

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**AYVALIK – BOZCAADA – BANDIRMA KIYI BÖLGELERİ  
İÇİN RÜZGAR VE DALGA İKLİMİ ÇALIŞMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DİLEK ÇAPANOĞLU BACANLI**

**BALIKESİR, MAYIS - 2015**

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**AYVALIK – BOZCAADA – BANDIRMA KIYI BÖLGELERİ  
İÇİN RÜZGAR VE DALGA İKLİMİ ÇALIŞMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DİLEK ÇAPANOĞLU BACANLI**

**BALIKESİR, MAYIS - 2015**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Dilek ÇAPANOĞLU BACANLI** tarafından hazırlanan “**AYVALIK – BOZCAADA – BANDIRMA KIYI BÖLGELERİ İÇİN RÜZGAR VE DALGA İKLİMİ ÇALIŞMASI**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 08.04.2015 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Yrd. Doç. Dr. Nuray GEDİK

Üye  
Prof. Dr. Emel İRTEM

Üye  
Doç. Dr. Burhanettin FARİZOĞLU

  
.....  
  
.....  
  
.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

**Bu tez alışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2010/10 nolu proje ile desteklenmiştir.**

## ÖZET

**AYVALIK – BOZCADADA – BANDIRMA KIYI BÖLGELERİ İÇİN  
RÜZGAR VE DALGA İKLİMİ ÇALIŞMASI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
DİLEK ÇAPANOĞLU BACANLI  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. NURAY GEDİK)  
BALIKESİR, MAYIS - 2015**

Kıyı mühendisliğinin en önemli konularından biri dalgaların kıyı alanına olan etkisinin belirlenmesidir. Kıyı alanlarında birçok tipte deniz yapıları inşa edilmektedir. Bu yapılardan bazıları limanlar için yanaşma yerleri ve dalgakıranlar, kıyı koruma için kıyı duvarları, açık deniz dalgakıranları ve mahmuzlardır. Bu yapıların planlanmasında, tasarımında, inşasında ve kıyı çizgisi değişiminin belirlenmesinde dikkate alınacak ana faktör dalga parametreleridir.

Ayvalık – Bozcaada - Bandırma kıyı bölgesinde rüzgar ve dalga iklimi çalışması yapılmıştır. Dalga tahmininde kullanılan rüzgar verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden 17175-17111-17114 nolu istasyonlarından 1980- 2010 dönemini kapsayan 30 yıllık döneme ait saatlik rüzgar verileri temin edilmiştir. Veriler değerlendirilerek 1980-2010 yılları arasında saatlik rüzgar dağılım yüzdeleri, rüzgar hızlarının yönlere göre frekans dağılımı ve yönsel ağırlıklı hız ortalamaları verilmiştir. Ampirik dalga tahmin yöntemlerinden SMB yöntemi ile bu bölgelere ait dalga parametreleri belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında MIKE 21 SW numerik modeli kullanılarak rüzgar ve dalga gülleri elde edilmiştir. Bu model için gerekli olan rüzgar verileri ECMWF (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi) ERA Interim veri setinden elde edilmiştir. Rüzgar-dalga modelinin kalibrasyonu için Türkiye kıyılarında NATO TU-WAVES projesi kapsamında Bozcaada şamandıra istasyonu için Kasım 1994-30 Eylül 1995 tarihleri arasında kaydedilen veriler kullanılmıştır. Bozcaada ölçüm istasyonuna ait belirgin dalga yüksekliği ile Özhan vd. (1995)'ten elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. ECMWF verilerine göre modelden elde edilen sonuçlara bakıldığında dalgaların genellikle Ayvalık için Kuzey, Bandırma için Kuzey batı yönünde ve Bozcaada için Güney ve Güney batı yönlerinde daha etkili olduğu görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELELER:** SMB dalga modeli, dalga yüksekliği, dalga iklimi, Mike 21 SW, ECMWF

## **ABSTRACT**

**WIND AND WAVE CLIMATE RESEARCH FOR THE COASTAL REGION  
AYVALIK – BOZCAADA AND BANDIRMA  
MSC THESIS  
DİLEK ÇAPANOĞLU BACANLI  
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
CIVIL ENGINEERING  
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. NURAY GEDİK )  
BALIKESİR, MAY 2015**

One of the most important subjects of coastal engineering is determining the affect of waves on the coastal area. Many types of marine structures are being constructed at coastal areas. Some of these structures are berths and breakwaters for ports, seawalls, and offshore breakwaters and groins for coastal protection. The main factor to take into consideration in the planning, designing, and constructing of these structures and in determining the change to the shoreline is wave parameters.

Wind and wave climate of the coastal region between Ayvalik and Bandirma is planned to be undertaken in this study. Wind data used in the wave forecasts have been obtained from 17175-17111-17114 meteorological stations which belong to Turkish State Meteorological Service between the period of 30 years January 1980-July 2010. In this study, the 1-hour wind distribution percentage, wind speed frequency distribution considering directions, weighted mean speed will be given with tables between the period 1980-2010 using the evaluation of the data. The wave climate of this three regions have been obtained using the SMB wave model.

Wind and wave roses were obtained by using numerical model Mike 21 SW in the thesis comprehensiveness. Wind data required for this model were obtained from ECMWF (European Centre Medium-Range Weather Forecasts) ERA Interim data set. For the calibration of wind – wave models, data is used which was recorded for Bozcaada buoy stations under NATO TU- WAVES project at the coast of Turkey between November 1994- 30 September 1995. Significant wave height related with Bozcaada measurement station and the data received from Özhan et al. (1995) were compared. When examining the results received from model according to ECMWF data, it has been observed that waves are usually more effective at Ayvalık in North direction, at Bandırma in North-west direction and at Bozcaada in South and south West direction

**KEYWORDS:** SMB wave model, wave height, wave climate, Mike 21 SW, ECMWF

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>III</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>IV</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>V</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	4
<b>2. DALGA İKLİMİ VE İSTATİSTİĞİ</b> .....	<b>5</b>
2.1 Giriş.....	5
2.2 Feç Uzunluğu .....	5
2.3 Rüzgar Hızları .....	7
2.4 Dalga Tahmin Yöntemleri.....	10
2.4.1 Basit Dalga Tahmin Yöntemleri .....	10
2.4.2 Ampirik Dalga Tahmin Yöntemleri.....	16
2.4.2.1 JONSWAP Yöntemi .....	17
2.4.2.2 SPM Yöntemi.....	18
2.4.2.3 SMB Yöntemi .....	23
2.4.2.4 Donelan Yöntemi .....	26
2.4.2.5 Krylov Yöntemi .....	27
<b>3. SAYISAL MODELLEME</b> .....	<b>29</b>
<b>4. RÜZGAR VE DALGA İKLİMİNİN BELİRLENMESİ</b> .....	<b>31</b>
4.1 Çalışma Bölgesinin Tanıtımı.....	31
4.2 Rüzgar ve Dalga İkliminin Değerlendirilmesi .....	36
4.2.1 DMİ'den alınan Rüzgar Verilerinin Değerlendirilmesi.....	36
4.2.2 ECMWF'den alınan Rüzgar Verilerinin Değerlendirilmesi.....	40
4.3 Ampirik Dalga Tahmin Yöntemlerinden SMB Yöntemi.....	47
4.3.1 Hakim Rüzgar Yönlerine Göre Feç Uzunluklarının Hesabı.....	47
4.3.2 SMB Yönteminin Çalışma Bölgesine Uygulanması .....	48
4.4 Dalga Modellemesi ve Analizi.....	51
<b>5. SONUÇLAR</b> .....	<b>57</b>
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>59</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Düzeltme faktörü (Kabdaşlı, 1992).....	6
Şekil 2.2: Efektif feç uzunluğunun hesabı (Kabdaşlı, 1992).....	7
Şekil 2.3: Esmeye süresine bağlı rüzgar hızları.....	8
Şekil 2.4: Esmeye süresine göre rüzgar hızlarının belirlenmesi.....	8
Şekil 2.5: $R_T$ düzeltme faktörü. ....	9
Şekil 2.6: $R_L$ düzeltme faktörü. ....	10
Şekil 2.7: Derin suda limit dalga dikliği.....	11
Şekil 2.8: Dalga tahmin diyagramı (Gröen ve Dorrestein, 1976). ....	15
Şekil 2.9: Eş zamanlı feç-süre ilişkisi (Massel,1996).....	16
Şekil 2.10: Dalga yüksekliğinin tahmini için grafik (sabit derinlik). ....	19
Şekil 2.11: Dalga periyodunun tahmini için grafik (sabit derinlik). ....	20
Şekil 2.12: Belirgin dalga karakteristikleri nomogramı.....	22
Şekil 2.13: SMB yöntemi (Yüksel vd., 1998). ....	24
Şekil 2.14: $\phi$ feç parametresi (Yüksel vd., 1998). ....	25
Şekil 2.15: Ortalama dalga yüksekliği H ile boyutsuz feç arasındaki ilişki (Massel, 1996).....	28
Şekil 4.1: Ayvalık'ın coğrafi konumu. ....	32
Şekil 4.2: Ayvalık sahil şeridi.....	32
Şekil 4.3: Bozcaada'nın coğrafi konumu.....	33
Şekil 4.4: Bozcaada sahil şeridi. ....	33
Şekil 4.5: Bandırma'nın coğrafi konumu. ....	35
Şekil 4.6: Bandırma sahil şeridi.....	35
Şekil 4.7: Ayvalık'a ait rüzgar gülleri ....	44
Şekil 4.8: Bozcaada'ya ait rüzgar gülleri.....	45
Şekil 4.9: Bandırma'ya ait rüzgar gülleri ....	46
Şekil 4.10: SMB metodu ile dalga tahmininde izlenen yol.....	49
Şekil 4.11: Ayvalık için belirgin dalga yüksekliği ve periyodu arasındaki ilişki.....	49
Şekil 4.12: Bozcaada için belirgin dalga yüksekliği ve periyodu arasındaki ilişki ....	50
Şekil 4.13: Bandırma için belirgin dalga yüksekliği ve periyodu arasındaki ilişki ....	50
Şekil 4.14: Ege Denizi model hesap ağı.....	51
Şekil 4.15: Marmara Denizi model hesap ağı.....	52
Şekil 4.16: Ege Denizi batimetrisi .....	52
Şekil 4.17: Marmara Denizi batimetrisi ....	52
Şekil 4.18: Bozcaada ait dalga yüksekliği verilerinin karşılaştırılması ....	53
Şekil 4.19: Ayvalık'a ait dalga gülleri.....	54
Şekil 4.20: Bozcaada'ya ait dalga gülleri ....	55
Şekil 4.21: Bandırma'ya ait dalga gülleri.....	56



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> Derin su dalga tahmin denklemleri (CERC, 1984).....	21
<b>Tablo 4.1:</b> Çalışma bölgesine ait verilerin rüzgar yönlerine göre oluşma yüzdeleri (1980-2010).....	36
<b>Tablo 4.2:</b> Ayvalık Saatlik rüzgar hızlarının yönlere göre frekans dağılımı ve yönsel ağırlıklı hız değerleri. ....	37
<b>Tablo 4.3:</b> Bozcaada saatlik rüzgar hızlarının yönlere göre frekans dağılımı ve yönsel ağırlıklı hız değerleri.....	38
<b>Tablo 4.4:</b> Bandırma saatlik rüzgar hızlarının yönlere göre frekans dağılımı ve yönsel ağırlıklı hız değerleri.....	39
<b>Tablo 4.5:</b> Ayvalık OMGİ'den alınan rüzgar karakteristiklerinin dağılımı (1980-2010).....	41
<b>Tablo 4.6:</b> Bozcaada OMGİ'den alınan rüzgar karakteristiklerinin dağılımı (1980-2010).....	42
<b>Tablo 4.7:</b> Bandırma OMGİ'den alınan rüzgar karakteristiklerinin dağılımı (1980-2010).....	43
<b>Tablo 4.8:</b> Ayvalık-Bozcaada ve Bandırma için etkili kabarma alanı feç uzunlukları.....	48
<b>Tablo 4.9:</b> Ege ve Marmara Denizi hesaplama alanı koordinatları.....	51

## SEMBOL LİSTESİ

<b>d</b>	: Su derinliği
<b>D</b>	: Sabit
<b>D<sub>p</sub></b>	: Fırtına bölgesinden gözlem noktasına olan süre
<b>E</b>	: Enerji
<b>F</b>	: Feç mesafesi
<b>f</b>	: Frekans
<b>F*</b>	: Boyutsuz feç
<b>F<sub>FAS</sub></b>	: Tam gelişmiş durumdaki feç
<b>f<sub>p</sub></b>	: Pik frekans
<b>g</b>	: Yerçekimi ivmesi
<b>H</b>	: Dalga yüksekliği
<b>H*</b>	: Boyutsuz dalga yüksekliği
<b>H<sub>1/3</sub></b>	: Belirgin dalga yüksekliği
<b>H<sub>c</sub></b>	: Karakteristik dalga yüksekliği
<b>H<sub>m0</sub></b>	: Spektrumun belirgin dalga yüksekliği
<b>H<sub>s</sub></b>	: Belirgin dalga yüksekliği
<b>L</b>	: Dalga boyu
<b>L<sub>0</sub></b>	: Derin su dalga boyu
<b>m<sub>0</sub></b>	: Dalga yoğunluk spektrumunun altında kalan alan
<b>P</b>	: Boyutsuz Sabit
<b>R<sub>T</sub></b>	: Düzeltme faktörü
<b>R<sub>L</sub></b>	: Düzeltme faktörü
<b>T</b>	: Dalga periyodu
<b>T<sub>p</sub></b>	: Belirgin Dalga periyodu
<b>T<sub>w</sub></b>	: Rüzgar esme süresi
<b>t*</b>	: Boyutsuz süre
<b>T<sub>1/3</sub></b>	: Belirgin dalga periyodu
<b>T<sub>c</sub></b>	: Karakteristik dalga periyodu
<b>t<sub>FAS</sub></b>	: Tam gelişmiş durumdaki rüzgar esme süresi
<b>t<sub>lim</sub></b>	: Limit süre
<b>T<sub>m</sub></b>	: Spektrumun pik periyodu
<b>U</b>	: Rüzgar hızı
<b>U<sub>10</sub></b>	: Deniz seviyesinden 10 m yükseklikteki rüzgar hızı
<b>U<sub>5</sub></b>	: Deniz seviyesinden 5 m yükseklikteki rüzgar hızı
<b>U<sub>A</sub></b>	: Rüzgar gerilme faktörü

$U_{z0}$	: Referans yüksekliğindeki rüzgar hızı
$U_z$	: Deniz seviyesinden z yüksekliğindeki rüzgar hızı
$y$	: Rüzgar yönü
$z$	: Yükseklik
$z_0$	: Referans yüksekliği
$\alpha$	: Boyutsuz sabit
$\beta$	: Boyutsuz sabit
$\gamma$	: Sabit
$\xi$	: Dalga diklik parametresi
$\varphi$	: Dalga yönü
$\Theta$	: Dalga yönü ve rüzgar yönü arasındaki fark
$\sigma$	: Göreceli açısal frekans
$\phi$	: Feç parametresi
$\omega$	: Açısal frekans

## **ÖNSÖZ**

Sunulan Yüksek Lisans tezinde kıyı düzenlemelerinde göz önüne alınması gereken en önemli parametrelerden biri olan dalga karakteristiklerini belirleyebilmek için Ayvalık, Bandırma ve Bozcaada'da rüzgar ve dalga iklimi çalışması yapılmıştır.

Tez çalışmalarım sürecinde değerli destek ve katkılarıyla beni yönlendiren, her zaman güçlü yapısı ve düşünceleriyle biz öğrencilerine de güç veren kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Nuray GEDİK'e, beni maddi ve manevi yönden destekleyen her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

**Balıkesir, 2015**

**İnş. Müh. Dilek ÇAPANOĞLU BACANLI**

# 1. GİRİŞ

Kıyı mühendisliğinin en önemli konularından biri dalgaların kıyı alanına olan etkisinin belirlenmesidir. Kıyı alanlarında birçok tipte deniz yapıları inşa edilmektedir. Bu yapılardan örneğin taşdolgu dalgakıranlar dalga etkilerine koruyucu tabakalarında kullanılan blok ağırlıkları ile karşı koyarlar. Bu koruyucu tabaka blok ağırlığı, dalga yüksekliğinin küpü ile doğru orantılıdır. Bu durumda dalga yüksekliğinin yanlış belirlenmesi koruyucu tabakayı oluşturan taş ağırlığının da dalga yüksekliğinin küpü oranında yanlış belirlenmesine yol açacaktır. Bu nedenle dalga parametrelerinin doğru şekilde belirlenmesi kıyı yapılarının boyutlandırılması için çok önemlidir.

Özhan ve Abdalla tarafından 2002 yılında “Türkiye Kıyıları Rüzgar Ve Derin Deniz Dalga Atlası” hazırlanmıştır. Bu atlas Hopa'dan Samandağ'a yaklaşık 25 km aralıklarla, Türkiye kıyılarını etkileyen rüzgar ve derin deniz dalgalarının istatistiksel özelliklerini sunmaktadır. Atlasta, yıllık ve mevsimsel ortalama rüzgar hızı ve dalga yüksekliği gülleri, her ay için aylık ortalama rüzgar hızı ve dalga yüksekliği değerleri, belirgin dalga yüksekliği ortalama dalga dönemi ilişkisi, belirli yinelenme dönemlerine karşılık rüzgar hızı ve belirgin dalga yüksekliği tasarım değerlerinin bulunduğu en büyük istatistikleri yer almaktadır.

Arıkan vd. (2004)'de DLH İnşaatı Genel Müdürlüğü'nce Karadeniz'de yapılması planlanan Filyos Limanı'na ait dalga karakteristiklerini belirlemek amacıyla Ocak 1995-Aralık 1996 tarihleri arasında dalga ölçümleri yapılmış, çalışmada kaydedilen bu dalga ölçümlerinin analizleri ile üç farklı rüzgar verisi ve iki farklı dalga tahmin metodu kullanarak elde edilen dalga tahminleri karşılaştırılmıştır.

Roulston vd. (2005)'de hava tahminlerinden iki haftalık olası dalga yüksekliğinin bulunabileceğini belirtmişlerdir. Bu makalenin amacının hem post-processing tekniklerini bir uygulamayla göstermek hem de bu tekniğin ECMWF tahmin sisteminin bir haftadan daha uzun zamana kadar olası dalga alanlarını güvenilir bir şekilde sağladığını göstermek olduğunu belirtmişlerdir.

Stansell (2004)'de Kuzey Denizi'ndeki 14 şiddetli fırtınada 793 saat süresince oluşan ekstrem dalgaların istatistiksel analizini sunmuştur. Çalışmada tepe ve çukur arasındaki aşırı yüksekliklerin belirgin dalga yüksekliğinin belirlemede önemli rol oynadığını belirtmiştir.

Andreas ve Wang (2007) tarafından yapılan çalışmada Amerika Birleşik Devletleri'nin kapalı kuzeydoğu kıyılarında 12 farklı şamandıradan 18 yıllık döneme ait saatlik rüzgar verileri analiz edilerek belirgin dalga yüksekliğini tahmin etmek için bir basit metot geliştirilmiştir.

Şahin (2007) tarafından yapılan çalışmada mevcut sayısal dalga modelleri ve ampirik dalga tahmin modelleri incelenmiş, yönsel dalga parametrelerinin zaman serisi olarak tahmini için parametrik bir dalga tahmin modeli geliştirilmiştir. Modelde, dalga yüksekliği ve dalga periyodunun hesabında CERC (1984) tarafından verilen ampirik ifadelerden faydalanılmış ve dalga parametrelerinin bir zaman serisi şeklinde elde edilebilmesi için bu ifadelerde bulunan rüzgar esme süresi (t), rüzgar hızı (U) ve etkili feç mesafesi (F) çeşitli yaklaşımlar yapılarak belirlenmiştir. Dalga yönünün tahmini için farklı bir yöntem önerilmiştir. Bir zaman serisi şeklinde hesaplanan dalga yüksekliği, dalga periyodu ve dalga yönleri Karaburun yöresinde yaklaşık 8.5 ay süre ile ölçülmüş dalga parametreleri ile karşılaştırılmış ve dalga yüksekliği için son derece uyumlu sonuçlar elde ederek, kurulan modelin dalga periyodu ve yönü için kabul edilebilir mertebede sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Çaban (2007)'de Karadeniz kıyıları boyunca seçilen oniki bölge için rüzgar ve rüzgar dalgası güllerini, belirgin dalga yüksekliğine karşılık ortalama rüzgar dalga periyodu ilişkisini, en yüksek değerler istatistiği analizini ve log-lineer toplam dağılımları sunulmuştur.

Yılmaz (2007) de Sinop, Hopa ve Gelincik (Rusya) açıklarına yerleştirilen yönsel dalga ölçer şamandıralardan elde edilen oldukça uzun süreli derin deniz dalga ölçümleri Doğu Karadeniz'deki rüzgar dalgalarının spektral özelliklerini belirlemek için kullanılmıştır. Dalga ölçümleri tek tepeli veya çok tepeli olarak tanımlanmış, ve oluşma yüzdeleri hesaplanmıştır. Tek tepeli spektruma sahip ölçümler tam gelişmiş veya gelişmekte olan deniz durumuna ait olarak ayrılmıştır. Gözlenen spektrumlar

için JONSWAP ve PM spektrumlarının model parametreleri en küçük kareler yöntemi ile tahmin edilmiştir.

Günver (2007) tarafından yapılan çalışmada Amerika Birleşik Devletleri Güneydoğu Sahilinde 15 yıl süreyle saatlik aralıklarla toplanmış rüzgar hızı, fırtına, baskın ve ortalama dalga periyodu, hava sıcaklığı, su sıcaklığı ve atmosferik basınçları çeşitli şekillerde manupule edilerek dalga yüksekliği tahmini yapılmıştır. Çalışmada karar ağaçları ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılmış olup rüzgar verisi kullanılmadan dalga yüksekliği tahmini yapılmıştır.

Topaloğlu (2007) de Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Tekirdağ'daki 17056 no'lu ölçüm istasyonundan alınan rüzgar hızı ve rüzgar yönü bilgileri ile yapay sinir ağları kullanılarak dalga yüksekliği tahmin edilmiştir. Bu tahminler de iki değişik yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır.

Arı vd. (2007)'de Karaburun kıyı alanının rüzgar ve dalga iklimi incelenmiştir. Çalışmada uzun dönemli dalga verisi elde edebilmek için dalga ölçümünün yanında parametrik, sayısal ve istatistiksel dalga tahmin yöntemleri kullanılmış ve tüm yöntemler karşılaştırılarak Karaburun bölgesi için dalga iklimi elde edilmiştir.

Berkün (2007) de Batı Karadeniz kıyılarında soluğan dalga iklimi araştırılmıştır. Bunun için Avrupa Orta Vadeli Tahminler Merkezi (ECMWF) tarafından 65 ay süreli veri sağlanmıştır. Elde edilen veriler Türkiye'nin Karadeniz kıyıları boyunca seçilen onüç bölgede incelenmiştir. Batı Karadeniz kıyılarında soluğan dalga aktivitesi ve şiddetinin yüksek olduğu görülmüştür. Uç soluğan dalga olayları incelendiğinde soluğan dalgaların kısa sürede oluşup kayboldukları görülmüştür. Bu nedenle ECMWF tarafından sağlanan 12 saat aralıklı verilerin soluğan dalgaların oluşumunun ve dağılımının incelemede yeterli olmadığı belirtilmiştir. Belirgin dalga yüksekliğine karşılık ortalama ana soluğan dalga periyodu ilişkisi grafikleri ve soluğan dalga periyodu analizleri sonucunda Türkiye'nin kuzey kıyılarında soluğan dalga periyodunun 11 saniyeye ulaştığı belirtilmiştir.

Derebay (2007)'de Türkiye'nin Ege Denizi ve Akdeniz kıyılarındaki soluğan dalga iklimi incelenmiştir. Bunun için ECMWF tarafından 72 ay süreli veri sağlanmıştır. Elde edilen veriler Türkiye'nin Ege Denizi ve Akdeniz kıyıları boyunca

yirmibir bölgede incelenmiştir. Her bölge için rüzgar ve soluğan dalga gülleri, belirgin dalga yüksekliğine karşılık ortalama ana soluğan dalga periyodu ilişkisi, en yüksek değerler istatistiği analizi ve loglineer toplam dağılımları sunulmuştur.

Günaydın (2008)'de Atlantik açıklarındaki 3 istasyondan elde ettiği meteorolojik ve dalga verilerinde aylık ortalama belirgin dalga yüksekliğini tahmin etmede regresyon metodunu ve yapay sinir ağları modelini kullanmıştır. Dalga ve meteorolojik veriler boyutsuz parametrelere dönüştürülerek pi teoremi ile ampirik bağıntılar önerilmiştir. Bu önerilen bağıntılar yapay sinir ağ modelinin sonuçları ile karşılaştırılmış ve bunlar arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür.

Özbahçeci vd. (2011)'de DLH tarafından Filyos'da basınç tipi dalgaölçerden alınan iki yıllık dalga verilerini analiz etmişlerdir. Bu analizden 7949 ölçümden 209 tanesinde ender dalgaya rastladıklarını belirtmişlerdir. Çalışmada ender dalgaların istatistiksel ve spektral analizleri yapılarak ender dalgaların özellikleri araştırılmıştır. Ender dalgalara ait frekans ve yönsel spektrumların rüzgar dalgası spektrumlarına göre daha dar olduğunu ve ender dalga kayıtlarında dalga ve akıntının çoğunlukla aynı yönde olduğunu belirtmişlerdir.

## **1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Kıyı düzenlemelerinde göz önüne alınması gereken en önemli parametrelerden biri olan dalga karakteristiklerini belirleyebilmek için Ayvalık, Bandırma ve Bozcaada'da rüzgar ve dalga iklimi çalışması yapılacaktır. Dalga ikliminin sağlıklı güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi için zahmetli ve maliyetli bir iş olan uzun dönemli dalga ölçümlerine ihtiyaç vardır. Bu ölçümlerin mevcut olmadığı kıyı bölgelerinde rüzgar verileri kullanılarak gelişmiş bilgisayar programları yardımıyla veya ampirik dalga tahmin yöntemleri ile dalga parametreleri elde edilebilir. Bu tez kapsamında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı Ayvalık, Bozcaada ve Bandırma'ya ait meteoroloji istasyonlarından 30 yıllık döneme ait saatlik rüzgar verileri ampirik dalga tahmin metotlarından SMB yöntemi kullanılarak bu bölgeler için dalga parametreleri belirlenmiştir. Rüzgar verisi olarak ECMWF (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi) ERA Interim verileri temin edilerek Ayvalık – Bozcaada ve Bandırma için rüzgar ve dalga gülleri çizdirilmiştir. Modellemede MIKE 21 SW programı kullanılmıştır.



## 2. DALGA İKLİMİ VE İSTATİSTİĞİ

### 2.1 Giriş

Su yüzeyi üzerinde esen rüzgarlar sonucunda rüzgar dalgaları oluşmaktadır. Dalgalar, rüzgar hareketi etkisiyle zamanla ve mesafeyle gelişirler ve su yüzeyi dalgaları adı verilen büyük dalgalara dönüşürler (Şahin, 2007).

Rüzgar tarafından üretilen dalgaların boylarının ve frekanslarının oldukça geniş bir değişim aralığı vardır. Çok uzun dalgaların yayılma hızları rüzgar hızına eşittir. Çok dik dalgalar ise derin sudaki kırılma şartlarına göre belirlenirler. Oldukça karmaşık yapıya sahip, rüzgar etkisiyle oluşan dalgaların dalga üretim bölgesinde çok farklı boya, yüksekliğe ve periyoda sahip oldukları bilinir ve genellikle kısa dalga tipindedirler. Dalga üretim bölgesinden çıkarılarken yani ölü denize yaklaştıkça birbirlerini yutarlar. Böylece nispeten sabit karakteristikli dalga grupları meydana gelir (Yüksel ve Çevik, 2009; Yüksel vd., 1998).

Rüzgar dalgalarının yükseklikleri ve periyotları  $U$  rüzgar hızı,  $F$  feç mesafesi (rüzgarların etki mesafesi) ve  $T_w$  rüzgar esme süresine bağlıdır.

Dalga iklimi; farklı doğrultulardan değişik yükseklik ve periyotlu dalgaların meydana gelme frekanslarının belirlenmesidir. Bu bilgi ise kıyı stabilitesi, erozyonu ve kumlanması ile limanların kumlanması açısından önemlidir (Yüksel vd., 1998).

### 2.2 Feç Uzunluğu

Açık denizde rüzgarın belli bir yönde sabit hızla ve herhangi bir engelle karşılaşmadan estiği uzunluğa feç uzunluğu adı verilir. Bu uzunluk boyunca sabit hızlı rüzgarın deniz yüzeyine uyguladığı kayma gerilmesi sonucu dalga oluşur. Diğer taraftan rüzgar hızının bütün feç boyunca tam olarak sabit olması pratik olarak mümkün olmamakla birlikte  $\pm 2.5$  m'lik bir aralıkta değişen bir rüzgar hızı sabit kabul edilebilir (Kapdaşlı, 1992).

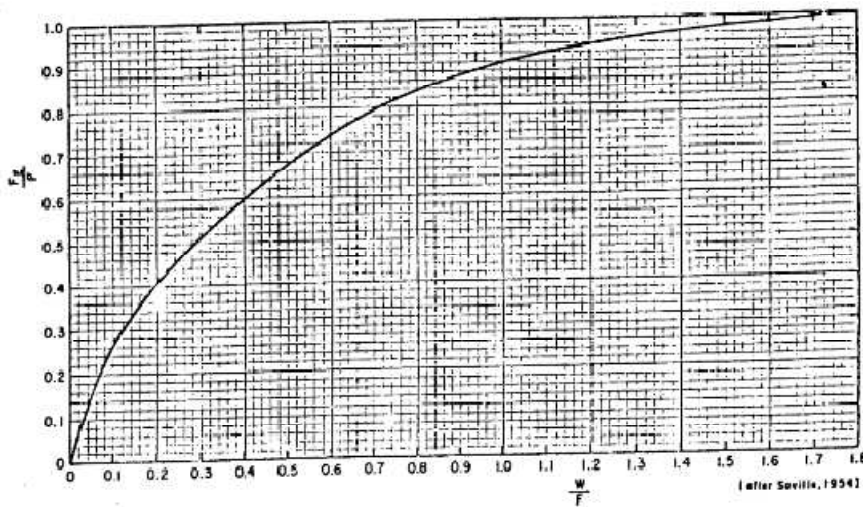
Okyanuslarda feçin genişliğini sınırlayıcı bir etki bulunmamakla birlikte iç denizlerde feçin genişliği de denizin gelişmesinde etkili olmaktadır. Genellikle bu gibi durumlarda kıyı çizgisinde göz önüne alınan noktadan başlayarak belli bir açıklıktaki alan göz önüne alınır ve bu şekilde hesaplanan feç'e efektif feç uzunluğu denir (Kapdaşlı, 1992).

Efektif feç uzunluğu aşağıdaki yöntemlerle bulunabilir.

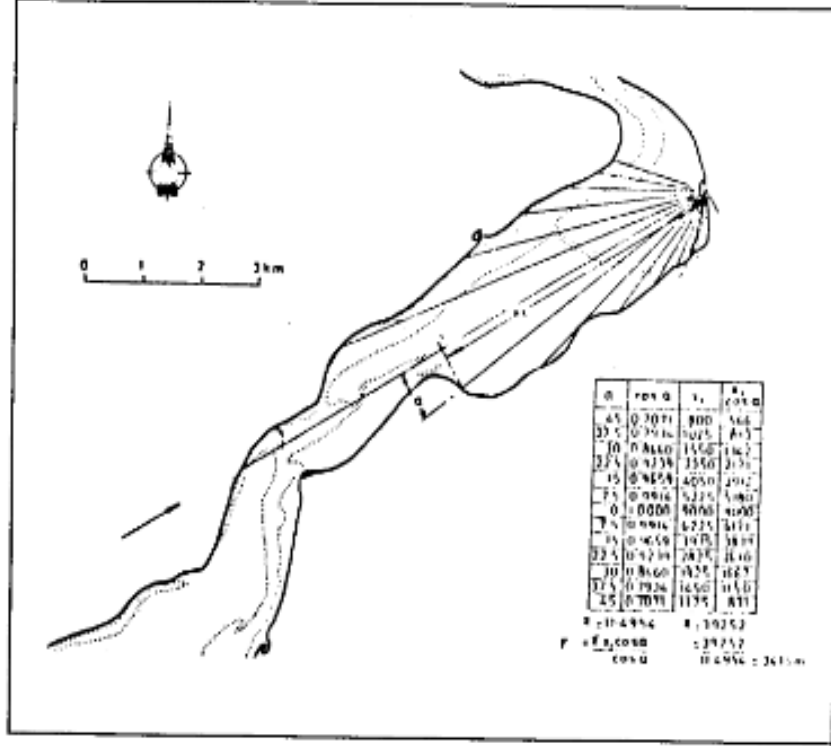
- a) Haritadan feç uzunluğu ve genişliği ölçüldükten sonra bu değer bir düzeltme faktörü ile çarpılır. Düzeltme faktörü Şekil 2.1'de kullanılarak bulunabilir. Bu efektif feç uzunluğu için en kolay yöntemdir.
- b) Kıyıda göz önüne alınan nokta esas dalga yönünden itibaren her iki tarafta  $\pm 45^\circ$ 'lik bir bandda  $7.5^\circ$ 'ar derece aralıklarda feç uzunlukları ölçülür. Efektif feç aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$Fe = \frac{\sum xi. \cos \alpha^2}{\sum \cos \alpha_i} \quad (2.1)$$

- c) Esas dalga yönünün her iki tarafından toplam 9 radyal  $3^\circ$  aralıklarla alınır. Bu radyalarda ölçülen feç uzunluklarının aritmetik ortalaması hesaplanır (Kapdaşlı, 1992).



Şekil 2.1: Düzeltme faktörü (Kabdaşlı, 1992).

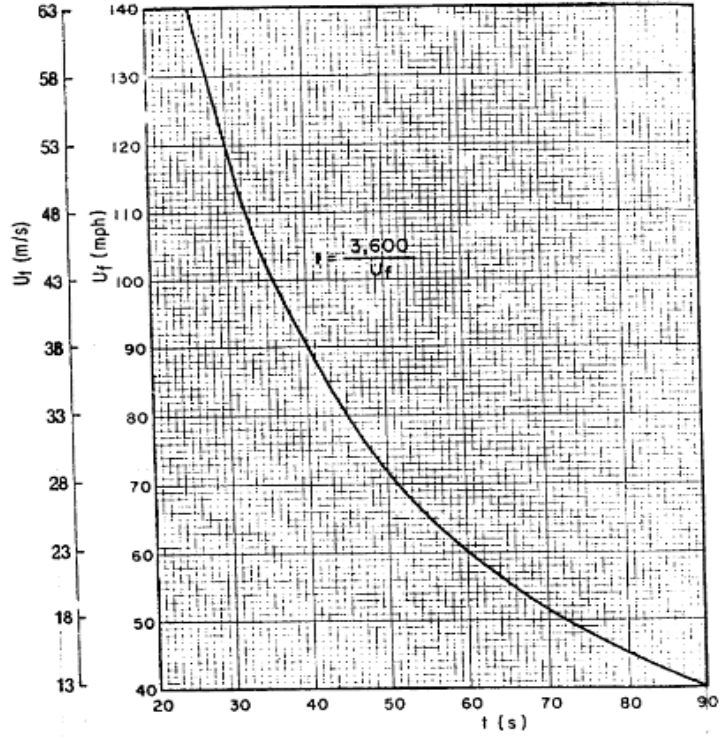


Şekil 2.2: Efektif feç uzunluğunun hesabı (Kabdaşlı, 1992).

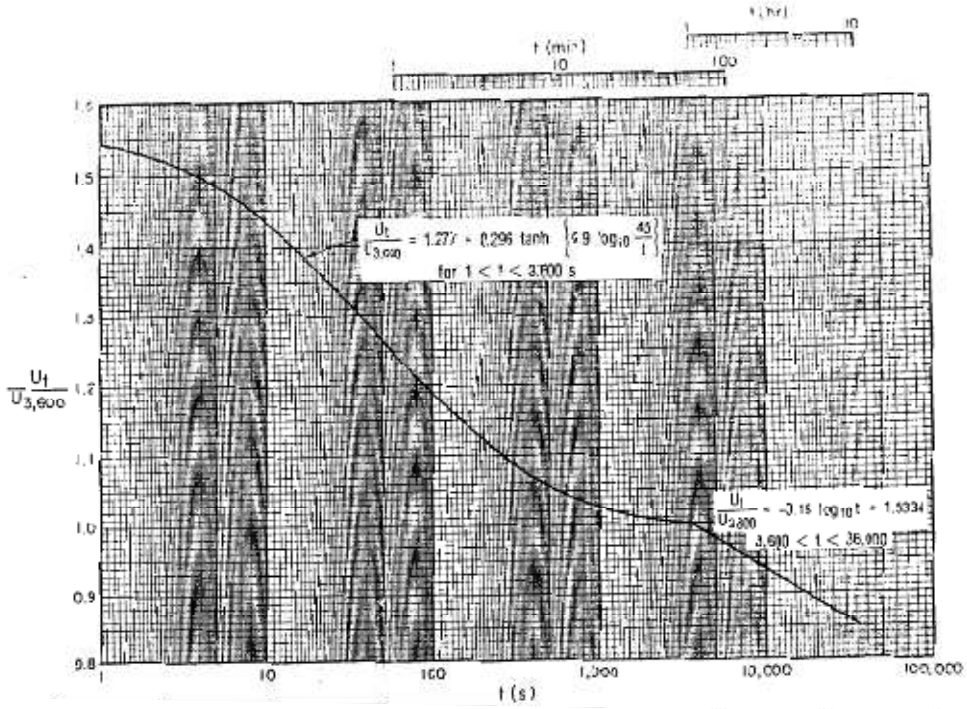
### 2.3 Rüzgar Hızları

Dalga tahminlerinde kullanılacak rüzgar hızları meteorolojik rüzgar kayıtlarından veya sinoptik haritalardan elde edilir. Bu hızların denizden 10 m yükseklikte ölçülmüş olmaları gerekir. Aksi halde z denizden ölçme noktasının yüksekliği olmak üzere aşağıdaki ifade ile bu hız bulunur. Genellikle rüzgar verilerinin sınırlı olduğu yerlerde rüzgar hızları extrem değerler olarak verilir. Bunların dalga tahminlerinde kullanılmaları mümkün değildir. Ancak belli bir esme süresine göre bu hızlarda düzeltme yapmak için Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'ü kullanmak mümkündür (Kabdaşlı, 1992).

$$U(10) = U(Z) \left(\frac{10}{Z}\right)^{1/7} \quad (2.2)$$



Şekil 2.3: Esmeye süresine bağlı rüzgar hızları (Kapdaşlı, 1992).



Şekil 2.4: Esmeye süresine göre rüzgar hızlarının belirlenmesi (Kapdaşlı, 1992).

Bu şekillerden aşağıdaki adımlarla yararlanılabilir.

- a) Şekil 2.3'de verilen  $U$  extrem hızı kullanılarak bu hızın bir millik uzunluğu katetme süresi ( $t$ ) bulunur.
- b) Şekil 2.4'de  $a$ 'da bulunan  $t$  değeri konularak ( $U_{\text{extrem}} / U_{\text{tsaatlik}}$ ) oranı bulunur.
- c)  $U_{\text{tsaatlik}}$  değeri b şikkında bulunan oran ile extrem hız çarpılarak bulunur. Bu değer saatlik ortalama rüzgar hızı olarak düşünülebilir.

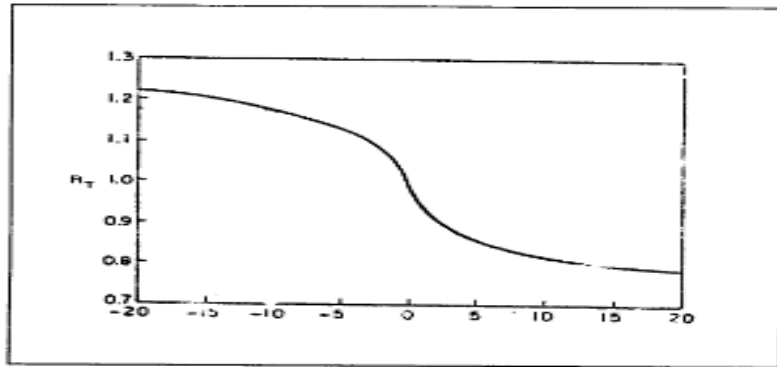
Aynı adımlar çeşitli şekillerle tekrarlanarak istenilen esme sürelerindeki ortalama hızlar bulunabilir.

Diğer taraftan dalga oluşumu etkileyen bir diğer parametre hava-su ısı farkıdır. Eğer hava daha soğuksa rüzgar etkisi daha fazla olacaktır. Bunu elde edebilmek için rüzgar hızını  $R_T$  gibi bir düzeltme faktörü ile çarpmak gerekir.

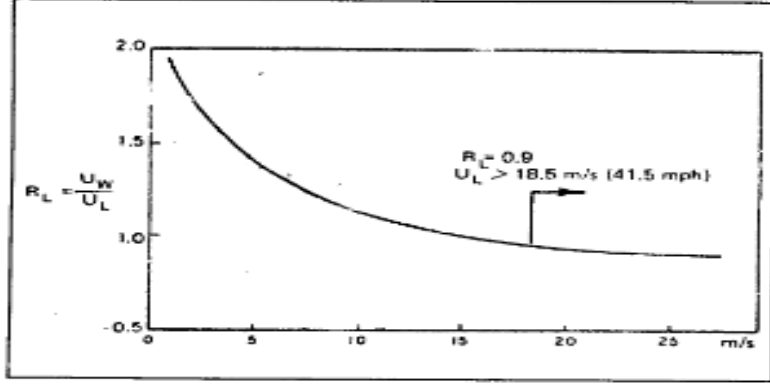
$$U = R_T \cdot U(10) \quad (2.3)$$

$R_T$  değeri ısı farkına bağlı olarak Şekil 2.5'den okunabilir.

Rüzgar kayıtları deniz üzerinde alınmamışsa kara parçasının sürtünmesi daha fazla olduğundan deniz üzerindeki hızı bulabilmek için  $R_L$  gibi bir faktörle çarpmak gerekir.  $R_L$  değeri Şekil 2.6'de verilmiştir (Kapdaşlı, 1992).



Şekil 2.5:  $R_T$  düzeltme faktörü (Kapdaşlı, 1992).



Şekil 2.6:  $R_L$  düzeltme faktörü (Kapdaşlı, 1992).

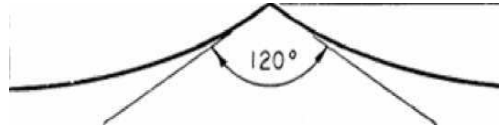
## 2.4 Dalga Tahmin Yöntemleri

Yaklaşık kırk yıldır, rüzgar nedenli sayısal dalga modellerinin gemi rotalarının belirlenmesi ve açık deniz teknolojisi gibi konularda oldukça faydalı oldukları gözlemlenmekte bunun yanı sıra son yıllarda dalga iklim çalışmalarında da sıklıkla kullanılmaktadır. Gelci vd. (1957)'nin modelinin öncü olması ile dalga üremesi, yayılması ve sönümlenmesinin karmaşık yapısını tanımlayan bir çok dalga modeli geliştirilmiştir. Bütün sayısal dalga modellerinin temeli enerji kaynak terimlerinin çözümüne dayanmaktadır. Bu yaklaşımların dışında, boyut analizlerine dayanan daha basit yarı ampirik yöntemler hala kullanılmaktadır. Bu bölümde öncelikle basitleştirilmiş dalga tahmin yöntemleri daha sonra sayısal dalga modelleri ile ilgili bilgiler verilmeye çalışılmıştır (Şahin,2007).

### 2.4.1 Basit Dalga Tahmin Yöntemleri

En mükemmel dalga tahmin teknikleri, bilgisayar teknolojisine olan ihtiyaç, modelin karmaşıklığı ve doğru meteorolojik verilere gereksinim duymaları nedeniyle gelişmiş olanakları bulunan laboratuvarlarda kullanılabilirler ve bu gibi laboratuvarların sayısı oldukça azdır. Ancak basitleştirilmiş dalga tahmin yöntemleri herkes tarafından kolayca kullanılabilirler. Bu yöntemler bütün problemlere cevap bulamamalarına rağmen bazı tasarım çalışmaları için olası dalga koşullarının belirlenmesinde kullanılabilirler (CERC, 1984; Şahin, 2007).

Dalga kayıtlarından, özellikle daha dik dalgalar için, dalgaların teoride kabul edildiği gibi sabit periyot ve yüksekliğe sahip olmadıkları görülmektedir. Dalga boyları ve dalga yaklaşım doğrultuları da aynı şekilde değişkendir. Ayrıca, sığ suda kırılma bölgesinde veya herhangi bir derinlikteki dik dalgaların profilleri değişmekte, daha dar kretli ve geniş düzgün çukurlu bir görünüme sahip olmaktadır.



$$\text{Limit dalga dikliği } \frac{H}{L}=0.142$$

**Şekil 2.7:** Derin suda limit dalga dikliği.

Doğadaki dalgalar gerçekte çok daha karmaşık olduklarından dolayı daha ideal hale getirmek için bazı kabullerin yapılması gerekmektedir. Bunun için belirgin dalga yüksekliği ve periyodu kavramları tanımlamıştır.

Belirgin dalga yüksekliği ve periyodu, gerçek deniz karakteristiklerinin daha düzenli formda gösterilmeleri için tanımlanmış parametrelerdir. Bu değerler bir çok mühendislik probleminin çözümünde kullanılmaktadır. Bu yaklaşım bazı problemler için uygun ve kullanışlı olmaktadır fakat tamamiyle tatmin edici değildir. Belirgin dalga kavramının kullanılabilmesi için dalga gözlemlerinden yükseklik ve periyot parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Munk (1944), belirgin dalga yüksekliğini en yüksek 1/3 dalganın yüksekliklerinin ortalaması şeklinde tanımlamıştır ve  $H_{1/3}$  ya da  $H_s$  ile göstermiştir. Belirgin dalga periyodu ise  $T_{1/3}$  ya da  $T_s$  ile gösterilir ve dalga kaydındaki en yüksek 1/3 dalganın periyotlarının ortalaması olarak tanımlanmaktadır.

Dalga gelişimi ile ilgili, görsel olarak elde edilen bir çok veri setinin kullanılması ile geliştirilmiş çok sayıda ampirik formül mevcuttur. Ayrıca daha güncel olan ve dalga ölçümlerine dayanan ifadeler de bulunmaktadır. Bu ifadeler ile rüzgar alanının bilinen özelliklerinden (rüzgar hızı ve yönü, feç ve süre) net dalga gelişimi elde edilebilmektedir (Şahin, 2007).

Görsel olarak elde edilen ve cihazlar yardımı ile gözlenen dalga yükseklikleri ve periyotları arasında doğal olarak farklılıklar olmaktadır ve bu fark dalga tahminine de etki etmektedir. Görsel değerler ölçüm değerlerinden daha düşük olmaktadır. Bir çok ampirik ilişkinin kullanışlı grafik sunumları 1940'lı yılların ortalarından beri var olmaktadır.

Dalga yüksekliği, dalga periyodu ve dalga ilerleme doğrultusunun tahmin edilmesi için kullanılan en kesin yöntem bir sayısal model kullanılarak bu parametrelerin belirlenmesidir. Ancak, genellikle hem kısıtlı zaman hem de yüksek maliyetinden dolayı model kullanılması her zaman mümkün olamamaktadır. Bu gibi durumlarda, basitleştirilmiş bir yöntemle hesap yapılması çok daha uygun olabilmektedir. Bu yöntemler ile verilen rüzgar hızı, feç ve süre için bir seri denklem ve nomogramlar kullanılarak  $H_{m0}$  belirgin dalga yüksekliği ve  $T_m$  spektrumun pik periyodu belirlenmektedir.

$H_{m0}=4\sqrt{m_0}$  olup,  $m_0$  dalga enerji yoğunluk spektrumunun altındaki alandır. Derin suda  $H_{m0}$  hemen hemen belirgin dalga yüksekliği  $H_s$ 'e eşit olmaktadır. Sığ suda ise,  $H_{m0}$ ,  $H_s$ 'den daha küçük olur. Hem sığ hem derin suda,  $H_{m0}$  dalga enerjisi ile ilişkilidir fakat aynı şey  $H_s$  için söylenemez. Basitleştirilmiş yöntemler, feç mesafelerinin kısa olduğu (80-120 km) koşullarda kullanılabilir ve rüzgarın feç boyunca sabit ve üniform olduğu kabul edilir. Rüzgar koşullarının mesafe ya da zaman içinde aniden değiştiği durumlarda veya uzak mesafelerden bölgeye soluğan gelmesi durumunda en iyi çözüm yolu sayısal çözümdür.

Gelişmiş dalga tahmin yöntemleri oldukça fazla bilgisayar desteği ve doğru meteoroloji verileri gerektirmektedir. Modeller için gereken yüksek hesaplama ihtiyacı, basitleştirilmiş yöntemlerin kullanılması ile ihmal edilebilecek bir hata ile büyük ölçüde en aza indirilmektedir, fakat bazen dalga enerji ve frekans dağılımında belirgin bir kayıp görülebilmektedir. En yaygın olarak kullanılan yaklaşım, etkin rüzgar, türbülans ve dalga arasında denge durumuna olanak sağlayacak şekilde sürenin ve feçin yeterince uzun olduğunun kabul edilmesidir. Eğer bu koşul sağlanıyor ise, bütün diğer değişkenler rüzgar hızı ile belirlenebilmektedir (Şahin, 2007).



Pierson ve Moskowitz (1964), denge spektrumu için tüm teorik kısıtlamaları sağlayan üç analitik ifade dikkate almıştır. Moskowitz (1964) bunlardan en uygun olanını Denklem (2.4)'de vermiştir:

$$E(\omega)d\omega = (\alpha g^2 / \omega^5) e^{-B(\omega_0^4 / \omega^4)} d\omega \quad (2.4)$$

Burada,

$$a = 8.1 \times 10^{-3} \text{ (boyutsuz sabit)}$$

$$P = 0.74 \text{ (boyutsuz sabit)}$$

$$\omega_0 = g/U$$

$g$  = yerçekimi ivmesi

$U$  = rüzgar hızı

$\omega$  = dikkate alınan dalga frekansını ifade eder.

Denklem (2.4), farklı formlarda da ifade edilebilmektedir. Bretschneider (1959, 1963) farklı  $a$  ve  $p$  değerleri ile bu ifadeyi eşitlik şeklinde vermiştir, benzer bir ifade Roll ve Fischer (1956)'da da verilmiştir. Dalganın rüzgar ile dengede olduğu koşul tam gelişmiş deniz (fully arisen sea) olarak isimlendirilir. Tam gelişmiş deniz için genel formun kabulü, toplam dalga enerjisi, belirgin dalga yüksekliği ve maksimum enerji periyodunun hesaplanmasına olanak sağlar. Rüzgar ve dalga arasında denge durumu nadiren görülmektedir ve daha büyük rüzgar hızlarında hiç görülmeyebilmektedir.

Daha genel bir model, rüzgar esmeye başladığında denizin sakin olduğu kabulü yapılarak oluşturulabilir. Dalga gelişimini gösteren denklemlerin integrasyonu, artan feç ve süre ile spektrumun formunda meydana gelen değişikliklerin dikkate alınmasına olanak sağlamaktadır. Eğer yeterli sayıda rüzgar ve dalga verisi mevcut ise, ampirik veriler benzer bilgilerin sağlanması için analiz edilebilir. Bu basitleştirilmiş dalga tahmin tasarıları, dikkate alınan dalgaların verilen süre için sabit hız ve doğrultuda esen rüzgarlardan dolayı oluştuğu kesin kabulüne dayanmaktadır (Şahin, 2007).

Prensipite, tüm dalga katarlarının izlenmesi ile değişen rüzgar hızının bazı etkilerinin dikkate alınması mümkün olabilmektedir. Dalga bir kez üreme bölgesinden çıktığında ve soluğan meydana geldiğinde, dalga enerjisi dalga grup hızına bağlı olarak yayılacaktır. Bir noktadaki toplam enerji (belirgin dalga yüksekliğinin karesi ile orantılı olarak), tekil dalga katarlarındaki katkıların bu enerjiye eklenmesiyle elde edilebilmektedir. Bilgisayar desteği olmadan, bu işlem son derece zahmetli olup teorik olarak doğru değildir.

Daha pratik bir yöntem ise, bu tasarılarıdaki sınırlamaları daha azaltmaktadır. Böylece, rüzgar yönü bazı sınır değerlerden (örn., 30°) daha az değişiyor ise sabit kabul edilebilir. Rüzgar hızı ise  $\pm 5$  knot (2.5 m/s)'dan daha az değişiyor ise sabit kabul edilmektedir. Bu yöntemde, ortalama değerler kullanılır ve belirli bir süre feç alanı boyunca sabit kabul edilir.

Hasselmann vd. (1973) aktif olarak gelişen denize ait spektrumun bir spektrum modeli ile oldukça iyi temsil edildiğini göstermiştir. Rüzgar dalgasının spektrum formu;

$$E(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi) \cdot f^5} \cdot e^a \cdot \gamma^b \quad (2.5)$$

ve

$$a = -\left[\frac{5}{4} \left(\frac{fp}{f}\right)^4\right]$$

$$b = \exp\left[-\frac{(f-fp)^2}{2\sigma^2 fp^2}\right]$$

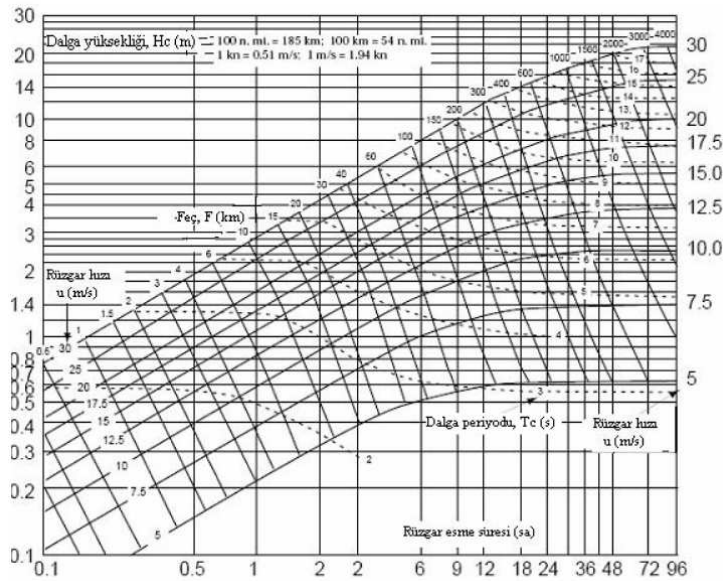
olarak verilmiştir.

Burada,  $f_p$  spektrumun pik frekansı, ve  $\alpha$ , ve  $\gamma$  hem gözlenen spektruma olan uyumu sağlamak için hem de boyutsuz feçin fonksiyonları olarak hesaplanan sabitlerdir. Bu formül JONSWAP (Join North Sea Wave Project) spektrum modeli olarak isimlendirilir. Çoğunlukla; parametrik analitik spektrum matematiksel analizler gerektirdiğinde, bir tek pik spektrum bu forma uydurulur.

Benzer formüller rüzgar ve dalga gözlemlerinden ampirik olarak geliştirilebilmektedir. Bir ampirik-analitik yöntem Sverdrup ve Munk (1947) tarafından ilk geniş kapsamlı dalga tahmin sisteminde kullanılmıştır. Sverdrup-

Munk eğrileri ampirik veriler kullanan Bretschneider (1952,1958) tarafından revize edilmiştir. Bundan dolayı bu tahmin yöntemi SMB (Sverdrup-Munk-Bretschneider) yöntemi olarak bilinmektedir. Sverdrup ve Munk (1947) ile Pierson, Neumann ve James (1955) (PNJ) tarafından geliştirilen eğriler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu iki yöntem de bir çok görsel verinin analizi ile çıkarılması açısından temel farklılıklar göstermektedirler. Daha eski olan SMB yöntemi, dalga alanını tanımlarken sadece dalga yüksekliği ve periyodunu ( $H_{1/3}$ ,  $T_{1/3}$ ) kullanmıştır, PNJ ise dalga alanını dalga spektrumu ile tanımlamaktadır. Deniz yüzeyinin tanımında çok daha karmaşık tanımlamalara izin vermesi PNJ yönteminin en büyük avantajıdır. En önemli dezavantajı ise hesaplamalarda zamana olan ihtiyacıdır.

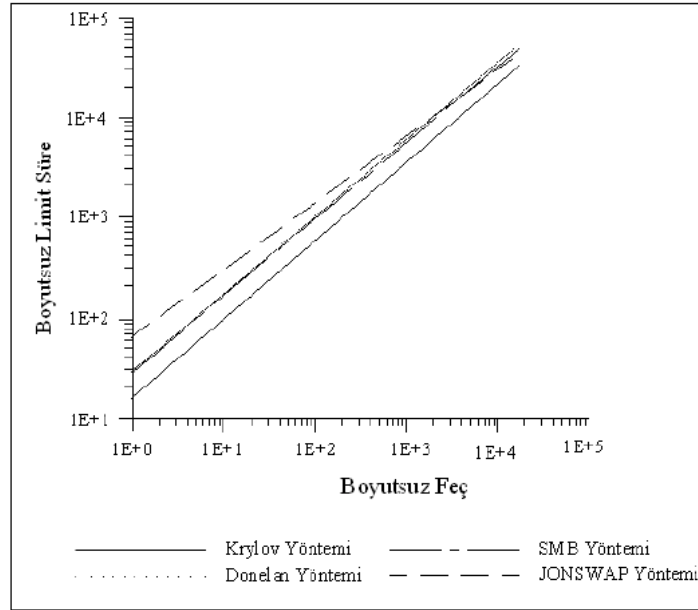
Daha güncel bir grafik seti ise Gröen ve Dorrestein (1976) (GD) tarafından geliştirilmiştir. Bu eğriler bilinen rüzgar hızı, feç mesafesi ve süresi ile dalga yüksekliği ve periyodunu sapma ve sığlaşma etkilerinin de dikkate alınarak hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu yöntem belirgin dalga yüksekliği ve periyodundan ( $H_{1/3}$ ,  $T_{1/3}$ ) biraz daha büyük olan karakteristik dalga yüksekliği ve periyodunu ( $H_c$ ,  $T_c$ ) içermektedir. Şekil 2.8'de derin deniz için GD eğrisi görülmektedir. Diyagramın sağ tarafında eğrilerin neredeyse yatay olduklarına dikkat edilmelidir. Bu durum sürenin ve feçin yeterince uzun olması halinde dalga gelişiminin durduğunu göstermektedir (Şahin, 2007).



Şekil 2.8: Dalga tahmin diyagramı (Gröen ve Dorrestein, 1976).

## 2.4.2 Ampirik Dalga Tahmin Yöntemleri

Gelişmiş sayısal modellerin mevcut olmadığı durumlarda, rüzgardan dalga tahmini üzerinde boyut analizi prensiplerinin de kabul edilebilir bir etkisi olduğu görülmektedir. İlişkiler derin sudaki karakteristik dalga parametrelerinin rüzgar hızı (U), feç (F) ve rüzgar esme süresi (t)'ne bağlı olduğunu göstermektedir. Feç mesafesi, rüzgarın sürekli etkisi altında dalganın yayıldığı mesafe olarak tanımlanmaktadır. Feç; kara sınırları, verilen noktanın tersi yönünde esen rüzgarlar ve atmosfer sisteminin genişliği tarafından sınırlanabilmektedir. Dalga yayılma bölgesi boyunca rüzgar yönü değişiyor ise tanımlanan feç değiştirilmelidir. Rüzgar esme süresi, rüzgarın sürekli etkisi altında dalganın yayıldığı süre olarak tanımlanmaktadır. Dalga yayılması sırasında rüzgar aynı yönden esmeyi sürdürse bile dalgalar sonsuza kadar gelişmemektedirler. Belirli bir feç ya da belirli bir sürede denge durumuna ulaşmaktadırlar. Şekil 2.9'da farklı dalga tahmin yöntemleri için boyutsuz feçin boyutsuz limit süre ile ilişkisi görülmektedir (Şahin, 2007).



Şekil 2.9: Eş zamanlı feç-süre ilişkisi (Massel,1996).

### 2.4.2.1 JONSWAP Yöntemi

JONSWAP deneysel çalışmasının sonucunda feç limitli koşul için dalga tahmin formülleri (Hasselmann vd., 1973);

$$\frac{\sigma^2 g^2}{U^4} = 1.6 \times 10^{-7} \left( \frac{gF}{U^2} \right) \quad (2.6)$$

$$\omega_p = \frac{2\pi}{T_p} = 7\pi \left( \frac{g}{U} \right) \left( \frac{gF}{U^2} \right) \quad (2.7)$$

olarak verilmiştir.

Daha eski yöntemlerde, dalga tahmin grafikleri belirgin dalga yüksekliği  $H_s$  ve belirgin dalga periyodu  $T_s$ 'e bağlı olarak verilmektedir. Belirgin dalga periyodu  $T_s$ , genellikle  $T_p$ 'nin bir sabite (1.06 veya 1.05) bölünmesi ile belirlenir (Şahin, 2007).

Denklem (2.6) ve (2.7) kullanılarak,  $H_{m0}$  ve  $T_p$  şu şekilde ifade edilebilmektedir;

$$\frac{gH_{m0}^2}{16U^4} = 1.6 \times 10^{-7} \left( \frac{gF}{U^2} \right) \quad (2.8)$$

veya

$$\frac{gH_{m0}}{U^2} = 1.6 \times 10^{-3} \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{0.5} \quad (2.9)$$

$$\frac{gT_p}{U} = 0.286 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{0.33} \quad (2.10)$$

Dalga alanının feç limitli olduğu durumda, limit süre  $t_{lim}$ 'in belirlenmesi gerekmektedir. Rüzgar hızının  $U$  olduğu bir durumda, derin deniz için  $c_g = gT_p/4\pi$  olarak dikkate alındığında ve (2.10) ifadesi kullanılarak,

$$t_{lim} = 65.9 \frac{U}{g} \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{2/3} \quad (2.11)$$

elde edilir (Şahin, 2007).

(2.8), (2.9) ve (2.10) ifadeleri feç limitli durumda belirgin dalga yüksekliği ve belirgin dalga periyodunun hesaplanmasını sağlamaktadır. Feç limitli dalga gelişiminin ölçülmesi diğerlerine göre daha basittir. Dalgaların zamanlagelişiminin ölçülmesi daha zordur ve dalgaların zamanla gelişmeleri ile ilgili büyük ölçüdefarklı fikirler mevcuttur. Yukarıda anlatılan ve Hasselmann vd. (1976) tarafından geliştirilen parametrik dalga modelinde belirgin dalga yüksekliği ve periyodunun zaman boyunca tahminide verilmektedir. Rüzgarın zaman ve konumda sabit olduğu kabulü yapılarak, model  $H_{m0}$  ve  $T_p$  için aşağıdaki ifadeyi vermektedir;

$$\frac{gH_{m0}}{U^2} = 8.033 \times 10^{-5} \left( \frac{gt}{U} \right)^{5/7} \quad (2.12)$$

$$\frac{gT_p}{U} = 5.95 \times 10^{-2} \left( \frac{gt}{U} \right)^{3/7} \quad (2.13)$$

Limit süre  $t_{lim}$  (2.9) ve (2.12) ifadeleri arasında karşılaştırma yapılarak da belirlenebilmektedir.

$$t_{lim} = 65.9 \frac{U}{g} \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{7/10} \quad (2.14)$$

Görüldüğü gibi bu ifade Denklem (2.11) ile uyumludur (Şahin, 2007).

#### 2.4.2.2 SPM Yöntemi

JONSWAP dalga tahmin formülleri SPM (Shore Protection Manual, 1984) de verilen dalga tahmin grafiklerinin temelini oluşturmaktadır. Bu yöntem kıyı mühendisliğinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

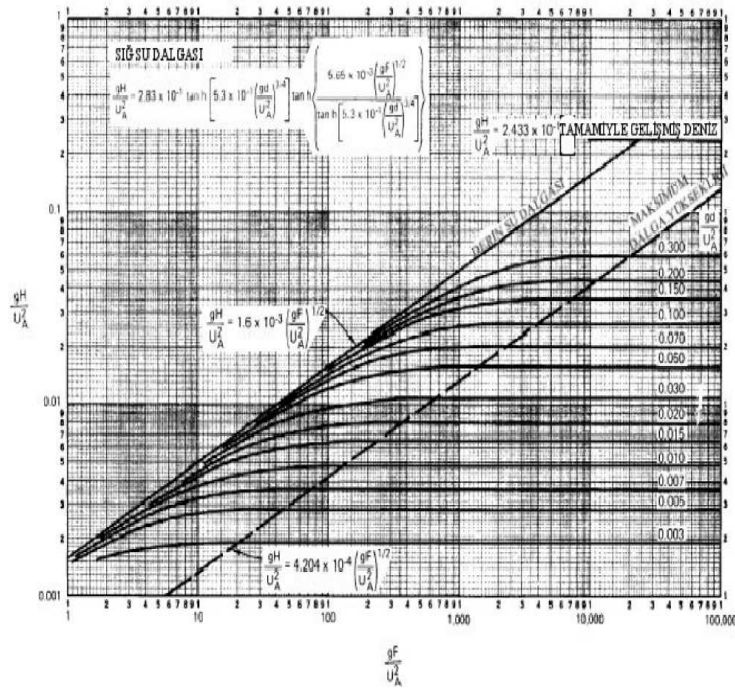
Dalga tahmini yapılırken genellikle basit yöntemlerin kullanılması tercih edilir. Eğer su yüzü geometrisi oldukça basit ve dalga koşulları feç ya da süre limitli ise, bu mümkün olmaktadır. Feç limitli durumda; rüzgar, feçin sonunda dengeye ulaşılması için yeterince uzun süre sabit olarak esmektedir. Süre limitli durumda ise; dalga yüksekliği rüzgar esme süresi ile sınırlandırılmıştır. Bu iki durum dalga gelişiminin genel problemine asimtotik yaklaşımlar getirmektedir. Bir çok durumda, dalga gelişiminde iki durumun kombinasyonu etkilidir. Denklem (2.15)-(2.24) ve Tablo 2.1 parametrik modellerin gelişiminde kullanılan denklemlerin

basitleştirilmesiyle elde edilmiştir (Hasselmann vd., 1976). Şekil 2.10 ve 2.11’de ise dalga tahmini için kullanılan boyutsuz iki grafik görülmektedir.

Feç limitli durumda gerekli olan parametreler feç (F) ve rüzgar gerilme faktörü ( $U_A$ )’dır. Rüzgar gerilme faktörü;

$$U_A = 0.71U^{1.23} \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Spektrumun belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ve spektrumun pik periyodu ( $T_m$ ) hesaplanan parametrelerdir.



**Şekil 2.10:** Dalga yüksekliğinin tahmini için grafik (sabit derinlik).

$T_{1/3}=0.95 T_m$  olarak verilmiştir. Bu denklemler tam gelişmiş dalga durumu için aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\frac{gH_{m0}}{U_A^2} = 5.433 \times 10^{-1} \quad (2.16)$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 8.134 \quad (2.17)$$

$$\frac{gt}{U_A} = 7.15 \times 10^4 \quad (2.18)$$

Burada,

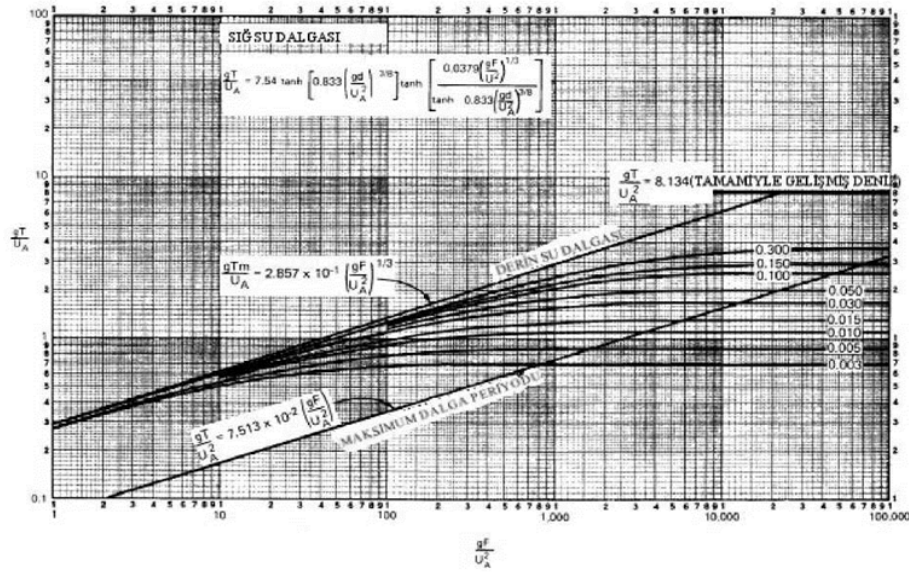
$H_{m0}$  : spektrumun belirgin dalga yüksekliği

$T_m$  : dalga spektrumunun pik periyodu

F : feç

t : süre

$U_A$  : rüzgar gerilme faktörüdür.



**Şekil 2.11:** Dalga periyodunun tahmini için grafik (sabit derinlik).

Çoğu zaman dalga gelişim formüllerinin uygulanması için tasarım koşullarının feç limitli ya da süre limitli olup olmadığı belirlenmelidir. Yapılan hesaplama, verilen rüzgar gerilme faktörü ve feç için mümkün olan maksimum dalga yüksekliğinin ve periyodunun geçilmemesinin sağlanması için kontrol edilmelidir. Şekil 2.12'deki nomogram matematik çözümlerin doğruluğunun kontrolünde kullanılabilir ampirik değerlerin dalga tahmin eğrilerini göstermektedir. Eğer formüller nomogramlardan daha fazla kullanılıyor ise dalga koşulları tam gelişmiş koşulların aşılmadığının görülmesi için kontrol edilmelidir.



Tablo 2.1’de dalga tahmininde kullanılan formüller bir tablo halinde sunulmuştur.

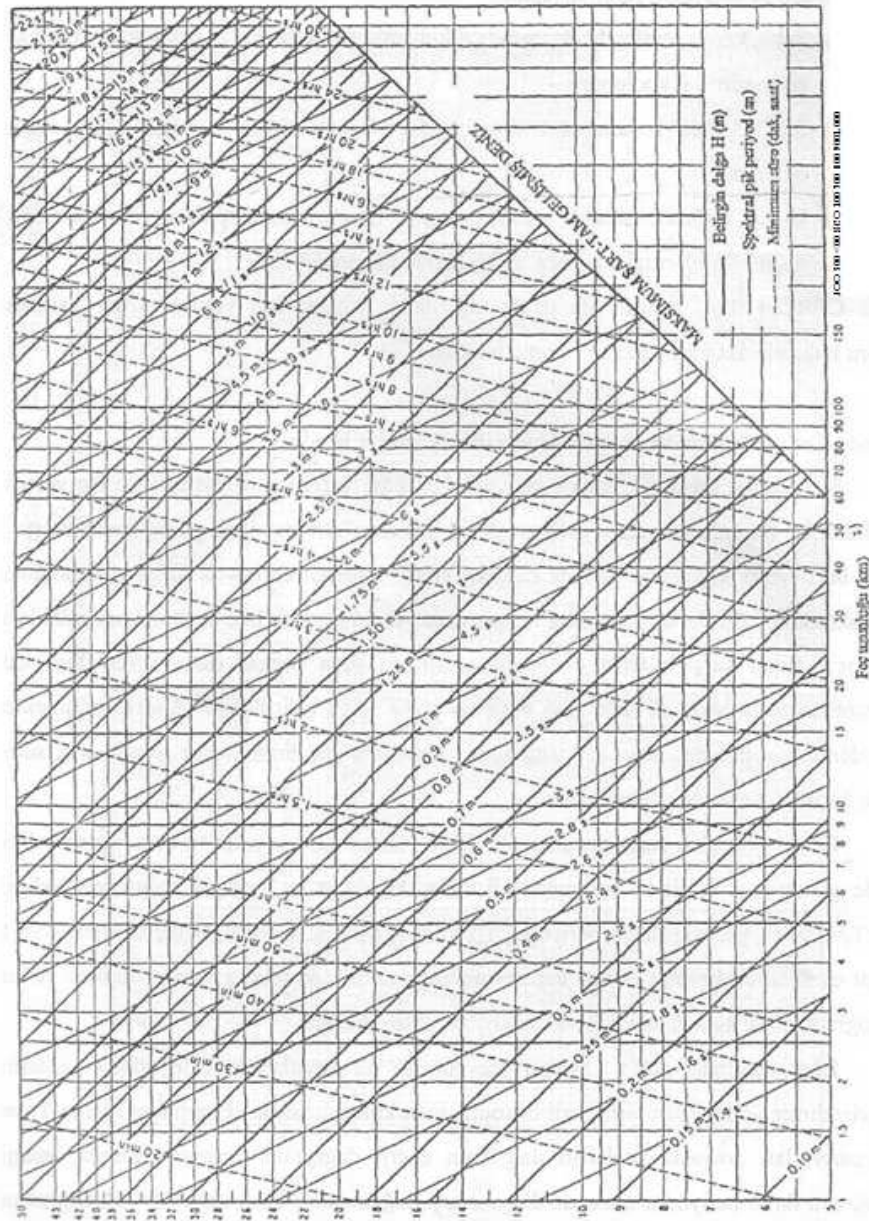
**Tablo 2.1:** Derin su dalga tahmin denklemleri (CERC, 1984).

Boyutsuzlar	H (m), T (s), U <sub>A</sub> (m/s), F (m), t (s)	H (m), T (s), U <sub>A</sub> (m/s), F (km),t (saat)
GELİŞMEKTE OLAN		
$\frac{gH_s}{U_A^2} = 1.6 \times 10^{-3} \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2}$	$H_s = 5.112 \times 10^{-4} U_A F^{1/2}$	$H_s = 1.616 \times 10^{-2} U_A F^{1/2}$ (2.19)
	$T_m = 6.238 \times 10^{-2} (U_A F)^{1/3}$	$T_m = 6.238 \times 10^{-1} (U_A F)^{1/3}$ (2.20)
$\frac{gT_m}{U_A} = 2.857 \times 10^{-1} \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3}$	$t = 3.215 \times 10^1 \left( \frac{F^2}{U_A} \right)^{1/3}$	$t = 8.93 \times 10^{-1} \left( \frac{F^2}{U_A} \right)^{1/3}$ (2.21)
$\frac{gt}{U_A} = 6.88 \times 10^{-1} \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3}$		
TAM GELİŞMİŞ		
$\frac{gH_s}{U_A^2} = 2.433 \times 10^{-1}$	$H_s = 2.482 \times 10^{-2} U_A^2$	$H_s = 2.482 \times 10^{-2} U_A^2$ (2.22)
	$T_m = 8.30 \times 10^{-1} U_A$	$T_m = 8.30 \times 10^1 U_A$ (2.23)
$\frac{gT_m}{U_A} = 8.134$	$t = 7.296 \times 10^3 U_A$	$t = 2.027 U_A$ (2.24)
$\frac{gt}{U_A} = 7.15 \times 10^4$		

Dalga yüksekliği ve periyodunun değerlendirilmesi feç, süre ve tam gelişmişlik limitleri arasında kontrollerin yapılmasını gerekli kılmaktadır. Bir çok tasarım durumu bu yaklaşımlar ve uygun ortalama süreler arasında iterasyon gerektirmektedir.

Bu ifadelerin kullanılmasında dikkat edilmesi gereken hususlardan bir tanesi dalga gelişim formüllerinde rüzgar hızları yerine rüzgar gerilme faktörlerinin kullanılmasıdır. Rüzgarlar için uygun ortalama zamanlar (süre ve feç ile ilişkili olarak) kullanılmalıdır. Bu yaklaşım ile elde edilen sonuç yaklaşıktır ve iterasyon sayısı ile yapılan düzenlemeler bu limitli doğruluğu yansıtacaktır.

SPM yöntemi ile, Şekil 2.12'da gösterilen nomogram kullanılarak rüzgar gerilme faktörü ( $U_A$ ), feç uzunluğu ( $F$ ) ve minimum süre kullanılarak belirgin dalga yüksekliği ( $H_s$ ) ve spektrumun pik periyodu ( $T_m$ ) hesaplanabilir. Bu değerler, Tablo 2.1'deki ifadeler yardımı ile hesaplanmak istenir ise aşağıdaki adımlar izlenerek belirgin dalga parametreleri hesaplanabilir.



Şekil 2.12: Belirgin dalga karakteristikleri nomogramı (Yüksel, 1998).

1) Feç uzunluğu ve rüzgar esme süresi, Denklem (2.25) ve (2.26) kullanılarak belirlenen  $t_{FAS}$  ve  $F_{FAS}$  ile karşılaştırılarak tam gelişmiş mi yoksa gelişmekte olan deniz durumu mu olduğu belirlenir.

$$F_{FAS} = \left( U_A / 0.62 \right)^{1.96} \quad (2.25)$$

$$t_{FAS} = 8.93 \times 10^{-1} \left( \frac{F_{FAS}^2}{U_A} \right)^{1/3} \quad (2.26)$$

2) Eğer tam gelişmiş durum söz konusu ise, (2.23) ve (2.24) ifadeleri kullanılarak rüzgar gerilme faktörüne bağlı olarak  $H_s$  ve  $T_m$  belirlenir. Eğer gelişmekte olan deniz durumu söz konusu ise, oluşacak dalganın süre limitli mi yoksa feç limitli mi olduğu belirlenmelidir. Mevcut feç değeri, (2.22) ifadesinde yerine koyularak  $t$  hesaplanır, bu hesaplanan  $t$  rüzgar esme süresinden ( $t_w$ ) büyük ise feç limitli, küçük ise süre limitli durum söz konusudur. Feç limitli durumda feç değeri (2.20) ve (2.21) ifadelerinde yerine koyularak  $H_s$  ve  $T_m$  belirlenir. Süre limitli durumda ise, esme süresi (2.22) ifadesinde kullanılarak yeni feç değeri belirlenir, (2.20) ve (2.21) ifadelerinde belirlenen bu feç değeri kullanılarak belirgin dalga yüksekliği ve spektrumun pik periyodu belirlenir.

3) Belirgin dalga periyodu,  $T_s=0.95T_m$  olarak elde edilir (Şahin, 2007).

### 2.4.2.3 SMB Yöntemi

Rüzgar verileri kullanılarak tasarım değerlerinin belirlenmesi için verilen ilk yöntemdir ve Sverdrup ve Munk (1947) tarafından sunulmuştur. Sverdrup ve Munk tarafından verilen dalga tahmin eğrileri Bretschneider (1958, 1970) tarafından ampirik veriler kullanılarak revize edilmiştir. Bundan dolayı bu yönteme sıklıkla Sverdrup-Munk- Bretschneider (SMB) yöntemi denmektedir.

Şekil 2.13'de gösterilen SMB yöntemi için verilen nomogram kullanılarak feç mesafesi, rüzgarın şiddeti ve esme süresi yardımı ile  $T_s$  ve  $H_s$  bulunabilir. Bu nomogramın kullanılışı sırasında rüzgarın şiddetiyle, verilmiş feç mesafesi ve rüzgarın etki süresi kesiştirilerek ve  $H_s$ ,  $T_s$  değerleri enterpolasyonla bulunur.



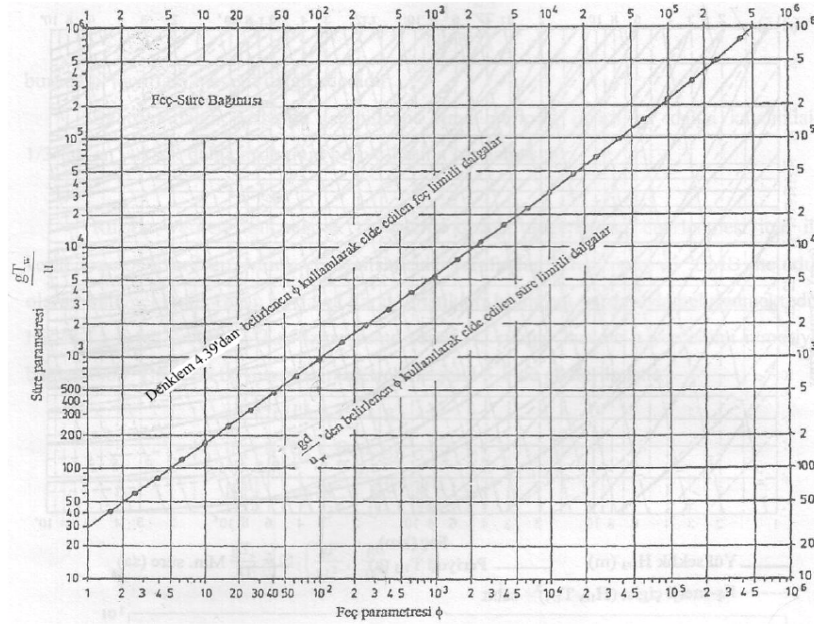
$$\frac{gH_s}{U^2} = 0.283 \tanh \left[ 0.0125 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{0.42} \right] \quad (2.28)$$

$$\frac{gt}{U} = K \exp \left\{ \left[ A \left( \ln \left( \frac{gF}{U^2} \right) \right)^2 - B \ln \left( \frac{gF}{U^2} \right) + C \right]^{1/2} + D \ln \left( \frac{gF}{U^2} \right) \right\} \quad (2.29)$$

Burada  $K=6.5882$  ,  $A=0.0161$  ,  $B=0.3692$  ,  $C=2.2024$  ,  $D=0.8798$  olarak verilmiştir. Bu ifadelerde  $gF/U^2$  feç parametresi olarak bilinir ve  $\phi$  ile gösterilir.

$$\phi = gF/U^2 \quad (2.30)$$

Feç parametresi Şekil 2.14 'de grafik formda verilmiştir. Bu denklemler sadece derin su hali için geçerlidir. Bu yöntemin uygulanması Şekil 2.13' de verilen nomogram kullanılarak da yapılabilir.



Şekil 2.14:  $\phi$  feç parametresi (Yüksel vd., 1998).

Denklemlerin kullanılması halinde,

- Mevcut rüzgar verilerinden  $t$ ,  $U$  ve  $F$  belirlenir,
- Denklem (2.30)'den  $\phi$  belirlenir,
- $gt/U$  parametresi hesaplanır,

(d) Eğer (b) ve (c) adımlarından faydalanılarak bulunan değer Şekil 2.14'de işaretlendiğinde eğrinin üzerinde kalıyorsa dalga yüksekliği feç ile belirlenir ve (b) adımında bulunan feç parametresi kullanılır. Eğer bu değer eğrinin altında kalıyorsa

dalga yüksekliği rüzgar esme süresinden hesaplanır ve bunun için süre parametresi ( $gt/U$ ) kullanılarak eğri kesiştirilerek belirlenen  $\phi$  'nin daha küçük olan değeri kullanılır.

(e)  $\phi$  'nin belirlenen bu değerinden  $H_s$  ve  $T_s$  (2.27) ve (2.28) denklemleri kullanılarak hesaplanır (Şahin, 2007).

#### 2.4.2.4 Donelan Yöntemi

Donelan vd. özellikle feç limitli koşullar için uygun olan bir dalga tahmin yöntemi geliştirmiş ve sunmuşlardır (Donelan, 1980; Schwab vd., 1984; Donelan vd., 1985; Bishop vd., 1992). Donelan yöntemi rüzgar ve dalga yönleri arasında bir tutarlılık olduğu kabulünü yapmamaktadır ( $\Theta = \phi - \psi$ ,  $\phi$  dalga yönü ve  $\psi$  : rüzgar yönü). Eğer rüzgar yönündeki feç mesafesi fazla ise, dalga yönünde daha uzun feçlere doğru eğilim göstereceği beklenmektedir.

Feç limitli durumda, feç dağılımı bilinen bir nokta için  $\phi$  ile  $\psi$  arasındaki ilişki  $F_\phi^{0.426} \cos\Theta$  ifadesinin değerlendirilmesi ile elde edilebilmektedir. Her hangi bir nokta için  $\phi$  ile  $\psi$  arasındaki ilişki şu şekilde belirlenir (Bishop ve Donelan, 1989).

1) Rüzgar yönünden başlanarak ve daha büyük feçlere doğru hareket ederek, rüzgara karşı yönde ilgilenilen noktadan feç sınırına kadar radyallar uzatılır. Radyallar feç mesafesinin çeşitliliğine bağlı olarak bazı uygun aralıklarda olmalıdır.

2) Feç uzunlukları ölçülür ve  $30^\circ$  boyunca ortalamaları alınır (Her radyaldan  $\pm 15^\circ$ )

3) Her radyalın merkezindeki ortalama feç için  $F_\phi^{0.426} \cos\Theta$  hesaplanır.

4) Her farklı rüzgar yönü için  $F_\phi^{0.426} \cos\Theta$  ifadesinin maksimum değeri etkin dalga yönü  $\phi$  'yi vermektedir.

Bilinen bir açı farkı  $\Theta$  için, dalga tahmin denklemleri,

$$\frac{gH_{m0}}{(U \cos \theta)^2} = 0.0036 \left[ \frac{gF_\phi}{(U \cos \theta)^2} \right]^{0.38} \quad (2.31)$$

$$\frac{gT_p}{U \cos \theta} = 0.542 \left[ \frac{gF_\phi}{(U \cos \theta)^2} \right]^{0.23} \quad (2.32)$$

$$\frac{gT_p}{U \cos \theta} = 30.1 \left[ \frac{gF_\phi}{(U \cos \theta)^2} \right]^{0.77} \quad (2.33)$$

Burada  $F_\phi$  hakim dalga yönündeki feç mesafesidir.

Dalgaların aşırı gelişmesinden kaçınmak için,  $F_\phi$  'nin değeri için şu kriter verilmiştir;

$$\frac{gF_\phi}{(U \cos \theta)^2} \leq 9.47 \times 10^4 \quad (2.34)$$

Rüzgar yönünden bulunan geometrik feç, (2.34) ifadesi ile verilen değeri aşıyor ise dalgalar tam gelişmiştir ve dalga yüksekliği ve periyodu için şu ifadeler kullanılır:

$$\frac{gH_{m0}}{U^2} = 0.285, \frac{gT_p}{U^2} = 7.54 \quad (2.35)$$

Donelan yönteminin temel hatları şu şekilde özetlenebilir:

- 1) Model pik dalga enerjisinin yönünün, rüzgar ve dalga yönünün aynı olduğu kabulüne göre daha iyi tahmin edilmesini sağlamaktadır.
- 2) Dalga yönü ' $F_\phi^{0.426} \cos \Theta$ ' ifadesi kullanılarak belirlenir.
- 3) Modelin doğruluğu JONSWAP ve SPM (1977) yöntemleri ile kıyaslanabilir ve SPM (1984)'te önerilenden daha iyidir.
- 4) Model derin suda ve kararlı, feç limitli durumda geçerlidir.
- 5) Dalga parametrelerinin rüzgara ve yönsel dalga enerjisi saçılım fonksiyonuna bağımlılığı Ontario Göl'ündeki deneylere dayanmaktadır (Şahin, 2007).

#### 2.4.2.5 Krylov Yöntemi

Yukarıda belirtilen yöntemler batı literatüründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, Krylov (1966) tarafından verilen yöntem diğerlerinden farklı olarak Sovyetler Birliği'nde geliştirilmiş bir yöntemdir.

Krylov vd. (1976) ortalama dalga parametreleri için sonuç ifadelerini şu şekilde vermiştir.

$$\frac{g\bar{H}}{U^2} = 0.16 \left\{ 1 - \left[ 1 + 6 \times 10^{-3} \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{0.5} \right]^{-2} \right\} \quad (2.36)$$

$$\frac{g\bar{T}}{U} = 19.478 \left( \frac{g\bar{H}}{U^2} \right)^{0.625} \quad (2.37)$$

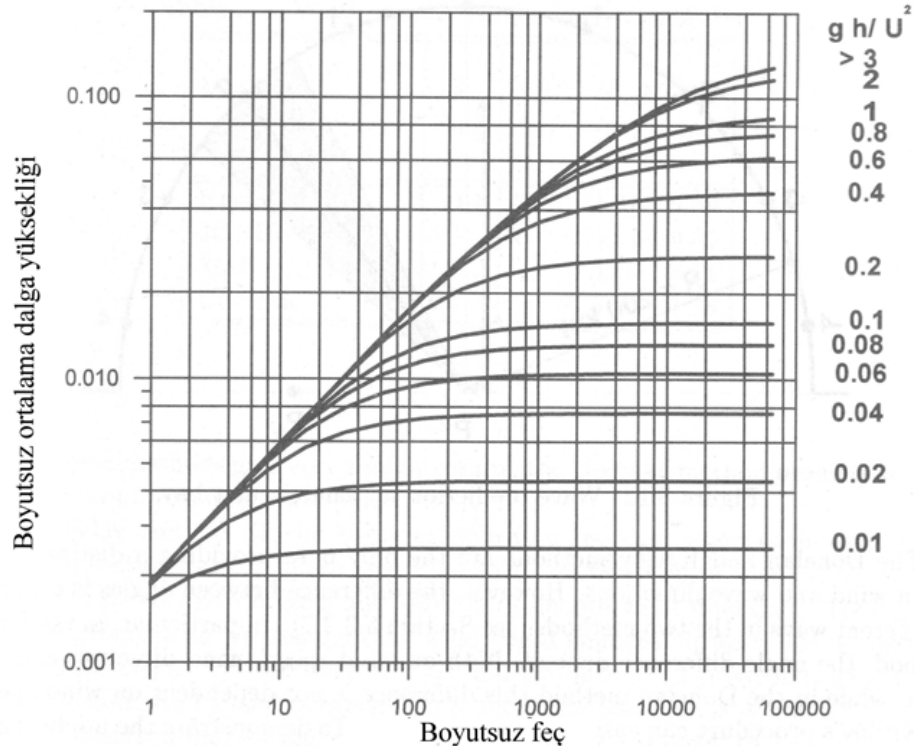
$H_{m0} = 4.004\sigma = \frac{4.004}{\sqrt{2\pi}}\bar{H} = 1.6\bar{H}$  olduğundan, (2.36) ifadesi,

$$\frac{gH_{m0}}{U^2} = 0.256 \left\{ 1 - \left[ 1 + 6 \times 10^{-3} \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{0.5} \right]^{-2} \right\} \quad (2.38)$$

şeklinde yazılabilir.

Şekil 2.15’de (2.38) ifadesinin grafik gösterimi görülmektedir. Ortalama dalga periyodu ile belirgin dalga periyodu arasındaki ilişki şu şekilde verilmiştir (Şahin, 2007).

$$T_p = 1.25\bar{T} \quad (2.39)$$



Şekil 2.15: Ortalama dalga yüksekliği H ile boyutsuz feç arasındaki ilişki (Massel, 1996).



### 3. SAYISAL MODELLEME

MIKE 21 SW yazılımını yeni nesil yapılandırılmamış ağ sistemi üzerine kurulu rüzgar-dalga modelidir. Açık deniz ve kıyı alanlarında rüzgar kaynaklı dalga ile soluğan dalgasının gelişimini, transformasyonunu (ilerlemesini) ve enerji kaybederek değişmesini benzeştirmektedir.

MIKE 21 SW iki farklı denklem içermektedir. Bunlar:

- Yönsel ayrılmış parametrik formül,
- Tam spektrum formülüdür.

Yönsel ayrılmış parametrik formül dalga hareketi korunum denkleminin parametreleştirilmesine dayanmaktadır. Parametreleştirme frekans alanında yapılmaktadır. Yani dalga spektrumunun sıfırncı ve birinci momentleri belirlenmektedir. Tam spektrum formülü ise doğrudan dalga hareketi korunum denkleminin dayanmaktadır ve burada yönsel dalga yoğunluk spektrumu bağlı değişkendir. Temel korunum denklemleri küçük ölçekli çalışmalar için kartezyen koordinatlarda, büyük ölçekli çalışmalar için de kutupsal küresel koordinatlarda formüle edilmiştirler (DHI, 2003).

MIKE 21 SW aşağıdaki fiziksel olayları içermektedir:

- Rüzgar nedeniyle dalga gelişimi,
- Lineer olmayan dalga-dalga etkileşimi,
- Köpüklenmeden kaynaklanan dalga enerji kaybı,
- Taban sürtünmesinden dolayı dalga enerji kaybı,
- Derinliğe bağlı dalga kırılmasından kaynaklanan enerji kaybı,
- Derinlik değişiminden dolayı sığlaşma ve sapma,
- Dalga-akıntı etkileşimi,
- Zamanla değişen su seviyesinin etkisi.

Temel denklemlerin coğrafi ve spektrum alanında ayrıklaştırılması merkezi sonlu hacimler yöntemiyle yapılmaktadır. Coğrafi alanda yapılandırılmamış ağ tekniği kullanılmaktadır. Zaman integrasyonu ise dalga yayılımı için çok serili açık yöntemin uygulandığı küçük adım yaklaşımı ile gerçekleştirilmektedir.

Mike 21 SW açık denizde ve kıyı bölgelerinde dalga iklimlendirmesinin tahmini için kullanılmaktadır.

En önemli uygulamala alanlarından bir tanesinde açık denizde, kıyı ve liman bölgelerinde dalga boylarının hassas olarak azami önemde değerlendirilmesidir. Bu bölgelerdeki yapıları güvenilir ve ekonomik dizayn etmektir. Uzun periyotlar süresince, aşırı deniz dalga durumlarında yeterince hassas değerlerin alınmasına müsaade eden ölçülmüş veriler genellikle mevcut değildir. Bu durumda, ölçülen veriler, MIKE 21 SW kullanılarak fırtına süresince dalga koşulları ile ilgili tahmin metoduyla desteklenebilir (DHI, 2003).

MIKE 21 SW tahmin metodu özellikle bölgesel ölçekte (Kuzey Deniz gibi) ve yöresel ölçekte (Jutland'ın batı kıyısı, Danimarka) eş zamanlı tahmini ve analizinde uygulanabilmektedir. Kaba uzaysal ve zamansal çözümleme, ağın bölgesel kısımları için kullanılır ve yüksek-çözümleme sınırı- ve derinlik-uyarlanabilir ağ birleşme kıyı çizgilerindeki sığ su çevrelerini tanımlamaktadır (DHI, 2003).

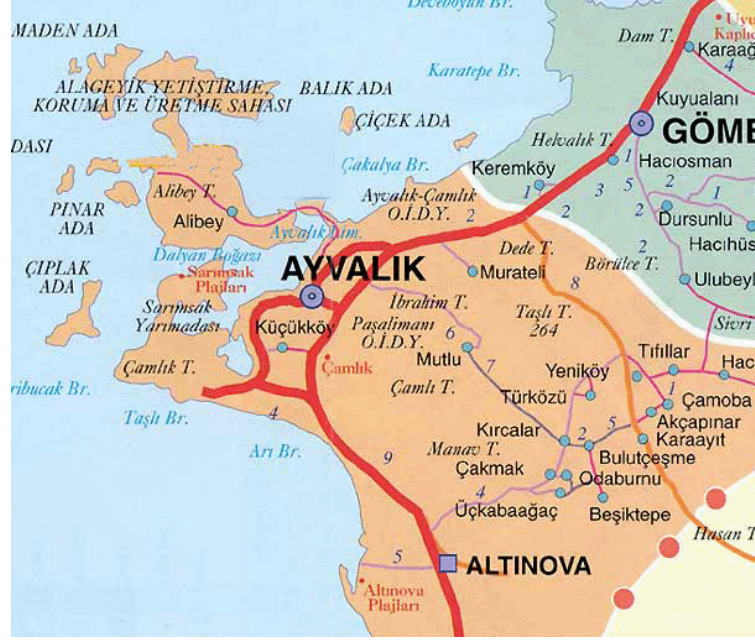
MIKE 21 SW dalga koşulları ve dalgaların oluşturduğu akıntılar tarafından oluşturulan katı madde taşınımının hesaplanmasıyla bağlantılı olarak kullanılmaktadır. Dalga etkili akıntılar sörf bölgelerinde oluşan gerilme akılarına bağlı olarak değişimler tarafından oluşturulur. MIKE 21 SW dalga durumlarını ve gerilme akılarını hesaplamasında kullanılabilir. Akabinde dalga etkili akış MIKE 21 Akış Modeli kullanılarak hesaplanmaktadır (DHI, 2003).

## 4. RÜZGAR VE DALGA İKLİMİNİN BELİRLENMESİ

### 4.1 Çalışma Bölgesinin Tanıtımı

Güvenilir bir dalga iklimi çalışması yapılabilmesi için uzun dönemli dalga ölçümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu zahmetli ve zaman alıcı bir iş olduğu için ampirik dalga tahmin yöntemlerinde uzun dönemli rüzgar verileri kullanılarak dalga parametreleri belirlenmektedir. Bu çalışmada ampirik dalga tahmin yöntemlerinden SMB metodunun girdisini oluşturan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan Ayvalık, Bozcaada ve Bandırma'ya ait rüzgar verileri kullanılarak bu bölgeye ait dalga parametreleri belirlenecektir.

Ayvalık, Balıkesir'in bir ilçesi olup, Ege Bölgesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Ege Bölgesi'nin kuzey batısına denk gelen Ayvalık'ın komşularını da belirtecek olursak konumunu daha belirgin açıklamış oluruz. Güneydoğusunda Bergama, güneyinde Dikili, kuzeyinde Edremit körfezi ve kuzeydoğusunda Burhaniye ile çevrilmiş olan Ayvalık, bir kıyı ilçesidir ve bağlı olduğu Balıkesir'in yaklaşık olarak batısında yer alır. Ayvalık, Yunan Adalarından Midilli'ye (Lesbos) de çok yakındır. İlçenin toplam yüzölçümü 23,300 hektar, Ayvalık Belediye sınırları içerisindeki yüzölçümü ise 420 hektardır(<http://www.ayvalik-place.com>). Ayvalık ilçesindeki toplam kıyı şeridi uzunluğu yaklaşık 34 km.'dir. İlçedeki yeryüzü şekilleri incelendiğinde, ilçede pek çok koy, doğal liman ve 22 adanın yer aldığı görülmektedir (Arı, 2012). İklimi, Ege'nin kendine özgü kıyı iklimidir. Akdeniz iklimi ile Karadeniz iklimi arasında bir geçiş özelliği gösterir. Rüzgarı daha çok güney- doğu yönünden almaktadır (<http://www.ayvalik-place.com>).



**Şekil 4.1:** Ayvalık'ın coğrafi konumu  
(<http://balkes-web.blogspot.com.tr/2013/06/ayvalik-ilceye-genel-baks.html>)



**Şekil 4.2:** Ayvalık sahil şeridi (<http://www.turkiyegezirehberi.net/tag/gezilecek-yerler/page/2>)

Bozcaada, Ege Denizi'nin kuzeydoğusunda Çanakkale Boğazı'nın 12 deniz mili güneyinde yer alan bir adadır. Çevresi 38 km tutan Bozcaada'nın alanı 36.67 km<sup>2</sup> olup, etrafındaki irili ufaklı 17 adacık dahil olmak üzere 37.6 km<sup>2</sup> ' lik yüzölçümüne sahiptir. Ada yeryüzü şekilleri bakımından genel olarak alçak ve basık bir yapıdadır. Adanın iç kısımları genel olarak büyük düzlüklerden oluşmaktadır. Koylar ve burunlar adaya özgü yer şekilleridir. Ada'da 12 burun ve 12 koy, kuzey kıyılarında kumullar bulunmaktadır. Bozcaada bulunduğu konum itibariyle tüm özelliklerini taşımaya da Akdeniz ikliminin etkisi altındadır. Yılın tüm aylarında rüzgarlı,

özellikle kış aylarında aşırı rüzgarlıdır. Boğazın tam çıkışında yer alması nedeniyle kuzey rüzgarlarını fazlaca almakla birlikte güney rüzgarlarına da açıktır ([http://www.bozcaada.gov.tr/default\\_BO.aspx?content=1009](http://www.bozcaada.gov.tr/default_BO.aspx?content=1009)).



**Şekil 4.3:** Bozcaada'nın coğrafi konumu (<http://bozcaada.meb.gov.tr/bozcaada.html>)



**Şekil 4.4:** Bozcaada sahil şeridi (<http://www.on5yirmi5.com/haber/yasam/dogal-yasam/106498/kuzey-egenin-dogal-guzellikleri-nelerdir.html>)

Bandırma Marmara Denizi'nin güneyinde yer alan 600 km<sup>2</sup> yüzölçümlü bir yerleşim birimidir. Doğusunda Karacabey, batısında Erdek, güneyinde Manyas ve Kuş gölü bulunmaktadır. Aynı adla anılan körfezde yer alan Bandırma, önemli bir liman kentidir.

Bandırma Körfezi, Kapıdağ Yanmadasının kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu kıyısıyla Marmara Bölgesi'nin Güney Marmara Bölümü'nün doğu-batı doğrultulu kıyısı arasında yer alır. Aşağıyapıcı köyünün güneyinden Fener Adasına kadar 15 km, genişliği kuzeydoğudaki Kapsalı (Kapsala) Burnundan güneydoğuda Yenice köyü kıyılanna kadar 11 km'dir. En derin yeri (55 m) Dutliman köyünün 3 km kuzeybatısındadır. Körfez doğu ve kuzeydoğu rüzgârlanna açık, kuzeybatı, batı ve güneybatı rüzgârlarına kapalıdır.

Bandırma Körfezinin kuzey ve kuzeybatısında Kapıdağ Yarımadası bulunur. Yarımadanın batısında Erdek Körfezi vardır. Her iki körfez birbirinden 1,5-2 km eninde bir kıstakla ayrılmıştır. Belkıs Tombolosu olarak adlandırılan bu kesimde deniz oldukça sığ (1-1,5 m), kıyı ise bataklıktır. Körfezin güney ve güneydoğusu, yer yer dik falezler- le kesilen, geniş, ama fazla girintili çıkıntılı olmayan kumsallarla kaplıdır. Bandırma Körfezinde kıta sahanlığı dardır. Birkaç yüz metre içinde derinlik 15-20 m'ye varır, 1 km kadar açıkta yaklaşık 30 m'yi geçer, 2 km içinde ise 40 m'yi aşar. Körfezin batısında, doğusunda ve kuzeyinde yaklaşık 45-55 m derinliği olan üç çukur vardır.

Bandırma Körfezinin genellikle kuzey ve kuzeybatı kıyıları oldukça girintili ve çıkıntılı bir özellik gösterir. Bu kesimde birbirinden burunlarla ayrılmış küçük koylar dikkati çeker. Yer yer dik falezler halinde denize doğru uzanan bu kesimler genellikle taşlık ve kayalıktır. Ancak denizin derin biçimde karanın içine doğru sokulduğu kesimlerde plaj ve kumsallar vardır. Körfezin güney kıyılan fazla dik olmayan alçak bir yapıdadır. Bu kesimde bulunan oldukça geniş kumsallar kuzey ve kuzeydoğu rüzgârlarına açıktır.

Bandırma Körfezinin güneybatı köşesinde kurulmuş olan Bandırma kenti ve limanı Türkiye'nin deniz ulaşımında önemli bir yer tutar. İstanbul ile yolcu ve yük, başka limanlarla ise yük gemisi bağlantısı vardır. Körfezin bu kesiminde yapılan mendirek fırtınalı günlerde gemilerin batmasına olanak verir. Kentteki sanayi kuruluşlarının atıktan son yıllarda körfezin önemli ölçüde kirlenmesine neden olmaktadır (<http://www.webokur.net/forum/>).



Şekil 4.5: Bandırma'nın coğrafi konumu  
(<http://balikesir.balnet.net/ilceler/KonuDetay.asp?ilceID=4&konuID=285>)



Şekil 4.6: Bandırma Limanı ve çevresi (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Bandırma>).

## 4.2 Rüzgar ve Dalga İkliminin Değerlendirilmesi

### 4.2.1 DMİ'den alınan Rüzgar Verilerinin Değerlendirilmesi

17175 nolu Ayvalık otomatik meteoroloji gözlem istasyonu (OMGİ) 39°18'40.68'' kuzey enlemi 26°41'09.96'' doğu boylamında, 17111 nolu Bozcaada OMGİ istasyonu 39°49'57.36'' kuzey enlemi 26°04'22'' doğu boylamında, 17114 nolu Bandırma OMGİ istasyonu 40°19'53.4'' kuzey enlemi 27°59'47.4 ''doğu boylamında yer almaktadır. Çalışmada Ocak 1980 – Ağustos 2010 tarihleri arasındaki rüzgar verileri kullanılmıştır. Veri talebini içeren resmi kurum yazısı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne iletilmiş ve veriler Excel formatında gönderilmiştir. İstenen veriler 10 m yükseklikteki saatlik ortalama rüzgar hız ve yönleridir. Çalışma bölgesine ait istasyonların 1980-2010 yılları arasındaki verilerinin rüzgar yönlerine göre oluşma yüzdeleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde Ayvalık için K, KD ve KKD yönlerinde esen rüzgarların toplam rüzgar yönlerinin üçte birini oluşturduğunu, Bozcaada da KD, KKD VE KKB yönlerinde esen rüzgarların toplam rüzgar yönlerinin yaklaşık yarısını oluşturduğunu, Bandırma'da ise sadece KKD yönünde esen rüzgarın toplam rüzgar yönlerinin %40.48'ini oluşturduğu görülmüştür. Tablo 4.2-4.4'de çalışma bölgesine ait saatlik ortalama rüzgar hızlarının yönlere göre frekans dağılımı ve yönsel ağırlıklı hız tabloları verilmiştir.

**Tablo 4.1:** Çalışma bölgesine ait verilerin rüzgar yönlerine göre oluşma yüzdeleri (1980-2010).

YÖNLER	D	DKD	DGD	K	KD	KKD	KKB	KB
AYVALIK	3,46%	9,34%	3,95%	7,07%	14,93%	13,11%	4,15%	4,08%
BOZCAADA	2,51%	7,56%	4,76%	7,94%	12,12%	23,11%	12,50%	1,86%
BANDIRMA	3,07%	3,25%	5,53%	11,72%	8,22%	40,48%	6,07%	1,24%
YÖNLER	G	GD	GGD	GGB	GB	B	BKB	BGB
AYVALIK	8,56%	6,29%	11,01%	2,02%	1,10%	2,56%	7,06%	1,29%
BOZCAADA	4,78%	2,54%	6,36%	7,45%	1,92%	0,76%	1,85%	1,98%
BANDIRMA	3,73%	4,71%	7,12%	2,34%	0,87%	0,71%	0,04%	0,89%



**Tablo 4.2:** Aylalık saatlik rüzgar hızlarının yönere göre frekans dağılımı ve yönsel ağırlıklı hız değerleri.

HIZ m/sn	YÖNLER															
	E	ENE	ESE	N	NE	NNE	NNW	NW	S	SE	SSE	SSW	SW	W	WNW	WSW
1	5782	5158	6337	3599	3806	4300	2187	2294	7026	6334	7402	3466	2196	2674	3541	2122
2	2673	5029	3590	4355	3903	4883	3245	3040	4901	5605	7317	1331	621	1559	3868	1051
3	549	3710	467	3801	5841	5179	2418	2340	4165	2963	6521	352	84	1003	4010	183
4	102	3519	60	3264	7327	5705	1897	1473	3345	1152	4601	132	18	718	3381	49
5	43	2892	12	2018	6484	5046	721	770	1822	389	2100	52	8	408	1837	13
6	23	2448	3	1066	5428	4768	320	481	966	162	947	21	1	256	1168	5
7	6	1334	2	433	3755	2814	111	283	351	43	229	4	0	121	580	5
8	5	473	0	147	1867	1347	52	96	83	17	56	1	0	29	242	0
9	3	154	0	42	771	514	31	32	24	4	8	1	0	12	69	0
10	0	37	0	23	274	154	11	10	2	0	6	0	0	5	15	0
11	0	10	0	3	98	41	3	2	0	0	0	0	0	1	10	0
12	0	2	0	2	21	3	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0
13	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
14	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toplam	9186	24766	10471	18753	39586	34754	10998	10821	22685	16669	29187	5360	2928	6786	18725	3428
Ağ. Hız. Ort.	1.485	3.415	1.456	3.100	4.441	4.126	2.790	2.881	2.688	2.066	2.685	1.519	1.301	2.431	3.202	1.487

**Tablo 4.3:** Bozcaada saatlik rüzgar hızlarının yönlere göre frekans dağılımı ve yönsel ağırlıklı hız değerleri.

HIZ m/sn	YÖNLER															
	E	ENE	ESE	N	NE	NNE	NNW	NW	S	SE	SSE	SSW	SW	W	WNW	WSW
1	674	1054	1270	531	603	976	721	282	267	698	1069	743	162	149	337	266
2	1215	2160	3008	642	1229	2989	1822	289	571	1517	2112	1513	507	363	450	761
3	1055	2084	2247	866	1234	3580	2605	365	782	992	1338	1559	560	279	568	794
4	850	2299	1620	1272	1804	4063	3324	450	1157	666	1082	1580	592	290	668	869
5	584	1976	1023	1622	2323	4176	3533	598	1293	476	984	1709	568	219	587	653
6	320	1670	613	1886	2659	4418	3361	613	1101	345	1010	1649	483	145	534	439
7	236	1456	280	1994	2937	4898	3265	523	1059	213	1033	1539	367	82	402	253
8	197	1339	141	2101	3086	5320	2890	330	978	177	1133	1425	304	50	231	121
9	140	879	55	1835	2484	4569	2042	204	741	128	933	985	179	38	101	48
10	86	608	27	1585	2219	4430	1452	154	612	106	877	895	161	19	42	31
11	32	380	15	1006	1646	3325	852	103	470	63	624	646	95	8	40	18
12	27	233	12	738	1373	2682	595	71	458	48	502	559	67	9	21	11
13	15	148	5	428	975	1888	202	25	318	35	400	431	39	1	8	10
14	5	57	0	252	561	1117	107	15	187	20	204	274	24	1	4	5
15	5	20	1	151	413	671	92	9	126	14	197	262	32	0	4	2
16	1	17	0	66	234	388	68	2	80	0	120	136	8	0	1	0
17	0	4	0	73	197	250	58	0	68	3	76	120	4	0	0	0
18	0	0	0	45	126	144	21	0	30	1	35	63	7	0	0	0
19	0	0	0	38	73	74	22	1	35	0	19	26	1	0	0	0
20	0	0	0	16	43	41	9	0	10	0	11	12	0	0	0	0
21	0	0	0	8	12	25	6	0	5	0	7	4	1	0	0	0
22	0	0	0	9	10	15	13	0	3	0	3	2	0	0	0	0
23	0	0	0	13	3	4	4	0	1	0	3	0	0	0	0	0
24	0	0	0	10	3	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	6	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	9	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	4	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totlam	5442	16384	10317	17206	26252	50060	27067	4034	10352	5502	13772	16132	4161	1653	3998	4281
Ağ. Hiz. Ort.	3,838	5,246	3,251	7,490	7,808	7,576	6,200	5,653	7,035	3,857	6,294002	6,607	5,459	3,973	4,670	4,108

**Tablo 4.4:** Bandırma saatlik rüzgar hızlarının yönlere göre frekans dağılımı ve yönsel ağırlıklı hız değerleri.

HIZ m/sn	YÖNLER															
	E	ENE	ESE	N	NE	NNE	NNW	NW	S	SE	SSE	SSW	SW	W	WNW	WSW
1	2738	3041	3033	2282	2765	3714	1951	957	1575	2968	2847	1037	542	495	20	566
2	3181	3036	5177	3143	2259	5548	3290	987	1661	3757	4350	1028	476	431	16	535
3	720	624	3029	3771	1577	8766	2909	504	1255	2468	3395	804	346	288	16	443
4	127	204	801	3358	1796	11342	1484	181	989	797	1902	654	218	219	27	216
5	15	131	140	3339	2157	14038	1186	79	837	246	1297	592	144	96	12	102
6	4	86	25	2880	2197	13495	860	17	697	89	815	449	116	24	1	60
7	3	25	12	2303	1952	11191	583	6	498	47	541	291	56	10	0	20
8	1	15	6	1999	1450	8721	491	2	334	32	342	175	23	9	0	17
9	0	12	5	1250	887	5604	305	1	203	9	145	86	7	3	0	2
10	0	9	0	744	493	3309	154	1	96	5	65	34	2	0	0	1
11	0	10	0	401	335	1853	101	2	49	0	36	11	0	0	0	0
12	0	1	0	198	137	950	56	1	29	0	9	4	1	0	0	0
13	0	0	0	133	89	496	35	0	24	0	5	5	0	0	0	0
14	0	0	0	62	58	249	14	0	6	0	4	1	0	0	0	0
15	0	0	0	24	26	167	9	0	4	0	0	0	1	0	0	0
16	0	0	0	21	13	61	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	9	2	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	6	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totlam	6789	7194	12228	25929	18193	89530	13433	2738	8257	10418	15753	5171	1932	1575	92	1962
Ağ. Hız. Ort.	1.752	1.889	2.184	4.958	4.907	5.751	3.665	2.109	3.787	2.261	3.162	3.592	2.850	2.470	2.978	2.550

Ayvalık için kuzey kuzey doğu yönündeki rüzgarların 0-2 saat esme süresinde 0-2 m/sn hızlarda %3,17, 2-4 m/sn hızlarda %3,69, 4-6 m/sn hızlarda %3,28, 6-9 m/sn hızlarda %1,56, 9-12 m/sn hızlarda ise %0,07'lik oranlarında etkili olduğu Tablo 4.5'de görülmektedir.

Tablo 4.6'da Bozcaada kuzey kuzey doğu yönündeki rüzgarların 0-2 saat esme süresinde 0-2 m/sn hızlarda %1,72, 2-4 m/sn hızlarda %3,24, 4-6 m/sn hızlarda %3,61, 6-9 m/sn hızlarda %5,46, 9-12 m/sn hızlarda ise %4,42 ve 12 m/sn'den daha büyük hızların ise %1,97 oranlarında etkili olduğu görülmektedir. Bu yöndeki maksimum rüzgar hızı 27,7 m/sn'dir.

Bandırma içinde kuzey kuzey doğu yönündeki rüzgarların daha etkili olduğu Tablo 4.7'de görülmektedir. 0-2 saat esme süresinde 4-6 m/sn hızlarında %10,8, 6-9 m/sn'deki hızlarda ise %10,16 oranına sahiptir. Bu hızlar Bandırma için tüm rüzgar yönlerinin yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır.

#### **4.2.2 ECMWF'den alınan Rüzgar Verilerinin Değerlendirilmesi**

Çalışma bölgesi için kullanılan bir diğer rüzgar veri kaynağı ECMWF'den alınmıştır. ECMWF'nin web sitesindeki ERA\_Interim veri tabanından  $0.25^0 \times 0.25^0$  çözünürlükte 2007-2009 yıllarına ait 6 saat aralıklı 10 metre yükseklikteki rüzgar hızları GRIB formatında temin edilmiştir. GRIB uzantılı dosyalardaki verileri MIKE21'de kullanabilmek için önce bu dosya PanoplyWin program ile txt uzantılı dosyaya çevrilmiştir. Daha sonra bu metin dosyaları Microsoft Excel yardımıyla düzenlenerek analiz edilebilecek biçime dönüştürülmüştür. Lakes Environmental Software tarafından geliştirilen WRPLOTView (Version 7.0.0) program kullanılarak hazırlanan mevsimlik ve yıllık rüzgar gülleri Şekil 4.7-4.9'da görülmektedir (<http://weblakes.com>).

**Tablo 4.5:** Aylık OMGI'den alınan rüzgar karakteristiklerinin dağılımı (1980-2010).

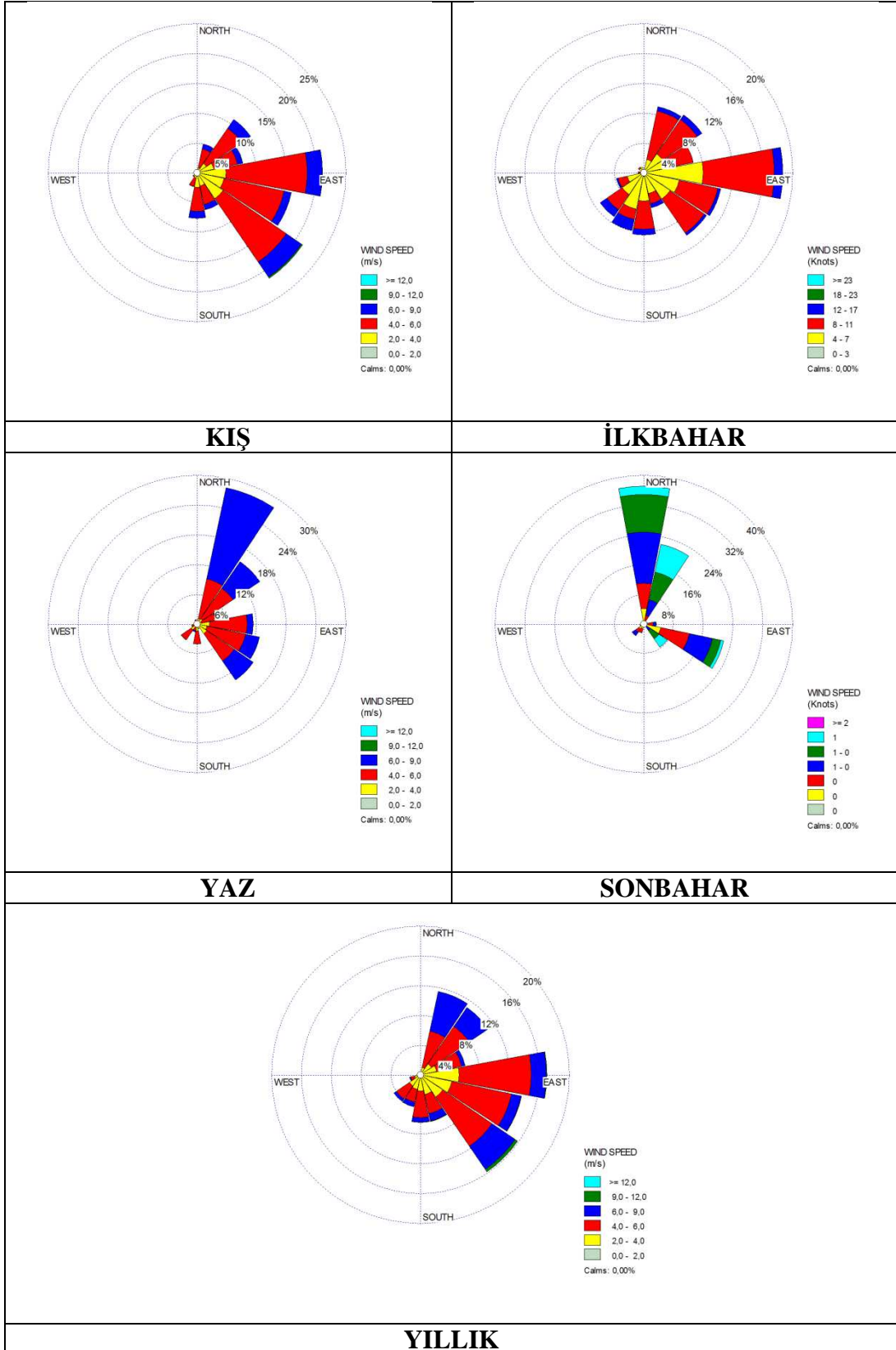
YÖN	Rüzgar Hızı (m/s)	0-2 saat	2-4 saat	4-6 saat	6-9 saat	9-12 saat	12<	YÖN	Rüzgar Hızı (m/s)	0-2 saat	2-4 saat	4-6 saat	6-9 saat	9-12 saat	12<
GÜNEY	0-2	4,05%	0,25%	0,08%	0,07%	0,04%	0,01%	DOĞU	0-2	2,84%	0,22%	0,07%	0,04%	0,01%	0,01%
	2-4	2,49%	0,20%	0,08%	0,05%	0,01%	0,00%		2-4	0,23%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	4-6	0,92%	0,07%	0,03%	0,02%	0,01%	0,00%		4-6	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	6-9	0,16%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		6-9	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	9-12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		9-12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	12<	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		12<	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
GÜNEY GÜNEY DOĞU	0-2	5,00%	0,33%	0,12%	0,07%	0,03%	0,01%	DOĞU KUZUY DOĞU	0-2	3,44%	0,26%	0,08%	0,04%	0,01%	0,00%
	2-4	3,68%	0,29%	0,14%	0,07%	0,02%	0,01%		2-4	2,41%	0,20%	0,07%	0,03%	0,01%	0,00%
	4-6	1,01%	0,08%	0,03%	0,01%	0,01%	0,00%		4-6	1,76%	0,15%	0,06%	0,02%	0,01%	0,01%
	6-9	0,10%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		6-9	0,66%	0,05%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%
	9-12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		9-12	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	12<	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		12<	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
GÜNEY DOĞU	0-2	4,04%	0,27%	0,10%	0,06%	0,03%	0,01%	KUZUY DOĞU	0-2	2,67%	0,15%	0,04%	0,03%	0,01%	0,01%
	2-4	1,39%	0,10%	0,03%	0,02%	0,00%	0,00%		2-4	4,39%	0,39%	0,12%	0,05%	0,02%	0,01%
	4-6	0,18%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		4-6	3,96%	0,33%	0,11%	0,06%	0,02%	0,01%
	6-9	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		6-9	2,14%	0,14%	0,06%	0,04%	0,02%	0,02%
	9-12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		9-12	0,13%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	12<	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		12<	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
DOĞU GÜNEY DOĞU	0-2	3,31%	0,26%	0,09%	0,05%	0,02%	0,01%	KUZUY KUZUY DOĞU	0-2	3,17%	0,19%	0,05%	0,03%	0,02%	0,01%
	2-4	0,19%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		2-4	3,69%	0,30%	0,07%	0,03%	0,01%	0,00%
	4-6	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		4-6	3,28%	0,28%	0,08%	0,04%	0,01%	0,01%
	6-9	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		6-9	1,56%	0,11%	0,05%	0,03%	0,01%	0,00%
	9-12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		9-12	0,07%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	12<	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		12<	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

**Tablo 4.6:** Bozcaada OMGİ' den alınan rüzgar karakteristiklerinin dağılımı (1980-2010).

YÖN	Rüzgar Hızı (m/s)	0-2 saat	2-4 saat	4-6 saat	6-9 saat	9-12saat	12<	YÖN	Rüzgar Hızı (m/s)	0-2 saat	2-4 saat	4-6 saat	6-9 saat	9-12 saat	12<
DOĞU	0-2	0,81%	0,04%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	KUZEY DOĞU	0-2	0,81%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	2-4	0,82%	0,05%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%		2-4	1,34%	0,06%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
	4-6	0,39%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		4-6	2,13%	0,12%	0,03%	0,01%	0,00%	0,00%
	6-9	0,24%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		6-9	3,49%	0,28%	0,08%	0,05%	0,02%	0,01%
	9-12	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		9-12	2,14%	0,17%	0,05%	0,03%	0,01%	0,01%
	12<	0,01%	0%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		12<	1,12%	0,06%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%
DOĞU KUZEY DOĞU	0-2	1,38%	0,08%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	KUZEY KUZEY DOĞU	0-2	1,72%	0,09%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%
	2-4	1,87%	0,12%	0,03%	0,01%	0,00%	0,00%		2-4	3,24%	0,23%	0,04%	0,01%	0,00%	0,00%
	4-6	1,54%	0,11%	0,03%	0,01%	0,00%	0,00%		4-6	3,61%	0,28%	0,06%	0,02%	0,00%	0,00%
	6-9	1,50%	0,13%	0,04%	0,02%	0,00%	0,00%		6-9	5,46%	0,73%	0,37%	0,20%	0,05%	0,02%
	9-12	0,50%	0,04%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%		9-12	4,42%	0,14%	0,14%	0,08%	0,03%	0,01%
	12<	0,10%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		12<	1,97%	0,05%	0,06%	0,03%	0,02%	0,01%
DOĞU GÜNEY DOĞU	0-2	1,78%	0,15%	0,04%	0,01%	0,00%	0,00%	GÜNEY DOĞU	0-2	0,96%	0,05%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%
	2-4	1,63%	0,11%	0,03%	0,02%	0,00%	0,00%		2-4	0,72%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	4-6	0,68%	0,05%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%		4-6	0,36%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
	6-9	0,20%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		6-9	0,22%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	9-12	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		9-12	0,09%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	12<	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		12<	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
KUZEY	0-2	0,52%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	GÜNEY GÜNEY DOĞU	0-2	1,37%	0,07%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%
	2-4	0,93%	0,04%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%		2-4	1,06%	0,05%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
	4-6	0,52%	1,48%	0,11%	0,02%	0,01%	0,00%		4-6	0,85%	0,05%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
	6-9	2,42%	0,20%	0,07%	0,04%	0,01%	0,01%		6-9	1,29%	0,08%	0,03%	0,02%	0,00%	0,00%
	9-12	1,34%	0,12%	0,04%	0,02%	0,01%	0,00%		9-12	0,79%	0,08%	0,03%	0,02%	0,00%	0,00%
	12<	0,47%	0,02%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%		12<	0,44%	0,02%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%

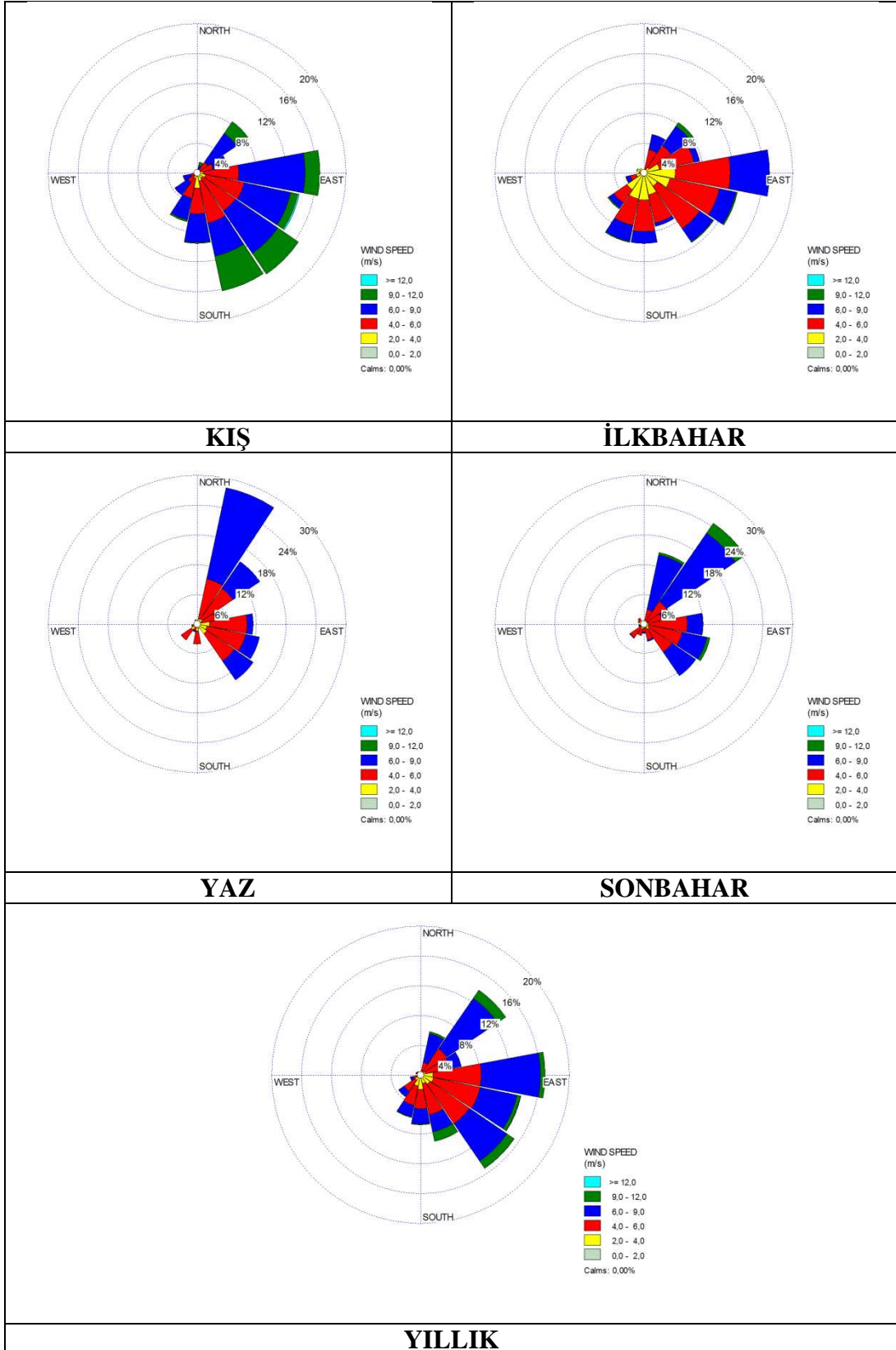
**Tablo 4.7:** Bandırma OMGİ' den alınan rüzgar karakteristiklerinin dağılımı (1980-2010).

YÖN	Rüzgar Hızı (m/s)	0-2 saat	2-4 saat	4-6 saat	6-9 saat	9-12 saat	12<	YÖN	Rüzgar Hızı (m/s)	0-2 saat	2-4 saat	4-6 saat	6-9 saat	9-12 saat	12<
DOĞU	0-2	2,47%	0,14%	0,04%	0,02%	0,00%	0,00%	KUZUY DOĞU	0-2	2,10%	0,11%	0,03%	0,02%	0,01%	0,00%
	2-4	0,36%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		2-4	1,41%	0,08%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%
	4-6	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		4-6	1,74%	0,15%	0,04%	0,02%	0,01%	0,00%
	6-9	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		6-9	1,71%	0,11%	0,07%	0,03%	0,01%	0,01%
	9-12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		9-12	0,38%	0,03%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%
	12<	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		12<	0,08%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
DOĞU KUZUY DOĞU	0-2	2,55%	0,15%	0,03%	0,02%	0,01%	0,00%	KUZUY KUZUY DOĞU	0-2	3,84%	0,23%	0,06%	0,03%	0,02%	0,01%
	2-4	0,36%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		2-4	8,00%	0,73%	0,23%	0,10%	0,03%	0,00%
	4-6	0,09%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		4-6	10,80%	0,95%	0,37%	0,23%	0,06%	0,03%
	6-9	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		6-9	10,16%	0,62%	0,32%	0,24%	0,11%	0,08%
	9-12	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		9-12	2,45%	0,14%	0,07%	0,06%	0,03%	0,02%
	12<	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		12<	0,41%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%
DOĞU GÜNEY DOĞU	0-2	3,45%	0,20%	0,04%	0,02%	0,01%	0,00%	GÜNEY DOĞU	0-2	2,87%	0,12%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%
	2-4	1,55%	0,13%	0,03%	0,02%	0,01%	0,00%		2-4	1,36%	0,10%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%
	4-6	0,07%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		4-6	0,14%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	6-9	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		6-9	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	9-12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		9-12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	12<	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		12<	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
KUZUY	0-2	2,27%	0,12%	0,03%	0,02%	0,01%	0,01%	GÜNEY GÜNEY DOĞU	0-2	3,02%	0,18%	0,03%	0,01%	0,00%	0,00%
	2-4	2,94%	0,21%	0,05%	0,02%	0,00%	0,00%		2-4	2,14%	0,21%	0,04%	0,01%	0,00%	0,00%
	4-6	2,47%	0,21%	0,08%	0,04%	0,01%	0,01%		4-6	0,86%	0,07%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%
	6-9	2,23%	0,13%	0,06%	0,04%	0,03%	0,02%		6-9	0,40%	0,04%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
	9-12	0,54%	0,03%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%		9-12	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	12<	0,10%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		12<	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

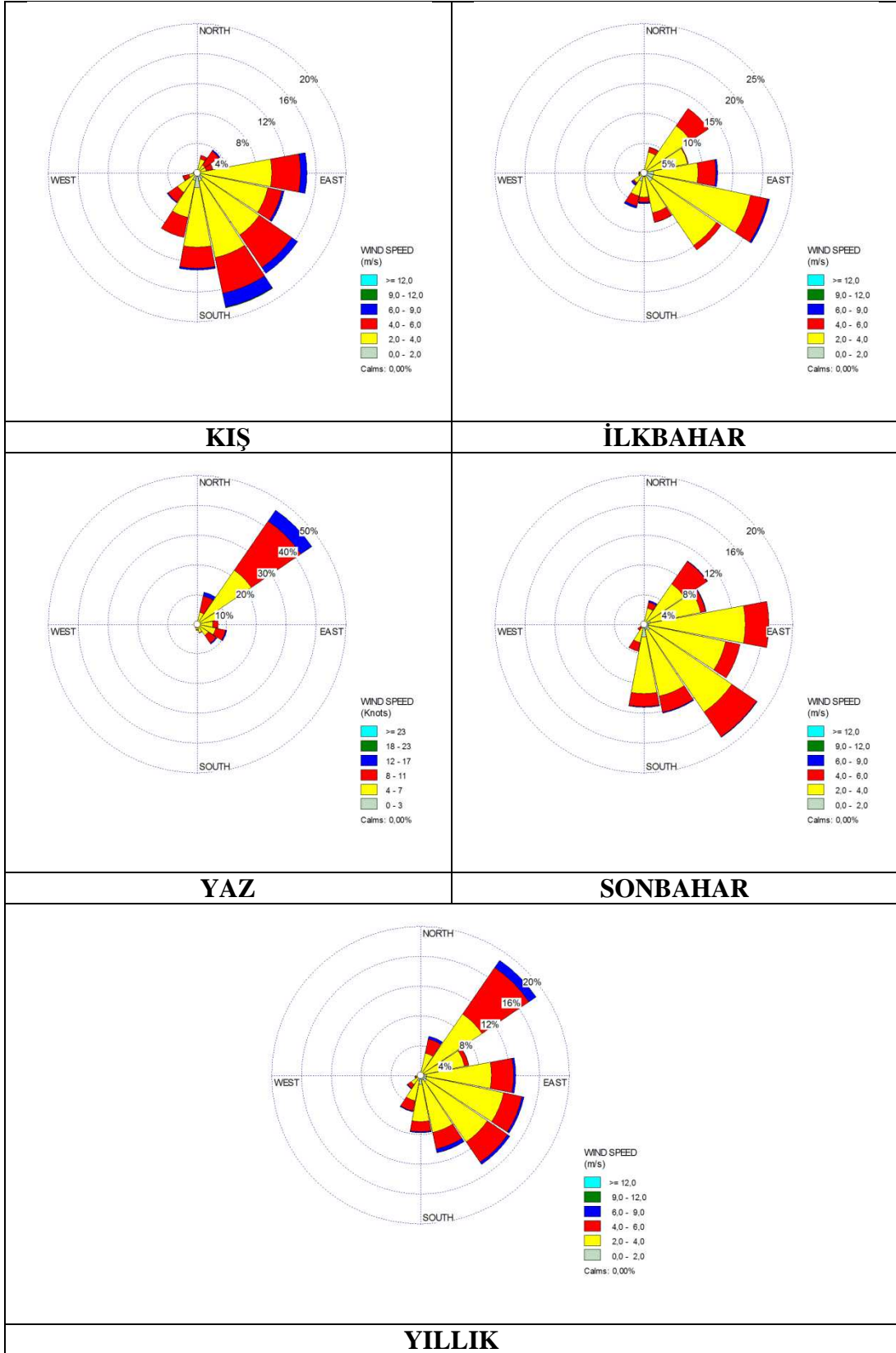


Şekil 4.7: Ayvalık'a ait rüzgar gülleri.





Şekil 4.8: Bozcaada'ya ait rüzgar gülleri.



Şekil 4.9: Bandırma'ya ait rüzgar gülleri.

### 4.3 Ampirik Dalga Tahmin Yöntemlerinden SMB Yöntemi

#### 4.3.1 Hakim Rüzgar Yönlerine Göre Feç Uzunluklarının Hesabı

Feç, rüzgarın dalgaları meydana getirdiği ve rüzgar hızı ile doğrultusunun yeterince sabit olduğu denizin üzerindeki yüzey alanına denir. Feç uzunluğu, üretilen dalgaların karakteristiklerini kontrol eden önemli bir faktördür. Dalgaların yükseklikleri ve periyotları feçin başlamasıyla minimumdan feçin artmasıyla mesafe büyüdükçe artmaktadır.

Dalga tahmin abaklarının hazne ve göllerdeki ilk kullanımlarında, hesaplanan dalga yüksekliklerinin gözlenenlere göre çok daha büyük oldukları görülmüştür. Bu sonuç, feçin kısıtlılığının dalga gelişimi üzerinde etkisinin olduğunu göstermiştir. Feçin kısıtlanması için hesaba alınan indirgenmiş feç uzunluğu etkili feç tanımını ortaya koymuştur. Yapılan bu düzenleme dalga tahmininin doğruluğunu arttırmıştır. Etkili feç kavramının kullanılmasının nedeni SMB abaklarının feçin küçük değerleri için dalga yüksekliğini olduğundan daha fazla tahmin etmesindedir (CERC, 1984).

Feç uzunluklarının belirlenmesi için literatürde değişik yöntemler tanımlanmıştır, bunlardan en çok kullanılanı etkili feç uzunluğudur. Kıyılarda göz önüne alınan mevki dikkate alınan dalga yönünden her iki tarafta +22.5 ° lik bir bantta 7.5 ° lik aralıklarla feç uzunlukları ölçülür ve bu yön için etkili feç ( $F_{\text{etk}}$ ) olarak tanımlanan feç uzunluğu (4.1) denklemi yardımıyla belirlenir (Yüksel vd., 1998):

$$F_{\text{etk}} = \frac{\sum F_i \cos^2 \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} \quad (4.1)$$

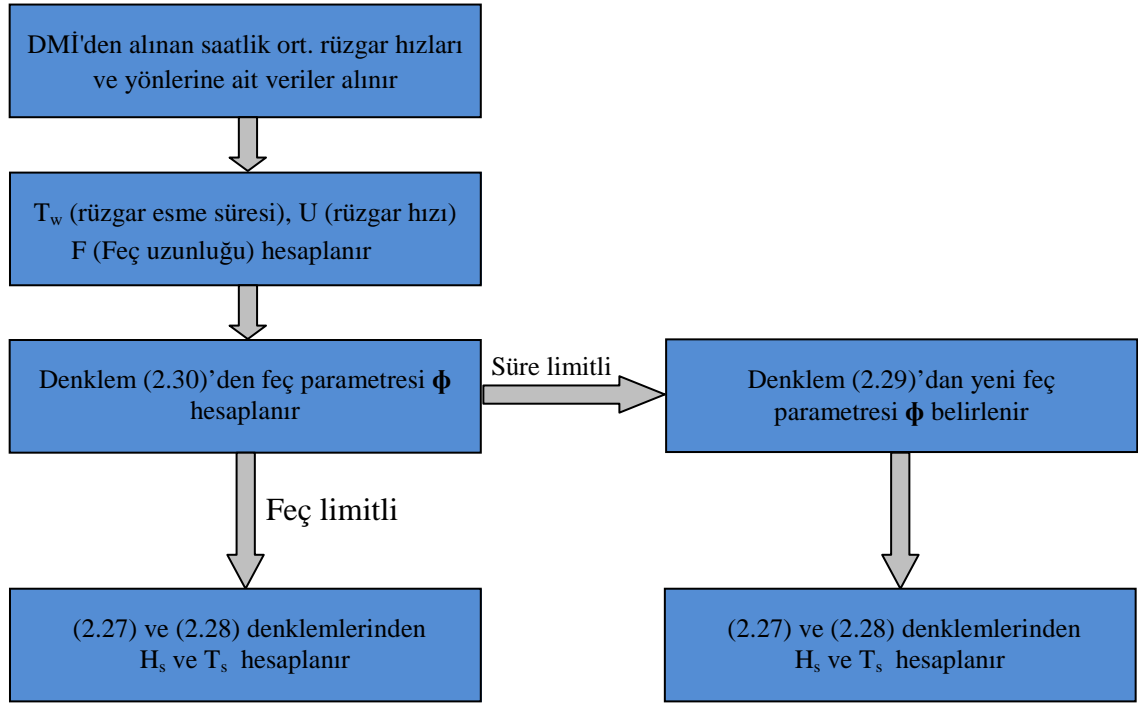
**Tablo 4.8:** Ayvalık-Bozcaada ve Bandırma için etkili kabarma alanı fec uzunlukları.

	YÖNLER	F <sub>etkili</sub>		YÖNLER	F <sub>etkili</sub>
AYVALIK	KKB	1415.36	BOZCAADA	D	7470.50517
	KB	1771.63		DKD	8979.7743
	GB	666.42		DGD	8620.01532
	B	1554.73		K	45357.9086
BANDIRMA	K	20775.57		KD	16998.3843
	KKB	9818.29		KKD	35923.847
	KB	6603.42		GD	14935.3848
	BKB	6138.23		GGD	43577.2903

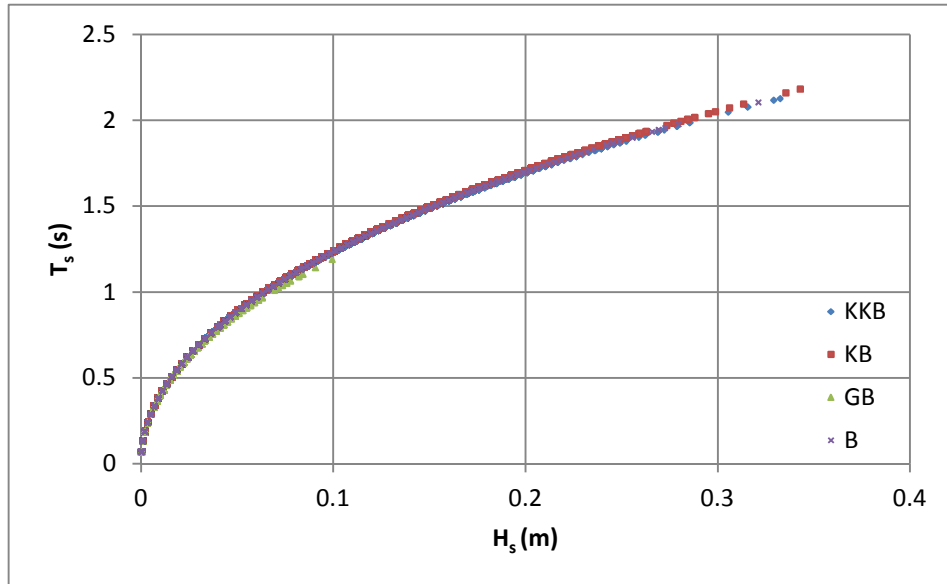
#### 4.3.2 SMB Yönteminin Çalışma Bölgesine Uygulanması

Bu tez çalışması kapsamında incelenen Ayvalık-Bozcaada ve Bandırma bölgesine ait dalga yüksekliği ve peryodunu tahmin etmede ampirik dalga tahmin yöntemlerinden SMB metodu kullanılacaktır. Bunun için DMİ'den alınan Mart 1980-Ağustos 2010 yıllarına ait rüzgar verileri kullanılmıştır. Dalga yüksekliği ve peryodunun tahmininde hakim rüzgar yönleri dışındaki yönler dikkate alınmamıştır. SMB metodu ile dalga tahmininde izlenen yol Şekil 4.10'da verilmiştir.

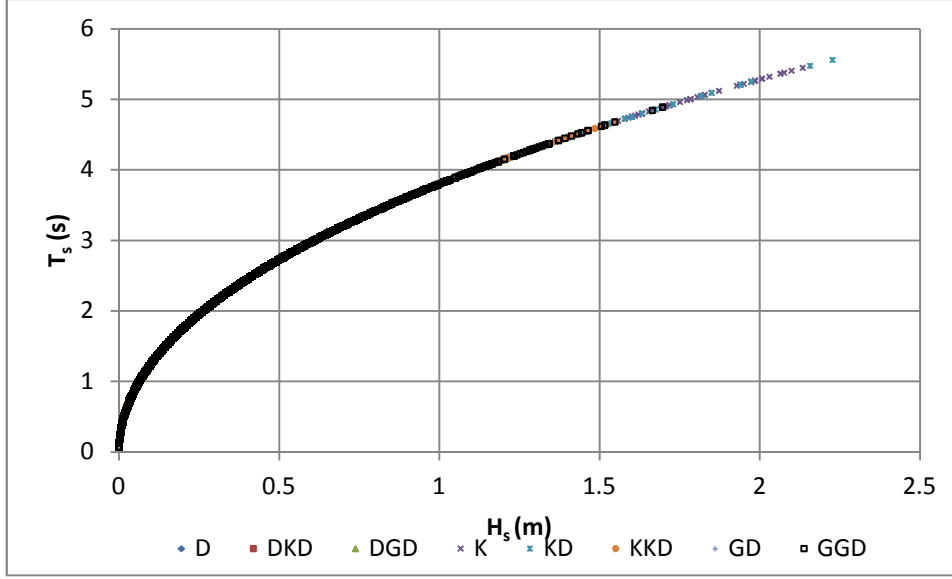
Ayvalık-Bozcaada ve Bandırma için SMB metodundan elde edilen rüzgar yönlerine göre belirgin dalga yüksekliği ve peryodu arasındaki ilişkiler Şekil 4.11-4.12'de verilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde en büyük dalga yüksekliğinin Ayvalık'da KB yönünde 0.342 m (Şekil 4.11), Bozcaada'da KD yönünde 2.22 m (Şekil 4.12) ve Bandırma'da K yönünde 1.29 m (Şekil 4.13) değerlerine sahip olduğu görülmektedir.



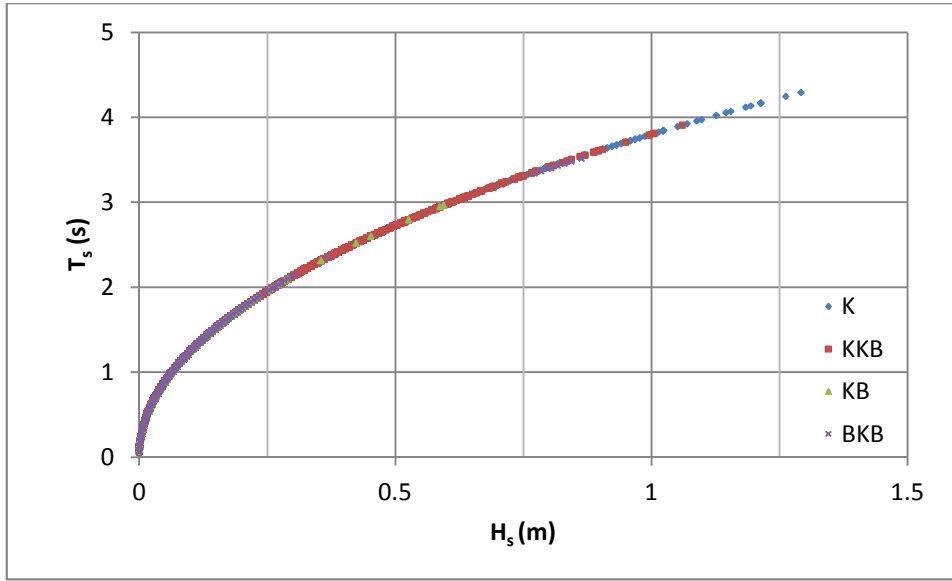
Şekil 4.10: SMB metodu ile dalga tahmininde izlenen yol



Şekil 4.11: Ayvalık için belirgin dalga yüksekliği ve periyodu arasındaki ilişki.



Şekil 4.12: Bozcaada için belirgin dalga yüksekliği ve periyodu arasındaki ilişki



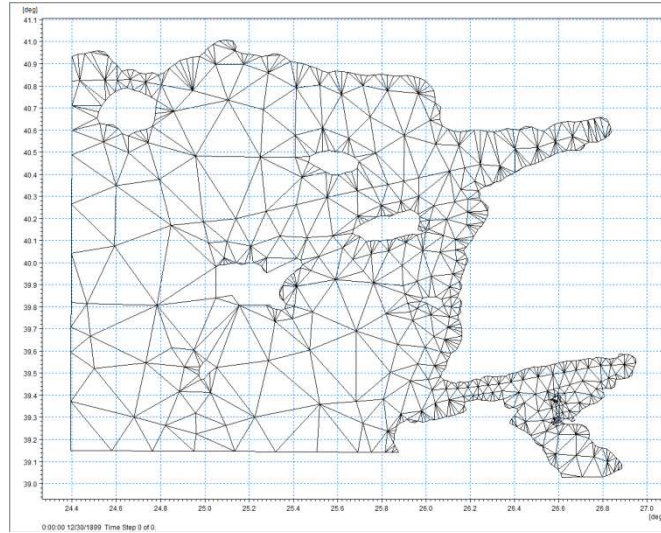
Şekil 4.13: Bandırma için belirgin dalga yüksekliği ve periyodu arasındaki ilişki

#### 4.4 Dalga Modellemesi ve Analizi

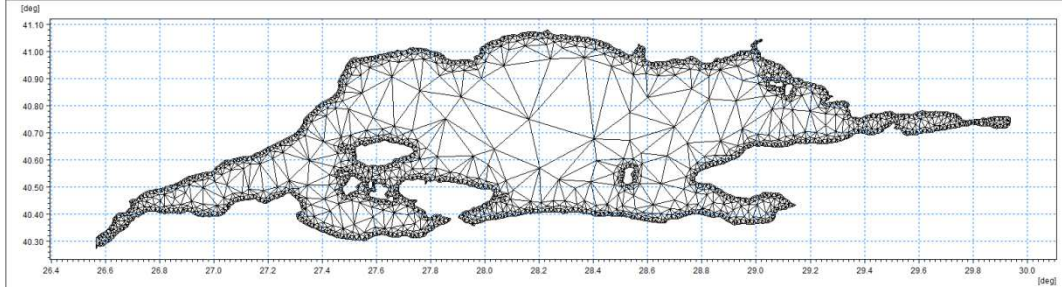
Tez kapsamında incelenen kıyı bölgelerinde dalga ikliminin belirlenmesi amacıyla MIKE 21 SW yazılımından faydalanılmıştır. Dalga modeli kurulabilmesi için sayısal ortamda batimetri verisine ihtiyaç bulunmaktadır. “European Marine Observation and Data Network” veri merkezinden, Ege ve Marmara Denizi’ne ait sayısal batimetri verileri elde edilmiştir (<http://portal.emodnet-hydrography.eu/#>). Elde edilen veriler T.C. Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı tarafından yayımlanan haritalar ile karşılaştırılmıştır. Programda göz önüne alınan Ege ve Marmara Denizi koordinatları Tablo 4.9’da, oluşturulan model ağ sistemi ve batimetrisi Şekil 4.14 -4.17’de verilmiştir.

**Tablo 4.9:** Ege ve Marmara Denizi hesaplama alanı koordinatları

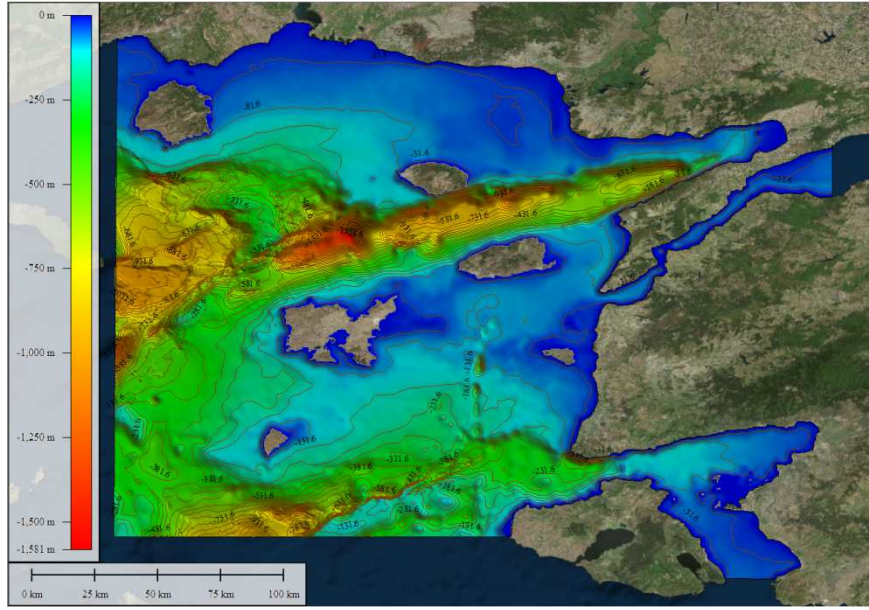
		<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>
<b>Marmara</b>	<b>Mak.</b>	41.10	29.87
	<b>Min.</b>	40.26	26.54
<b>Ege</b>	<b>Mak.</b>	41	26.94
	<b>Min.</b>	39.02	24.4



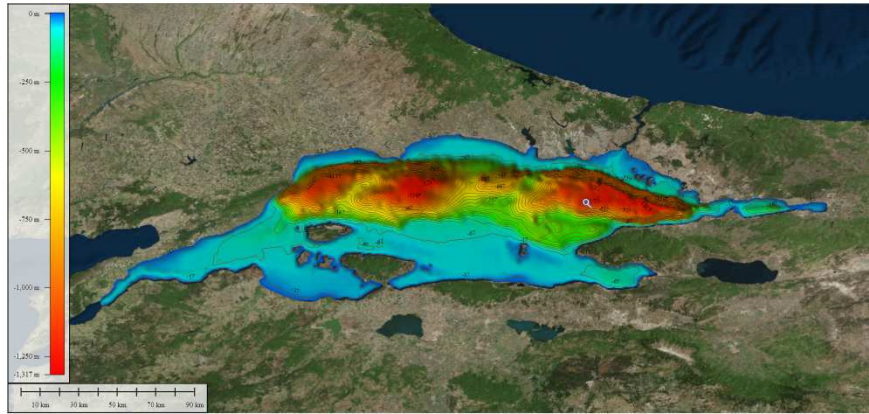
**Şekil 4.14:** Ege Denizi model hesap ağı



Şekil 4.15: Marmara Denizi model hesap ağı



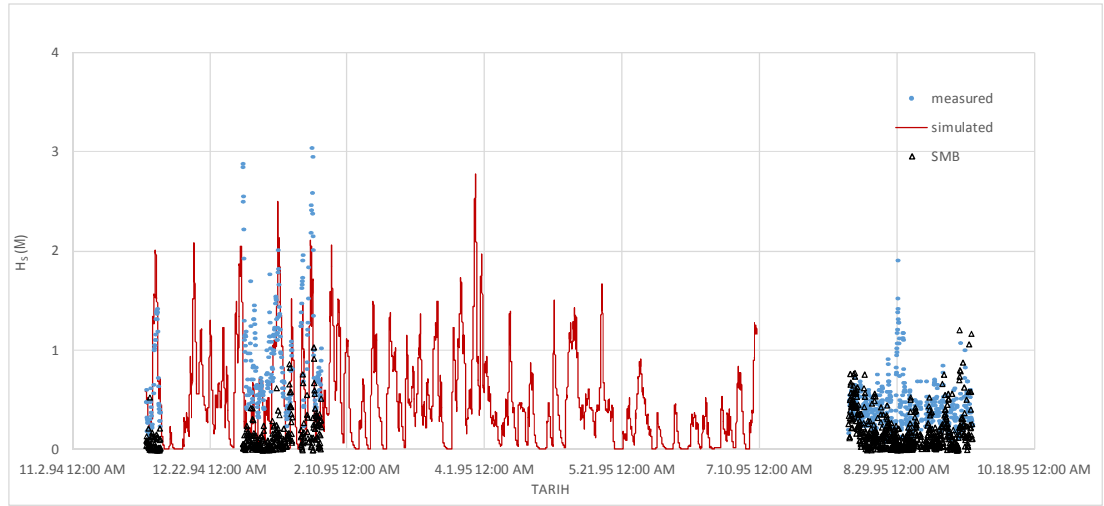
Şekil 4.16: Ege Denizi batimetrisi



Şekil 4.17: Marmara Denizi batimetrisi

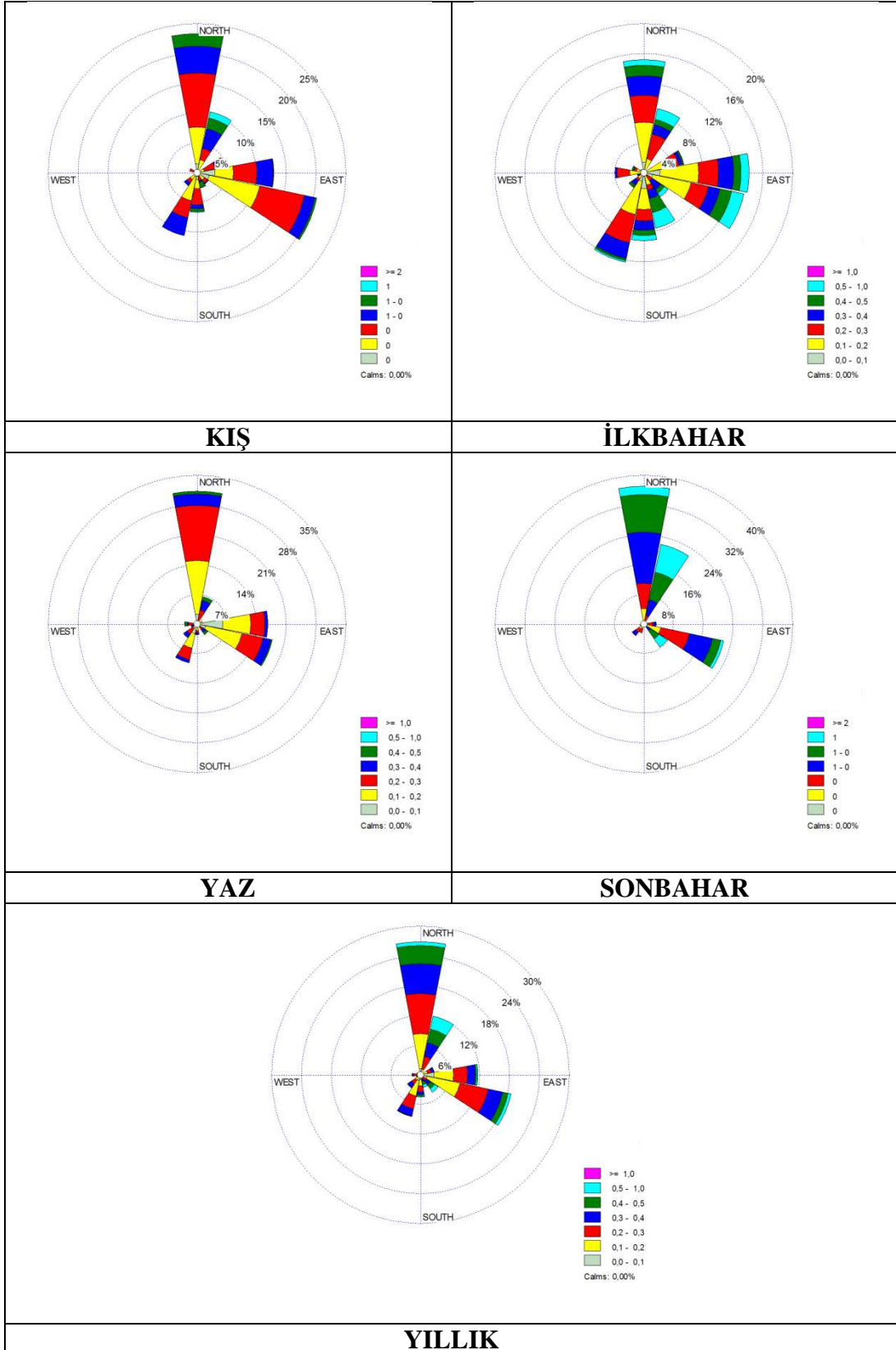


Modelin rüzgar girdisi oluşturan rüzgar alanları ECMWF'in (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi) ERA Interim veri setinden temin edilmiştir.  $0.25^0 \times 0.25^0$  çözünürlükte 2007-2009 yıllarına ait 6 saat aralıklı 10 metre yükseklikte  $u$  ve  $v$  rüzgar bileşenleri kullanılmıştır. Kurulan rüzgar-dalga modelinin kalibrasyonu için NATO'nun "Barış için Bilim" adlı birimi tarafından sponsorluğu yapılan NATO TU-WAVES projesi kapsamında  $39^{\circ} 42' 14''$  kuzey enlemi  $26^{\circ} 02' 57''$  doğu boylamındaki Bozcaada şamandıra istasyonu için 21 Kasım 1994-10 Aralık 1994, 1 Ocak 1995-31 Ocak 1995 ve 11 Ağustos 1995-30 Eylül 1995 tarihleri arasında kaydedilen veriler kullanılmıştır. Bozcaada ölçüm istasyonuna ait belirgin dalga yüksekliği ile Özhan vd. (2002)'den elde edilen veriler Şekil 4.18'de karşılaştırılmıştır.

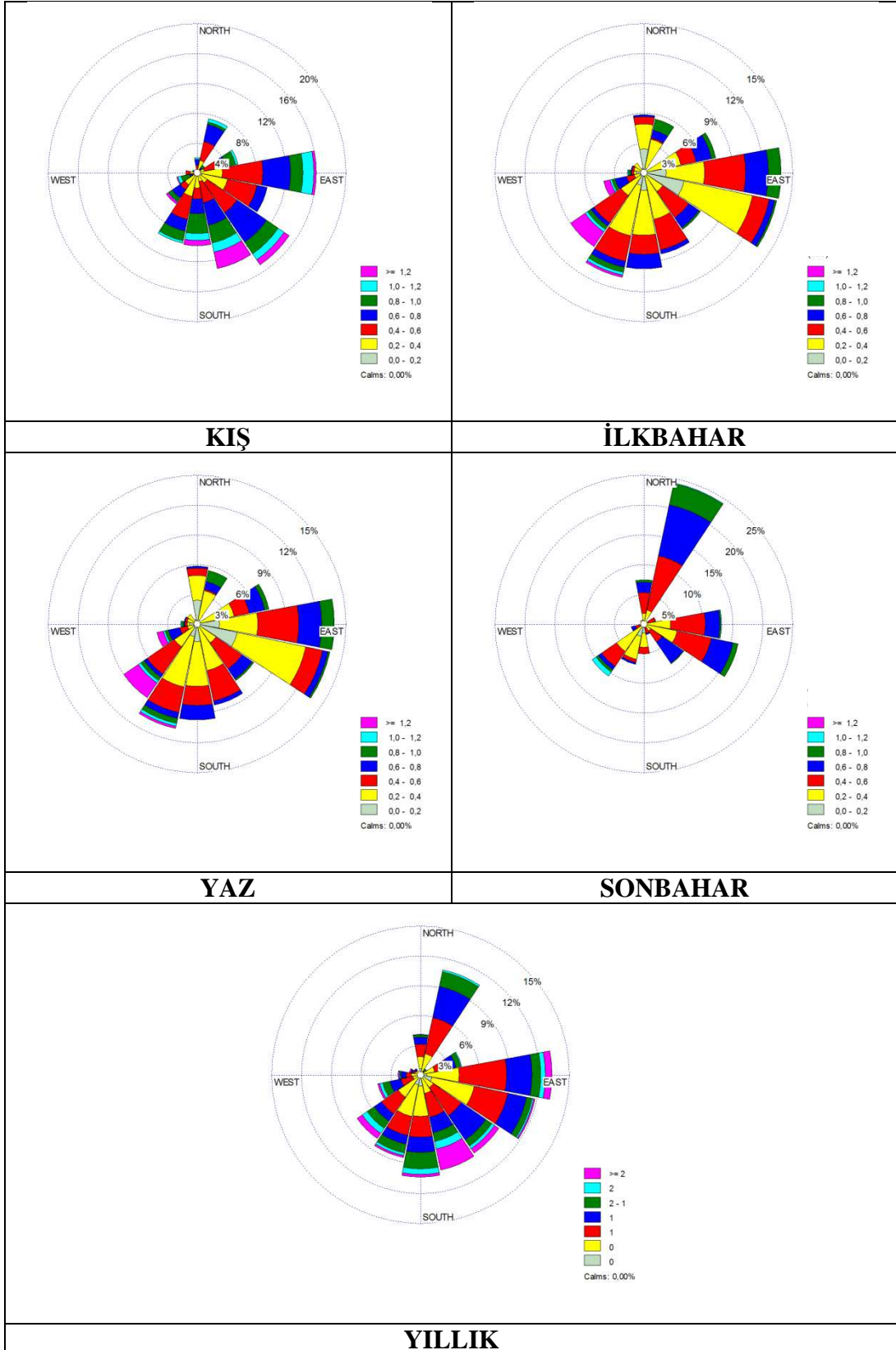


**Şekil 4.18:** Bozcaada ait dalga yüksekliği verilerinin karşılaştırılması

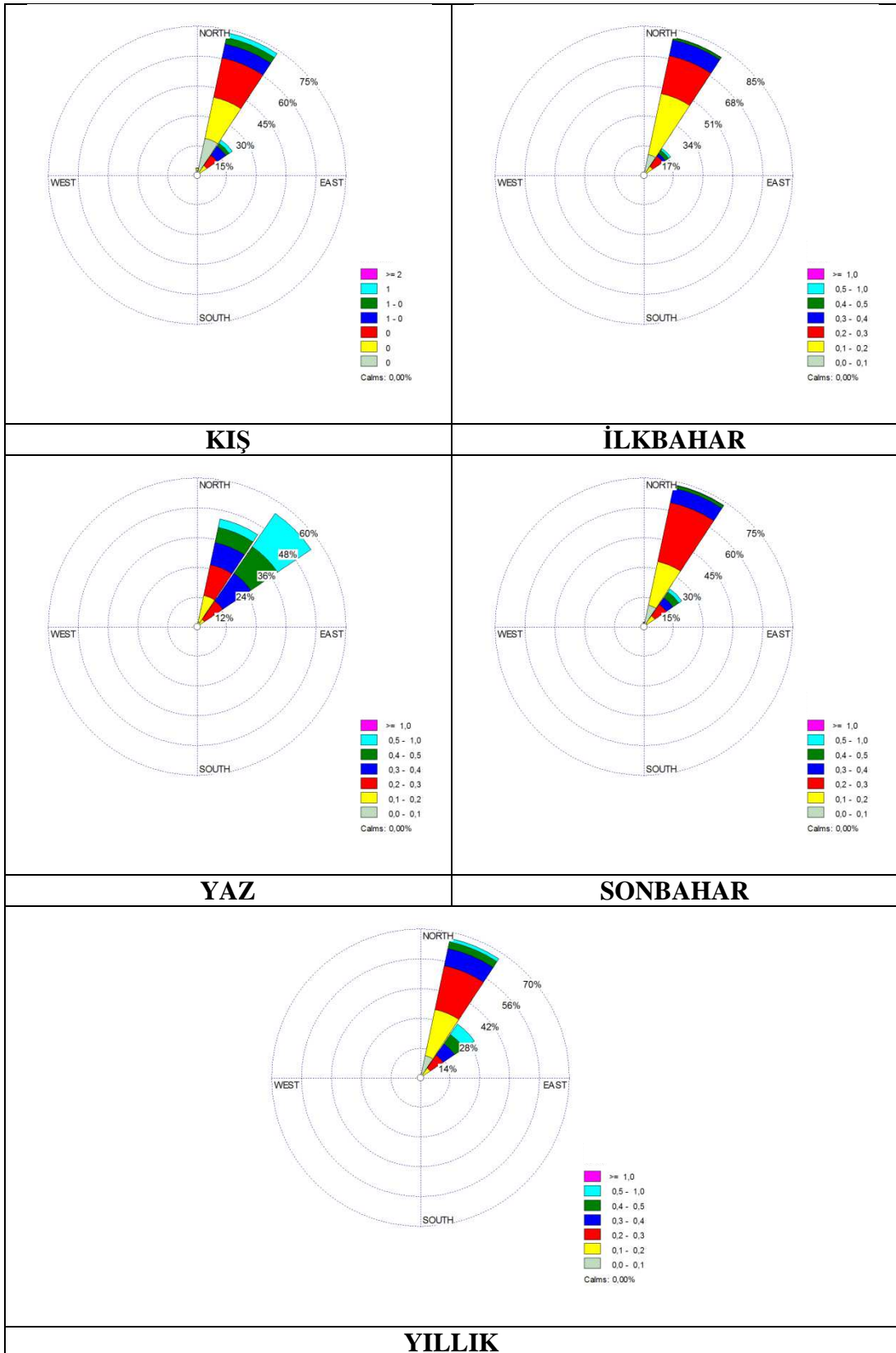
ECMWF verilerine göre modelden elde edilen sonuçlar analiz edilerek Ayvalık-Bozcaada-Bandırma için mevsimlik ve yıllık rüzgar gülleri Şekil 4.19-4.21'de verilmiştir. Bu şekillere bakıldığında dalgaların genellikle Ayvalık için Kuzey, Bandırma için Kuzey batı yönünde ve Bozcaada için Güney ve Güney batı yönlerinde daha etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 4.19: Aylalık'a ait dalga gülleri



Şekil 4.20: Bozcaada'ya ait dalga gülleri



Şekil 4.21: Bandırma'ya ait dalga gülleri

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Ayvalık – Bozcaada - Bandırma kıyı bölgesinde rüzgar ve dalga iklimi çalışması yapılmıştır. üç farklı istasyona ait 1980-2010 yılları arasındaki verilerinin rüzgar yönlerine göre oluşma yüzdeleri Tablo 4.1’de verilmiş ve Ayvalık için K, KD ve KKD yönlerinin, Bozcaada da KD, KKD VE KKB yönlerinin ve Bandırma’da ise sadece KKD yönünde esen rüzgarın etkili olduğunu görülmüştür. Ayrıca Tablo 4.2-4.4’de çalışma bölgesine ait saatlik ortalama rüzgar hızlarının yönlere göre frekans dağılımı ve yönel ağırlıklı hızları verilmiştir. Ayvalık için kuzey kuzey doğu yönündeki rüzgarların 0-2 saat esme süresinde 0-2 m/sn hızlarda %3,17, 2-4 m/sn hızlarda %3,69, 4-6 m/sn hızlarda %3,28, 6-9 m/sn hızlarda %1,56, 9-12 m/sn hızlarda ise %0,07’lik oranlarında etkili olduğu Tablo 4.5’de görülmektedir. Tablo 4.6’da Bozcaada kuzey kuzey doğu yönündeki rüzgarların 0-2 saat esme süresinde 0-2 m/sn hızlarda %1,72, 2-4 m/sn hızlarda %3,24, 4-6 m/sn hızlarda %3,61, 6-9 m/sn hızlarda %5,46, 9-12 m/sn hızlarda ise %4,42 ve 12 m/sn’den daha büyük hızların ise %1,97 oranlarında etkili olduğu görülmektedir. Bu yöndeki maksimum rüzgar hızı 27,7 m/sn’dir. Bandırma içinde kuzey kuzey doğu yönündeki rüzgarların daha etkili olduğu Tablo 4.7’de görülmektedir. 0-2 saat esme süresinde 4-6 m/sn hızlarında %10,8, 6-9 m/sn’deki hızlarda ise %10,16 oranına sahiptir. Bu hızlar Bandırma için tüm rüzgar yönlerinin yaklaşık %20’sini oluşturmaktadır.

17175, 17111 ve 17114 nolu Devlet Meteoroloji İstasyonlarından temin edilen 1980-2010 yıllarına ait rüzgar verilerine göre ampirik dalga tahmin yöntemlerinden SMB metodu kullanılarak Ayvalık-Bozcaada ve Bandırma’ya ait dalga parametreleri belirlenmiştir (Şekil 4.11-4.12). En büyük dalga yüksekliğinin Ayvalık’da KB yönünde 0.342 m Bozcaada’da KD yönünde 2.22 m ve Bandırma’da K yönünde 1.29 m değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Ayrıca tez kapsamında incelenen kıyı bölgelerinde dalga ikliminin belirlenmesi için nümerik bir model kullanılmıştır (MIKE21 SW). Dalga modeli kurulabilmesi için gerekli olan batimetri verisi “European Marine Observation and Data Network” veri merkezinden elde edilmiştir. Programda göz önüne alınan

Ege ve Marmara Denizi koordinatları Tablo 4.9'da, oluşturulan model ađ sistemi ve batimetri Şekil 4.14 -4.17'de verilmiştir. ECMWF'in ERA Interim veri setinden modelin rüzgar girdisi oluşturan rüzgar alanları temin edilmiştir. Rüzgar-dalga modelinin kalibrasyonu için Türkiye kıyılarında NATO TU-WAVES projesi kapsamında 39° 42' 14" kuzey enlemi 26° 02' 57" doğu boylamındaki Bozcaada şamandıra istasyonu için 21 Kasım 1994-10 Aralık 1994, 1 Ocak 1995-31 Ocak 1995 ve 11 Ağustos 1995-30 Eylül 1995 tarihleri arasında kaydedilen veriler kullanılmıştır. Bozcaada ölçüm istasyonuna ait belirgin dalga yüksekliği ile Özhan vd. (1995)'ten elde edilen veriler Şekil 4.18'de karşılaştırılmıştır. ECMWF verilerine göre modelden elde edilen sonuçlara bakıldığında dalgaların genellikle Ayvalık için Kuzey, Bandırma için Kuzey batı yönünde ve Bozcaada için Güney ve Güney batı yönlerinde daha etkili olduğu görölmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

Andreas, E.L. and Wang S. (2007). Predicting significant wave height off the northeast coast of the United States. *Ocean Engineering*, 34, 1328-1335.

Arı, M. S. (2012). Geleneksel Kent Dokularının Oluşumu: Ayvalık Örneği. Uzmanlık Tezi, Kültür ve Turizm Bakanlığı, *İzmir II Numaralı, Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu Müdürlüğü*, İzmir.

Arı, H.A., Yüksel, Y. ve Çevik, E. (2007). Rüzgar-dalga iklimi analizi ve dalga modellemesi üzerine bir çalışma. *TMMOB İnşaat Mühendisleri 6. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, İzmir, 351-358.

Arıkan, Ş.E., Bilyay E., Ünal, A. ve Özbahçeci B. (2004). Filyos Limanı dalga ölçümleri ve bu ölçümlerin çeşitli dalga tahminleri ile karşılaştırılması. (ed: E. Özhan ve H. Evliya), *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları V. Ulusal Konferansı*, *Kıyı alanları Yönetimi Türk Milli Komitesi*, ODTÜ, Ankara, Türkiye, 353-362.

Berkün, U. (2007). Karadeniz'in Güney Kesiminde Rüzgar ve Soluğan Dalga İklimi. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara.

CERC (1984), Shore Protection Manuel, 4th Ed., Coastal Engineering Research Center, US Army Corps of Eng., Vicksburg.

Çaban, S. (2007). Karadeniz'in Güney Kesiminde Rüzgar ve Rüzgar Dalgası İklimi Araştırması. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara.

Derebay, S.K. (2007). Ege Denizi ve Akdeniz'de Rüzgar ve Soluğan Dalga İklimi. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara.

DHI,(2003). *MIKE 21-Wave Modelling, User Guide*. DHI Water and Environment, (2003).

Günaydın, K. (2008). The estimation of monthly mean significant wave heights by using artificial neural network and regression methods. *Ocean Engineering*, 35, 1406-1415.

Günver, M. G. (2007). Meteorolojik Verilerden Yararlanarak Dalga Yüksekliğinin Hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.

Kapdaşlı, S. (1992), *Kıyı Mühendisliği*. İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Özbahçeci, B., Bilyay E. ve Yalçın A.C. B. (2011). Batı Karadeniz, Filyos'da ender dalgalar. (ed: Y. Yüksel), *TMMOB İnşaat Mühendisleri 7. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, Trabzon, 87-95.

Özhan, E. ve Abdalla, S. (2002). *Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası*. Kıyı Alanları Yönetimi Türk Milli Komitesi, Ankara.

Roulston, M.S., Ellepola, J., Hardenberg, J. and Smith, L.A. (2005). Forecasting wave height probabilities with numerical weather prediction models. *Ocean Engineering*, 32, 1841-1863.

Stansell, P. (2005). Distributions of extreme wave, crest and trough heights measured in the North Sea. *Ocean Engineering*, 32, 1015-1036.

Şahin, C. (2007). Parametrik Rüzgar Dalgası Modellemesi ve Batı Karadeniz Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.

Topaloğlu, V. (2007). Yapay Sinir Ağları ile Dalga Yüksekliği Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.

Yılmaz, N. (2007). Doğu Karadeniz'deki Rüzgar Dalgalarının Spektral Özellikleri. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara.



Yüksel, Y., Çevik, E. ve Çelikoğlu, Y. (1998). *Kıyı ve Liman Mühendisliği*. TMMOB, İmo, Ankara Subesi, Ankara.

Yüksel, Y., ve Çevik, E. (2009). *Kıyı Mühendisliği*. Deniz Mühendisliği Serisi, No:1, Beta Yayınevi, İstanbul.

<http://balikesir.balnet.net/ilceler/KonuDetay.asp?ilceID=4&konuID=285>  
(15 Mart 2015)

<http://balkes-web.blogspot.com.tr/2013/06/ayvalik-ilceye-genel-baks.html>  
(21 aralık 2014)

<http://www.ayvalik-place.com> (15 Aralık 2014)

[http://www.bozcaada.gov.tr/default\\_B0.aspx?content=1009](http://www.bozcaada.gov.tr/default_B0.aspx?content=1009) (15 Aralık 2014)

<http://www.on5yirmi5.com/haber/yasam/dogal-yasam/106498/kuzey-egenin-dogal-guzellikleri-nelerdir.html> (08 Aralık 2014)

<http://www.turkiyegezirehberi.net/tag/gezilecek-yerler/page/2> (06 Kasım 2014)

<http://www.webokur.net/forum/> (06 Kasım 2014)

<http://tr.wikipedia.org/wiki/Bandırma> (08 Aralık 2014)