interim ve Dalga Atlası verileri kullanılarak gerçekleştirilen en büyük değer rüzgar istatistiği grafikleri değerleri ve denklemleri

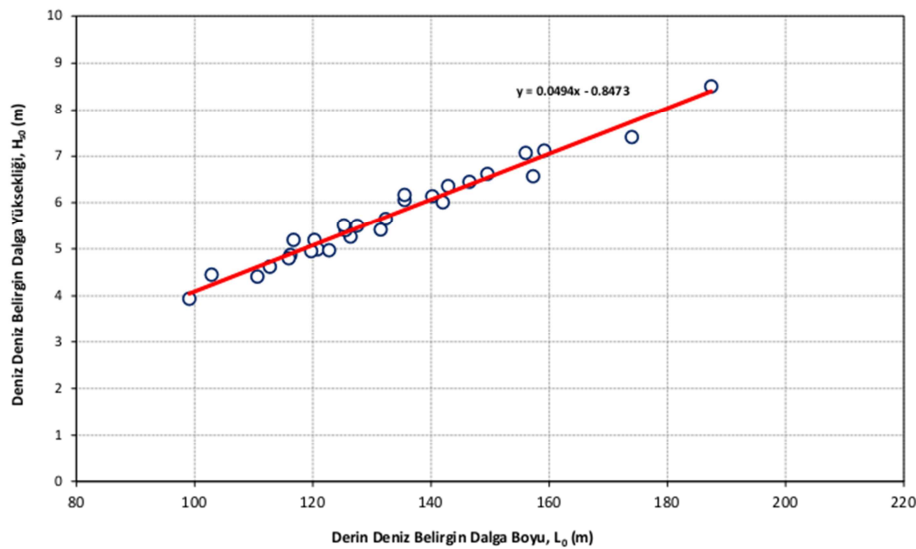
	U (m/s)	$R_p=5$ yıl	$R_p=10$ yıl	$R_p=20$ yıl	$R_p=50$ yıl	$R_p=100$ yıl	Denklem
Alanya	ECMWF	13.6	14.4	15.1	16.0	16.6	$y=0.98x+12.15$
	Dalga Atlası	22.0	30.0	33.0	38.5	39.5	$y=4.05x+20.86$
Bafra	ECMWF	14.7	15.7	16.6	17.8	18.7	$y=1.28x+12.79$
	Dalga Atlası	19.2	21.0	22.5	24.8	26.1	$y=2.21x+16.00$
Fethiye	ECMWF	15.9	16.8	17.6	18.7	19.5	$y=1.44x+14.22$
	Dalga Atlası	28.0	31.5	34.3	38.8	42.0	$y=4.49x+21.22$
Trabzon	ECMWF	15.0	16.1	17.1	18.4	19.4	$y=1.41x+12.88$
	Dalga Atlası	23.6	25.1	26.4	28.2	30.0	$y=2.08x+20.30$
Şile	ECMWF	17.1	18.0	18.8	19.9	20.7	$y=1.15x+15.39$
	Dalga Atlası	22.0	24.0	26.0	28.3	30.3	$y=2.69x+17.92$
Silifke	ECMWF	16.1	17.2	18.3	19.6	20.7	$y=1.48x+13.85$
	Dalga Atlası	24.0	26.9	29.5	32.5	35.2	$y=3.63x+18.55$

Tablo 2-4 ECMWF ERA-Interim ve Dalga Atlası verileri kullanılarak gerçekleştirilen en büyük değer rüzgar istatistiği çalışmaları arasındaki bağıntı

	Bağıntı	Kıstas
Alanya	$U_{DA}=4.14*U_{ECMWF}- 29.41$	$U_{ECMWF} \geq 7.1 \text{ m/s}$
Bafra	$U_{DA} =1.72*U_{ECMWF} - 6.06$	$U_{ECMWF} \geq 3.5 \text{ m/s}$
Fethiye	$U_{DA} =4.58*U_{ECMWF} - 34.47$	$U_{ECMWF} \geq 7.5 \text{ m/s}$
Trabzon	$U_{DA} =1.47*U_{ECMWF} + 1.32$	$U_{ECMWF} \geq 0 \text{ m/s}$
Şile	$U_{DA} =2.34*U_{ECMWF} - 18.13$	$U_{ECMWF} \geq 7.7 \text{ m/s}$
Silifke	$U_{DA} =2.45*U_{ECMWF} - 15.37$	$U_{ECMWF} \geq 6.3 \text{ m/s}$

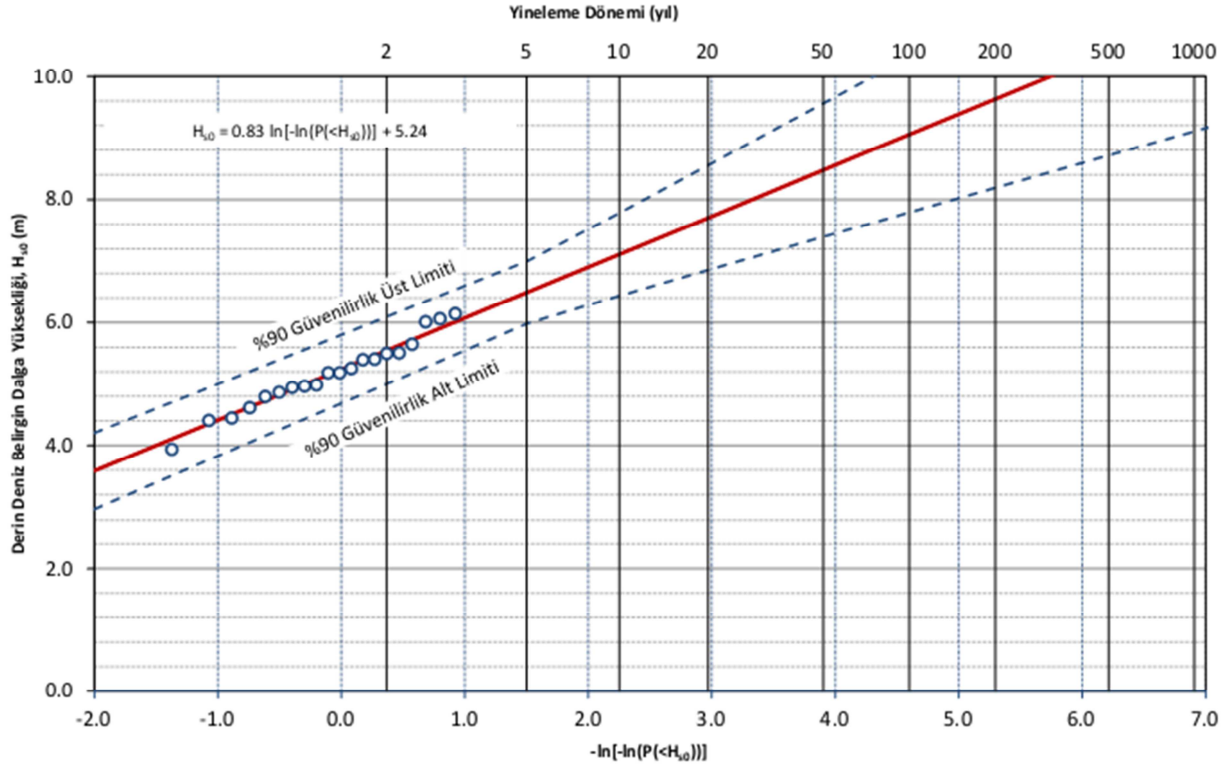
Tablo 2-4'deki "Kıstas" kısmı incelendiğinde elde edilen bağıntıların pek çoğunun fırtına alt limit olarak belirtilebilecek olan 3 m/s durumunda bile kullanılamayacağı görülmektedir. Bulunan "Kıstas" değerleri genel olarak çok yüksektir. Karşılaştırmaların yapıldığı yerlerden yalnızca Trabzon için elde edilen bağıntının kullanılabilirliği öngörülmektedir. Ancak bu durum, ilgili bağıntının kullanılmasıyla gerçekleştirilecek bir çalışma sonucunda elde edilecek en büyük değer dalga değerleri incelendikten sonra netleşecektir. Bu amaçla W61 numerik modeli kullanılarak rüzgar verilerinden fırtınalar çekilmiş ve fırtınalar işlenerek en büyük değer dalgalar elde edilmiştir. Elde edilen en büyük değer dalga özellikleri Dalga Atlası'ndaki en büyük değer dalgalarla karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

En büyük değer dalga istatistiği çalışmalarında ilk aşamada dalga dikliği belirlenmiştir. **Şekil 2.76**'da dalga dikliği grafiğinden de okunabileceği gibi dalga dikliği 0.0494 olarak bulunmuştur.



Şekil 2.76 Modife Edilmiş ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Dalga Dikliği (Trabzon, 41.20°N-39.80°E)

En büyük değer dalga istatistiği çalışmalarında ikinci aşamada dalga dikliği belirlenmiştir. **Şekil 2.77**'de en büyük değer dalga istatistiği grafiği görülmektedir. **Tablo 2-5**'te en büyük değer dalga istatistiği sonuçları özetlenmiştir.

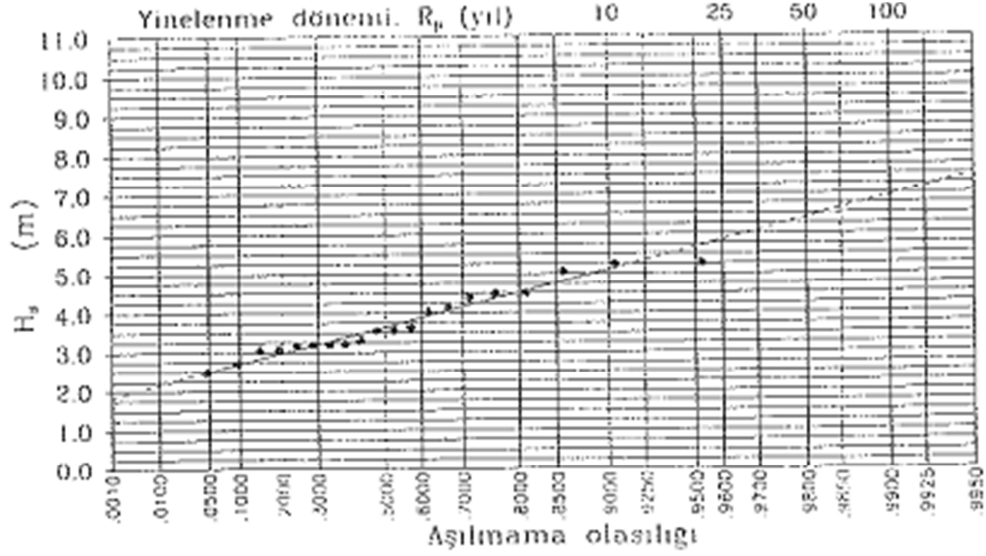


Şekil 2.77 Modife Edilmiş ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Dalga Grafiği (Trabzon, 41.20°N-39.80°E)

Tablo 2-5 Modife Edilmiş ECMWF ERA-Interim Verilerinden Elde Edilen En Büyük Değer Dalga İstatistiği Sonuçları (Trabzon, 41.20°N-39.80°E)

Yineleme Dönemi (yıl)	H_s (m)	T_s (s)
5	6.49 ± 0.51	9.18
10	7.12 ± 0.67	9.61
20	7.72 ± 0.85	10.01
50	8.49 ± 1.08	10.50
100	9.07 ± 1.26	10.85
200	9.65 ± 1.44	11.19

Tablo 2-5'te elde edilen sonuçlar Dalga Atlası'ndaki en büyük değer dalga istatistiği değerleri ile karşılaştırılmıştır. Dalga Atlası'ndaki en büyük değer dalga istatistiği grafiği aşağıda **Şekil 2.78**'de verilmiştir.



Şekil 2.78. Dalga Atlası'ndaki En Büyük Değer Dalga Grafiği (Trabzon, 41.25°N-39.80°E)

Elde edilen değerlere göre Dalga Atlası'ndan elde edilen 100 yıl yinelenme dönemli dalga yüksekliği 7.0 metre olarak görülmektedir. Modife edilmiş ECMWF ERA-Interim verilerinden elde edilen 100 yıl yinelenme dönemli dalga yüksekliği yaklaşık olarak 9.0 metre olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, rüzgar hızında gerçekleştirilen modifikasyonların dalga ikliminin belirlenmesinde kullanılması yanlış neticelere yol açabileceği görülmüştür. Yukarıdaki gibi bir modifikasyon yaklaşımının, kullanılmadan önce dikkatlice araştırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bunun için geniş çaplı araştırmaların yapılması gereklidir. Bu tür geniş kapsamlı araştırmalarda, pek çok lokasyonda uzun süreli rüzgar ve dalga ölçümleri gerçekleştirilmelidir. Elde edilen yerinde ölçüm verileri ile gerçekleştirilecek karşılaştırmalardan yola çıkılarak yapılan modifikasyonlarla ECMWF verilerinin kullanılabilirliği tekrar incelenmelidir. Dolayısıyla bu proje kapsamında böyle geniş bir araştırmanın hem maliyet hem de zaman açısından yapılabilirlik şansı bulunmamaktadır.

3. KUMLANMA MODELİ

4.1 KUMLANMA MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Kıyılardaki kum taşınımının ve bundan dolayı oluşan deniz taban topografyasındaki (batimetri) değişimlerin sayısal olarak modellenmesinde rüzgâr dalgalarının yakın kıyıya (nearshore) taşınımının (transformation) doğru ve hızlı bir şekilde çözülmesi kum taşınım debilerinin ve batimetrik değişimlerin doğruya yakın bir şekilde modellenmesi açısından önemlidir.

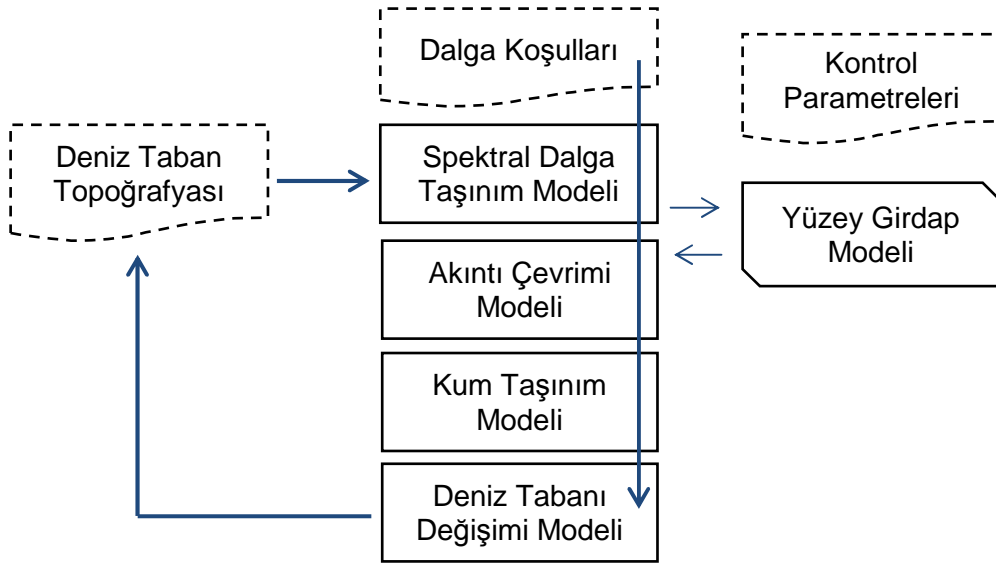
2006 ve 2007 yıllarında Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi'nde geliştirilen (Artagan, 2006; Baykal, 2006; Şafak, 2006; ve Esen, 2007) ve çeşitli teorik karşılaştırmalar ve saha uygulamalarıyla çalışırılığı doğrulanmış tek-çizgi kum taşınım sayısal modelinin (CSIM) geliştirilmesindeki aşamalardan biri rüzgâr dalgalarının yakın kıyıya taşınımı olacaktır. Tek-çizgi kum taşınım modellerinde kıyı kenar çizgisinden (shoreline) kapama derinliğine (closure depth) kadar olan belli bir (Δx) genişlikteki hacimde büyük ölçüde dalgaların kırılma özelliklerine bağlı kıyı boyu kum taşınım debisinin kıyı boyunca olan değişimi ele alınır. Kıyı kenar çizgisinin zaman içindeki değişimi bu debi farklılıkları kullanılarak birinci dereceden bir diferansiyel kütle korunumu denklemi ile çözülür.

Doğada rüzgâr dalgaları farklı periyotlara ve geliş açılına sahip lineer olmayan dalgalardan oluşur. Düzensiz (irregular) ve yönsel (multi-directional) olarak tanımlanan bu dalgalar yakın kıyıya doğru yol alırken enerjilerini sığlaşma (shoaling), sapma (refraction), dönme (diffraction), kırılma (friction), taban sürtünmesi (bottom friction) ve yansıma (reflection) gibi olaylar ile kaybederek ilerlerler. CSIM modelinde bu düzensiz ve çok yönlü rüzgâr dalgaları her bir etkin yön için tek bir dalga yüksekliği, periyodu ve geliş açısı ile tanımlanır. Bu dalganın kırılma bölgesine kadar olan taşınımı (sığlaşma, sapma ve kırılma) CEM'de verilen (2003) kırılma formülü ile hesaplanır ve düzensiz dalga dönmesinden (Kamphuis, 2000) dolayı oluşan enerji kayıpları mevcut kıyı koruma yapılarının konumlarına göre hesaplanır. Analitik ve geometrik yaklaşımlar ile dalga taşınımı CSIM 'da hızlı bir şekilde çözülebilmekte, uzun yıllar boyunca oluşabilecek kıyı kenar çizgisindeki değişimler kısa işlem sürelerinde bilgisayar ortamında modellenmektedir. Yapılan teorik karşılaştırmalar ile görülmüştür ki geliştirilen modeldeki yaklaşımlar nicelik bakımından doğruya yakın sonuçlar vermektedir. Ancak saha uygulamalarında nitelik yönünden başarılı sonuçlar alınsa da doğadaki pek çok başka etkenlerden dolayı yapılan bu dalga taşınımı ile ilgili yaklaşımların kimi zaman yetersiz kaldığı ya da modellemede zorluklar getirdiği görülmüştür.

Bu zorlukların başında kıyı kenar çizgisindeki düzensizliğin artması (içbükey ya da dışbükey) ile yakın kıyıya taşınan kırılma geliş açılarının doğru hesaplanamaması gelmektedir. Bu açılarının doğru bir şekilde hesaplanamaması kum taşınım debilerinin miktarını ve yönünü değiştirdiği için beklenmeyen kıyı kenar çizgisi değişimlerinin hesaplanmasına neden olmaktadır. Özetle herhangi bir kıyı yapısı yokken dışbükey ve ya içbükey bir kıyı çizgisini düzleştirmeye çalışmaktadır. Dalga modellenmesinden kaynaklanan bir diğer sorun ise karmaşık kıyı koruma sistemlerinin etki alanlarındaki dalga dönmesi hesaplamalarında yapı konumlarının ve geometrik özelliklerinin ve bu özelliklere göre tekil ve ortak etki alanlarının

daha detaylı bir şekilde tanımlanması gerekliliğidir. Bu durum modelin herhangi bir kıyı koruma sistemine direk olarak uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Benzer bir sıkıntı benzetim süresince de yaşanabilmektedir. Kum tutma kapasitelerini dolduran kıyı koruma yapıları çevresindeki dalga dönmesi etki alanları değişmekte ve çözümü zorlaştıran durumlar nedeniyle benzetimler yarıda kalabilmektedir.

Proje kapsamında iki boyutlu derinlik ortalamalı bir kıyı değişimi sayısal modeli geliştirilmiştir (Baykal, 2012, TUBİTAK 108M589 AP-GR-01~05). Geliştirilen kumlanma modeli dalga etkileri altında kıyı koruma yapıları (çeşitli mahmuz tipleri ve açık deniz dalgakıranları) çevresindeki morfolojik değişimlerin sayısal benzetimlerinin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Geliştirilen kumlanma modeli 4 alt modelden oluşmaktadır (**Şekil 3.1**).



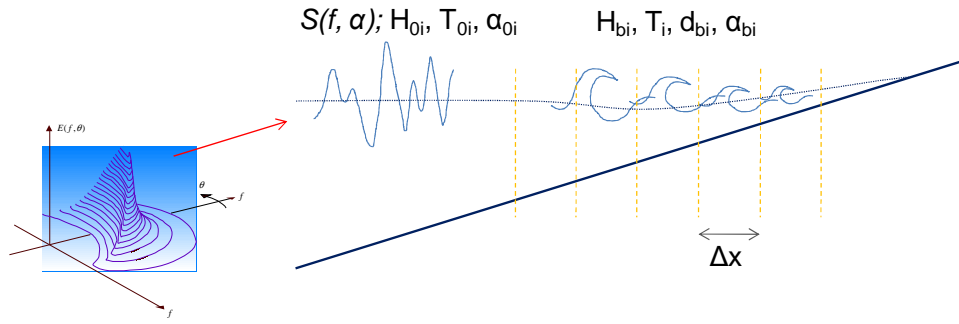
Şekil 3.1 Kumlanma modelinin şematik yapısı

Birinci alt model iki boyutlu periyot ortalamalı dalga dönüşüm modelidir. Bu modelde enerji akısı korunumu kısmi türevsel denklemi sonlu farklar yöntemi ile kıyıya dik (x), kıyıya paralel (y) ve yaklaşma açısı (θ) bağımsız değişkenlerine karşılık çözülmektedir. Bu yolla çalışılan 2 boyutlu kıyı alanında derin denizden kıyı çizgisine kadar varsa mevcut kıyı yapıları çevresindeki dalga yüksekliği ve yaklaşma açıları, dalga yayılım gerilmeleri (radiation stresses) dalga hızı ve dalga grup hızları, tabandaki dairesel en büyük parçacık hızları değişkenleri hesaplanır. Dalga dönüşüm modelinden elde edilen çıktılar kıyıda dalga kaynaklı akıntı çevriminin bulunması amacıyla kumlanma modelinin ikinci alt modeli olan yakın kıyı akıntı modelinde değerlendirilir. Kumlanma modelinin ikinci alt modeli dalga yayılım ve yüzey girdap (surface roller) gerilmeleri, taban ve yanıl sürtünmeler etkisinde oluşan x ve y doğrultularındaki derinlik ortalamalı akıntı hızları ve ortalama su seviyesi değişiminin hesaplandığı yakın kıyı akıntı çevrim modelidir. Bu alt modelde doğrusal olmayan sığ su denklemleri sonlu farklar yöntemi ile çözülmektedir. Doğrusal olmayan sığ su denklemleri bir adet kütle korunumu ve x ve y doğrultularında momentum korunum denklemlerinden oluşur. Dalga ve akıntı modellerinin çıktıları geliştirilen kumlanma modelinin üçüncü alt modeli olan ve yayılı toplam kıyıya dik ve kıyı boyu kum taşınım debilerinin hesaplandığı kumlanma modelinin üçüncü alt modeli olan kum taşınım modelinde kullanılır.

Son olarak hesaplanan dalga etkilerine bağılı yayılı toplam kıyı boyu ve kıyıya dik kum taşınım debileri kumlanma modelinin dördüncü alt modeli olan deniz tabanı değişim modelinde kullanılır. Bu modelde kütle korunum denklemi sonlu farklar yöntemi ile çözümlenerek kıyıda dalga etkilerine bağılı oyulma ve birikmenin gerçekleştiği yerler belirlenir, kıyı yapıları çevresindeki zamana bağılı deniz taban değişimleri hesaplanır. Proje kapsamında geliştirilen modelin çeşitli laboratuvar ve saha ölçümleri ile doğrulaması yapılmış ve Kızılırmak nehir ağızı için saha uygulaması çalışması yapılmıştır. Ayrıca kırılan dalgaların enerji akılarındaki değişim ile yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu debilerin hesaplanması için göreceli olarak yalın ve etkili bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem mevcut laboratuvar ve saha ölçümleri ile karşılaştırılmış, ölçümler ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Önerilen yöntemin kıyıya dik taşınımı da kapsayacak şekilde genişletilmesi için akıntı modelinin geliştirilmesine devam edilmesine, dalga kırılma bölgesinde kıyıya dik yöndeki hız profilini belirleyen süreçlerin araştırılmasına ve karşılaştırmalar için saha ölçümleri ile veri setleri üretilmesine ihtiyaç vardır. Geliştirilen sayısal modelin gelecekteki çalışma konularının başında yapılar çevresinde gözlenen sayısal kararsızlık durumlarının iyileştirilmesi ve çözüm sürelerinin azaltılması için kullanılan sayısal çözüm yöntemlerinin geliştirilmesi, dalga kırılma bölgesinde kıyıya dik yöndeki hız profilini belirleyen süreçlerin araştırılması ve bunun sayısal olarak akıntı modelinde ifade edilmesi, akıntı-dalga etkileşiminin dalga dönüşüm modeline dahil edilmesi gelmektedir.

4.2 YAKIN KIYI SPEKTRAL DALGA TAŞINIM MODELİ

Yukarıda bahsedilen sorunların giderilmesi ve deniz seviyesi yükselmesi etkilerinin de modele dahil edilmesi amacıyla dalga taşınımının sayısal model alanı (batimetri) üzerinde iki boyutlu dalga denklemlerinin sayısal çözümü ile modellenmesi gerekli görülmüştür. Günümüzde gelişen bilgisayar teknolojileri ve sayısal çözümleme teknikleri sayesinde iki boyutlu dalga modellenmesi oldukça hızlı ve doğru bir şekilde yapılabilmektedir. Geliştirilmekte olan kum taşınım modelinin dalga modellenmesi kısmının iki boyutlu bir şekilde tekrar yazılması amacıyla için literatürdeki mevcut dalga taşınım modelleme yaklaşımları ve çalışmaları araştırılmıştır. Dalga taşınımının iki boyutlu modellenmesi hesaplama/benzetim sürelerini artıracak olmasına rağmen düzensiz dalga kırılmasının kum taşınım modelinde daha detaylı bir şekilde çalışılmasına olanak sağlayacaktır. Bu sayede dalgaların kıyıya doğru yaklaşırken enerjilerinin ne kadarını hangi noktada kırılmadan dolayı kaybettiği, bu kaybın kıyıya dik taban kesiti boyunca nasıl bir eğilim gösterdiği ve bu eğilimin kıyı boyu kum taşınım debileri ile olan ilişkileri araştırılacaktır. Farklı yönlere ve periyotlara bağılı bir enerji dağılımına, $S(f, \alpha)$, sahip düzensiz ve yönsel dalgaların kırılması (derin deniz dalga yüksekliği, H_{0i} , dalga periyodu, T_{0i} , ve derin deniz geliş açısı, α_{0i}) **Şekil 3.2**'de gösterilmiştir. Bu şekle göre bir enerji dağılımı ile tanımlanabilen rüzgar dalgalarının içindeki her bir tekil dalganın kırılma özellikleri (dalga kırılma yüksekliği, H_{bi} , dalga periyodu, T_i , kırılma derinliği, d_{bi} , ve kırılma geliş açısı, α_{bi}) farklıdır ve her bir derinlikte kırılan dalgaların rüzgar dalgalarının toplam enerjisine oranı tanımlanabilmektedir.



Şekil 3.2 Düzensiz ve yönsel dalgaların kırılması

Günümüze kadarki geliştirilmiş dalga taşınım modellerini iki ana sınıfa ayırmak mümkündür. Bunlardan birincisi (phase-resolving) deniz seviyesinin bütün deniz taban topografyası boyunca ve zaman içindeki değişimini inceler. Boussinesq ve lineer olmayan yumuşak eğim modelleri (mild slope wave models) bu tip modellere örnektir. Bu modeller deniz yüzey kesitinin (dalga profilinin) zaman ve ortam içindeki değişiminin çalışıldığı liman içi çalkantı ve rezonans problemlerinde yada tsunami dalgalarının ilerleyişi gibi çalışmalarda kullanılmaktadır. Geniş deniz alanlarında ya da uzun süreli benzetimleri için (yıllar bazında) yüklü işlem kapasitesine ve uzun hesaplama sürelerine ihtiyaç duyarlar ve sayısal kararsızlık sorunları ile karşılaşılır. Bir diğer sınıf modeller (phase-averaging) ise dalga profilinin ortalama bir takım dalga ölçütleri (dalga yüksekliği, periyodu, geliş açısı vb.) ile tanımlanması ile bu ölçütlerin deniz taban topografyası boyunca (sabit ya da zaman içindeki değişen bir batimetri boyunca) değişimini inceler. Bu modellere örnek olarak lineer yumuşak eğim modelleri ya da enerji korunum modelleri (action/energy balance wave models) gösterilebilir. Yakın kıyı dalga taşınımı gibi geniş alan ve uzun süreli benzetim çalışmalarında sıklıkla kullanılırlar ve yüksek kararlılık gösterirler.

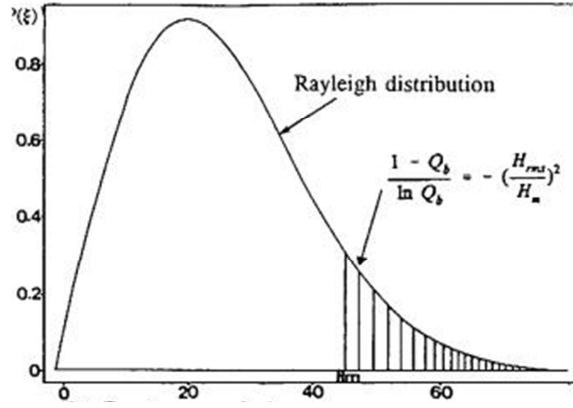
Yumuşak eğim dalga denklemi ilk olarak sığ sularda dalga genliğinin değişimi için Eckart (1952) tarafından eliptik olarak geliştirilmiş ve 1972 yılında Berkhoff tarafından düzensiz deniz tabanı için tekrardan türetilmiştir. Sonraki çalışmalarda dalga-akıntı etkileşimi, dik taban eğimleri ve lineer-olmayan dalga koşulları için geliştirilmiş, taban sürtünmesi ve dalga kırılma olayları eklenmiştir. Eliptik, parabolik, hiperbolik ve genişletilmiş parabolik olarak farklı türevleri kullanılmaktadır. Başlangıçta düzenli dalgaların ilerleyişi için geliştirilen yumuşak eğim dalga modelleri (REF/DIF 1, 1982, James T. Kirby, Robert A. Dalrymple, Fengyan Shi ve diğ.) sonraları düzensiz ve yönsel dalgalar için geliştirilmeye devam edilmiştir. (REF/DIF S, 2002, Tuba Ozkan-Haller, Arun Chawla ve diğ.) Dalga sapması ve dönmesi problemlerinde Boussinesq tipi dalga modelleriyle birlikte sıklıkla kullanılan bu modellerdeki en önemli kısıtlama modelin hassasiyetinin ve kararlılığının önemli ölçüde çözüm nokta aralığının dalga boyuna oranına bağlı olmasıdır. Bu sebeple geniş alan uygulamalarında bu tip modellerin verimi düşmektedir. Sayısal çözümleme ve sınır şartlarının tanımlanmasında sıkıntılar içermekle birlikte günümüzde dalga sapması ve dönmesi olaylarının araştırılmasında en çok kullanılan modeller yumuşak eğim modelleridir.

Rüzgâr dalgalarının oluşumu ve yakın kıyıya taşınımı için geliştirilen enerji korunum dalga modelleri özellikle geniş alan uygulamalarında üstünlük sağlamaktadır. Bir fırtına anındaki deniz yüzeyinde farklı periyotlara ve yönlere sahip dalgaların toplam enerjisinin alan ve zaman içindeki değişimini çözerler. Kıyı koruma sistemleri çevresinde önem kazanan dalga

dönmesi ve sapması olayları bu modellerin zayıf noktasını oluşturmaktadır. Ancak bu konuda son çalışmalar ile (Mase, 2001 ve Holthuijsen ve diğ., 2003) dalga dönmesi de bu modeller yardımı ile modellenenmektedir. Bu modellere örnek olarak STWAVE (US Army Corps. Of Eng.), SWAN (Booij ve diğ., 1999) ve ExEBED (Mase, 2001, 2005) gösterilebilir. Bu modellerden SWAN ve REF/DIF 1 genel kullanıma açıktır. Diğer modeller lisanslı programlar olmaları sebebiyle kullanıma kapalıdır. Geniş kıyı alanlarında dalga taşınımını hızlı bir şekilde çözmesi, sayısal çözümlene algoritmasının daha kolay bir şekilde oluşturulabilmesi ve rüzgar dalgalarının düzensiz ve karmaşık yapılarının daha iyi bir şekilde yansıtılması nedeniyle son yıllarda bu tip modellerin yakın kıyı sirkülasyon ve akıntı modelleri ile birleşik kullanımı yönünde çalışmalar yapılmış (Bruneau ve diğ., 2007; Warner ve diğ., 2008), enerji korunum denklemi çözen kum taşınımı modelleri geliştirilmeye başlanmıştır (XBEACH - UNESCO-IHE, U.S. Army Corps of Engineers, 2006).

Yukarıda bahsedilen dalga taşınım modellerinde dalga kırılma olayı bir tür enerji kaybı ya da dalga dikliği (dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranı) tarafından kontrol edilen bir sınır şartı olarak çözülmektedir. Düzensiz dalga kırılmasının anlaşılabilmesi ve sayısal çözümü ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Laboratuvar ve saha ölçümleri ile farklı taban eğimleri ve dalga dikliği değerlerine bağlı formüller ve dalga kırılma modelleri geliştirilmiştir. Battjes ve Janssen'in 1978'de Rayleigh dağılımına sahip bir düzensiz dalga serisinin kıyıya dik bir deniz profili boyunca düzensiz dalga kırılması ve sığlaşmasına bağlı değişimini çalışmış, hidrolik sıçramadan esinlenerek (ilk olarak LeMehauté tarafından, 1962) geliştirdikleri burğu tipi (bore-type) dalga kırılma modelini laboratuvar sonuçları ile karşılaştırmıştır. Bu modelde herhangi bir derinlikte Rayleigh dağılımına sahip bir dalga serisi içindeki dalgalardan o derinlikteki en büyük dalga yüksekliğinden daha büyük dalgaların kırılacağı varsayımı yapılmıştır (bknz. **Şekil 3.3**). SWAN modelinde de dalga kırılması bu yaklaşımla çözülmektedir. Thornton ve Guza (1983) ve Baldock ve diğ.'nin (1998) çalışmalarında kırılma bölgesindeki dalgaların tam bir Rayleigh dağılımına sahip olduğu kabul edilebileceği belirtilmiş ve buna göre dalga enerjisinin korunumunu esas alan dalga kırılma modelleri geliştirilmiştir. Janssen ve Battjes'in (2007) çalışması ile kırılan dalgaların oranının 0 ile 1 arasında kalması sağlanmış ve dik eğimlerde dahi uygulanabilecek bir dalga kırılma modeli yazılmıştır.

Svendsen (1984) kırılma bölgesinde gözlemlenen tabana yakın derinliklerdeki ters akıntı hızlarını (undertow velocity) açıklamak için yüzey dalgaları (surface roller) kavramını geliştirmiştir. Bu yaklaşımda kırılmadan dolayı kaybolan enerjinin bir miktarı bu yüzey dalgalarının gelişimine ve ilerleyişine kalan kısmı ise türbülansa harcandığı varsayılmaktadır. Bu yolla kırılmadan dolayı su yüzeyindeki değişimler daha iyi bir şekilde modellenenilmekte ve ters akıntı hızları açıklanabilmektedir. Bu konu kıyıya dik taşınımın araştırılmasında önemli olacaktır.



Şekil 3.3 Rayleigh dağılımına sahip düzensiz dalgalarda kırılma (Q_b : kırılan dalgaların oranı)

Kum taşınım modelinde kullanılmak üzere geniş alanlarda (1-100 km²) hızlı ve kararlı bir şekilde çalışabilecek bir dalga taşınım modelinin yazılması amacıyla öncelikle dalga kırılması olayları derinlemesine çalışılmaktadır. Bu sebeple Janssen ve Battjes'in (2007) çalışmasını esas alan bir tek-boyutlu dalga kırılma modeli yazılmıştır. Bu modelde derin denizdeki düzensiz ve yönsel dalgaların toplam enerji akısının (F) kıyıya dik deniz tabanı profili boyunca (x yönünde) değişimi birinci dereceden enerji korunumu denkleminin sonlu farklar yöntemi ile çözülmektedir (bkz. Denk.3.1). Çözüm sonrası her bir derinlikte kırılan dalgaların oranı (Q_b), kırılmaya harcanan enerji miktarı (D) ve ortalama karakök dalga yüksekliği (H_{rms}) ve geliş açısı (θ) hesaplanabilmektedir (bkz. Denk.3.1-11). Ayrıca kıyıya dik dalga yayılım basıncındaki (radiation stress, S_{xx}) değişikliklerden kaynaklanan dalga kabarması ve dolayısıyla deniz seviyesi değişimleri (η) elde edilebilmektedir (bkz. Denk.3.11-13). Dalga kabarması deniz kaynaklı taşkın olaylarında rüzgâr kabarması ile birlikte önemli etkiye sahiptir (Walton ve Dean, 2009). Uzun dönemde deniz seviyesi yükselmesinin etkileri ile birleştiğinde deniz kenarındaki sulak alanlar ya da aşınmaya açık kıyı alanlarında yıkıcı etkiler gösterebilir.

$$\frac{dF}{dx} = -D \quad 3-1$$

$$F = EC_g \cos \theta \quad 3-2$$

$$E = \frac{\rho g H_{rms}^2}{8} \quad 3-3$$

$$C_g = \frac{1}{2} \frac{gT}{2\pi} \tanh(kh) \cdot \left(1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right) \quad 3-4$$

$$D = \frac{3\sqrt{\pi}}{16} Bf\rho g \frac{H_{rms}^3}{h} \left[1 + \frac{4}{3\sqrt{\pi}} (R^3 + \frac{3}{2}R) \exp(-R^2) - \text{erf}(R) \right] \quad 3-5$$

$$Q_b = \exp(-R^2) \quad 3-6$$

$$R = H_b / H_{rms} \quad 3-7$$

$$H_b = \gamma_b h \quad 3-8$$

$$\gamma_b \cong 0.78 \quad 3-9$$

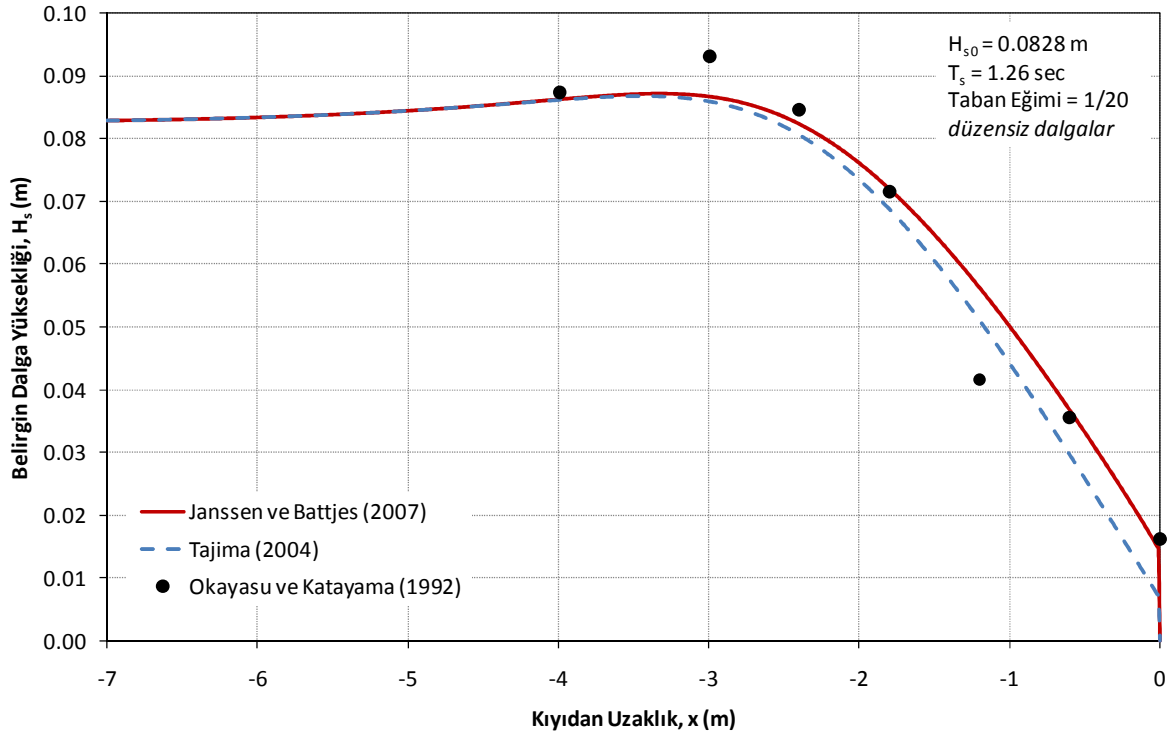
$$k = 2\pi / L \quad 3-10$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kh \quad 3-11$$

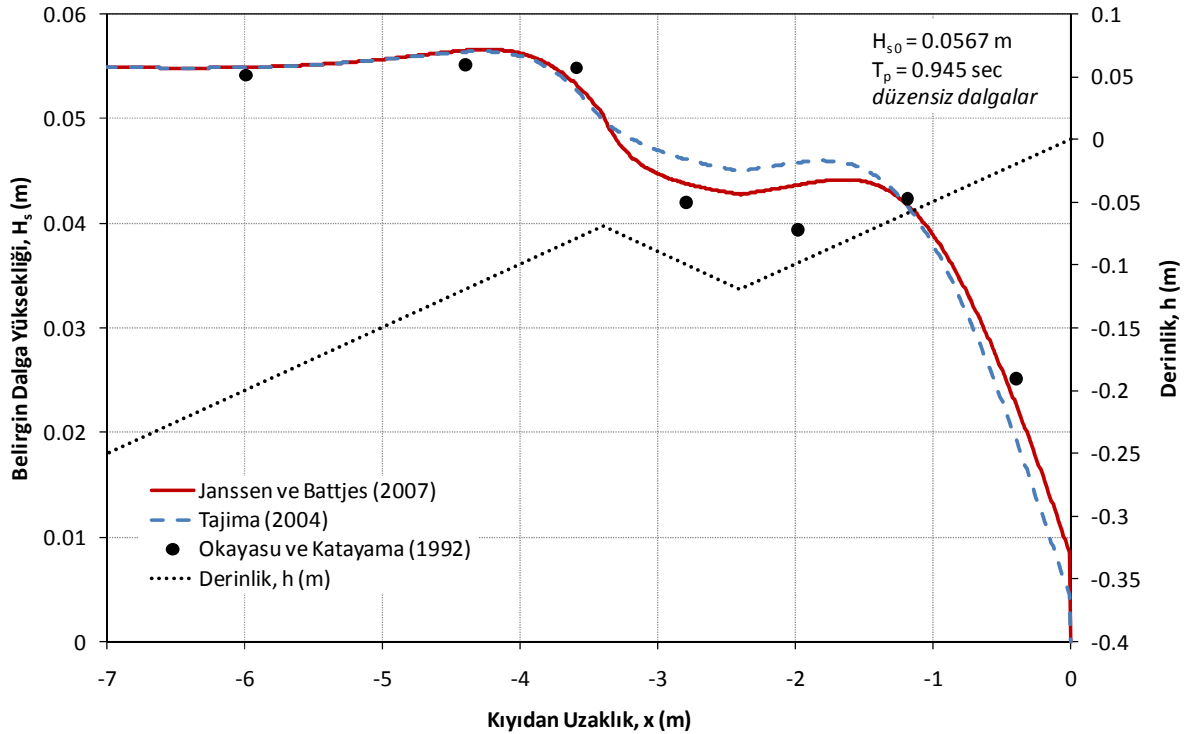
$$S_{xx} = \frac{1}{2} E \left[\left(\frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right) (1 + \cos^2 \theta) + \cos^2 \theta \right] \quad 3-12$$

$$\frac{dS_{xx}}{dx} + \rho g (h + \eta) \frac{d\eta}{dx} = 0 \quad 3-13$$

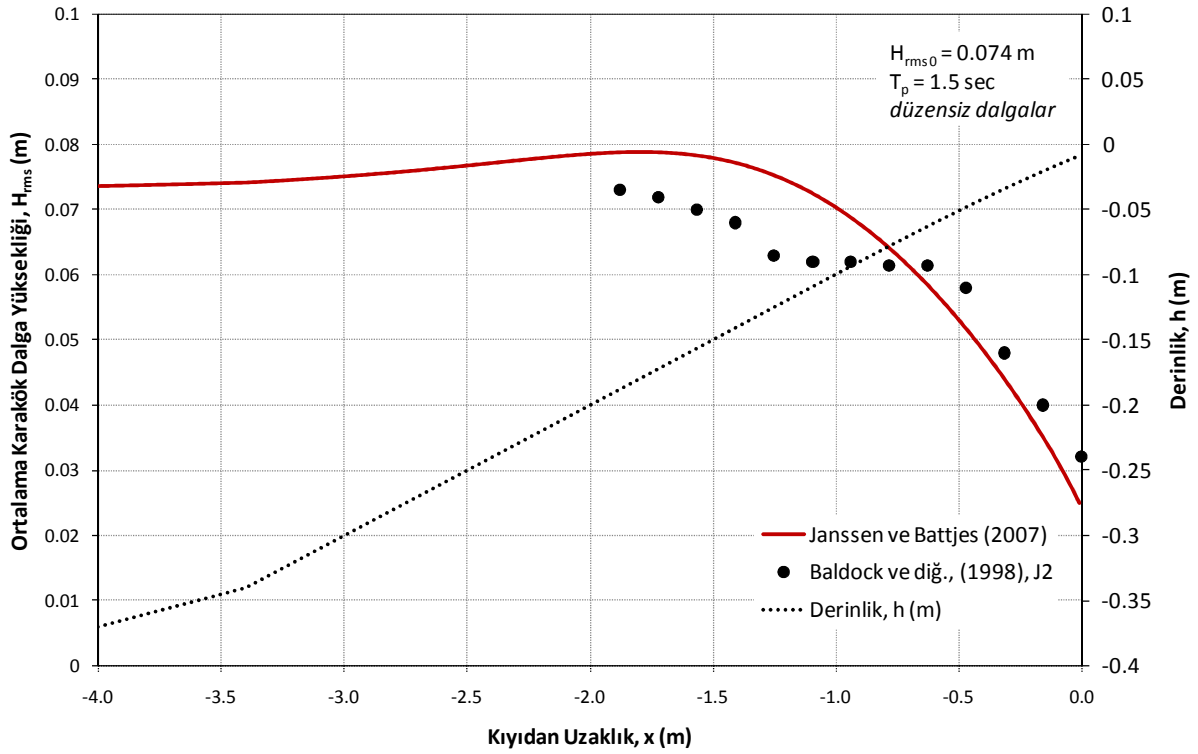
Yukarıdaki denklemlerde, g yerçekimi ivmesi, ρ deniz suyunun yoğunluğu, h su derinliği, L dalga boyu, E dalga toplam enerjisi, C_g grup hızı ve H_b dalga kırılma yüksekliğidir. Profil boyunca hesaplanan dalga enerjisi ile su seviyesi değişimleri elde edilir, su derinlikleri bu değişimlerle güncellenir ve enerji korunum denklemi tekrardan çözülür. Bu yineleme eski ile yeni su derinlikleri arasındaki fark ihmal edilebilecek düzeyde oluncaya kadar devam eder. Yazılan modelin (Janssen ve Battjes, 2007) literatürdeki benzer model (Tajima, 2004) ve ölçümlerle (Battjes ve Janssen, 1978; Okayasu ve Katayama, 1992; Baldock ve diğ., 1998) olan karşılaştırmaları düzensiz dalgalar için **Şekil 3.4 - Şekil 3.11**'de verilmiştir.



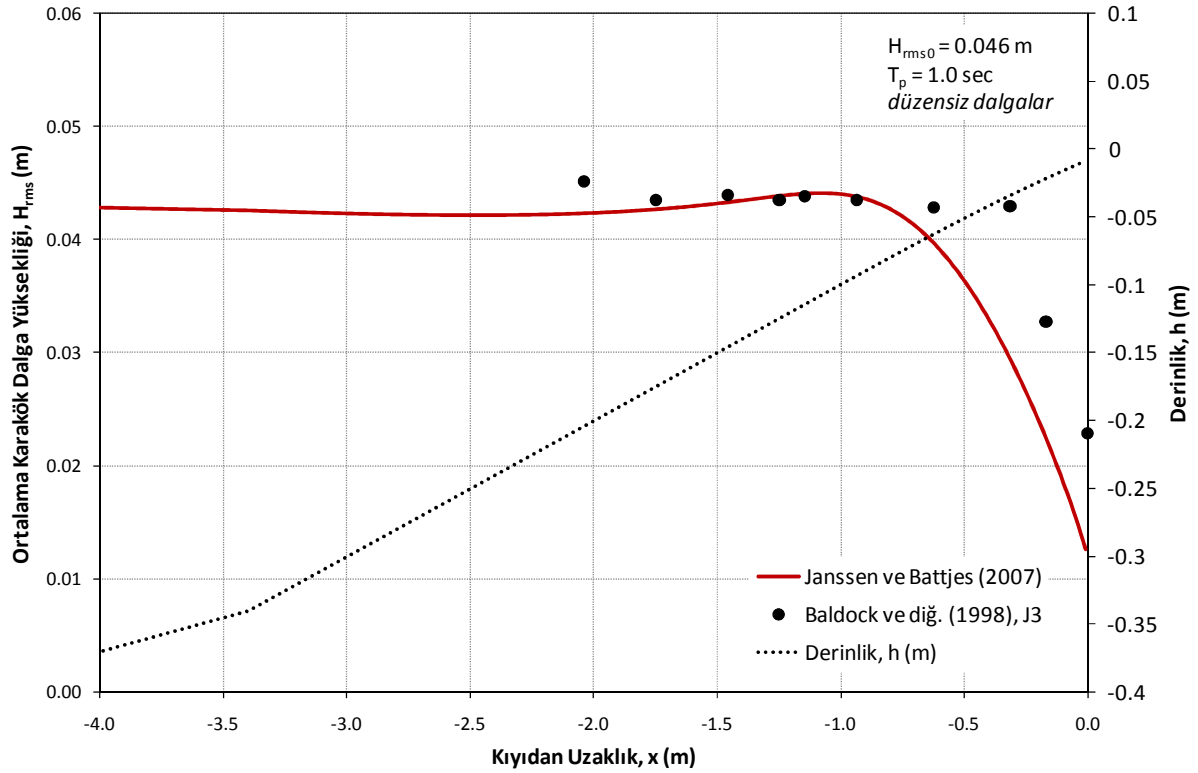
Şekil 3.4 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Tajima (2004) 'nin dalga kırılma modeli ve Okayasu ve Katayama (1992) ölçümleri ile karşılaştırılması (sabit taban eğimi)



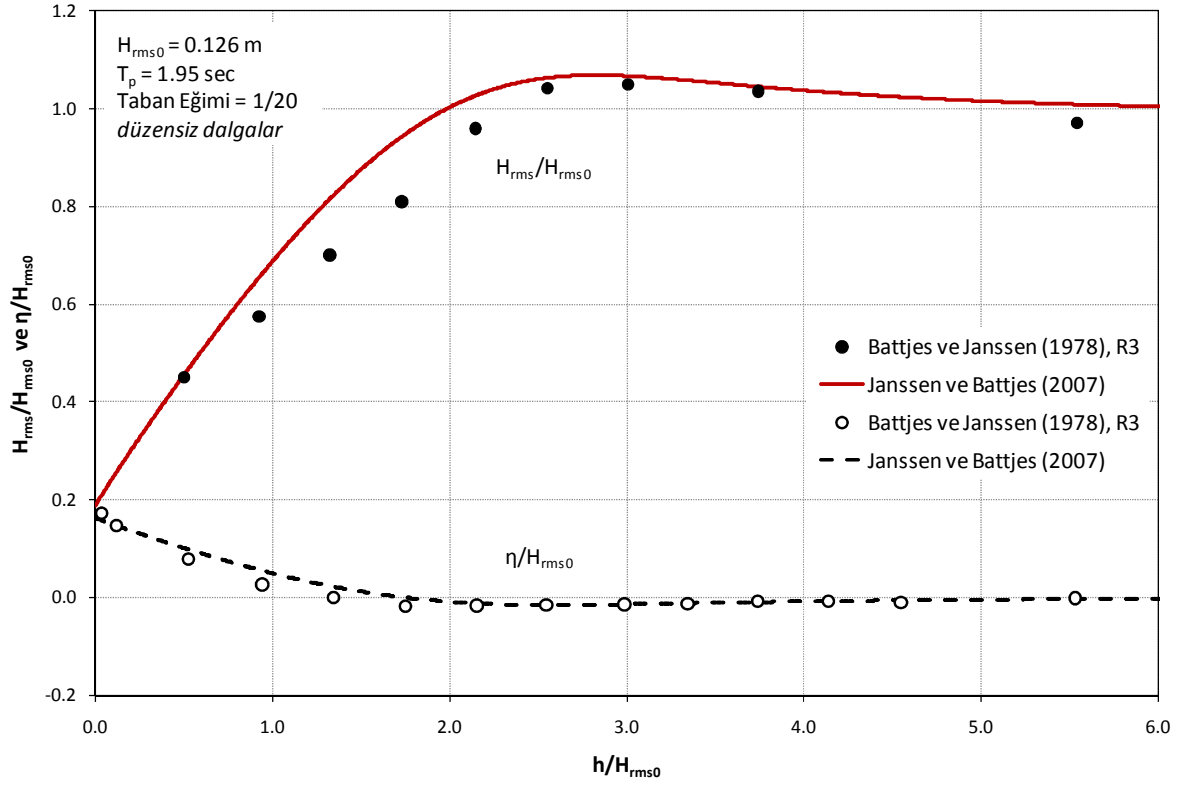
Şekil 3.5 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Tajima (2004) 'nin dalga kırılma modeli ve Okayasu ve Katayama (1992) ölçümleri ile karşılaştırılması (değişken taban eğimi)



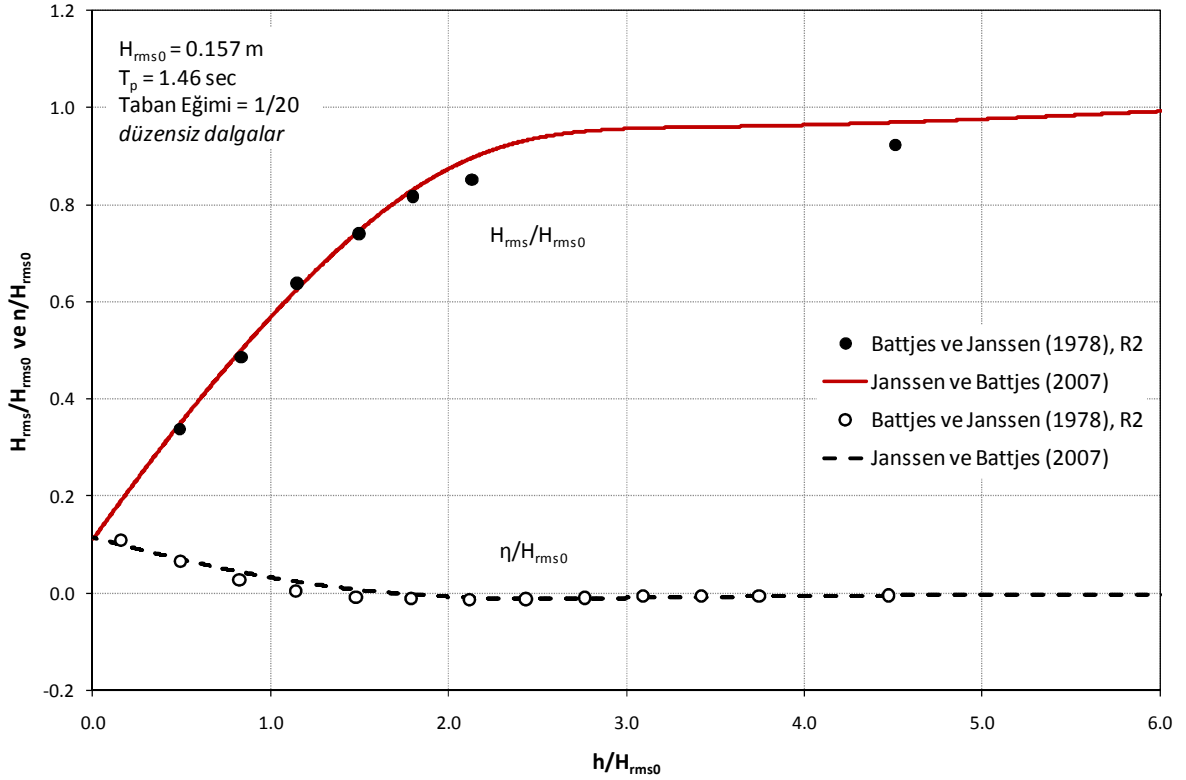
Şekil 3.6 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Baldock ve diğ. (1998) J2 ölçümleri ile karşılaştırılması (değişken taban eğimi)



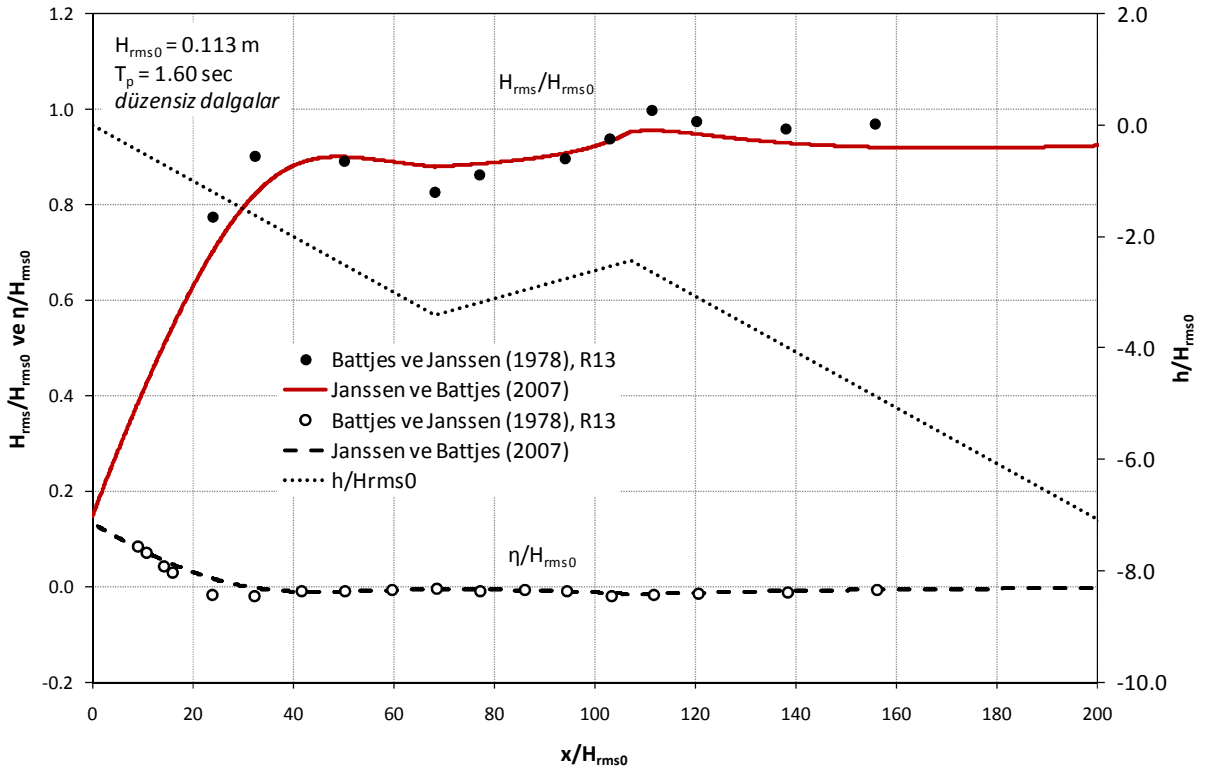
Şekil 3.7 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Baldock ve diğ. (1998) J3 ölçümleri ile karşılaştırılması (değişken taban eğimi)



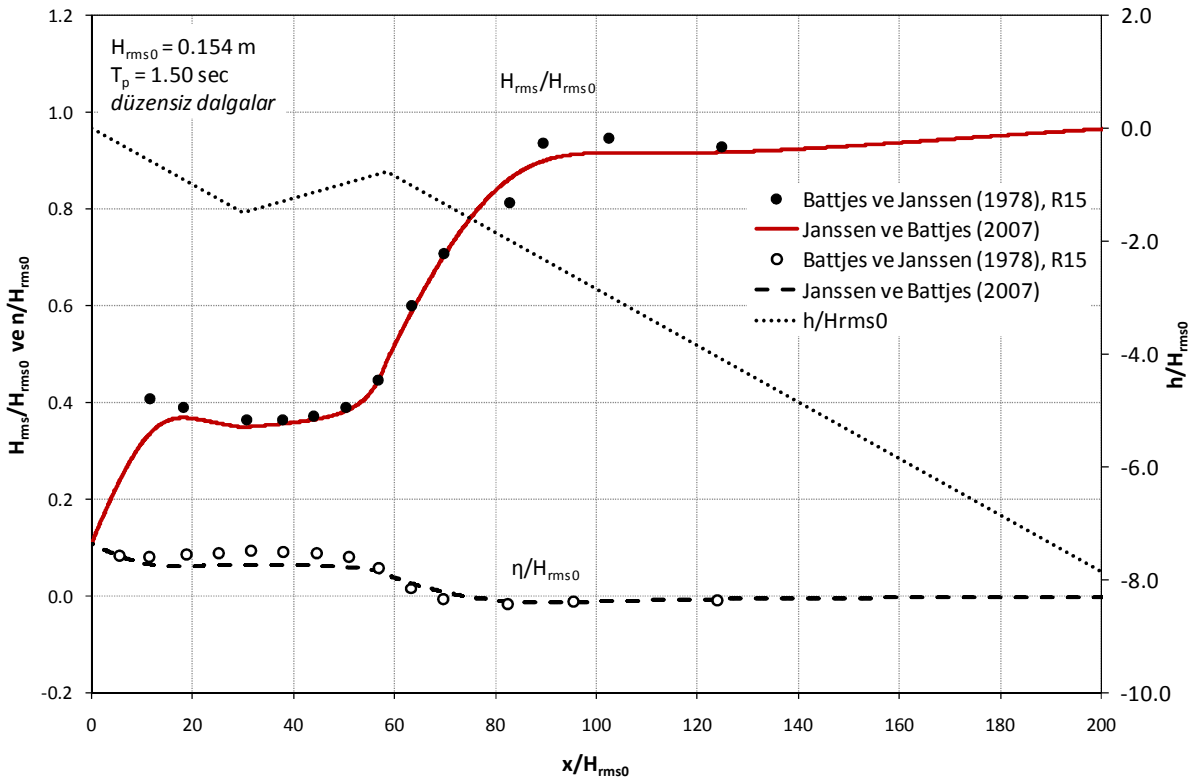
Şekil 3.8 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Battjes ve Janssen (1978) R3 ölçümleri ile karşılaştırılması (sabit taban eğimi)



Şekil 3.9 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Battjes ve Janssen (1978) R2 ölçümleri ile karşılaştırılması (sabit taban eğimi)



Şekil 3.10 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Battjes ve Janssen (1978) R13 ölçümleri ile karşılaştırılması (değişken taban eğimi)



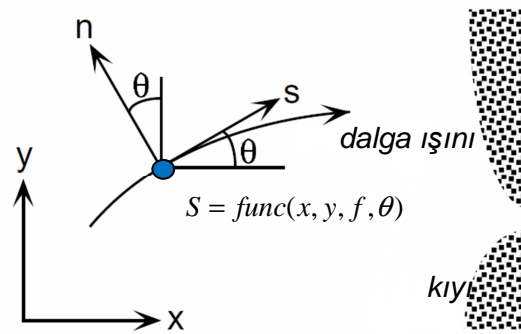
Şekil 3.11 Janssen ve Battjes (2007) modelinin Battjes ve Janssen (1978) R12 ölçümleri ile karşılaştırılması (değişken taban eğimi)

Karşılaştırmalardan görüldüğü üzere Janssen ve Battjes'in geliştirdiği (2007) yaklaşım ile kırılan dalgaların kıyıya dik bir profil boyunca değişimi sabit ve değişken taban eğimleri için oldukça başarılı bir şekilde modellenebilmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi yapılan çözümlerde Δx aralığının çok küçük seçilmiş olmasıdır. Çözüm aralığının daha büyük değerleri için hata oranı artacaktır.

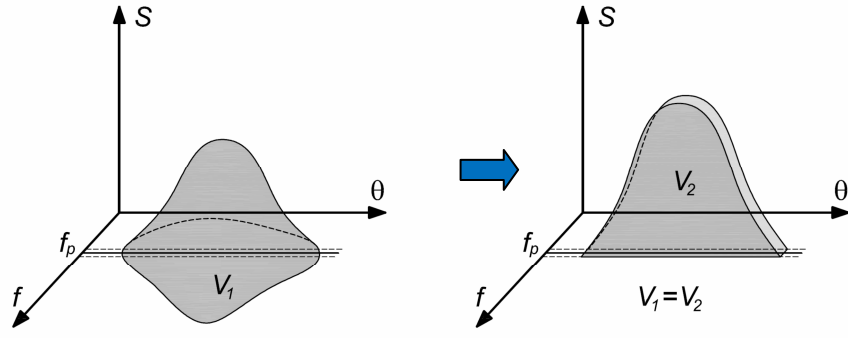
Geliştirilen kumlanma modelinde kullanılmak üzere yakın kıyı dalga taşınımı gibi geniş alan ve uzun süreli benzetim çalışmalarında sıklıkla kullanılan ve yüksek kararlılık gösteren enerji akısı korunum tipi dalga modeli oluşturulmuştur. Bu amaçla dalga enerji akısı korunumu denkleminin (Bknz. Denklem 3.14) iki boyutlu sayısal çözümü Mase (2001) tarafından verilen sonlu farklar yöntemi çözüm şeması uygulanarak MATLAB ortamında yapılmıştır. Denklem 3.14'in sayısal olarak çözülmesinde 3.4-3.11 ve 3.15-3.19 denklemleri kullanılmaktadır.

$$\frac{\partial(v_x S)}{\partial x} + \frac{\partial(v_y S)}{\partial y} + \frac{\partial(v_\theta S)}{\partial \theta} = D_d - D_b \quad 3-14$$

Dalga enerjisi $S(x,y,f,\theta)$ kıyıya dik (x) ve kıyıya paralel (y) doğrultularda, dalga frekansına (f), ve dalga açısına (θ ; $-\pi/2 - \pi/2$ aralığında) bağlı olarak değişim göstermektedir (Bknz. **Şekil 3.12**). Dalga taşınım modelinin geliştirilmesinin bu aşamasında dalga enerjisinin tamamı tek bir frekans değerinde toplandığı kabul edilmiştir. Bu frekans değeri dalga pik frekansı (dalga frekansına göre enerjinin en yüksek değerine ulaştığı frekans değeri; f_p) olarak seçilmiştir. Her bir açısal çözüm aralığı, $\Delta\theta$, için bütün frekans değerlerine karşılık gelen enerjiler toplanmış ve tek bir frekans değerine ve açısal bir dağılıma sahip bir dalga enerjisi elde edilmiştir (**Şekil 3.13**). Dalga dönmesinden dolayı oluşan enerji değişimi terimi, D_d , Mase (2001) tarafından Denklem 3.19'daki gibi verilmiştir. Bu aşamada Denk.3.14'in sonlu farklar yöntemi ile çözümünde dalga dönmesi terimi dikkate alınmamış, enerjinin sadece kırılma (Janssen ve Battjes, 2007; Denk.3.18), sapma ve sığlaşmadan dolayı değiştiği kabul edilmiştir. Dalga dönmesi teriminin çözüme eklenmesi ve teorik değerler ile karşılaştırmaları çalışmanın sonraki aşamalarında gerçekleştirilecektir.



Şekil 3.12 Koordinat sistemi (Mase, 2001)



Şekil 3.13 Tek bir frekans ve açısal dağılıma sahip spektral dalga enerjisi

$$(v_x, v_y) = (C_g \cos \theta, C_g \sin \theta) \quad 3-15$$

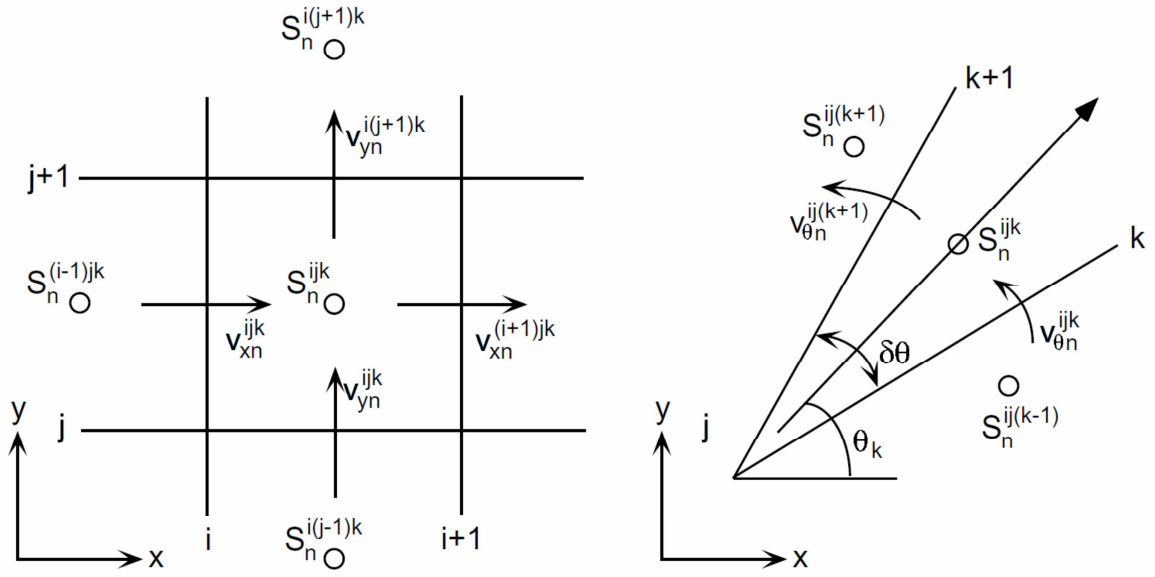
$$v_\theta = \frac{C_g}{C} \left(\sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad 3-16$$

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh(kh) \quad 3-17$$

$$D_d = \frac{\kappa}{2\omega} \left((CC_g \cos^2 \theta \cdot S_y)_y - \frac{1}{2} CC_g \cos^2 \theta \cdot S_{yy} \right) \quad 3-18$$

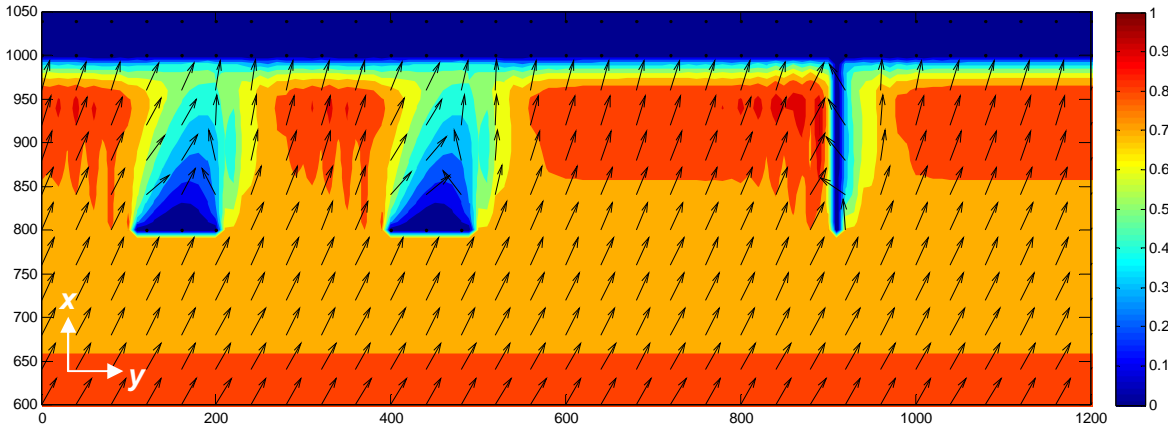
$$\omega^2 = gk \tanh kh \quad 3-19$$

Denk.3.14'in sayısal çözümünde kullanılan sonlu farklar çözüm şeması Şekil 3.14'te verilmiştir. Bu şekle göre çözüm alanındaki her bir nokta her bir $\Delta\theta$ aralığı için kendinden önceki nokta ve aynı x değerine sahip noktalara bağlı olarak yarı-kapalı bir şekilde çözülmektedir.

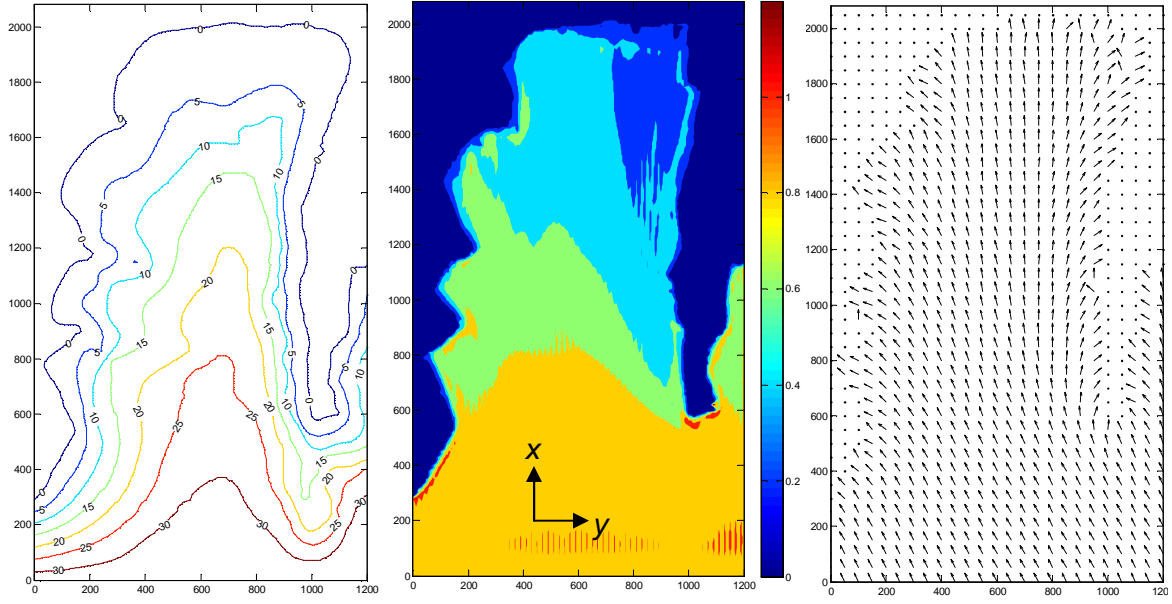


Şekil 3.14 Çözüm şeması (Mase, 2001)

Denk.3.14'in sonlu farklar yöntemi ile çözümlenerek geliştirilen spektral yakın kıyı dalga modelinin sabit eğimli ve düzensiz deniz tabanı topografyaları için yapılan benzetim sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 3.15 1/20 sabit eğimli batimetri üzerinde H_s/H_{s0} ve θ_m , ortalama dalga yönü değişimi (-10 m derinlikte $y=100-200$ ve $y=400-500$ m'ler arası açıkdeniz dalgakıran ve $y=750$ m'de kıyıya dik mahmuz, Bretschneider-Mitsuyasu spektrumu, $H_{s0}=4.0m$, $T_s=8.0$ sn, $\theta_{m0}=45^\circ$; x eksenine göre yaptığı açı)



Şekil 3.16 Bodrum yarımadası Gümbet koyu batimetrisi, H_s/H_{s0} değişimi ve ortalama dalga yönü değişimi (Bretschneider-Mitsuyasu spektrumu, $H_{s0}=2.5\text{m}$, $T_s=6.0\text{ sn}$, $\theta_{m0}=-30^\circ$; x eksenini ile yaptığı aç)

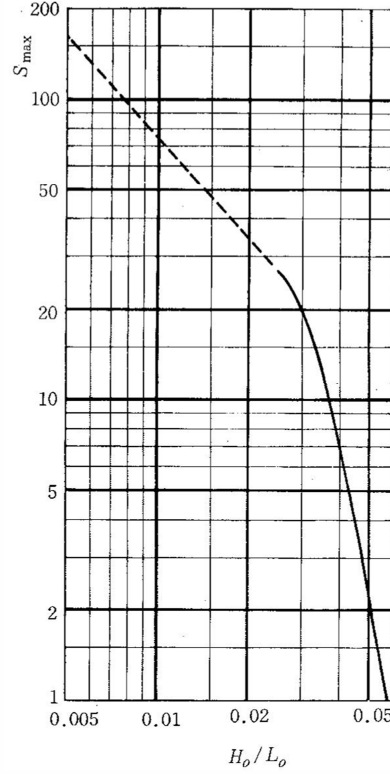
Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da görüldüğü üzere dalga yüksekliğinin azalan derinliklerde ve yapı çevresindeki değerlerinin değişimi niteliksel olarak beklenildiği gibi yapı ve topografik açıdan burun tipi yapıların gölgesinde azalmakta ve gölge alana doğru yönelmektedir.

Geliştirilen dalga modelinin niceliksel açıdan doğrulaması için çalışmanın ilk kısmında yazılan tek boyutlu dalga taşınım modeli, SWAN dalga modeli ve Goda (2000)'de verilen düzensiz dalga dönme şekilleri kullanılmıştır. Sığlaşma ve dalga sapması karşılaştırmalarında 1 metrelik dalga yüksekliği için farklı deniz taban eğimleri (m), yaklaşma açıları (θ_0), yönsel dağılım özellikleri (S_{max}) ve 2 boyutlu model için farklı çözüm aralıkları (dx) kullanılmıştır. 1 boyutlu model 0.1 m çözüm aralığı ile çalışılmıştır. 10 m derinlik ile sıfır çizgisine kadar olan kıyı profilindeki dalga yükseklikleri ve yaklaşma açıları için ortalama yüzde hata oranları (Denk.3.20) incelenmiştir. Karşılaştırma sonuçları yüzde ortalama mutlak değer hata oranları Çizelge X.1 ve X.2'de verilmiştir.

$$Err = \left(\frac{|H_{s,2D} - H_{s,1D}|}{H_{s,1D}} \right) \cdot 100 \quad 3-20$$

Goda (2000)'de saha ölçümlerinden yararlanılarak, dalga dikliği (derin deniz belirgin dalga yüksekliğinin derin deniz belirgin dalga boyuna oranı) ile yönsel dağılım özelliği (S_{max}) arasındaki ilişki aşağıda Şekil 3.17'de verilmiştir. Bu şekil kullanılarak dalgaların sahip olduğu dalga dikliği değerlerine göre sahip oldukları ortalama yönsel dağılım özellikleri belirlenebilir. Farklı dalga diklik değerlerine sahip dalga koşullarını çalışmak için farklı yönsel dağılım özellikleri kullanılmıştır.

Tablo 3-1 ve **Tablo 3-2**'de verilen hata oranlarına göre büyük çözüm aralığı değerleri, yüksek yaklaşma açıları ve deniz taban eğimi dikleştikçe hata oranları beklendiği üzere artmaktadır. Modelin kullanımında bu noktalara dikkat edilmesi gerekliliği doğmaktadır. Farklı çözüm şemaları ve sayısal teknikler uygulanarak bu hata oranları azaltılabilir. Dalga yüksekliklerinde ortalama %13, yaklaşma açıları ise ortalama %18'lik bir hata oranı gözlenmiştir.



Şekil 3.17 Dalga Dikliği (H_0/L_0) ile Yönel Dağılım Parametresi (S_{max}) Arasındaki İlişki

Tablo 3-1 2 Boyutlu Model ile 1 Boyutlu Model Arasındaki Karşılaştırma (Dalga yüksekliği hata oranı)

S_{max}		10					25					75				
Taban Eğimi, (m)	dx	Yaklaşma Açısı, θ_0 , (derece)					Yaklaşma Açısı, θ_0 , (derece)					Yaklaşma Açısı, θ_0 , (derece)				
		0	15	30	45	60	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
10	5	5.4	5.3	5.9	8.7	15.6	6.6	6.5	6.2	8.8	20.9	8.2	8.1	6.9	8.4	24.0
	10	6.8	6.7	7.5	10.3	16.4	7.9	7.9	7.8	10.4	20.5	11.9	12.9	4.1	9.1	25.5
	20	12.0	12.0	12.3	14.2	19.8	13.2	13.1	13.1	14.6	25.1	14.6	14.6	13.1	15.1	28.4
	50	27.4	27.2	26.7	26.0	25.8	28.2	28.1	28.1	27.6	30.0	30.0	30.0	29.0	30.0	35.6
	10	49.4	49.2	49.2	48.0	46.8	51.6	51.5	51.5	49.6	44.0	55.6	55.5	54.0	53.0	47.6
	0	7.7	7.7	5.5	9.9	9.9	4.4	3.3	1.1	7.7	2.2	1.1	1.1	4.4	3.3	9.9
20	5	3.0	2.8	3.2	5.9	13.0	3.7	2.5	2.2	4.7	17.3	5.2	2.8	3.9	4.1	18.4

	10	6.1	4.5	3.7	8.7	16.1	7.2	6.2	5.6	7.3	20.2	2.8	2.8	1.8	4.5	18.7
	20	5.4	5.3	5.9	8.5	15.2	6.6	5.7	5.4	7.9	17.9	7.6	7.5	6.4	8.7	23.1
	50	13.1	13.1	13.3	14.6	19.2	14.3	13.4	13.3	14.5	24.4	14.9	15.0	14.2	16.3	27.7
	100	26.3	26.1	25.6	25.0	24.8	27.5	26.8	26.3	25.9	29.0	28.9	28.8	28.1	29.1	34.1
50	5	3.2	2.4	2.6	5.0	10.4	2.7	2.6	2.1	4.2	15.8	2.3	2.2	1.9	3.1	17.5
	10	6.2	6.5	9.2	28.9	11.7	4.0	4.0	3.5	5.6	17.1	2.7	2.6	2.2	3.4	17.6
	20	4.3	4.2	4.5	6.9	11.9	4.4	4.3	4.0	6.1	17.7	4.7	4.7	4.4	6.1	21.7
	50	5.6	5.4	5.4	7.8	16.5	6.3	6.2	5.7	7.1	24.0	5.6	5.6	5.5	6.8	21.2
	100	8.3	8.3	8.7	10.7	15.9	8.5	8.4	8.5	10.4	22.0	7.9	8.0	8.2	9.9	23.9
100	5	2.8	2.4	2.4	4.4	9.9	3.8	3.8	2.3	4.1	15.2	2.6	2.3	2.0	3.3	17.3
	10	2.2	2.8	2.9	5.0	10.7	3.0	2.9	1.6	3.7	15.1	2.4	2.2	1.9	3.1	17.1
	20	3.7	3.3	3.6	5.9	11.8	4.0	4.0	2.6	4.6	15.9	3.5	3.3	3.4	5.3	21.8
	50	4.4	4.3	3.5	10.9	16.6	7.4	6.7	4.2	4.9	21.5	4.8	4.8	4.8	5.8	20.2
	100	4.0	3.6	4.0	10.4	20.6	5.9	5.8	4.4	5.7	27.2	7.6	6.2	4.2	6.0	27.2

Tablo 3-2 2 Boyutlu Model ile 1 Boyutlu Model Arasındaki Karşılaştırma (Yaklaşma açısı hata oranı)

S_{max}		10				25				75			
Taban Eğimi, (m)	dx	Yaklaşma Açısı, θ_0, (derece)				Yaklaşma Açısı, θ_0, (derece)				Yaklaşma Açısı, θ_0, (derece)			
		15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60
10	5	16.1	16.1	16.5	17.2	10.7	10.4	12.0	16.4	13.6	10.8	13.1	36.2
	10	15.8	15.6	16.5	20.3	13.0	11.2	12.1	14.0	7.6	3.5	6.6	34.2
	20	18.7	17.5	17.0	17.2	17.9	15.5	12.8	15.2	12.3	12.7	12.1	32.0
	50	34.4	33.4	32.5	32.1	32.6	31.1	26.9	20.3	26.2	27.6	23.7	23.3
	100	53.8	53.7	53.7	53.8	50.6	50.0	48.2	44.7	45.7	46.2	43.7	34.7
20	5	14.2	13.7	13.6	13.8	6.7	6.1	21.5	12.8	12.2	9.2	9.8	32.5
	10	14.7	14.3	14.1	14.4	10.7	9.9	24.4	15.3	10.8	7.7	7.8	30.2
	20	17.3	17.0	17.8	19.6	13.0	11.6	25.1	16.2	10.5	8.9	11.7	32.9
	50	20.9	19.4	18.2	17.9	20.0	17.8	26.0	13.5	12.2	13.8	12.0	27.8
	100	33.8	32.8	31.9	31.5	32.0	30.4	37.1	19.6	24.8	26.3	23.0	21.9
50	5	13.3	12.8	12.6	12.2	5.9	5.4	6.7	13.0	12.1	7.6	10.0	33.1
	10	13.2	13.0	15.3	12.9	7.6	7.1	8.2	13.5	10.6	5.8	8.3	31.0
	20	16.5	16.0	16.1	15.6	9.6	8.9	9.7	14.3	10.3	5.4	7.4	29.8
	50	19.1	19.1	20.5	22.4	12.8	11.7	12.6	21.3	8.6	7.1	10.2	33.3
	100	18.0	16.8	16.2	15.6	16.4	13.9	11.2	14.5	9.0	9.5	9.7	30.1
100	5	13.0	12.3	12.0	12.0	7.0	5.4	6.3	12.2	12.5	7.8	10.0	32.4
	10	13.8	13.2	13.0	13.1	6.2	4.6	5.8	11.4	12.3	7.5	9.8	32.2
	20	13.8	13.2	13.0	13.0	8.0	6.4	7.2	12.0	11.1	6.2	8.3	30.9
	50	17.3	16.4	19.5	20.2	12.4	9.7	9.7	18.0	9.1	6.1	8.9	30.0
	100	20.4	20.7	22.7	26.2	13.7	11.8	13.6	24.8	8.4	7.3	10.7	36.1

2 Boyutlu dalga taşınım modelinin doğrulanması amacıyla doğruluğu literatürde çeşitli yayınlarla ispatlanmış, dünyaca kabul görmüş bir yakın kıyı dalga taşınım modeli olan SWAN modeliyle de çeşitli karşılaştırmalar yapılmıştır. Özetle farklı dalga taşınım olaylarının etkin olduğu dalga koşulları için sırasıyla;

- sadece dalga dönmesi (yarı sonsuz dalga kıran durumu, derin deniz, yaklaşma açısı 0 derece)
- sadece dalga sığlaşması (yaklaşma açısı 0 derece),
- dalga sığlaşması ve kırılması (yaklaşma açısı 0 derece) ve
- dalga sığlaşması, sapması ve kırılması durumları için

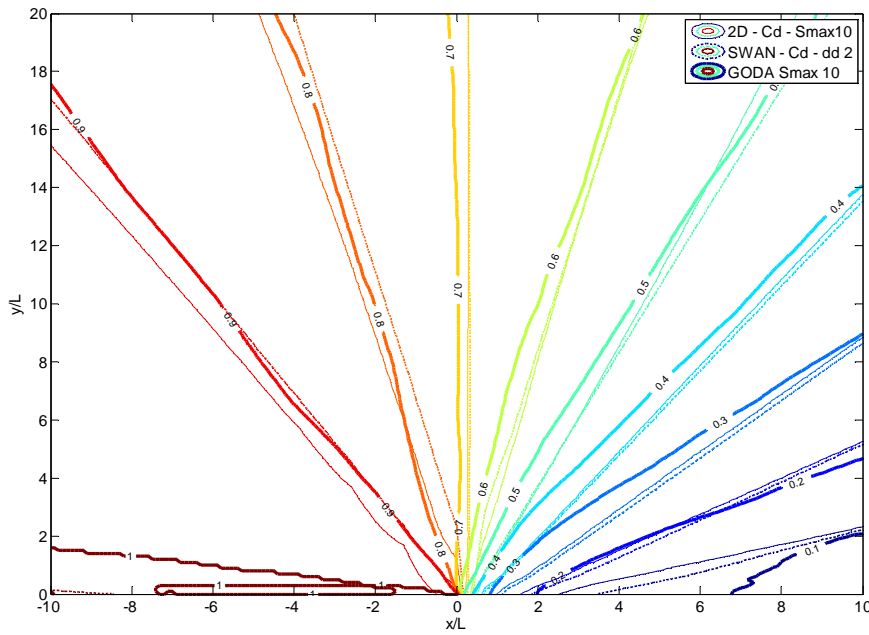
1 ve 2 boyutlu dalga taşınım model ve SWAN modeli sonuçları (yakın kıyı dalga yükseklikleri ve yaklaşma açıları) incelenmiştir.

Dalga dönmesi yapılar ve çeşitli kıyı şekilleri çevresinde dalga özellikleri etkileyen ana taşınım olaylarından. Mase (2001) tarafından verilen dalga dönmesi kaynak terimi enerji korunum denkleminde çözülerek bu taşınımdan dolayı olan enerji kayıpları doğruya yakın bir şekilde modellenebilmektedir. 2 boyutlu dalga taşınım modelinin farklı yönsel dağılım özellikleri, çözüm aralıkları ve kapp değerleri için SWAN ve Goda (2000) tarafından düzensiz dalgalar için verilen dalga dönmesi grafikleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için Goda (2000) tarafından verilen grafikler sayısallaştırılmış ve her bir çözüm noktasındaki dalga yükseklikleri arasındaki hata oranları belirlenmiştir (Denk.3.20). Ayrıca belli çözüm aralıkları için SWAN modeli kullanılarak yapılan benzetimler de bu grafikler ile karşılaştırılmış, hata oranları çıkarılmıştır. 1 metrelik dalga yüksekliğine karşılık yüzde ortalama mutlak değer hata oranları **Tablo 3-3**'te verilmiştir. Geliştirilmekte olan 2 boyutlu modelin 1 boyutlu ve SWAN modeli ile sadece sığlaşma, sığlaşma ve kırılma ve sığlaşma, kırılma ve sapma olayları için karşılaştırmaları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

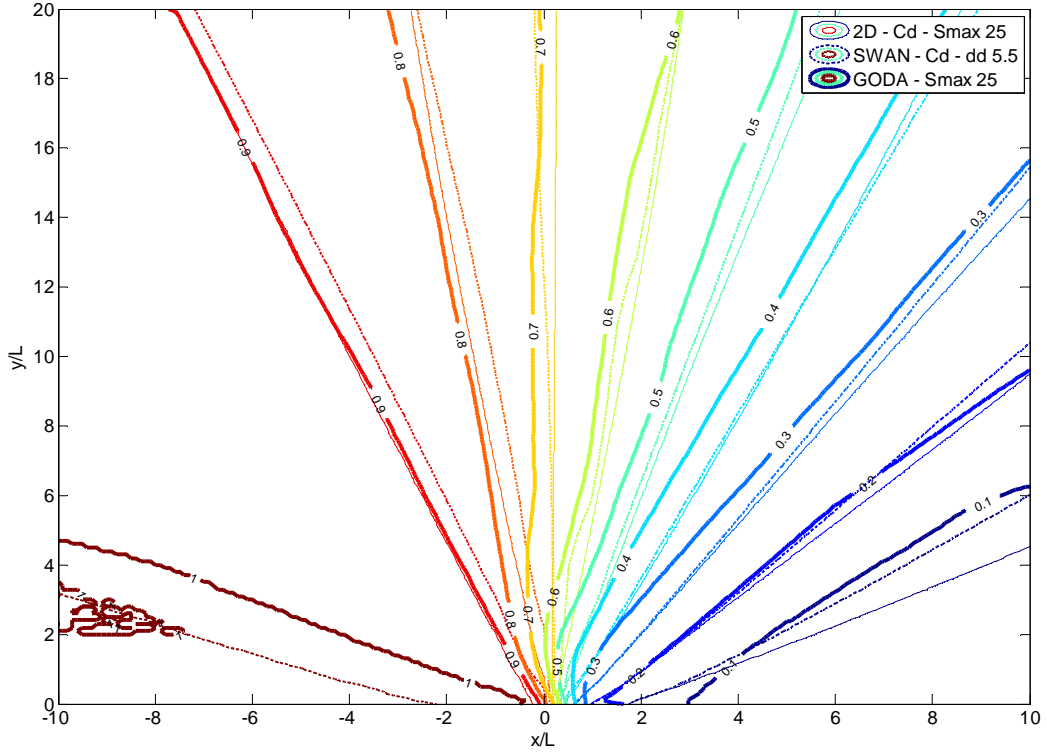
Tablo 3-3 2 Boyutlu Model ile 1 Boyutlu Model Arasındaki Karşılaştırma (Yaklaşma açısı hata oranı)

κ	S_{max}														
	10					25					75*				
	dx					dx					dx				
	5	10	20	50	100	5	10	20	50	100	5	10	20	50	100
0.0	4.	5.	7.	17.6	35.3	7.	8.	10.6	20.6	48.4	14.3	13.4	12.6	12.8	13.3
	9	4	5			8	5								
0.5	3.	4.	7.	17.4	35.1	6.	8.	10.2	20.4	48.2	11.5	11.2	11.2	12.2	13.3
	0	2	0			8	0								
1.0	2.	3.	6.	17.2	34.9	6.	8.	10.2	20.2	48.0	10.6	10.5	10.7	12.2	13.4
	7	7	8			7	1								
1.5	2.	3.	6.	17.1	34.7	6.	8.	10.2	20.2	47.9	10.3	10.3	10.7	12.4	13.6
	7	5	6			7	2								
2.0	2.	3.	6.	17.0	34.5	6.	8.	10.3	20.3	47.8	10.3	10.3	10.9	12.6	14.0
	7	4	6			8	3								
2.5	2.	3.	6.	16.9	34.3	6.	8.	10.4	20.4	47.7	10.4	10.5	11.2	12.9	14.4
	7	3	6			9	4								
3.0	2.	3.	6.	16.9	34.2	7.	8.	10.5	20.5	47.7	10.6	10.7	11.5	13.2	14.9
	8	3	6			0	6								
3.5	2.	3.	6.	16.9	34.0	7.	8.	10.7	20.6	47.8	10.9	11.0	11.8	13.5	15.5
	9	4	6			1	7								
4.0	3.	3.	6.	16.9	33.9	7.	8.	10.9	20.7	47.8	11.2	11.3	12.2	13.9	16.0
	0	4	6			3	9								
4.5	3.	3.	6.	16.9	33.9	7.	9.	11.1	20.9	47.9	11.5	11.6	12.6	14.2	16.5
	1	5	7			4	1								
5.0	3.	3.	6.	16.9	33.8	7.	9.	11.3	21.1	48.0	11.9	12.0	13.0	14.6	17.0
	1	5	7			6	3								
SWA			3.					6.4							10.6
N			5												

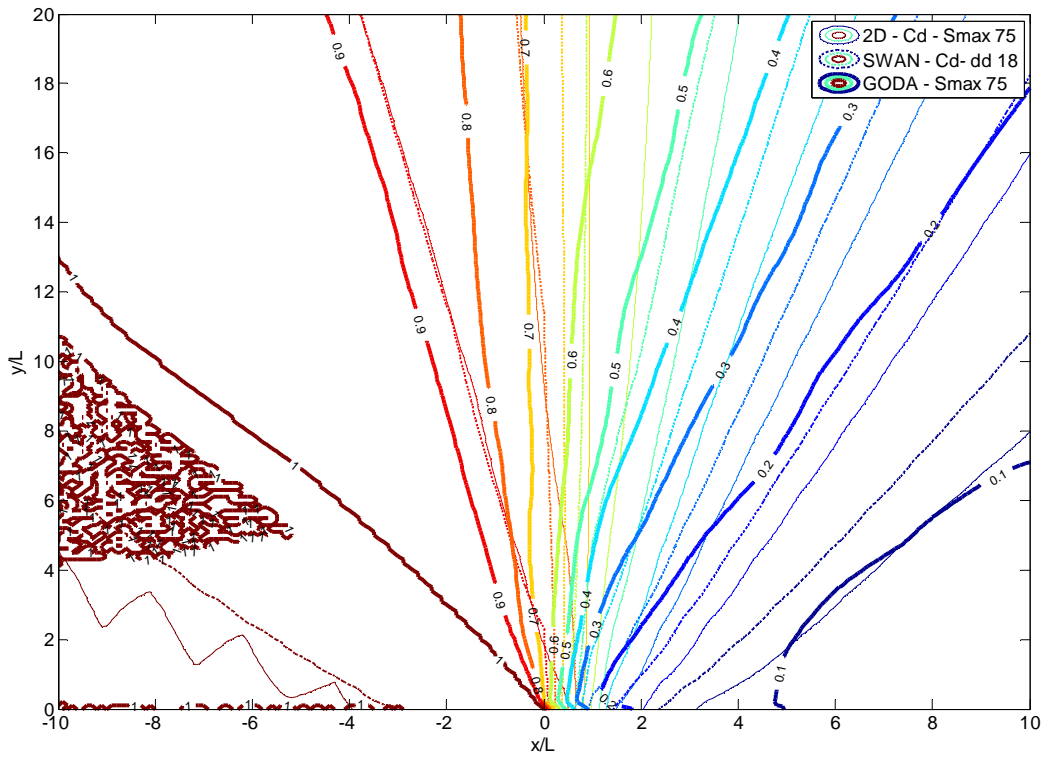
*: $S_{max} = 75$ için yönsel çözüm aralığı 15 derece, $S_{max} = 10$ ve 25 için 10 derece tutulmuştur.



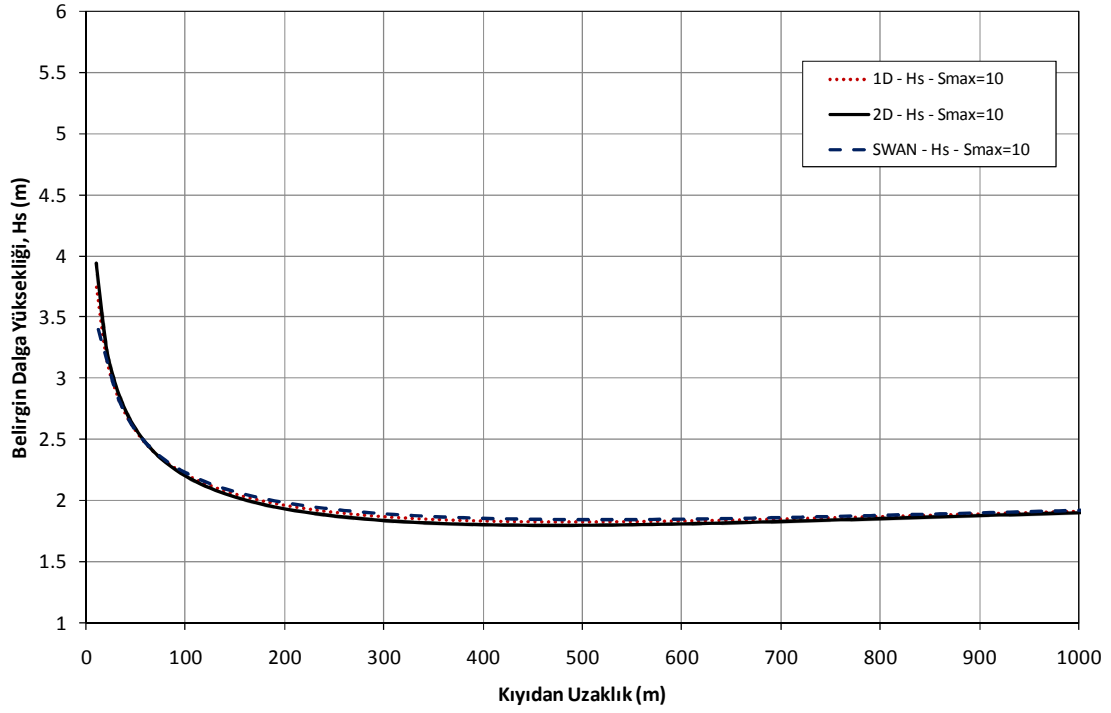
Şekil 3.18 $S_{max} = 10$ için 2 Boyutlu Model, SWAN, ve Goda (2000) karşılaştırması



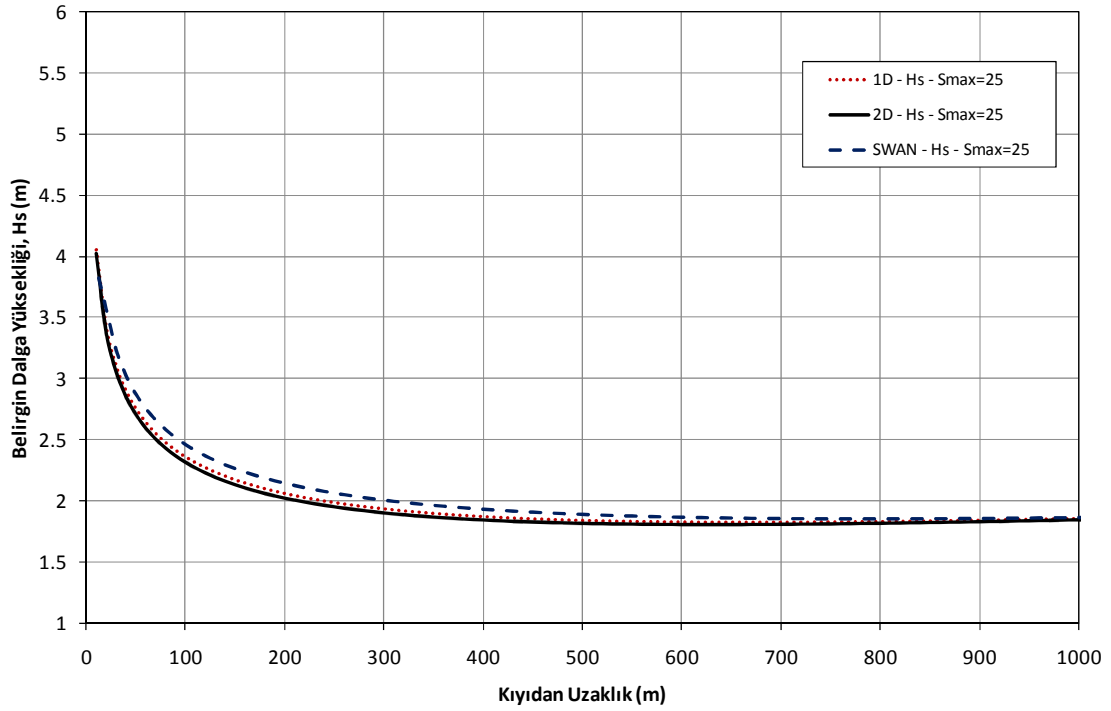
Şekil 3.19 $S_{max} = 25$ için 2 Boyutlu Model, SWAN, ve Goda (2000) karşılaştırması



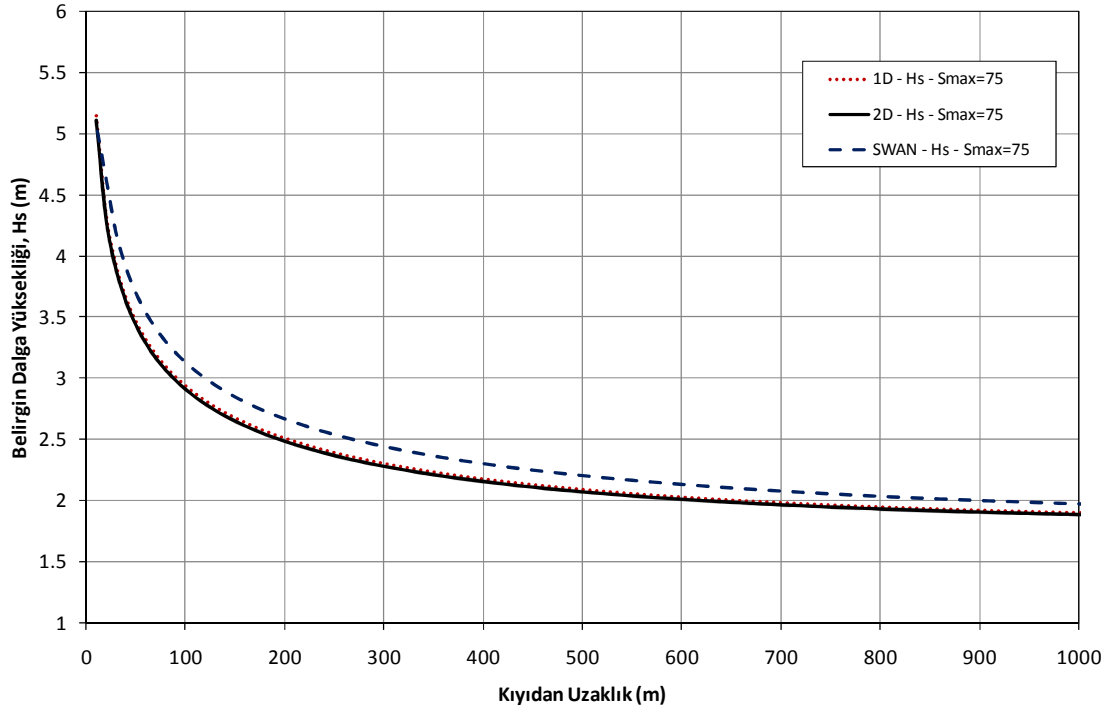
Şekil 3.20 $S_{max} = 75$ için 2 Boyutlu Model, SWAN, ve Goda (2000) karşılaştırması



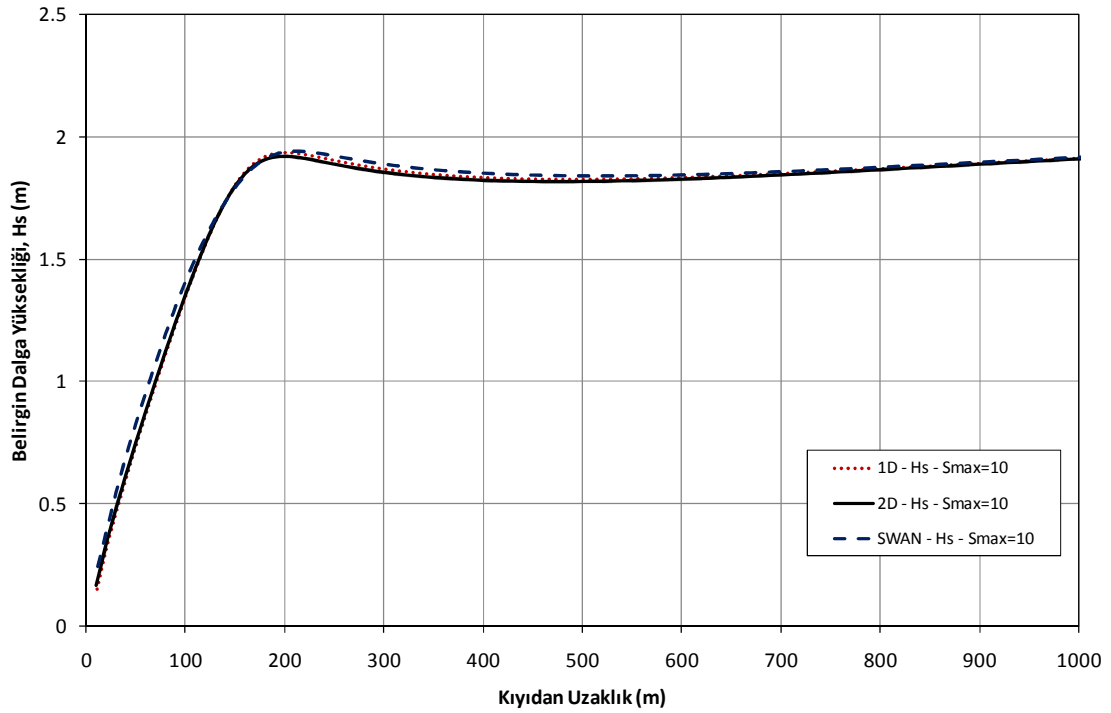
Şekil 3.21 $S_{max} = 10$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması Karşılaştırması ($H_{s0} = 2$ m, $\theta_0 = 0$ derece)



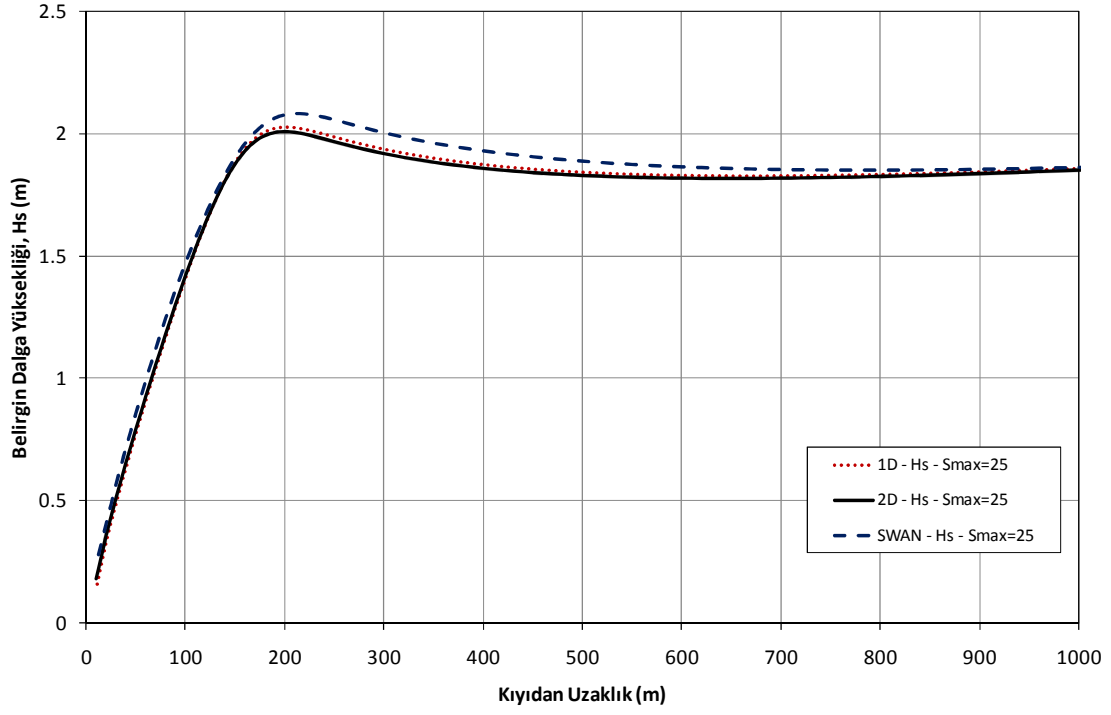
Şekil 3.22 $S_{max} = 25$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması Karşılaştırması ($H_{s0} = 2$ m, $\theta_0 = 0$ derece)



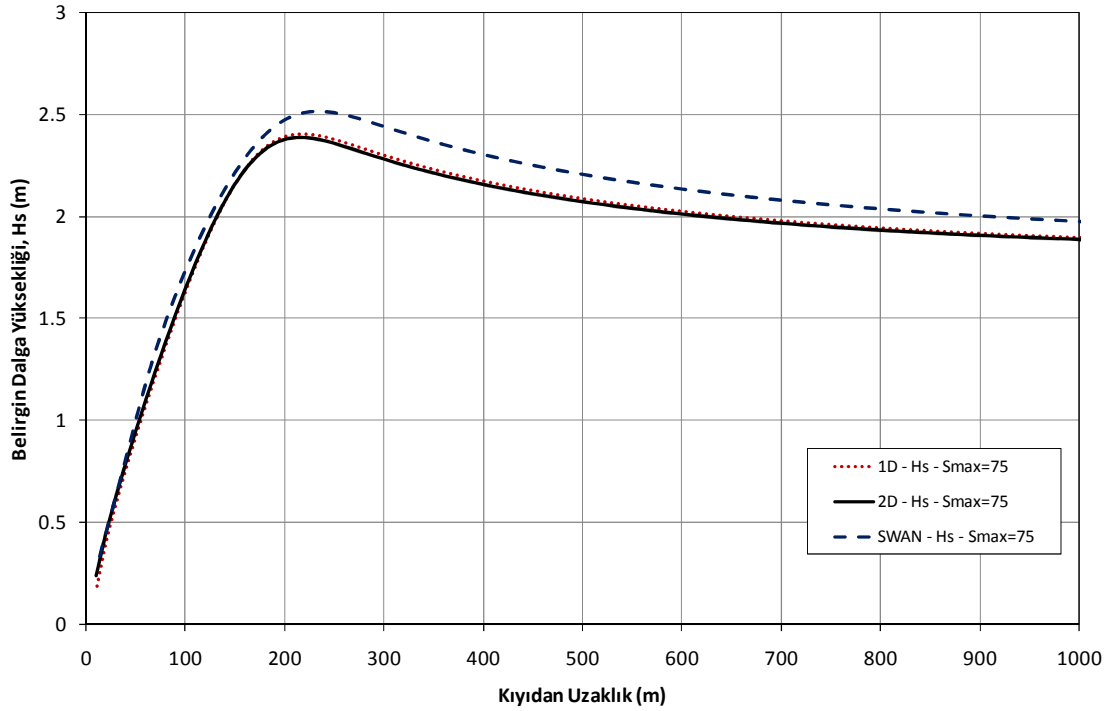
Şekil 3.23 $S_{max} = 75$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması Karşılaştırması ($H_{s0} = 2$ m, $\theta_0 = 0$ derece)



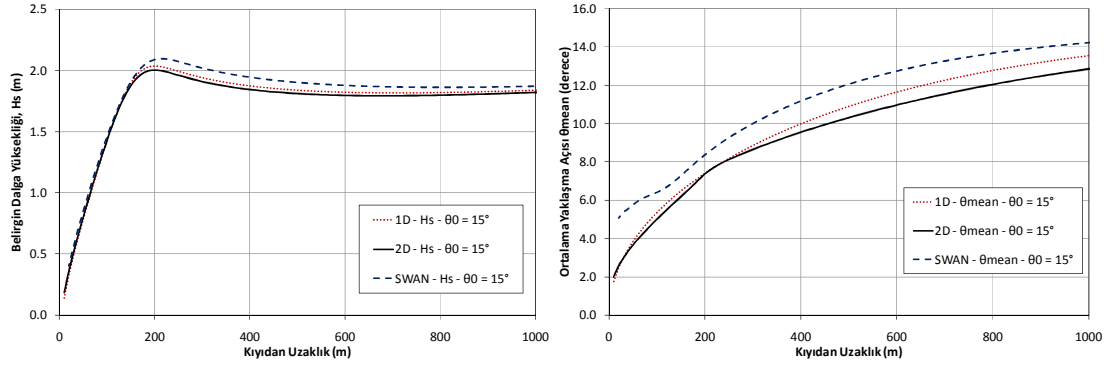
Şekil 3.24 $S_{max} = 10$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması ve Kırılması Karşılaştırması ($H_{s0} = 2$ m, $\theta_0 = 0$ derece)



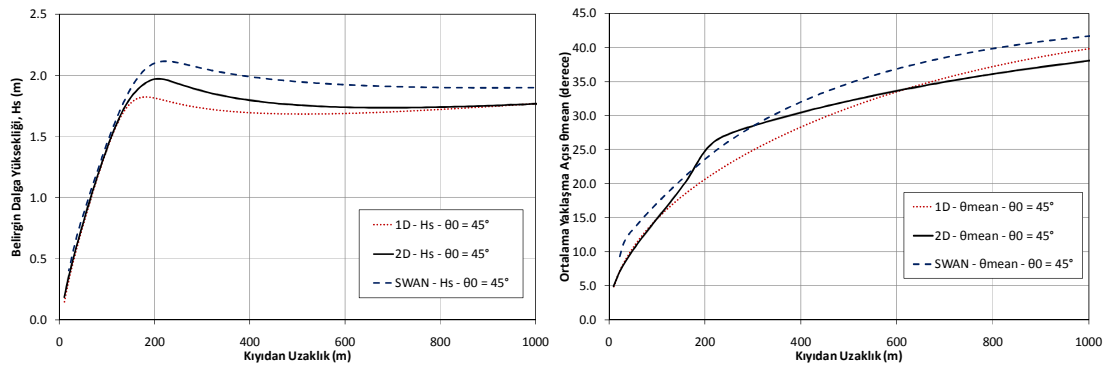
Şekil 3.25 $S_{max} = 25$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması ve Kırılması Karşılaştırması
($H_{s0} = 2$ m, $\theta_0 = 0$ derece)



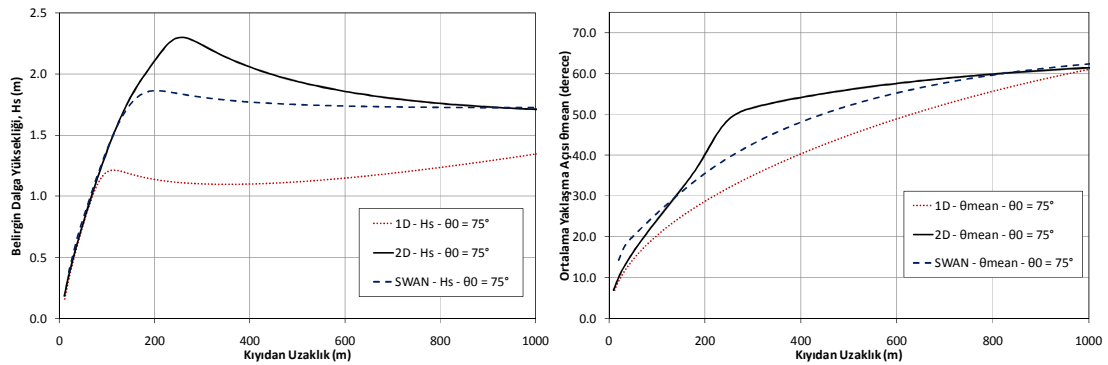
Şekil 3.26 $S_{max} = 75$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması ve Kırılması Karşılaştırması
($H_{s0} = 2$ m, $\theta_0 = 0$ derece)



Şekil 3.27 $S_{max} = 25$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması, Kırılması ve Sapması Karşılaştırması ($H_{s0} = 2$ m, $\theta_0 = 15$ derece)



Şekil 3.28 $S_{max} = 25$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması, Kırılması ve Sapması Karşılaştırması ($H_{s0} = 2$ m, $\theta_0 = 45$ derece)



Şekil 3.29 $S_{max} = 25$ için SWAN, 2 ve 1 Boyutlu Model Dalga Sığlaşması, Kırılması ve Sapması Karşılaştırması ($H_{s0} = 2$ m, $\theta_0 = 75$ derece)

Yapılan karşılaştırmalar sonrası salt dalga dönmesi olayının doğruya yakın bir şekilde modellenebildiği gözükmektedir. Artan çözüm aralıklarında hata oranlarının arttığı gözlenmektedir. Sadece sığlaşmanın etkin olduğu karşılaştırmalarda her üç modelin de birbirine yakın sonuç verdiği görülmektedir. Sığlaşma ve kırılmanın etkin olduğu karşılaştırmalarda artan yönsel dağılım (daha dar yönsel dağılım i.e. uzun periyotlu dalgalar) ile birlikte SWAN modelinin farklı kırılma yaklaşımı (Battjes ve Janssen, 1978) kullanması nedeniyle farklılık gözlenmeye başlanıyor. Her üç taşınım olayının da etkin olduğu karşılaştırmalar sadece $S_{max} = 25$ için yapılmış olup, artan derin deniz yaklaşma açılarında (θ_0) hata oranlarının arttığı (%10'dan fazla) gözlenmektedir.

4.2.1 Chawla ve diğ. (1998) Laboratuvar Ölçümleri

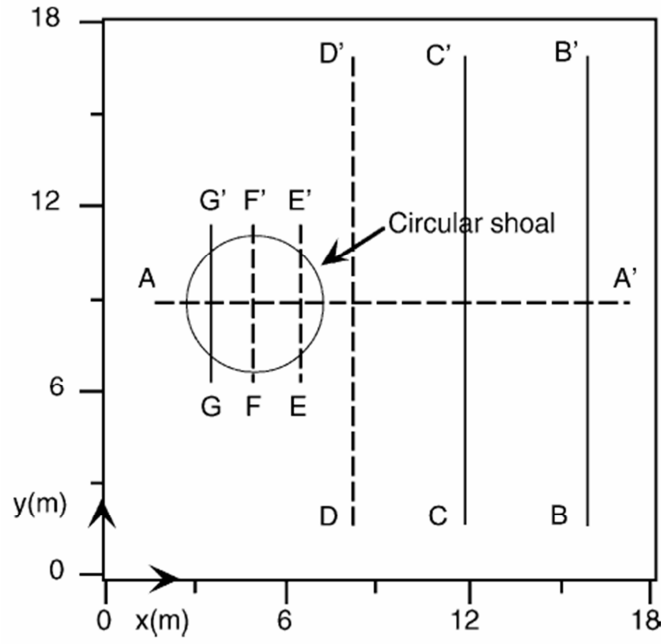
Dalga taşınım modeli düzensiz dalgaların sapma ve dönme olaylarının yakından incelenmesi ve sayısal modellenmesi amacıyla Chawla ve diğ. (1998) tarafından yapılan laboratuvar ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Laboratuvar ölçümlerinin yapıldığı sabit su derinliğine ($z=-0.40$ m) sahip basene kurulan taban topoğrafyası (yapay sığlık) ve dalga koşulları sırasıyla **Şekil 3.30** ve **Tablo 3-4**'te verilmiştir. Dairesel sığlığın **Şekil 3.30**'da verilen basene göre yerleşimi Denk.3.21 ile verilmiştir. Sığlık bölgesinde derinlikler Denk.3.22 ile verilmiştir. **Tablo 3-4**'te verilen dalga koşulları altında geliştirilen sayısal model ile alınan laboratuvar ölçümleri arasındaki karşılaştırmalar farklı testler ve kesitler için sırasıyla **Şekil 3.31-Şekil 3.36** arasında verilmiştir.

$$(x-5)^2 + (y-8.98)^2 = (2.57)^2 \quad 3-21$$

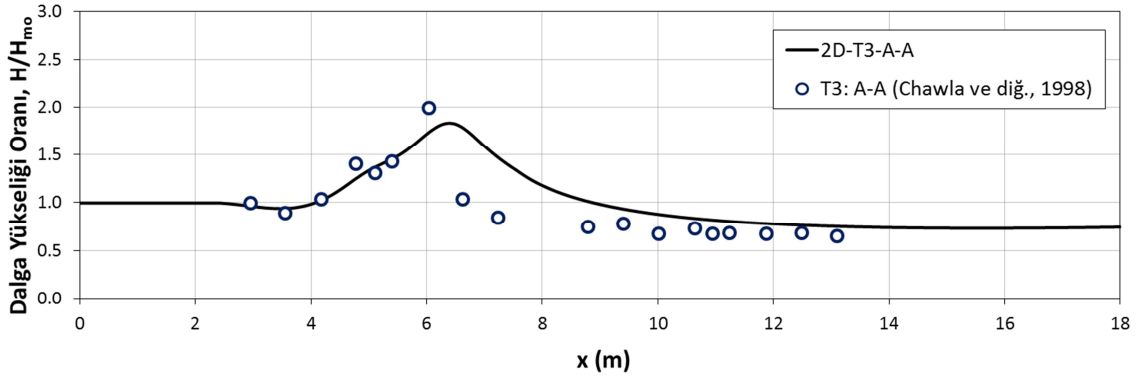
$$z = -(h + 8.73) + \sqrt{82.81 - (x-5)^2 - (y-8.98)^2} \quad 3-22$$

Tablo 3-4 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasında kullanılan dalga koşulları

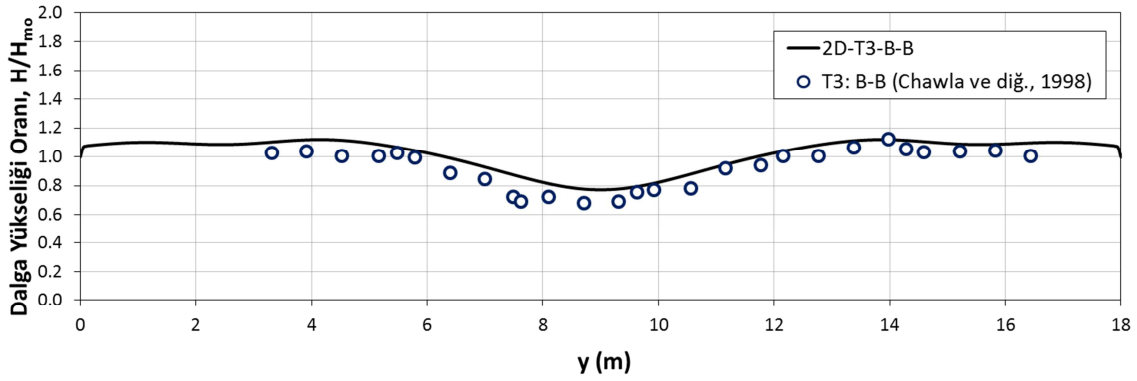
Test No	Belirgin Derin Deniz Dalga Yüksekliği, $H_{s,0}$ (m)	Pik Dalga Periyodu, T_p (sn)	Belirgin Dalga Dikliği, H_{s0}/L_s	Yönel Dağılım Parametresi, σ_m (Borgman, 1984)
3	0.0139	0.73	0.018	5
4	0.0156	0.73	0.021	20
5	0.0233	0.73	0.031	5
6	0.0249	0.71	0.035	20



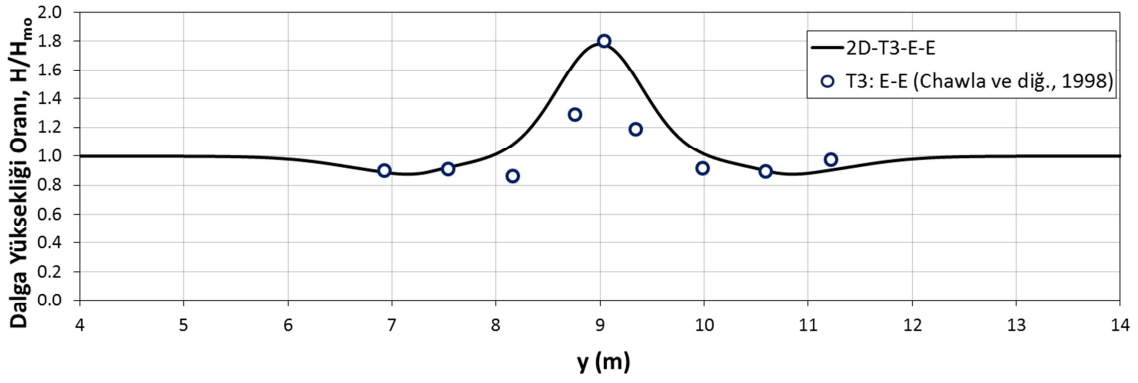
Şekil 3.30 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasında dalga ölçerlerin bulunduğu akslerin ve dalga basenin plan görüntüsü (Mase ve diğ., 2005)



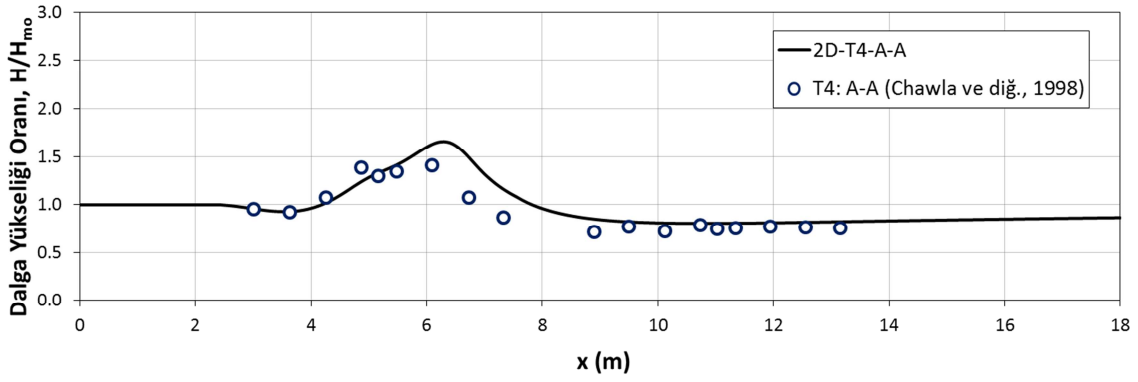
Şekil 3.31 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasından Test 3 Kesit A-A ölçümleri ile sayısal model karşılaştırması



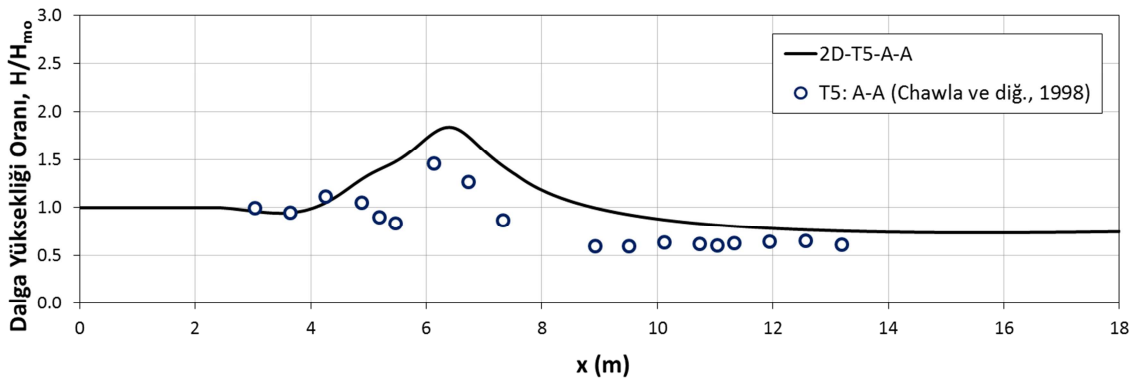
Şekil 3.32 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasından Test 3 Kesit B-B ölçümleri ile sayısal model karşılaştırması



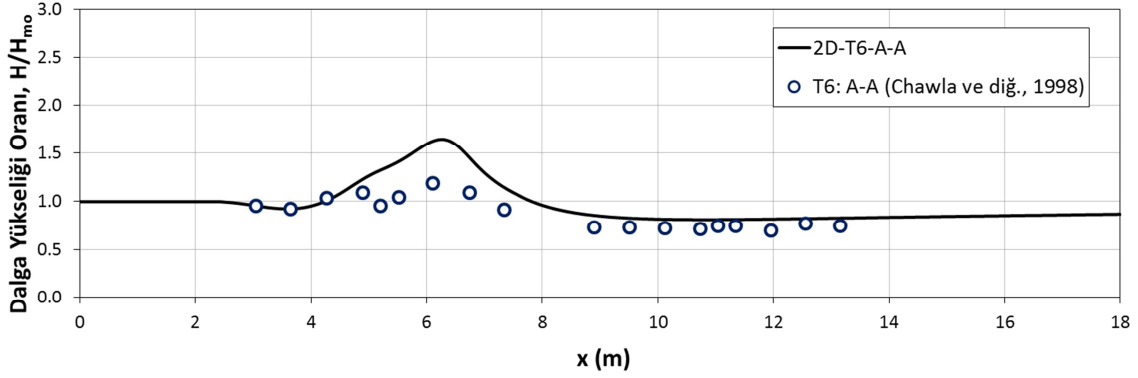
Şekil 3.33 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasından Test 3 Kesit E-E ölçümleri ile sayısal model karşılaştırması



Şekil 3.34 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasından Test 4 Kesit A-A ölçümleri ile sayısal model karşılaştırması



Şekil 3.35 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasından Test 5 Kesit A-A ölçümleri ile sayısal model karşılaştırması



Şekil 3.36 Chawla ve diğ. (1998) çalışmasından Test 6 Kesit A-A ölçümleri ile sayısal model karşılaştırması

4.2.2 Vincent ve Briggs (1989) Laboratuvar Ölçümleri

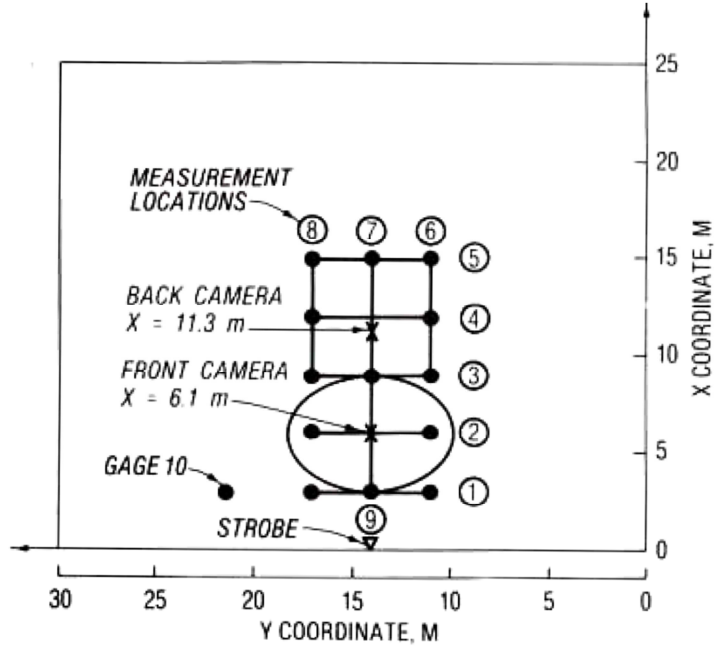
Benzer bir karşılaştırma ise Vincent ve Briggs (1989) tarafından yapılan laboratuvar ölçümleri ile yapılmıştır. Chawla ve diğ. (1998) çalışmasına benzer olarak düzensiz dalgaların sapma ve dönme olaylarının incelendiği Vincent ve Briggs (1989) çalışmasında da laboratuvar ortamında eliptik bir sıklık çevresinde dalga yükseklikleri video kameralar ve dalga ölçüm cihazları kullanılarak incelenmiştir. Deney dalga koşulları **Tablo 3-5**'te verilmiştir. Eliptik sıklık çevresinde taban yükseklikleri Denk.3.23 ve 3.24'te verilmiştir. **Tablo 3-5**'te verilen dalga koşulları altında geliştirilen sayısal model ile alınan laboratuvar ölçümleri arasındaki karşılaştırmalar farklı testler ve kesitler için **Şekil 3.37** ve **Şekil 3.38**'de verilmiştir.

$$(x'/3.05)^2 + (y'/3.96)^2 = 1 \quad 3-23$$

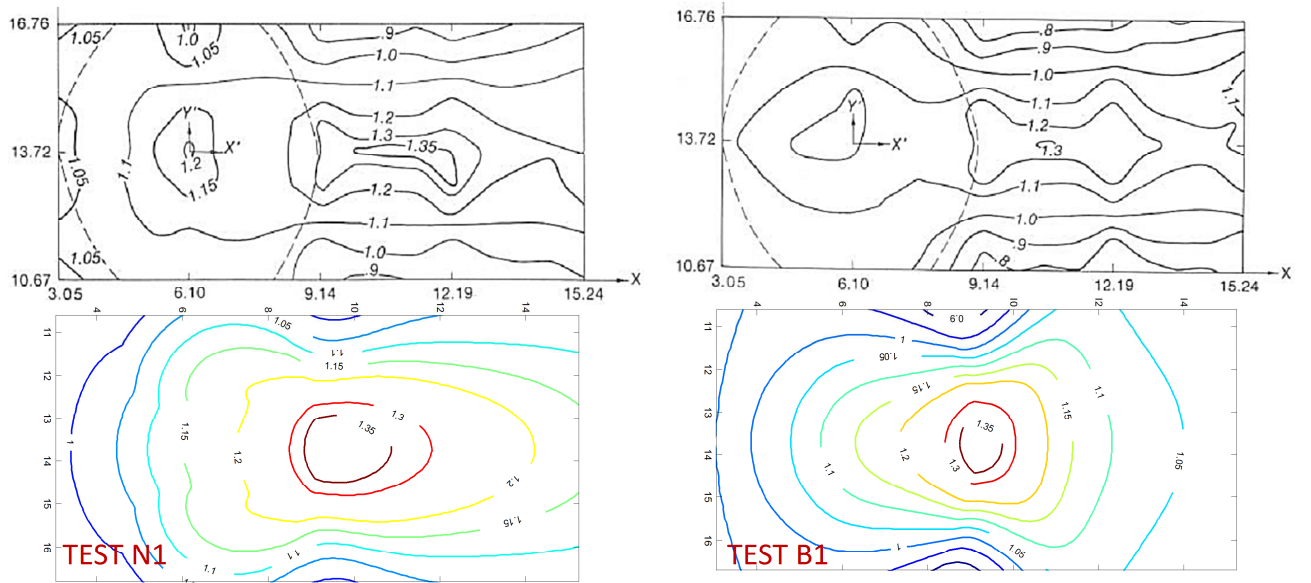
$$z = -0.4572 + 0.7620 \left\{ 1 - \left(\frac{x'}{3.81} \right)^2 - \left(\frac{y'}{3.81} \right)^2 \right\}^{0.5} \quad 3-24$$

Tablo 3-5 Vincent ve Briggs (1989) çalışmasında kullanılan dalga koşulları

Test No	Belirgin Dalga Yüksekliği, H_s (m)	Pik Dalga Periyodu, T_p (sn)	Belirgin Dalga Dikliği, H_{s0}/L_s	Yönel Dağılım Parametresi, σ_m (Borgman, 1984)
N1	0.0775	1.30	0.032	10
B1	0.0775	1.30	0.032	30



Şekil 3.37 Vincent ve Briggs (1989) çalışmasında dalga ölçerlerin bulunduğu eksenlerin ve dalga baseninin plan görüntüsü



Şekil 3.38 Vincent ve Briggs (1989) çalışmasında dalga ölçerlerin bulunduğu eksenlerin ve dalga baseninin plan görüntüsü

Yapılan karşılaştırmalarda dalga sapma ve dönmesinin etkin olduğu durumlarda modelin ölçümler ile uyumlu olduğu görülmektedir. Dalga taşınım modelinin çeşitli saha ölçümleri ile

karşılaştırılmasına akıntı modelinin geliştirilmesi ve doğrulanmasını anlatan bölümde de yer verilecektir.

4.3 YAKIN KIYI DALGA KAYNAKLI AKINTI ÇEVRİMİ MODELİ

Kıyılardaki kum hareketlerinin ve buna bağlı taban değişimlerinin belirlenmesi için dalgalar etkisinde oluşan kıyı boyu ve kıyıya dik akıntı kum taşınım debilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Geliştirilecek olan kumlanma modelinin literatürdeki örneklerine bakıldığında (XBEACH, 2010; Nam et al., 2010; Ding et al., 2006) gelen dalgaların kırılma bölgesinde kaybolan enerjisinin ve taban sürtünme kuvvetlerinin harekete geçirdiği kumların hareketlerinin hızlarının belirlenmesi için lineer olmayan sığ su denklemlerinin çözümü gerekmektedir. Sığ su denklemlerinde bilinmeyen değişkenler kıyıya dik ve paralel doğrultularda (sırasıyla u ve v) derinlik boyunca ortalama akıntı hızları ve ortalama deniz seviyesindeki değişimdir ($\bar{\eta}$). Lineer olmayan sığ su denklemleri aşağıda verilmiştir. Denk.3.25 x ve y doğrultusunda kütle korunumu, Denk.3.26 ve 3.27 ise momentum korunum denklemleridir.

$$\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [u(h + \bar{\eta})] + \frac{\partial}{\partial y} [v(h + \bar{\eta})] = 0 \quad 3-25$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} + \frac{1}{\rho(h + \bar{\eta})} [\tau_{bx} + F_x] - A_x = 0 \quad 3-26$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} + \frac{1}{\rho(h + \bar{\eta})} [\tau_{by} + F_y] - A_y = 0 \quad 3-27$$

Yukarıda verilen denklemlerde h sabit su derinliği, τ_{bx} ve τ_{by} x ve y yönlerindeki taban sürtünme terimleri, F_x ve F_y dalga momentumu akış terimleri (radiation stress), A_x ve A_y yatay dağılım terimleridir. Bu terimlere ilişkin denklemler aşağıda verilmiştir. Dalga momentumu akış terimleri F_x ve F_y , gelen dalgaların momentumlarının, S_{xx} , S_{xy} ve S_{yy} , x ve y doğrultularındaki değişimleri ile kırılma bölgesinde etkin olan yüzey girdapları (surface roller) kinetik enerjilerinin değişimlerinden oluşur. Dalga momentum terimleri akış terimleri Denk.3.28 ve 3.29'da verilmiştir. Dalga momentum terimlerinin, S_{xx} , S_{xy} ve S_{yy} , açılımları Denk.3.30-32'de verilmiştir. Denk.3.30-32'de verilen, H_{rms} , ortalama karekök dalga yüksekliği, $\bar{\theta}$, ortalama dalga yaklaşma açısı dalga taşınım modelinden elde edilmektedir.

$$F_x = \left[\left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (2E_{sr} \cos^2 \bar{\theta}) + \frac{\partial}{\partial y} (E_{sr} \sin 2\bar{\theta}) \right] \quad 3-28$$

$$F_y = \left[\left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (E_{sr} \sin 2\bar{\theta}) + \frac{\partial}{\partial y} (2E_{sr} \sin^2 \bar{\theta}) \right] \quad 3-29$$

$$S_{xx} = \frac{\rho g H_{rms}^2}{8} [n(\cos^2 \bar{\theta} + 1) - 0.5] \quad 3-30$$

$$S_{yy} = \frac{\rho g H_{rms}^2}{8} [n(\sin^2 \bar{\theta} + 1) - 0.5] \quad 3-31$$

$$S_{xy} = \frac{\rho g H_{rms}^2}{16} [n \sin 2\bar{\theta}] \quad 3-32$$

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh kh} \right) \quad 3-33$$

Kırılma bölgesine gelen dalgaların önünde kıyıya yaklaştıkça üst kısmında beliren bir girdap (vorteks) oluşur. Dalga köpüklerinin oluşturduğu bu kısım kırılma olayı süresince kırılmadan kaynaklanan enerji kaybının bir kısmını alarak büyümeye devam eder. Svendsen (1984) yüzey girdabı kinetik enerjisini Denk.3.36'daki gibi tanımlamaktadır. Buna göre kırılan dalganın önünde oluşan vorteksin yüzey alanı A_{sr} terimi ile ifade edilir. Tajima ve Madsen (2003) yüzey girdapları kinetik enerjisinin oluşumunu, gelişimini ve sönümlenmesini Denk.3.35 ile vermektedir. Bu denklemde kaybolan dalga enerjisinin 0 ile 1 arasındaki bir enerji transfer katsayısı (α) oranında yüzey girdapları kinetik enerjisine aktarıldığı kabul edilmektedir. K_{sr} katsayısı taban eğimine (s) bağlı bir katsayı olup Denk.3.36'da verilmiştir. Denk.3.35'teki C ve C_g sırasıyla dalga ve dalga grup hızlarıdır. Goda (2006) düzensiz dalgalar etkisi altında oluşan yakın kıyı akıntı hızlarının doğruya bir şekilde belirlenebilmesinde yüzey girdapları kinetik enerjisinin değişiminin de dikkate alınması gerekliliğini belirtmektedir. Enerji transfer katsayısı genellikle 0.5 mertebesinde olup, çok düşük dalga dikliğine sahip durumlarda (soluğan dalgalar) 0.5'ten daha düşük olabilmektedir.

$$E_{sr} = \frac{\rho A_{sr} c}{2T_p} \quad 3-34$$

$$\alpha \left[\frac{\partial}{\partial x} (EC_g \cos \bar{\theta}) + \frac{\partial}{\partial y} (EC_g \sin \bar{\theta}) \right] + \left[\frac{\partial}{\partial x} (E_{sr} C \cos \bar{\theta}) + \frac{\partial}{\partial y} (E_{sr} C \sin \bar{\theta}) \right] = -\frac{K_{sr} E_{sr} C}{h} \quad 3-35$$

$$K_{sr} = \frac{3}{8} (0.3 + 2.5s) \quad 3-36$$

Taban sürtünmesine bağlı olarak oluşan gerilmeler x ve y doğrultusunda Longuet-Higgins (1970) tarafından Denk.3.37 ve 3.38'deki gibi tanımlanır. Bu denklemlerde u ve v derinlik boyunca ortalama akıntı hızları, u_0 , tabanda dalga etkisi altında yataydaki su tanesinin hızı,

c_f ise deniz tabanı koşullarına göre 0.005-0.01 arasında değişen dalga sürtünme katsayısıdır.

$$\tau_{bx} = \frac{4}{\pi} \cdot \rho \cdot c_f \cdot u \cdot u_0 \quad 3-37$$

$$\tau_{by} = \frac{2}{\pi} \cdot \rho \cdot c_f \cdot v \cdot u_0 \quad 3-38$$

$$u_0 = \frac{\pi \cdot H_{rms}}{T \cdot \sinh(kh)} \quad 3-39$$

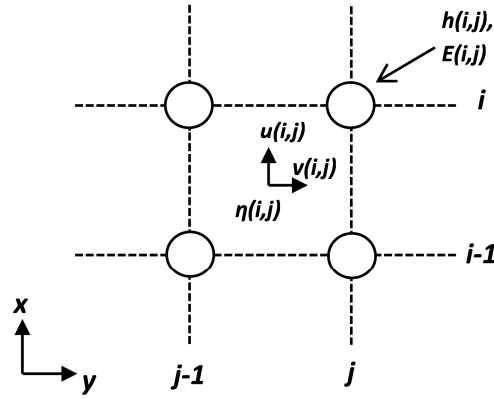
Son olarak A_x ve A_y terimleri yatay dağılım terimleridir (Denk.3.40 ve 3.41). Akıntı hızlarının türbülans akma direncine (turbulent eddy viscosity; μ) bağlı olarak değişimi verir. Goda (2006) düzlemsel eğime sahip kıyı profilleri için yaptığı karşılaştırmalar ile yatay dağılım terimlerinde kullanılmak üzere farklı yaklaşımlar arasından Larson ve Kraus (1991) yönteminin sağladığı kolaylık daha kullanılabilir olduğunu belirtmektedir (Denk.3.42). Larson ve Kraus (1991)'e göre bu direnç ortalama karekök dalga yüksekliğine ve tabanda dalga etkisi altında yataydaki su tanesinin hızına bağlı olup, Λ sabiti 0.3 ile 0.5 arasında olduğu verilmektedir.

$$A_x = \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \frac{\partial u}{\partial y} \right] \quad 3-40$$

$$A_y = \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \frac{\partial v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right] \quad 3-41$$

$$\mu = \Lambda u_0 H_{rms} \quad 3-42$$

Yukarıda verilen Denk.3.35, Matlab ortamında sonlu farklar yöntemi ile çözülmüştür. Buna göre belirli bir zaman aralığında değişen dalga koşullarına göre akıntı hızlarının alacağı değerler hesaplanmaktadır. Çözüm şeması **Şekil 3.39**'da verilmiştir. Bu şemaya göre çözüm noktaları dalga taşınımı modelinin kullandığı batimetrik çözüm noktalarının arasındaki noktalardan oluşmaktadır. Dalga koşullarının tanımlandığı açık deniz sınırında su seviyesi değişimlerinin 0 olduğu kabul edilmiştir. Aynı sınırdaki akıntı hızlarının x ve y'ye göre değişimleri 0 kabul edilmiştir. Kuru noktalarda ($h>0$) ise akıntı hızları ve su seviyesi değişimleri 0 kabul edilmiştir.



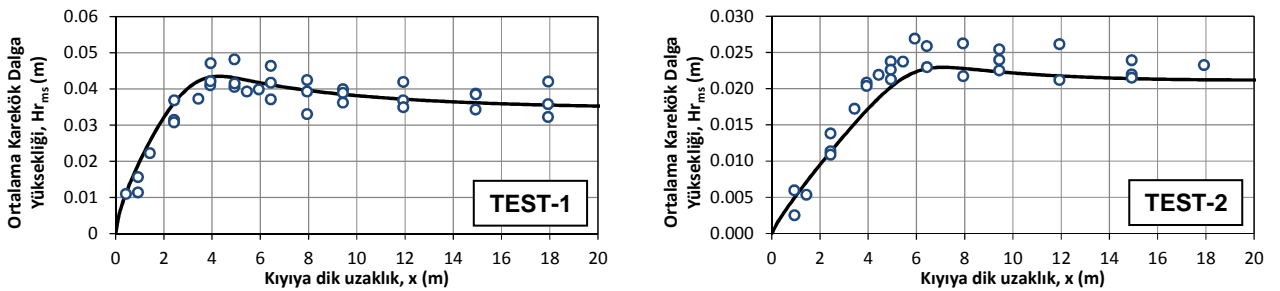
Şekil 3.39 Yakın kıyı akıntı modeli çözüm şeması

4.3.1 Tang ve diğ. (2008) Laboratuvar Ölçümleri

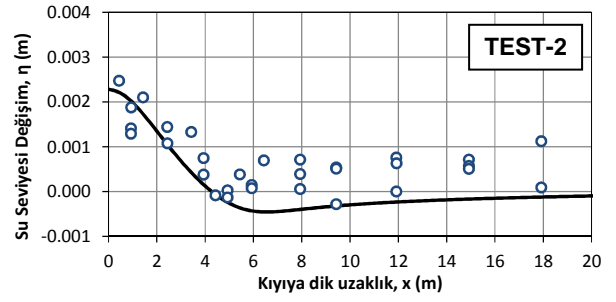
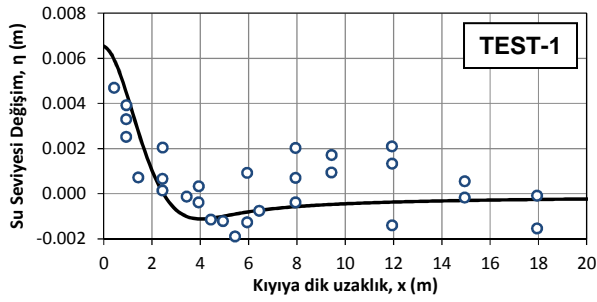
Sonlu farklar yöntemi ile 2 boyutlu olarak çözülen sığ su denklemleri çeşitli laboratuvar ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Bu ölçümlerden birincisi düz eğime taban profili boyunca Tang ve diğ. (2008)'nin yaptığı çalışmadır. Belirli bir yaklaşma açısına sahip olarak üretilen tek yönlü (unidirectional) düzensiz dalgalar etkisi altında kıyı boyu akıntı hızları, su seviyesi değişimi ve dalga yükseklikleri ölçülmüştür. Deney dalga koşulları **Tablo 3-6**'da verilmiştir. Yapılan karşılaştırmaların sonuçları **Şekil 3.40-Şekil 3.42**'de verilmiştir. Yakın kıyı modeli çözümlerinde yüzey girdap enerji transfer katsayısı, $\alpha = 0.5$ alınmıştır. Yatay dağılım terimleri 2 boyutlu modelde sayısal kararlılığını olumsuz etkilediği için ihmal edilmiştir. Etkileri ikinci dereceden ve diğer terimlere göre çok fazla olmamakla birlikte yatay dağılım terimlerinin çözüm içinde yer almasına çalışılmaktadır.

Tablo 3-6 Tang ve diğ. (2008) Deney Dalga Koşulları

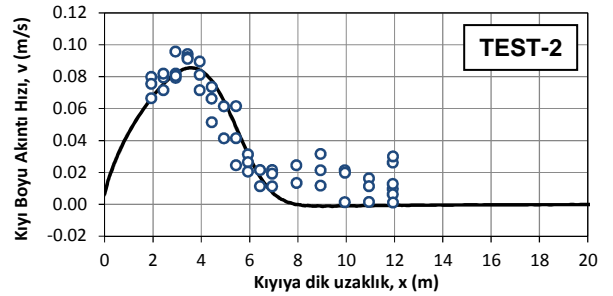
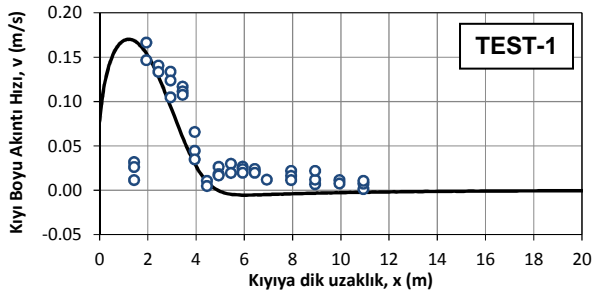
Test No	Taban Eğimi	Derinlik, h (m)	Yaklaşma Açısı, θ (°)	Belirgin Dalga Yüksekliği, H_s (m)	Belirgin Dalga Periyodu, T_s (sn)	C_f
Test 1	1:40	0.45	30	0.05	2.0	0.0090
Test 2	1:100	0.18	30	0.03	1.0	0.0065



Şekil 3.40 Tang ve diğ. (2008) Dalga Yüksekliği Ölçümleri ile Dalga Taşınım Modeli Karşılaştırması



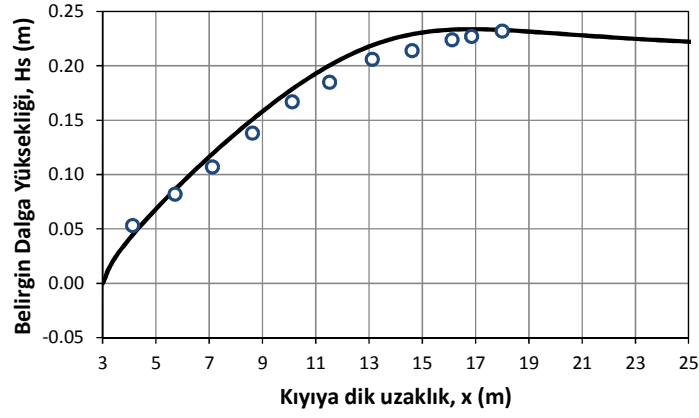
Şekil 3.41 Tang ve diğ. (2008) Su Seviyesi Değişimi Ölçümleri ile Yakın Kıyı Akıntı Modeli Sonuçları Karşılaştırması



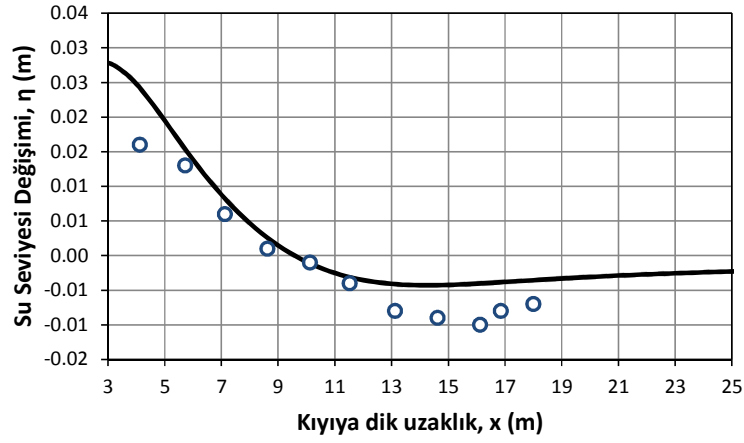
Şekil 3.42 Tang ve diğ. (2008) Kıyı Boyu Akıntı Ölçümleri ile Yakın Kıyı Akıntı Modeli Sonuçları Karşılaştırması

4.3.2 Hamilton ve Ebersole (2001) Laboratuvar Ölçümleri

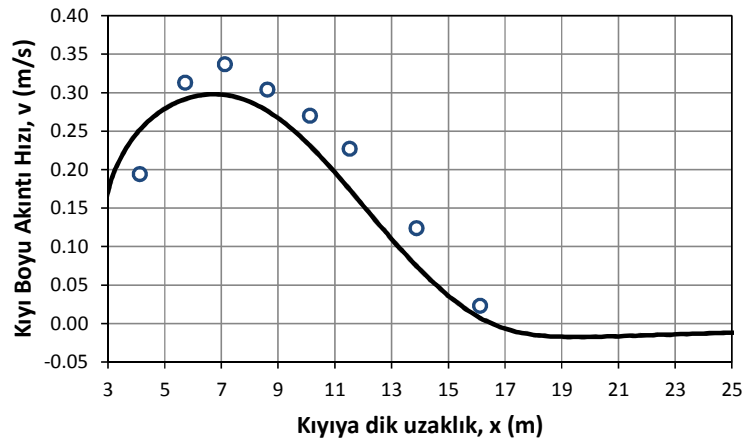
Yakın kıyı akıntı modelinin laboratuvar ölçümleri ile karşılaştırılmasında ikinci olarak Hamilton ve Ebersole (2001) çalışmasında alınan ölçümler. Tek yönlü (unidirectional) düzensiz dalgalar yapılan TEST-8E'de 1:30 taban eğiminde 66.7 cm su derinliğinde spektral belirgin dalga yüksekliği $H_{m0} = 0.225$ metre, pik dalga periyodu, $T_p = 2.5$ sn, ve yaklaşma açısı 10 derecedir. Goda (2006)'da yapılan karşılaştırmaya benzer olarak taban sürtünme katsayısı, $c_f = 0.007$, enerji transfer katsayısı, $\alpha = 0.5$ alınmıştır. Yatay dağılım terimlerinin etkileri ihmal edilmiştir. Ölçümler ile model sonuçlarının karşılaştırmaları **Şekil 3.43-Şekil 3.45'**de verilmiştir. Model sonuçları ile ölçümler arasında belirli bir uyum olduğu gözlenmektedir.



Şekil 3.43 Hamilton ve Ebersole (2001) Dalga Yüksekliği Ölçümleri ile Dalga Taşınım Modeli Karşılaştırması



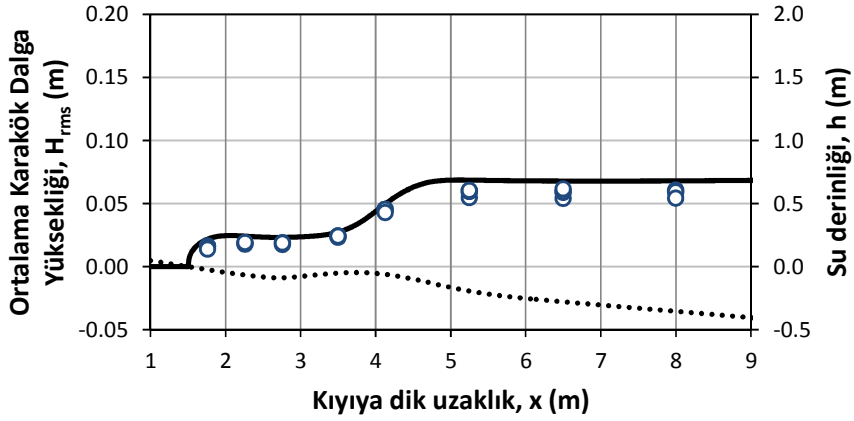
Şekil 3.44 Hamilton ve Ebersole (2001) Su Seviyesi Değişimi Ölçümleri ile Yakın Kıyı Akıntı Modeli Sonuçları Karşılaştırması



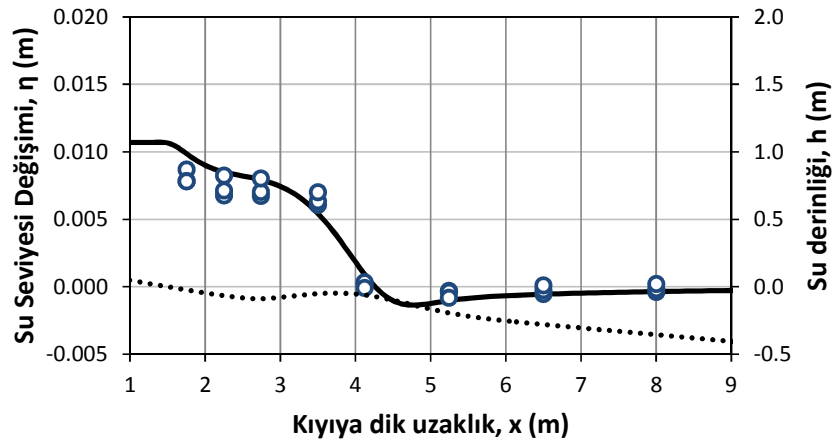
Şekil 3.45 Hamilton ve Ebersole (2001) Kıyı Boyu Akıntı Ölçümleri ile Yakın Kıyı Akıntı Modeli Sonuçları Karşılaştırması

4.3.3 Reniers ve Battjes (1997) Laboratuvar Ölçümleri

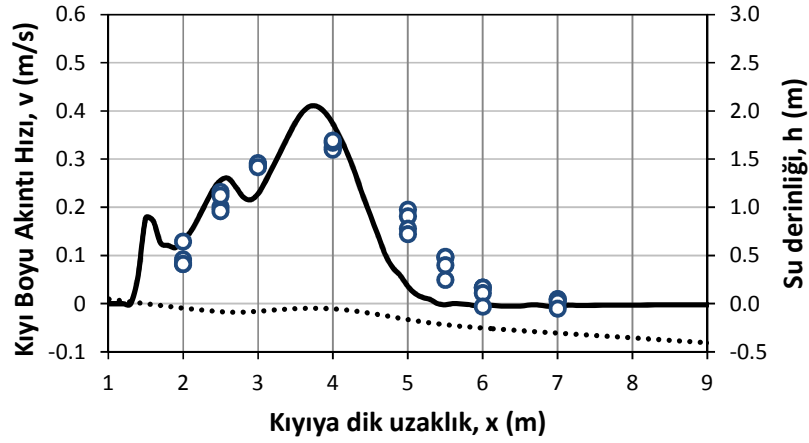
Yakın kıyı akıntı modelinin doğrulanması ile ilgili yapılan bir başka çalışma Reniers ve Battjes (1997) tarafından yapılan laboratuvar ölçümleri karşılaştırmasıdır. Taban profilinde dalgaların kırılma bölgesine yakın bir yerde sığlık yerleştirilmiştir. Bu durum genellikle belirgin fırtınalar sonrası dalgaların kıyıdaki kumları açığa çekmesi ile deniz tabanında oluşan yakın kıyı (nearshore bar) sığlıklarına benzer bir durumdur. Düzlemsel sabit eğimli profillere göre daha gerçekçi bir taban profili sunmaktadır. Tek yönlü (unidirectional) düzensiz dalgalar yapılan ve Şekil 3.17’de verilen taban profilinin başlangıç derinliği olan 55 cm su derinliğinde ortalama karekök dalga yüksekliği $H_{rms} = 0.07$ metre, pik dalga periyodu, $T_p = 1.2$ sn, ve yaklaşma açısı 30 derecedir. Goda (2006)’da yapılan karşılaştırmaya benzer olarak taban sürtünme katsayısı, $c_f = 0.015$, enerji transfer katsayısı, $\alpha = 0.5$ alınmıştır. Yatay dağılım terimlerinin etkileri ihmal edilmiştir. Ölçümler ile model sonuçlarının karşılaştırmaları Şekil 3.46-Şekil 3.48’de verilmiştir. Model sonuçları ile ölçümler arasında belirli bir uyum olduğu gözlenmektedir.



Şekil 3.46 Reniers ve Battjes (1997) Dalga Yüksekliği Ölçümleri ile Dalga Taşınım Modeli Karşılaştırması



Şekil 3.47 Reniers ve Battjes (1997) Dalga Yüksekliği Ölçümleri ile Dalga Taşınım Modeli Karşılaştırması

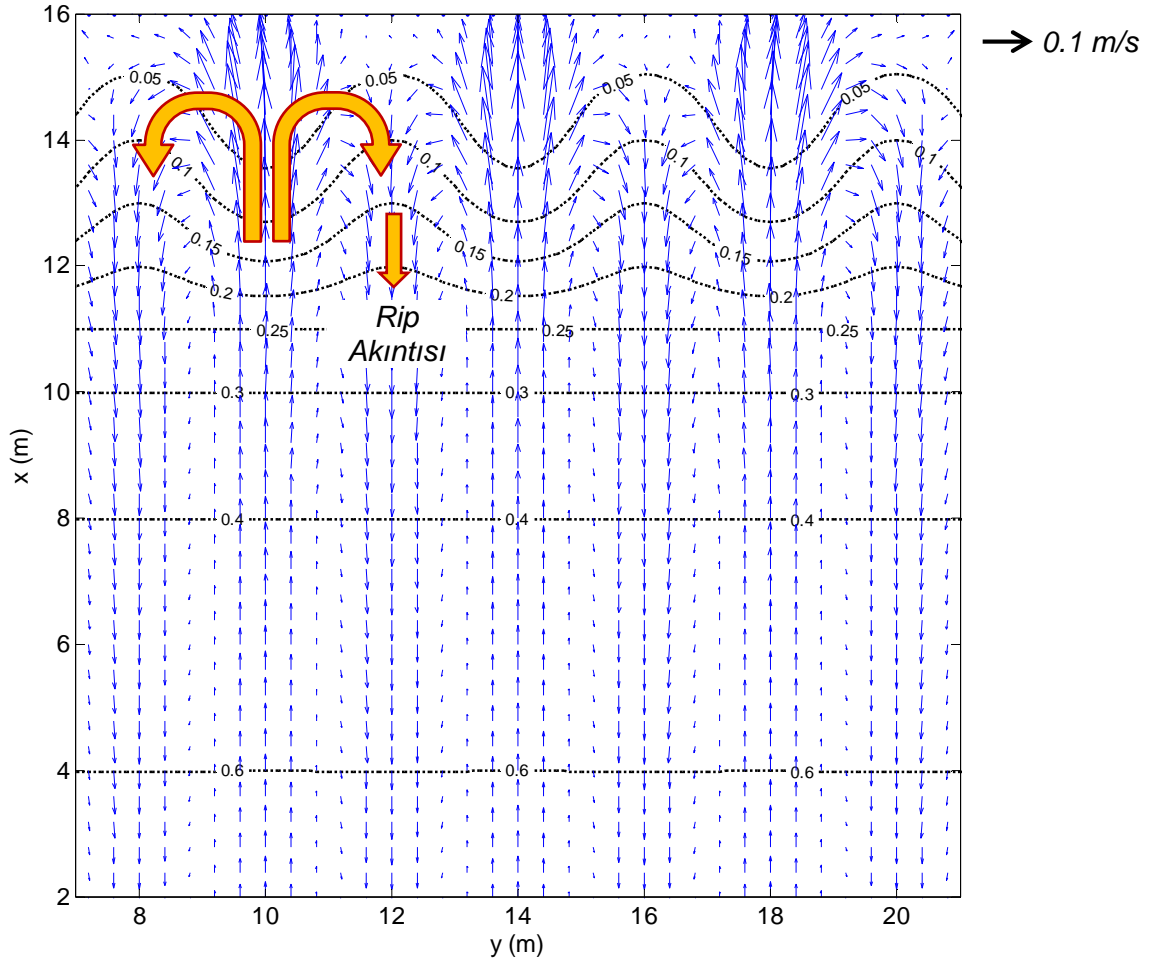


Şekil 3.48 Reniers ve Battjes (1997) Dalga Yüksekliği Ölçümleri ile Dalga Taşınım Modeli Karşılaştırması

4.3.4 Düzensiz kıyıda Rip Akıntılarının Modellenmesi (Parker ve Borthwick, 2001)

Yakın kıyı akıntı modelinin farklı batimetrlere çalışmasına bir örnek olarak Parker ve Borthwick (2001) 'te verilen yaklaşım kullanılarak su seviyesinden aşağıda sinusoidal çıkıntılardan oluşan bir batimetri üretilmiştir. Üretilen batimetrenin derinlikleri **Şekil 3.49**'da verilmiştir. 0 cm'den 25 cm derinliğine kadar su derinlikleri Denk.3.43 ile hesaplanmıştır. 25 cm'den sonrası derinlikler için sabit 1:20 eğim kabul edilmiştir. Başlangıç derinliği olan 80 cm su derinliğinde üretilen tek yönlü (unidirectional) düzensiz dalgaların belirgin dalga yüksekliği $H_s = 0.062$ metre, belirgin dalga periyodu, $T_s = 1.0$ sn, ve yaklaşma açısı 0 derecedir (dalga geliş doğrultusu kıyıya dik). Taban sürtünme katsayısı, $c_f = 0.015$, enerji transfer katsayısı, $\alpha = 0.5$ alınmıştır. Yatay dağılım terimlerinin etkileri ihmal edilmiştir. Beklendiği üzere çıkıntılar arasında kıyıya dik ve denize doğru rip akıntılarının olduğu görülmektedir (**Şekil 3.49**).

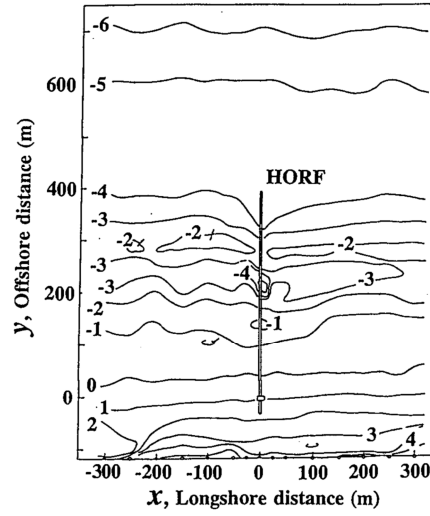
$$h = 0.05 \left[(15 - x) - 0.75 \sin\left(\frac{\pi(15 - x)}{5}\right) \left(1 + \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \frac{2\pi y}{4}\right) \right) \right] \quad 3-43$$



Şekil 3.49 Parker ve Borthwick (2001) 'de verilen yaklaşıma göre üretilen batimetri ve akıntı düzeni (Eş derinlik eğrileri metre cinsinden kesikli çizgiler ile gösterilmiştir.)

4.3.5 HORS Saha Ölçümleri

Hors ölçümleri Japonya'nın Pasifik okyanusuna bakan Kashima-nada kıyısındaki 427 m uzunluğundaki Hazaki Oşinografik Araştırma Tesisi iskelesi (HORS) yakın çevresinde yapılmıştır (Kuriyama ve Ozaki, 1993; Goda, 2008). Dalga ölçümleri ultrasonic dalga ölçerler tarafından akıntı ölçümlerinin öncesinde ve sonrasında gerçekleştirilmiştir. Akıntı ölçümleri için elektromanyetik akıntıölçer kullanılarak kalibrasyonu yapılmış ve doğrulanmış yüzen cisim kullanılmıştır. Kıyı boyu akıntı hızları deniz seviyesinin 1 metre altında gerçekleştirilmiştir (Kuriyama ve Ozaki, 1993). HORS iskelesi ve 31 Mart 1989 tarihindeki yakın kıyı batimetrisi **Şekil 3.50**'de verilmiştir.



Şekil 3.50 HORS İskelesi Yakın Kıyı Batimetrisi, 31 Mart 1989 (Kuriyama, 2004)

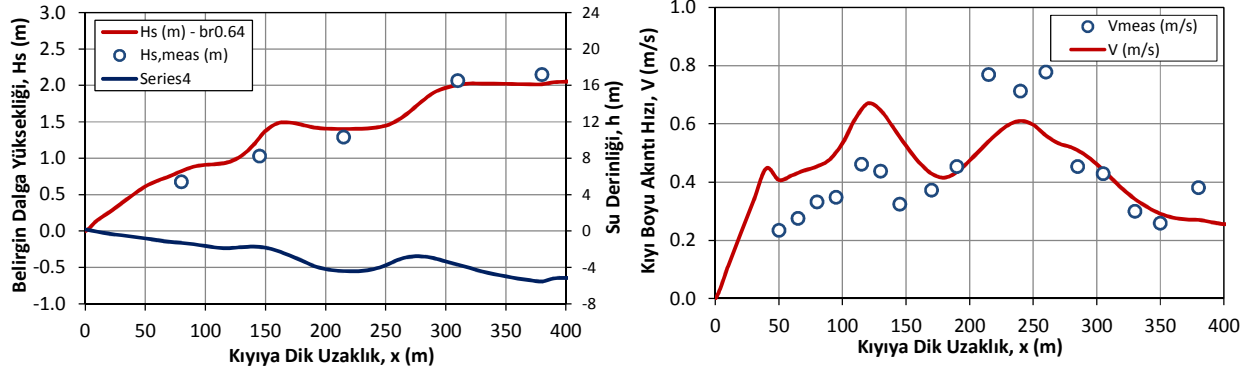
Karşılaştırmalarda kullanılan ölçümler 28 Mart ve 4 Nisan 1989 tarihlerine aittir. Ölçümlerde gözlenen yakın kıyı belirgin dalga yükseklikleri ve periyotları, ortalama taban eğimi ve karşılaştırmalarda kullanılan diğer parametreler Kuriyama (2004) ve Goda (2008)'dan derlenmiş, **Tablo 3-7**'de verilmiştir. Dalga dönüşümü ve kırılma olaylarının belirleyen kırılma indisleri Janssen and Battjes (2007)'de verilen aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\gamma_b = \frac{H_b}{d_b} = 0.39 + 0.56 \tanh(33H_0' / L_0) \quad 3-44$$

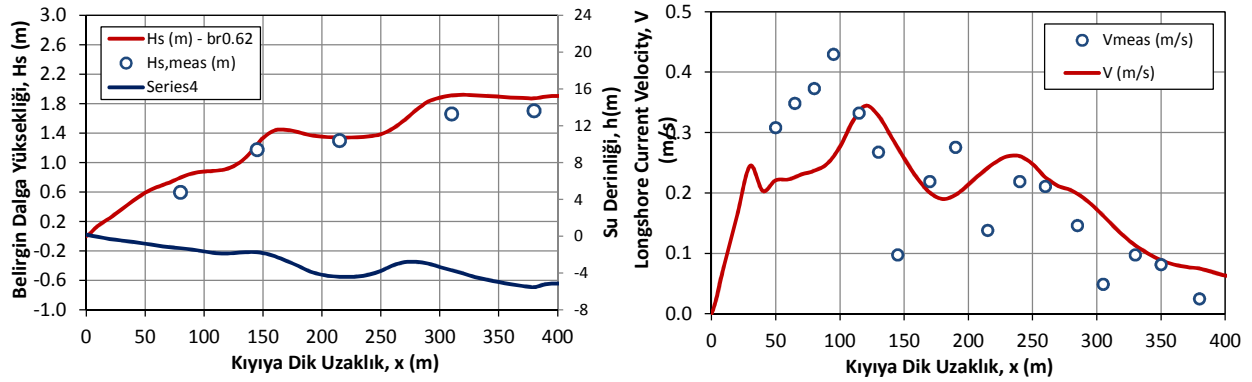
Tablo 3-7 HORS 28 Mart ve 4 Nisan 1989 Ölçümleri (Kuriyama, 2004; Goda, 2008)

Tarih	Ortalama Taban Eğimi	Su Derinliği, h(m)	Belirgin Dalga Yüksekliği, H _s (m)	Yaklaşım Açısı, θ (°)	Belirgin Dalga Periyodu, T _s (sn)	Yönel Dağılım Parametresi, S _{max}	Taban Sürtünme Katsayısı, c _f	Enerji Transfer Katsayısı, α	Eddy Vizkozite Katsayısı, Λ	Kırılma İndisi, H _b /d _b
28.03.1989	1:59.9	6.1	2.47	25	8.86	25	0.0075	0.5	1.0	0.64
04.04.1989	1:59.9	6.1	2.03	10	8.40	40	0.0075	0.5	1.0	0.62

Karşılaştırma sonuçları 28 Mart ve 4 Nisan 1989 ölçümleri için sırası ile **Şekil 3.51** ve **Şekil 3.52**'de verilmiştir. Karşılaştırmalarda geliştirilen iki boyutlu dalga dönüşüm ve yakın kıyı akıntı modelleri kullanılmıştır. Akıntı modeli çözümünde ikinci dereceden etki göstermesi ve çözüm şemasında kararsızlığa sebep olması neden ile yatay dağılım terimlerinin etkileri ihmal edilmiştir. Kullanılan modellerin teorik altyapısı önceki ara raporlarda verilmiştir.



Şekil 3.51 28 Mart 1989 HORS Ölçümleri ile Sayısal Model Sonuçlarının Karşılaştırması

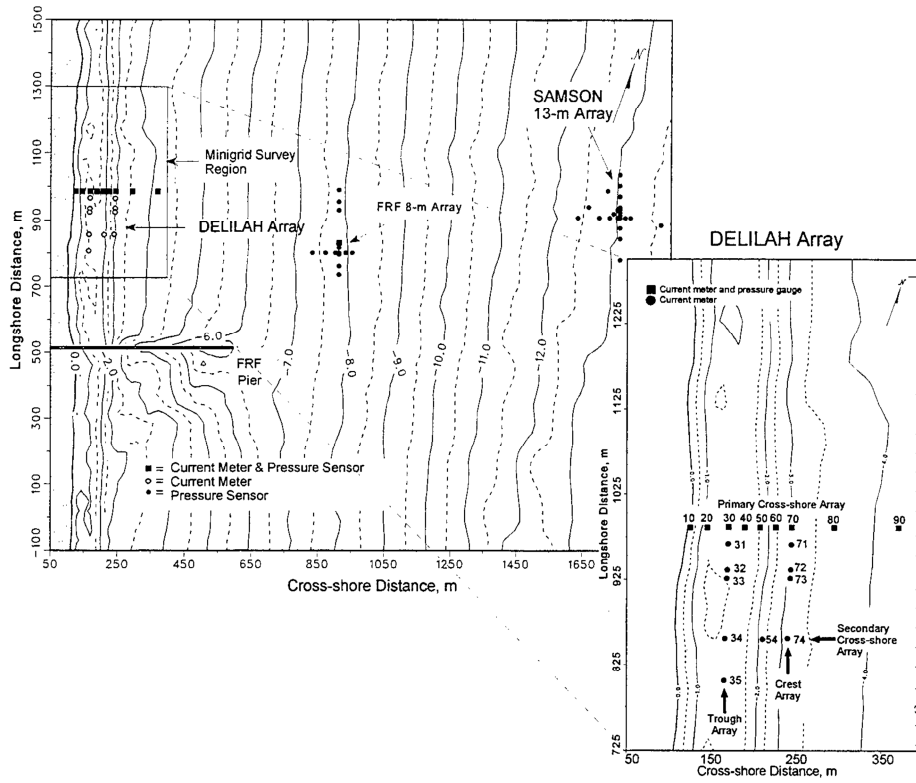


Şekil 3.52 4 Nisan 1989 HORS Ölçümleri ile Sayısal Model Sonuçlarının Karşılaştırması

Yapılan karşılaştırmalardan görüldüğü üzere kıyı boyunca dalga yükseklikleri ve akıntı hızları ölçümleri ile model sonuçlarının kabul edilebilir bir benzerlik göstermektedir.

4.3.6 FRF-DELILAH Saha Ölçümleri

Karşılaştırmalarda kullanılan bir diğer saha ölçümü verisi, ABD, Kuzey Karolina eyaletinde Duck şehri kıyısındaki ABD Askeri birimine bağlı (U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station) Kıyı ve Hidrolik Laboratuvarı, Saha Araştırma Tesisinde 1990 yılının Ekim ayında yapılan DELILAH projesine ait ölçümlerdir. Ölçüm verisi Prof. Yoshimi Goda'dan kişisel iletişim yoluyla elde edilmiştir. DELILAH ve benzeri projeler için ölçümlerin yapıldığı yakın kıyı batimetrisi ve ölçüm noktaları Şekil 3.53'te verilmiştir. Akıntı ve dalga yüksekliği ölçümleri için sırasıyla Şekil 3.53'te gösterilen pozisyonlarda konumlandırılan elektromanyetik akıntı ölçerler ve basınç tipi dalga ölçerler kullanılmıştır.



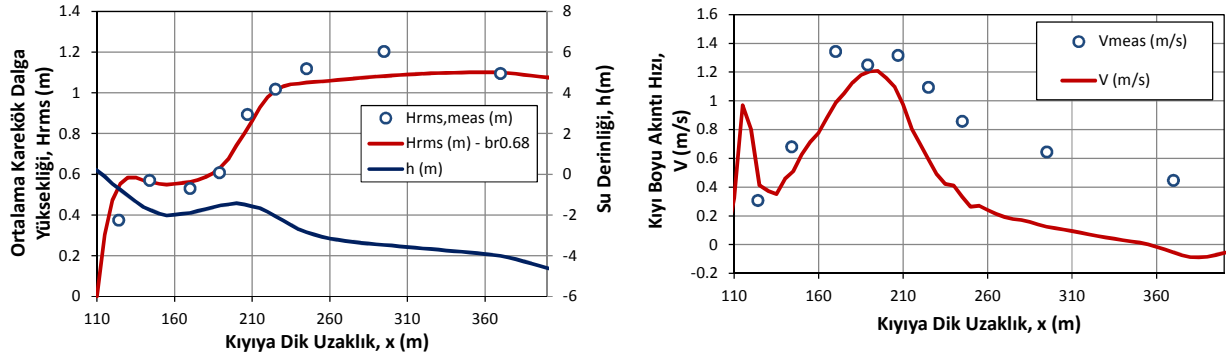
Şekil 3.53 FRF-DELILAH Ölçüm Noktaları (Birkemeier ve diğ., 1997)

Karşılaştırmalarda kullanılan ölçümler 11 ve 14 Ekim 1990 tarihlerine aittir. Ölçümlerde gözlenen yakın kıyı belirgin dalga yükseklikleri ve periyotları, ortalama taban eğimi ve karşılaştırmalarda kullanılan diğer parametreler **Tablo 3-8**'de verilmiştir (Birkemeier ve diğ., 1997; Goda, 2008). Dalga dönüşümü ve kırılma olaylarının belirleyen kırılma indisleri Denk.3.44 kullanılarak hesaplanmıştır.

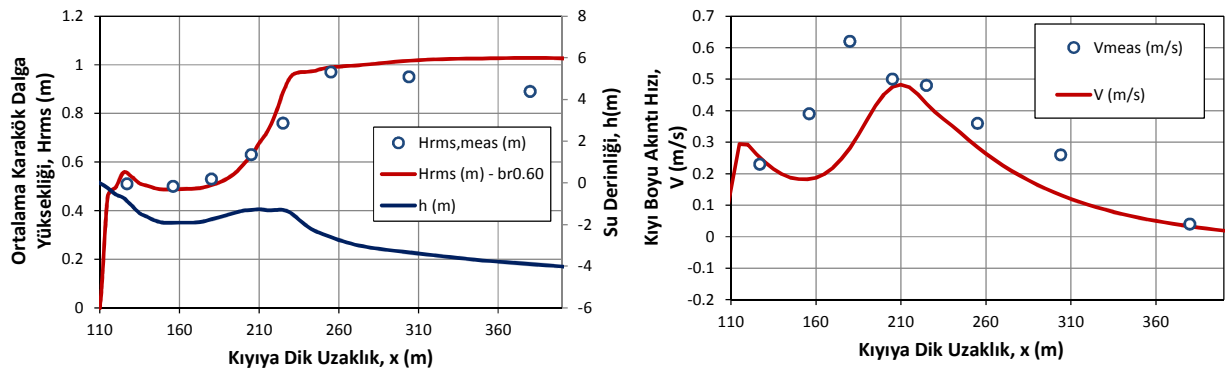
Tablo 3-8 DELILAH 11 ve 14 Ekim 1990 Ölçümleri (Birkemeier ve diğ., 1997; Goda, 2008)

Date	Mean Bottom Slope	Water Depth, h(m)	Significant Wave Height, H_s (m)	Approach Angle, θ (°)	Significant Wave Period, T_s (sn)	Directional Spreading Parameter, S_{ma}	Bottom Friction Coef., c_f	Turbulent		
								Energy Transfer Coef., α	Eddy Viscosity Constant, Λ	Breaker Index, H_b/d_b
11.10.1990	1:75.2	DW	1.55	39	8.60	50	0.0050	0.5	1.0	0.68
14.10.1990	1:75.2	DW	1.15	20	12.0	100	0.0050	0.5	1.0	0.60

Karşılaştırma sonuçları 11 ve 14 Ekim 1990 ölçümleri için sırası ile **Şekil 3.54** ve **Şekil 3.55**'de verilmiştir. Karşılaştırmalarda geliştirilen iki boyutlu dalga dönüşüm ve yakın kıyı akıntı modelleri kullanılmıştır. Akıntı modeli çözümünde ikinci dereceden etki göstermesi ve çözüm şemasında kararsızlığa sebep olması neden ile yatay dağılım terimlerinin etkileri ihmal edilmiştir.



Şekil 3.54 11 Ekim 1990 FRF-DELILAH Ölçümleri ile Sayısal Model Sonuçlarının Karşılaştırması



Şekil 3.55 14 Ekim 1990 FRF-DELILAH Ölçümleri ile Sayısal Model Sonuçlarının Karşılaştırması

Yapılan karşılaştırmalardan görüldüğü üzere kıyı boyunca dalga yükseklikleri ve akıntı hızları ölçümleri ile model sonuçlarının kabul edilebilir bir benzerlik göstermektedir.

4.4 KUM TAŞINIM MODELİ

Kıyılarda dalga etkilerine bağlı kum taşınımı kıyıya dik (x yönünde) ve kıyı boyunca (y yönünde) gerçekleşmektedir. Kıyıya dik kum taşınımının taban morfolojisine etkileri kısa dönemlerde (fırtınalar, aylar ve ya mevsimler) daha belirgin olurgan kıyı boyu kum taşınımının etkileri daha uzun dönemlerde (yıllar ve ya on-yıllar düzeyinde) belirgin olmaktadır. Her iki yönde de kum taşınım miktarlarının belirlenmesine yönelik literatürde çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Bu yaklaşımlardan birisi Watanabe (1987) tarafından önerilen ve sürtünme gerilmelerine bağlı yaklaşımdır. Bu yaklaşıma göre taşınım miktarı derinlik boyunca ortalama akıntı hızlarına, bu hızlar etkisinden oluşan en büyük sürtünme gerilmeleri ve kumun hareket etmesi için gerekli eşik sürtünme gerilme değerleri arasındaki farka ve ampirik olarak belirlenen bir sabite bağlıdır. Bir başka yaklaşım ise LUND-Cirp formülasyonu olarak da bilinen Camenen ve Larson tarafından geliştirilmiş (2005, 2006, 2007 ve 2008) yaklaşımdır. Derinlik ortalamalı 2DH modellerde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Kum kontrasyonunun derinlik boyunca exponansiyel değişim gösterdiğini ve derinlik boyunca tek bir ortalama hız değeri kabul eder. Kum taşınım miktarlarını bu hız değerine, derinlik boyunca ortalama kum yayılma ve Shields parametresine bağlı olan taban referans kontrasyonu değerlerine ilişkilendirmişlerdir. Kum yayılma değeri (sediment diffusivity)

tabanda dalga ve akıntı etkilerine bağlı oluşan kayıplar ve dalga kırılmasına bağlı enerji kaybının lineer bir birleşimi olarak tanımlanmıştır.

Kumlanma modelinin yakın kıyı dalga ve akıntı modelleri ile elde edilen yakın kıyı dalga ve akıntı özellikleri (dalga yüksekliği, yaklaşma açısı, dalga kırılması olayı neticesinde kaybolan enerji miktarları, derinlik ortalamalı akıntı hızları) kullanılarak yakın kıyıda taşınan kıyıya dik ve kıyı boyu kum taşınım debilerinin hesaplanmasında iki farklı yöntem kullanılmıştır. Yöntemlerden birincisi kıyı mühendisliği kum taşınım problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan ve literatürde çok sayıda laboratuvar ve saha ölçümleri ile doğrulama çalışmaları yapılmış (Watanabe, 1987; Watanabe et al, 1991; Bayram et al., 2001; Buttolph et al., 2006; Nam et al., 2009) Watanabe (1992) yöntemidir. Bu yöntemde göre yayılı toplam kum taşınım debisi ($q_{total,x}$ and $q_{total,y}$), bir dalga periyodu süresince tabanda oluşan ortalama kayma gerilmesi ($\tau_{b,cw}$) ile tabandaki kum tanesini hareket haline geçirecek kritik taban kayma gerilmesi (τ_{cr}) arasındaki fark ile doğru orantılıdır.

$$q_{total,x} = \frac{A \cdot [\tau_{b,cw} - \tau_{cr}] \cdot u}{\rho \cdot g} \quad 3-45$$

$$q_{total,y} = \frac{A \cdot [\tau_{b,cw} - \tau_{cr}] \cdot v}{\rho \cdot g} \quad 3-46$$

Yukarıda verilen denklemlerde A katsayısı düzenli dalgalar için 0.5, düzensiz ve yönsel dalgalar için 2 değerini almaktadır. u ve v sırasıyla kıyıya dik ve kıyı boyu derinlik ortalamalı yakın kıyı akıntı hızlarıdır. Kritik taban kayma gerilmesi aşağıdaki denklem ile tanımlanmıştır:

$$\tau_{cr} = (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d_{50} \cdot \theta_{cr} \quad 3-47$$

Yukarıda verilen denklemde ρ_s ve ρ sırasıyla kumun ve suyun yoğunluklarıdır (yaklaşık olarak quartz tipi kum için $\rho=2650 \text{ kg/m}^3$, tuzlu su için $\rho=1025 \text{ kg/m}^3$ ve tatlı su için $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ olarak alınabilir), g yerçekimi ivmesidir, d_{50} ortalama kum tane çapıdır ve θ_{cr} kritik Shields parametresidir. Soulsby ve Whitehouse (1997) kritik Shields parametresini aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

$$\theta_{cr} = \frac{0.3}{1 + 1.2d_{50}^*} + 0.055 \cdot [1 - \exp(-0.02d_{50}^*)] \quad 3-48$$

$$d_{50}^* = d_{50} \cdot \left[\frac{g \cdot (\rho_s / \rho - 1)}{v^2} \right]^{1/3} \quad 3-49$$

Yukarıda verilen denklemde v suyun kinematik vizkozitesidir (20°C 'de su sıcaklığında yaklaşık $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$). Bijker (1971) bir dalga periyodu süresince tabanda oluşan ortalama kayma gerilmesini aşağıda tanımlamıştır.

$$\tau_{b,cw} = \frac{1}{T} \int_0^T \tau_{cw} \cdot dt \approx \tau_c + \frac{1}{2} \tau_{w,max} \quad 3-50$$

Yukarıda verilen denklemde T dalga periyodu, τ_c düzenli akımın yarattığı taban kayma gerilmesi ve $\tau_{w,max}$ dalga kaynaklı taban gerilmesidir. u_c hızına sahip düzenli akımın sebep olduğu taban kayma gerilmesi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\tau_c = \frac{1}{8} \rho \cdot f_c \cdot (u_c)^2 \quad 3-51$$

Yukarıda verilen denklemdeki f_c akım sürtünme katsayısıdır (Van Rijn, 1998):

$$f_c = 0.24 \log^{-2} \left(12 \frac{d}{k_s} \right) \quad 3-52$$

Yukarıda verilen denklemde d toplam su derinliği ($d=h+\bar{\eta}$), k_s Nikuradse pürüzlülüğüdür ve düz tabanlarda ortalama kum tane çapının iki katı olarak alınabilir $k_s=2.5 \cdot d_{50}$. Dalga kaynaklı en büyük taban kayma gerilmesi aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\tau_{w,max} = \frac{1}{2} \rho \cdot f_w \cdot (u_0)^2 \quad 3-53$$

Yukarıda verilen denklemde f_w dalga sürtünme katsayısı olup, Nielsen (1992) tarafında aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$f_w = \exp[5.5 \cdot R^{-0.2} - 6.3] \quad 3-54$$

Burada R göreceli pürüzlülük olup aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$R = \frac{A_w}{k_s} \quad 3-55$$

Yukarıda verilen denklemde A_w tabandaki su tanesinin katettiği yarı mesafedir:

$$A_w = \frac{u_0 T_p}{2\pi} \quad 3-56$$

Proje kapsamında Watanabe (1992) kum taşınım yöntemine alternatif ve geliştirilmekte olan kumlanma modelinde kullanılmak üzere çalışmalar yapılmıştır. Yayılı kum taşınım yüklerinin hesaplanması için geliştirilen ikinci yöntem için (Baykal, 2012) Bayram ve diğ. (2007) tarafından verilen toplam kıyı boyu kum taşınımı yaklaşımından yararlanılmıştır. Bayram ve diğ. (2007) kırılma bölgesindeki kumun askıda kalması için yapılan işi aşağıdaki gibi tanımlar ve bu işin kırılan dalgaların enerji akısının belli bir oranına eşit olduğunu kabul eder ($W=\epsilon F$).

$$W = \int_0^{x_b} \int_{-h(x)}^0 c(x, z)(\rho_s - \rho)gw_s dz dx \quad 3-57$$

Yukarıda verilen denklemde $c(x, z)$ kıyıda kırılma derinliğine kadar olan kıyıya dik mesafe (x_b) boyunca derinlik ve mesafeye bağlı kum konstrasyonudur. Harekete geçirilen kumun kırılan dalga enerjisi ile kıyıya dik bir kesit boyunca gerçekleşen kıyı boyu toplam kum taşınım debisi aşağıdaki denklem ile verilmektedir. Bu denkleme göre toplam kıyı boyu kum taşınım debisi (Q_{lst}) belirli değişkenlere bağlı bir sabit (ε), kırılan dalgaların enerji akısı (F) ve sörf bölgesi boyunca ortalama kıyı boyu akıntı hızına (\bar{V}) bağlıdır.

$$Q_{lst} = \frac{\varepsilon}{(\rho_s - \rho)(1 - a)gw_s} F \bar{V} \quad 3-58$$

Yukarıdaki denklemde verilen F , Bayram ve diğ. (2007) tarafından kırılan dalgaların enerji akısı olarak verilmiş ve aşağıdaki denklem ile tanımlanmıştır.

$$F_b = E_b C_{gb} \cos \theta_b \quad 3-59$$

Yukarıda verilen denklemde C_{gb} kırılan dalgaların grup hızı, θ_b kırılan dalgaların yaklaşma açısıdır. Geliştirilmekte olan kumlanma modelinde kırılma bölgesindeki kıyı boyu ve kıyıya dik taşınım miktarlarının belirlenebilmesi her bir çözüm noktasındaki kumun askıda kalabilmesi için gerekli olan işin (w^*) yine aynı çözüm noktasındaki dalgaların kırılmaya bağlı kaybolan enerji akısı değişiminin (D_b) belirli bir kısmı tarafından yapıldığı kabul edilmiştir ($w^* = \varepsilon D_b$). Buna göre her bir çözüm noktasındaki kumun askıda kalabilmesi için gerekli olan işi aşağıdaki denklem ile tanımlanabilir.

$$w^* = \int_{x_i}^{x_{i+1}} \int_{y_i}^{y_{j+1}} \int_{-h(x_i, y_i)}^0 c(x, y, z)(\rho_s - \rho)gw_s dz dy dx \quad 3-60$$

Yukarıda verilen kabule göre kıyı boyu (q_y) ve kıyıya dik (q_x) birim uzunluk için taşınım miktarları Denk.X.59'e benzer bir şekilde kırılan dalgaların birim uzunluk için enerji akı değişimleri (D), kıyı boyu ve kıyıya dik yönlerdeki akıntı hızları (u ve v) kullanılarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Baykal, 2012).

$$q_{total, y} = \frac{\varepsilon D v}{(\rho_s - \rho)(1 - a)w_s g} \quad 3-61$$

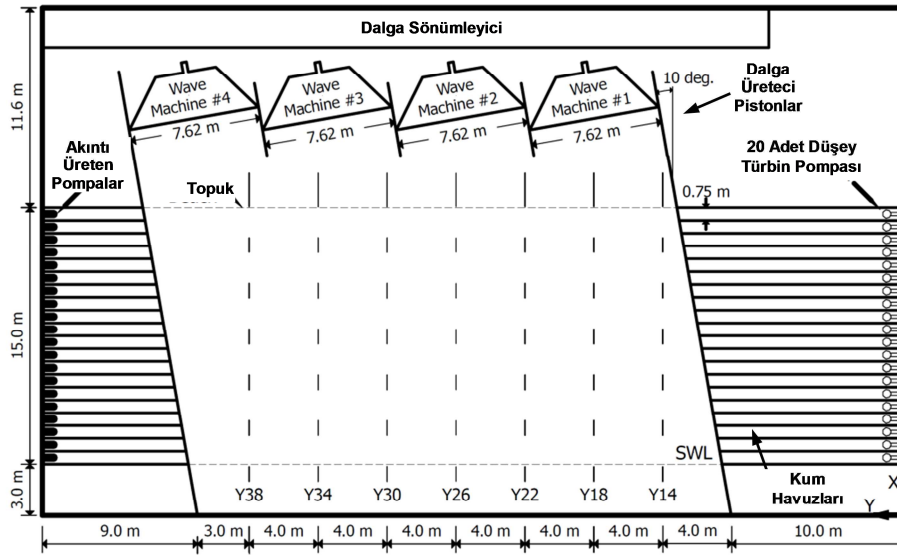
$$q_{total, x} = \frac{\varepsilon D u}{(\rho_s - \rho)(1 - a)w_s g} \quad 3-62$$

Yukarıdaki geliştirilen yaklaşımın geçerliliği ve doğruluğunun araştırılması amacıyla literatürdeki mevcut çalışmalar incelenmiş, geliştirilen yöntem laboratuvar (Wang ve diğ., 2002a; Gravens ve Wang, 2009) ve saha ölçümleri (Miller, 1999) ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırmalarda sadece kıyı boyu yayılı toplam kum taşınım debileri karşılaştırılmıştır. Bunun nedeni olarak elde edilen verilerde kıyıya dik ölçümlerin sınırlı olması, kıyıya dik akıntı hızlarının kırılma bölgesinde gösterdiği zıt yönlü iki akım yapısının derinlik ortalamalı bir modelde yeterli ölçüde yansıtılmaması verilebilir.

4.4.1 LSTF Hareketli Taban Deneyleri (Wang ve diğ., 2002a; Gravens ve Wang, 2007)

Wang ve diğ. (2002a) ve Gravens ve Wang (2007) kum taşınım formüllerinin doğruluğunun araştırılması amacıyla USACE'ye (U.S. Army Corps of Engineers) bağlı Kıyı Mühendisliği Araştırma Merkezine (Coastal Engineering Research Center) ait Büyük Ölçekli Deney Tesisi'nde (Large Scale Testing Facility) dalga ve akıntı etkileri altında 3 boyutlu seri deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deney veri setleri Marc B. Gravens tarafından sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan ortalama kum tane çapı 0.15 mm'dir. Deneylerde dengeye ulaşmış ve dolayısıyla belirgin bir taban değişiminin gözlenmediği taban topografyası kullanılmıştır. Deney alanının plan görünümü ve ölçüm alınan kesitlerin yerleri (Y14-Y38) Şekil 3.56'da verilmiştir.



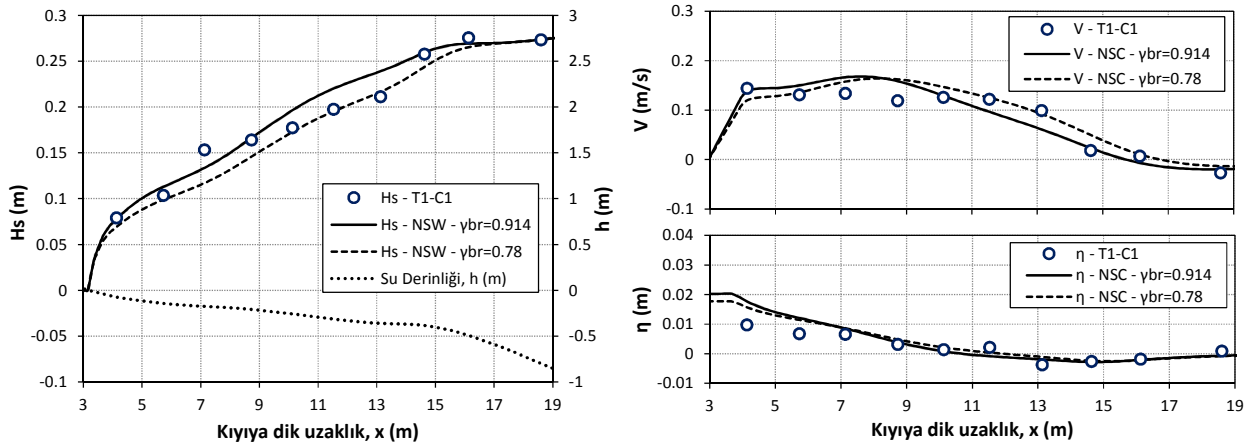
Şekil 3.56 LSTF Deney baseni plan görünümü (Wang ve diğ., 2002a; Gravens ve Wang, 2007)

Deneyler süresince yakın kıyı dalga yükseklikleri, kıyı boyu akıntı hızları, ortalama su seviyesi değişimleri ve toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ölçülmüştür. Kıyı boyu akıntı hızları tabandan derinliğin üçte biri mesafede ölçülmüştür. Toplam kıyı boyu kum taşınım miktarları deneyler sonunda kum havuzlarında biriken miktarlar yoluyla belirlenmiştir. Karşılaştırmalarda kullanılan veriler Y14 ile Y38 arasındaki kesitlerde alınan ölçümlerin aynı kıyıya dik mesafe için ortalamalarının alınması ile elde edilmiştir. Deney dalga koşulları Tablo 3-9'da verilmiştir.

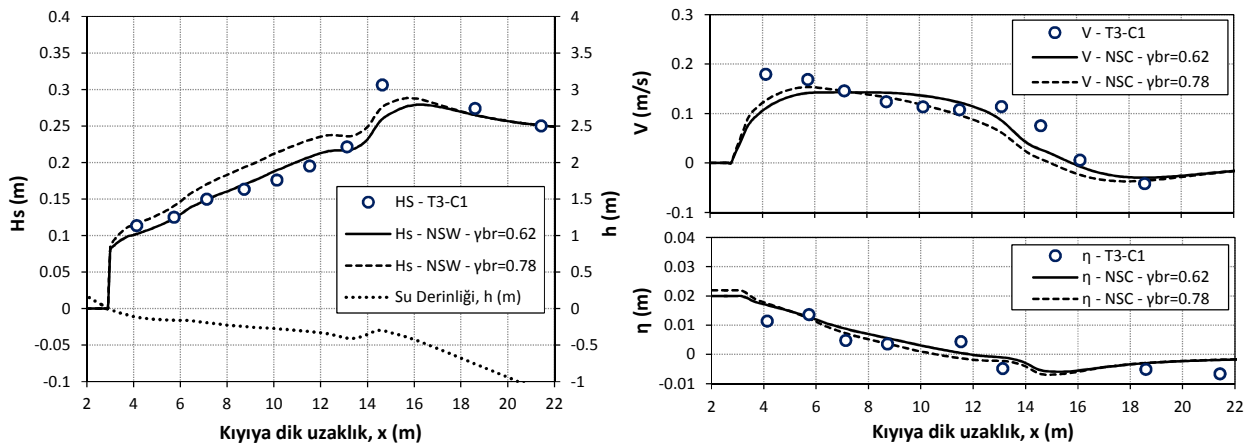
Tablo 3-9 LSTF hareketli taban deneylerinde kullanılan dalga koşulları

Test No	Kırılma Tipi	Su Derinliği, h (m)	Belirgin Dalga Yüksekliği, H_s (m)	Pik Dalga Periyodu, T_p (sec)
T1-C1	Köpürerek (Spilling)	0.9	0.25	1.5
T3-C1	Kıvrılarak (Plunging)	0.9	0.27	3.0
T5-C1	Köpürerek (Spilling)	0.9	0.16	1.5
T6	Kıvrılarak (Plunging)	0.9	0.19	3.0
TEST-BC1	Köpürerek (Spilling)	0.67	0.225	1.459

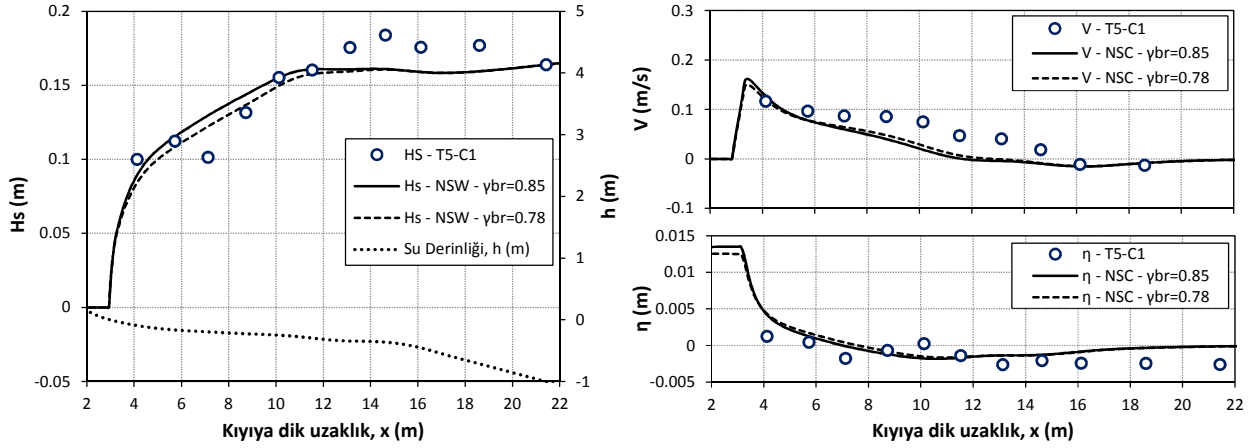
Geliştirilen sayısal model ile laboratuvar deneylerinin sonuçlarının karşılaştırılması sırasıyla önce belirgin dalga yükseklikleri (H_s), kıyı boyu derinlik ortalamalı akıntı hızları (V), ortalama su seviyesi değişimleri (η) için **Şekil 3.57-Şekil 3.61**'de verilmiştir. Karşılaştırmalarda taban sürtünme katsayısı, $c_f=0.015$, eddy vizkozite katsayısı, $\Lambda=0.5$ ve enerji transfer katsayısı, $\alpha=0.5$ olarak alınmıştır (Nam ve diğ., 2009). Ayrıca karşılaştırmalarda Nairn (1990) yaklaşımına göre hesaplanan kırılma indisi ile sabit olarak alınan $\gamma_{br}=0.78$ olmak üzere iki farklı kırılma indisi değeri kullanılmıştır.



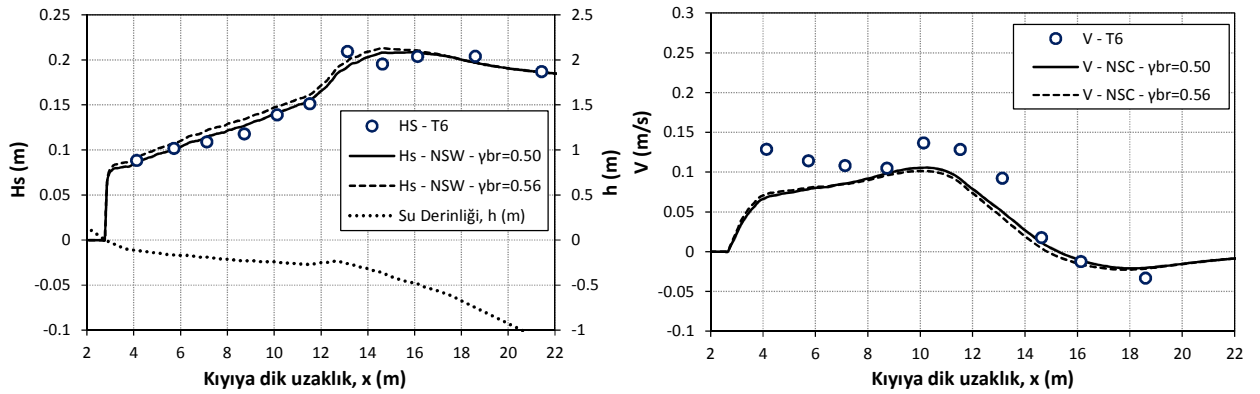
Şekil 3.57 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s), ortalama su seviyesi değişimleri ($\bar{\eta}$) ve kıyı boyu derinlik ortalamalı akıntı hızları (V) (T1-C1; Wang ve diğ., 2002a)



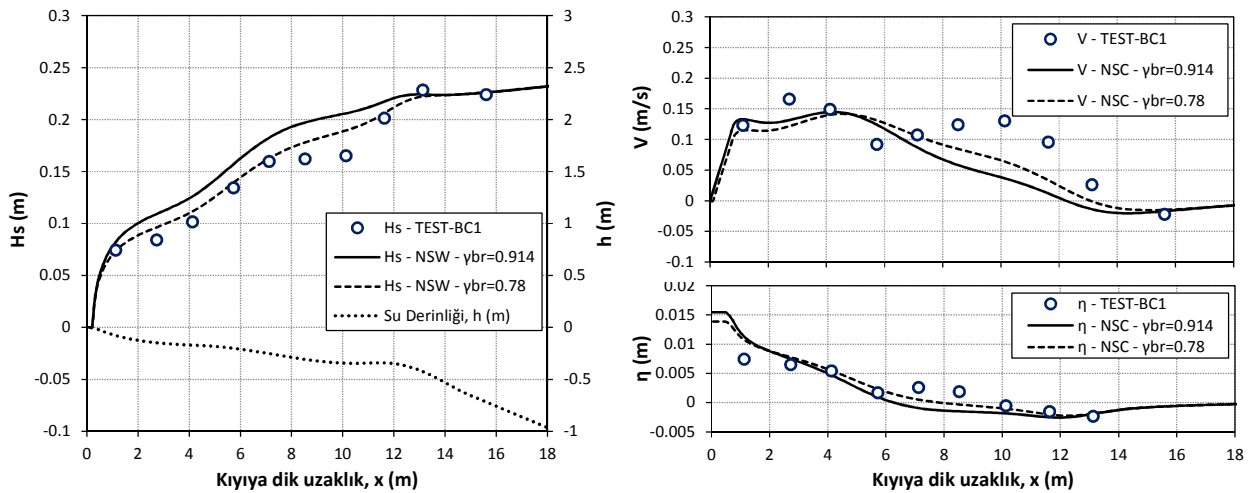
Şekil 3.58 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s), ortalama su seviyesi değişimleri ($\bar{\eta}$) ve kıyı boyu derinlik ortalamalı akıntı hızları (V) (T3-C1; Wang ve diğ., 2002a)



Şekil 3.59 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s), ortalama su seviyesi değişimleri ($\bar{\eta}$) ve kıyı boyu derinlik ortalamalı akıntı hızları (V) (T5-C1; Wang ve diğ., 2002a)



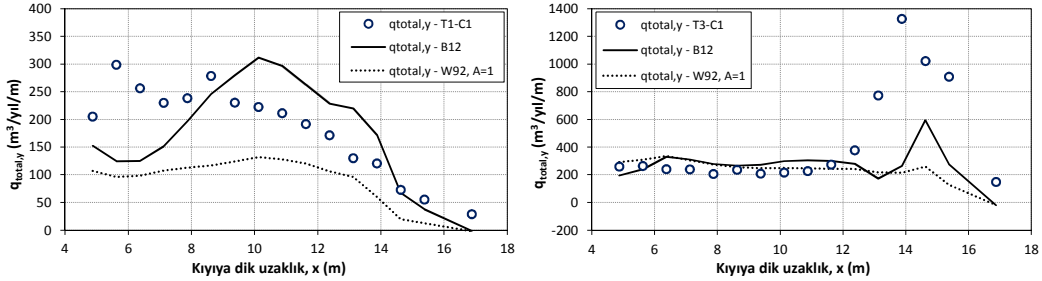
Şekil 3.60 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s), ortalama su seviyesi değişimleri ($\bar{\eta}$) ve kıyı boyu derinlik ortalamalı akıntı hızları (V) (T6; Wang ve diğ., 2002a)



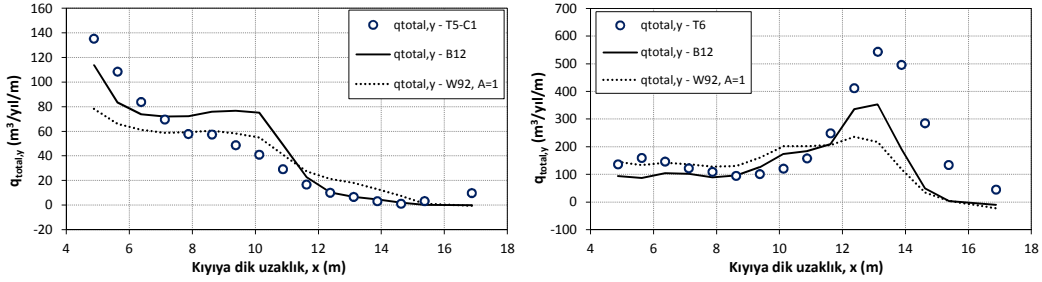
Şekil 3.61 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s), ortalama su seviyesi değişimleri ($\bar{\eta}$) ve kıyı boyu derinlik ortalamalı akıntı hızları (V) (TEST-BC1; Gravens and Wang, 2007)

Şekil 3.57-Şekil 3.61 'den görüldüğü üzere model sonuçları ile deney sonuçları arasında belirgin bir uyum vardır. Nairn (1990) tarafından verilen denklem kullanılarak bulunan kırılma

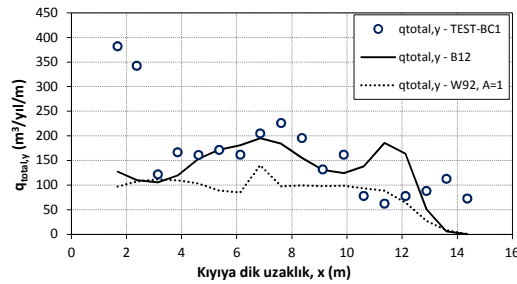
indisinin model sonuçlarına olumlu yönde katkı verdiği görülmektedir. Toplam kıyı boyu yayılı kum taşınım debileri ($q_{total,y}$) karşılaştırmasında kumlanma modelinde kullanılan iki yöntem (Watanabe, 1992; Baykal, 2012) kullanılmıştır. Watanabe (1992) yönteminde A katsayısı 1.0 alınmıştır (Nam ve diğ., 2009). Model ve deney sonuçlarının karşılaştırılması **Şekil 3.62 - Şekil 3.64** 'te verilmiştir.



Şekil 3.62 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ($q_{total,y}$) T1-BC1 (sol) ve T3-C1 (sağ) deneyleri (Wang ve diğ., 2002a)



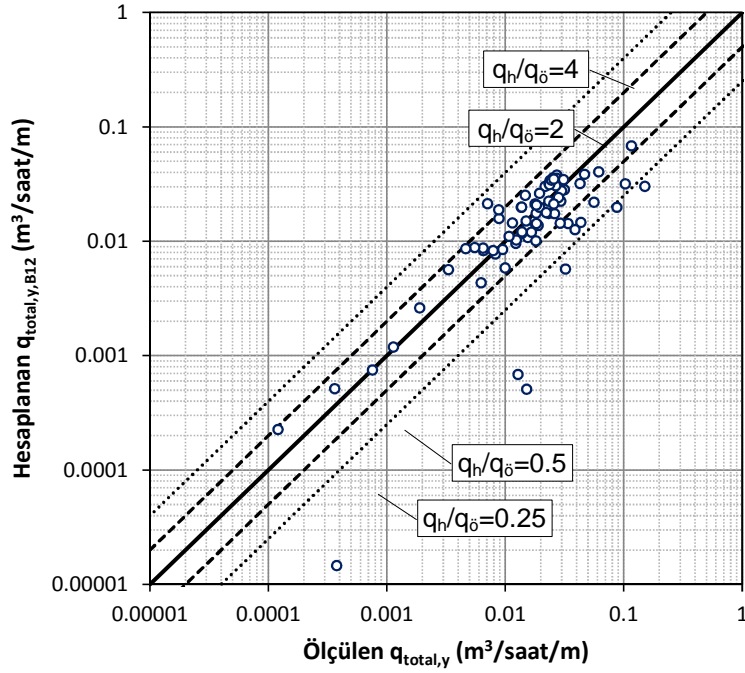
Şekil 3.63 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ($q_{total,y}$) T5-BC1 (sol) ve T6 (sağ) deneyleri (Wang ve diğ., 2002a)



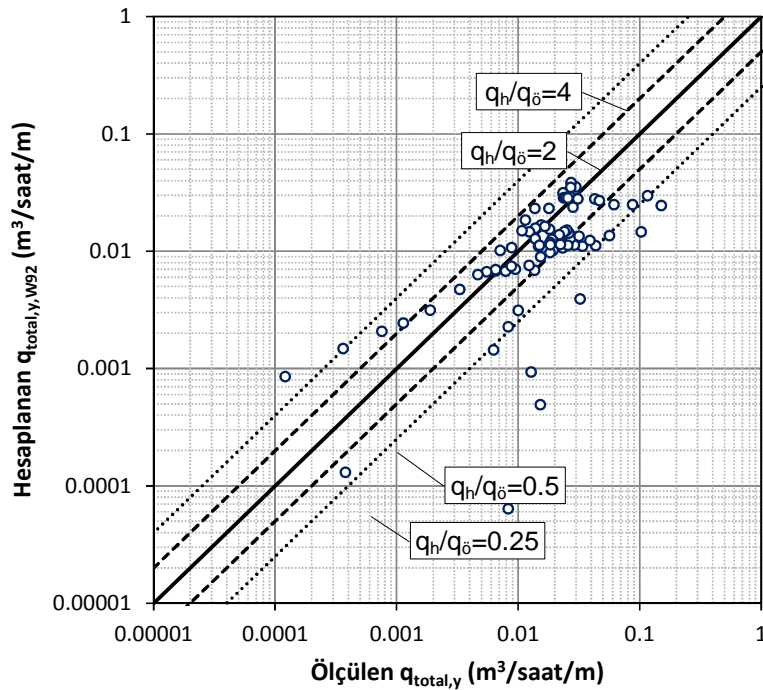
Şekil 3.64 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ($q_{total,y}$) TEST-BC1 deneyi (Gravens and Wang, 2007)

Şekil 3.57-Şekil 3.61'den görüldüğü üzere her iki yöntem de deney sonuçları ile belirli bir uyum içerisindedir. Dalga dikliğinin yüksek olduğu dalga koşullarında, kırılma olayının daha şiddetli olması ve askıdaki kum taşınımının arttığı durumlarda ikinci yöntemin (Baykal, 2012) daha başarılı sonuçlar vermektedir, ama dalga dikliğinin düşük olduğu ve kırılmanın profil boyunca yavaş bir şekilde gerçekleştiği durumlarda Watanabe (1992) yönteminin daha uyumlu sonuçlar vermektedir. İki farklı yöntem için ölçülen ve tahmin edilen yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ayrıca **Şekil 3.65-Şekil 3.66**'da karşılaştırılmıştır. Ayrıca ölçülen ve tahmin edilen debi miktarları arasındaki ortalama yüzde mutlak hata oranları ve farklılık oranları (discrepancy ratio) bulunmuştur (**Tablo 3-10**). Farklılık oranı her bir ölçülen değere karşılık hesaplanan değerin ölçülen değere oranının ($q_n/q_ö$) belirli katların dışında kalan

kısmını yüzde cinsinden verir. Buna göre hesaplanan değerlerin ölçülen değerlere olan yakınlığı belirlenmiş olur.



Şekil 3.65 Ölçülen ve hesaplanan (Baykal, 2012; $\varepsilon=0.002$) yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri LSTF hareketli taban deneyleri (Wang ve diğ., 2002a; Gravens ve Wang, 2007)



Şekil 3.66 Ölçülen ve hesaplanan (Watanabe, 1992; $A=1.0$) yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri LSTF hareketli taban deneyleri (Wang ve diğ., 2002a; Gravens ve Wang, 2007)

Tablo 3-10 Ölçülen ve hesaplan debilerin karşılaştırması, LSTF hareketli taban deneyleri (Wang ve diğ., 2002a; Gravens ve Wang, 2007)

Yöntem	Ortalama Mutlak Hata, E_{mean} (%)	Farklılık Oranı (%)		
		1/2 - 2.0	1/4 - 4.0	1/5 - 5.0
Baykal (2012) ($\epsilon=0.002$)	39.5	19.2	9.0	7.7
Watanabe (1992) (A=1.0)	56.0	35.9	12.8	9.0

Yapılan karşılaştırmalarda Çizelge X.10'dan görüldüğü üzere Baykal (2012) yöntemi ölçüm verisine göre ortalama %40 hata oranı göstermekte ve tahmin edilen verinin %80'inin ölçülen verinin 0.5 ile 2.0 katı arasında olduğu görülmektedir. Bu oran Watanabe (1992) yöntemi için %64'e düşmektedir.

4.4.2 FRF-SANDYDUCK Saha Ölçümleri (Miller, 1999)

Kullanılan kum taşınım yöntemlerinin doğruluğunun araştırılması için kullanılan very setlerinden bir diğeri ABD, Kuzey Karolina eyaletinde Duck şehri kıyısındaki ABD Askeri birimine bağlı (U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station) Kıyı ve Hidrolik Laboratuvarı, Saha Araştırma Tesisinde 1995-1998 yılları arasında yapılan SANDYDUCK saha ölçümleridir (Miller, 1999). Ölçüm veri setleri Prof.Dr. Yoshimi Goda (2009), Prof.Dr. Leo van Rijn (2009) ve Atilla Bayram (2011) tarafından sağlanmıştır. Ölçümler zaman zaman 5 m yüksekliğine ulaşabilen dalga yüksekliklerinin bulunduğu ve kıvrılarak (plunging) ve köpürerek (spilling) kırılan dalgaların olduğu olağan fırtına koşulları süresince yapılmıştır. Ölçümlerde ortalama kum tane çapı 0.17 mm olarak gözlenmiştir. Kum özgül ağırlığı 2650 kg/m³, kum geçirimsizliği (porozite) 0.4, deniz suyunun özgül ağırlığı 1025 kg/m³ olarak verilmiştir (Miller, 1999). Kıyı çizgisi ile 6 metre su derinliği arasında yaklaşık taban eğimi 1:73'tir. FRF iskelesi üzerine kurulan düzenek yardımı ile (Şekil 3.67-Şekil 3.68) yakın kıyı dalga yükseklikleri, kıyı boyu akıntı hızları, askıdaki katı madde konsantrasyonları ölçülmüştür.



Şekil 3.67 FRF iskelesindeki ölçüm sistemi (URL-2)



Şekil 3.68 Ölçüm sistemine bağlı su seviyesi, hız, konstrasyon ölçerler (Miller, 1999)

Saha ölçümleri süresince iskelenin kuzeyinde 8 metre derinlikte yer alan dalga ölçer tarafından ölçülen yakın kıyı dalga özellikleri **Tablo 3-11**'de verilmiştir. Karşılaştırmalarda kullanılan taban sürtünme katsayısı (c_f), eddy vizkozite katsayısı (Λ) ve enerji transfer katsayısı (α) **Tablo 3-12**'de verilmiştir. Ölçülmüş yakın kıyı dalga yükseklikleri ve akıntı hızlarının geliştirilen kumlanma modeli sonuçları ile karşılatırmaları **Şekil 3.69-Şekil 3.77**'de verilmiştir.

Tablo 3-11 8 metre derinlikte ölçülmüş dalga koşulları (Miller, 1999; van Rijn, 2009; Bayram, 2011, URL-2)

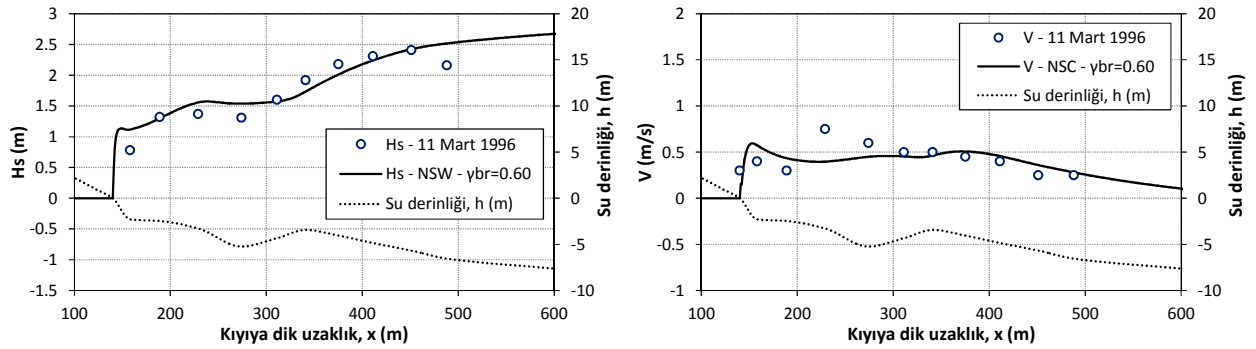
Tarih	Ortalama Taban Eğimi, 1/m	Belirgin Dalga Yüksekliği, H_s (m)	Pik Dalga Periyodu, T_p (sn)	Ort. Yaklaşma Açısı, $\bar{\theta}$ (derece)
11 Mart 1996	1:74.8	2.8	7	10
27 Mart 1996	1:71.6	1.8	6.7	25
2 Nisan 1996	1:85.3	1.6	7	26
31 Mart 1997*	1:69.7	1.5	7	39
1 Nisan 1997	1:71.6	2.7	9	18

19 Ekim 1997	1:73	3	10	20
20 Ekim 1997*	1:76.8	2.2	11	7
4 Şubat 1998	1:60.1	3.8	11	20
5 Şubat 1998*	1:77.2	3.1	12	8

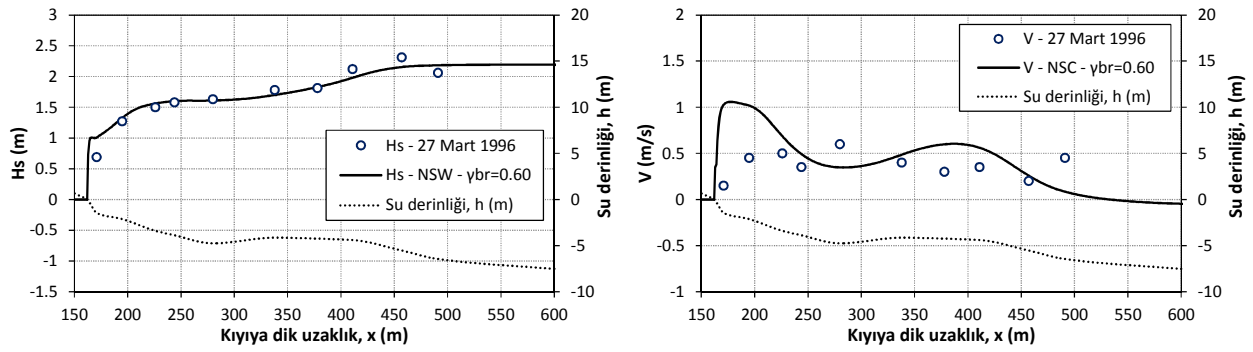
*: Bu tarihler için dalga özellikleri 8 ve 17 metre derinlikteki dalga ölçerler tarafından yapılan ölçümlerden yaklaşık olarak belirlenmiştir.

Tablo 3-12 SANDYDUCK Saha ölçümleri kuşlanma modelinde kullanılan katsayılar

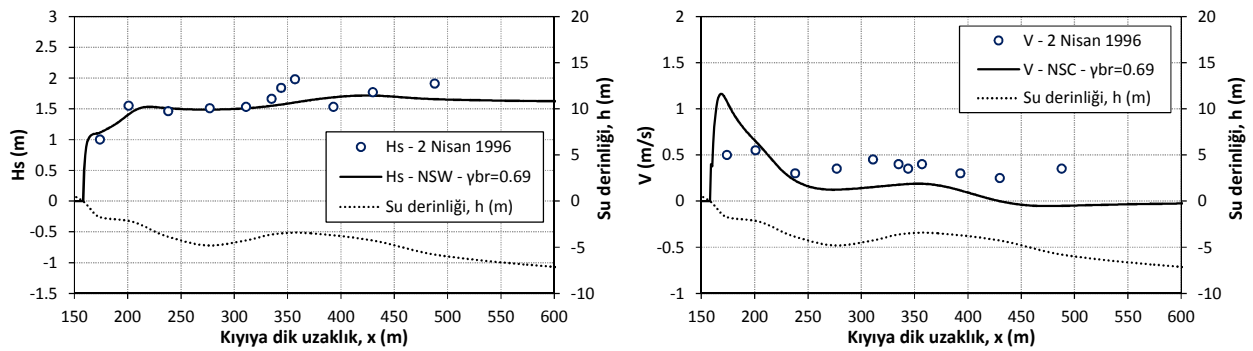
Tarih	Kırılma İndisi, γ_{br}	Taban Sürtünme Katsayısı, C_f	Eddy Vizkozite Katsayısı, Λ	Enerji Transfer Katsayısı, α
11 Mart 1996	0.60	0.003	1.0	0.8
27 Mart 1996	0.60	0.005	0.5	0.3
2 Nisan 1996	0.69	0.008	0.8	0.4
31 Mart 1997	0.64	0.008	0.8	0.4
1 Nisan 1997	0.72	0.0035	0.8	0.2
19 Ekim 1997	0.60	0.0035	1.2	0.8
20 Ekim 1997	0.60	0.0025	1.1	0.4
4 Şubat 1998	0.62	0.006	1.2	0.8
5 Şubat 1998	0.45	0.003	0.5	0.5



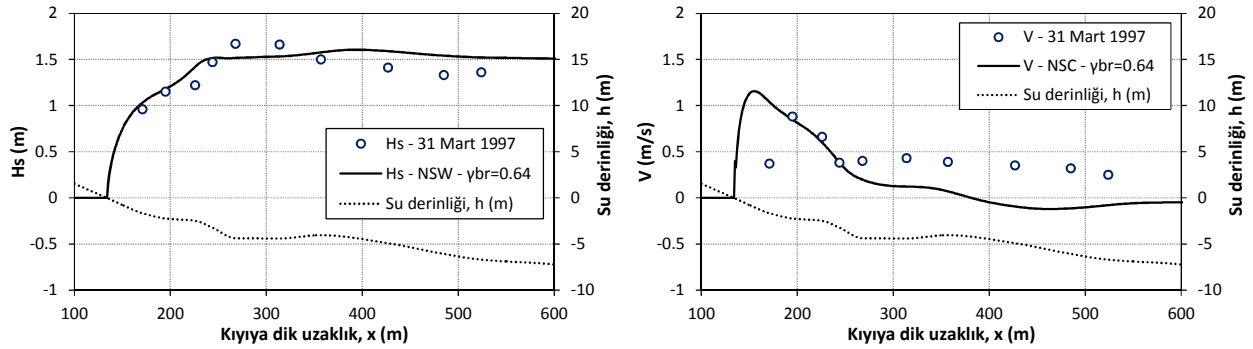
Şekil 3.69 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (Hs) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 11 Mart 1996 Ölçümü



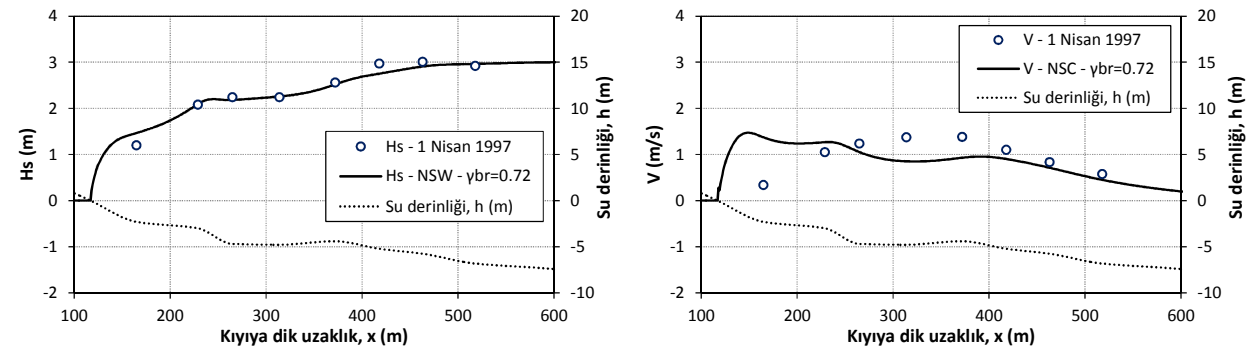
Şekil 3.70 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (Hs) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 27 March 1996 Ölçümü



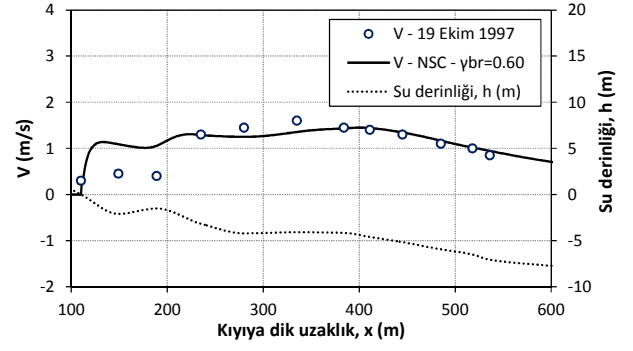
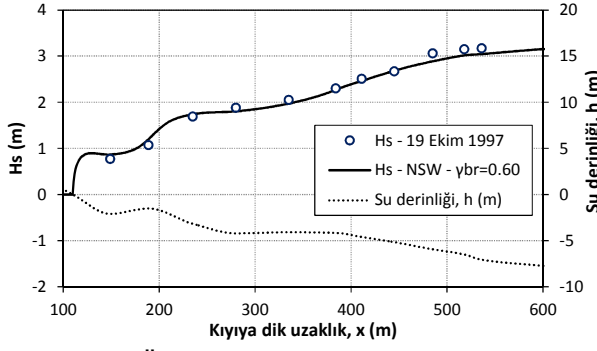
Şekil 3.71 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (Hs) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 2 Nisan 1996 Ölçümü



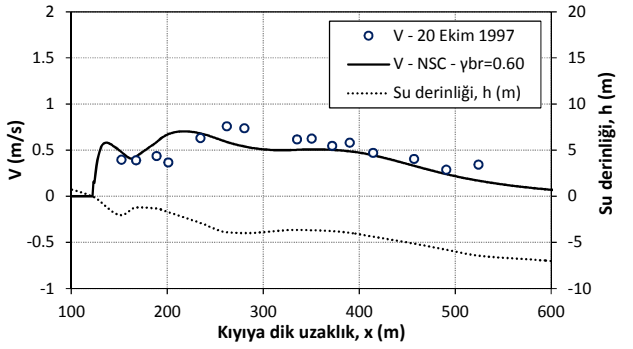
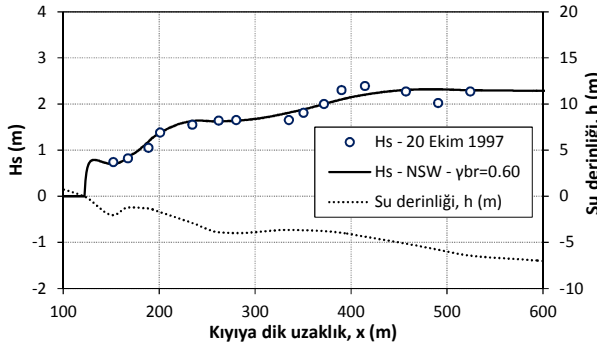
Şekil 3.72 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (Hs) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 31 Mart 1997 Ölçümü



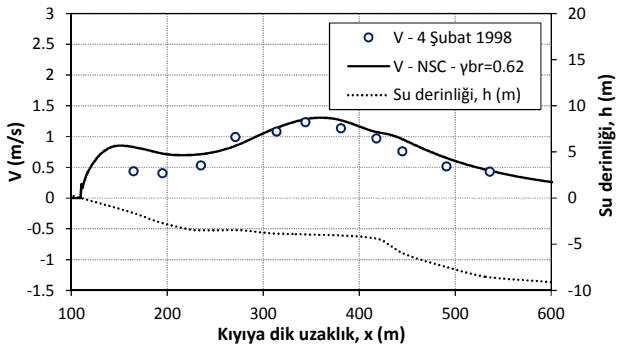
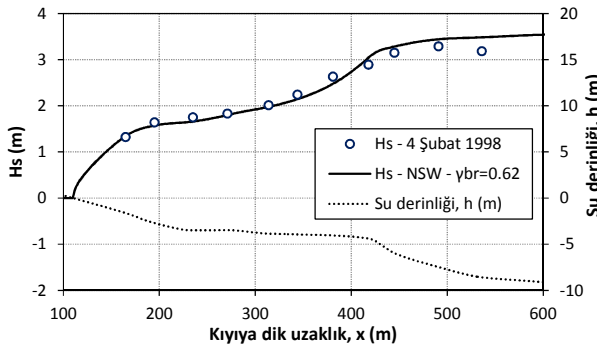
Şekil 3.73 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (Hs) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 1 Nisan 1997 Ölçümü



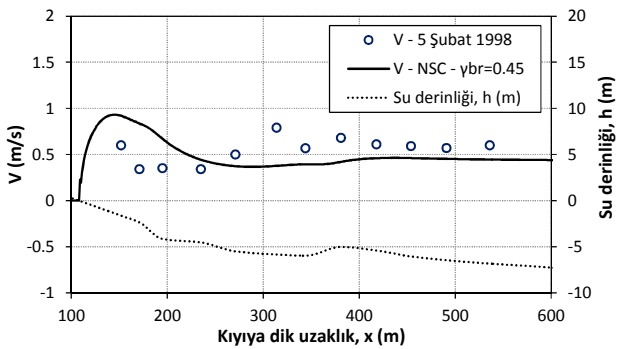
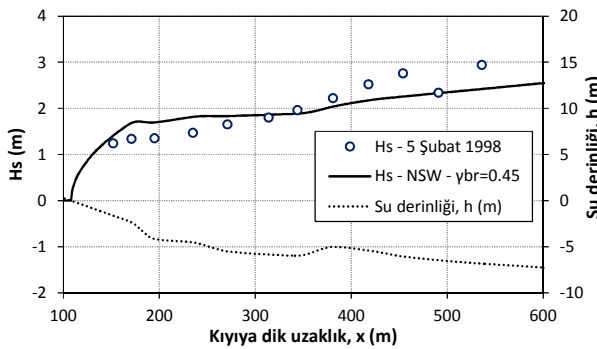
Şekil 3.74 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 19 Ekim 1997 Ölçümü



Şekil 3.75 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 20 Ekim 1997 Ölçümü

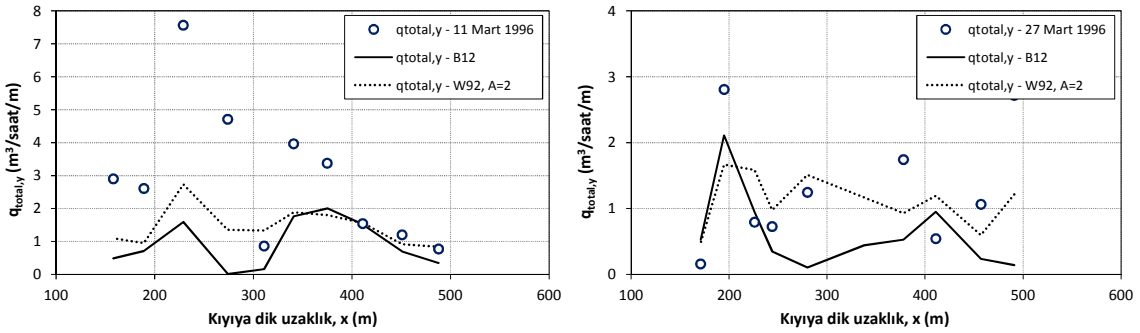


Şekil 3.76 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 4 Şubat 1998 Ölçümü

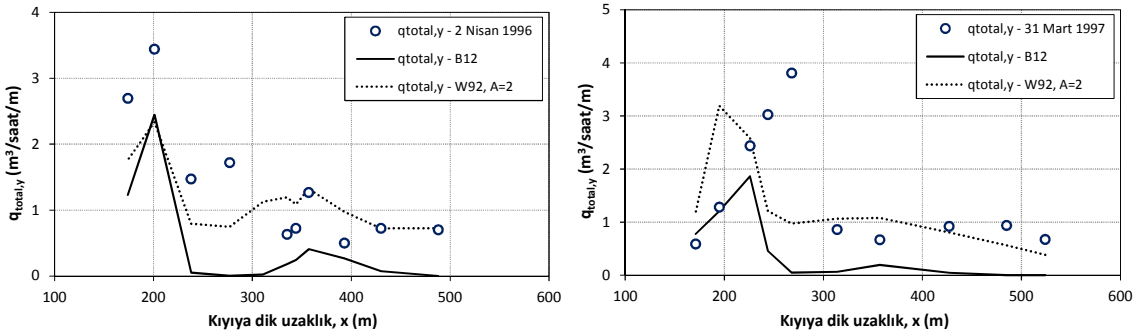


Şekil 3.77 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve derinlik ortalamalı kıyı boyu akıntı hızları (V), SANDYDUCK, 5 Şubat 1998 Ölçümü

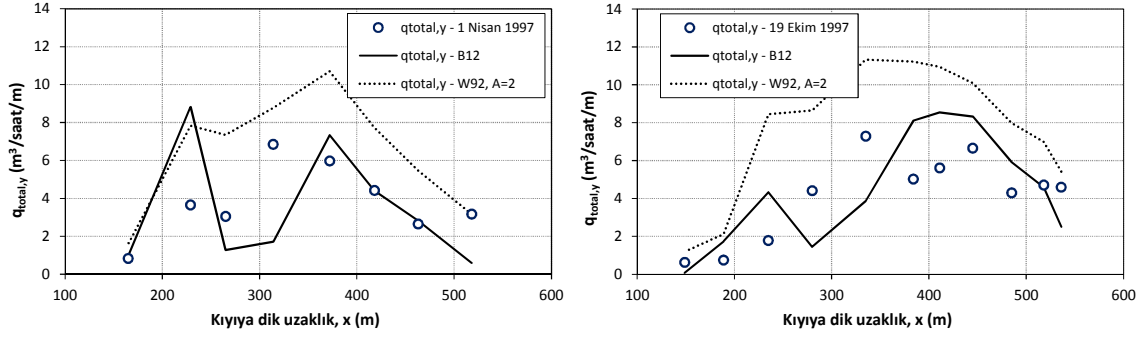
Şekil 3.69-Şekil 3.77'den görüldüğü üzere model sonuçları ile saha ölçümleri arasında belirli bir uyum gözlenmektedir. Dalga taşınım modelinin yüksek dalga dikliğine sahip fırtına koşulları için daha uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. Dalga yükseklikleri için yapılan karşılaştırmalardaki gözlenen farkların bir diğer önemli sebebi ölçümler sırasında değişen dalga koşullarıdır. Yapılan karşılaştırmalardaki dalga modeli çözümlerinde gün içinde değişen dalga koşulları dikkate alınmamıştır. Akıntı hızları için model sonuçları ile ölçümler arasındaki farklılıkların başlıca sebebi modelde sadece dalga kaynaklı akıntılarının dikkate alınması ve farklı fiziksel olayların sonucu ile oluşabilecek akıntılarının (rüzgar, gelgit akıntıları vb.) çözümde dikkate alınmaması ve dalga modelinin çözümünün ölçümler ile olan farklılıklarıdır. Yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debilerinin iki farklı yöntem kullanarak hesaplanmasında dalga ve akıntı modelleri çözümlerinin sonuçları kullanılmıştır. Karşılaştırmalarda Watanabe (1992) yönteminde kullanılan A katsayısı saha uygulamaları için önerilen değer olan 2.0 olarak seçilmiştir. Karşılaştırmalar **Şekil 3.78-Şekil 3.82'**de verilmiştir.



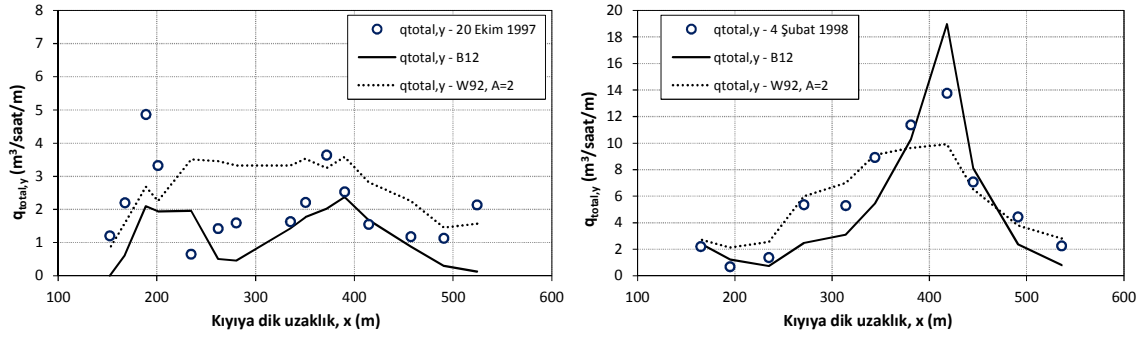
Şekil 3.78 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ($q_{total,y}$), SANDYDUCK, 11 Mart 1996 (sol) ve 27 Mart 1996 (sağ) ölçümleri



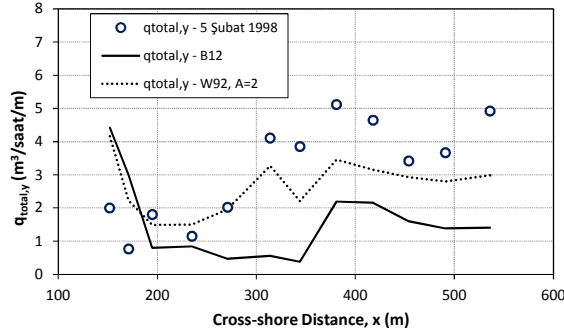
Şekil 3.79 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri ($q_{total,y}$), SANDYDUCK, 2 Nisan 1996 (sol) ve 31 Mart 1997 (sağ) ölçümleri



Şekil 3.80 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşıma debileri ($q_{total,y}$), SANDYDUCK, 1 Nisan 1997 (sol) ve 19 Ekim 1997 (sağ) ölçümleri

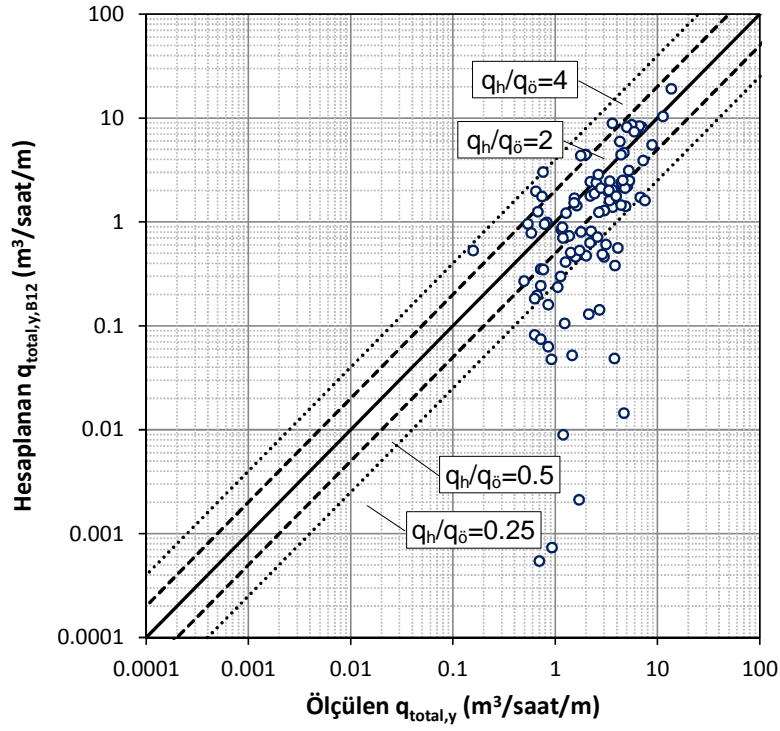


Şekil 3.81 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşıma debileri ($q_{total,y}$), SANDYDUCK, 20 Ekim 1997 (sol) ve 4 Şubat 1998 (sağ) ölçümleri

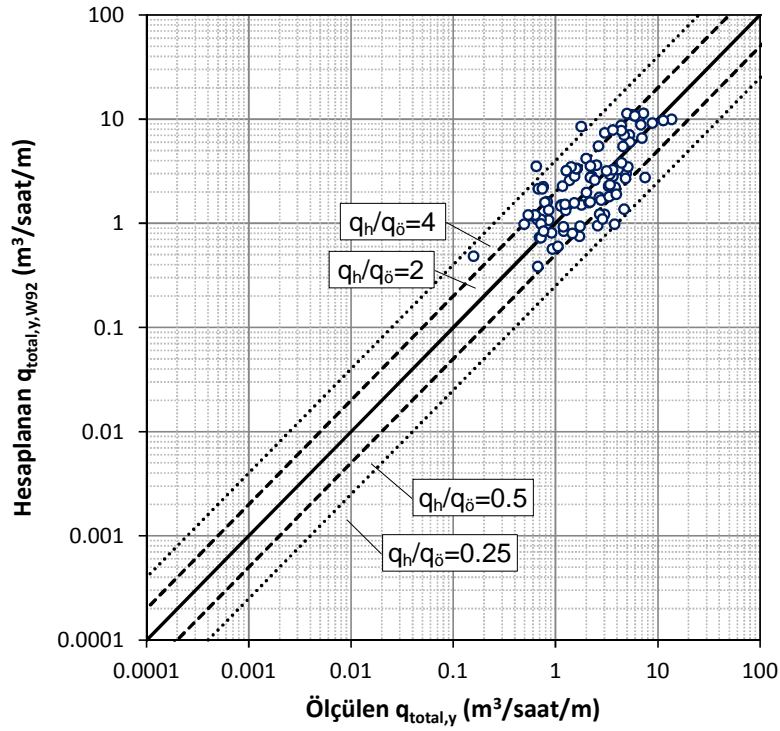


Şekil 3.82 Ölçülen ve hesaplanan yayılı toplam kıyı boyu kum taşıma debileri ($q_{total,y}$), SANDYDUCK, 5 Şubat 1998 ölçümü

Şekil 3.78-Şekil 3.82'den görüldüğü üzere saha ölçümlerine ile karşılaştırıldığında Watanabe (1992) yaklaşımının daha uyumlu sonuçlar vermektedir. 19 Ekim 1997 ve 04 Şubat 1998 ölçümleri için bu tarihlerdeki dalga koşullarının daha şiddetli olması, askıdaki kum taşımasının etkin olması ve dalga ve akıntı modellerinin ölçümler ile uyumlu sonuçlar vermiş olması ile Baykal (2012) yönteminin daha uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. İki farklı yöntem ile ölçülen debi miktarlarının karşılaştırılmasında ayrıca ölçülen ve tahmin edilen debi miktarları arasındaki ortalama yüzde mutlak hata oranları bulunmuştur (**Tablo 3-13**).



Şekil 3.83 Ölçülen ve hesaplanan (Baykal, 2012; $\epsilon=0.002$) yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri SANDYDUCK Saha Ölçümleri (Miller, 1999)



Şekil 3.84 Ölçülen ve hesaplanan (Watanabe, 1992; $A=2.0$) yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri, SANDYDUCK Saha Ölçümleri (Miller, 1999)

Tablo 3-13 Ölçülen ve hesaplan debilerin karşılaştırması, SANDYDUCK Saha Ölçümleri (Miller, 1999)

Formulas	Mean Absolute Percent Error, E_{mean} (%)	Discrepancy Ratio (%)		
		1/2 - 2.0	1/4 - 4.0	1/5 - 5.0
Baykal (2012) ($\epsilon=0.002$)	65.3	59.4	26.0	21.9
Watanabe (1992) ($A=2.0$)	64.6	26.0	2.1	0.0

Yapılan karşılaştırmalarda **Tablo 3-13**'ten görüldüğü üzere her iki yöntem de ölçüm verisine göre ortalama %65 hata oranı göstermekte ve Baykal (2012) yöntemi ile tahmin edilen verinin %74'ünün ölçülen debilerin 0.25 ile 4.0 katı arasında olduğu görülmektedir. Bu oran Watanabe (1992) yöntemi için %92 mertebesindedir.

4.5 DENİZ TABANI DEĞİŞİMİ MODELİ

Geliştirilen kumlanma modelinin işleyişindeki son aşama hesaplanan kıyı boyu ve kıyıya dik kum debilerinin değişiminin kullanılması ile belirli bir zaman sonra deniz tabanında oluşan birikme ve oyulmaların elde edilmesi ve bir sonraki zaman aralığında kullanılacak derinliklerin tekrardan hesaplanmasıdır. Zaman içinde kum taşınım debilerine bağlı olarak değişen derinliklerin hesaplanması aşağıda verilen denklem ile bulunabilir.

$$h_{i,j}^{n+1} = h_{i,j}^n + \Delta t_m \cdot \left(\frac{q_{total,x_{i+1,j}}^n - q_{total,x_{i,j}}^n}{\Delta x} + \frac{q_{total,y_{i,j+1}}^n - q_{total,y_{i,j}}^n}{\Delta y} \right) \quad 3-63$$

Yukarıda verilen denklemde Δt_m deniz tabanı derinlik değişimin hesaplanacağı zaman aralığı, $q_{total,x}$ and $q_{total,y}$ sırasıyla hacim cinsinden kıyıya dik ve kıyı boyu periyot ortalama yayılı toplam kum taşınım yükleri, Δx ve Δy çözüm ağı aralıklarıdır.

Derinlik değişimlerinin hesaplanmasında çözüm noktalarının arasındaki eğimler doğal kayma açısına karşılık sürekli kontrol edilmektedir. Belirli bir noktada aşırı birikim veya oyulmadan dolayı oluşabilecek taban eğimlerinin deniz tabanındaki kumun doğal kayma açısını aşması durumunda bu açı tekrardan sağlanıncaya kadar belirli miktarda kumun kaydığı kabul edilmekte ve derinlikler tekrardan hesaplanmaktadır. Kuru kumun doğal kayma açısı 32-34° mertebesinde olup, dalga etkileri altında deniz tabanındaki kum için bu açı 18° mertebesine kadar düşebilmektedir (Reeve ve diğ., 2004; Roelvink ve diğ., 2009).

Taban kayma hareketlerinin derinlik değişimlerinde dikkate alınabilmesi için Buttolph ve diğ. (2006) ve Roelvink ve diğ. (2009) tarafından verilen bir algoritma izlenmiştir. Bu algoritmaya göre her zaman aralığı sonrası çözüm noktalarının komşu çözüm noktaları ile yaptıkları taban eğimleri hesaplanmaktadır. Çalışılan kıyı alanında her bir çözüm noktası için, kıyıya dik yönde (x-yönü) deniz tarafındaki eğimden (-x yönündeki eğim) başlayarak saat yönündeki

eğimler kontrol edilmektedir. Eğer bir çözüm noktasındaki dört eğimden en az biri doğal kayma açısından daha dik bir eğime sahip olduğu tespit edilirse kaymanın bu dört eğim arasından en dik olanın yönünde gerçekleşeceği kabul edilir. Kayan kum miktarları ve sonrasında değişen taban eğimleri tekrar hesaplanır. Taban eğimi kontrolüne çözüm ağındaki ilk noktadan tekrar başlanır ve iteratif bir şekilde devam edilir. İlgili derinlik değişimi zaman aralığı için bütün çözüm noktalarındaki taban eğimlerinin kontrolü ve kayma hesaplamaları yapıldıktan ve derinlikler tekrar hesaplandıktan sonra bir sonraki zaman aralığı için güncellenmiş taban batimetrişi dalga, akıntı ve kum taşınım modelleri tarafından kullanılır.

Bir yöndeki taban eğimi doğal kayma açısına bağlı kritik eğimden (m_{cr}) daha dik olduğunda,

$$\left| \frac{\Delta h}{\Delta x} \right| = \left| \frac{h_{i,j} - h_{i-1,j}}{\Delta x} \right| > m_{cr} \quad 3-64$$

kaymanın gerçekleştiği ve iki çözüm noktasındaki derinliklerin Δh_a kadar değiştiği kabul edilir ve derinlikler tekrardan hesaplanır.

$$\Delta h_a = \left(\left| \frac{\Delta h}{\Delta x} \right| - m_{cr} \right) \cdot \Delta x \quad 3-65$$

$$\left. \begin{array}{l} h_{i,j}^a = h_{i,j}^a - \Delta h_a \\ h_{i-1,j}^a = h_{i-1,j}^a + \Delta h_a \end{array} \right\} \text{for } \frac{\Delta h}{\Delta x} > 0 \quad 3-66$$

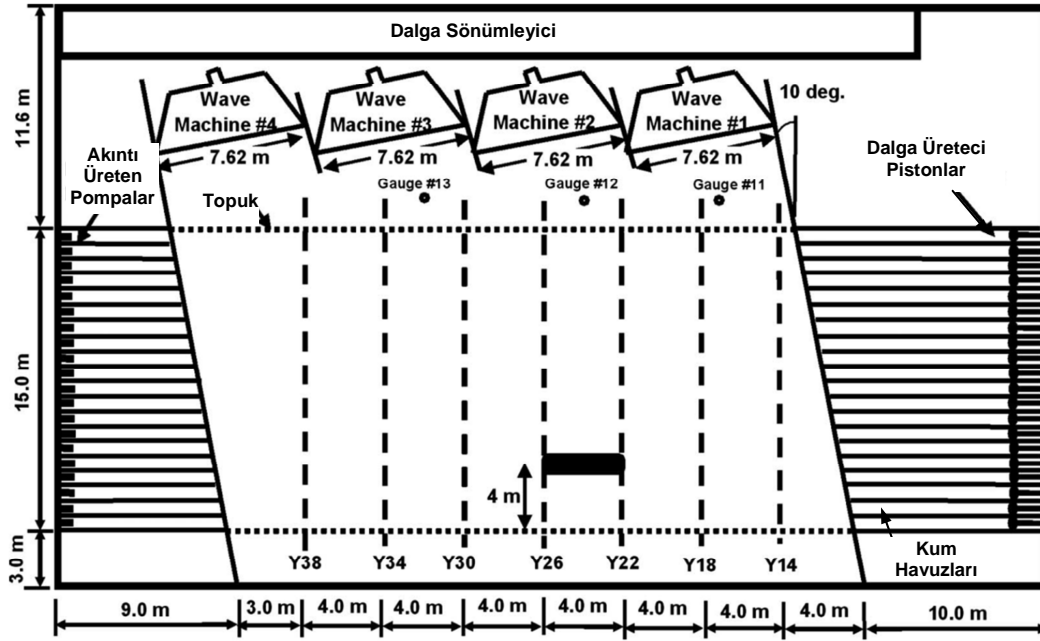
$$\left. \begin{array}{l} h_{i,j}^a = h_{i,j}^a + \Delta h_a \\ h_{i-1,j}^a = h_{i-1,j}^a - \Delta h_a \end{array} \right\} \text{for } \frac{\Delta h}{\Delta x} < 0 \quad 3-67$$

4.5.1 LSTF Kıyı Yapıları Çevresinde Taban Değişimi Deneyleri (Gravens ve Wang, 2007)

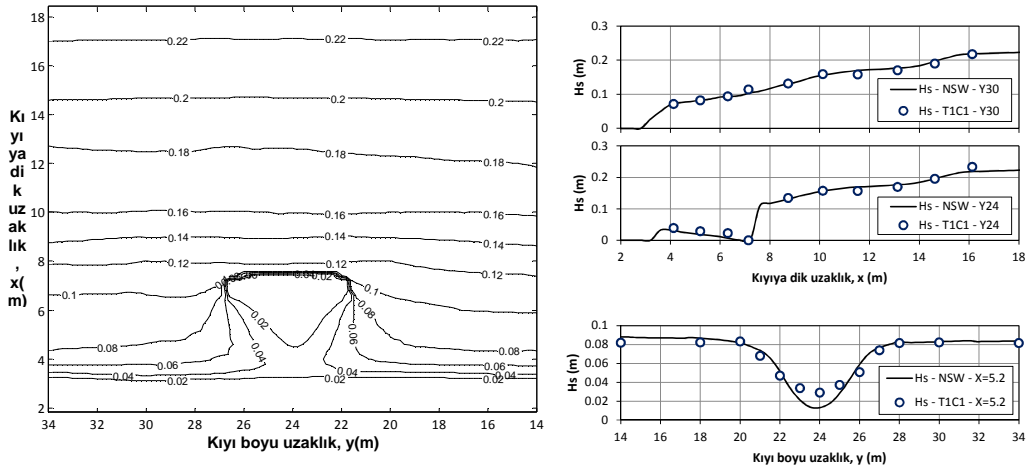
Geliştirilen kumlanma modelinin son aşaması olan taban değişimi modelinin doğrulaması için Gravens ve Wang (2007) tarafından gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçları kullanılmıştır. Gravens ve Wang (2007) sayısal kumlanma modeli doğrulama çalışmalarında kullanmak üzere T-mahmuz ve açık deniz dalgakıranı gibi yapılar çevresinde kıyı değişimlerini deneysel olarak çalışmışlardır. Deneyler USACE'ye (U.S. Army Corps of Engineers) bağlı Kıyı Mühendisliği Araştırma Merkezine (Coastal Engineering Research Center) ait Büyük Ölçekli Deney Tesisi'nde (Large Scale Testing Facility) gerçekleştirilmiştir (Şekil X.76). Bu çalışmada açık deniz dalgakıranı çevresindeki kıyı değişimlerinin gözlemlendiği 190 dakikalık Test1 ölçümleri sonuçları kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kumun ortalama tane çapı 0.15 mm'dir. Deneylerde su seviyesinden 30 cm yükseklikte, geçirimsiz, kıyı

çizgisinden 4 m uzaklıkta ve 4 m uzunluğunda taş dolgu dalgakıran kullanılmıştır. Deneye ait veri seti Marc B. Gravens tarafından sağlanmıştır.

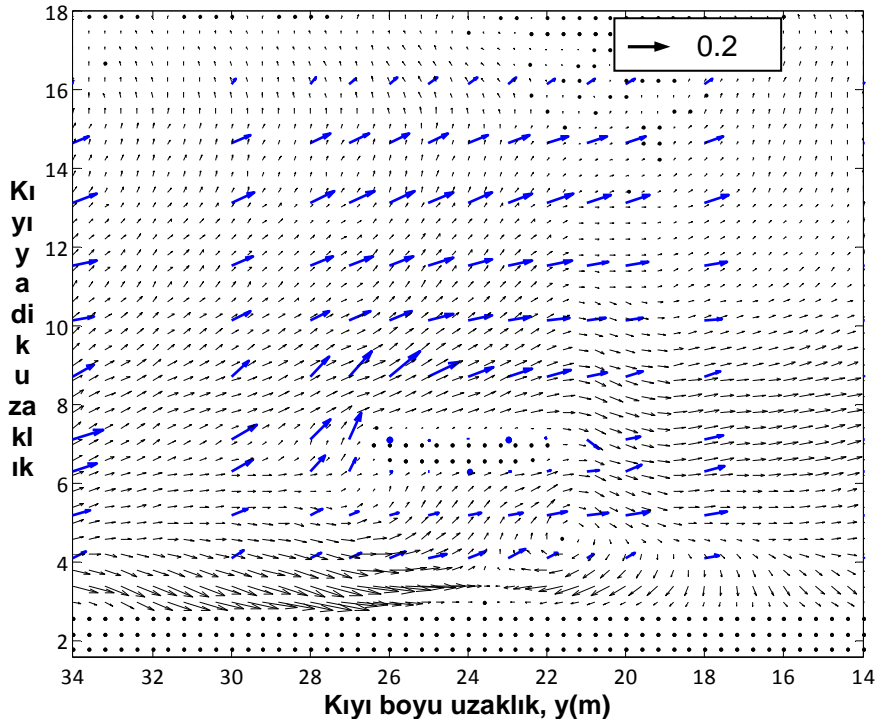
Deneyde dalga üreticileri önündeki belirgin dalga yüksekliği 0.23 m, pik dalga periyodu 1.46 sn, yaklaşma açısı 10 derecedir. Kumlanma modelinde kullanılmak üzere kırılma indisi ve diğer parametreler daha önce Test-BC1 kullanılan parametreler ile eşdeğer seçilmiştir. Deneyin başlangıcında ve sonunda ölçülen batimetrlere Y14 ve Y34 kesitleri arası 0.2x0.2 m aralıklar ile karelej yapılmıştır. Ölçülen ve model yardımı ile hesaplanan belirgin dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması Şekil 3.86'a verilmiştir. Hesaplanan ve ölçülen akıntı hızlarının çözüm alanı içindeki vektörel karşılaştırılması Şekil 3.87'de verilmiştir. Deney sonunda ölçülen ve geliştirilen kumlanma modeli ile hesaplanan batimetrlerin karşılaştırılması Şekil 3.88'de verilmiştir.



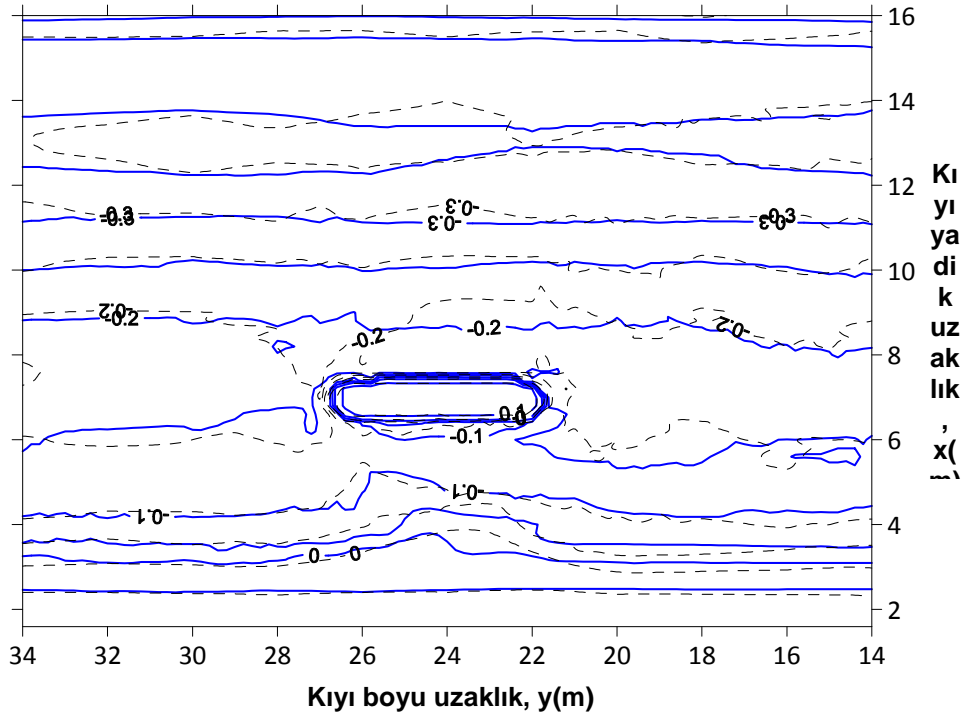
Şekil 3.85 LSTF Deney baseni plan görünümü ve açık deniz dalgakıranının yeri (Gravens ve Wang, 2007)



Şekil 3.86 Ölçülen ve hesaplanan belirgin dalga yüksekliklerinin (H_s) karşılaştırması (Test1-Case1; Gravens ve Wang, 2007)



Şekil 3.87 Ölçülen (mavi-kalın) ve hesaplanan derinlik (siyah-ince) ortalama akıntı hızlarının vektörel karşılaştırması (Test1-Case1; Gravens ve Wang, 2007)

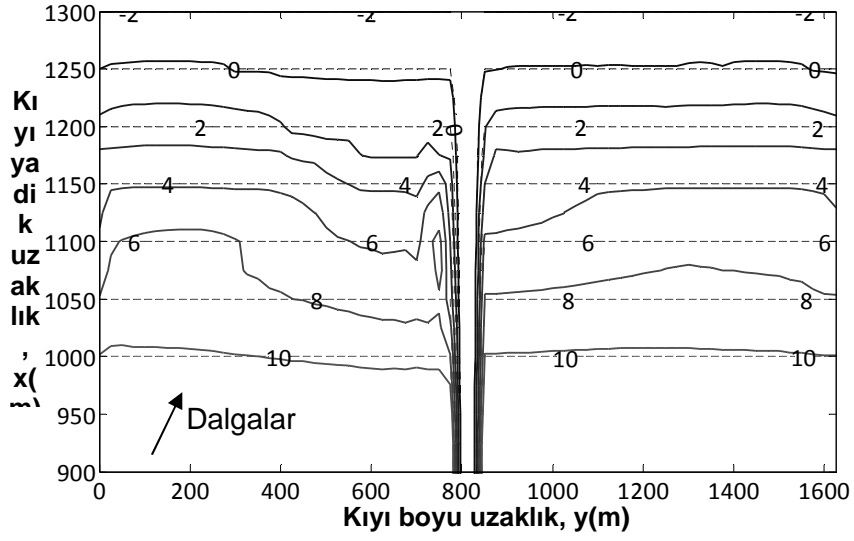


Şekil 3.88 Ölçülen (---) ve hesaplanan (blue) taban topografyaları (185 dk sonra Test1-Case1; Gravens ve Wang, 2007)

Şekil 3.86'dan görüldüğü üzere ölçülen ve hesaplanan dalga yükseklikleri uyum içindedir. **Şekil 3.87'**de görüldüğü üzere ölçülmüş ve hesaplanan yakın kıyı akıntı düzenleri özellikle yapı çevresinde niteliksel olarak uyum içindedir. Ancak niceliksel olarak farklılıklar göze çarpmaktadır. Bu durumun yapı çevresinde değişen ani eğimlerin sayısal çözüme olumsuz etkisinden dolayı oluştuğu öngörülmektedir. Derinliklerin ani değiştiği durumlarda (yapılar çevresinde) lineer olmayan sığ su denklemlerinin çözümünde çözüm aralıklarının azaltılması ya da birbirine bağlı olmayan (unstructured grid) karelej uygulamalarının çözümün hassasiyetini artıracakları beklenmektedir. Ayrıca sonlu hacimler ve benzeri gelişmiş yöntemlerin yapılar çevresindeki karmaşık akıntı düzenlerinin çalışılmasında yarar sağlayabileceği beklenmektedir. Son olarak **Şekil 3.88'**den görüldüğü üzere deney sonunda hesaplanan ve ölçülen eş derinlik eğrileri arasında belirli ölçüde bir uyum mevcuttur.

4.5.2 Kıyıya Dik Mahmuz Çevresinde Kıyı Değişimi

Kumlanma modelinin teorik durumlar için davranışını gözlemlemek amacıyla sabit taban eğimine sahip bir kıyı alanında kıyıya dik bir mahmuz çevresindeki kıyı değişimi çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan derin deniz belirgin dalga yüksekliği, $H_{s0}=2.0$ m, belirgin dalga periyodu $T_s=5.7$ s, derin deniz yaklaşma açısı $\theta=30^\circ$ seçilmiştir. Kıyıya dik ve kıyı boyu doğrultularda çözüm noktası aralığı 25 m, taban eğimi 1:25, mahmuz uzunluğu 500 m olarak alınmıştır. Kırılma indisi, eddy sabiti, taban sürtünme katsayısı, yüzey girdap, ortalama tane çapı ve A katsayısı (Watanabe, 1992) sırasıyla $\gamma_b=0.78$, $\Lambda=0.5$, $c_f=0.005$, $\alpha=0.5$, $d_{50}=0.15$ mm ve $A=2$ olarak alınmıştır. Kıyıya dik tek bir mahmuz çevresindeki 200 saat sonraki kıyı değişimi **Şekil 3.89** 'da verilmiştir.

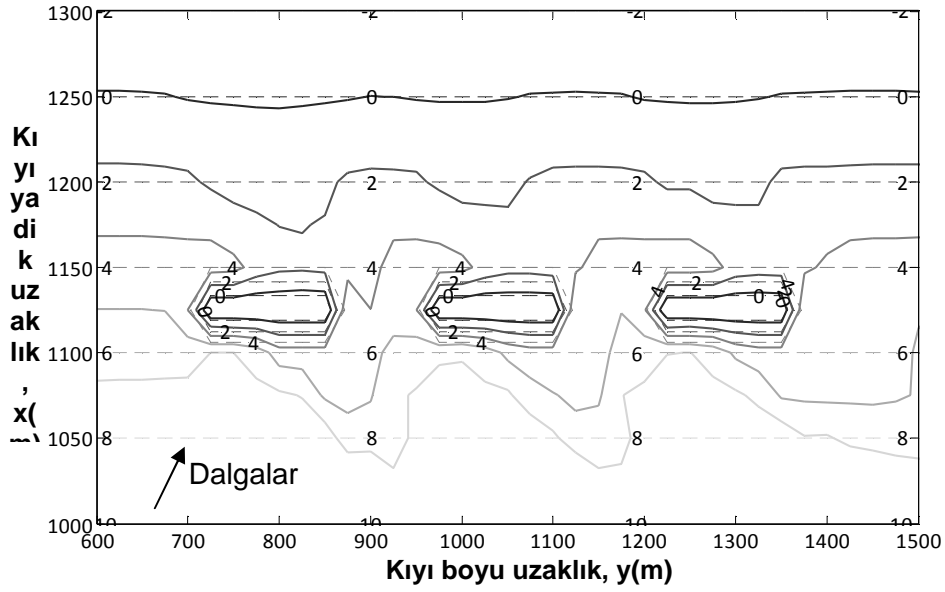


Şekil 3.89 Kıyıya dik I-tipi mahmuz çevresinde 200 saat öncesi (kesikli çizgi) ve sonrası (sürekli çizgi) taban topografyasındaki değişim

Şekil 3.89'da dalgaların geliş açısına göre yapının gölgesinde (mansap tarafı) kalan kısımda beklenildiği üzere eş derinlik eğrilerinde kıyıya doğru bir gerileme (oyulma) ve yapının menba tarafında eş derinlik eğrilerinin denize doğru ilerlediği (birikme) görülmektedir.

4.5.3 Seri Açık Deniz Dalgakıranlar Çevresinde Kıyı Değişimi

Kumlanma modelinin teorik durumlar için davranışını gözlemlemek amacıyla kıyıya dik mahmuz durumuna benzer olarak seri açık deniz dalgakıranların oluşturduğu bir kıyı koruma sisteminin çevresindeki kıyı değişimi kumlanma modeli ile çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan derin deniz belirgin dalga yüksekliği, $H_{s0}=2.0$ m, belirgin dalga periyodu $T_s=5.7$ s, derin deniz yaklaşma açısı $\theta=30^\circ$ seçilmiştir. Kıyıya dik ve kıyı boyu doğrultularda çözüm noktası aralığı 25 m, taban eğimi 1:25'tir. Açık deniz dalgakıranları üç adet olup kıyı çizgisinden 125 m uzakta olup her biri 150 m uzunluğunda ve 150 m aralıktadır. Kırılma indisi, eddy sabiti, taban sürtünme katsayısı, yüzey girdap, ortalama tane çapı ve A katsayısı (Watanabe, 1992) sırasıyla $\gamma_{br}=0.78$, $\Lambda=0.5$, $c_f=0.005$, $\alpha=0.5$, $d_{50}=0.15$ mm ve $A=2$ olarak alınmıştır. Kıyıya dik tek bir mahmuz çevresindeki 200 saat sonraki kıyı değişimi **Şekil 3.90**'da verilmiştir.



Şekil 3.90 Kıyıya paralel üç adet açık deniz dalgakıranı çevresinde 200 saat öncesi (kesikli çizgi) ve sonrası (sürekli çizgi) taban topografyasındaki değişim

Şekil 3.90'da dalga geliş açısına göre kıyı koruma sisteminin menba tarafında beklenildiği üzere birikmenin başladığı dalgakıranların arasında yavaşlayan ve denize doğru yönelen akımların etkisiyle yer yer birikme ve oyulmaların olduğu görülmektedir. Sistemin mansap tarafında ise oyulmanın sürekli bir hal aldığı görülmektedir.

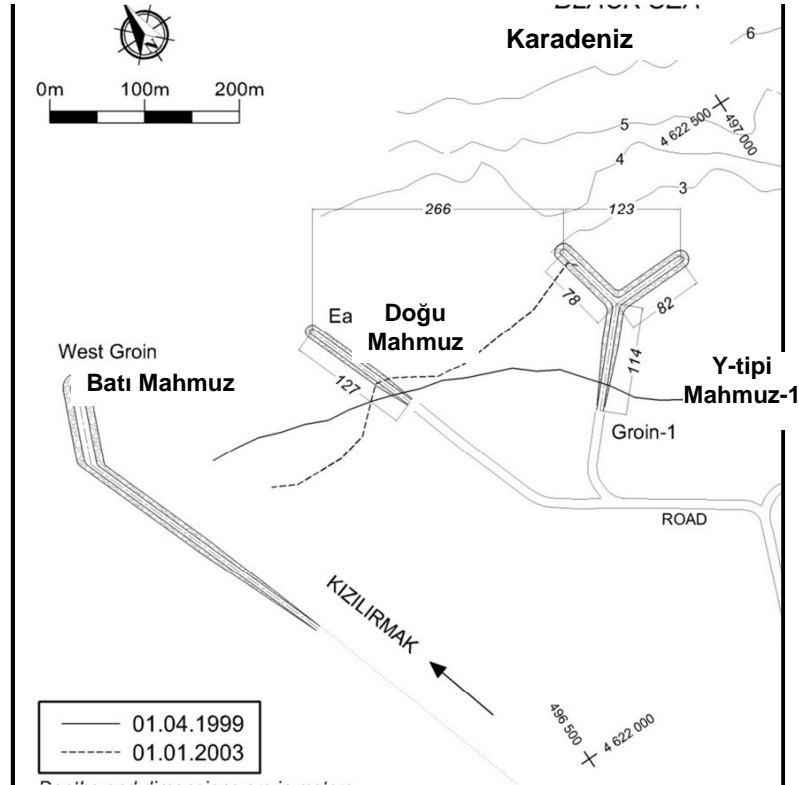
4.6 SAHA UYGULAMASI: KIZILIRMAK NEHİR AĞZI KIYI KORUMA SİSTEMİ ÇEVRESİNDEKİ KIYI DEĞİŞİMİ

Bu bölümde geliştirilen kumlanma modelinin saha uygulamasına yer verilmiştir (Baykal, 2012). Saha uygulaması için seçilen alan Kızılırmak nehir ağzıdır (**Şekil 3.91**). Nehir üzerindeki su yapılarının nehrin taşıdığı sediman miktarında önemli azalmalara sebep olmasından dolayı yıllar içinde nehir ağzında dalga etkilerine bağlı olarak ciddi bir erozyon sorunu baş göstermiştir. 1988 yılından günümüze yaklaşık 1 km'lik bir kıyı şeridi dalga etkileri altında erozyona uğramıştır (Kökçınar ve diğ., 2007). Hay (1994), çalışmasında Kızılırmak nehri üzerinde herhangi bir su yapısı mevcut değilken yaklaşık yılda 23.1 milyon ton sediman taşıdığını, bu değer Hırfanlı barajının inşasını takiben (1960'lı yıllarda) yılda 18 milyon tona gerilediğini ve 1988 ve 1991 yıllarında inşa edilen Altinkaya ve Derbent barajları ile durma noktasına gelerek yılda 0.46 milyon ton seviyesine gerilediğini belirtmektedir. Nehir tarafından taşınan sediman miktarındaki önemli azalmaların yarattığı erozyon sorununa karşılık Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından nehir ağzında çeşitli yapısal çözümler uygulanmıştır. Bu çalışmada bu yapısal çözümler çevresindeki kıyı değişimi sayısal benzetim yoluyla çalışılmıştır. Benzetim çalışmasında 1999-2003 yılları arasında nehir ağzının doğu tarafındaki kıyıya belli bir açı yapan I-tipi ve bu mahmuzun doğusundaki Y-tipi mahmuz arasındaki kıyı çizgisi değişimi sayısal modelleme yolu ile çalışılmıştır (**Şekil 3.92**). İlgili yılların kıyı çizgisi ölçümleri DSİ Bafra Ovası Sulama Projesi Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Ayrıca ilgili yıllar içinde oluşmuş dalga ikliminin belirlenmesi amacıyla bir dalga tahmin çalışması yapılmıştır. Dalga tahmin çalışmasında kullanılan saatlik ortalama rüzgar

hız ve yönleri bilgisi Sinop Meteoroloji İstasyonu tarafından ölçülmüş olup, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden (DMİGM) temin edilmiştir.



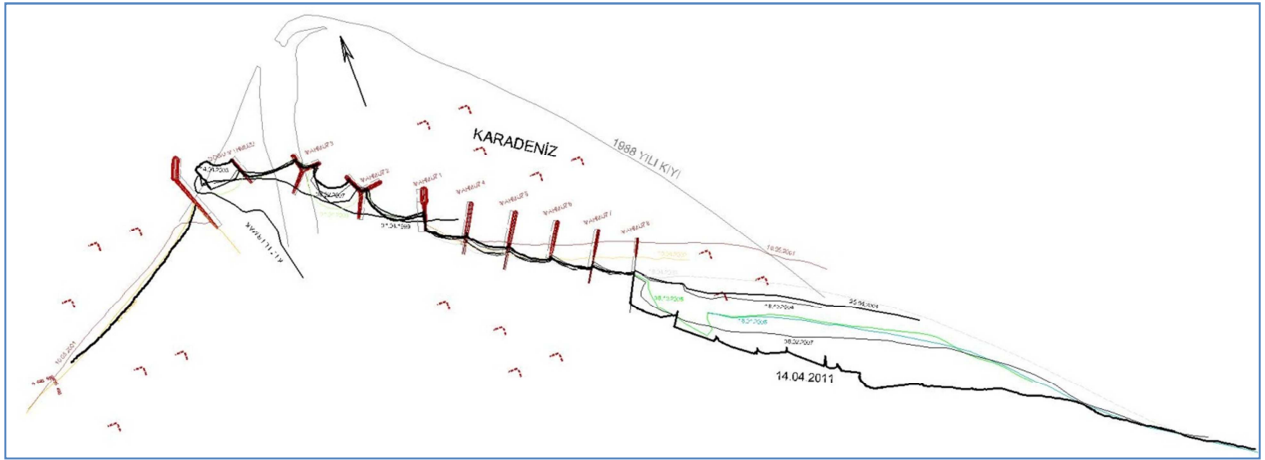
Şekil 3.91 Bafra alüvyon deltası ve Kızılırmak nehir ağızı çevresindeki kıyı koruma sistemi (Google Earth, 2011)



Uzunluklar ve derinlikler metre cinsindedir.

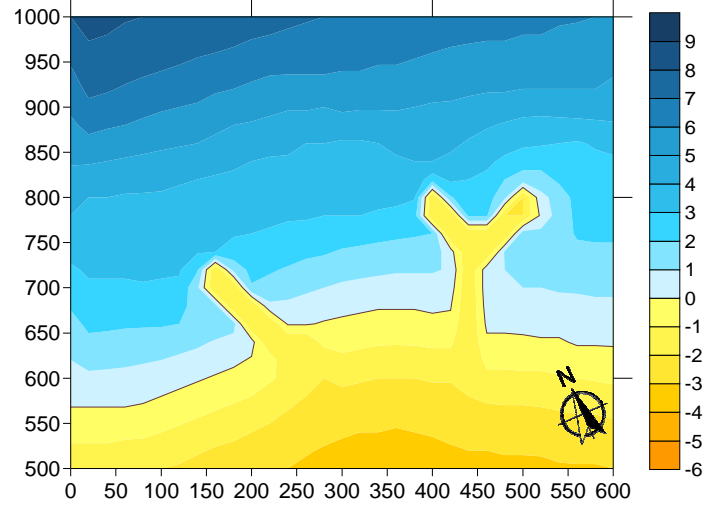
Şekil 3.92 Kızılırmak nehir ağızında doğu mahmuz ile Y-tipi mahmuz-1 çevresinde 1999 ve 2003 yılları arasındaki kıyı çizgisi değişimleri plan görünümü (Baykal, 2012)

Kızılırmak nehir ağızındaki son durumun yerinde gözlenmesi, güncel kıyı çizgisi ölçümü alınması, kıyı koruma sistemi çevresinden kum örnekleri alınması, Devlet Su İşleri (DSİ) Bafra Ovası Sulama Müdürlüğünden yetkili kişiler ile görüşmeler yapılması amacıyla 14-16 Nisan 2011 tarihlerinde Bafra deltası Kızılırmak nehir ağızında arazi çalışması yapılmıştır. Yapılan arazi çalışmasında nehir ağzının yaklaşık 5 km doğusundan 1 km batısına kadar el tipi GPS aleti ile kıyı çizgisi ölçümleri alınmıştır. Yapılan ölçümler DSİ tarafından daha önceki tarihlerde alınan ölçümler ile aynı koordinat sistemine taşınmıştır. 14-16 Nisan 2011 tarihleri arası alınan ölçümler ve eski tarihli ölçümler **Şekil 3.93**'te verilmiştir. Kıyı çizgisine yakın alınan kum örneklerinin ortalama tane çapı doğu kıyısında 2 adet Y-tipi ve 1 adet I-tipi mahmuzun olduğu bölgede 0.87-1.3 mm, diğer mahmuzlar ve sonrasında 0.12-0.16 mm aralığında, batı kıyısında ise 1-2.5 mm aralığında bulunmuştur.



Şekil 3.93 14-16 Nisan 2011 Bafra Deltası Kızılırmak nehir ağızı kıyı çizgisi ölçümleri ve DSİ tarafından alınan önceki yıllara ait kıyı çizgisi ölçümleri

Bu çalışmada kullanılan yapılan çevresindeki yakın kıyı batimetrisinin önce ve sonraki durumları için DSİ Bölge Müdürlüğü tarafından nehir ağızında 1999 ve 2003 yıllarında alınan kıyı çizgisi ölçümleri, 25 Nisan 2004 tarihinde alınan yakın kıyı batimetrisi ve Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı tarafından hazırlanan navigasyon haritalarından yararlanılmıştır (**Şekil 3.94**). Kullanılan veriler ve haritalar ışığında hazırlanan batimetrimlerde 20 m çözüm aralığı kullanılmıştır. Deniz tabanı eğimi 10 metre derinliğe kadar yaklaşık 1:65 mertebesindedir. Karadenizde yarım günlük gel-git rejimi etkin olup ve günlük gel-git kaynaklı değişim 8-12 cm mertebesindedir, mevsimsel su seviyesi değişimleri ise 20-40 arasındadır (Alpar, 2009; Vigo ve diğ., 2005; Bondar, 2007). Su seviyesi değişimlerinin az olması nedeniyle gel-git ve benzeri su seviyesi değişimlerinin etkileri bu çalışmada ihmal edilmiştir.

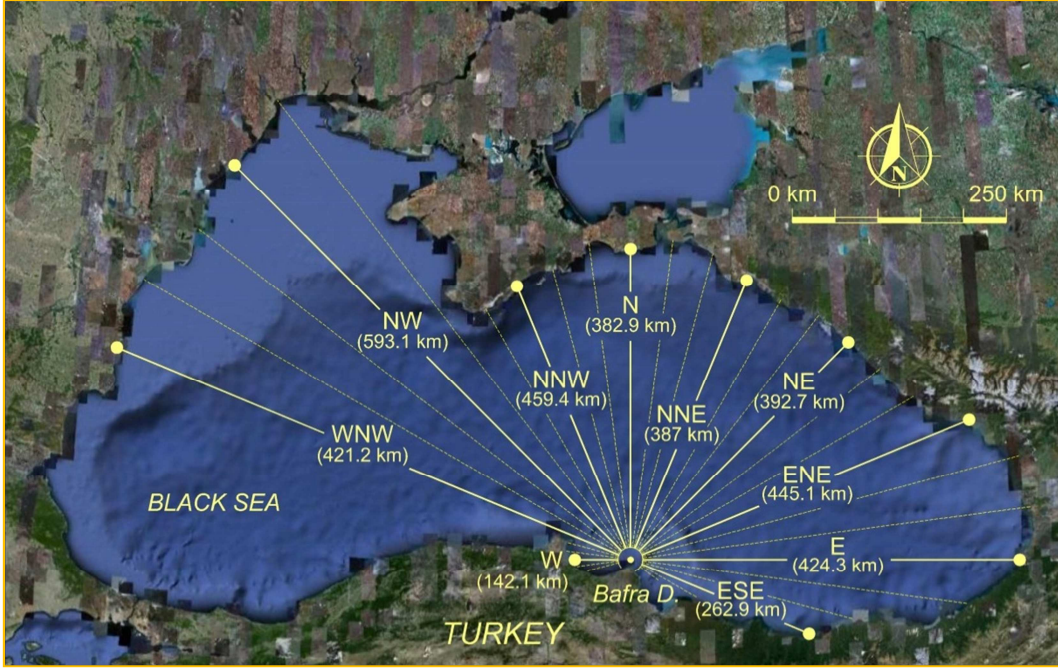


Şekil 3.94 Geliştirilen kumlanma modeli için hazırlanan çalışma alanı yakın kıyı batimetrisi (Baykal, 2012)

Kıyı alanlarındaki morfolojik değişim büyük oranda dalga iklimine bağlıdır. Çalışma alanındaki ilgili süreler içinde oluşmuş olan fırtınalardaki dalga yüksekliklerinin belirlenmesi ve bu dalga yüksekliklerinin kumlanma modeline girdi olarak hazırlanması için Sinop Meteoroloji İstasyonu için 1999-2003 yılları arasında ölçülmüş saatlik ortalama rüzgar hız ve yönleri verisi ve çalışma alanı için hesaplanan etkili kabarma uzunlukları (**Şekil 3.95**) bilgisi kullanılarak dalga tahmin ve uzun dönem dalga istatistiği çalışmaları yapılmıştır (Baykal, 2012). Bu çalışmanın sonucunda kumlanma modelinde kullanılmak üzere hesaplanan ve her bir yönden oluşması beklenen temsili derin deniz dalga yükseklikleri ($H_{rs,0}$), ilgili belirgin periyotları (T_s) ve yılda oluşma süreleri (Δt) **Tablo 3-14**'te verilmiştir. Çalışmanın detayları Baykal (2012)'de verilmiştir.

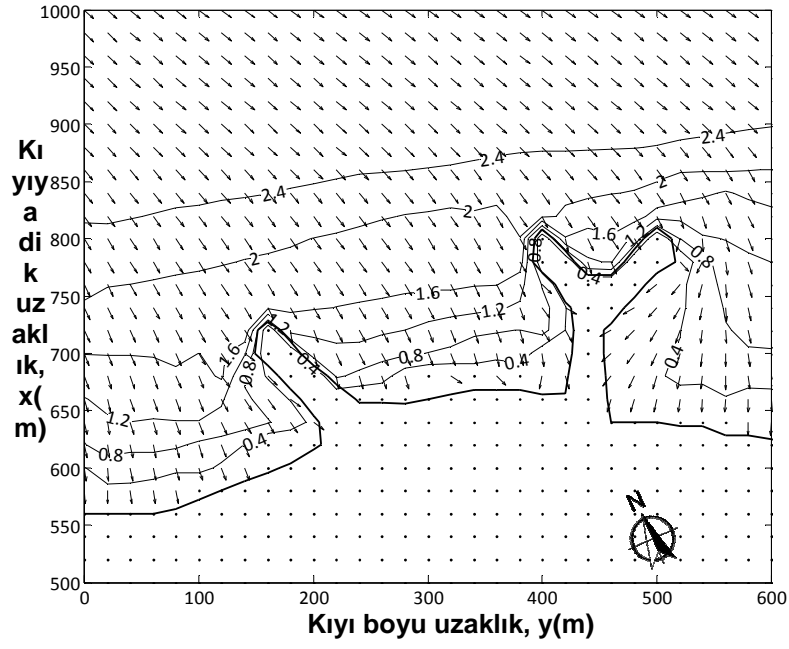
Tablo 3-14 Bütün dalga yönleri için yıllık temsili dalga yükseklikleri, ilgili periyotları ve oluşma süreleri

Yön	$H_{rs,0}$ (m)	T_s (sn)	Δt (saat)
B	3.60	7.62	2
BKB	2.77	6.68	196
KB	2.83	6.76	145
KKB	2.92	6.87	50
K	2.44	6.27	0
KKD	2.57	6.44	4
KD	3.06	7.03	4
DKD	2.76	6.68	10
D	2.90	6.84	3
DGD	2.52	6.38	6

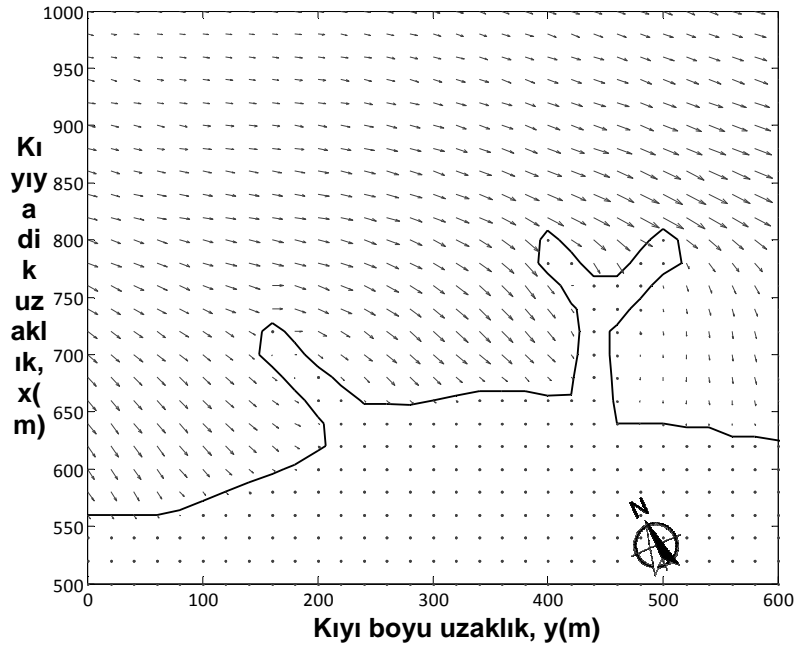


Şekil 3.95 Çalışma alanı için belirlenen dalga yönleri (Google Earth, 2011)

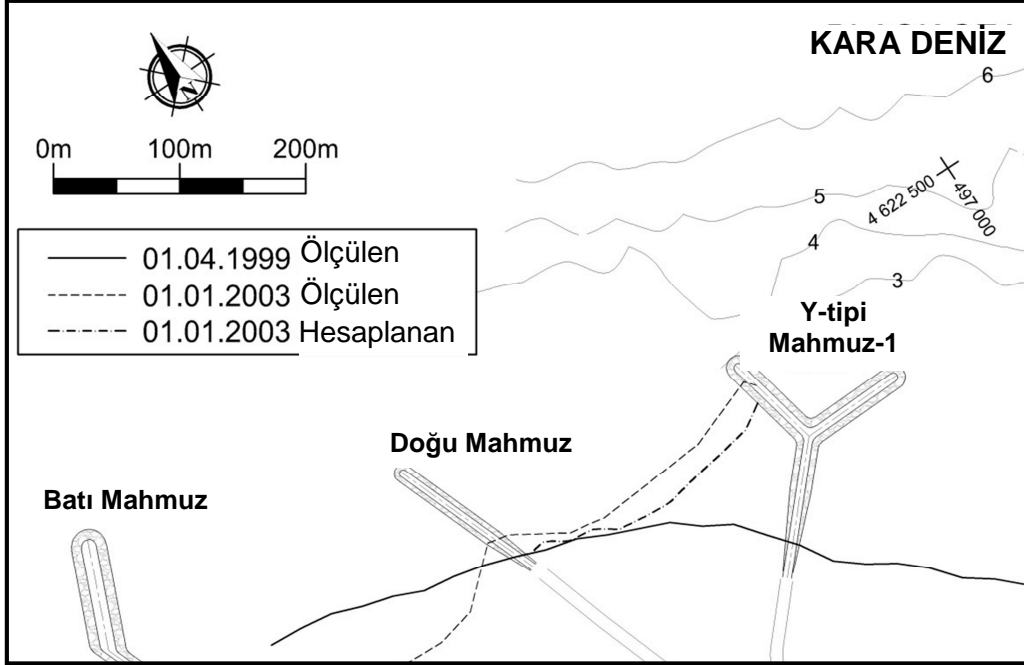
Çalışmada ortalama kum tane çapı (d_{50}) 0.23 mm olarak alınmıştır (Kökçınar ve diğ., 2007). Kızılırmak tarafından taşınan sediman miktarı son yıllarda önemli ölçüde azalmasından dolayı çalışmada ihmal edilmiştir. Ayrıca Kızılırmak nehrinin akım rejiminin dalga ve dalga kaynaklı akıntı düzenine etkileri çalışılmamıştır. Çalışmada benzetim süresini azaltmak için en etken üç yön olan BKB, KB ve KKB yönlerinde gelen dalgalar çalışılmıştır. Taban sürtünme katsayısı $c_f=0.008$, eddy vizkozite sabiti $\Lambda=0.8$ ve yüzey girdap enerji katsayısı $\alpha=0.5$, Watanabe (1992) formülündeki A katsayısı 2.0, her bir dalga yönü için yönsel dağılım parametresi $s_{max}=10$ ve morfolojik zaman aralığı 1 dk olarak alınmıştır. Temsili dalga özellikleri 3 yıl için art arda başlangıç kıyı batimetrisine uygulanmış ve 3 yıl sonundaki kıyı değişimi gözlenmiştir. Benzetim iş istasyonu tipi bir bilgisayarda (Intel® Xeon E5530 2.4GHz Processor, 8GB RAM, 32-Bit Windows® 7 Professional Edition) yaklaşık 9 saat sürmüştür. Çalışma alanı için hesaplanan ortalama belirgin dalga yüksekliği ve akıntı düzeni ve 3 yıl sonunda hesaplanan kıyı çizgisi değişimi sırasıyla **Şekil 3.96**, **Şekil 3.97** ve **Şekil 3.98**'de verilmiştir.



Şekil 3.96 BKB dalgaları için çalışma alanındaki eşdeğer belirgin dalga yükseklikleri eğrileri ve yaklaşma açılarının vektörel gösterimi



Şekil 3.97 BKB dalgaları için akıntı düzeninin vektörel gösterimi



Şekil 3.98 Kızılırmak nehir ağzında doğu mahmuz ile Y-tipi mahmuz-1 arasında 3 yıl sonunda hesaplanan ve ölçülen kıyı çizgisileri plan görünümü (Baykal, 2012)

Şekil 3.98'dan görüldüğü üzere Doğu mahmuz ile Y-tipi mahmuz arasında hesaplanan kıyı çizgisi hem nitelik hem de niceliksel olarak uyum içindedir. Ayrıca Y-tipi mahmuzun yakınındaki birikmenin kolların ucuna kadar modellenemesi pek çok "tek-çizgi" kıyı çizgisi değişim modelinde modellenemeyen fiziksel bir olayın (tombolo oluşumu) başarılı bir şekilde benzetiminin yapıldığının ortaya koymaktadır.

Gelişmiş modellerde kullanılan girdilerin ve parametrelerin çeşitliliği bu tip modellerin kullanımını zorlaştırmaktadır. Ancak hassas ölçümler ile elde edilen batimetrik veriler, dalga, akıntı ve kontrasyon ölçümleri ile desteklenen girdiler bu tip modeller yardımı ile yapılan benzetim çalışmalarının hassasiyetini artıracak ve tasarım çalışmalarında etkin bir araç olarak kullanılmasını sağlayacaktır.

4 KIYI ALANLARI KIRILGANLIK MODELİ

Kıyı alanları ve iklim değişikliği literatürüne baktığımız zaman en iyi literatür taramasının IPCC tarafından 4. Değerlendirme Raporunda olduğunu görmekteyiz. Raporda kıyı sistemleri ve kıyı alanları hakkındaki çalışmaların son yıllarda arttığı ve de altı ana sonuca ulaşıldığı belirtilmektedir. Bu sonuçları özetlemek gerekirse:

- a. Kıyı alanları iklime ve de deniz seviyesi değişimlerine bağlı afetler ve bunların sonuçlarıyla karşı karşıya kalmaktadır. Özellikle uçdeğer olaylara, fırtınalar gibi, maruz kalan kıyı toplumları kırılgan durumdadırlar.
- b. Kıyıları önümüzdeki yıllarda giderek şiddeti artan iklim değişikliği ve deniz seviyesi değişimine bağlı risklere, örneğin kıyı erozyonu, maruz kalacaklardır.
- c. İklim değişikliğinin yaratacağı sorunların etkileri kıyılardaki insan kaynaklı baskılar nedeniyle daha artmaktadır.
- d. Kıyıları için uygulanacak adaptasyon çalışmalarının gelişmekte olan ülkeler için daha zor olması beklenmektedir. Bunun en büyük nedeni bu ülkelerin gelişmiş ülkelere göre adaptasyon kapasitelerinin daha sınırlı olmasıdır. Kıyı alanlarının fiziksel özelliklerinin doğal sistemler ve sosyal kırılganlığı ciddi olarak etkilese de, adaptasyon kapasitesinin az olması sosyal kırılganlık için en önemli faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerin kıyı alanlarını iklim değişikliği etkilerine karşı korumak için yeterli politik ve sosyal gücü olsa da, gerekli finansal ve de kaynak/kapasiteleri olmadığı sürece bu ülkelerin kırılganlıkları aynı fiziksel koşuldaki gelişmiş ülkelere göre daha fazladır.
- e. Kırılgan kıyı alanlarının adaptasyonu için gerekli olan bütçe hiçbir önlem alınmazsa karşılaşılabilecek sorunların yüzünden yaşanacak ekonomik kayıptan çok daha azdır.
- f. Deniz seviyesi yükselmesinin uzun yıllar devam edecek olması günümüz insan gelişim trendleri ve modelleriyle çakışmaktadır. Kıyı alanlarındaki insan hareketlerinin ve yatırımlarının devamlı artış göstermesi bu çatışmanın artmasına neden olmakta, deniz seviyesi yükselmesinin uzun dönemde etkisini gösterecek olması da kıyı alanlarındaki yerleşim politikaları için büyük bir sorun olmaktadır.

Yukarıdaki bahsedilen ve kesinliği büyük ölçüde kabul edilmekte olan sonuçlardan yola çıkarak, kıyı alanlarının deniz seviyesi ve iklim değişikliğine olan kırılganlığı konusunda yapılan çalışmalar beş ana başlıkta toplanabilir.

1. Mevcut kırılganlık/hassaslık: doğal kıyı sistemleri dinamik yapıları sayesinde yaşanan değişimlere uyum sağlamak için bir takım değişiklikler yaşamaktadır. Ancak insan etkisi bu değişiklikleri daha da hızlandırmakta çoğunlukla doğal değişimin önüne geçmektedir. Modeller çoğunlukla uzun dönemleri çalışmaktadır. Ancak iklim değişikliğine adaptasyon için on yıl ya da yüzyıl ölçeğinde çalışılması gerekmektedir ki hakkında en az bilgi sahip olunan kısım budur. (IPCC, 2007) Kıyıların etkiler karşısında dinamik dengeye kavuşmak için geçirdiği değişiklikler iklim değişikliği etkileri karşısından verilen tepkiyi ayırmayı zorlaştırmaktadır. Birçok sahilde yaşanan

erozyonun nedenlerinden biri deniz seviyesi yükselmesi olmakla beraber en önemli itici güç olmamaktadır. Bu erozyonun nedenleri değişen dalga iklimleri (Pirazzoli et al 2004, Regnaud et al 2004), deniz topografyasındaki değişiklikler (Cooper and Navas 2004) ya da azalan sediman girişi gibi farklı kaynaklar olabilmektedir. En önemli sorulardan biri gözlenen değişimlerin insan kaynaklı ya da dışarıdan gelen etkilerden dolayı sistemin kırılma sınırlarının aşılmasından dolayı mı olduğu yoksa kısa dönemli iklim varyasyonlarına sistemin verdiği bir tepki mi olduğunun anlaşılmasıdır. Aynı zamanda kıyı alanlarındaki insan etkinliklerinin (kıyı yapıları, sulakalanların kurutulması, kum taşınımı, baraj sistemleri, arazi kullanımı gibi) direkt etkileri de araştırılmaktadır. (Nordstrom 2000, Hamm and Stive 2002) Kıyı ekosisteminin deniz seviyesi yükselmesine bağlı yaşayacağı değişimlere olan kırılma eşiği ise araştırılan bir başka konudur. Bu eşiği etkileyen en önemli faktörler hidrodinamik ve sediman özellikleridir. Kırılma eşiklerinin lineer olmayan yapısı ve etkileyen faktörlerin daha iyi anlaşılması kıyı sistemlerinin adaptasyon kapasitesinin artırılması için yapılacak yönetim ve planlama çalışmalarının daha iyi sonuçlar vermesine yardımcı olacaktır.

2. Kıyı sistemleri ve kıyı alanları için geleceğe yönelik tahminler: iklim değişikliği için yapılan projeksiyon çalışmaları için kullanılan sosyoekonomik trendler ve senaryolar kıyı sistemleri içinde kullanılmaktadır. Deniz seviyesi yükselmesi için yapılan model çalışmaları göstermektedir ki 2100 yılına kadar beklenen artış 0,30-0,60 m arasındadır ancak artış hızının devamlı olarak artacağı da modeller ve yapılan çalışmalar ile desteklenmektedir. (Meehl et al 2007) Ancak yerel özelliklerin deniz seviyesindeki artış miktarı üzerinde çok daha etkili olacağı çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir (Nicholls and Klein 2005, Harvey 2006). Uçdeğer dalga istatistiklerinde gözlenecek olan artış bir başka endişe konusudur. Bu deniz seviyesi yükselmesinin yanında özellikle tropik ve orta kuşaktaki kıyı sistemleri için daha fazla sorun anlamına gelmektedir.
3. Gelecekte yaşanacak önemli etkiler ve kırılma kıyı sistemleri: Doğal kıyı ekosistemleri üzerinde yapılan çalışmalar çoğunlukla ekosistemi oluşturan çeşitli birimlerin ayrı ayrı incelenmesi şeklindedir. Sahiller ve kayalık kıyıları için yapılan çeşitli analizler kıyı çizgisinin kara içerisine kayması Bruun kuralına genel olarak uyum gösterse de sediman bütçesi yaklaşımı daha kesin sonuçlar vermektedir. Kıyı erozyonu ve fırtına kabarmalarının birleşimi çok daha olumsuz sonuçlar yaratmaktadır. Deltalar ise hem lokal zemin çökmeler hem de insan etkinliklerinin yoğun yaşanması nedeniyle deniz seviyesi yükselmesine karşı en kırılma sistemlerden biridir. Deltalardaki sulakalan kayıpları ise yaşanacak olumsuzluklara karşı deltanın doğal direncini ciddi biçimde düşürmektedir. (Coleman et al 2004) Lagünler ve nehir ağızları daha çoğunlukla tatlı su tuzlu su karışımı açısından incelenmektedir. Doğal nehir ağızlarının erozyonu Pethick(2001) tarafından incelenmiş olup, yaşanabilecek değişiklikler nehir ağzının derinleşmesi, daha büyük dalgalar ve gelgit rejiminin değişmesine bağlı erozyon ile tuzlu su girişinin artması olarak özetlenebilir. Mercanlar, bataklıklar ve sulakalanlar da araştırılan kıyı sistemlerindedir. Sistemlerin yaşayacağı sorunlar insan hayatı üzerindeki etkileri de bir başka araştırma konusudur. Tarım, balıkçılık, turizm, altyapı sistemleri, yerleşim ve en önemlisi tatlı su kaynaklarının etkilenmesi sosyoekonomik sorunların başında

gelmektedir. İnsanların adaptasyon kapasitesi, doğal sistemlerin adaptasyon kapasitesinin anlaşılmasından daha zordur ve bu konu üzerinde daha çok araştırma yapılması gerekmektedir.

4. Maliyet ve sosyoekonomik etkiler

5. Adaptasyon çalışmaları, seçenekleri ve kısıtlamalar: IPCC'nin yaptığı değerlendirmelerde ortaya çıkan önemli sonuçlardan biri bütünleşik kıyı alanları yönetim planları içeriğinde yapılan uygulamaların iklim değişikliğinin kıyı alanlarındaki etkisini azaltmada çok daha başarılı olduğudur.(Kay and Adler 2005) Ancak iklim değişikliğinin kıyı alanlarında yaratacağı risklerin başarılı yönetimindeki kısıtlamalardan biri kıyı sistemlerinin iklim değişikliği etkileri ve adaptasyon çalışmalarına vereceği tepkilerin limitli olarak bilinmesidir.(Finkl 2002) Önemli sorulardan biri de doğal kıyı sistemlerinin adaptasyon sınırlarının belirlenmesidir. Aynı şekilde insan doğa etkileşiminin doğrusal olmayan karakterinin çok az bilinmesi iklim değişikliğine karşı yapılan adaptasyon çalışmalarının verimliliğini azaltmaktadır. Bütünleşik kıyı alanların yönetimi bahsedilen sorunların çözümü için önemli bir fırsat yaratmaktadır. Bir çok araştırmacı tarafından bütünleşik kıyı alanları yönetiminin sektörel analizlere göre daha başarılı bir yöntem olduğunu belirtmiştir. (Isobe 2001, Nicholls and Klein 2005, harvey 2006) Yapılan çalışmalar adaptasyon için 3 ana yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Koruma, geri çekilme ve uzlaşma başlıkları altında incelenebilecek yöntemlerin uygulamasında çeşitli limitler ve takas koşulları bulunmaktadır. Üç yöntemin de uygulanabilirliğinde öncelikle kar maliyet analizleri yapılması gerekliliği ortaya konulmuştur. Ancak yapılan araştırmalar kesin olarak göstermektedir ki adaptasyon maliyetleri, iklim değişikliği etkileri nedeniyle yaşanacak kayıpların yanında çok düşük kalmaktadır. (Tol 2002,207) Ancak bilgi ve teknik eksikliği nedeniyle potansiyel etkiler tam olarak anlaşılammakta bu da uygulanmakta olan ve de planlanan adaptasyon projelerinin etkinliğini oldukça düşürmektedir. (Crimp et al 2004) Kıyı alanlarının gelişimi için uygulanacak olan etkin politikalar kaynak kullanımı sorunları, kaynak tüketimi ve kaynakların kirlenmesine karşı oldukça hassastır. Politika oluşturma ve karar alma sürecinde bütünleşik ve holistik bir yaklaşımın gerekliliği sürdürülebilirlik için de gereklidir. Bütün bu bilgiler ışığında kıyı sistemlerinin iklim değişikliği ve deniz seviyesi yükselmesine olan adaptasyonunu sağlamak için çeşitli modeller ortaya konulmuştur. IPCC'nin Dördüncü Değerlendirme raporunda da verilen bir çok örnek kırılma ve adaptasyon modellemelerinin birçok farklı düzeyde yapıldığını göstermektedir. Kırılma endeksleri, bütünleşik bilgi yönetimi modelleri, senaryolar, coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak yapılan karar destek sistemleri, finansal değerlendirmeler gibi farklı yöntemler tüm dünyada çeşitli şekillerde kullanılmaktadır.

Bütün yapılan çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda IPCC kıyı alanları konusunda bilgi birikiminin ciddi olarak arttığını ancak hala yaşanacak sorunların büyüklüğü karşısında eldeki bilgi birikiminin yeterli olmadığı sonucuna varmıştır. Literatürde ve uygulamadaki boşluklar beş ana başlıkta toplanabilir.

1. İklim değişikliğine ve diğer nedenlere bağlı olarak değişen kıyı çizgisinin modellenmesinin deneyler, gözlemler ve modeller ile iyileştirilmesi. Özellikle birden

fazla değişkenin olduğu modellerin geliştirilmesi aşılması gereken önemli bir sorundur.

2. Kıyı alanlarındaki sosyal adaptasyonun daha iyi anlaşılması. En basit haliyle risk altındaki varlıkların değerlendirilmesi olarak uygulanabilse de kalitative trendlerin daha iyi anlaşılabilmesi için yapılacak çalışmalar büyük önem arz etmektedir.
3. Doğa-insan etkileşimini içeren bütünleşik etki ve kırılabilirlik analizlerinin geliştirilmesi. Disiplinler arası çalışmalar ile uygulanacak bu analizler sayesinde önemli kırılabilir ve risk altındaki kıyı alanlarının bulunması ve bu alanlar için kıyı alanları yönetim çalışmalarının başlatılması.
4. Kıyı adaptasyon seçeneklerini belirleyecek ve uygulamada önceliğini ortaya koyacak değerlendirme modellerinin oluşturulması. Kısa ve uzun dönem etkilerini gözününe alacak bu modellerin, seçenekleri fayda ve verimliliklerine göre karşılaştırması önemlidir.
5. Bilgi birikimini ve paylaşımını sağlayacak ağların oluşturulması ve geliştirilmesi

Bu projenin de çıktılarında biri olarak hedeflenen bütünleşik kıyı alanları kırılabilirlik değerlendirme modeli de yukarıda bahsedilen modellerin ve bilgi birikimindeki boşlukların azaltılması ve yerel yönetimler tarafından uygulanabilirliği ile adaptasyon çalışmaları için önemli bir kaynak olması hedefiyle geliştirilmeye başlanmıştır. Proje dahilinde geliştirilen kıyı alanları kırılabilirlik modeli temel olarak ODTÜ İnşaat Mühendisliği Deniz Mühendisliği Araştırma Merkezi'nce tasarlanan Kıyı Alanları Deniz Seviyesi Yükselmesi Kırılabilirlik Modelini kullanacaktır. Bu nedenle öncelikle ilk model açıklanacak, sonra sırasıyla projedeki geliştirme aşamaları, nedenleri ve uygulamaya süreçlerinden bahsedilecektir.

4.1 KIYI ALANLARI DENİZ SEVİYESİ YÜKSELMESİ KIRILGANLIK MODELİ

Model, deniz seviyesi yükselmesinin fiziksel etkilerini;

- A. Kalıcı su basması (inundation)
- B. Kıyı Erozyonu (coastal erosion)
- C. Fırtına Kabarmasına bağlı su baskıları (coastal flooding due to storm surge)
- D. Yeraltı su kaynaklarının tuzlanması (Salinity intrusion to groundwater resources)
- E. Irmaklarda tuzluluk artışı (Salinity intrusion to rivers/estuaries)

olarak beş ana başlık altında incelemektedir.

İlk aşamada kıyı alanlarının deniz seviyesi yükselmesine olan kırılabilirliklerini belirlemek amacıyla yukarıda bahsedilen fiziksel etkilerin kıyı da yaratacağı sonuçları en iyi şekilde ortaya koyacak çeşitli fiziksel ve insan etkisi parametreleri tanımlanmıştır. Bu tanımlama ön model olan bu modelde, uzman görüşü ön planda olmak üzere literatür taraması ile gerçekleştirilmiştir. Böylece 12 fiziksel ve 7 insan etkisi olmak üzere 19 adet parametre ile her bir parametre için 5 sınıflı kırılabilirlik tanımlarının gösterildiği iki adet tablo hazırlanmıştır. (**Tablo 4-1** ve **Tablo 4-2**)

Tablo 4-1 Fiziksel kırılmalık parametreleri ve sınıfları

	Sınıflar				
	En düşük	Düşük	Orta	Yüksek	En Yüksek
Parametreler	1	2	3	4	5
Deniz seviyesi yükselme hızı	<1	1-2	2-5	5-7	>7
Jeomorfoloji	Fiyordlar, Kayalık kıyı alanları	Orta yükseklikte yamaçlar	Alüvyon düzlükleri, alçak yamaçlar	Taşlık sahiller, nehir ağızları, lagünler	Kumsallar, Bataklıklar, Deltalar, Mercanlar, Sulakalanlar
Kıyı eğimi	>1/10	1/10-1/20	1/20-1/30	1/30-1/50	1/50-1/100
Belirgin dalga yüksekliği	<0,5	0,5-3	3-6	6-8	>8
Kum bütçesi	Kıyı şeridinin %50den fazlasında kum birikimi gözlenmekte	Kıyı şeridinin %10-%30nda birikim gözlenmekte	Kıyı şeridinde ciddi bir değişim gözlenmemekte	Kıyı şeridinin %10-%30nda erozyon gözlenmekte	Kıyı şeridinin %50den fazlasında erozyon gözlenmekte
Gelgit aralığı	>6	4-6	2-4	0,5-2	<0,5
Kıyıya yakınlık	>1000	700-1000	400-700	100-400	<100
Akifer tipi					
Hidrolik Kondüktivite	0-12	12-28	28-41	41-81	>81
Yer altı suyunun Derinliği (deniz seviyesinden)	>2	1,25-2	0,75-1,25	0-0,75	<0
Akım	>500	250-500	150-250	50-150	0-50
Nehir Ağızındaki Su Derinliği	<1	2	3	4-5	>5

Tablo 4-2 İnsan etkisi parametreleri ve kırılabilirlik sınıfları

	Sınıflar				
	En düşük	Düşük	Orta	Yüksek	En Yüksek
Parametreler	1	2	3	4	5
Kum taşınımının azalması	>%80	%60-80	%40-60	%20-40	<%20
İrmak rejiminin düzenlenmesi	Etkisiz		Orta derecede etki		Şiddetli etki
Kıyı yapıları yoğunluğu	<%5	%5-20	%20-30	%30-50	>%50
Doğal koruma yapılarının bozulması	>%80	%60-80	%40-60	%20-40	<%20
Kıyı koruma yapıları	>%50	%30-50	%20-30	%5-20	<%5
Yeraltı su kaynakları kullanımı	<%20	%20-30	%30-40	%40-50	>%50
Arazi Kullanımı	Koruma Alanı	Kullanılmayan arazi	Yerleşim birimi	Endüstri merkezi	Tarım

İkinci aşamada, kırılabilirlik tabloları ve bölgesel data kullanılarak uygulanacak, bir kıyı alanları kırılabilirlik matrisi (**Tablo 4-3**) oluşturulmuştur. Bu modelde amaç, kıyı alanının hem fiziksel hem de insan kullanımına bağlı özelliklerini kullanarak, alanın fiziksel kırılabilirliğini ortaya koymak, yörenin deniz seviyesi yükselmesinin fiziksel etkilerine olan kırılabilirliklerini ayrı ayrı analiz edebilmek ve adaptasyon çalışmalarında önemli olabilecek fiziksel ve insan etkisi parametrelerinin yorumlanmasını sağlamaktır. Her bir parametrenin beşli bir sınıflandırma (1 -5) kullanılarak kırılabilirlik sınıflarının (çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek kırılabilirlik) belirlendiği modelde, kıyı alanları kırılabilirlik matrisi fiziksel etki alt-endeksleri ve toplam kırılabilirlik endeksini aşağıdaki formüller (4.1 ve 4.2) temel alınarak hesaplamaktadır.

Bölgede yaşanabilecek fiziksel sorunların öncelik olarak karşılaştırılmasını sağlayan fiziksel etki alt indeksi (CVI_{etki}), her bir etki için tanımlanan parametrelerin, en düşük kırılabilirlik durumu için hesaplanan indekse bölünmesi ile bulunan, yukarıda tanımlanmış kırılabilirlik sınıflarına karşılık gelen 1-5 rakamları arasında çıkan bir sonuçlardır. Formülde kullanılan en düşük kırılabilirlik hesaplaması analiz yapılan bölgenin bütün kırılabilirlik parametrelerinde 1(en

düşük) olarak gösterilmesi ile bulunmaktadır. Bu şekilde etki kırılğanlıklarının birbirleriyle karşılaştırılabilmesi sağlanmaktadır.

$$CVI_{etki} = \frac{\left(0.5 * \sum_1^n PP_n * R_n\right) + \left(0.5 * \sum_1^m HP_m * R_m\right)}{CVI_{en\ düşük\ kırılğanlık}}$$

4-1

CVI_{etki}: Fiziksel etki alt indeksi

PP: Fiziksel parametreler

HP: İnsan etkisi parametreleri

R: Parametreye ait kırılğanlık sınıfı

CVI_{endusukkırılğanlık}: Belirli bir fiziksel etki için bulunan en düşük kırılğanlık durumu

Tablo 4-3 Kıyı Alanları Kırılğanlık Matrisi

Etki	Fiziksel Parametreler						İnsan Etkisi Parametreleri						Etki Toplamı	CVI Etki
	Parametre	1	2	3	4	5	Toplam	Parametre	1	2	3	4		
1. Kıyı Erozyonu	P1.1 Deniz Seviyesi Yükselme Hızı							H1.1 Kum Taşımının Azalması						
	P1.2 Jeomorfoloji							H1.2 Irmak Rejimi Düzenlemesi						
	P1.3 Kıyı Eğimi							H1.3 Kıyı Yapıları Yoğunluğu						
	P1.4 H _{1/3}							H1.4 Doğal Koruma Yapıları Bozulması						
	P1.5 Kum Bütçesi							H1.5 Kıyı Koruma Yapıları						
	P1.6 Gelgit Aralığı													
	TOPLAM							TOPLAM						
								0						0
2. Fırtına kabarması sonucu su basması	P2.1 Deniz Seviyesi Yükselme Hızı							H2.1 Kıyı Yapıları Yoğunluğu						
	P2.2 Kıyı Eğimi							H2.2 Doğal Koruma Yapıları Bozulması						
	P2.3 H _{1/3}							H2.3 Kıyı Koruma Yapıları						
	P2.4 Gelgit Aralığı													
TOPLAM							TOPLAM							
								0						0
3. Su basması	P3.1 Deniz Seviyesi Yükselme Hızı							H3.1 Doğal Koruma Yapıları Bozulması						
	P3.2 Kıyı Eğimi							H3.2 Kıyı Koruma Yapıları						
	P3.3 Gelgit Aralığı													
TOPLAM							TOPLAM							
								0						0
4. Yer altı su kaynaklarında tuzlanma	P4.1 Deniz Seviyesi Yükselme Hızı							H4.1 Yer altı Su Kaynakları Kullanımı						
	P4.2 Kıyıya Yakınlık							H4.2 Arazi Kullanımı						
	P4.3 Akifer Tipi													
	P4.4 Hidrolik Kondüktivite													
	P4.5 Yer altı suyunun Derinliği (deniz seviyesinden)													
TOPLAM							TOPLAM							
								0						0
5. İrmaklarda tuzluluk artışı	P5.1 Deniz Seviyesi Yükselme Hızı							H5.1 Irmak Rejimi Düzenlemesi						
	P5.2 Gelgit Aralığı							H5.2 Kıyı Yapıları Yoğunluğu						
	P5.3 Nehir Ağzındaki Su Derinliği							H5.3 Arazi Kullanımı						
	P5.4 Akım													
	TOPLAM							TOPLAM						
								0						0

CVI(SLR)-1		
CVI(SLR)-2		
CVI(SLR)-3	0	0

Bir kıyı alanındaki bütün bölgelerin öncelik sırasına koyulması için oluşturulan kıyı alanı kırılma indeksi (CVI(SLR)) ise yörede gözlenebilecek olan etkiler doğrultusunda oluşturulan gruplamaya göre hesaplanmaktadır. Parametrelerin kırılma sınıflarının toplamının o grupta gözlenebilecek en düşük kırılma toplamına bölünmesi sonucu bulunur.

$$CVI(SLR)_n = \frac{\sum \text{Yöresel parametre kırılma indeksi}}{\sum \text{Grup için hesaplanan en düşük kırılma}} \quad 4-2$$

Formülde bahsedilen grup uygulamasının nedeni deniz seviyesi yükselmesinin fiziksel etkilerinin bütün kıyı alanlarında yaşanmayacağı gerçeğidir. Bütün kıyı alanlarında kalıcı su basması, fırtına kabarmasına bağlı taşkınlar ile kıyı erozyonu yaşanabilir. Ancak her kıyı alanında tatlı su kaynağı ya da nehir ağızı bulunmamaktadır. Bu nedenle bütün kıyı alanlarını kırılma indekslerine göre karşılaştırabilmek için üç kıyı alanı grubu oluşturulmuştur. İlk grup, yukarıda bahsedilen bütün kıyı alanlarında karşılaşılabilecek olan 3 etkiyi (kalıcı su basması, fırtına kabarmasına bağlı taşkınlar ile kıyı erozyonu) kapsamakta, ikinci grup kıyı alanında tatlı su kaynağı (yeraltı ya da nehir) da bulunduğu belirtmekte, üçüncü grup ise kıyı alanında bütün etkilerin bulunabileceği durumunu kapsamaktadır. Analiz yapılan bölgenin kırılma indeksinin, ait olduğu grup kırılma indeksine göre hesaplanması, tüm kıyı alanlarının aynı sınıflandırma skalasına göre tanımlanmasına olanak sağlamaktadır.

Kırılma sınıfları ilk aşamada uzman görüşü temel alınarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Ancak modelin farklı kıyı alanlarını uygulanması sonucunda bu tanım aralıklarının gerçek durumu genel olarak yansıttığı bulunmuştur.

En düşük kırılma: $1 \leq CVI(SLR) < 1,5$

Düşük kırılma: $1,5 \leq CVI(SLR) < 2,5$

Orta kırılma: $2,5 \leq CVI(SLR) < 3,5$

Yüksek kırılma: $3,5 \leq CVI(SLR) < 4,5$

En yüksek kırılma: $4,5 \leq CVI(SLR) < 5$

Modeldeki en önemli varsayım parametre ağırlıklarının eşit olarak alınmasıdır. Bu varsayımın nedeni deniz seviyesi yükselmesi göz önüne alınmadan bile model parametrelerinin fiziksel etkiler üzerindeki ağırlıklarının belirlenmesi için yeterli sayıda veri ve çalışma olmamasıdır. Ancak modeli uygulayacak çalışmacının kendi bulguları doğrultusunda ağırlıkları değiştirebilme esnekliği de sağlanmıştır.

İnsan etkisi ve fiziksel parametre gruplarının deniz seviyesi yükselmesi etkilerinin kıyı alanında yarattığı kırılma derecesindeki dağılımı özellikle adaptasyon stratejileri geliştirme açısından önemli bir bilgi kaynağı olacaktır. Böylece alınması gereken önlemlerin ya da planlanan stratejilerin toplumsal mı yoksa fiziksel mi olması gerektiği ortaya konmaktadır. Modelin bir başka çıktısı olan fiziksel ve insan etkisi parametre histogramı bu amaçla hazırlanmıştır. Histogramda her iki parametre grubunun etki kırılma derecesi üzerindeki dağılımı 5 üzerinden yapılmaktadır.

Yukarıda kısaca bahsedilen model Türkiye kıyılarında Göksu Deltası ve Göcek Özel Çevre Koruma Bölgeleri ile Amasra, Mersin ve İskenderun Körfezi kıyılarına çeşitli projeler dahilinde uygulanmıştır. Bu uygulamalar sonucunda görülmüştür ki, hesaplanan kırılma dereceleri literatürdeki genel bilgiler ve teknik gezilerde elde edilen bulgular ile tutarlı sonuç vermektedir.

4.2 BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE GELİŞTİRİLEN KIYI ALANLARI KIRILGANLIK MODELİ

4.2.1 Parametre Belirleme Çalışmaları

Modelin geliştirilmesi için ilk olarak kullanılan parametrelerin üzerinden bir kere daha yoğun bir literatür taraması yapılarak yeniden tartışılması kararlaştırılmıştır. Özellikle ırmak ve yeraltı sularının etkilenmesi konularında yağış rejimlerinin değişmesi parametresinin model için gerekli olup olmadığı konusunda araştırma yapılmıştır. Literatür taramaları özellikle dünyadaki çeşitli nehirler için yapılan iklim değişikliği etki modellemeleri temel alınarak yapılmış olup aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Havzalardaki yağış rejimi ile ırmak debileri doğru orantılı olup, yağış rejimlerinin değişmesi (özellikle iklim değişikliğine bağlı olarak daha yoğun ve şiddetli yağışların yaşanacağı bölgelerde) ırmak rejimlerini de etkileyecek olup tuzluluk artışında önemli bir parametre olan debiyi olumlu ya da olumsuz olarak etkileyecektir. (Arora & Boer, 2001; Yaning, 2009)

2. Ancak havzalar üzerinde yapılan çalışmalar göstermektedir ki, yağış rejimlerine bağlı olarak çoğunlukla debilerde azalma görülmesi beklenmektedir. (artan sıcaklığa bağlı buharlaşmanın artması ve yağışın azalması nedeniyle özellikle Akdeniz baseninde)(Arora & Boer, 2001; Nohara, Kitoh, Hosaka, & Oki, 2006)

3. Nehir ağzına yakın olan bölgenin aldığı yağış miktarındansa havzanın üst kısımlarında yaşanacak yağış rejimlerinin değişmesi ırmak debisi için daha etkili olmaktadır.(Nohara, et al., 2006)

4. Ancak ırmak rejimini düzenleyen baraj ve rezervuar gibi yapıların debi üzerindeki etkileri iklim değişikliğine bağlı yağış rejimindeki değişikliklere oranla çok daha etkindir. Sadece bu yapılar değil, ırmak çevresindeki antropojenik etkiler (nüfus yoğunluğu, arazi kullanımı, endüstrileşme oranı gibi) de oldukça kısa sürede ve yoğun olarak ırmak debisini etkilemekte ve böylece tuzluluk artışına (deniz seviyesi yükselmesi tehlikesi olmasa bile) neden olmaktadır.(Jiongxin, 2004; Kundzewicz, et al., 2009; W. C. Liu, Hsu, Wu, Wang, & Kuo, 2004; Nilsson, Reidy, Dynesius, & Revenga, 2005)

5. Rejimlerin baraj gibi insan kaynaklı yapılar ile düzenlendiği ırmaklarda debi belirli oranda azalmakta ya da sabit olarak tutulabilmekte ancak kum taşınımı her zaman azalmaktadır.(Hanasaki, Kanae, & Oki, 2006; Jiongxin, 2004; Kundzewicz, et al., 2009; C. Liu, Sui, & Wang, 2008)

Hem ülkemizde hem de dünyada ırmak rejimini düzenleyen yapılar çeşitli amaçlarla yapılmış, yapılmakta ya da planlanmaktadır. Artık sadece büyük ve geniş havzalı ırmaklar değil, herhangi büyüklükteki yüzey su kaynakları üzerinde de yoğun olarak görülen yapıların olduğu göz önüne alınarak, yağış parametresinin ırmakların tuzlanmasına olan etkisi oldukça

az olarak kabul edilmiş, bu nedenle de yağış parametresinin bu aşamada modele eklenmemesine karar verilmiştir.

Yine ırmaklarda tuzluluk artışı model çalışmaların bakılarak modelde kullanılan deniz seviyesi yükselme hızı, gelgit aralığı, ağızdaki su derinliği ve debi parametrelerinin numerik model çalışmaları sonuçları ile uyum gösterdiği, bu nedenle bu parametrelerin modelde olduğu şekliyle kullanılacağı konusunda karar verilmiştir.

Yağış parametresi konusunda da değinildiği üzere insan aktivitelerinin süreçte oldukça etkin olduğu ve modelde bulunan ırmak rejimi düzenlemesi , arazi kullanımı ve kıyı yapıları yoğunluğu(nehir ağzının derinleştirilmesi) parametrelerinin literatür çalışmaları ile doğrulanması sağlanmıştır.

Yeraltı su kaynaklarının tuzlanması konusunda yapılan model çalışmaları (hem numerik hem de parametre tabanlı) da yine bu kapsamda taranmıştır. Elde edilen bilgiler göstermektedir ki deniz seviyesi yükselme hızı, akifer tipi, hidrolik kondüktivite, yer altı suyunun derinliği (deniz seviyesinden yüksek olması) ile kıyıya yakınlık parametreleri süreç içerisinde etkin olduğu gözlenen parametrelerdir.

1. Özellikle basınçlı akiferlerin deniz seviyesi yükselmesine bağlı tuzlanmasının çok uzun süreç aldığı ve bu nedenle göreceli olarak deniz seviyesi yükselmesinin basınçlı akiferlerde tehlike oluşturmadığı literatürde bulunmaktadır.(Feenstra, Burton, Smith, & Tol, 1998; Sherif & Singh, 1999)

2. Ayrıca hidrolik kondüktivitenin ölçülmediği ya da bilinmediği yerlerde tane çapının orantılı olarak kullanılabilineceği (en azından kırılgenlik sınıfı belirlenmesinde hata payının düşük olduğu) ortaya konmuştur.(Hiscock, 2005)

3. Aynı şekilde yer altı su tablasının yüksekliği tuzlu su girişine engel olan en önemli basınç parametresidir. Bu nedenle ortalama olarak bu yüksekliğin bilinmesi ve deniz seviyesinden yüksek olması yeraltı su kaynaklarının kırılgenliğini düşürmektedir.(Sherif & Singh, 1999)

4.Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, deniz seviyesi yükselme hızında da öte daha hızlı bir şekilde tuzlanmaya neden olan parametre yine insan kaynaklı kullanımdır. Arazi kullanımına bağlı olarak aşırı su çekimi hem serbest hem de basınçlı akiferlerin tuzlanmasına neden olan en önemli parametredir. Bu etken modelde arazi kullanımı ve yeraltı su kaynakları kullanımı şeklinde iki parametre ile pekiştirilmiştir.

Yeraltı su kaynaklarını besleyen yağış rejiminde yaşanabilinecek değişiklikler de su tablasının düşmesine ya da artmasında neden olacaktır. Yani yeraltı su tablasının yüksekliği parametresini etkileyecek olan bir parametre olarak yağış karşımıza çıkmaktadır. Aynı şekilde hidrolik kondüktivite ya da hidrolik kondüktiviteyi doğrudan etkileyen geçirgenlik derecesi (litolojik yapı kaynaklı) de yağışın yer altındaki kaynağa ulaşma olasılığını ortaya koymaktadır. Her iki parametrenin de ana modelde olması nedeniyle, özellikle yağış rejiminde yaşanacak değişikliklerin yer altı su tablası yüksekliği parametresinin değişmesiyle modele katılabilineceği göz önüne alınarak ana modelde yağış parametresinin eklenmesine bu aşamada gereksinim olmadığı kararı verilmiştir.

Yapılan literatür taramaları ve oluşturulan veri bankası sonucunda modelde kullanılacak parametreler kesinleştirilmiştir. Bu parametreler ve parametrelerin tanımladığı etkiler **Tablo**

4-4'de verilmiştir. **Tablo 4-4**'den gösterildiği üzere, parametreler fiziksel ve insan etkisi parametreleri olarak iki ana gruba ayrılmış olup, tanımladıkları etkilere göre de gruplandırılmışlardır. Deniz seviyesi yükselme hızı her grup için geçerli olan etkin bir parametredir. Kıyı eğimi ve gelgit parametreleri kıyı çizgisi ile ilgili etkilere etkin olan diğer parametreler olarak görülmektedir. İnsan etkisi parametreleri içerisinde ise kıyı koruma yapıları ve kıyı yapılan yoğunluğu baskın olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle kıyı alanının uyum sağlama kapasitesini belirtmek amacıyla kullanılan kıyı koruma yapıları parametresi insan etkisinin olumlu bir etki olarak modele girdi olmasını sağlarken, modelin kıyı alanı kırılganlığını hesaplarken artı ve eksi sonuçları bütünleştirilerek tek bir kırılganlık indisine varılması hedefini sağlamlaştırmaktadır.

Tablo 4-4 Model parametreleri ve tanımladıkları fiziksel etkiler


Etki	Fiziksel Parametreler	İnsan Etkisi Parametreleri
1. Kıyı Erozyonu	P1.1 Deniz Seviyesi Yükselme Hızı	H1.1 Kum Taşımının Azalması
	P1.2 Jeomorfoloji	H1.2 İrmak Rejimi Düzenlemesi
	P1.3 Kıyı Eğimi	H1.3 Kıyı Yapıları Yoğunluğu
	P1.4 H_{v3}	H1.4 Doğal Koruma Yapıları Bozulması
	P1.5 Kum Bütçesi	H1.5 Kıyı Koruma Yapıları
	P1.6 Gelgit Aralığı	
2. Fırtına kabarması sonucu su basması	P2.1 Deniz Seviyesi Yükselme Hızı	H2.1 Kıyı Yapıları Yoğunluğu
	P2.2 Kıyı Eğimi	H2.2 Doğal Koruma Yapıları Bozulması
	P2.3 Hkabarma	H2.3 Kıyı Koruma Yapıları
	P2.4 Gelgit Aralığı	
3. Su basması	P3.1 Deniz Seviyesi Yükselme Hızı	H3.1 Doğal Koruma Yapıları Bozulması
	P3.2 Kıyı Eğimi	H3.2 Kıyı Koruma Yapıları
	P3.3 Gelgit Aralığı	
4. Yer altı su kaynaklarında tuzlanma	P4.1 Deniz Seviyesi Yükselme Hızı	H4.1 Yer altı Su Kaynakları Kullanımı
	P4.2 Kıyıya Yakınlık	H4.2 Arazi Kullanımı
	P4.3 Akifer Tipi	
	P4.4 Hidrolik Kondüktivite	
	P4.5 Yer altı suyunun Derinliği (deniz seviyesinden)	
5. İrmaklarda tuzluluk artışı	P5.1 Deniz Seviyesi Yükselme Hızı	H5.1 İrmak Rejimi Düzenlemesi
	P5.2 Gelgit Aralığı	H5.2 Kıyı Yapıları Yoğunluğu
	P5.3 Nehir Ağzındaki Su Derinliği	H5.3 Arazi Kullanımı
	P5.4 Akım	



4.2.2 Veri Toplama ve İşleme

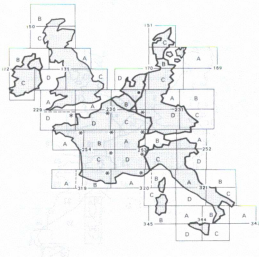
Kıyı alanlarının iklim değişikliğine bağlı deniz seviyesi yükselmesine olan kırılganlıklarını ortaya koymak için geliştirilecek olan kırılganlık modelinde (proje başvurusu sırasında da belirtildiği üzere) 17 adet parametre bulunmaktadır. Modelin geliştirilmesi için yapılacak olan AHP ve bulanık mantık yöntemlerinin en az belirsizlik katsayısı ile uygulanabilmesi için çok sayıda farklı kıyı alanına ait bu 17 parametreye karşılık gelen verilerin bulunması hedeflenmiştir. Türkiye kıyılarında 3 pilot bölgede uygulanmadan önce, modelin geliştirilmesi

için tüm parametre verilerinin olduğu kıyı alanları dünya genelinde tespit edilmiştir. Bu doğrultuda Avrupa kıtası kıyı alanlarının (Kuzey Denizi kıyıları dahil olmak üzere) modelin geliştirilmesi aşamasında kullanılmasına karar verilmiştir. Avrupa kıyı alanlarının seçilmesinin nedeni sadece veri setlerinin tam ve ulaşılabilir olması değil, aynı zamanda hem Akdeniz hem okyanus hem de Kuzey denizi gibi çok farklı iklim, jeomorfolojik ve insan aktivitelerinin olduğu kıyı alanlarının değerlendirilmesine yönelik olarak modelin evrenselliğini sağlayacak bir veritabanı oluşturulmasına olanak tanınmasıdır. **Tablo 4-5**'de Avrupa kıyı alanları ile ilgili taranan veritabanlarını ve ulaşılan veriler hakkında ayrıntılı bilgi verilmektedir.

Tablo 4-5 Kırılgnlık Modeli için kullanılacak veritabanları listesi

Veritabanı	Üreten Proje/Grup	Kapsadığı Alan	Parametreler	Özellikler
DIVA (Dynamic Interactive vulnerability Assesment) veritabanı	DINAS-COAST (Dynamic and Interactive Assessment of National, Regional and Global Vulnerability of Coastal Zones to Climate Change and Sea Level Rise – Kıyı Alanlarında İklim Değişikliği ve Deniz Seviyesi Yükselmesi için Yerel, Bölgesel ve Küresel Dinamik ve İnteraktif Kırılgnlık Analizi) proje grubu www.dinas-coast.net/	Küresel (Tüm kıyı alanları)	Alan (çeşitli yüksekliklere göre) Jeomorfoloji Bruun faktörü(erozyon olma olasılığı) Irmak adı Kabarma yükseklikleri (1,10,100 yıllık) Kum bütçesi Kıyı eğimi Gelgit sınıfı Kabarma/çökme miktarı Dalga iklimi Kıyı tepkisi Irmak derinliği Irmak debisi	Kıyı çizgisi fiziksel, sosyal ve ekonomik davranışlara göre homojen olarak bölünmüştür. Parametrelere karşılık veriler her bir parça için vektörel olarak CBS ortamında işlenmiştir.
EUROSION veritabanı	EUROSION projesi: Avrupa Komisyonu için kıyı alanlarında yapılacak durum ve tepki analizleri dorultusunda Ab kıyılarında yaşanan kıyı erozyonu sorunu ile ilgili politika ve yönetim çözüm önerileri geliştirmek	 ©EEA2008 Romanya, Bulgaristan ve Kıbrıs kıyı alanlarının %20'si taranmıştır.	Jeomorfoloji Dalga iklimi Gelgit iklimi Deniz Seviyesi Yükselmesi tahminleri Kum Bütçesi Kıyı yapıları Arazi Kullanımı (CORINE land cover) Kıyı çizgi değişimi	Kıyı çizgisi için yapılan ölçümler 10kmlık kıyı alanı için vektörel olarak CBS ortamında tanımlanmıştır. Hollanda gibi baskınlara açık olan alanlar için ise belirli bir yükseklik belirlenmiş ve bu yüksekliğe kadar olan alan kıyı şeridi olarak tanımlanmıştır.

WISE veritabanı	WISE (Water Information System for EU) AB Su Bilgi Sistemi http://water.europa.eu/	 Ölçek: 1:1 000 000	Vektörel olarak ırmaklar ve göller	Avrupa kıtasındaki ırmaklar ve göller CBS sisteminde vektörel olarak verilmiştir. Irmaklarla ilgili oluşturulacak veritabanı için altlık olarak kullanılacaktır. Veritabanındaki ırmaklar 50000km ² 'den daha büyük havza alanları olan ırmaklardan oluşmaktadır.
Waterbase veritabanı	EUROWATERNET	 ©EEA2009	Temel olarak yer altı ve yer üstü su kaynaklarının kalitesi ile ilgili parametreler Ölçüm istasyon verileri: ırmak debisi, derinlik Arazi kullanımı Su kullanım miktarı ve sektörler	Tablo olarak verilmiştir. WISE veritabanı ile birlikte kullanılacaktır.
WWDII veritabanı	World Water Development Assessment – Dünya Su Kaynakları Gelişimi Değerlendirmesi http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/	Küresel (farklı parametreler için değişmekte)	Irmak Debisi Barajlar ve rezervuarlar (kapasite, rejimdeki değişiklikler vb.) Tarım alanında su kullanımı Barajlarda tutulan kum miktarı	Tablo olarak verilmiştir. İstasyonlar ve baraj bilgileri enlem-boylamlarına göre CBS ortamında veritabanına aktarılacaktır.

AB Yeraltı su kaynakları haritası	Groundwater resources of the European Community: Synthetical Report. – AB'nin yeraltı su kaynakları Raporu (1982) Dijital olarak işlenmiş hali için referans: "A Digital Dataset of European Groundwater Resources at 1:500,000. (v. 1.0), data from a project by the European Crop Protection Association, based on data originating from a study performed by the European Commission (1982 , EUR 7940 EN)"		Akiferler, tipleri ve kapladığı alanlar Hidrolojik özellikleri: su tablası yüksekliği, akım yönü, tuzluluk alanları Su kullanımı ve sektörleri	Vektörel olarak CBS tabanında verilmiştir.
Whymap veritabanı	WHYMAP projesi (whymap.org)	Küresel ve ülke bazında	Küresel yeraltı su kaynakları özellikleri haritaları Ülkelerin hidro-jeolojik yapı haritaları	Haritalar, basılı haritalardan taranarak resim olarak bulunmakta. Kullanılması düşünülenlerin sayısallaştırılarak CBS ortamına aktarılması gerekmektedir.
GEMS/GLORI veritabanı		Küresel	Irmak debisi, taşınan kum miktarı, kimyasal özellikleri	Basılı olarak bulunan bilgiler CBS ortamında eşleştirilerek eklenecektir.
RivDIS veritabanı	Vörösmarty, C.J., B. Fekete, and B.A. Tucker. 1998. River Discharge Database, Version 1.1 (RivDIS v1.0 supplement). Available through the Institute for the Study of Earth, Oceans, and Space / University of New Hampshire, Durham NH (USA) at http://pyramid.unh.edu/csrc/hydro/ .	Avrupa	Irmak debisi (yillik ve aylık olarak)	Basılı olarak bulunan bilgiler CBS ortamında eşleştirilerek eklenecektir. (158 ırmak için)

Tablo 4-6de ise modelde kullanılan parametreler için bulunan veri özellikleri özetlenmiştir.

Tablo 4-6 Model parametre veri özellikleri

Parametre	Veritabanı	Özellikler
FİZİKSEL ETKİ PARAMETRELERİ		
Deniz Seviyesi Yükselme Hızı	EUROSION veritabanı	Deniz seviyesi yükselme tahminleri mm/yıl
Jeomorfoloji	EUROSION veritabanı DIVA veritabanı	Kıyı erozyonu için morfo-sedimentolojik kodlama McGill(1958) Dünya'daki kıyı jeomorfolojik oluşumları
Kıyı eğimi	DIVA veritabanı	Derece
Dalga iklimi (belirgin dalga yüksekliği)	EUROSION veritabanı DIVA veritabanı	17 yıllık veriye dayalı (m) LOICZ sınıflandırmasına göre
Kum bütçesi	EUROSION veritabanı DIVA veritabanı	Kıyı erozyonu evrim trendi Bruun Kuralı faktörü (kıyıdaکی erozyon yaşanma oranı)
Gelgit aralığı	EUROSION veritabanı DIVA veritabanı	17 yıllık veriye dayalı (m) LOICZ sınıflandırmasına göre
Kıyıya yakınlık (yeraltı suyu)	AB Yeraltı su kaynakları haritası	CBS sisteminden hesaplanacaktır.
Akifer Tipi	AB Yeraltı su kaynakları haritası	Serbest, basınçlı ve kısmi basınçlı (leaky) akifer
Hidrolik Kondüktivite	AB Yeraltı su kaynakları haritası	Tane çapı ile orantılı olduğundan dolayı kullanılacak harita katmanı ile orantılı olarak hazırlanacak
Yeraltı suyu derinliği (deniz seviyesinden)	AB Yeraltı su kaynakları haritası	Yeraltı suyu derinliği (deniz seviyesinden)
Nehir ağzı su derinliği	DIVA veritabanı WWDII veritabanı Waterbase veritabanı	Su derinliği (m)
Akım	DIVA veritabanı WWDII veritabanı Waterbase veritabanı	Yıllık ya da ortalama (m ³ /s)
Fırtına kabarma yüksekliği	DIVA veritabanı	1,10,100 ve 1000 yıllık yinleme dönemi için Gözlenen en yüksek kabarma miktarı
İNSAN ETKİSİ PARAMETRELERİ		
Kum Taşınım Azalması	WWDII veritabanı	Taşınan sediman miktarı (barajdan önce ve sonra)

	EUROSION veritabanı GLORI veritabanı	
Irmak rejimi düzenlemesi	WWDII veritabanı EUROSION veritabanı GLORI veritabanı	Debi, ırmak üzerindeki barajların oranı ve besleyen kollar üzerindeki rezervuar sayılarının birleşimi
Kıyı yapıları yoğunluğu	EUROSION veritabanı	Limanlar, kıyı koruma yapıları ile kıyı çizgi uzunluğu CBS ortamında oranlanacaktır.
Doğal koruma yapıları bozunması	EUROSION veritabanı	CORINE arazi örtüsü 1975 ile 2000 yılları arasında CBS tabanlı karşılaştırma yapılarak kullanılacaktır.
Kıyı koruma yapıları	EUROSION veritabanı	Kıyı koruma yapıları
Arazi Kullanımı	EUROSION veritabanı DIVA veritabanı Whymap veritabanı	Arazi Kullanımı
Yeraltı su kaynakları kullanımı	Whymap veritabanı AB Yeraltı su kaynakları haritası	Genel kuyulardan çekim miktarları ile özellikle tarım amaçlı kullanım oranları

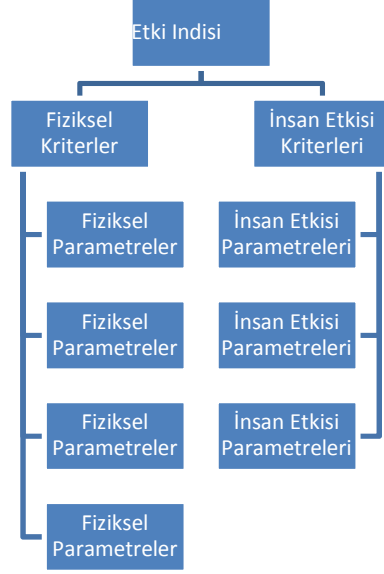
4.2.3 Parametre Ağırlıkları – Ahp ile Uzman Deneyiminin Modele Entegre Edilmesi

Modelin çatısının kurulması ile parametre ağırlıklarının tartışılması ve modelin bulanık mantık sistemiyle yeniden tanımlanmasına başlanmıştır. Öncelikli olarak parametre ağırlıklarının belirlenmesi için proje başvurusunda da belirtilmiş olan analitik hiyerarşi süreci konusu yoğun bir şekilde araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Analitik hiyerarşi süreci (AHS); karar vericilerin karmaşık problemleri, problemin ana hedefi, kriterleri, alt kriterleri ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi hem objektif hem de sübjektif düşünceler doğrultusunda gösteren, hiyerarşik yapıda modellemeye olanak sağlaması nedeniyle özellikle insan etkisi parametreleri ile fiziksel etkilerin entegre edilme sürecinin karmaşıklığının belirli bir hiyerarşi de ortaya konması (ağırlıkların belirlenmesi) için doğru seçilmiş bir yöntemdir.

2. AHS'nin teorik altyapısı 3 aksiyoma dayanır. İki iki taraflı olma aksiyomudur. Karşılaştırılan iki elemandan A, B'den 3 kat büyükse; B, A'nın 1/3'ü dür. İkincisi, homojenlik aksiyomudur. Karşılaştırılan elemanların(seçeneklerin) birbirinden çok farklı olmaması gerekmektedir. Üçüncüsü ise bağımsız olma aksiyomudur. Belirli bir kademedeki elemanlara ilişkin yargıların veya önceliklerin başka bir kademedeki elemanlardan bağımsız olması gerekmektedir.

3. AHS uygulaması için öncelikle temel 3 aksiyomu sağlayacak şekilde hiyerarşinin oluşturulması gerekmektedir. Ana modelin hedefinin kıyı alanının kırılganlığının hem etkiler bazında hem de toplamda incelenmesi olduğu göz önüne alınarak, ana modelin beş alt model üzerine kurulmasına karar verilmiştir. Bu nedenle hem her alt sistem için hem de ana model için AHS uygulanacaktır. Bu noktada hiyerarşi yapıları alt sistemler için aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 4.1 Etki hiyerarşi yapı şeması

Ana Model için ise Ana model hiyerarşi yapısı **Şekil 4.2** 'de görülen bir hiyerarşi yapısı oluşturulmuştur.



Şekil 4.2 Ana model hiyerarşi yapısı

Analitik hiyerarşi süreci kullanılan karar verme uygulamalarında hiyerarşiye farklı kararların/seçeneklerin bulunduğu bir aşama daha eklenmektedir. Ancak Kırılganlık Modeli için AHS yalnızca parametrelerin ve etkilerin kırılganlık indisleri üzerindeki etkilerini ortaya koymak amacıyla kullanıldığından bu son aşama hiyerarşilerde gösterilmemiştir.

4. Karşılaştırmalı yargılar ya da ikili karşılaştırmalar AHS uygulamalarının ikinci adımını oluşturmaktadır. İkili karşılaştırma, iki faktörün ya da kriterin üst kademedeki elemana göre önemlerinin belirlenmesi için birbirleriyle karşılaştırılması anlamına gelir ve karar vericinin yargısına dayanır. Bu karşılaştırmalar matrisler şeklinde düzenlenir. İkili karşılaştırma yargılarının oluşturulmasında **Tablo 4-7**'de gösterilen 1-9 puanlı tercih ölçeğinden faydalanılır.

Tablo 4-7 AHS ikili karşılaştırma yargı puan sistemi

Önem Derecesi	Tanırın
1	Eşit önemli
3	Birinin diğerine göre çok az önemli olması
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli düzeyde önemli
9	Aşırı derecede önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Bu ölçeğin etkinliği farklı uygulamalar ve başka ölçeklerle yapılan karşılaştırmalar sonucunda saptanmıştır. (Saaty, 1980) Seçeneklerin bir kritere göre ikili karşılaştırılmaları sonucu elde edilen görece önemleri seçeneklerin o kritere göre performans değeri olup, kriterlerin amaca göre ikili karşılaştırılmaları sonucu elde edilen görece önem değerleri ise kriterlerin ağırlığını vermektedir. Modelin nihai sonucu farklı kıyı alanlarını kırılmalıklarına göre karşılaştırmak olsa da, AHS analizi yapılmasındaki temel hedef parametre ağırlıklarının hesaplanması olduğundan dolayı, model için kurulan AHS hiyerarşilerinde seçenekler ve performans değerlerine yer verilmemiştir.

Ağırlıkların hesaplanması için kriterler (modelde parametreler) arası ikili karşılaştırmalar yapılırken ilgili kişilerle anket yapıp, görüşlerinin alınması önerilmektedir. Ayrıca görüşülecek kişiler konunun uzmanı olmasa bile en azından konuyu bilen ya da aşına olan kişiler olmalıdır. Bu bilgiler doğrultusunda modelde kullanılacak AHS hiyerarşileri için ikili karşılaştırma matrisleri kurulmuş olup, gerekli görüşlerin alınması için fiziksel etkilerle ilgili çalışan kişilere sunulmak üzere bir anket hazırlanmıştır. Anket uygulanacak kişiler öncelikle bu konularda çalışmalar yapan uzman araştırmacılar olarak belirlenmiştir. Böylece model çıktılarının asıl uygulayıcıları olan kişilerin özellikle kırılmalık indisi için kurulan AHS hiyerarşisi için önceliklerinin öğrenilmesi, toplam kırılmalık indisinin uyum sağlama sürecindeki etkinliğini arttıracaktır.

5. İkili karşılaştırma matrisleri kurulduktan sonra sıra karşılaştırılan her elemanın önceliğinin (görece öneminin) hesaplanması "sentezlerine" olarak anılır. Sentez aşaması, en büyük özdeğer ve bu özdeğere karşılık gelen özvektörün hesaplanmasını ve normalize edilmesini içermektedir. Sentez sonucunda her bir parametre için ağırlık değerleri tanımlanır. Model için ağırlık değerleri anket sonuçları değerlendirilerek ve her bir uzmandan alınan karşılaştırma matrislerinin

geometrik ortalamaları alınarak ortaya konmuş ve bu değerler "default" değerler olarak bulanık mantık sistemine işlenmiştir. Ayrıca modeli kullanacak kişiler modele kendi yargıları doğrultusunda farklı ağırlıklar da atayabileceklerdir. Bu şekilde hem uzman kişilerin yargılan hem de kişisel öncelikleri arasında da karşılaştırmalar yapabilecekler, bu karşılaştırma uyum sağlama çalışmaları için daha etkin ve verimli karar verme ortamı sağlayacaktır.

6. İkili karşılaştırma sürecinde karar verici tarafından formüle edilen yargıların tutarlı olması nihai kararın kalitesi bakımından önemli bir konudur. Ancak uygulamalarda tam anlamıyla tutarlı olmak neredeyse imkânsızdır. AHS, düşünce ve yargıda tutarlılığı göz önünde bulundurmaya gerektirir fakat tercihler arasında tutarlılık bir ölçüde ihlal edilebilir:

o İkili karşılaştırmalar sırasında geçişgenlik olmayabilir: Mesela A, B'ye göre ve B, C'ye göre daha fazla tercih edilirken C'yi A'ya tercih edebilir.

o Tercihlerin yoğunluğuna ilişkin sayısal tutarsızlık olabilir. A B'ye göre 3 kez, B ise C'ye göre 2 kez tercih edilirken; A C'ye göre 6 kez daha fazla tercih edilmeyebilir.

Bu nedenlerden dolayı AHS'de tutarsızlığa izin verilmekte ancak bu tutarsızlığın her yagılamada ölçümünü de sağlamaktadır. İkili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını ölçmek için Saaty tarafından önerilen bir tutarlılık oranı(consistency ratio) kullanılmaktadır. Bu oran için üst limin Saaty tarafından 0.1 olarak önerilmiştir. Yargılar için hesaplanan oran 0.1'in altında olduğu sürece sistemin tutarlılığı sağlanmış kabul edilir ve değerlendirmenin devam edebileceği öngörülür. Eğer oran 0.1'in üzerinde çıkar ise yargılar arasında tutarsızlık olduğu kabul edilir ve yargıların kalitesinin iyileştirilmesi gereği ortaya çıkar. Tutarlılık oranı yargıların yeniden gözden geçirilmesi ile düşürülebilir. Eğer bu yeterli olmaz ise hiyerarşi yapısının incelenmesi ve sürecin baştan alınması gerekir. Model için yapılacak bütün ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları da hesaplanmış ve her matrisin altında CR olarak nitelendirilmiştir.

Bu puanlama sistemi ve ikili karşılaştırma yapısı, hiyerarşik sistemle birleştirilmiş ve internet üzerinde bir anket hazırlanmıştır. Anket İngiltere, Portekiz, Avustralya, ABD, Brezilya ve Türkiye başta olmak üzere çeşitli ülkelerdeki uzmanlara gönderilmiş ve sonuçlar birleştirilerek, AHS yöntemiyle parametre ağırlıkları hesaplanmıştır.

Birden fazla uzman karşılaştırması olduğu için bütün cevaplar geometrik ortalama yöntemi ile birleştirilmiş ve matris haline getirilmiştir. Her bir etki için oluşturulan AHS matrisleri, hesaplanan ağırlıklar ve tutarlılık indisleri (CR) aşağıda verilmiştir. AHS sonuçlarının geçerli olmasının koşulu matrislerin tutarlılık indislerinin hesaplanması ve çıkan sonucun %10'dan düşük olmasıdır. Tüm matrisler için bu koşul sağlanmış olup, ağırlıklar bulanık mantık yöntemiyle uygulanacak olan kırılmalı analizi modelinde kullanılacaktır.

Tablo 4-8 Su basması için AHP sonuçları

Su Basması	Deniz Seviyesi	Eğim	Gelgit	Ağırlık
Deniz Seviyesi	1.00	0.57	2.62	0.35
Eğim	1.76	1.00	2.01	0.47
Gelgit	0.38	0.50	1.00	0.18

CR 0.05

	Ağırlık
Doğal koruma	0.63
Kıyı koruma yapıları	0.36

Tablo 4-9 Fırtına kabarması için AHP sonuçları

Fırtına Kabarması	Deniz Seviyesi	Eğim	Kabarma yüksekliği	Gelgit	Ağırlık
Deniz Seviyesi	1.000	0.517	0.172	0.359	0.08
Eğim	1.934	1.000	0.266	1.565	0.18
Kabarma yüksekliği	5.803	3.761	1.000	3.637	0.57
Gelgit	2.783	0.639	0.275	1.000	0.16

CR 0.029

Fırtına Kabarması	Kıyı Yapıları	Doğal koruma	Kıyı koruma yapıları	Ağırlık
Kıyı Yapıları	1.00	0.65	1.73	0.32
Doğal koruma	1.53	1.00	2.43	0.48
Kıyı koruma yapıları	0.58	0.41	1.00	0.19

CR 0.00

Tablo 4-10 Irmak Tuzlanması için AHP sonuçları

Irmak	Deniz Seviyesi	Gelgit	Derinlik	Akım	Ağırlık
Deniz Seviyesi	1.00	1.71	0.30	0.30	0.13
Gelgit	0.58	1.00	0.25	0.23	0.09
Derinlik	3.30	4.00	1.00	0.58	0.34
Akım	3.30	4.31	1.71	1.00	0.45

CR 0.016

Irmak	Irmak Yapıları	Kıyı Yapıları	Arazi Kullanımı	Ağırlık
Irmak Yapıları	1.00	4.31	5.65	0.71
Kıyı Yapıları	0.23	1.00	0.87	0.14
Arazi Kullanımı	0.18	1.14	1.00	0.14

CR 0.016

Tablo 4-11 Kıyı erozyonu için AHP sonuçları

Erozyon	Deniz Seviyesi	Jeomorfoloji	Eğim	Dalga	Kum Bütçesi	Gelgit	Ağırlık
Deniz Seviyesi	1.000	0.455	0.779	0.570	0.309	0.830	0.09
Jeomorfoloji	2.196	1.000	1.866	0.789	0.511	1.914	0.17
Eğim	1.283	0.536	1.000	0.554	0.291	1.701	0.11
Dalga	1.755	1.268	1.804	1.000	0.427	2.246	0.18
Kum Bütçesi	3.240	1.958	3.442	2.340	1.000	5.284	0.37
Gelgit	1.205	0.523	0.588	0.445	0.189	1.000	0.08
CR							0.01

Erozyon	Kum Azalması	Irmak Yapıları	Kıyı Yapıları	Doğal Koruma	Kıyı Koruma	Ağırlık
Kum Azalması	1.000	3.584	1.677	3.140	2.865	0.40
Irmak Yapıları	0.279	1.000	0.693	1.004	0.919	0.13
Kıyı Yapıları	0.596	1.443	1.000	1.707	1.091	0.20
Doğal Koruma	0.318	0.996	0.586	1.000	0.799	0.12
Kıyı Koruma	0.349	1.088	0.917	1.251	1.000	0.15
CR						0.005

Tablo 4-12 Yer altı su kaynaklarının tuzlanması için AHP sonuçları

Yeraltı suyu	Deniz Seviyesi	Uzaklık	Akifer tipi	Konduktivite	Derinlik	Ağırlık
Deniz Seviyesi	1.000	0.378	0.126	0.250	0.158	0.04
Uzaklık	2.646	1.000	0.134	1.732	0.447	0.09
Akifer tipi	7.937	7.483	1.000	7.937	4.899	0.60
Konduktivite	4.000	0.577	0.126	1.000	0.316	0.08
derinlik	6.325	2.236	0.204	3.162	1.000	0.19
CR						0.06

	Ağırlık
Su kullanımı	0.7
Arazi kullanımı	0.3

Tablo 4-8 - Tablo 4-12'de verilen sonuçlar incelendiğinde, her bir etki için hem fiziksel parametreler hem de insan etkisi parametrelerinin ağırlıkları literatürle uyumlu sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. Ancak ağırlıklara bakılarak yapılabilecek yorumlardan en önemlisi deniz seviyesi yükselmesinin uzman tarafından genellikle ikincil bir sorun olarak görüldüğüdür. Ancak kıyı ile ilgili yapılacak her türlü planlama çalışmasında da bu sorunun ele alınması gerektiği de yine ağırlıklarla ortaya konmuştur.

Bir başka önemli sonuç, insan etkisi parametre ağırlıklarının uzmanlarca göreceli olarak değerlendirilmesi olmuştur. Çoğunlukla birbirinden bağımsız ve fiziksel parametrelerle bir arada değerlendirilmeyen bu parametreler ile ilgili ağırlık çalışması, modelin kıyı sistemini daha tutarlı bir şekilde yansıtmasına olanak sağlamaktadır.

Fiziksel parametreler ile insan etkisi parametreleri grup olarak karşılaştırıldığında ise görülmektedir ki, su basması, fırtına kabarması ve erozyon için fiziksel özellikler belirleyici olurken, ırmak ve yer altı sularında tuzlanma konusunda insan aktiviteleri çok daha baskın durumdadır.

Ayrıca uzmanlara fiziksel etkiler içinde ikili karşılaştırmalar yaptırılmıştır. Bir çok uzmanın da söylediği üzere etkiler için belirlenecek ağırlıklar çalışma yapılan yöreye özgü olmalıdır. Ancak genele bakıldığında ağırlıklardan da görüleceği üzere önemli sorunlar hali hazırda gözlenmekte olan ve deniz seviyesi yükselmesinden bağımsız da yaşanan sorunlardır, kıyı erozyonu gibi. Deniz seviyesine bağlı toprak kaybı ise son sırada gelmektedir. Bu durumun nedeni gerçekleşme süresinin oldukça uzun ve gerçekleşme hızının yavaş kalmasıdır. Böylece “çözüm için daha vakit vardır” anlayışı ortaya konmaktadır.

Tablo 4-13 Fiziksel etkiler için AHP sonuçları

Etkiler	Erozyon	Su baskını	Fırtına Kabarması	Yeraltı suyu	Irmak	Ağırlık
Erozyon	1.000	3.238	2.182	2.449	1.602	0.36
Su baskını	0.309	1.000	0.702	0.794	1.020	0.13
Fırtına Kabarması	0.458	1.424	1.000	1.145	1.070	0.18
Yeraltı suyu	0.408	1.260	0.874	1.000	1.070	0.16
Irmak	0.624	0.981	0.935	0.935	1.000	0.17
					CR	0.01

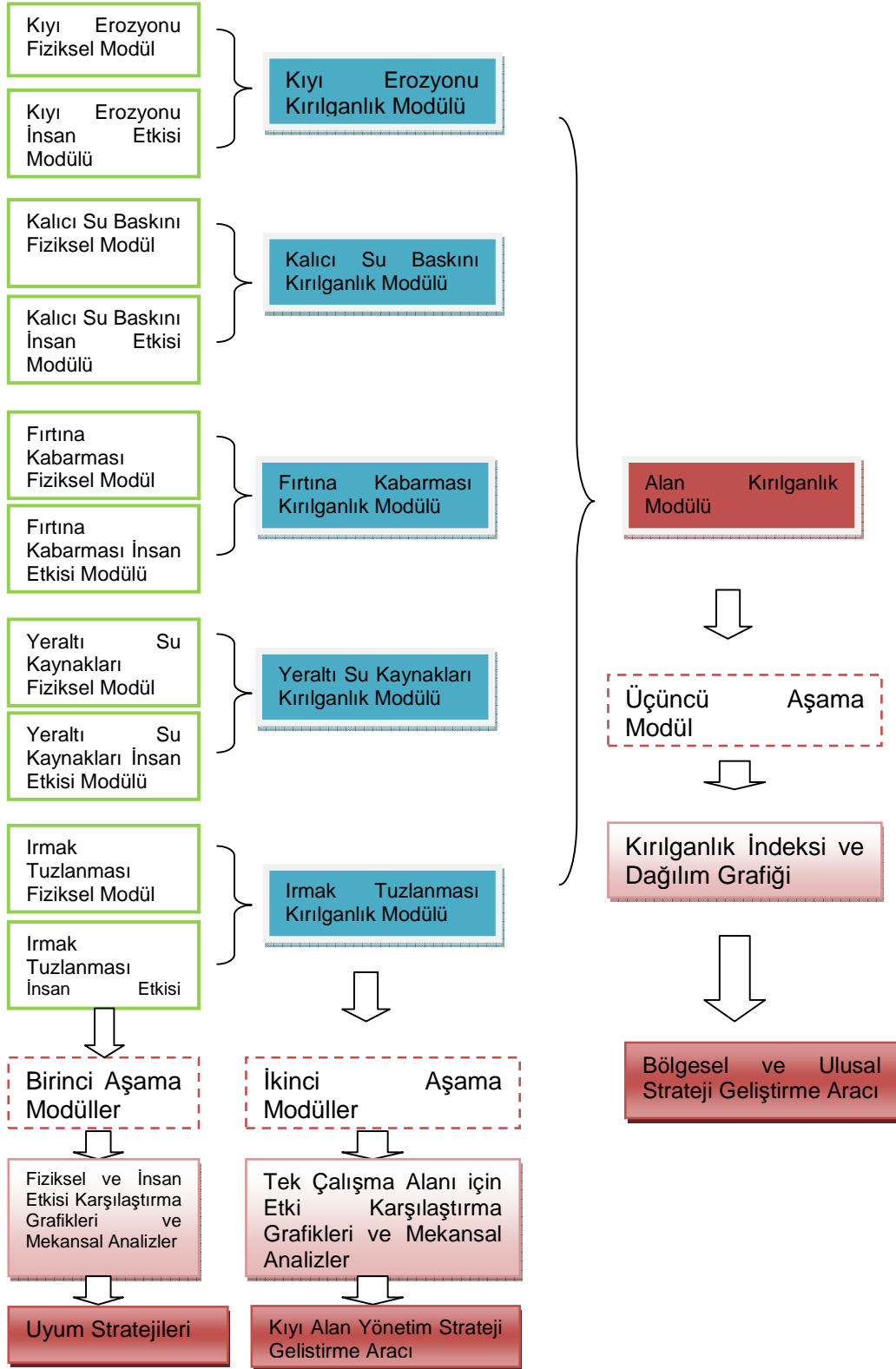
Hazırlanan ve gönderilen anket soruları (İngilizce) raporun ekinde verilmiştir.

4.2.4 Model Altyapısı – Bulanık Mantık Yöntemi

Karar vericiler hangi şartlarda ve boyutlarda karar verirlerse versinler, bir belirsizlik ortamı içinde bu işlevlerinin yerine getirmek zorundadırlar. Verilen kararların doğruluğu ise, söz konusu belirsizliğin riske dönüştürülebildiği ölçüde sağlanacaktır. İklim değişikliği ve deniz seviyesi yükselmesinin etkilerinin kıyı alanlarında tetiklediği ya da hızlandırdığı fiziksel süreçlerin matematik modelleri bulunmaktadır. Ancak bu modeller de, parametreler de, modeller için yapılan ölçümlerde de belirsizlikler bulunmaktadır. Aynı zamanda kırılmanlık kavramı yoğunluk az - çok ölçeğinde yapılmakta ve ne kırılmanlık terimi ne de az-çok terimlerinin tanım aralıkları kesin bir formülle tanımlanabilmiştir. Bütün bu belirsizlikler, kırılmanlık modelinin alt yapısının bulanık mantık yöntemine oturtulması ile azaltılabilir. Bulanık mantık günümüzde kontrol sistemi olarak yoğunlukta kullanılmaktadır. Bulanık kontrol sistemleri (fuzzy control systems), ölçüm destekli bir veya birden fazla girdi ile yine ölçüm destekli bir çıktı ve her ikisini birbirine bağlayan kurallardan oluşmaktadır. Kırılmanlık, sayısal veri olarak ölçülemeyen bir parametre olduğu için bir çok çalışma ve uygulamada kullanılan bulanık kontrol sistemleri kırılmanlık modeli için uygun değildir. Kontrol sistemleri dışında çevre bilimleri çalışmaları için kullanılan yoğunlukla

uzman görüşlerine dayalı bulanık uzman sistemleri (fuzzy expert systems) ölçümlere dayalı girdi ve çıktı olmadan kurulan bulanık mantık sistemleri olduğundan kırılabilirlik modelinde kullanılmasına karar verilmiştir.

Kırılabilirlik modeli (etkilenebilirlik modeli) için temel alınan bulanık mantık yöntemi özellikle sayısal olarak net bir şekilde ifade edilemeyen parametreleri kullanarak oluşturulan sistemler için uygulanmaktadır (Zadeh, 1960). Parametrelerin çeşitli aralıklarla sınıflar olarak tanımlandığı sistemlerde hem belirsizlik katsayısını hem de sübjektiviteyi en aza indirmek için kullanılan bulanık mantık yöntemi, kırılabilirlik teriminin nümerik bir model tarafından tanımlanamaması ve de çok farklı parametrelerden oluşması nedeniyle bu modelde kullanılmaktadır. Kırılabilirlik her ne kadar tanım olarak netleşmişse de, bir sistemin kırılabilirliğini belirleyen parametreler ile bu parametreleri sınıflandırmak için kullanılan limitler ve de sistemin kırılabilirlik derecesini belirleyen kıstaslar kesin olarak ortaya konamamaktadır. Bir sistemin kırılabilirliği derecelendirilirken kullanılan ölçek çok, az ya da orta derece kırılabilirlik olmaktadır. Sözel terimlerin derece olarak kullanılması da araştırmacılara bağlı olarak uzman sübjektivitesini zorunlu kılmaktadır. Ancak özellikle bölgesel ya da ulusal planlamada birden fazla farklı bölgeyi kapsayan çalışmalarda kişilere bağlı değerlendirmelerin nesnellliğini sağlamak gereklidir. Kırılabilirlik modelinin amaçları hem tek bir kırılabilirlik indisine ulaşmak, hem de fiziksel etkileri için kırılabilirlik indisleri hesaplayarak öncelikleri belirlemektir. Bu nedenle tek bir bulanık mantık sistemi değil, hem her bir fiziksel etki için hem de genel kırılabilirlik indisi için olmak üzere toplam 6 sistem kurulmuştur. Fiziksel etki sistemleri için parametrelere ait üyelik fonksiyonları ve kurallar tanımlanmış, çıktı olan kırılabilirlik indisleri durulaştırılarak tek bir sayıya (etki indisleri) dönüştürülmüştür. Durulaştırılmadan bulanık aritmetik kullanılarak etki sistemlerinin çıktıları toplanmış, toplanan bu sonuç durulaştırılıp genel kırılabilirlik indisi olarak tanımlanmıştır. Bu projede kırılabilirlik parametresinin derecelendirmesini belirli bir nesnelliğe yansıtmak ve modelleri bu nesnel çerçevede oluşturmak amacıyla bulanık mantık yöntemi kullanılmış ve model hem insan hem de fiziksel parametreler kullanılarak **Şekil 4.3**'de verilen akış şemasını izleyecek şekilde oluşturulmuştur.

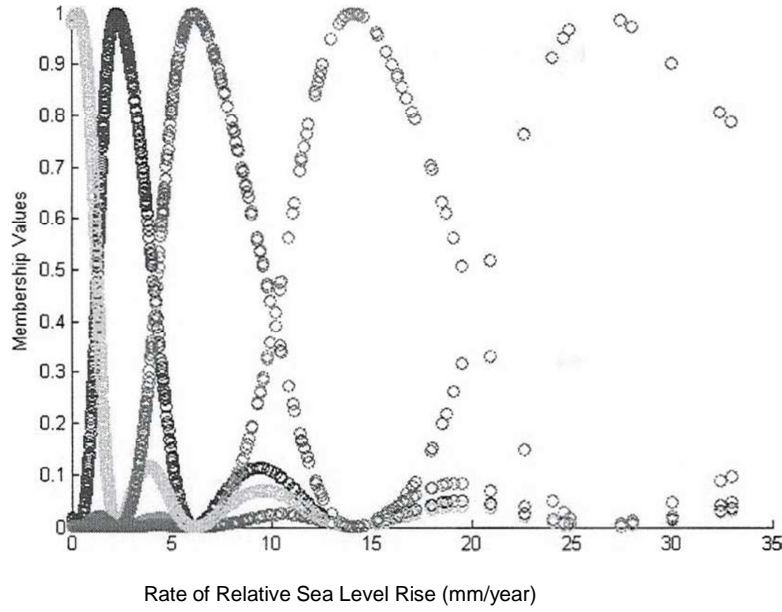


Şekil 4.3 Kırılğanlık Model Modülleri, uygulama aşamaları, sonuçlar ve kullanım önerileri

4.2.4.1 Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonlarının seçimi bulanık mantık sistemlerinin başarısı için en önemli adımlardan biridir. Sistemi tanımlayan parametrelerin üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasında çeşitli fonksiyonlar ve yöntemler uygulanmaktadır. Bunların arasında yapay sinir ağları, genetik algoritmalar ve uzman görüşü en çok kullanılan yöntemlerdir. En uygun fonksiyon deneme yöntemiyle bulunsa da eğer girdi ve çıktı parametreleri için ölçülen değerler varsa en çok kullanılan yöntem yapay sinir ağları destekli bulanık mantık yöntemidir. Yapay sinir ağları uygulamaları girdi ve çıktısı ölçülmüş örnek bir çalışma kümesi kullanarak sistemi eğitir ve üyelik fonksiyonlarını oluşturur. Ancak önceki maddelerde bahsedildiği üzere kırılma modelinde ölçülen bir çıktı (kırılma parametresi) yoktur. Bu nedenle yapay sinir ağları ya da bir başka deyişle eğitilebilen yöntemler kırılma modeli için kullanılamaz. Eğitilmeden veri kullanarak üyelik fonksiyonlarını oluşturabilecek yöntemler arasında genetik algoritma verilebilir ancak bu yöntem karmaşıklığı nedeni ile temelde anlaşılabilir fiziksel etki süreçleri konusunda belirli uzmanlığa sahip kişilerin kullanabileceği bir model için uygun değildir. Bu aşamada MATLAB programında tanımlı olan bulanık kümeleme ortalaması (fuzzy cluster-means) algoritması kullanılmaya karar verilmiştir. Bu algoritma geniş bir veri setini kullanarak uzman tarafından belirlenen sınıf sayısına göre önce istatistiksel olarak beş merkez nokta seçer, sonra da geri kalan verileri bu merkezlerine olan uzaklıklarına göre üyelik değerleri vererek gruplar (Medasani, 1998). Üyelik değerleri 0-1 arasında değişen değerlerdir ve "1" merkez noktayı gösterirken, "0" gruba ait olmamayı ifade eder. Sayısal olarak tanımlanamayan parametreler ise uzman görüşü ve literatür taramaları sonucunda sınıflandırılmıştır. Sayısal olarak tanımlı parametreler oluşturulan geniş veri tabanı kullanılarak algoritma ile MATLAB ortamında analiz edilerek gruplandırılmıştır. Oluşturulan üyelik fonksiyonlarından deniz seviyesi yükselmesi örnek olarak **Şekil 4.4'**de verilmiştir.

Deniz seviyesi yükselmesi için oluşturulan merkez noktaları 1.0, 3.0, 6.5, 14.0 and 26.5 mm/yıl olarak algoritma tarafından hesaplanmıştır. Negatif değerler kara alanında yükselmeyi gösterdiği için bu değerler otomatik olarak en düşük seviye kırılma gösterecek olup, sınıflandırma algoritmasına katılmamıştır.



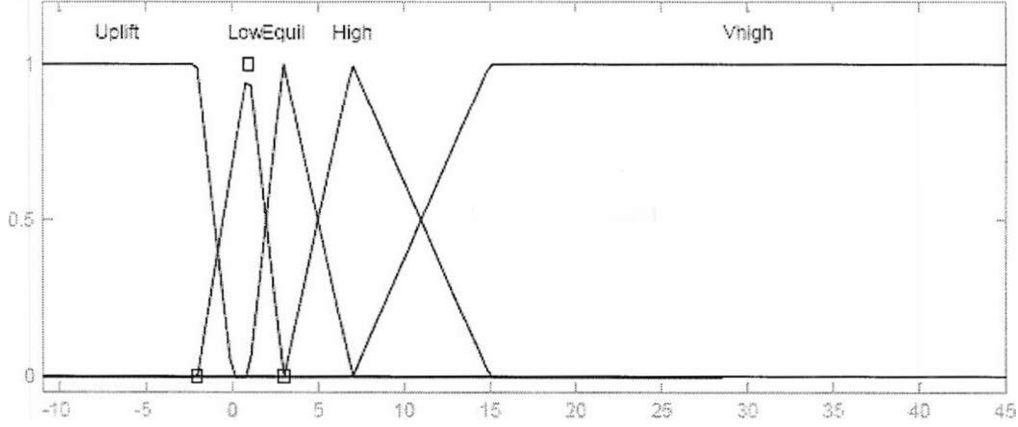
Şekil 4.4 Deniz seviyesi yükselme hızının Fuzzy C-Means algoritması ile sınıflandırılması

Algoritma ile elde edilen değerler üçgen ve trapezoid üyelik fonksiyonları olarak yeniden düzenlenmiş ve ön model sınıflandırma sistemi ile karşılaştırılarak, uzman görüşleri ile son halini almıştır (**Tablo 4-14**).

Tablo 4-14 Analiz sonuçları ve üyelik fonksiyonları karşılaştırması

Üyelik Fonksiyon Şekli	FCM sonuçları	Ön model sınıflandırması	Nihai üyelik fonksiyonları
Trapezoid	[-10-8 0 1]	<1	[-18 -11 -1 0]
Üçgen	[1 3 6.5]	1-2	[-1 3]
üçgen	[3 6.5 14]	2-5	[13 6]
Üçgen	[6.5 14 26.5]	5-7	[3 6 15]
Trapezoid	[14 26.5 35 45]	>7	[7 15 25 40]

Keskinleştirilen üyelik fonksiyonları MATLAB ortamında grafiksel olarak verilmiştir (**Şekil 4.5**).



Şekil 4.5 Deniz Seviyesi Yükselme Hızı üyelik fonksiyonları

Jeomorfoloji parametresinin sınıflandırılması ise sayısal olmayan parametrelere örnek olarak sunulmuştur. Jeomorfolojik yapı kıyı alanlarında bir çok farklı sınıftan oluşmaktadır. Bu sınıfların her birinin deniz seviyesi yükselmesine vereceği tepki hakkında literatürde genel olarak bilgi bulunmaktadır. Özellikle jeomorfolojik yapının deniz seviyesi yükselmesine olacağı aşınma tepkisi incelenerek, beş ana grup oluşturulmuştur.

Grup 1: Kayalık yüksek falezler ve fiyordlar = 1

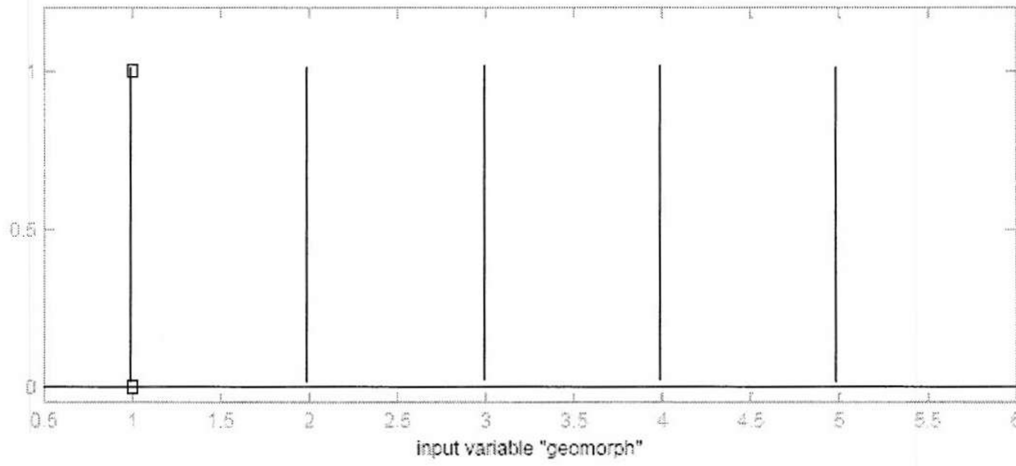
Grup 2: Orta yükseklikte yamaçlar ve girintili kıyılar = 2

Grup 3: Alçak yamaçlar, buzul vadileri ve alüvyal platolar = 3

Grup 4: Çakıl plajlar, haliçler ve lagünler = 4

Grup 5: Bariyer plajları, kumsallar, bataklıklar, deltalar, mangrovlar ve resifler = 5

Sözel olan parametrenin sistemde kullanılması için sayısal bir karşılık atanması gerekmektedir. Bu da her bir gruba bir sayı atanarak sağlanmıştır. Ancak bu sayılar hiçbir şekilde rakamsal değer ifade etmemektedir. Bir alanın jeomorfolojisi kesin olarak bilindiği için, gruba aidiyeti de kesindir ve bu nedenle üyelik fonksiyonu ise her bir grup için "1"dir (**Şekil 4.6**).



Şekil 4.6 Jeomorfoloji için üyelik fonksiyonları

4.2.4.2 Bulanık Mantık Sistem Kuralları

Bulanık mantık sistemi ile amaç nümerik modelleme yöntemleri kullanılmayan sistemlerin modellenmesi için kullanılan bir modeldir. Sistemi oluşturan girdilerin, belirli kurallar çerçevesinde çıktıya bağlar. Bulanık mantık yönteminin bir sistemi doğru yansıtması için en önemli koşul bu kuralların doğru olarak tanımlanabilmesidir. Temelde her bir girdi parametresi sınıfının çıktı sınıflarına kurallar ile bağlanması gerekmektedir. Hatta birebir değil, parametre kombinasyonlarının da dikkate alınması önemlidir. Ancak bütün bunlar kural sayısının aşırı miktarda artmasına neden olup, analizin etkinliğini oldukça azaltmaktadır. Önemli olan sistemi yansıtan optimum kural sayısını kullanmaktır. Bu da sistemi iyi tanıyan uzmanların deneyimi ile başarılabilir. Hem literatürdeki çalışmaları hem de kıyı alanları konusundaki uzman proje grubunun deneyimi ile kıyı alanları kırılma modeli için gerekli olan kurallar dizisi hazırlanmıştır. (Abraham, 2005; Afshar, 2007; Dorsey, 2003) Kurallar dizisine örnek olarak kalıcı su basmasının insan etkisi alt grubu için modelde kullanılan bazı kurallar verilmiştir.

1. Eğer (doğal koruma kaynakları mükemmel durumda) ise (Su basması insan etkisi kırılma çok düşük) (0.63 - parametre ağırlığı)
2. Eğer (doğal koruma kaynakları iyi durumda) ise (Su basması insan etkisi kırılma düşük) (0.63 - parametre ağırlığı)
3. Eğer (Kıyı koruma yapıları yok) ise (Su basması insan etkisi kırılma çok yüksek) (0.37)
4. Eğer (Kıyı koruma yapıları yoğun) ise (Su basması insan etkisi kırılma düşük) (0.37)
5. Eğer (Kıyı koruma yapıları kıyı alanının tamamını kapsıyor) ise (Su basması insan etkisi kırılma çok düşük) (0.37)

Fiziksel parametreler içinde kural setleri oluşturulduktan sonra her bir etkiye bağlı kırılma hesaplamak için yeni bir kural seti oluşturulması gerekmektedir. Bu kural setlerine örnek **Tablo 4-15**'de verilmektedir. Bu tabloda oluşturulan kurallar bir bölgede belirli bir etki için

kırılgnlık indisinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Farklı etkilerde insandan kaynaklı veya fiziksel özelliklerin ağırlıkları ayrı olarak uzmanlarca tanımlanmıştır (Analitik Hiyerarşi Yöntemi çalışması sonucu). Belirlenen ağırlıklar etki kural setlerinin hazırlanmasında çerçeve olarak kullanılmıştır.

Tablo 4-15 Erozyon için kural seti : Kural seti "EGER Erozyonu tanımlayan Fiziksel parametre kırılgnlığı çok düşük VE Erozyonu tanımlayan İnsan Etkisi parametre kırılgnlığı çok düşük İSE Erozyon Kırılgnlığı Çok Düşük'tür." olarak değerlendirilmelidir.

Eğer	Fiziksel ve İnsan Etkisi		İse Erozyon Kırılgnlığı
1	VL	VL	VL
2	L	VL	L
3	M	VL	M
4	H	VL	M
5	VH	VL	H
6	VL	L	L
7	L	L	L
8	M	L	M
9	H	L	H
10	VH	L	H
11	VL	M	L
12	L	M	L
13	M	M	M
14	H	M	H
15	VH	M	VH
16	VL	H	M
17	L	H	M
18	M	H	H
19	H	H	H
20	VH	H	VH
21	VL	VH	M
22	L	VH	M
23	M	VH	H
24	H	VH	VH
25	VH	VH	VH

4.2.4.3 Sistem operatörleri

Bulanık mantık sisteminde kuralları oluştururken kullanılan "ve", "ve ya" gibi söz gruplarının matematiksel karşılığı olarak farklı aritmetik yöntemler kullanılmaktadır. Bir ya da bir çok parametreyi bir araya getirirken de sonuç bulanık setini oluştururken yine farklı aritmetik yöntemler kullanılabilir. Hangi operatörlerin ve hangi yöntemlerin kullanılacağı sisteme ve uzman görüşüne bağlıdır. Kırılgnlık modelinde farklı seviyelerde farklı operatörler ve aritmetik yöntemler kullanılarak sistemin en iyi şekilde yansıtılması sağlanmıştır. Örneğin, Mamdani sistemlerin minimum değerler temel olarak sistemde kullanıldığı için minimum ile product operatörleri arasında kırılgnlık modelinde minimum operatörü tercih edilmiştir. Kuralların birleşme noktalarında ise toplama (SUM), maksimum (MAX) ve olasılık (PROBOR)

kullanılmıştır. Girdilerin bütünleşik olarak değerlendirilmesinde PROBOR, altetikilerin hesaplanmasında MAX ve toplam kırılma indeksi hesaplanmasında ise SUM kullanılmıştır.

4.2.4.4 Kırılma indisleri

Bulanık sayı seti olarak ortaya çıkan kırılma sonuçlarının tek bir sayı haline dönüştürülmesi için de farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan ağırlık merkezinin hesaplanması en çok kullanılan yöntem olup, kırılma modelinde de bu yöntem kullanılmıştır.

4.2.5 Örnek Model Uygulaması (Ozyurt, 2010)

MATLAB programının Bulanık Mantık modülü kullanılarak kurallar ve parametre üyelik fonksiyonları ile beş bulanık mantık modülü oluşturulmuştur. Modül çıktıları ise toplanarak ve ağırlık merkezi bulunarak kırılma indeksini vermektedir. Modüllerin çalışmalarında örnekler aşağıda verilmiştir.

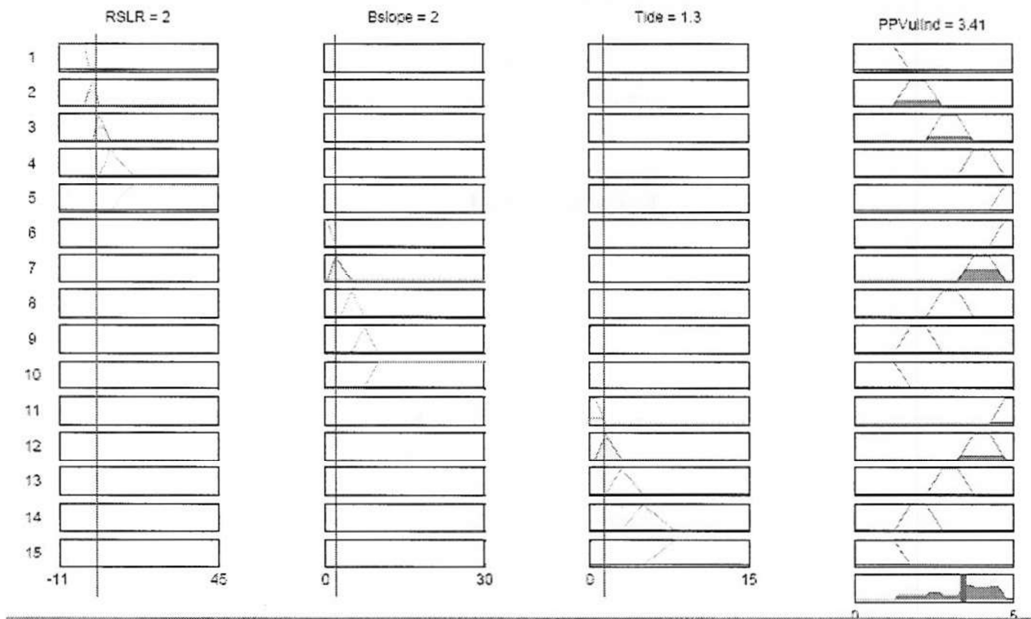
Kalıcı su basması için fiziksel kırılma modülüne işlenen girdi değerleri

Deniz seviyesi yükselme hızı: 2mm/year

Kıyı eğimi: 2%

Gelgit seviyesi: 1.3m

Girdi değerleri kullanılarak çalıştırılan bulanık mantık modülünün çalışma prensibi **Şekil 4.7**'den takip edilebilir.



Şekil 4.7 Modül çalışma süreci (fiziksel parametreler)

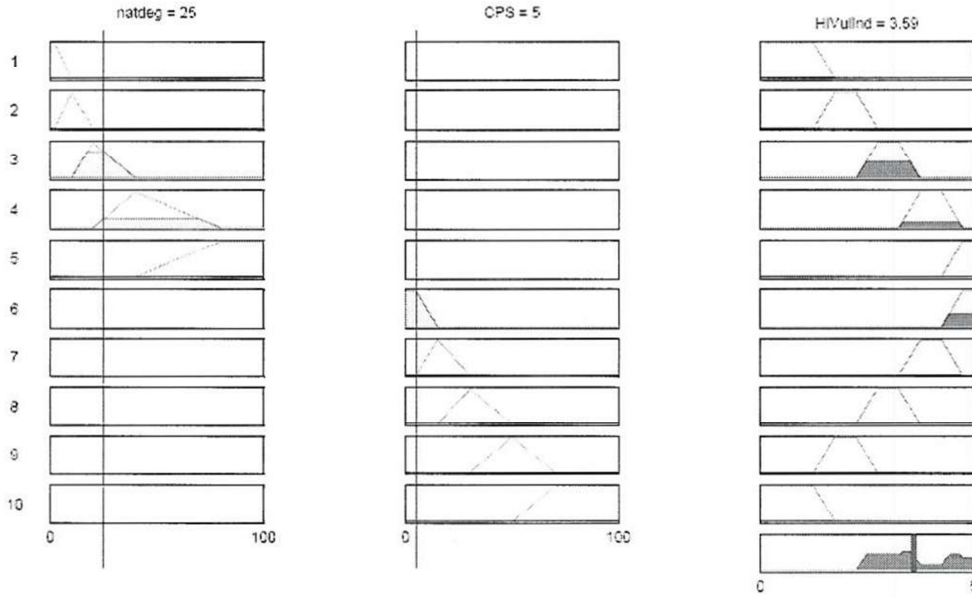
Sistemden görüldüğü üzere kalıcı su baskını için fiziksel altetki indeksi 3.41/5 din Bulanık sonuç seti 2 ile 5 arasında değerler almaktadır. Bu dağılım bölgenin fiziksel kırılabilirliğinin düşükten yükseğe bir eğilim gösterdiğini ancak ağırlığın yüksek tarafta kaldığını göstererek, sayısal olarak kırılabilirliğin orta derecede kırılabilirlik olarak ifade edilebileceğini göstermektedir.

Kalıcı su basması için insane etkisi modülüne verilen girdi değerleri:

Doğal Koruma Yapısının Durumu: 25%

Kıyı Koruma Yapıları: 5%

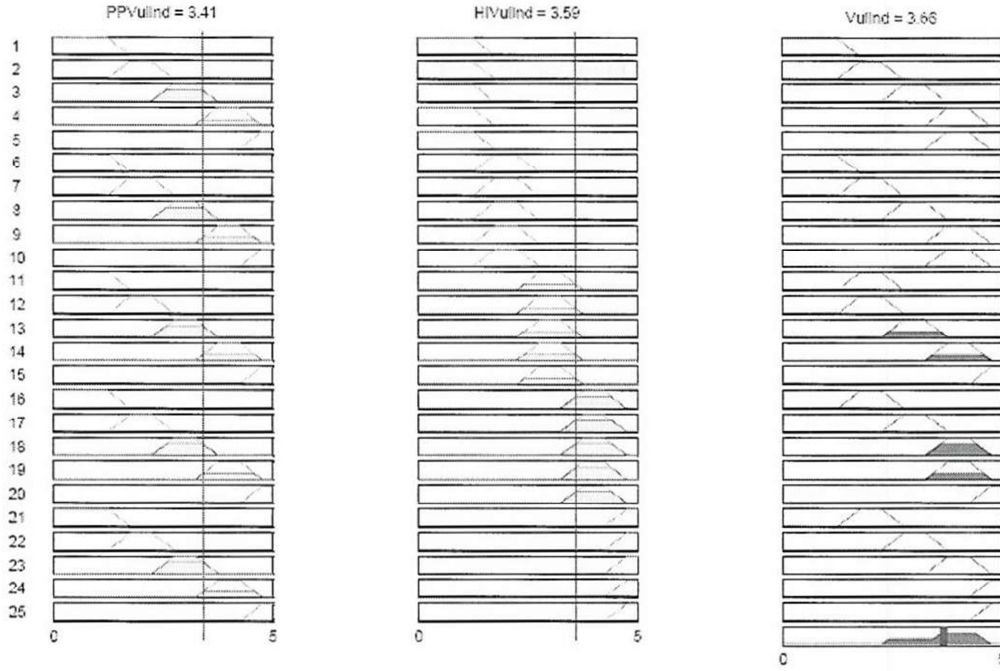
Girdi değerleri kullanılarak çalıştırılan bulanık mantık modülünün çalışma prensibi **Şekil 4.8**'dan takip edilebilir.



Şekil 4.8 Modül çalışma süreci (insane etkisi parametreleri)

Sistemden görüldüğü üzere kalıcı su baskını için insan etkisi indeksi 3.59/5 dir. Bulanık sonuç seti 3 ile 5 arasında değerler almaktadır. Bu dağılım bölgenin fiziksel kırılabilirliğinin orta dereceden yükseğe bir eğilim gösterdiğini ancak ağırlığın yüksek tarafta kaldığını göstererek, sayısal olarak kırılabilirliğin yüksek dereceye yakın kırılabilirlik olarak ifade edilebileceğini göstermektedir.

Alt sistem sonuçları kullanılarak çalıştırılan etki modülü ise **Şekil 4.9**'de verilmektedir. Verileri girilen alanın kalıcı su basmasına olan kırılabilirliği 3.66/5 olarak bulunmuştur. Dağılımda yüksek kırılabilirlik çevresinde toplanmaktadır.



Şekil 4.9 Modül çalışma süreci (etki indeksi)

Geliştirilen modelin tam anlamıyla uygulaması ve sonuçlarının sunulması için ön model çalışmaları sırasında kullanılan Göksu Deltası verileri kullanılarak bir uygulama yapılmıştır. Sonuçlar ve grafikleri aşağıda verilmektedir.

Göksu Deltası için kullanılan parametre verileri ve model sonuçları **Tablo 4-16** ve **Tablo 4-17**'de verilmektedir.

Tablo 4-16 Göksu Deltası için girdi verileri

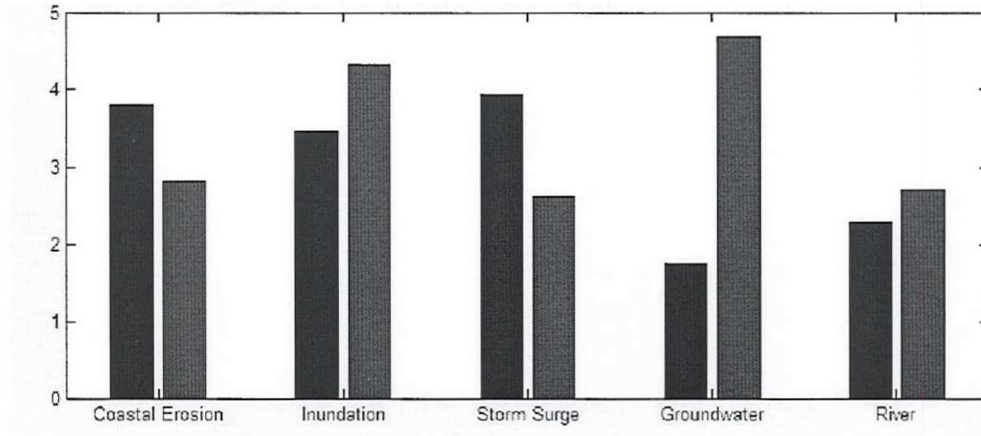
Fiziksel Parametreler	Göksu
Deniz Seviyesi Yükselme Hızı (mm/year)	2
Jeomorfoloji	5
Kıyı Eğimi (%)	1
Belirgin Dalga Yüksekliği (m)	3
Kıyı çizgisi değişimi (%)	-50
Fırtına Kabarma Yüksekliği (m)	4
Gelgit(m)	0.3
Kıyıya Yakınlık (km)	0.4
Akifer Tipi	1
Hidrolik Kondüktivite (m/s)	0.000016

Su kaynağı derinliği (m)	2
İrmak debisi (m ³ /s)	90
İrmak derinliği (m)	1
İnsan Etki Parametreleri	
Sediman miktarında azalma (%)	60
İrmak Regülasyon Seviyesi	2
Kıyı yapıları(%)	5
Yer altı su stres indeksi(%)	80
Arazi Kullanımı	5
Doğak Koruma Durumu (%)	60
Kıyı koruma Yapıları (%)	3

Tablo 4-17 Kırılğanlık Modeli Analiz Sonuçları

	Göksu
Kıyı Erozyonu	4.00
Kalıcı Su Baskını	4.05
Fırtına Kabarması	4.00
Yer altı su kaynakları	3.83
İrmak	2.88
KIRILGANLIK	3.71

Etki indekslerini oluşturan insan ve fiziksel kırılğanlık indekslerinin karşılaştırılmaları ise grafik olarak **Şekil 4.10**'de verilmektedir.



Şekil 4.10 Etkiler için fiziksel ve insan etkisi parametrelerinin karşılaştırmalı kırılğanlık dereceleri

Modelin Göksu Deltasında uygulanması sonucunda geliştirilen bulanık mantık temelli kırılğanlık modelinin ilk sonuçlarının olumlu olduğunu göstermektedir Özellikle geliştirilen model ile ön model sonuçlarının karşılaştırılması her iki modelin de benzer sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu da oluşturulan kural setlerinin doğruluğunu ortaya koymaktadır.

4.3 SAHA ÇALIŞMALARI VE PİLOT UYGULAMALAR

Model sonuçlarının yönetim ve planlama alanlarındaki uygulamaları Göksu, Göcek ve Karataş kıyı şeritleri için yapılan pilot çalışmalar ile bu bölümde gösterilmektedir. Geliştirilen kırılğanlık modelinin sonuçları farklı amaçlar doğrultusunda farklı şekillerde sunulabilir. Model uygulaması için öncelikli olarak yapılması gereken, model parametreleri için gerekli olan verilerin elde edilmesidir. Uygulamanın bu aşamasında karar verilmesi gereken, modelin yerel analiz için mi yoksa daha geniş ölçekli bölgesel bir analiz için mi yapıldığıdır. Tüm ülkeyi veya bölgeyi kapsayan mekansal veri toplanmasının uzun ve pahalı bir süreç olacağı çalışmalarda ön değerlendirme araştırmaları için grafiksel sunular yeterli olacaktır. Model

uygulaması için mekansal verinin yüksek çözünürlükte olması bahsedilen büyük ölçekli çalışmalar için gereklilik değildir. Bu durumda eldeki verinin uzmanlar tarafından çalışma bölgelerini kapsayacak şekilde değerlendirilmesi, bulanık mantık yönteminin avantajları gözönüne alınınca (öznel değerlendirmelerin yarattığı belirsizliklerin üyelik fonksiyonları ile değerlendirilmesi) güvenilir bir değerlendirme için yeterli olacaktır. Ancak daha küçük ölçekli çalışmalar için (örneğin belediye sınırları) mekansal analiz daha önemli hale gelmektedir. Bu durumda, modele girdi olacak veri setlerinin coğrafi bilgi sisteminde yerleşmiş olması gerekmektedir. Böylece ayrıntılı bir şekilde alana bağlı analizler model tarafından yapılacak, CBS ortamında hazırlanacak haritalar ile de yerel yöneticiler için yararlı bir araç olarak kullanıma hazır hale gelecektir.

Bu proje dahilinde CBS sistemi, kırılma model girdi verilerinin değerlendirilmesi, elde edilmesi ve sonuçların mekansal olarak sunulması olarak kullanılmaktadır. CBS tabanlı haritalama ile hedeflenen, analiz edilecek kıyı şeridinin boyutlarının belirlenmesi, model parametrelerinin CBS ortamında tanımlanması için gerekli uygulamaların belirlenmesi ve sonuçların harita şeklinde gösterilmesi için gerekli akış şemasının çıkarılmasıdır. Analiz yapılacak kıyı şeridi boyutlarının belirlenmesi modelin mekansal uygulanmasında en önemli adım olarak ortaya çıkmaktadır. Temel olarak eldeki veri setlerinin çözünürlüğü veya ayrıntısına göre değişecek bu adım, farklı uygulama amaçları doğrultusunda da tanımlanabilir. İdari sınırlar ele alınarak yapılacak değerlendirmeler daha az detaylı mekansal veri setlerinin kullanımına olanak sağlayarak büyük ölçekli çalışmaların yapılmasını ve sonuçların haritalar şeklinde gösterilmesini sağlayacaktır. Bu tip değerlendirmeler için yapılması gereken farklı veri setlerinin çalışılacak kıyı çizgisi veri setiyle birleştirilmesi olacaktır. Küçük ölçekli veri setlerinin birleştirilmesi için uygulanabilecek bir yöntem ağırlıklı ortalama olabilir. Önemli olan kıyı çizgisi veri setinde her bir analiz parametresine karşılık gelecek bilginin bulunmasıdır. Yeraltı su kaynakları değerlendirmesi için önemli olan akiferlerin yerlerini belirten poligon verisetinin bulunmasıdır. Akiferler hakkındaki bilgiler bu veri setine elle işlenebilir. Yeraltı su kaynakları için analiz akifer bazında yapılabileceği gibi bu bilginin kıyı çizgisi veri setine işlenmesiyle de yapılabilir. Önemli olan Şekil XX deki 3.aşama modülü çalıştırılırken gerekli bütün verinin kıyı çizgisi verisetinde bulunmasının sağlanmasıdır. Elde edilen analiz sonuçları ise kıyı çizgisi verisetine işlenebilir ve harita üzerinde gösterimi bu şekilde sağlanabilir.

İdari sınırlar dışında kullanılabilinecek bir başka yöntem jeomorfolojik sınırlardır. Özellikle kıyı çizgisi üzerindeki etkilerde ağırlıklı parametre olan jeomorfoloji kullanılarak daha ayrıntılı yerel analizler yapılması mümkün olabilir. Bu şekilde elde edilecek sonuçlar daha çok fiziksel etkilerin değerlendirildiği çalışmalar için uygun olacaktır. Model sınırlarının belirlenmesi için uygulanabilinecek bir başka kriter ise sosyal özelliklerdir. Etkilenecek bölgelerin sosyo-ekonomik sınıflandırması gözönüne alınarak yapılacak model sınır çalışması, sonuçların sosyo-ekonomik karşılaştırmalar ile değerlendirilmesi açısından daha uygun olacaktır. Bu projenin temel amacı fiziksel kırılma noktalarının ortaya konmasıdır. Bu nedenle bu proje dahilinde yapılacak yerel çalışmada kullanılacak yöntem jeomorfolojik sınırlama olarak seçilmiştir.

Jeomorfolojik sınırlama ile hazırlanacak kıyı şeridi verisetine girdiler özellikler olarak eklenebilir ve ya her bir girdi verisi ayrı katman olarak hazırlanabilir. Ancak kırılma modelinin çalıştırılması için bütün veri katmanlarını kıyı çizgisi katmanına eklenmiş olması gerekmektedir. Bazı girdi parametrelerinin model tarafından değerlendirilebilmesi için ayrı

analizler yapılması gerekmektedir. Özellikle sediman bütçesi, kıyı yapıları, koruma yapıları ve doğal koruma bozunması parametreleri için ayrı analizler yapılması gerekmektedir. Sediman bütçesi kıyı çizgisinin zaman içerisindeki hareketini ortaya koyan bir parametredir. Bu nedenle en az iki farklı tarihli kıyı çizgisi verisine ihtiyaç vardır. Farklı tarihli katmanların üstüste bindirilmesiyle erozyon ve birikme bölgeleri ortaya çıkacaktır. Bu bölgelerin uzunluklarının toplam uzunluğa oranlanması kırılma modeli için gerekli bilgiyi verecektir. Bu analiz sonucunun kıyı çizgisi veri setine girilmesi gerekmektedir. Diğer parametreler için aynı şekilde uzunlukların oranlanması şeklinde analizler CBS ortamında yapılmaktadır. Önemli olan bir başka analiz ırmak rejimi düzenlemesi parametresi için yapılmaktadır. Irmak veri katmanı oluşturulurken, hazırlanması gereken bir başka veri katmanı baraj, rezervuar, su toplama yapılarının lokasyonlarının bulunduğu bir veri katmanıdır. Bu yapıların kıyı şeridinde olan etkisi için kullanılan yöntem hem bu yapılar hakkında bilgilere gereksinim duymakta hem de bu yapıların su toplama havzalarının havza geneline oranını kullanmaktadır. Irmak veri katmanından elde edilen bilgilerin kıyı şeridi katmanına entegre edilmesi için uzman görüşüne bağlıdır. Irmak ile kıyı şeridinin kesiştiği kıyı çizgisi kullanılabileceği gibi, bu kıyı çizgisinin komşu olan kıyı çizgileri de belirli oranlarda analize dahil edilebilir. Akiferler ile ilgili analiz ise akifer poligon katmanları üzerinden yapılabilir. Ancak 3. Aşama analiz için bu bilginin de akifer ile kesişen kıyı çizgisi katmanına entegre edilmesi gerekmektedir. Kırılma modeli sonuçlarının kıyı çizgisi katmanına girilmesi sonucu harita olarak sonuç gösterimi yapılabilir.

CBS tabanlı haritalama ile mekansal olarak kırılma analizi yerel düzeyde yapılabilirken kırılma modeli sisteminin kendisinde bir değişiklik olmamaktadır. Ancak pre-processing ve post-processing uygulamaları CBS tabanlı çalışmalarda daha uzun ve daha ayrıntılı olmaktadır. Eğer ayrıntılı CBS veri setleri bulunmuyorsa bu tarz bir çalışma yoğun kaynak kullanımı gerektirecektir. Proje ekibinin önerisi bölgesel olarak yapılacak kırılma analizlerinden sonra yüksek kırılma gösteren alanlar için CBS tabanlı analizlerin yapılmasının başlamasıdır. CBS tabanlı analiz için toplanacak veri setleri gerektiğinde daha ayrıntılı numerik modeller de kullanılabileceğinden, harcanacak kaynaklar birden fazla amaç için değerlendirilebilecektir.

Bu proje dahilinde, modelin farklı kıyı özelliklerini etkili bir şekilde yansıttığını ortaya koyabilmek amacıyla Türkiye'nin farklı bölgelerinden 3 pilot uygulama alanı seçilmiştir. 3 farklı alanın karşılaştırılması bölgesel ya da ulusal karşılaştırmaya örnek olduğundan, bulanık mantık sistemi sayısal olarak çalıştırılmış, mekansal bir analiz yerel düzeyde yapılmamıştır. Ancak yerel ölçekte CBS ile yapılan bir uygulama örneği için Göksu bölgesi seçilmiş olup, CBS ortamında yapılan analizler ve sonuçları bu bölümde sunulmaktadır.

4.3.1 Bölgesel Kırılma Analizleri

Pilot Bölge çalışmaları için seçilen alanlar Göksu, Göcek ve Karataş (Seyhan Deltası) kıyılarıdır. Öncelikle bu bölgelere dair yapılan çeşitli çalışma raporları, tezler, makaleler taranmış ve parametrelere ait veriler bölgeyi tanımlayacak şekilde elde edilmeye çalışılmıştır. İkinci aşamada ise parametrelere ait veriler Göksu pilot çalışma sınırlarını kapsayacak şekilde mekansal olarak elde edilmeye çalışılmıştır.

Bölgesel uygulama için toplanan veriler Göcek, Göksu ve Karataş Bölgeleri için gerekli **Tablo 4-18**'de gösterilmiş olup, model uygulaması sonucunda elde edilen sonuçlar **Şekil 4.3**'e bağlı kalınarak elde edilmiştir (**Tablo 4-19**).

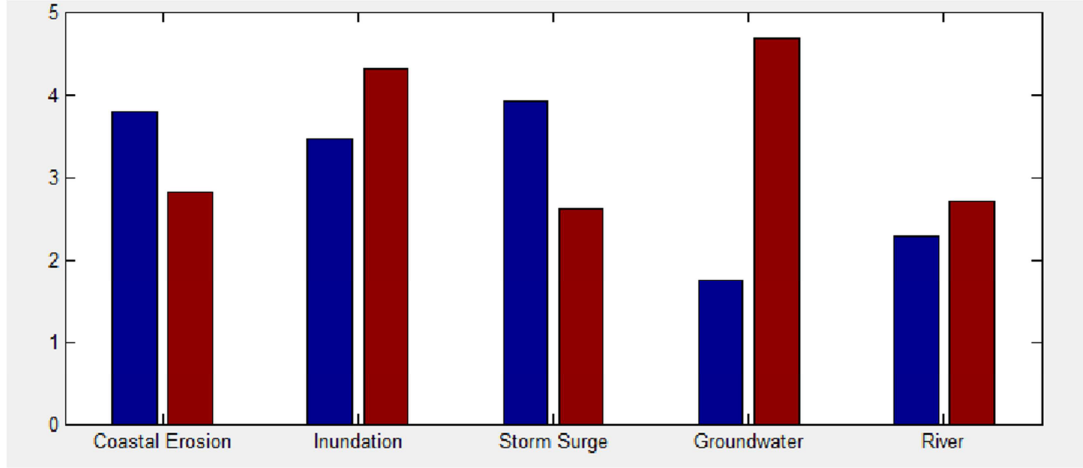
Tablo 4-18 Göcek, Göksu ve Karataş Bölgelerini tanımlayan veri setleri – kırılma analizi modeli girdi parametreleri

Fiziksel Parametreler	Bölgeler		
	Göcek	Göksu	Karataş
Deniz seviyesi yükselm hızı (mm/year)	1	2	2
Jeomorfoloji	Yumuşak yamaçlar ve küçük koylar	Kumul, sulak alan ve delta	Yumuşak yamaçlar, delta
Kıyı Eğimi (%)	5	1	2
Belirgin Dalga Yüksekliği (m)	2	3	3
Sediman Bütçesi (%)	-10	-50	-70
Fırtına Kabarması (m)	5	4	4
Gelgit (m)	0.3	0.3	0.3
Akiferin kıyıya uzaklığı (km)	0.4	0.4	*
Akifer tipi	1	1	*
Hidrolik Kondüktivite (m/s)	0.000324	0.000016	*
Akifer su yüzeyinin derinliği (m)	0.5	2	*
Nehir debisi (m ³ /s)	50	90	145
Nehir derinliği (m)	0.5	1	2
İnsan Etkisi Parametreleri			
Sediman Miktarında Azalma (%)	20	60	60
Irmak Rejimi Düzenlemesi	Etkisiz	Orta derece Etkili	Yoğun Etkili
Kıyı Yapıları(%)	50	5	50
Su stresi(%)	70	80	*
Alan kullanımı	3	5	3
Doğal Korumanın Bozulması (%)	40	60	40
Kıyı Koruma Yapıları (%)	5	3	40

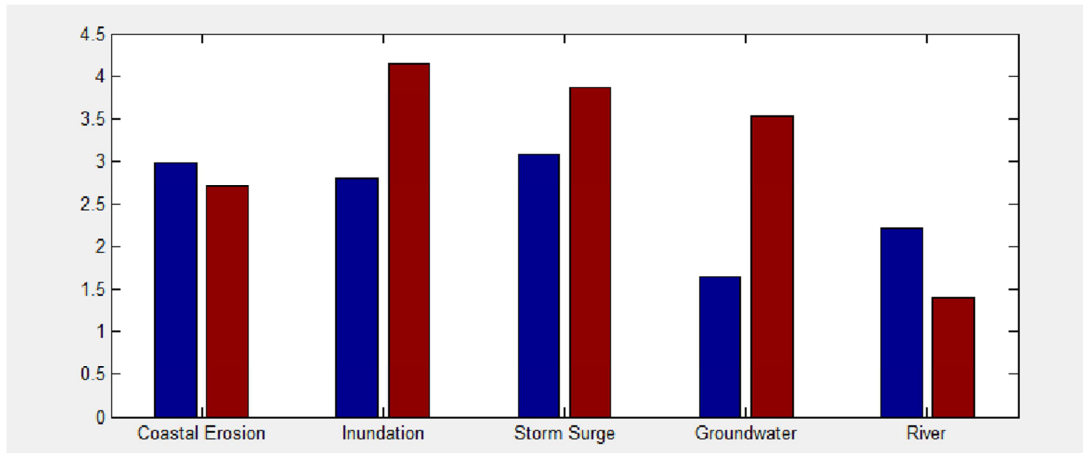
Tablo 4-19 Kırılma analizi sonuçları (5'li derecelendirme üzerinden)

Etkiler	Bölgeler					
	Göcek		Göksu		Karataş	
Kıyı Erozyonu	3.00	Orta	4.00	Yüksek-En Yüksek	3.99	Yüksek-En Yüksek
Kalıcı Su Baskını	4.00	Yüksek-En Yüksek	4.05	Yüksek-En Yüksek	3.40	Orta
Fırtına Kabarması	4.00	Yüksek-En Yüksek	4.00	Yüksek-En Yüksek	4.00	Yüksek-En Yüksek
Yeraltı Suyu	2.73	Düşük-Orta	3.83	Yüksek		
Irmak	2.00	Düşük	2.88	Orta	4.00	Yüksek-En Yüksek
Kırılma İndeksi	3.20	Orta	3.71	Yüksek	3.81	Yüksek

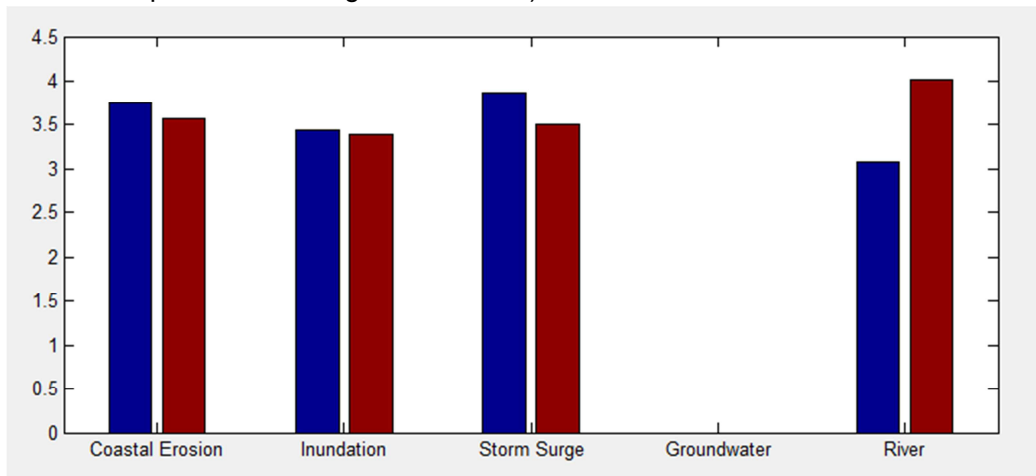
Elde edilen analiz sonuçlarından birinci aşama modül sonuçları grafikler şeklinde sunulabilir. Böylece parametre grupları ve etki kırılgenlik indeksleri arasındaki ilişki etkili şekilde ortaya konmaktadır. **Şekil 4.11-Şekil 4.13** Göcek, Göksu ve Karataş bölgeleri için hazırlanan grafikleri göstermektedir.



Şekil 4.11 Göksu için parametre grupları karşılaştırması (maviler fiziksel parametreleri, kırmızlar insan etkisi parametrelerini göstermektedir)



Şekil 4.12 Göcek için parametre grupları karşılaştırması (maviler fiziksel parametreleri, kırmızlar insan etkisi parametrelerini göstermektedir)

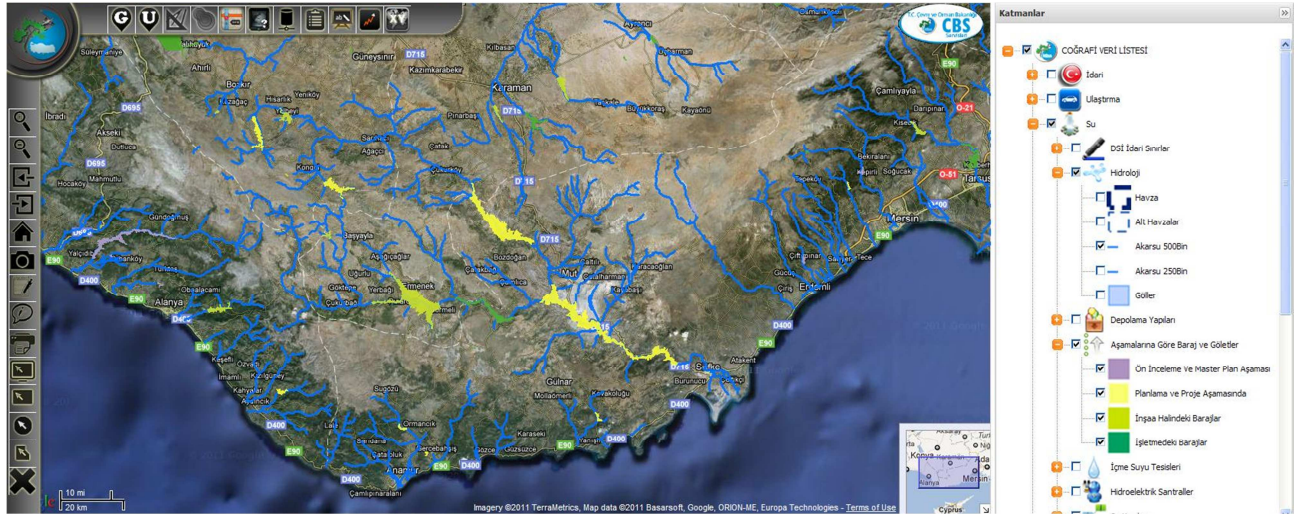


Şekil 4.13 Karataş için parametre grupları karşılaştırması (maviler fiziksel parametreleri, kırmızlar insan etkisi parametrelerini göstermektedir)

4.3.2 Kırılgenlik Modeli Uygulaması – Yerel Uygulama

Yerel uygulamalarda temel amaç, kırılgenlik analizinin ayrıntılı mekansal veri ile gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla öncelikle Göksu bölgesine ait veri katmanları toplanmaya başlamıştır. Proje ekibinin yaptığı diğer proje çalışmaları verileri ile Çevre ve Orman Bakanlığı'na ait GeoData veritabanı sistemi kullanılarak bölgeye ait veriler tamamlanmaya çalışılmıştır. Kıyı şeridi ve yüzey su kaynakları ile bir çok veriye bu şekilde ulaşılmış olmasına rağmen yeraltı su kaynakları ile ilgili mekansal veriye ulaşım mümkün olmamıştır. Bu nedenle yapılan çalışmada akiferler ile veri katmanı kıyı çizgisi olarak kabul edilmiş ve tek bir özellik ile bu etki analiz edilmiştir. Yani akiferler ile ilgili mekansal analiz çalışması yapılmamıştır.

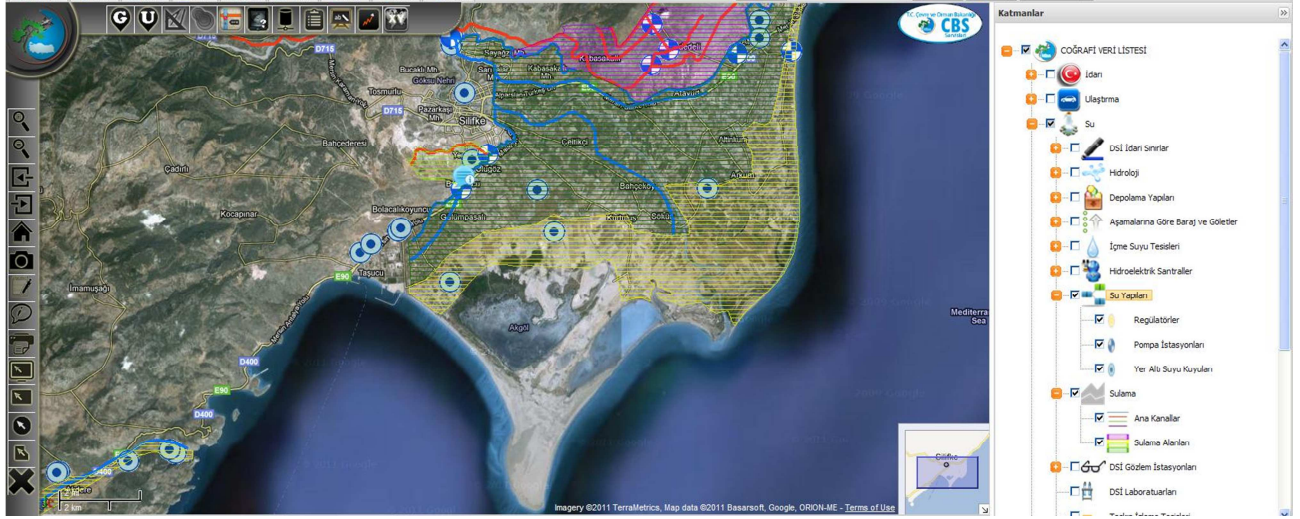
Göksu bölgesi için elde edilen mekansal verilerden bazıları **Şekil 4.14-Şekil 4.16'**da gösterilmiş olup, Delta kıyı şeridi katmanı incelenmesi jeomorfolojik sınırlar ile yapılacak şekilde düzenlenmiştir (**Şekil 4.17**).



Şekil 4.14 Göksu nehri üzerindeki barajlar ve alt havzalar



Şekil 4.15 Göksu Delta'sı yakınlarındaki kıyı yapıları

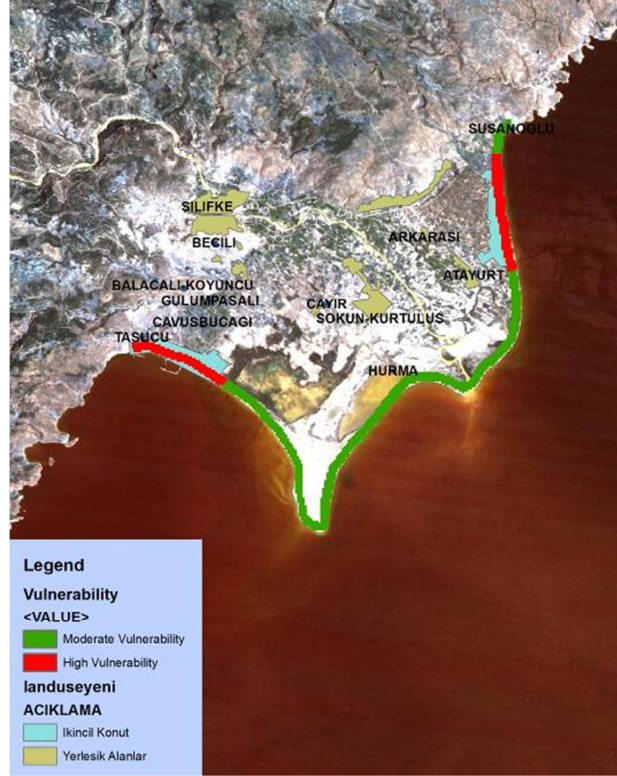


Şekil 4.16 Göksu Delta'sı sulama sistemleri, alanları ve yeraltı su kuyuları



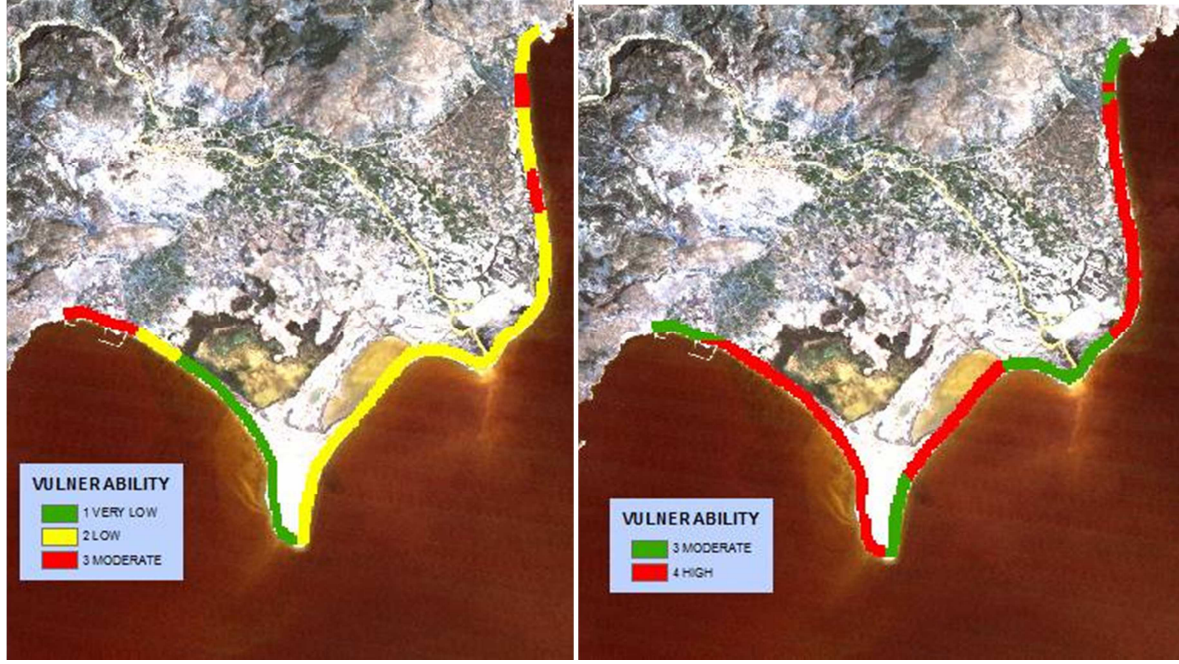
Şekil 4.17 Göksu Delta'sı kıyı şeridi jeomorfolojik sınırlar ve kırılanlık analiz çalışma birimleri

Göksu Deltası için CBS veri katmanları ile yapılan kırılanlık analizi uygulaması mekansal olarak tamamlanmış ve sonuçlar **Şekil 4.18**'de sunulmuştur.



Şekil 4.18 Göksu Deltası Kırılgnlık Analiz Haritası – Mekansal Değerlendirme

Yapılan analiz sonucu, Göksu Deltası için kırılgnlık haritaları hazırlanmış olup, görüleceği üzere modelin mekansal olarak yeniden uygulanması sonucu daha ayrıntılı bilgiler elde edilmiştir. Bölgesel sonuçlar ile uyumlu olarak, kıyı şeridinin kıyı aşınması açısından genelde yüksek kırılgnlığa sahip olduğu bulunmuş, ancak bazı bölgelerde kırılgnlığın orta seviyede olduğu ortaya çıkmıştır. Analiz sonucunda, yüksek kırılgnlık daha çok ikincil konut bölgelerinde görülmektedir. Aynı şekilde Delta'nın fırtına kabarmasına olan kırılgnlığı orta ve yüksek düzey olarak ortaya çıkmıştır. Bölgesel analiz ile uyumlu olarak, fırtına kabarması parametreleri kıyı erozyonuna göre aynı kırılgnlık düzeyindedir. Ancak, daha yüksek değer olarak kıyı erozyonuna göre daha kırılgn olduğu görülmüştür. Su yükselmesine bağlı kalıcı toprak kaybı için yapılan analiz, Delta'nın en çok bu sorunla baş etmesi gerektiğini göstermektedir. Hemen hemen bütün delta kıyısı yüksek kırılgnlığa sahiptir.



Şekil 4.19 Göksu Deltası Kırılgnlık Analiz Haritası – Fiziksel ve İnsan Parametre Karşılaştırması Mekansal Değerlendirme

Modelin bir başka çıktısı olan insan kaynaklı ve fiziksel parametrelerinin karşılaştırılması da mekansal olarak incelenmiştir. Şekilden görüleceği üzere insan etkinliklerinin fiziksel kırılgnlığa olan olumsuz etkisi oldukça açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır(**Şekil 4.19**). Geliştirilen kıyı alanları kırılgnlık modelinin eldeki kaynakların en verimli biçimde yönlendirilmesindeki önemi burada kendini göstermektedir.

5. SONUÇLAR

Kıyılar, sundukları avantajları, olanakları ve imkanlarından dolayı insanlar için her zaman birer çekim ve etkileşim alanı olmuşlardır. Bu etkileşim ve çekim sonucu yıllar içerisinde kıyısız alanlardaki nüfus artmıştır ve halen artmaya devam etmektedir. İnsanların, kıyıların sundukları olanaklardan yararlanmak istemelerinden dolayı kıyısız alanlardaki yapılaşma da artmıştır. Kaynakları hızlı ve çoğunlukla plansızca kullanılan kıyı alanlarının karşısına çıkan bir başka sorun ise iklim değişikliği ve buna bağlı deniz seviyesindeki değişimlerdir. İklim değişikliği ve buna bağlı olarak yükselen deniz seviyesinin yaratacağı etkiler kıyı alanlarında hem fiziksel hem de sosyo-ekonomik sorunlara yol açacaktır. Her ne kadar denizlerdeki yükselmenin Türkiye kıyılarında okyanuslardaki kadar etkili olmayacağı öngörülse de, sadece su yükselmesinin yaratacağı toprak kaybı değil, artacak kıyı erozyonu, yükselen fırtına kabarmaları ve yer altı su kaynaklarında gözlenecek tuzluluk artışı gibi etkilerin bütün kıyı alanlarında yaşanan sorunlara ek olarak başka sorunlara da yol açacağı göz önüne alınmalıdır. Bu nedenler ışığında, kıyıdaki kalkınmanın sürdürülebilirliğini ve de deniz seviyesi yükselmesine karşı yapılacak olan uyum çalışmalarına kaynak aktarımının en uygun şekilde düzenlenebilmesi için Türkiye kıyılarının deniz seviyesi yükselmesine karşı kırılganlık analizinin yapılması gerekliliği bu proje başvurusu gündeme taşınmıştır.

Proje başvurusu sırasında hedef olarak gösterilen ve tamamlanan iş paketleri aşağıda listelenmektedir:

- Kıyı mühendisliği çalışmalarında kullanılan en önemli parametre olan rüzgar verilerinin güvenilirliği farklı kaynaklardan elde edilen veri setleri ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.
- Kullanım yoğunluğundan dolayı büyük önem arz eden, DMİGM kıyı meteoroloji istasyonu rüzgar ölçüm verilerinin doğruluğu öncelikli olarak kontrol edilmiştir. Türkiye kıyılarında güvenilirliği ispatlanmış herhangi bir yerinde rüzgar ölçüm verisi olmadığından, bu karşılaştırmalar çalışmalar için daha az sıklıkla kullanılan Dalga Atlası ve ECMWF veri setleri ile DMİGM ölçümleri arasında yapılmıştır.
- Değerlendirmeler neticesinde
 - ECMWF verilerinden elde edilen rüzgar güllerinin genel olarak Dalga Atlası verileriyle uyumluluk gösterdiği ortaya çıkmıştır.
 - Ancak rüzgar hızı bakımından ECMWF verilerinin modifikasyona gereksinim duyduğu bir başka elde edilen sonuçtur.
 - DMİGM'nin elinde bulunan veri setlerinin güvenilirliği karşılaştırmalar ile olumlu olarak ortaya konamamıştır. Bu sonuca neden olabilecek faktörler incelenmiş ve farklı durumlar için farklı modifikasyon çalışmaları yapılması gerektiği ortaya konmuştur.
- Kıyı alanlarının deniz seviyesi yükselmesi başta olmak üzere, kıyı erozyonu, fırtına kabarması sonucu su baskınları, tatlı su kaynaklarının tuzlanması gibi temel sorunlar ışığında analizi için bir kırılganlık analiz modeli geliştirilmiştir.
- Kıyı alanları kırılganlık analiz modeli geliştirilirken
 - model parametrelerinin seçilmesi sırasında fiziksel özellikleri gösteren parametrelerin yanı sıra kıyılardaki insan etkisini de yansıtan parametreler modele katılmış,

- kırılgenlik sınıflandırmaları hem sözel (düşük, yüksek gibi) hem de sayısal olarak her bir etki ve parametre grupları için oluşturulmuş,
- bulanık mantık uzman sistem altyapısı, parametre üyelik fonksiyonlarının oluşturulan geniş veri seti kullanılarak değerlendirilmesi ve bulanık mantık kurallarının tanımlanması ile 3 seviyede tasarlanmış,
- uzman deneyimlerinin analitik hiyerarşi yöntemi ile modele entegre edilmesi
- modelin bir kıyı alanları yönetim aracı olarak farklı ölçeklerde uygulanmasının geçerli kılınması

sağlanmışır.

- Geliştirilen kırılgenlik analiz modeli Göksu, Göcek ve Karataş kıyı alanlarında bölgesel analiz olarak uygulanmış ve elde edilen sonuçlar literatür değerlendirmeleri ile karşılaştırılarak, modelin güvenilirliği desteklenmiştir.
- Geliştirilen kırılgenlik analiz modeli Göksu kıyı alanında mekansal olarak (yerel uygulama örneği) coğrafi bilgi sistemleri veri setleri ile uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar geliştirilen modelin CBS ile entegre edilmesi ile ilgili uygulama hakkında ileriye dönük öneri geliştirmek için kullanılmışır.
- Geliştirilen kırılgenlik analizleri sonucunda da ortaya konan önemli sonuçlardan biri kıyı şeridinin numerik olarak modellenmesi gerekliliğidir. Özellikle kıyı erozyonu ve kıyı yapıları etkisiyle birleşecek deniz seviyesi yükselmesi etkileri, kıyı alanlarında ciddi sorunlara yol açacaktır. Kırılgenlik modelinin uygulandığı 3 bölgede de kıyı erozyonu sonuçlarının yüksek kırılgenlik gösteriyor olması bu öngörüü desteklemektedir.
- Proje kapsamında iki boyutlu derinlik ortalamalı bir kıyı değişimi sayısal modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen kumlanma modeli dalga etkileri altında kıyı koruma yapıları (çeşitli mahmuz tipleri ve açık deniz dalgakıranları) çevresindeki morfolojik değişimlerin sayısal benzetimlerinin yapılmasına olanak sağlamaktadır.
- Geliştirilen kumlanma modeli 4 alt modelden oluşmaktadır.
 - Birinci alt model iki boyutlu periyot ortalamalı dalga dönüşüm modelidir. Bu modelde enerji akısı korunumu kısmi türevsel denklemi sonlu farklar yöntemi ile kıyıya dik (x), kıyıya paralel (y) ve yaklaşma açısı (θ) bağımsız değişkenlerine karşılık çözülmektedir. Bu yolla çalışılan 2 boyutlu kıyı alanında derin denizden kıyı çizgisine kadar varsa mevcut kıyı yapıları çevresindeki dalga yüksekliği ve yaklaşma açıları, dalga yayılım gerilmeleri (radiation stresses) dalga hızı ve dalga grup hızları, tabandaki dairesel en büyük parçacık hızları değişkenleri hesaplanır.
 - Kumlanma modelininin ikinci alt modeli dalga yayılım ve yüzey girdap (surface roller) gerilmeleri, taban ve yanal sürtünmeler etkisinde oluşan x ve y doğrultularındaki derinlik ortalamalı akıntı hızları ve ortalama su seviyesi değişiminin hesaplandığı yakın kıyı akıntı çevrim modelidir. Bu alt modelde doğrusal olmayan sığ su denklemleri sonlu farklar yöntemi ile çözülmektedir.
 - Dalga ve akıntı modellerinin çıktıları geliştirilen kumlanma modelinin üçüncü alt modeli olan ve yayılı toplam kıyıya dik ve kıyı boyu kum taşınım debilerinin hesaplandığı kum taşınım modelinde kullanılır.
 - Son olarak hesaplanan dalga etkilerine bağlı yayılı toplam kıyı boyu ve kıyıya dik kum taşınım debileri kumlanma modelinin dördüncü alt modeli olan deniz tabanı değişim modelinde kullanılır.

- Proje kapsamında geliştirilen modelin çeşitli laboratuvar ve saha ölçümleri ile doğrulaması yapılmış ve Kızılırmak nehir ağızı için saha uygulaması çalışması yapılmıştır. Ayrıca kırılan dalgaların enerji akılarındaki değişim ile yayılı toplam kıyı boyu kum taşınım debileri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu debilerin hesaplanması için göreceli olarak yalın ve etkili bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem mevcut laboratuvar ve saha ölçümleri ile karşılaştırılmış, ölçümler ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Proje kapsamında tamamlanan bütün bu çalışmalar, Türkiye kıyıları başta olmak üzere dünya kıyılarında yapılan kıyı mühendisliği çalışmaları için temel olan konularda (veri güvenilirliği, kıyı alanları yönetim araçları ve kıyı çizgisi modellemesi) ulusal bilgi birikimine katkıda bulunacak örnek çalışmalar olarak ortaya konmuştur. Kıyı mühendisliği çalışmalarının doğru ve güvenilir olabilmesi için oluşturulan bu analiz çerçevesi ve modelleri birçok sorunun analizi için yeterli olsa da, hem modellerin hem de bu modellerin gelişimini destekleyen bilgi birikiminin düzenli olarak artırılması gereklidir. Bu doğrultuda proje ekibi olarak aşağıdaki önerileri dile getirmek ihtiyacını duymaktayız.

- Rüzgar ve dalga verilerinin karşılaştırılabilmesine olanak sağlayacak, geniş çaplı pek çok rüzgar ölçümünü içerecek bir araştırma projesi
- Önerilen kıyı çizgisi modellemesi yönteminin kıyıya dik taşınımı da kapsayacak şekilde genişletilmesi için akıntı modelinin geliştirilmesine devam edilmesi
- Dalga kırılma bölgesinde kıyıya dik yöndeki hız profilini belirleyen süreçlerin araştırılması ve karşılaştırmalar için saha ölçümleri ile veri setleri üretilmesi
- Geliştirilen sayısal modelin yapılar çevresinde gözlenen sayısal kararsızlık durumlarının iyileştirilmesi ve çözüm sürelerinin azaltılması için kullanılan sayısal çözüm yöntemlerinin geliştirilmesi,
- Dalga kırılma bölgesinde kıyıya dik yöndeki hız profilini belirleyen süreçlerin araştırılması ve bunun sayısal olarak akıntı modelinde ifade edilmesi,
- Akıntı-dalga etkileşiminin dalga dönüşüm modeline dahil edilmesi
- Kırılma modelinin CBS tabanlı bir modele dönüştürülmesi için gerekli veri altyapısını devlet CBS sistemleri doğrultusunda geliştirilmesi
- Kırılma modelinin kullanıcı kolaylığı sağlaması açısından arayüz çalışmasını yapılması
- Kırılma modelinin CBS sistemleri ile otomasyonunu sağlayacak altyapı üzerinde çalışılması.

KAYNAKLAR

- Abraham, A. (2005). "Rule-based Expert Systems." In: *Handbook of Measuring System Design*, P. H. S. a. R. Thorn, ed., John Wiley & Sons, Ltd., 911-919.
- Afshar, A., Marino, M. A., Ebtehaj, M., and Moosavi, J. (2007). "Rule-Based Fuzzy System for Assessing Groundwater Vulnerability." *Journal of Environmental Engineering*, 133(5), 532-540.
- Arora, V. K., & Boer, G. J. (2001). Effects of simulated climate change on the hydrology of major river basins. *Journal of Geophysical Research*, 106(D4), 3335–3348.
- Ardhuin F., Bertotti L., Bidlot J-R., Cavaleri L., Filipetto V., Lefevre J-M., Wittmann P., 2006, "Comparison of Wind and Wave Measurements and Models in the Western Mediterranean Sea", *Journal of Ocean Engineering*
Journal of Marine Systems
- Artagan, S.S., (2006), "A One Line Numerical Model for Shoreline Evolution under the Interaction of Wind Waves and Offshore Breakwaters", M.S. Thesis, METU, Ankara
- Baldock, T.E., P. Holmes, S. Bunker ve P. van Weert, (1998), "Cross-shore hydrodynamics within an unsaturated surf zone", *Coastal Engineering*, 34, 173-196.
- Battjes, J.A., Janssen, J.P.F.M., (1978), "Energy loss and set-up due to breaking of random waves", *Proceedings of the 16th Conference on Coastal Engineering*, ASCE, Hamburg, Germany, vol. 1, pp. 569–587.
- Baykal, C., (2006), "Numerical Modeling of Wave Diffraction in One-Dimensional Shoreline Change Model", M.S. Thesis, METU, Ankara, Turkey
- Baykal, C., (2012), "Two-Dimensional Depth-Averaged Beach Evolution Modelling", Ph.D. Thesis, METU, Ankara, Turkey
- Bayraktar, D., Gözlü, S. ve Büyükdemir, B. (1999) "An application of Analytic Hierarchy Process in the hospitality industry", *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14 (1), 37-46.
- Berkhoff, J.C.W., (1972), "Computation of combined refraction and diffraction", *Proceedings of the 13th International Conference Coastal Engineering*, ASCE, New York
- Bertotti L. and Cavaleri L., 2006, "On the Influence of Resolution on Wave Modelled Results in the Mediterranean Sea", *Societa Italiana di Fisica*
- Bharathi B., Sarma V.V.S. (1985) "Estimation of Fuzzy Membership from Histograms." *Information Sciences*,35, 43-59
- Birkemeier, W.A., Donoghue, C., Long, C.E., Hathaway, K.K. ve Baron, C.F., (1997), "1990 DELILAH Nearshore Experiment: Summary Data Report" US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS
- Booij, N., R.C. Ris ve L.H. Holthuijsen, (1999), "A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation", *J.Geoph.Research*, 104, C4,7649-7666
- Borgman, L.E., (1984), "Directional spectrum estimation for the Sxy gages", *Tech.Rep. Coastal Engineering Research Center*, Vicksburg, Miss
- Bruneau, N., Bonneton, P., Pedreros, R., Dumas, F., ve Idier, D., (2007), "A New Morphodynamic Modelling Platform: Application to Characteristic Sandy systems of the Aquitanian Coast, France", *Journal of Coastal Research*, Special Issue 50, 932-936
- Caires S. and Sterl A., 2002, "Validation and Non-Parametric Correction of Significant Wave Height Data from the ERA-40 Reanalysis", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*

- Camenen, B., Larroude, P., (2003), "Comparison of sediment transport formulae for the coastal environment", *Coastal Engineering* 48, 111–132.
- Camenen, B., Larson, M., (2008), "A general formula for noncohesive suspended sediment transport", *Journal of Coastal Research* 24 (3), 615–627.
- Camenen, B., Larson, M., (2005). "A general formula for non-cohesive bed load sediment transport". *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 63, 249–260.
- Camenen, B., Larson, M., (2007). "A unified sediment transport formulation for coastal inlet application". Technical report ERDC/CHL CR-07-1, US Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Cavaleri L., 2005, "The Wind and Wave Atlas of the Mediterranean Sea – The Calibration Phase", *Advances in Geosciences*
- Cavaleri L. and Bertotti L., 1996, "In Search of the Correct Wind and Wave Fields on a Minor Basin", *American Meteorological Society*
- Cavaleri L. and Bertotti L., 2003, "The Characteristics of Wind and Wave Fields Modelled with Different Resolutions", *Journal of Royal Meteorological Society*
- Cavaleri L. and Bertotti L., 2004, "Accuracy of the Modelled Wind and Wave Fields in Enclosed Seas", *Tellus*
- Cavaleri L. and Bertotti L., 2006, "The Improvement of Modelled Wind and Wave Fields with Increasing Resolution", *Journal of Ocean Engineering*
- Cavaleri L. and Sclavo M., 2005, "A Wind and Wave Atlas for Mediterranean Sea", *Institute of Marine Sciences, CNR, San Polo, Venice, Italy*
- Cavaleri L. and Sclavo M., 2006, "The Calibration of Wind and Wave Model Data in the Mediterranean Sea", *Journal of Coastal Engineering*
- CEM, (2003), "Coastal Engineering Manual", US Army Corps of Engineers
- Chawla, A., Özkan, H.T., Kirby, J.T., (1998), "Spectral model for wave transformation and breaking over irregular bathymetry", *J. Waterways, Port, Coast., Ocean Eng.*, ASCE 124 (4), pp189–198.
- Christopoulos S., 1997, "Wind-wave Modelling Aspects within Complicate Topography", *Annales Geophysicae*
- Civanlar M.R., Trussel HJ. (1986) "Construction Membership Functions using Statistical Data." *Fuzzy Sets and Systems* ,18,1-13
- Coelho C. and Veloso-Gomes F., 2004, "Crossshore Beach Profile Models – Application to Aveiro Coast", *Journal of Coastal Research*
- Ding, Y., Wang, S.S.Y., ve Jia, Y., (2006), "Development and Validation of a Quasi-Three-Dimensional Coastal Area Morphological Model", *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 132, No. 6, November/December 2006, pp. 462-476
- Dorsey, D. W., and Coovert, M. D. (2003). "Mathematical Modeling of Decision Making: A Soft and Fuzzy Approach to Capturing Hard Decisions." *Human Factors*, 45(1), 117-135.
- Eckart, C. (1952), "The propagation of gravity waves from deep to shallow water", *Circular 20 (National Bureau of Standards):* 165–173
- Ergin, A., Güler, I., Yalçiner, A.C., Baykal, C., Artagan A.A., & Safak, I. (2006). "A One-Line Numerical Model for Wind Wave Induced Shoreline Changes", 7th International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul, Turkey
- Esen, M., (2007), "An Implicit One-Line Numerical Model On Longshore Sediment Transport", M.S.

- Goda, Y., (1975), "Irregular wave deformation in the surf zone." *Coast. Eng. Japan*, 18, pp13–26
- Goda, Y., (2000), "Random Seas and Design of Maritime Structures, 2nd Edition", Advanced Series on Ocean Engineering, Vol.15, World Scientific
- Goda, Y., (2004), "A 2-D random wave transformation model with gradational breaker index", *Coast. Eng. J.* 46 (1), 1 –38
- Goda, Y., (2006), "Examination of the influence of several factors on longshore current computation with random waves", *Coastal Engineering* 53 (2006) 157 – 170
- Goda, Y., (2008), "Wave setup and longshore currents induced by directional spectral waves - Prediction formulas Based on Numerical Computation Results", *Coastal Engineering Journal*, Vol. 50, No. 4 (2008) pp.397-440
- Grasmeijer, B.T., (2002), "Sand transport and morphology in the surf zone of Egmond, The Netherlands" Doc. Thesis, Dep. of Physical Geography, University of Utrecht, The Netherlands
- Hamilton, D.G., Ebersole, B.A., 2001. "Establishing uniform longshore currents in a large-scale sediment transport facility", *Coast. Eng.* 42, 199-218
- Hanasaki, N., Kanae, S., & Oki, T. (2006). A reservoir operation scheme for global river routing models. *Journal of Hydrology*(327), 22-41.
- Hansen, B. (1997). "SIGMAR: A Fuzzy Expert System for Critiquing Marine Forecasts." *AI Applications*, 11(1), 59-68.
- Hiscock, K. M. (2005). *Hydrogeology Principles and Practice*: Blackwell Publishing.
- Holthuijsen, L. H. , Herman, A., Booij , N. , (2003), "Phase-decoupled refraction–diffraction for spectral wave models", *Coastal Engineering*, Volume 49, Issue 4, October 2003, Pages 291-305
- Hsu, S.A. (1980) "On the correction of land-based wind measurements for oceanographic applications", *Proc. 17th Conference on Coastal Engineering*, Sydney, Vol. I, pp. 709-721
- Janssen, T.T., Battjes, J.A., (2007), "A note on wave energy dissipation over steep beaches", *Coastal Engineering*, 54, 711-716
- Janssen, J. A. E. B., Krol, M. S., Schielen, R. M. J., Hoekstra, A. Y., and Kok, J. L. d. (2010). "Assessment of Uncertainties in Expert Knowledge, Illustrated in Fuzzy Rule-based Models." *Ecological Modelling*, 221, 1245-1251.
- Jiongxin, X. (2004). A study of anthropogenic seasonal rivers in China. *Catena*(55), 17-32.
- Kamphuis, J.W., (2000), "Introduction to Coastal Engineering and Management", World Scientific
- Kaufmann A. (1975) *Introduction to the theory of fuzzy subsets*. Academic Press
- Kirby, J.T., Dalrymple, R.A., ve Shi, F., (2002), "REF/DIF 1 Version 3.0, Documentation and User's Manual", Center for Applied Coastal Research, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Delaware
- Kirby, J.T., Dalrymple, R.A., ve Shi, F., (2004), "REF/DIF S Version 1.3, Documentation and User's Manual", Center for Applied Coastal Research, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Delaware
- Kökpinar, M.A., Darama, Y., & Güler, I. (2007). "Physical and Numerical Modeling of Shoreline Evaluation of the Kızılırmak River Mouth, Turkey", *Journal of Coastal Research*, Vol. 23, No. 2, pp. 445-456, ISSN 0749-0208
- Kraus, N.C. ve Dean, J.L., (1987), "Longshore sediment transport rate distributions measured by trap", *Coastal Sediments*, New Orleans, USA, p. 881-896

- Kuleli, T., Güneroğlu, A., Karıslı, F. & Dihkan, M. (2011). Automatic detection of shoreline change on coastal Ramsar wetlands of Turkey, *Ocean Engineering* Vol.38, pp.1141–1149
- Kundzewicz, Z. W., Nohara, D., Tong, J., Oki, T., Buda, S., & Takeuchi, K. (2009). Discharge of large Asian rivers – Observations and projections. *Quaternary International*, in print.
- Kuriyama, Y., ve Ozaki, Y. (1993). "Longshore current distribution on a bar-trough beach, Field measurements at HORF and numerical model," Report of Port and Harbour Research Institute 32(3), Ministry of Transport, Japan, 3-37
- Kuriyama, Y., (1994), "Numerical model for longshore current distribution on a bar-trough beach", Int.Conf. on Coastal Engrg. 1994, ASCE
- Kuruüzüm, A. ve Atsan, N. (2001) "The Analytic Hierarchy Process Approach And Its Applications In Business" *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, 83-105.
- Larson, M. & Kraus, N. C., (1991), "Numerical model of longshore current for bar and trough beaches", *J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.*, ASCE 117(4), 326-347
- Lavagnini A., Sempreviva A. M., Transcerici C., Accadia C., Casaioli M., Mariani S., Speranza A., 2006, "Offshore Wind Climatology over the Mediterranean Basin", *Journal of Wind Energy*
- LeMehaute, B., (1962), "On non-saturated breakers and the wave run-up", Proc. Int. Conf. Coastal Eng. 8th, 77–92, 1962
- Liberatore, M. J. ve Nydick, R.L (1997) "Group decision making in higher education using the Analytic Hierarchy Process", *Research In Higher Education*, 38 (5), 593-614.
- Liu, C., Sui, J., & Wang, Z.-Y. (2008). Sediment load reduction in Chinese rivers. *International Journal of Sediment Research*(23), 44-55.
- Liu, W. C., Hsu, M. H., Wu, C. R., Wang, C. F., & Kuo, A. Y. (2004). Modeling Salt Water Intrusion in Tanshui River Estuarine System—Case-Study Contrasting Now and Then. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(9), 849-859.
- Longuet-Higgins, M.S., (1970), "Longshore current generated by obliquely incident sea waves", *J. Geophys. Res.* 75 (33), 6779–6801.
- Mase, H., Oki, K., Hedges, T.S., Li, H.J., (2005), "Extended energy-balance-equation wave model for multidirectional random wave transformation", *Ocean Engineering* 32 (8–9), 961–985
- Mase, H., Takayama T., ve Kitano, T., (2001), "Spectral wave transformation model with diffraction effect", Proc. 4th Int. Symposium Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES 2001 vol. 1, ASCE, New York (2001), pp. 814–823
- MATLAB Fuzzy Logic Toolbox Tutorial
- Medasani, S., Kim, J., and Krishnapuram, R. (1998). "An overview of membership function generation techniques for pattern recognition." *International Journal of Approximate Reasoning*, 19, 391-417.
- Miller, H.C., (1999), "Field measurements of longshore sediment transport during storms", *Coastal Engineering*, Vol. 36, p. 301-321
- Nam, P.T., Larson, M., ve Hanson, H., (2010), "Modeling Morphological Evolution In The Vicinity Of Coastal Structures", Proceedings of the International Conference on Coastal Engineering, No 32
- Nilsson, C., Reidy, C. A., Dynesius, M., & Revenga, C. (2005). Fragmentation and Flow Regulation of the World's Large River Systems. *Science*(308), 405.

- Nohara, D., Kitoh, A., Hosaka, M., & Oki, T. (2006). Impact of Climate Change on River Discharge Projected by Multimodel Ensemble. *Journal Of Hydrometeorology, Volume 7*(October 2006), 1076-1089.
- O'Reilly, W.C., ve Guza, R. T., (1991), "Comparison of Spectral Refraction and Refraction-Diffraction Wave Models", *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 117, No. 3, May/June 1991, pp. 199-215
- Okayasu, A. ve Katayama, H., (1992), "Distribution of undertow and long-wave component velocity due to random waves", In *Proceedings of the 23rd International Conference on Coastal Engineering*, pages 883{893. Amer. Soc. of Civil Eng.
- Özhan ve Abdalla, 1999, *Türkiye Kıyıları İçin Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası*
- Ozyurt, G. (2010). "Fuzzy Vulnerability Assessment Model of Coastal Areas" Doctorate Thesis. Middle East Technical University, Ankara.
- Parker, K.Y. ve Borthwick, A.G.L., (2001), "Quadtree grid numerical model of nearshore wave-current interaction", *Coastal Engineering* 42, 219-239
- Radder, A.C., (1979), "On the parabolic equation method for water wave propagation", *Journal of Fluid Mechanics* 95 1, pp. 159–176
- Reniers, A.J.H.M., Battjes, J.A., (1997), "A laboratory study of longshore currents over barred and non-barred beaches", *Coast. Eng.* 30, 1 – 22
- Roelvink, D., Reniers, A., Dongeren, A., Vries, J.T., Lescinski, J., McCall, R., (2008), "XBeach Model Description and Manual 2.0", UNESCO-IHE Institute for Water Education (Contractor), WL | Delft Hydraulics, Delft University of Technology, European Research Office of the U.S. Army.
- Roussel, O., Cavelier, A., and Werf, a. M. G. v. d. (2000). "Adaptation and use of a fuzzy expert system to assess the environmental effect of pesticides applied to field crops." *Agriculture, Ecosystems and Environments*0), 143-158.
- Saaty, L. T. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill Comp., U.S.A.
- Saaty L. T. (1994) "Highlights and critical points in the theory and application of the Analytical Hierarchy Process", *European Journal of Operational Research*, 74, 426-447.
- Sherif, M. M., & Singh, V. P. (1999). Effect of climate change on sea water intrusion in coastal aquifers. *Hydrological Processes*(13), 1277-1287.
- Signell R. P., Carniel S., Cavaleri L., Chiggiato J., Doyle J. D., Pullen J., Sclavo M., 2005, "Assessment of Wind Quality for Oceanographic Modelling in Semi-enclosed Basins", Feenstra, J. F., Burton, I., Smith, J. B., & Tol, R. S. J. (Eds.). (1998). *Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies* (v2 ed.): UNEP.
- Svendsen, I. A., (1984), "Wave heights and set-up in a surf zone," *Coastal Engineering* 8, 303-329
- Svendsen, I.A., (1984), "Mass flux and undertow in a surf zone", *Coastal Engineering*, 8, 347-365
- Şafak, I., (2006), "Numerical Modeling of Longshore Sediment Transport", M.S. Thesis, METU, Ankara, Turkey
- Tajima, Y. & Madsen, O. S., (2003), "Modeling near-shore waves and surface roller" in Proc. 2nd Int. Conf. Asian and Pacific Coasts (APAC 2003), Makuhari, Chiba, Japan, Paper No. 28 in CD-ROM, 12p.
- Tajima, Y., (2004), "Waves, currents, and sediment transport in the surf zone along long, straight beaches", PhD dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering

- Tang, J., Shen, Y.M. ve Cui, L., (2008), "Modeling Near-Shore Currents Induced by Irregular Breaking Wave", *Journal of Coastal Research*, Special Issue 52, pp 245-252, Florida, USA
- Teknomo, K., < <http://people.revoledu.com/kardi/copyright.html>»(2009). Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy Sets." *Information and Control*, 8, 338-353.
- Thornton, E.B., Guza, R.T., (1983), "Transformation of wave height distribution", *Journal of Geophysical Research* 88 (C10), 5925–5938
- Van Rijn, L.C., (2000a), "Hydrodynamics, sediment dynamics and morphodynamics during storm events 1998 in the nearshore zone of Egmond, The Netherlands", Report Z2897. Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands
- Van Rijn, L.C., (2004), "Longshore Sediment Transport", Report Z3054.20, Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands
- Vincent, C.L., ve Briggs, M.J., (1989), "Refraction-diffraction of irregular waves over a mound", *J. Waterways, Port, Coast., Ocean Eng.*, ASCE 115 (2), pp269–284.
- Warner, J.C., Sherwood, C.R., Signell, R.P., Harris C.K., Arangoc, H.G., (2008), "Development of a three-dimensional, regional, coupled wave, current, and sediment-transport model", *Computers & Geosciences* 34, 1284–1306
- Watanabe, A. (1987). "3-dimensional numerical model of beach evolution," *Proceedings Coastal Sediments '87*, ASCE, 802-817
- Watanabe, A. (1992). "Total rate and distribution of longshore sand transport." *Proc. of the 23rd Coastal Eng. Conf.*, pp. 2528-2541.
- XBEACH, Dano Roelvink (P.I.), Ad Reniers, Ap van Dongeren, Jaap van Thiel de Vries, Jamie Lescinski, Robert McCal, "XBeach Model Description and Manual", Unesco-IHE Institute for Water Education, Deltares and Delft University of Technology, June 21, 2010 ver.6
- Yang, J. ve Lee, H. (1997)" An AHY decision model for facility location selection ", *Facilities* , 15 (9/10), 241- 254.
- Yaning, C., et al (2009). Fifty-year climate change and its effect on annual runoff in the Tarim River Basin, China. *Quaternary International*, *in print*.
- Zadeh L.A. (1976) "A fuzzy-algorithmic approach to the definition of complex or imprecise concepts." *International Journal Man-Machines Studies*, 8, 249-291
- Zadeh, L. A. (2005). "Toward a generalized theory of uncertainty (GTU) - an outline." *Information Sciences*, 172, 1-40.
- Zimmermann, H.-J. (2000), "An application-oriented view of modeling uncertainty." *European Journal of Operational Research*, 122,190-198.

**TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje No: 108M589
Proje Başlığı: Kıyılarda İklim Değişikliğine Karşı Kumlanma Modeli Destekli Kırılabilirlik Analizi Projesi - KIDEKA
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Prof. Dr. Ayşen ERGİN, Prof. Dr. Ahmet Cevdet YALÇINER, Doç. Dr. İsmail YÜCEL, Dr. Işıkhan GÜLER, Dr. Gülizar ÖZYURT, Dr. Cüneyt BAYKAL, Yük. Müh. Mustafa ESEN
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Kıyı ve Liman Mühendisliği Laboratuvarı K5 Binası ANKARA
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 15.03. 2009 – 15.03.2012
Öz (en çok 70 kelime) <p>Türkiye'nin jeolojik, ekolojik ve sosyoekonomik önemi olan kıyı alanlarındaki kalkınmanın sürdürülebilirliği ve de deniz seviyesi yükselmesine karşı yapılacak uyumluluk çalışmalarına kaynak aktarımının en uygun şekilde düzenlenebilmesi için bulanık mantık yöntemi kullanılarak insan ve fiziksel parametreleri bir arada kullanan bir kıyı alanları kırılabilirlik modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modelin çıktlarından olan kıyı erozyonu sorununun sayısal olarak modellenebilmesi için de 2 boyutlu bir kumlanma modeli 4 alt modelden oluşturularak tasarlanmıştır. Bu modellerde kullanılan rüzgar ve dalga verilerinin güvenilirliği çeşitli verisetlerinin karşılaştırılması ile test edilmiştir.</p>
Anahtar Kelimeler: iklim değişikliği, kıyı alanları kırılabilirlik modeli, adaptasyon stratejileri, kum taşınım modellemesi, coğrafi bilgi sistemler ve haritalama
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> <small>Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.</small>
Projeden Yapılan Yayınlar: Baykal, C., (2012), "Two-Dimensional Depth-Averaged Beach Evolution Modelling", Ph.D. Thesis, METU, Ankara, Turkey Ergin, A., Güler, I., Baykal, A., Esen, M., Şafak, I., Artagan, S.S., 2009, "Two Dimensional Numerical Modelling of Coastal Sediment Transport, A Case Study: Bafra Delta Coastal Protection System", 3rd CoastLab Course/Seminar – Porto, 14-18.09.2009 Ozyurt, G. (2010). "Fuzzy Vulnerability Assessment Model of Coastal Areas" Doctorate Thesis. Middle East Technical University, Ankara Özyurt, G., Ergin. A. and Baykal C. Fuzzy Vulnerability Assessment of Coastal Areas to SeaLevel

Rise. 32nd International Conference on Coastal Engineering (ICCE 2010) Shanghai, China. (30 June-5 July 2010) Paper no:504

Cüneyt Baykal, Ayşen Ergin and Işıkhan Güler (2012). Intervention of Human Activities on Geomorphological Evolution of Coastal Areas: Cases from Turkey, Studies on Environmental and Applied Geomorphology, Dr. Tommaso Piacentini (Ed.), ISBN: 978-953-51-0361-5, InTech,

Gülizar Özyurt and Ayşen Ergin (2012). Spatial and Time Balancing Act: Coastal Geomorphology in View of Integrated Coastal Zone Management (ICZM), Studies on Environmental and Applied Geomorphology, Dr. Tommaso Piacentini (Ed.), ISBN: 978-953-51-0361-5, InTech,

Ekte Bulunan “ARDEB Başarı Öyküsü Formu”, “Kazanımlar” Bölümünde Belirtilen Kriterlere Göre Proje Çıktılarınızın Başarı Öyküsü Niteliği Taşdığını Düşünüyorsanız “ARDEB Başarı Öyküsü Formu”nu doldurunuz.