



**KARADENİZ'İN GÜNEY BATI KIYILARI İÇİN İÇ İÇE  
GEÇMİŞ KARELAJ SİSTEMLİ DALGA TAHMİN  
MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE  
DALGA İKLİM ANALİZİ**

**Bilal BİNGÖLBALİ**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARADENİZ'İN GÜNEY BATI KIYILARI İÇİN İÇ İÇE GEÇMİŞ KARELAJ  
SİSTEMLİ DALGA TAHMİN MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE DALGA  
İKLİM ANALİZİ**

**Bilal BİNGÖLBALİ**

Doç. Dr. Adem AKPINAR  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA - 2018

## TEZ ONAYI

Bilal BİNGÖLBALİ tarafından hazırlanan "KARADENİZ'İN GÜNEY BATI KIYILARI İÇİN İÇ İÇE GEÇMİŞ KARELAJ SİSTEMLİ DALGA TAHMİN MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE DALGA İKLİM ANALİZİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Adem AKPINAR

**Başkan** : Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
İnşaat Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye** : Doç. Dr. Veysel Şadan Özgür KIRCA  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
İnşaat Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye** : Doç. Dr. Adem AKPINAR  
Uludağ Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof. Dr. Ali BAYRAM  
Enstitü Müdürü  
18..../2018

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**06/07/2018**

  
**Bilal BINGÖLBALİ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KARADENİZ'İN GÜNEY BATI KIYILARI İÇİN İÇ İÇE GEÇMİŞ KARELAJ SİSTEMLİ DALGA TAHMİN MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE DALGA İKLİM ANALİZİ

**Bilal BİNGÖLBALİ**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman: Doç. Dr. Adem AKPINAR**

Bu çalışmada, üç alt karelaaj şeklinde Karadeniz'in güneybatı bölümüne odaklanan iç içe geçmiş sayısal dalga tahmin modelinin geliştirilmesi, uzun vadeli bir dalga tahmin veri setinin oluşturulması ve ilgi alanı için dalga iklim analizinin yürütülmesi hedeflenmiştir. Bu hedefe ulaşabilmek için öncelikle, iç içe geçmiş karelaaj metodolojisine dayanan bir dalga tahmin modeli SWAN (Simulating Waves Nearshore) versiyon 41.01AB kullanılarak geliştirilmiş, kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Duyarlılık testleri, hesaplamalı karelaaj çözünürlüğü, fiziksel formülasyonlar ve ayarlanabilir katsayıları, sayısal ayarlar, durağan olmayan hesaplamaların zaman aralığı ve rüzgar girdileri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. SWAN modelinin farklı GEN3 fizik seçenekleri (rüzgar girdi ve köpüklenme kombinasyonu) ve ayarlanabilir köpüklenme katsayısına ( $C_{ds}$ ) ve durağan olmayan hesaplamaların zaman aralığına duyarlılığının olduğu anlaşılmış ve bu parametreler için kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. Her bir karelaaj için kalibre edilen SWAN model yine her bir karelaaj için kalibrasyonda kullanılmayan ölçüm verileri ile doğrulanmıştır. Dalga üremesi ve köpüklenme kombinasyonu için sırasıyla Komen ve Janssen fizik seçeneklerine sahip ve SD1 Sinop alt karelaajında  $C_{ds}=3$ , SD2 Filyos alt karelaajında  $C_{ds}=9$  ve SD3 Karaburun alt karelaajında  $C_{ds}=2$  olarak ayarlanan SWAN modelin, belirgin dalga yüksekliği ve ortalama ve/veya pik dalga periyotlarını yüksek düzeyde doğrulukla tahmin ettiği belirlenmiştir. Her bir alt karelaaj için 31 yıllık uzun dönemli bir dalga tahmin veri seti oluşturmak maksatlı kalibre edilen ve doğrulanan iç içe geçmiş karelaajlı dalga tahmin modeli kullanılarak simülasyonlar yürütülmüş ve farklı rüzgar ve dalga karakteristikleri 2 saatlik zamansal çözünürlükte biriktirilmiştir. Üretilen bu veri tabanı kullanılarak öncelikle, farklı dalga parametrelerinin uzun dönemli yıllık, mevsimlik ve aylık ortalama değerlerinin alansal değişimleri, belirgin dalga yüksekliklerinin farklı bir kritik değerden daha büyük olma olasılıklarının ve farklı aşılma olasılıklı değerlerinin alansal dağılımları, uzun dönemli maksimum belirgin dalga yüksekliğinin alansal değişimleri tespit edilmiştir. Her bir alt karelaajda önceden belirlenmiş bazı istasyonlar için dalga gülleri, farklı dalga parametrelerinin ikili ilişkileri ve farklı tekerrür süreli tasarım dalgaları belirlenmiştir. Dalga gülleri, belirgin dalga yüksekliğinin ortalama dalga periyodu ile ikili ilişkisi ve farklı tekerrürlü tasarım dalgaları açısından sonuçların Türkiye Denizleri Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlasının sonuçları ile kıyaslaması da yapılmıştır. Dalga gülleri açısından benzerliklerin çok olmasına karşın özellikle farklı tekerrürlü tasarım dalgaları açısından farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. SD3 Karaburun karelaajının batısında bu çalışmada dalga atlasınınkine kıyasla 2 m'den daha büyük 100 yıllık tasarım dalgası elde edilirken diğer alt karelaajlarda dalga atlasının 1 m'ye kadar daha yüksek 100 yıllık tasarım dalgası bulunduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** SWAN, iç içe geçmiş karelaaj, dalga modellemesi, Karadeniz  
2018, xiii + 159 sayfa.

**ABSTRACT**  
MSc Thesis

**WAVE CLIMATOLOGY AND DEVELOPMENT OF A WAVE HINDCAST  
MODEL WITH THE NESTED GRID SYSTEM FOR THE SOUTH WESTERN  
COASTS OF THE BLACK SEA**

**Bilal BİNGÖLBALİ**

Uludag University  
Graduate School of Natural Science and Applied Science  
Department of Civil Engineering

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Adem AKPINAR**

This study aimed at developing a nested numerical wave prediction model focusing on the southwestern part of the Black Sea in three sub-grids, to construct a long term wave prediction data set and to carry out wave climate analysis for the area. To achieve this goal, a wave prediction model based on nested grid methodology was developed, calibrated and verified using SWAN (Simulating Waves Nearshore) version 41.01AB. Sensitivity tests were performed taking into account computational grid resolution, physical formulations and their adjustable coefficients, numerical settings, time interval of non-stationary computation, and wind input. The SWAN model was found to be sensitive to different GEN3 physics options (wind input and whitecapping combinations), adjustable whitecapping coefficient ( $C_{ds}$ ), and non-stationary computation time step, and calibration was performed for these parameters. The SWAN model calibrated for each grid was again verified using the measurement data not used in the calibration for each grid. The SWAN model with the Komen and Janssen physics options for wave growth and whitecapping combination, respectively, and set as  $C_{ds} = 3$  in the SD1 Sinop sub-grid,  $C_{ds} = 9$  in SD2 Filyos sub-grid and  $C_{ds} = 2$  in the SD3 Karaburun sub-grid, has high prediction accuracy of significant wave height and mean and /or peak wave periods. Simulations were carried out using a calibrated and verified nested grid wave prediction model to generate a 31-year long-term wave prediction for each sub-grid, and different wind and wave characteristics were accumulated in a temporal resolution of 2 hours. Using this database, spatial variations of long-term annual, seasonal and monthly average values of the different wave parameters, spatial distributions of the probabilities that the significant wave heights are greater than a critical value and probability of exceeding different values and spatial variations of the long-term maximum significant wave height have been determined. For each of the predetermined stations in each sub-grid, wave roses, bimodal relationships of different wave parameters, and design waves with different recurrence periods are determined. Results in terms of wave roses, bilateral relations of average wave period and significant wave height and different recurrent design waves were compared with results of the Wind and Deep Sea Wave Atlas of Turkish Seas. Although there are a lot of similarities in terms of wave roses, it has been found that there are differences especially in terms of different recurrent design waves. A 100-year design wave greater than 2 m was obtained in west of SD3 Karaburun grid in this study compared to that of the wave atlas, while in the other sub-grids, the wave atlas provided a 100-year design wave of up to 1 m higher.

**Key Words:** SWAN, nested grid system, wave modelling, Black Sea  
2018, xiii + 159 pages.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca sahip olduğum bilgiyi, tecrübeyi ve desteğini benden esirgemeyen, konu seçimi ile başlayarak bütün çalışma süreci içinde bizzat bulunan, ihtiyaç duyduğum her anda değerli bilgilerini ve zamanını benimle paylaşan tez danışman hocam Sayın Doç. Dr. Adem AKPINAR'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında ihtiyaç duyduğum her anda fikirlerini ve önerilerini aldığım, hiçbir zaman benden yardımlarını esirgemeyen ve daima yanımda olan Araş. Gör. Recep Emre ÇAKMAK, İnşaat Mühendisi Halid JAFALI ve Yüksek İnşaat Mühendisi Ünsal ESER'e çok teşekkür ederim.

Sayısal analiz aşamasında karşılaşılan sorunların çözümündeki desteklerinden ve çalışma ile ilgili değerli yorumlarından dolayı Dr. Gerbrant Ph. Van VLEDDER'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması kapsamında kullandığım sayısal programın temininden dolayı Delft Üniversitesi SWAN araştırma grubuna, analizlerin gerçekleştirilebilmesi için Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Laboratuvarını kullanmama izin veren Uludağ Üniversitesi Rektörlüğü, Mühendislik Fakültesi ve İnşaat Mühendisliği Bölümü Yönetimine, çalışma kapsamında kullandığım CFSR rüzgar alan verilerini paylaşımlarından dolayı NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi)'nin NCEP CFS ekibine, Karadeniz'in batimetrisini temin ettiğim NOAA GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans)'ya, modelin kalibrasyonu ve doğrulamasında ihtiyaç duyulan dalga ölçüm verilerini paylaşımından dolayı T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü ve Romanya'nın Deniz Araştırma ve Geliştirme Ulusal Kurumu (NIMRD), NATO TU-WAVES Projesinin yürütücüsü Prof Dr Erdal Özhan'a ve bu projeye desteklerinden ötürü NATO İstikrar İçin Bilim Programına teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı (1001) bünyesinde 214M436 No'lu araştırma projesi kapsamında destekleyen TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda, destekleriyle her zaman yanımda olan aileme, dostlarıma ve Kuru Yapı Denetim ailesine sonsuz teşekkür ederim.

Bilal BİNGÖLBALİ  
06/07/2018

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1.GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Dalga Tahmin Yöntemleri.....	3
2.2. SWAN Model.....	4
2.3. SWAN Modelde Kapsanan Fiziksel Süreçler.....	6
2.4. Literatür Taraması.....	9
3.MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1. Çalışma Bölgesi.....	21
3.2. Çalışma Kapsamında Kullanılan Veri Kaynakları.....	22
3.2.1.CFSR Rüzgar Veri Setleri.....	23
3.2.2.Dalga Ölçümleri.....	23
3.2.3.Karadeniz'in Batimetrisi.....	26
3.3.SWAN Modelin Karadeniz'e uygulanması.....	26
3.4.Model Kalitesinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler.....	28
3.4.1.İstatistiksel Hata Göstergeleri.....	29
3.4.2.Saçılım Diyagramları.....	30
3.5.Uzun Dönemli Tahmin Sonuçlarının Analizinde Kullanılan Yöntemler.....	30
3.5.1.Dalga Gülleri.....	31
3.5.2.Ekstrem Değer Analizi.....	31
4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	33
4.1.Sayısal Modelin Geliştirilmesi ve Kalibrasyonu.....	34
4.2.Sayısal Modelin Doğrulanması.....	47
4.2.1.Kaba Karelay için Geliştirilen Sayısal Modelin Doğrulanması.....	47
4.2.2.Orta (İnce) Karelay için Geliştirilen Sayısal Modelin Doğrulanması.....	55
4.2.3.Üç Alt Karelay (SD1, SD2 ve SD3) için Geliştirilen Sayısal Modelin Doğrulanması.....	57



4.3.Karadeniz'in Güney Batı Kıyılarının Dalga Şartları.....	61
4.3.1.Yıllık, Mevsimlik ve Aylık Ortalama Belirgin Dalga Yüksekliği .....	62
4.3.2.Yıllık, Mevsimlik ve Aylık Ortalama Dalga Enerji Periyodu.....	69
4.3.3.Farklı Aşılmama İhtimalli Belirgin Dalga Yükseklikleri.....	76
4.3.4.Belirgin Dalga Yüksekliğinin Kritik Bir Değerden Daha Büyük Olma Olasılığı .	77
4.3.5.Maksimum Belirgin Dalga Yüksekliği .....	79
4.3.6.Dalga Gülleri.....	80
4.3.7.Dalga Parametrelerinin İkili İlişkileri .....	84
4.3.8.Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar .....	99
4.3.9.Genel Değerlendirme .....	102
5.SONUÇ .....	109
KAYNAKLAR .....	113
EKLER.....	119
EK 1: Kalibrasyon Süreci Sonucunda Kaba Karelaj İçin Oluşturulan Modellerin Belirgin Dalga Yüksekliği Ve Ortalama (Veya Pik) Dalga Periyodu Tahminlerinin Üç Dalga Ölçüm İstasyonundaki Hata İstatistiği.....	120
EK 2: Kaba Karelaj İçin Artırılmış Rüzgar Hızları İle Çalıştırılan SWAN Modellerin Her İki Dalga Parametre Tahminleri İçin Üç Dalga Ölçüm İstasyonundaki Hata İstatistiği.....	129
EK 3: Kaba Karelaj İçin Derinlik Etkileşimli Dalga Kırılması, Üçlü Dalga-Dalga Etkileşimleri Ve Taban Sürtünmesi Süreçlerinin SWAN Modelde Aktif Ve Aktif Olmama Durumlarında Her İki Dalga Parametre Tahminlerinin Üç Dalga Ölçüm İstasyonundaki Hata İstatistiği .....	132
EK 4: İnce Karelaj İçin Kalibrasyon Sürecinde Geliştirilen Bütün SWAN Modellerin Her İki Dalga Parametresinin Tahminlerinin Gloria İstasyonundaki Hata İstatistiği ...	134
EK 5: Alt Karelaj SD1 İçin Kalibrasyon Sürecinde Geliştirilen Bütün SWAN Modellerin Her İki Dalga Parametresinin Tahminlerinin Sinop İstasyonundaki Hata İstatistiği.....	136
EK 6: Alt Karelaj SD2 İçin Kalibrasyon Sürecinde Geliştirilen Bütün SWAN Modellerin Her İki Dalga Parametresinin Tahminlerinin Filyos İstasyonundaki Hata İstatistiği.....	138
EK 7: Alt Karelaj SD3 İçin Kalibrasyon Sürecinde Geliştirilen Bütün SWAN Modellerin Belirgin Dalga Yüksekliğinin Tahminleri İçin Karaburun İstasyonundaki Hata İstatistiği .....	141
EK 8: Kaba Karelajda Doğrulama Analizi İçin Geliştirilen Model Tahminlerinin Mevcut Tüm Ölçüm Verisine Karşı Zaman Serisi Kıyaslaması.....	143
EK 9: İnce Karelajda Doğrulama Analizi İçin Geliştirilen Model Tahminlerinin Mevcut Tüm Ölçüm Verisine Karşı Zaman Serisi Kıyaslaması .....	147

EK 10: Alt Karelajlarda Doğrulama Analizi İçin Geliştirilen Model Tahminlerinin Mevcut Tüm Ölçüm Verisine Karşı Zaman Serisi Kıyaslaması.....	148
EK 11: Her Alt Karelaj İçin Seçilmiş Bütün İstasyonlarda Farklı Yönlerde Ait Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar.....	149
ÖZGEÇMİŞ .....	158



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$A, B$	Dalga frekans ve yönü ile rüzgar hızı ve yönüne bağlı katsayılar
$c_x, c_y$	Sırasıyla $x$ ve $y$ yönlerindeki dalga yayılma hızı
$c_\sigma, c_\theta$	Sırasıyla $\sigma$ ve $\theta$ yönlerindeki dalga yayılma hızı
$c_{g0}$	Akıntı hızı olmadan hesaplanan grup hızı
$c_{ph}$	Dalga ilerleme hızı
$C_{ds}, \delta$ ve $\rho$	Rüzgar girdisi için ayarlanabilir katsayılar
$C_{ds}$	Köpüklenme parametresi
$C_b$	Taban sürtünme katsayısı
$C_{nl4}$	Dörtlü lineer olmayan dalga-dalga etkileşimi
$C_{fjon}$	Jonswap sürtünme katsayısı
$C_f$	Collins sürtünme katsayısı
$kn$	Madsen sürtünme katsayısı
$d$	Su derinliği
$D_{tot}$	Dalga kırılması nedeniyle toplam enerjide dağılmanın oranı
$E(\sigma, \theta)$	Enerji yoğunluğu
$E_{tot}$	Toplam dalga enerjisi
$H$	Pierson and Moskowitz'e göre filtre terimi
$H_{max}$	Hesaplanan derinlikteki maksimum dalga yüksekliğini
$H_{m0}$	Belirgin dalga yükseklikleri
$i$	Azalan sırayla oluşturulan verilerden hesaplanan verinin sırasını
$n$	Veri sayısını
$N$	Toplam veri sayısı
$R$	Korelasyon katsayısı
$S$	Dalga saçılması ve üretiminin bütün etkilerini temsil eden kaynak ifadesi
$S_{brk}$	Derinlik etkileşimli dalga kırılması nedeniyle dalga dağılmasıyla enerji kaybı
$S_{frc}$	Taban sürtünmesi nedeniyle dalga dağılmasıyla enerji kaybı
$S_{wcp}$	Denizin köpüklenmesiyle oluşan dalga dağılmasıyla enerji kaybı
$S_{nl3}$	Üçlü lineer olmayan dalga-dalga etkileşimi
$S_{nl4}$	Dörtlü lineer olmayan dalga-dalga etkileşimi
$S_{inp}$	Rüzgar girdisi nedeniyle oluşan dalga üretimi
$t$	Zaman

$T_{m02}$	Ortalama dalga periyodu
$T_{m-10}$	Dalga enerji periyodu
$T_{pik}$	Dalga pik periyodu
$X_i$	Ölçülen değerler
$X_{ort}$	Ölçümlerin ortalaması
$Y_i$	Tahmin değerleri
$Y_{ort}$	Tahminlerin ortalaması
$Q_{(H_s)}$	Gumbel aşılma olasılığı fonksiyonu
$\sigma$	Rölatif dalga frekansı
$\theta$	Dalga birleşenlerinin yayılma yönü
$\sigma_{PM}^*$	Pik periyot
$\Gamma$	Bağımlı diklik katsayısı,
$\bar{\sigma}$	Ortalama frekans
$k$	Dalga sayısı
$\bar{k}$	Ortalama dalga sayısı
$\bar{s}$	Genel dalga dikliği
$\bar{s}_{PM}$	Pierson-Moskowitz spektrumunda dalga dikliği

### Kısaltmalar

### Açıklama

Bias	Ortalamaların Farkı
BODC	British Oceanographic Data Centre
CFSR	Climate Forecast System Reanalysis
D	Doğu
GEBCO	Okyanusların Genel Batimetrik Grafikleri
JONSWAP	Kuzey Denizi Ortak Dalga Gözlem Projesi
K	Kuzey
MAE	Mutlak Ortalama Hata
MATLAB	Matrix Laboratory
NOAA	Ulusal Okyanus Ve Atmosfer Dairesi
NATO	Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü
NASA	Ulusal Havacılık Ve Uzay Dairesi
NCEP	NOAA Rüzgar Tahmin Veri Tabanı
RMSE	Hataların Ortalama Karekökü
R	Korelasyon Katsayısı
SI	Saçılım İndeksi
SWAN	Yakın Kıyı Dalga Benzeşim Modeli
US Army	Amerika Birleşik Devletleri Ordusu
WAMDI	Dalga Modeli Geliştirme ve Uygulama

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3. 1. Çalışma bölgesi, Karadeniz'in batimetrisi, dalga ölçüm istasyonları (beyaz noktalar; K: Karaburun, F: Filyos, S: Sinop, H: Hopa, GL: Gloria, G: Gelendzhik) ve uzun dönemli analiz kısmında Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002) sonuçlarının kıyaslandığı lokasyonlar (pembe noktalar).....	22
Şekil 3. 2. Üç alt kareajda seçilmiş istasyonların konumları .....	28
Şekil 4. 1. Gelendzhik istasyonunda oluşturulan SWAN modellerin dalga parametre tahminleri için hata parametrelerinin (Bias, RMSE ve SI) kıyaslaması .....	36
Şekil 4. 2. Hopa istasyonunda oluşturulan SWAN modellerin dalga parametre tahminleri için hata parametrelerinin (Bias, RMSE ve SI) kıyaslaması .....	36
Şekil 4. 3. Sinop istasyonunda oluşturulan SWAN modellerin dalga parametre tahminleri için hata parametrelerinin (Bias, RMSE ve SI) kıyaslaması .....	37
Şekil 4. 4. Üç farklı şamandıra istasyonunda farklı delta değerleri ile ayarlanan SWAN model sonuçlarının kıyaslaması.....	39
Şekil 4. 5. Gloria ölçüm istasyonu için oluşturulan SWAN modellerin dalga parametre tahminleri için hata parametrelerinin (Bias, RMSE ve SI) kıyaslaması .....	40
Şekil 4. 6. Sinop ölçüm istasyonu için oluşturulan SWAN modellerin dalga parametre tahminleri için hata parametrelerinin (Bias, RMSE ve SI) kıyaslaması .....	42
Şekil 4. 7. Filyos ölçüm istasyonu için oluşturulan SWAN modellerin dalga parametre tahminleri için hata parametrelerinin (Bias, RMSE ve SI) kıyaslaması .....	43
Şekil 4. 8. Karaburun ölçüm istasyonu için oluşturulan SWAN modellerin dalga parametre tahminleri için hata parametrelerinin (Bias, RMSE ve SI) kıyaslaması ..	43
Şekil 4. 9. Filyos, Gelendzhik, Gloria, Hopa ve Karaburun ölçüm istasyonlarında kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin Hm0 tahminlerinin ölçümlere karşı zaman serilerinin kıyaslaması .....	50
Şekil 4. 10. Beş ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin Tm02 (veya Tpik) tahminlerinin ölçümlere karşı zaman serilerinin kıyaslaması.....	52
Şekil 4. 11. Beş ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin Hm0 tahminlerinin ölçümlere karşı saçılım diyagramları.....	53
Şekil 4. 12. Beş ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin Tm02 veya Tpik tahminlerinin ölçümlere karşı saçılım diyagramları ..	54
Şekil 4. 13. Gloria ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin Hm0 ve Tmax tahminlerinin ölçümlere karşı zaman serilerinin kıyaslaması.....	56
Şekil 4. 14. Gloria ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin Hm0 ve Tmax tahminlerinin 2007 – 2009 yılları arasındaki ölçümlere karşı saçılım diyagramları.....	57
Şekil 4. 15. Filyos ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin Hm0 ve Tmax tahminlerinin ölçümlere karşı zaman serilerinin kıyaslaması.....	58
Şekil 4. 16. Filyos ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin Hm0 ve Tmax tahminlerinin ölçümlere karşı saçılım diyagramları.....	59

Şekil 4. 17. Karaburun ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin Hm0 tahminlerinin ölçümlere karşı zaman serilerinin kıyaslaması.....	60
Şekil 4. 18. Karaburun ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin Hm0 tahminlerinin 2003 yılı ölçümlerine karşı saçılım diyagramları.....	60
Şekil 4. 19. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) karelajlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca yıllık ortalama belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga yönü.....	62
Şekil 4. 20. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) karelajlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca mevsimsel ortalama belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga yönü.....	64
Şekil 4. 21. SD3 (Karaburun) karelajına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga yönü .....	67
Şekil 4. 22. SD2 (Filyos) karelajına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama belirgin dalga yüksekliği.....	68
Şekil 4. 23. SD1 (Sinop) karelajına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga yönü .....	69
Şekil 4. 24. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) karelajlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca yıllık ortalama dalga enerji periyodu .....	70
Şekil 4. 25. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) karelajlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca mevsimsel ortalama dalga enerji periyodu .....	72
Şekil 4. 26. SD3 (Karaburun) karelajına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji periyodu .....	73
Şekil 4. 27. SD2 (Filyos) karelajına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji periyodu .....	74
Şekil 4. 28. SD1 (Sinop) karelajına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji periyodu .....	75
Şekil 4. 29. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) karelajlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıllık veri setine dayanan zamanın %5 ve %1'inde dalgaların aşılma olasılıklı belirgin dalga yüksekliğinin alansal dağılımları .....	77
Şekil 4. 30. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) karelajlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıllık veri setine dayanan belirgin dalga yüksekliğinin 0,5 m ve 4 m'den daha büyük olma olasılığı.....	78
Şekil 4. 31. SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) karelajlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıllık veri setine dayanan her bir karelaj noktası için tahmin edilmiş maksimum belirgin dalga yüksekliklerinin alansal dağılımları .....	80
Şekil 4. 32. SD3 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan dalga gülleri .....	81
Şekil 4. 33. SD2 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan dalga gülleri .....	82
Şekil 4. 34. SD1 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan dalga gülleri .....	83
Şekil 4. 35. SD3 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği (Hm0) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi .....	85

Şekil 4. 36. SD2 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği (Hm0) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi .....	86
Şekil 4. 37. SD3 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği (Hm0) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi .....	87
Şekil 4. 38. SD3 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği (Hm0) ve ortalama dalga periyodu (Tm02) ilişkisi.....	88
Şekil 4. 39. SD2 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği (Hm0) ve ortalama dalga periyodu (Tm02) ilişkisi.....	89
Şekil 4. 40. SD1 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği (Hm0) ve ortalama dalga periyodu (Tm02) ilişkisi.....	90
Şekil 4. 41. SD3 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği (Hm0) ve dalga enerji periyodu (Tm-10) ilişkisi .....	91
Şekil 4. 42. SD2 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği (Hm0) ve dalga enerji periyodu (Tm-10) ilişkisi .....	92
Şekil 4. 43. SD1 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği (Hm0) ve dalga enerji periyodu (Tm-10) ilişkisi .....	93
Şekil 4. 44. SD3 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş ortalama dalga periyodu (Tm02) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi .....	94
Şekil 4. 45. SD2 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş ortalama dalga periyodu (Tm02) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi .....	95
Şekil 4. 46. SD1 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş ortalama dalga periyodu (Tm02) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi .....	96
Şekil 4. 47. SD3 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş dalga enerji periyodu (Tm-10) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi.....	97
Şekil 4. 48. SD2 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş dalga enerji periyodu (Tm-10) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi.....	98
Şekil 4. 49. SD3 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş dalga enerji periyodu (Tm-10) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi.....	99
Şekil 4. 50. Her bir alt karelajda seçilmiş lokasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş farklı tekerrür süreli ekstrem dalgalar .....	101
Şekil 4. 51. Her bir alt karelajda seçilmiş iki lokasyon için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan dalga gülleri ve aynı lokasyonlar için Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002)'nin dalga gülleri.....	103

- Şekil 4. 52. Her bir alt karelejda seçilmiş iki lokasyon için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan  $H_m0 - T_m02$  ilişkisi ve aynı lokasyonlar için Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002)'nin  $H_m0 - T_m02$  ilişkisi ... 105
- Şekil 4. 53. Her bir alt karelejda seçilmiş iki lokasyon için 31 yıllık uzun dönemli yıllık maksimum veriye dayanan farklı tekerrürlü ekstrem dalgalar ve aynı lokasyonlar için Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002)'nin farklı tekerrürlü ekstrem dalgaları..... 108





## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Dalga ölçüm istasyonlarının bazı karakteristikleri .....	25
Çizelge 3.2. Dalga ölçüm istasyonlarında farklı yıllar bazında ölçülmüş belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ve ortalama ( $T_{m02}$ ) veya pik ( $T_p$ ) dalga periyodunun istatistiği....	25
Çizelge 3.3. Uzun dönemli analizde her alt karelejda odaklanılan lokasyonların bazı karakteristikleri .....	27
Çizelge 3.4. Uzun dönemli analiz kısmında Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002) sonuçlarının kıyaslanması maksadıyla belirlenmiş lokasyonların bazı karakteristikleri.....	28
Çizelge 4. 1. Orta karelejda farklı zaman aralıklarına dayanan SWAN simülasyon sonuçlarının Gloria istasyonundaki dalga parametre tahminlerinin hata istatistiği.	41
Çizelge 4. 2. Üç alt karelejda farklı hesaplama zaman aralıkları için $H_{m0}$ hata istatistiği .....	45
Çizelge 4. 3. Üç alt karelejda farklı hesaplama zaman aralıkları için periyot tahminleri için hata istatistiği .....	46
Çizelge 4. 4. Kaba karelej için kalibre edilen SWAN model sonuçlarının ( $H_{m0}$ için) ölçümlere karşı hata istatistiği .....	48
Çizelge 4. 5. Kaba karelej için kalibre edilen SWAN model sonuçlarının ( $T_{m02}$ için) ölçümlere karşı hata istatistiği .....	49
Çizelge 4. 6. Orta karelej için kalibre edilen ve varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçlarının ( $H_{m0}$ için) Gloria istasyonundaki ölçümlere karşı hata istatistiği .....	55
Çizelge 4. 7. Orta karelej için kalibre edilen ve varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçlarının ( $T_{pik}$ için) Gloria istasyonundaki ölçümlere karşı hata istatistiği.....	55
Çizelge 4. 8. SD2 alt karelej için kalibre edilen ve varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçlarının ( $H_{m0}$ ve $T_{max}$ için) Filyos istasyonundaki 1995 yılı ölçümlerine karşı hata istatistiği .....	58
Çizelge 4. 9. SD3 alt karelej için kalibre edilen ve varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçlarının ( $H_{m0}$ için) Karaburun istasyonundaki 2003 yılı ölçümlerine karşı hata istatistiği.....	59

## 1.GİRİŞ

Dalga tahminleri ile üretilmiş rüzgar dalga iklim bilgisi, ekstrem dalgaların yanında dalgaların kısa dönemli değişkenliği ve uzun dönemli eğilimlerini içeren dalga davranışının iyi anlaşılabilmesine önemli katkılar sağlamaktadır. Doğrudan kullanılabilen bu bilgi, kıyı yapılarının tasarımı ve yönetimi çalışmalarında çok değerli olmaktadır. Özellikle, ölçüm verisinin mevcut olmadığı bölgelerde tahmin çalışmaları bir kıyı alanındaki deniz yapılarının uygun bir şekilde tasarımı (örneğin Gouldby ve ark. 2014), dalgalardan enerji üretim potansiyellerinin belirlenmesi (Stopa ve ark. 2011; Reguero ve ark. 2012; Reguero ve ark. 2015) ve pek çok farklı kıyısal faaliyetin (örneğin gemi seyahati, turizm faaliyetleri vb.) uygun bir şekilde yürütülebilmesi için gerekli bilgiyi sağlayabilmektedir. Bazı sınırlamalara sahip olmasına karşın, ölçüm verisi dalga alanının analizi için önemlidir. Şamandıralar, belirli kıyı bölgelerinde deniz durum parametrelerini doğrudan ölçmektedir. Bununla birlikte, bu ölçüm cihazları dünyanın her yerinde bulunmamakta ve bu da birçok kıyı alanında yerinde ölçüm verisinin olmamasına sebebiyet vermektedir. Uydular tarafından elde edilen yükselti verileri (örneğin, Izaguirre ve ark. 2011; Young ve ark. 2011), 20 yılı aşkın bir süre için belirgin dalga yüksekliği deniz durumu parametresini vermekte, ancak yine de uydu verileri kıyı ve kutup bölgelerinde mevcut olmamakta ve yükselti uydu ürünleri, spektrum ve dalga periyodu bilgilerini sunmamaktadır. Bu nedenle, sayısal olarak üretilen dalga tahminlerinin kullanılması, dalga ikliminin uzun vadeli ve çoğunlukla homojen tanımlamalarını (veriyi) elde etmek için önemli bir alternatif olmaktadır (Perez ve ark. 2017).

WAM (WAMDI 1988), WaveWatch III (Tolman 1999) ve SWAN (Booij ve ark. 1999) çoğunlukla kullanılan dalga tahmin modellerinden bazılarıdır. Bu modeller, dalga enerjisi (veya alternatif olarak dalga hareket) denge denkleminin integrasyonuna dayanan tamamen dalga spektrumunu uygulamaktadırlar. WAM ve WaveWatch III modelleri özellikle büyük okyanus ölçeklerinde dalga üretimini sağlamak için geliştirilmiş ve çoğunlukla küresel dalga model simülasyonları için kullanılmaktadırlar. SWAN modeli ise, büyük ölçeklerde çalışabilmesine karşın, yaygın olarak bölgesel ve kıyısal ölçeklerde kullanılmaktadır (Atan ve ark. 2017). Bu tez çalışmasında, dalga tahmin modelinin bölgesel ölçekten yerel ölçeklere dalgaları dönüştürmesi

hedeflendiğinden, dalga simülasyonlarında SWAN dalga tahmin modelinin kullanımı tercih edilmiştir.

Küresel dalga tahminleri ile üretilen dalga bilgileri genellikle açık okyanusta çok doğrudur, ancak kıyı bölgelerinde doğrulukları düşüktür. Kıyı bölgelerinde yerel etkilerin fazla olmasından dolayı, daha ince bir çözünürlüğün kullanılması daha doğru dalga tahminine sebebiyet vermektedir. Kıyı şeridini ve kıta sahanlığındaki batimetriyi daha net bir şekilde temsil edebilmek için, kıyı bölgelerinde yüksek çözünürlüğün kullanılması, taban sürtünmesi ve derinlik etkileşimli dalga kırılmasının daha iyi hesaplanmasına ve feç uzunluğunun daha doğru bir tanımlanmasına yardımcı olması nedeniyle büyük avantaj sağlamaktadır (Perez ve ark. 2017). Bu nedenlerden ötürü, bu çalışma kapsamında dalgalar öncelikle tüm Karadeniz'i içine alan bir düzenli hesaplamalı karelaj üzerinde üretilmekte, daha sonra, bu düzenli karelajdan alınan sınır şartları ile Karadeniz'in batı bölümünü kaplayan daha ince bir düzenli karelajda hesaplamalar yaptırılmaktadır. Bu ince karelajdan sağlanan sınır şartları ile de Karaburun (SD3), Filyos (SD2) ve Sinop (SD1) kıyılarına ayrı ayrı odaklanan yüksek çözünürlükte üç yerel alt karelaj alanı ile yüzey dalgaları tahmin edilmektedir. Bu şekilde tasarlanan katmanlı dalga tahmin modeli, her bir karelaj içerisine denk gelen ölçüm istasyonu verileri ile kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Böylelikle, bu çalışmada, Karadeniz'in güney batı sahillerinin dalga şartlarını doğru bir şekilde tahmin edebilmek için, üçüncü nesil sayısal dalga tahmin modellerinde son gelişmeleri dikkate alarak ve Karadeniz'de diğer ürünlere kıyasla daha doğru olduğu ispatlanan (Van Vledder ve Akpınar, 2015) reanaliz ürünü CFSR'yi (Saha ve ark. 2010) kullanarak yüksek çözünürlüklü ve doğrulukta iç içe geçmiş (katmanlı) bir dalga tahmin modeli (SWAN 41.01AB sayısal modeli, Booij ve ark. 1999) geliştirilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, geliştirilen bu model kullanılarak odaklanılan kıyı alanlarının dalga şartlarını iyi bir şekilde temsil edebilen, bu bölgelerdeki bütün kıyı faaliyetlerinde ihtiyaç duyulabilecek bütün bilgiyi sunabilecek uzun dönemli bir veri seti türetilmiş ve bu veri seti kullanılarak bazı dalga parametrelerinin istatistiksel analizi alansal ve noktasal bazda yürütülmüştür.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, deniz dalgalarının tahmin yöntemleri kısaca anlatıldıktan sonra, tez kapsamında ilgilenilen üçüncü nesil sayısal dalga tahmin modeli Simulating WAve Nearshore (SWAN)'ın genel esasları izah edilmekte ve dayandığı denklemler sunulmakta, kapsadığı süreçler ve bu süreçlerin dayandığı denklemler özetlenmektedir. Son olarak, tez çalışması kapsamında konuyla doğrudan ilişkili literatür taraması özetlenmekte ve yapılan çalışmanın literatüre katkısına vurgu yapılmaktadır.

### 2.1. Dalga Tahmin Yöntemleri

Dalga parametrelerinin uzun dönemli ölçülmesi oldukça zor ve pahalıdır ve çok fazla zaman gerektirmektedir. Çoğu ölçülmüş mevcut dalga verileri de çok kısa periyotludur. Böylece, ölçülmüş mevcut veriler kullanılarak bunlardan daha uzun süreli dalga parametreleri elde etme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Uzun dönemli rüzgar verilerine ulaşmak genellikle dalga verilerine ulaşmaktan daha kolaydır. Bundan dolayı, geçmişten günümüze dalga parametreleri temini daha kolay olan rüzgar ve basınç verileri kullanılarak bir çok yöntemle tahmin edilmeye çalışılmıştır (Akpınar 2012).

Tarihsel süreç içerisinde dalga parametrelerinin tahmin edilebilmesi için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Bunlar; basitleştirilmiş dalga tahmin modelleri ve sayısal dalga tahmin modelleri olarak sınıflandırılmaktadır. Yüksek hızlı bilgisayarların gelişimiyle enerji taşınımı denkleminde dayanan sayısal dalga tahmin modellerinin uygulanması mümkün olmuştur. Bütün sayısal dalga modellerinin temeli enerji kaynak terimlerinin çözümüne dayanmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan üçüncü nesil dalga tahmin modelleri, daha detaylı lineer olmayan dalga girişimi kaynak terimlerinin parametreleştirilmesini kullanmakta ve spektrumun şeklindeki kısıtlamaları azaltmaktadır. Dünyada birçok üçüncü nesil dalga tahmin modeli kullanılmasına karşılık bunların kökeninde WAM dalga modeli (WAMDI group 1988) olduğu belirtilmektedir (US Army 2003). Diğer üçüncü nesil dalga tahmin modellerine örnek olarak WaveWatch III modeli (Tolman 1999), DHI MIKE 21 SW (DHI 2007) ve bu çalışma kapsamında kullanılan SWAN modeli (Booij ve ark. 1999) gösterilebilmektedir (Çevik ve ark. 2006, Özger 2007, Şahin 2007, Akpınar 2012; Kutupoğlu, 2017).

## 2.2. SWAN Model

SWAN model; verilen rüzgar, derinlik ve akıntı şartları için dalga parametrelerinin gerçekçi tahminlerini elde etmek için kullanılan yeni nesil yapılandırılmamış ağ sistemi üzerine kurulu bir üçüncü nesil sayısal rüzgar-dalga tahmin modelidir. Model, açık deniz ve yakın kıyı bölgelerinde rüzgar kaynaklı dalga ile soluşan gelişimini, transformasyonunu ve enerji kaybederek değişimini benzeştirmektedir. SWAN, Hollanda'da Delft University of Technology tarafından geliştirilmiştir.

SWAN, dalgaları tanımlamak için iki boyutlu dalga hareket yoğunluk denklemini kullanmaktadır. SWAN tarafından kullanılan geçerli spektral hareket (enerji) denge denklemi, Denklem 2.1'de verilmektedir (Komen ve ark. 1994; Mei 1983). Bu formülasyon, dalga enerjisinin dağılımına ve üretimine ilişkin çok sayıda kaynak ifadesi içermektedir. SWAN'da dalga spektrumunun gelişimi dalga enerji yoğunluğunun dengesinin bir Eularian formülasyonu ile tanımlanmaktadır. Bu formülasyonun tanımlanma maksadı, spektral dalga enerji yoğunluğunun en eksiksiz formuyla yani zaman ve alana bağlı değişken olarak düşünülmesidir.

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} (c_x N) + \frac{\partial}{\partial y} (c_y N) + \frac{\partial}{\partial \sigma} (c_\sigma N) + \frac{\partial}{\partial \theta} (c_\theta N) = \frac{S(\sigma, \theta; x, y, t)}{\sigma} \quad (2.1)$$

$$E = E(\sigma, \theta; x, y, t) \quad (2.2)$$

Burada;  $N(\sigma, \theta; x, y, t)$  rölatif dalga frekansı ( $\sigma$ ) ile bölünmüş enerji yoğunluğuna  $E(\sigma, \theta; x, y, t)$  eşit olan hareket yoğunluğu,  $c_x$ ,  $c_y$ ,  $c_\sigma$  ve  $c_\theta$  sırasıyla  $x$ ,  $y$ ,  $\sigma$  ve  $\theta$  yönlerindeki dalga yayılma hızı,  $\theta$  dalga yönü,  $E$  spektral enerji yoğunluğu,  $\sigma$  rölatif dalga frekansı, ve  $x$ ,  $y$ ,  $t$  alan ve zamanın boyutlarıdır. Denklem 2.1'in sol tarafındaki ilk ifade ( $\partial N / \partial t$ ) hareket yoğunluğunun zamanla değişimini, ikinci ve üçüncü ifadeler bir  $(x, y)$  coğrafik alanındaki hareket yoğunluğunun yayılmasını temsil etmektedir. Dördüncü ve beşinci ifadeler sırasıyla derinlik ve akıntı değişimleri nedeniyle bağıl frekans kaymasını ve derinlik ve akıntı etkileşimli sapmayı ifade etmektedir (Joubert 2008).

Eularian enerji denge yaklaşımında dalga enerjisinin dengesi bir ızgarada (karelaj alanında) çok sayıda önceden belirlenmiş hücrelerde düşünülmektedir. Enerjinin dengesi bir zaman aralığında ( $\Delta t$ ) ve  $\Delta x \Delta y$  büyüklüğündeki her karelaj alan hücresi içinde aşağıdaki gibi bir enerji değişiminin söz konusu olduğunu belirtmektedir.

$$\text{Enerjinin değişimi} = \text{Enerjinin net ithalatı} + \text{net yersel enerji üretimi} \quad (2.3)$$

Bu prensibin uygulanması derin sular için enerji denge denklemi olarak bilinen spektrumda her frekans bileşeni için geçerli olan aşağıda ifade edilen denklemlerle sonuçlanmaktadır.

$$\frac{\partial}{\partial t} E + \frac{\partial}{\partial x} (c_x E) + \frac{\partial}{\partial y} (c_y E) = S(\sigma, \theta; x, y, t) \quad (2.4)$$

Burada;  $S(\sigma, \theta; x, y, t)$  dalga dağılması ve üretiminin bütün etkilerini temsil eden kaynak ifadesidir. Bu denklemin sağ tarafındaki üretim, dağılma (enerji kaybı) ve lineer olmayan dalga – dalga etkileşimlerinin etkilerini temsil eden hareket yoğunluğunun kaynak ifadesi ( $S(\sigma, \theta)$ ) ise aşağıdaki denklemlerle daha açık bir şekilde formüle edilebilmektedir;

$$S(\sigma, \theta) = S_{\text{inp}}(\sigma, \theta) + S_{\text{brk}}(\sigma, \theta) + S_{\text{frc}}(\sigma, \theta) + S_{\text{wcp}}(\sigma, \theta) + S_{\text{nl3}}(\sigma, \theta) + S_{\text{nl4}}(\sigma, \theta) \quad (2.5)$$

Burada;  $S_{\text{inp}}$  rüzgar girdisi nedeniyle oluşan dalga üretimi,  $S_{\text{brk}}$  derinlik etkileşimli dalga kırılması nedeniyle dalga dağılmasıyla enerji kaybı,  $S_{\text{frc}}$  taban sürtünmesi nedeniyle dalga dağılmasıyla enerji kaybı,  $S_{\text{wcp}}$  denizin köpüklenmesiyle oluşan dalga dağılmasıyla enerji kaybı,  $S_{\text{nl3}}$  üçlü lineer olmayan dalga-dalga etkileşimi ve  $S_{\text{nl4}}$  dördümlü lineer olmayan dalga-dalga etkileşimidir. Bu süreçlerle ilgili detaylı bilgi ve formülasyonlara SWAN (2014)'den ulaşılabilmektedir. Denklem 2.1 ve 2.5'in ifadeleri, SWAN'ın aşağıdaki fiziksel mekanizmaları hesaba katan bir üçüncü nesil dalga üretim modeli olduğunu göstermektedir.

SWAN'ın kapsadığı yayılma süreçleri (SWAN 2014);

- ✓ Coğrafik alanda ve zamanda dalga yayılması
- ✓ Derinlik ve akıntı etkisiyle sapma
- ✓ Sığlaşma
- ✓ Durağan olmayan derinlik ve akıntılar nedeniyle frekans kayması
- ✓ Sucul bitki örtüsü, türbülanslı akım ve viskoz akışkan çamuru nedeniyle dağılma
- ✓ Dalga kaynaklı set-up
- ✓ Laboratuvardan küresel ölçeklere yayılma
- ✓ Engellerden yansıma ve iletim
- ✓ Kırınım'dır.

Model aynı zamanda aşağıdaki üretim ve dağılım süreçlerini de hesaba katmaktadır;

- ✓ Atmosferik girdilerle (rüzgar) dalga üretimi
- ✓ Derinlik etkileşimli kırılma nedeniyle dalga dağılmasıyla enerji kaybı
- ✓ Denizin köpüklenmesi nedeniyle dalga dağılmasıyla enerji kaybı
- ✓ Taban sürtünmesi nedeniyle dalga dağılmasıyla enerji kaybı
- ✓ Derin ve sığ sularda dalga – dalga etkileşimleri (üçlü ve dördü).

SWAN, yukarıda bahsi geçen rüzgardan dalga üretimi ve dalga dağılımıyla enerji kaybı süreçlerinin tümü için pek çok formülasyon içermektedir. Ayrıca, her bir formülasyonun da ayarlanabilir parametreleri mevcuttur. Bundan dolayı, çalışılan alana bu formülasyonların hangilerinin daha uygun olduğunun tespiti ve ayarlanabilir parametrelerin deneme yanılma yoluyla düzeltilmesi ile çalışılan alana formülasyonun uyarlanması önemli bir olgudur. Bu yüzden, bu çalışmada, öncelikle Karadeniz'e uygun iç içe geçmiş kareli ve en son gelişmeleri içeren bir SWAN model geliştirilmiştir.

### **2.3. SWAN Modelde Kapsanan Fiziksel Süreçler**

Bir rüzgar alanının sahip olduğu kinetik enerjinin, dalga enerjisine dönüştürülmesi  $S_{inp}$  kaynak ifadesi yardımıyla modellenmektedir. SWAN dalga enerjisi üretimi lineer artış mekanizması (Phillips 1957) ve eksponansiyel artış mekanizması (Miles 1957) olarak bilinen iki mekanizmayı bünyesinde barındırmaktadır. Lineer artış mekanizmasının dalga üretiminin ilk safhalarında hakim olurken, fırtına durumunun artmasından dolayı

daha sonrasında eksponansiyel artış mekanizmasının etkin olduğu bilinmektedir (Van der Westhuysen 2002). Rüzgarlar nedeniyle oluşan dalganın artışı veya büyümesi, bir dalga bileşeninin lineer ve üstel büyüme ifadelerinin toplamı olarak tanımlanmaktadır;

$$S_{\text{inp}}(\sigma, \theta) = A + B E(\sigma, \theta) \quad (2.6)$$

Burada; A ve B dalga frekans ve yönü ile rüzgar hızı ve yönüne bağlıdır. Akıntıların etkileri, görünen yersel rüzgar hızı ve yönü kullanıldığı için hesaba katılmaktadır. A katsayısı lineer büyümeyi tanımlarken, B katsayısı üstel büyümeyi ifade etmektedir. Lineer büyüme ifadesi küçüktür ve yalnızca dalga artışının başlangıç safhasına katkıda bulunmaktadır (de Jong 1997). A ifadesi için kullanılan formülasyon Cavaleri ve Malanotte-Rizzoli (1981) ve Tolman (1992)'nin ifadeleriyle tanımlanmaktadır. B katsayısı için ise SWAN'da isteğe bağlı olarak iki çeşit ifadenin kullanılmasına imkan tanınmaktadır. Bunların ilki, WAM Cycle 3 modelin ilk sürümünden alınmış Snyder ve ark. (1981)'in ifadesidir. Bu ifade, Komen ve ark. (1984) tarafından sürtünme hızına göre yeniden ölçeklendirilmiştir. SWAN'da B katsayısı için kullanılabilen ikinci ifade ise, WAM Cycle 4 modelinden alınmış rüzgar ile dalga arasındaki karşılıklı etkileşimi hesaba katan Janssen (1991a)'in ifadesidir.

Derinlik etkileşimli dalga kırılmasının oluşma süreci tam anlamıyla henüz anlaşılammıştır ve onun spektral modellemesiyle ilgili çok az şey bilinmektedir. Bu durumun tersine bu tip dalga kırılması nedeniyle toplam enerji dağılımı iyi bir şekilde modellenebilmektedir. SWAN'da Battjes ve Janssen (1978)'in dalga kırılma modelinin derinlik sınırlı bölümünün spektral versiyonu kullanılmaktadır;

$$S_{\text{brk}}(\sigma, \theta) = \frac{D_{\text{tot}}}{E_{\text{tot}}} E(\sigma, \theta) \quad (2.7)$$

Burada;  $E_{\text{tot}}$  toplam dalga enerjisi ve  $D_{\text{tot}}$  Battjes ve Janssen (1978)'e göre dalga kırılması nedeniyle toplam enerjide dağılımın oranıdır (bu değer sıfırdan küçük bir katsayıdır).



Köpüklenme olayı, maksimum dalga dikliğinin ( $H_{\max}/L = 0.14$ ) aşılması durumunda meydana gelmektedir. Köpüklenme olayı nedeniyle enerji dağılımı rüzgar alanlarının varlığında daha sık meydana gelmektedir. Günümüzdeki üçüncü nesil dalga üretim modellerinde, köpüklenme formülleri Hasselmann (1974)'ün modeline dayanmaktadır;

$$S_{wcp}(\sigma, \theta) = -\Gamma \frac{\bar{\sigma}}{\bar{k}} E(\sigma, \theta) \quad (2.8)$$

Burada;  $\Gamma$  bağımlı diklik katsayısı,  $k$  dalga sayısı ve  $\bar{\sigma}$  ve  $\bar{k}$  sırasıyla ortalama frekans ve ortalama dalga sayısı anlamına gelmektedir. Komen ve ark. (1984), tam kabarmış deniz durumu için bağımlı diklik katsayısını tahmin etmiştir. Buradan, bağımlı diklik katsayısının kullanılan rüzgar girdi formülasyonuna bağımlı olduğu anlaşılmaktadır. SWAN'da rüzgar girdisi olarak iki farklı ifade kullanıldığı için aynı zamanda bağımlı diklik katsayısı için de iki değer kullanılmaktadır. Bunların ilki, Komen ve ark. (1984) iken ikincisi ise Janssen (1991a)'e dayanarak bu ifadenin uyarlanmasıdır. WAMDI Group (1988) tarafından verildiği gibi, bu bağımlı diklik katsayısı Janssen (1991a)'ya dayanarak (aynı zamanda Janssen (1991b)'ye bakınız) Günther ve ark. (1992) tarafından aşağıdaki gibi uyarlanmıştır:

$$\Gamma = \Gamma_{KJ} = C_{ds} \times \left( (1-\delta) + \delta \times \frac{k}{\bar{k}} \right) \times \left( \frac{\bar{s}}{\bar{s}_{PM}} \right)^p \quad (2.9)$$

$C_{ds}$ ,  $\delta$ , ve  $p$  katsayıları ayarlanabilir formattadır,  $\bar{s}$  genel dalga dikliği ve  $\bar{s}_{PM}$  Pierson-Moskowitz spektrumu (Pierson ve Moskowitz, 1964) için genel dalga dikliğinin değeridir:

$$\bar{s}_{PM} = \sqrt{3.02 \times 10^{-3}} \quad (2.10)$$

Günümüze kadar, SWAN'ın doğruluğunu geliştirmek için pek çok alternatif köpüklenme ifadeleri önerilmiştir. SWAN'da başka bir alternatif, Alves ve Banner (2003)'ün köpüklenme ifadesine dayanan Van der Westhuysen ve ark. (2007) ve Van

der Westhuysen (2007) tarafından önerilen formülasyondur. Bu ifade, Yan (1987)'nin rüzgar girdi kaynak ifadesi ile birlikte kullanılmaktadır.

SWAN'da taban sürtünmesi nedeniyle meydana gelen enerji dağılımı üç farklı ifadeyle tanımlanabilmektedir. Hasselmann ve ark. (1973)'ün ampirik JONSWAP modeli, Collins (1972)'nin sürüklenme kanunu modeli ve Madsen ve ark. (1988)'in eddy-viskozite modeli isteğe bağlı olarak kullanıcı tarafından seçilebilmektedir. SWAN'da taban sürtünmesi nedeniyle dalga enerjisi dağılımına ortalama bir akıntının etkisi hesaba katılmamıştır. Bu ifadeler tamamen Denklem 2.11 ile açıklanabilmektedir;

$$S_{frc} = -C_b \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta) \quad (2.11)$$

Burada;  $C_b$  taban sürtünme katsayısıdır.

Derin denizde dörtlü (quadruplet) dalga–dalga etkileşimleri spektrumun gelişiminde hakim rol üstlenmektedir. Bu durumda, dalga enerjisi spektral pik değerinden daha düşük frekanslara ve enerjinin köpüklenme olayıyla dağılmakta olduğu daha yüksek frekanslara aktarılır. Dörtlü dalga etkileşimlerinin formülasyonu Boltzmann integrali ile tanımlanmaktadır. Ancak, bu integrali çözmek yoğun hesaplamalar gerektirdiğinden dolayı uygulanamamaktadır. Bununla birlikte, Hasselmann ve ark. (1985) tarafından türetilen Ayrık Etkileşim Yaklaşımı SWAN'da uygulanmaktadır. Üçlü dalga-dalga etkileşimleri derin suda çok küçük öneme sahiptir, ancak çok sığ bölgelere gelince önemli olabilmektedirler. Çok sığ bölgelerde Eldeberky ve Battjes (1995)'in Yığışınlı Üçlü Yaklaşımı'na dayanan üçlü (triad) dalga–dalga etkileşimleri SWAN'da uygulanmaktadır. Bu etkileşim enerjisi düşük frekanslardan daha yüksek frekanslara aktarmaktadır (de Jong 1997).

## 2.4. Literatür Taraması

Tez çalışması kapsamında konuyla ilgili literatür taramasının özet bilgileri aşağıda sunulmuştur:

Saremi (2010), Baltık Denizi, Kattegat ve Skagerrak için 15 yıllık bir dalga tahmin veritabanı üretmiştir. Rüzgar dalgalarını tahmin etmek için, faz ortalamalı üçüncü nesil spektral model SWAN kullanılmıştır. Dalga simülasyonu için,  $12 \times 12$  deniz mili grid çözünürlüğünde RCA modelinden rüzgar kaynağı tercih edilmiştir. Hesaplamalı karelej ve batimetrik veri tabanı, kıyı bölgelerinde ayrıntılı bilgi sahibi olmak için çok kaba olan  $6 \times 6$  deniz mili çözünürlüğüne sahip olduğundan, daha ince bir hesaplamalı karelej, daha iyi çözülmüş batimetrik veriler (HIROMB veritabanından) kullanılarak ve simülasyonda sığ su fiziği kapsanarak geliştirilmiştir. Yapılandırılmamış üçgen hesaplamalı karelejlerin uygulanmasının tatmin edici sonuçlar vermediği belirlenmiştir.  $1 \times 1,6$  deniz millik çözünürlükle daha iyi batimetrik veri ile  $3 \times 3$  deniz millik çözünürlüğe sahip daha ince bir yapılandırılmış hesaplamalı karelej ve sığ su fiziği içeren kombinasyonun, ölçüm istasyonlarındaki sonuçları bir önceki veritabanına kıyasla hafifçe daha iyi tahmin ettiği sonucuna varılmıştır.

Suchandra ve ark. (2011), SWAN kıyı dalga tahmin modelinin rüzgar girdisine ve model fiziğindeki seçeneklere duyarlılığını, analiz edilmiş GDAS rüzgarları kullanarak Hint Okyanusu üzerinde incelemiştir. Rüzgar simülasyonlarının, modelin rüzgar hatalarına duyarlı olduğu belirlenmiştir. Farklı fizik seçenekleri kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları, uydu yükselti ve arazi ölçüm verileri ile kıyaslanmıştır. Sonuçta, Janssen fiziği seçeneği ile çalıştırılan modelin, belirgin dalga yüksekliğini oldukça yüksek derece doğrulukla tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, simülasyonların yayılım düzeninin seçimine fazla duyarlı olmadığı da tespit edilmiştir.

Inghilesi ve ark. (2012), seçilmiş kıyı alanlarına odaklanarak tüm Akdeniz bölgesi üzerinde rüzgar dalgası tahminleri sağlamak için bir kıyı tahmin sistemi geliştirmişlerdir. Sistemin amacı, kıyılara doğru dalgaların yayılmasını etkileyen küçük ölçekli kıyı süreçlerinin temsiliyetini gerçekleştirmektir. Sistem, iç içe geçmiş bir dalga modelleri zincirine dayandırılmakta ve dalgaların geniş ölçekli, derin deniz yayılmasını analiz etmek için WAM Modeli ve kıyı bölgelerindeki dalgaları tahmin etmek için de SWAN modelinin adaptasyonuna dayanmaktadır. Büyük ölçekli alan ve her kıyı alanı arasındaki boşluğu doldurmak için bölgesel orta ölçekli WAM gridleri tanımlanmıştır. Kıyılarda yaklaşık 400 m'lik bir nihai çözünürlük elde etmek için iki ardışık iç içe

geçmiş katmalı (Akdeniz grid → bölgesel grid → kıyı gridi) karelej (grid) ağı uygulayarak büyük ölçekli WAM uygulaması için çok yüksek bir çözünürlük gereksinimi duyulmuştur. Tyrrhenian Denizi'ndeki her birine gömülü tek bir kıyasal alanlı üç bölgesel alan seçilmiştir. Sayısal parametrelerin optimize edilmesi ve dalga kayıtlarının bulunduğu orografik olarak karmaşık bölgelerdeki sonuçların kontrol edilmesi için kıyı sistemi üç İtalyan kıyı bölgesinde test edilmiştir. 2004 - 2009 yılları arasındaki on beş fırtına olayı incelenmiştir.

Siadatmousavi (2012), farklı şartlar altında 3. nesil dalga tahmin modellerinin performansını değerlendirmek için yapılandırılmamış SWAN ve WAVEWATCH-III modellerinin paralel uygulamasını ele almıştır. Dalga modellerinin tahmin becerilerini değerlendirebilmek için NDBC şamandıralarından ve WAVCIS istasyonlarından elde edilen met-okyanus verileri kullanılmıştır. Derin su dalga enerji dağılım formülasyonları, dalga parametrelerinin doğruluğunu geliştirebilmek için dikkatlice analiz edilmiş ve dönüştürülmüştür. Dahası, frekans kuyruğu için güç kanununun eğimi ve yüksek frekans kesiminin (cut-off) seçimi için varsayımların önemi, SWAN ve WAVEWATCH-III kullanılarak çeşitli simülasyonlar ile vurgulanmıştır. Sonuçlar, SWAN'ın WAM-3 formülasyonundan rapor edilen dalga periyodunun önceki düşük tahmininin, spektrumun yüksek frekans ucunda kullanılan farklı varsayımlara kısmen bağlandığı belirlenmiştir. Dalgalar sığ suya yayılırken, kohezyonsuz ortamlarda taban sürtünmesi ile dalga enerjisinin dağılması gibi birkaç sürecin dalga spektrumunu etkilediği tespit edilmiştir. Meksika Körfezi için optimize edilmiş katsayı seti ile geliştirilmiş dalga modeli, yaygın olarak kullanılan iki taban sürtünmesi formülasyonunu değerlendirmek için kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, sediman bilgisinin bir eddy viskozite formülasyonunda bir araya getirilmesinin JONSWAP formülasyonundan daha doğru dalga tahminine yol açtığı belirlenmiştir. Önerilen formülasyonu kullanmanın gereken hesaplama süresini % 4'ten daha az arttırdığı tespit edilmiştir. Atchafalaya Körfezi sisteminden çıkan bulanık suyun, Batı Louisiana sahilinin dalga spektrumunu önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Atchafalaya Nehrinin düşük ve yüksek debi periyotları boyunca genişletilmiş dağıtım ağı kullanılarak, meteorolojik, hidrodinamik ve alt sınır tabakası parametrelerinin, Tiger ve Trinity Shoals'dan gözlenmiştir. Bu veri setleri, SWAN'daki çamur-dalga etkileşimini

değerlendirmek için kullanılmıştır. SWAN'ın karmaşık dağılım (dispersion) denklemini çözmek için sayısal algoritma optimize edilmiştir. Dahası, model sönümleme terimini durağan olmayan simülasyonlara dahil etmek için genişletilmiştir. Sonuçlar, çamur etkilerini içermeksizin, kuzeyli rüzgarlarda Tiger Shoal'ın yakınında yüksek frekanslı dalgaların yüksek tahmin edildiğini göstermiştir.

Pallares ve ark. (2014), iki çalışma periyodu (kış 2010 ve bahar 2011) için, Barcelona Supercomputing Center'dan yüksek çözünürlüklü rüzgar paternleri ile çalıştırılmış 9 km'den 1 km'ye bir grid çözünürlüğüyle Kuzeybatı Akdeniz'in tamamını kapsayan üç adet iç içe geçmiş karelerde SWAN 40.91A dalga modelini uygulamışlardır. Tahmin sonuçları, farklı tipteki ölçüm cihazlarının kurulu olduğu sekiz lokasyonda doğrulanmıştır. Sonuçları geliştirmek için, köpüklenme ifadesinin ayarlanabilir parametreleri dönüştürülmüştür. Ayrıca, integral dalga parametrelerini hesaplamak için kullanılan uygun frekans integral aralığı, ölçümlerle aynı frekans aralığının simülasyon sonuçlarında elde edilip edilemediğinin belirlenebilmesi için test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen değişikliklerden dolayı dalga yüksekliğinde hemen hemen hiç bir değişiklik gözlenmediği, ancak önceden gözlenmiş negatif Bias değerinin arzu edilen miktarda azalarak çalışma alanı için ortalama dalga periyodunun ve pik periyodunun net bir şekilde iyileştiği tespit edilmiştir.

Siadatmousavi ve ark. (2016), Güney Atlantik Okyanusunda, Brezilya sahiline yakın yüzey dalgası dinamiğini incelemek için köpüklenme dağılım sürecini ve rüzgardan dalgaya temsili enerji girdisini tanımlayan üç farklı kombinasyon kullanmıştır. Tahmin edilmiş dalga parametreleri açısından dalga modelinin performansını değerlendirmek için bir dizi istatistiksel parametre hesaplanmıştır. Güney Brezilya'nın Santa Catarina Adası açıklarında yerleştirilmiş bir şamandıradan alınan dalga ölçümleri ve Sentetik Diyafram Radarı'nın hatları boyunca elde edilen veriler, farklı kombinasyonların yeteneğini değerlendirmek için özellikle belirgin dalga yüksekliğini içeren tahmin edilmiş dalga parametreleri ile karşılaştırılmıştır. Dalga modelinde kaynak ifadelerinin performansını temsil eden tek bir parametrenin kullanılmasının veya model doğrulama ve beceri değerlendirmesi için yalnızca bir dönem simülasyon verilerine dayandırılmasının yanıltıcı olacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, zaman aralığı (time

step) ve grid boyutu gibi girdi parametrelerine model duyarlılığı birden fazla veri kümesi kullanılarak ele alınmıştır. Simülasyon için kullanılan rüzgar verileri iki farklı kaynaktan elde edilmiştir. Uzaktan algılama uydularından elde edilen rüzgar hızı, dalga modellemesi için kullanılan rüzgar veri setleri ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, rüzgar kalitesinin ve mekansal çözünürlüğünün, model çıktı kalitesi ile yüksek oranda ilişkili olduğunu göstermiştir. Çalışma alanı için yüksek çözünürlüklü dalga modelinin performans değerlendirmesi için, model alanının açık sınırları boyunca iki farklı dalga bilgi kaynağı kullanılmıştır. Duyarlılık analizine dayanarak, açık sınırdan uzaklaştıkça farklı sınır koşullarının kullanılmasının etkisinin azalacağı gösterilmiştir. Bununla birlikte, model sınırlarına 200 - 300 km uzaklıkta bulunan şamandıra yerinde farkın hala farkedilebilmekte olduğu, ancak düşük frekanslı dalga spektrumunun dar bandıyla sınırlandırıldığı da belirlenmiştir.

Amrutha ve ark. (2016), Doğu Arap denizi'ndeki yakın kıyı sularındaki (~ 15 m su derinliği) dalgaları, 2014 yılı için WAVEWATCH III (WW3) içine yerleştirilmiş SWAN kullanarak tahmin edilmiştir. WW3 sayısal dalga modelinin farklı kaynak terim paketlerine duyarlılığı test edilmiştir. WW3'ün performansı, 15° Kuzey, 69° Doğu koordinatında ölçülen derin su şamandıra verileri ile değerlendirilmiştir. Genel olarak, derin sudaki ST4 fiziğini kullanarak elde edilen WW3 dalga tahmin sonuçları, ölçülmüş belirgin dalga yüksekliği ( $H_s$ ) ile makul bir eşleşme ( $r = 0,97$  ve  $SI = 0,16$ ) sunduğu belirlenmiştir. Derin suda, ortalama dalga periyodunun ST4 fiziğinin kullanılması durumunda ~% 8,2 değerindeki hataya kıyasla ST2 fiziğinin kullanılması durumunda büyük bir yüksek tahmin (~% 23,7) olduğu tespit edilmiştir. Komen ve ark. (1984) köpüklenme formülasyonunun, SWAN'ın duyarlılık çalışmalarına dayanarak uygun olduğu belirlenmiştir. İç içe geçmiş SWAN modeli kullanarak tahmin edilen  $H_s$ , yakın kıyı ölçüm verileri ile iyi korelasyon ( $r = 0,96$ ) gösterdiği tespit edilmiştir. Yakın kıyıda ortalama dalga periyodunda, yüksek deniz durumunda ( $H_s > 2$  m) aşırı yüksek tahmin (ST2 için ~% 19,8 ve ST4 için ~% 21,4) ve düşük deniz durumunda ( $H_s < 1$  m), düşük bir tahmin (ST2 için ~% 16,1 ve ST4 için ~% 31,5) olduğu belirlenmiştir. Haziran ve Temmuz ayları boyunca dönüştürülmüş rüzgar alanı (%5 artırılmış rüzgar) ile çalıştırılan WW3 modelinin,  $H_s$ 'in düşük tahmininde % 8,6'dan % 2,2'ye bir azalmaya sebebiyet verdiği de tespit edilmiştir.

Pallares ve ark. (2017), Katalan kıyılarında yüksek çözünürlüklü meteorolojik modellerin bulunduğu tam bir yıl boyunca yüksek çözünürlüklü dalga simülasyonlarını analiz etmiştir. Batimetri ve orografide keskin eğimlerin ve dolayısıyla rüzgar ve dalga alanlarında keskin değişimlerin bulunduğu bir kıyı alanını kapsayan geleneksel iç içe geçmiş katmanlı ve bölgesel yapılandırılmamış grid sistemleri kullanan SWAN sürüm 40.91A ile gerçekleştirilmiş simülasyon sonuçları kıyaslanmıştır. Ayrıca, operasyonel tahmin sistemi içerisinde yer alan yersel bir yapılandırılmamış ağ analizi de kapsanmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları, kıyı şeridindeki dalga gözlemleriyle karşılaştırılmış ve yapılandırılmamış (unstructured) gridler ile düzenli (regular) gridler arasında neredeyse hiç farkın bulunmadığı belirlenmiştir. Eşzamanlı olarak, alternatiflerin her biri için gerekli olan hesaplamalı zamanı analiz etmek için testler gerçekleştirilmiş ve bölgesel yapılandırılmamış gridlerle çalışıldığında zamanın yarısından daha az bir oranda hesaplama zamanında azalışın elde edildiği tespit edilmiştir.

Jensen ve ark. (2017), Maine'deki Birleşik Devletler-Kanada sınırından Virginia-Kuzey Carolina sınırına kadar tanımlanan Kuzey Atlantik Kıyısı Kapsamlı Çalışma (NACCS) alanı için açık deniz dalga iklimini doğru bir şekilde temsil etmede kapsanmış adımları özetlemiştir. Açık deniz dalga şartları, üçüncü nesil dalga tahmin modeli (WAM) kullanılarak tahmin edilmiştir. Rüzgar alanları, dört dalga model gridinin her biri için (Kuzey Atlantik Okyanusu Havzası, ABD Sahil Bölgesel Ölçeği ve NACCS kıyı alanını kapsayan iki alt-bölgesel ölçekli grid sistemi) tanımlanmıştır. WAM'ın performansını değerlendirmek için beş tropik olay (Sandy, Irene, Isabel ve Gloria Kasırgaları ve Josephine Tropik Fırtınası) ve 17 ekstrapolik olay için simülasyonlar yürütülmüştür. Model sonuçları, bu fırtına olayları boyunca mevcut 30 noktasal ölçümle kıyaslanmıştır. Değerlendirme sürecinde, zaman serileri, saçılım ve quantile-quantile grafikleri, Taylor diyagramları ve bir dizi istatistiksel test kullanılmıştır. Ölçümlere kıyasla, WAM dalga tahmin modelinin -0,07 ile -0,14 m aralığında Bias değerleri, yaklaşık 0,40 m'lik RMS hataları, % 25 civarında saçılım indeksleri ve 0,95'lik bir korelasyona sahip sıfırıncı momentli dalga yüksekliği tahminleri sunduğu belirlenmiştir. Pik dalga periyodu sonuçlarının, -0,26 – 0,06 s aralığında Bias değerleri, 2,4 – 2,7 s aralığında RMSE

değerleri, %25 civarında SI değerleri ve 0,47 – 0,59 arasında bir korelasyon içerdiği tespit edilmiştir.

Wang ve ark. (2017) atmosferik kararsızlığın etkisini göz önünde bulundurarak WAM3, WAM4 ve TC96 girdi / dağılma kaynak terimi paketlerini değerlendirmek için bir WAVEWATCH III sürüm 3.14 (WW3) dalga modelini kullanmışlardır. Modelden farklı paketler için elde edilen belirgin dalga yüksekliğinin kıyaslamaları, 0° - 35° K enlemleri ve 100° - 135° D boylamlarında Güney Çin denizi alanını kapsayan beş deney ile dalga gözlem radar ve HY-2 altimetri belirgin dalga yüksekliği verilerine dayanarak işlenmiştir. TC96 paketindeki rüzgar hızı düzeltme parametresinin duyarlılığı da analiz edilmiştir. Sonuçlardan, modelin dalga enerjisini kaynak paketleri ile swell yayılımı esnasında etkili bir şekilde dağıtamadığı belirlenmiştir. Efektif rüzgar hızı stratejisine sahip TC96 formülasyonunun WAM3 ve WAM4 formülasyonlarından daha iyi performans sergilediği bulunmuştur. TC96 kaynak paketindeki rüzgar hızı düzeltme parametresinin çok duyarlı olduğu ve WW3 modelinin belirli bir bölgeye uygulanmadan önce seçilmesi ve kalibre edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Chen ve ark. (2017), yakın kıyı rüzgar ve dalga iklimlerini ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak potansiyellerini, Shenzhen sahil bölgesi için şamandıra gözlem verileri kullanarak değerlendirmiştir. 2014 - 2016 yılları arasında bölgedeki yıllık ortalama rüzgar hızlarının (deniz yüzeyinin 2,5 m yüksekliğinde) 3,1 ila 4,1 m/s arasında değiştiğini ve bunun da 37 ila 94 W/m<sup>2</sup> arasında rüzgar enerjisine neden olduğunu tespit etmişlerdir. Belirgin dalga yüksekliklerinin çoğunlukla 1 m'den daha düşük iken dalga enerji periyotlarının çoğunlukla 3 - 7 s aralığında olduğu ve dalga gücünün çoğunlukla 1 kW/m'den daha düşük olduğu belirlenmiştir. Şamandıra istasyonlarında yenilenebilir bir kaynak olarak dalga enerjisinin potansiyelinin çok küçük olduğu sonucuna varılmıştır. Düşük enerji potansiyelinin sebebinin, su derinliğinin çok sığ olması ve şamandıraların rüzgar dalgalarının gelişmesi için uygun olmayan yarı yarıya kapalı koylarda bulunmasının olduğu ifade edilmiştir.

Atan ve ark. (2017), İrlanda'nın batı kıyısındaki Galway Körfezi'ndeki 1/4 ölçekli dalga enerji test alanındaki dalga koşullarını tahmin etmek için sayısal bir dalga modeli



geliştirmişlerdir. SWAN dalga tahmin modeli (sürüm 41.01) kullanılmış ve okyanus ölçeğinden yerel bir ölçeğe indirgemek için iç içe geçmiş katman metodolojisi uygulanmıştır. Mevcut uygulamada, Kuzeydoğu Atlantik Okyanusu'nun geniş bir alanına bölgesel kaba karelej  $0,05^\circ$  'lik bir çözünürlükte uygulanmış ve Galway Körfez bölgesini içeren bir yerel grid  $0,0027^\circ$  (yaklaşık 300 m) çözünürlükte uygulanmıştır. Yerel yüksek çözünürlüklü model için sınır koşulları kaba modelden sağlanmıştır. Modeller, Kasım 2013 dönemi boyunca Kuzeydoğu Atlantik Okyanusu'ndaki dalga şamandıra istasyon ölçümlerine göre kalibre edilmiş ve karelej büyüklüğü, dalga artış formülasyonları ve sınır şartları üzerinde duyarlılık testleri yürütülmüştür. Model doğruluğu, 2011 - 2013 yılları arasında 3 yıllık bir tahmin için değerlendirilmiştir. Geliştirilmiş dalga modelinin bu uzun süre için tatmin edici performans sergilediği ve bu nedenle bir tahmin modeli olarak kullanılmaya uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Umesh ve ark. (2017), Mannar Körfezi'ndeki rüzgar dalgalarının özelliklerini daha iyi anlamak için Ocak 2006'dan Mayıs 2007'ye kadar olan dönemde Kulasekharapatnam açıklarında ölçülmüş verilere dayalı bir girişimde bulunmuştur. WAM ve SWAN gibi bütünleştirilmiş üçüncü nesil okyanus dalga modelleri, belirgin dalga parametrelerini tahmin etmek için uygulanmıştır. Simülasyonlar, derin su alanlarında ( $30^\circ D - 120^\circ D$ ;  $70^\circ G - 30^\circ K$  ve  $76^\circ D - 80^\circ D$ ;  $6^\circ K - 10^\circ K$ ) ECMWF ERA-Interim rüzgarları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ECMWF ERA-Interim rüzgar verisinin ölçüm verileri ile genel eğilim ve baskın yönler açısından uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Belirgin dalga parametrelerinin doğrulanması, çalışma istasyonunda çok yüksek bir korelasyon ( $R > 0,9$ ) gösterdiği belirlenmiştir. Güneybatı muson döneminde Mannar Körfezi'nde dalga yüksekliklerinin yüksek olduğu ve dalgaların güney-güneybatıdan geldiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, Mannar körfezinde muson olmayan doneminde ölü deniz dalgalarının baskın olduğu (%24) ve yılın geri kalanında rüzgar dalgalarının (%75,9) hakim olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Kulasekharapatnam'daki QuikSCAT / NCEP harmanlanmış rüzgarlarla model çalıştırılarak, SWAN modelinin farklı GEN3 fizik seçeneklerine ve taban sürtünmeli formülasyonlara duyarlılığı da ortaya konmuştur. Farklı GEN3 fiziği seçenekleri ve taban sürtünmeli formülasyonlar kullanılarak elde edilen tahminler şamandıra verileri ile karşılaştırılmıştır. Janssen ve Komen fizik seçeneklerine sahip SWAN modelinin, oldukça yüksek bir doğruluk derecesi ile belirgin

dalga yüksekliđi ve ortalama dalga periyodunu tahmin ettiđi tespit edilmiřtir. Benzer řekilde, taban sűrtűnmesi için JONSWAP forműlasyonunun hem belirgin dalga yüksekliđi hem de ortalama dalga periyodu için iyi bir dođrulukla çalıřma alanındaki řamandıra sinyallerini űrettiđi belirlenmiřtir. Siműlasyonların Kulasekharapatnam açıklarında GEN3 fiziđi ve taban sűrtűnmesi forműlasyonlarına duyarlı olduđu ve dolayısıyla daha dođru dalga tahminleri elde etmek için etkili olduđu sonucuna varılmıřtır.

Karadeniz'deki űnceki alıřmalar (Cherneva ve ark., 2008; Akpınar ve ark., 2012; Akpınar ve Kűműrcű, 2013; Aydođan vd, 2013; Arkhipkin vd, 2014; Rusu ve ark., 2014; Van Vledder ve Akpınar, 2015; Akpınar vd, 2016; Divinsky ve Kos'yan, 2017) ođunlukla farklı maksatlar için tűm Karadeniz űzerine odaklanmıřtır. İ içe geçmiř (katmanlı) karelej prosedűrű kullanılarak Karadeniz'in batı veya kuzey batı sıđlık bűlgesine odaklanan bir kaç çalıřma, ekstrem dalga kořullarının tahmini (Rusu et al., 2006), dalga enerjisi deđerlendirmesi (Rusu, 2009), petrol sızıntılarının yayılımı (Rusu, 2010), rűzgar dalgası kořulları (Valchev vd, 2010), fırtınalıktaki eđilimler (Valchev ve ark., 2012), morfolojik deđeriklikler için kritik fırtına eřikleri (Trifonova ve ark., 2012) ve fırtına dalgaları (Myslenkov vd, 2016) űzerine odaklanmıřtır. Rusu vd, (2006), Karadeniz'de SWAN dalga tahmin modeline dayanan bir dalga tahmin sisteminin uygulanmasına iliřkin bazı adımları sunmuřtur. Cherneva ve ark. (2008), űűncű nesil dalga tahmin modeli - WAM Cycle 4'űn Karadeniz'e uygulanmasını tanımlamıř ve kurulum detaylarını sunmuřtur. WAM modeli çalıřtırmak için ihtiyaç duyulan rűzgar alanları, NCEP re-analiz projesinden bazı kořulların sađlandıđı bűlgesel bir atmosfer modeli (REMO) ile hesaplanarak belirlenmiřtir. Rusu (2009), Karadeniz havzasında denizin batı kısmına (Romanya kıyı ortamı) odaklanarak dalga enerji kaynaklarını deđerlendirmiřtir. Rusu (2010), Karadeniz'in Romanya kıyı ortamındaki petrol sızıntılarını deđerlendirmek için sayısal modeller uygulamıřtır. Modellerin alıřtırılmasında i içe geçmiř katmanlı karelej sistemi (tűm Karadeniz'i içeren global bir karelej, bir kıyı karelajı, bir yerel karelej ve bir Kartezyen karelej) kullanılmıřtır. Valchev ve ark. (2010), batı Karadeniz sıđlıđında rűzgar dalga řartlarını 50 yıl (1958-2007) boyunca kaba űzűnűrlűklű kűresel atmosferik yeniden analiz verisi ile çalıřtırılan dalga tahmin modeli SWAN'ı kullanarak tahmin etmiřtir. Tűm havza için bir

spektral parametrik dalga tahmin modeli çalıştırılarak hesaplanan sınır koşullarını dikkate alarak Karadeniz'in batı sığlık bölgesi için modeli uyarlamış ve doğrulamışlardır. Valchev ve ark. (2012), batı Karadeniz'de geçmiş ve en son fırtınalık durumlarındaki eğilimleri, 63 yıllık önemli bir tarihsel süreyi (1948-2010) kapsayan sürekli bir tahmin veri tabanına dayanarak değerlendirmiştir. Üçüncü nesil spektral dalga tahmin modellerinin bir birleşik sistemi kullanılarak dalga koşulları modellenmiştir. Karadeniz'in batı sığlık bölgesine odaklanan SWAN Cycle III Versiyon 40.72 modeli, tüm Karadeniz havzasını kapsayan WAM modeline katmanlı bir şekilde ilişkilendirilmiştir. Trifonova ve ark. (2012), değişen yoğunlukta fırtınalara beş plajın yakın-kıyı morfolojik tepkisinin bölgesel ölçekli bir analizini sunmaktadır. Bu analiz, Bulgaristan Karadeniz kıyısı için elde edilen kıyı profilleri ile açık deniz dalga verilerinin birleştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. 1970-1977 ve 2008-2010 yıllarında gerçekleştirilen kıyı ölçümlerinin uzun dönem serilerinin analizi ile sonuçlanan morfolojik değişimler örneğin kıyasal değişkenlik ve kıyı profili gelişimi tahmin edilirken, birleşik dalga tahmin model sistemi kullanılarak tarihsel fırtına paterni yeniden yapılandırılmıştır. Akpınar ve ark. (2012), bölgedeki rüzgar dalgası iklimi ve dalga enerjisi potansiyelini belirlemek için, tüm Karadeniz için 10 m yükseklikteki ECMWF ERA Interim re-analiz rüzgarları ile çalıştırılan SWAN modelinin uygulanması ve doğrulamasını özetlemiştir. Akpınar ve Kömürcü (2013), Karadeniz'in dalga enerjisi kaynak potansiyelinin varlığını ve değişkenliğini 15 yıllık geriye dönük tahmin verisine dayanarak tanımlamaktadır. Açık deniz ve yakın kıyı dalga koşullarını etkin bir şekilde çözebilmek için, ECMWF ERA interim rüzgar alanlarını kullanan ve yaklaşık  $0,0167^{\circ} \times 0,0167^{\circ}$ 'lik bir mekansal çözünürlük ile uygulanan üçüncü nesil dalga tahmin modeli (SWAN) 6 saatlik bir model zaman adımı ile uygulanmış ve dalga parametrelerinin tahminleri gerçekleştirilmiştir. Aydoğan ve ark. (2013), Karadeniz'in dalga enerji potansiyelini, ilgili bölgenin dalga özelliklerini 1996-2009 yılları arasında ECMWF rüzgar verilerini kullanarak Mike 21 SW modeli ile hesaplamış ve değerlendirmiştir. Arkhipkin ve ark. (2014), istatistiksel dalga parametrelerinin tahmini için Karadeniz'de rüzgar dalga alanlarını ve iç-yıllık ve mevsimsel dalga parametrelerinin değişkenliğinin değerlendirmesini tanımlamıştır. NCEP/NCAR reanaliz veri seti kullanılarak 1949 ve 2010 yılları arasındaki dönem için  $5 \times 5$  km'lik bir dikdörtgen karelej sistemli SWAN dalga tahmin modeliyle dalga parametreleri

hesaplanmıştır. Rusu ve ark. (2014), Karadeniz havzasına uygulanan bir rüzgar dalgası modelleme sisteminin performansını değerlendirmiştir. Rüzgar için WRF (Hava Durumu Araştırması ve Tahmini) modeli ve dalgalar için SWAN modelini kullanılmıştır. Van Vledder ve Akpınar (2015) üçüncü nesil dalga tahmin modeli SWAN'ın performansı üzerine farklı rüzgar ürünlerinin (NCEP CFSR, NASA MERRA, JRA-25, ECMWF Operasyonel, ECMWF ERA40 ve ECMWF ERA40) etkilerini ve normal ve aşırı dalga koşullarını 1996 yılı boyunca tahmin etme kabiliyetini değerlendirmiştir. Myslenkov ve ark. (2016), farklı rüzgarları (CFSR reanalizi, GFS tahmini ve WRF re-analiz ve tahmini) kullanarak Karadeniz'in kuzey doğu kıyılarındaki fırtına dalgalarının sayısal simülasyonunun sonuçlarını sunmaktadır. Tsemes Körfezi için yüksek çözünürlüklü ve yapılandırılmamış ağ sistemli SWAN spektral dalga tahmin modeli uygulanmıştır. Akpınar ve ark. (2016), CFSR rüzgarlarını kullanan SWAN dalga tahmin modelini kullanarak 31 yıllık bir süre boyunca Karadeniz'deki rüzgar ve dalga özelliklerini ve uzun dönemli değişkenliklerini araştırmıştır. Divinsky ve Kos'yan (2017), MIKE 21 SW spektral dalga modelini kullanarak 1979 – 2015 arasındaki periyot için Karadeniz'in dalga ikliminin alansal-zamansal değişkenliğini analiz etmiştir. Bu literatür taramasından da anlaşılacağı üzere, farklı maksatlar için tüm Karadeniz'i kapsayan çalışmaların 7 tanesi düzenli bir model ağ yapısı kullanırken, 3 tanesi yapılandırılmamış ağ sistemini tercih etmiştir. Geri kalan çalışmalarda ise, ilgi alanına iç içe geçmiş (katmanlı) ağ sistemi ile odaklanılarak Romanya ve Bulgaristan kıyı alanları için daha yüksek çözünürlükte ve doğrulukta bir model geliştirilmiştir. Tüm Karadeniz'i içeren modeller, Karadeniz'in farklı bölgelerindeki dalga ölçümlerine dayanarak kalibre edilmekte ve böylelikle tüm Karadeniz'i temsil eden bir dalga tahmin modeli geliştirilmektedir. Bazı lokasyonlarda dalga model kalibrasyonunda hala gelişme söz konusu iken, diğer lokasyonlarda dalga tahminlerinin kötüleşmesi durumunda kalibrasyon kesilmekte ve bütün istasyonlardaki ölçümlere dayanarak en iyi dalga modeline karar verilmektedir. Böylelikle, tüm Karadeniz'i temsil eden bir dalga tahmin modeli geliştirilmektedir. Ancak, iç içe geçmiş katmanlı dalga tahmin modellerinde ise, model kaba griddede tüm deniz lokasyonları dikkate alınarak kalibre edildikten sonra, istenilen bölgeye odaklanılarak o bölgedeki dalga şartları ile tekrardan kalibrasyon yürütülmekte ve bölgeyi temsil eden dalga şartları daha doğru bir şekilde ortaya konulabilmektedir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında, ilk kez dalga enerji potansiyeli

yüksek Karadeniz'in güney batı sahillerine odaklanan yüksek çözünürlükte bir katmanlı dalga tahmin modeli geliştirilerek ilgi alanı dalga şartlarını daha iyi temsil eden 1979 – 2009 yılları arası için bir veri seti türetilmiş ve bu veri seti kullanılarak ilgi alanı dalga şartları ortaya çıkartılmıştır.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

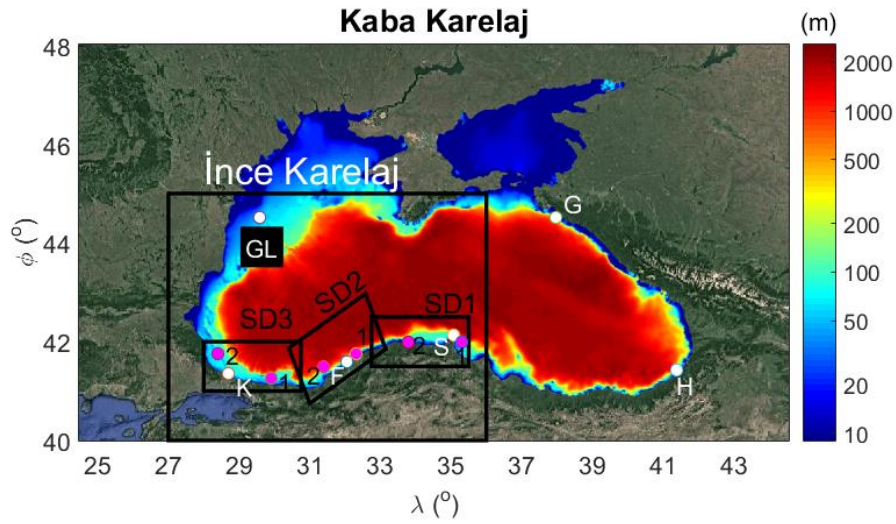
Çalışmanın bu bölümünde, Karadeniz'in güney batı sahillerinin dalga potansiyelini bölgesel ölçekte ortaya koyabilmek için geliştirilmiş katmanlı SWAN modelin geliştirilme safhalarını ve biriktirilen uzun dönemli veriden yararlanarak gerçekleştirilen dalga analizinde kullanılan materyaller ve yöntemlerle ilgili bilgiler sunulmuştur. Bu amaçla, öncelikle çalışma bölgesinin fiziki şartları ve konumu hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Daha sonra, çalışma kapsamında kullanılan veri kaynaklarının (NOAA'nın CFSR rüzgar tahminleri, dalga ölçümleri ve Karadeniz'in batimetrisi) nasıl ve nereden elde edildiği ve SWAN modelde kullanılabilecek formatlara dönüştürebilmek için hangi işlemlerden geçtiği anlatılmıştır. Sayısal modelin Karadeniz'e uygulanma yöntemi tanıtılmış, model kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler izah edilmiş ve son olarak, uzun dönemli veri analizinde kullanılan yöntemlerin detayları sunulmuştur.

#### 3.1. Çalışma Bölgesi

Karadeniz,  $40^{\circ}56' - 46^{\circ}33'$  kuzey enlemleri ve  $27^{\circ}27' - 41^{\circ}42'$  doğu boylamları arasında yer alan ve İstanbul Boğazı ile Marmara Denizi'ne, Çanakkale Boğazı ile Ege ve Akdeniz'e ve Kerch Boğazı ile Azak Denizi'ne bağlanan yarı kapalı bir denizdir (Şekil 3.1). Kıyılarını çevreleyen ülkeler için petrol ve gaz üretimi, turizm ve rekreasyon, ticari, gemi seyahati ve balıkçılık vb. faaliyetler açısından son derece önemlidir. Azak Denizi dahil ancak Marmara denizi hariç  $461 \text{ bin km}^2$ 'lik bir su yüzey alanına ve toplam  $0,55 \text{ milyar km}^3$  'lük su hacmine sahip dünyanın en büyük havzasıdır (Özsoy ve Ünlüata, 1997). Kıyı çizgisi uzunluğu  $8350 \text{ km}$ , ortalama derinliği yaklaşık  $1300 \text{ m}$  ve maksimum derinliği  $2588 \text{ m}$  'dir. Karadeniz'in kuzey batı bölümü kıta sahanlığında yer almasından dolayı nispeten sığdır. Doğu-batı yön ekseninde en uzun mesafe yaklaşık  $1150 \text{ km}$  ve Kırım yarımadası ve Türkiye kıyıları arasındaki en dar meridyen bölümü  $258 \text{ km}$  'dir (Staneva ve Stanev, 1998; Van Vledder ve Akpınar, 2015).

Dünyanın en büyük yarı kapalı havzalarından biri olan Karadeniz, onu çevreleyen karmaşık bir orografi ile birlikte eliptik bir havza şeklindedir (Şekil 3.1). Batı kıyı bölgesi nispeten sığdır ve genelde havzanın kıyı şeridi çok derin girintili değildir. Karadeniz'in sığ bölgesinin alanı toplam havza alanının yaklaşık %24'ü kadardır ve  $10 - 150 \text{ m}$  eş-derinlik eğrisi boyunca kara tarafına doğru kalan bölge olarak tariflenebilir

(Trifonova ve ark. 2012). Karadeniz'in düz deniz tabanı (derinlik > 2000 m) toplam alanın %60'ından daha fazla bir alanı işgal etmektedir. Karadeniz'in kalan bölümünde kıta sahanlığı nadiren 20 km'lik bir genişliği aşmakta ve karaya bitişik dik yamaçlar veya kanyonlarla sıklıkla ayrılmış Anadolu, Kafkaslar ve Kerch kıyılarında dar aralıklar olarak meydana gelmektedir (Özsoy ve Ünlüata, 1997). Bu tez çalışması kapsamında, tüm Karadeniz modellendikten sonra dalga enerji potansiyeli yüksek güney batı Karadeniz kıyılarına odaklanılarak ilgili bölgedeki dalga analizi gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3. 1.** Çalışma bölgesi, Karadeniz'in batimetrisi, dalga ölçüm istasyonları (beyaz noktalar; K: Karaburun, F: Filyos, S: Sinop, H: Hopa, GL: Gloria, G: Gelendzhik) ve uzun dönemli analiz kısmında Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002) sonuçlarının kıyaslandığı lokasyonlar (pembe noktalar)

### 3.2. Çalışma Kapsamında Kullanılan Veri Kaynakları

Bu çalışmada, Karadeniz'de uzun dönemli ölçüm verisi olmadığından dolayı, dalga parametrelerinin tahmin edilmesi yoluna gidilmiş ve tüm dünyada sıklıkla kullanılan ve kullanıcıların kullanımına açık olan bir üçüncü nesil sayısal dalga tahmin modeli SWAN (Simulating WAve Nearshore) kullanılmıştır. SWAN modelin rüzgardan dalga tahmininde ihtiyaç duyacağı girdi verileri, rüzgar alanları ve batimetri dosyasıdır. Ayrıca, model kalibrasyonu, model çıktıları ile mevcut dalga ölçümleri kullanılarak yürütülmekte ve model performansı yine dalga ölçümleri ile doğrulanmaktadır. Bu

bağlamda, bu çalışmada kullanılan rüzgar alanları, dalga ölçümleri ve batimetri dosyasına ilişkin detaylı bilgiler takip eden bölümlerde sunulmuştur.

### **3.2.1. CFSR Rüzgar Veri Setleri**

Dalga tahmin modelinin ihtiyaç duyduğu rüzgar alanları, Van Vledder ve Akpınar (2015) çalışmasının sonucu olarak Karadeniz’de en iyi olduğu tespit edilen rüzgar veri kaynağı olarak ele alınmıştır. Bahsi geçen çalışmada, Karadeniz’de rüzgar verisine sahip olan toplam 6 farklı rüzgar veri setinin (ECMWF Operasyonel, ERA40, ERAInterim, NOAA MERRA, NCEP CFSR, JRA-25) performansı 1 yıllık bir zaman diliminde ele alınarak araştırılmış ve Karadeniz için en uygun kaynağın herkesin kullanımına açık olan CFSR rüzgar alanlarının olduğu belirlenmiştir. Bundan dolayı, bu çalışmada uzun dönemli bir analiz gerçekleştirileceğinden 31 yıllık (1979-2009) bir süre için 10 m yükseklikteki u ve v rüzgar bileşenleri 0.3125° alansal çözünürlükte ve 1 saatlik bir zamansal çözünürlükte NOAA’nın internet sitesinden grib formatında temin edilmiştir. Temin edilen rüzgar verilerinde bir kaç ön işlem gerçekleştirilerek 31 yıllık bütün veri seti SWAN modelin algılayacağı formatta hazır hale getirilmiştir.

### **3.2.2. Dalga Ölçümleri**

Çalışma kapsamında SWAN modelin kalibrasyonu ve doğrulanmasında kullanılan dalga ölçümleri, önceki bazı ulusal ve uluslararası projeler kapsamında üretilmiş ürünlerdir. Karadeniz’de NATO TU-WAVES projesi (Özhan ve Abdalla, 1998) kapsamında 3 farklı açık deniz istasyonu için yerleştirilmiş yönsel dalga şamandıraları yardımıyla dalga ölçümleri ODTÜ Önderliğinde bir uluslararası ekip tarafından biriktirilmiştir. Bu ölçüm şamandıraları, Rusya kıyılarında Gelendzhik yakınlarına 44°30'27" Kuzey ve 37°58'42" Doğu koordinatına 85 m su derinliğine ve diğer ikisi Türkiye açıklarında Hopa yakınlarına 41°25'24" Kuzey ve 41°23'00" Doğu koordinatına ve Sinop yakınlarında 42°07'24" Kuzey ve 35°05'12" Doğu koordinatına 100 m su derinliğine yerleştirilmiştir. Gelendzhik, Hopa ve Sinop şamandıra istasyonlarında 1996 – 2003 yılları arasındaki bir periyotta sırasıyla 52, 41 ve 8 ay boyunca veri biriktirilmiştir. Şamandıralar, 1 cm ‘lik bir çözünürlükte 40 m’ye kadar bireysel dalga yüksekliklerini ve 1,6 s - 30 s aralığındaki periyotları ölçebilme kabiliyetine sahiptirler



(Özhan ve ark. 1995). Ayrıca, veri kayıtlarında bazı boşluklar bulunmaktadır. Çevik ve ark. (2006), Karaburun kıyısında bir dalga ölçüm çalışması yürütmüştür. Araştırma bölgelerindeki balıkçı barınağının kuzey batısında 16 m'lik bir su derinliğinde 41°21'0.869" Kuzey ve 28°41'27" Doğu koordinatında tabana yerleştirdikleri bir cihazla dalga ölçümlerini biriktirmişlerdir. Ölçüm cihazının ölçümlerinde kullanılan örnekleme zamanı, gözlem zamanı ve sürekli gözlem aralığı sırasıyla 0,5 s, 10 dakika ve 2 saat olarak seçilmiştir. Ağustos 2003 ve Mart 2005 tarihleri arasında 2950 kayıt alınmıştır (Anıl Arı Güner ve ark. 2013; Şahin, 2008; Batu, 2008). Başka bir dalga ölçüm projesi Ulaştırma Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü (eski adı DLH) tarafından Türkiye'nin batı Karadeniz bölgesinde yer alan Filyos kıyısında yapımı planlanan liman için 41°35' Kuzey ve 32°04' Doğu koordinatında yürütülmüştür. Ölçüm derinliği 12,5 m'dir. Dalga verisi, 0,5 s 'lik bir örnekleme aralığı (yani 2 Hz örnekleme frekansı) ve 20 dakikalık bir örnek uzunluğu ile her 2 saat için örneklenmiştir. Dalga ölçümleri, 1994 – 1996 yılları arası için biriktirilmiş ve 7949 kayıt elde edilmiştir (Bilyay ve ark. 2011). Bunların yanında, Karadeniz'in kuzey batı bölgesinde yer alan 44°31' Kuzey ve 29°34' Doğu koordinatındaki Gloria petrol platformunda uzun dönemli dalga ölçümleri alınmaktadır. Platform kıyıdan 70 km açıkta ve yaklaşık 50 m derinliğe yerleştirilmiştir (Mihailov ve ark. 2012).

Dalga ölçüm istasyonlarının bazı karakteristikleri Çizelge 3.1'de ve bütün istasyonlardaki ölçümlere ilişkin dalga istatistiği de Çizelge 3.2'de özetlenmiştir. Bu çizelgelerden, belirgin dalga yüksekliğinin yıllık ortalamaları dikkate alındığında en şiddetli dalgaların Gloria istasyonunda gözlemlendiği, onu Gelendzhik istasyonunun takip ettiği ve en düşük şiddetli dalgaların Filyos ve Hopa istasyonlarında gözlemlendiği anlaşılmaktadır. Yıllık ortalama dalga periyotları düşünüldüğünde, en uzun periyotlu dalgaların Filyos istasyonunda gözlemlendiği, onu Gloria istasyonunun takip ettiği ve en kısa periyotlu dalgaların Sinop ve Gelendzhik istasyonlarında gözlemlendiği görülmektedir.

**Çizelge 3.1.** Dalga ölçüm istasyonlarının bazı karakteristikleri

Ölçüm İstasyonu	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Kıydan uzaklık (km)	Derinlik (m)
Gelendzhik	44°30'27"	37°58'42"	7,0	85
Hopa	41°25'24"	41°23'00"	4,6	100
Sinop	42°07'24"	35°05'12"	11,6	100
Karaburun	41°21'0.869"	28°41'27"	0,19	16
Filyos	41°35'00"	32°04'00"	1,3	12,5
Gloria	44°31'27"	29°34'00"	70,0	50

**Çizelge 3.2.** Dalga ölçüm istasyonlarında farklı yıllar bazında ölçülmüş belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ve ortalama ( $T_{m02}$ ) veya pik ( $T_p$ ) dalga periyodunun istatistiği

İstasyon Adı	Zaman aralığı	Parametre	N	Ortalama	Maksimum	Standart sapma	
Gelendzhik	Temmuz-Aralık 1996	$H_{m0}$ (m)	1649	1,02	4,82	0,83	
		$T_{m02}$ (s)		3,95	8,17	1,26	
	1997	$H_{m0}$ (m)	3365	1,06	5,61	0,87	
		$T_{m02}$ (s)		4,00	7,86	1,15	
	1998	$H_{m0}$ (m)	1004	1,38	4,68	0,89	
		$T_{m02}$ (s)		4,45	7,56	1,20	
	2000	$H_{m0}$ (m)	2023	0,72	3,90	0,66	
		$T_{m02}$ (s)		3,47	7,46	1,06	
	2001	$H_{m0}$ (m)	2111	0,98	3,93	0,81	
		$T_{m02}$ (s)		3,82	7,71	1,17	
	2002	$H_{m0}$ (m)	1532	0,69	3,15	0,58	
		$T_{m02}$ (s)		3,39	6,18	0,91	
2003	$H_{m0}$ (m)	2442	0,93	7,49	0,85		
	$T_{m02}$ (s)		3,79	9,75	1,31		
Hopa	Ocak-Aralık 1996	$H_{m0}$ (m)	3205	0,58	4,10	0,52	
		$T_{m02}$ (s)		4,00	8,89	1,10	
	1997	$H_{m0}$ (m)	1943	0,67	4,24	0,59	
		$T_{m02}$ (s)		4,06	8,73	1,26	
	1998	$H_{m0}$ (m)	2521	0,77	3,49	0,70	
		$T_{m02}$ (s)		4,26	8,37	1,25	
	1999	$H_{m0}$ (m)	747	0,68	5,64	0,68	
		$T_{m02}$ (s)		4,13	9,29	1,27	
	Sinop	Ocak-Haziran 1996	$H_{m0}$ (m)	2523	0,80	3,45	0,50
			$T_{m02}$ (s)		3,80	7,40	0,81
	Filyos	1995	$H_{m0}$ (m)	3787	0,65	5,00	0,64
			$T_p$ (s)		5,47	10,00	1,13
1996		$H_{m0}$ (m)	4016	0,59	4,07	0,52	
		$T_p$ (s)		5,46	9,50	1,04	
Karaburun	2003	$H_{m0}$ (m)	431	0,99	3,14	0,59	
	2004	$H_{m0}$ (m)	1019	0,64	3,32	0,47	
Gloria	2006	$H_{m0}$ (m)	1353	1,35	6,69	1,06	
		$T_p$ (s)		4,55	9,40	1,33	
	2007	$H_{m0}$ (m)	1353	1,31	6,30	0,97	
		$T_p$ (s)		4,63	8,80	1,33	
	2008	$H_{m0}$ (m)	1424	1,33	7,09	1,00	
		$T_p$ (s)		4,93	8,60	1,41	
	2009	$H_{m0}$ (m)	1296	1,23	5,51	0,84	
		$T_p$ (s)		5,13	9,40	1,37	

### 3.2.3. Karadeniz'in Batimetri

Karadeniz havzasının rüzgar-dalga modellemesi için ihtiyaç duyulan batimetri verisi, bilimsel maksatlı ücretsiz kullanıma açık olan the British Oceanographic Data Centre (BODC) tarafından üretilmiş enlem ve boylamda aynı çözünürlüğe (30 saniye = 0,008333°) sahip GEBCO (General Bathymetric Charts of the Ocean)'dan temin edilmiştir (GEBCO, 2014). Bu veri BODC'un internet sayfasından talep edilmiş ve tarafımıza iletilmiştir. Bu veri üzerinde bazı işlemler gerçekleştirilerek sayısal modelin algılayacağı formata hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.1).

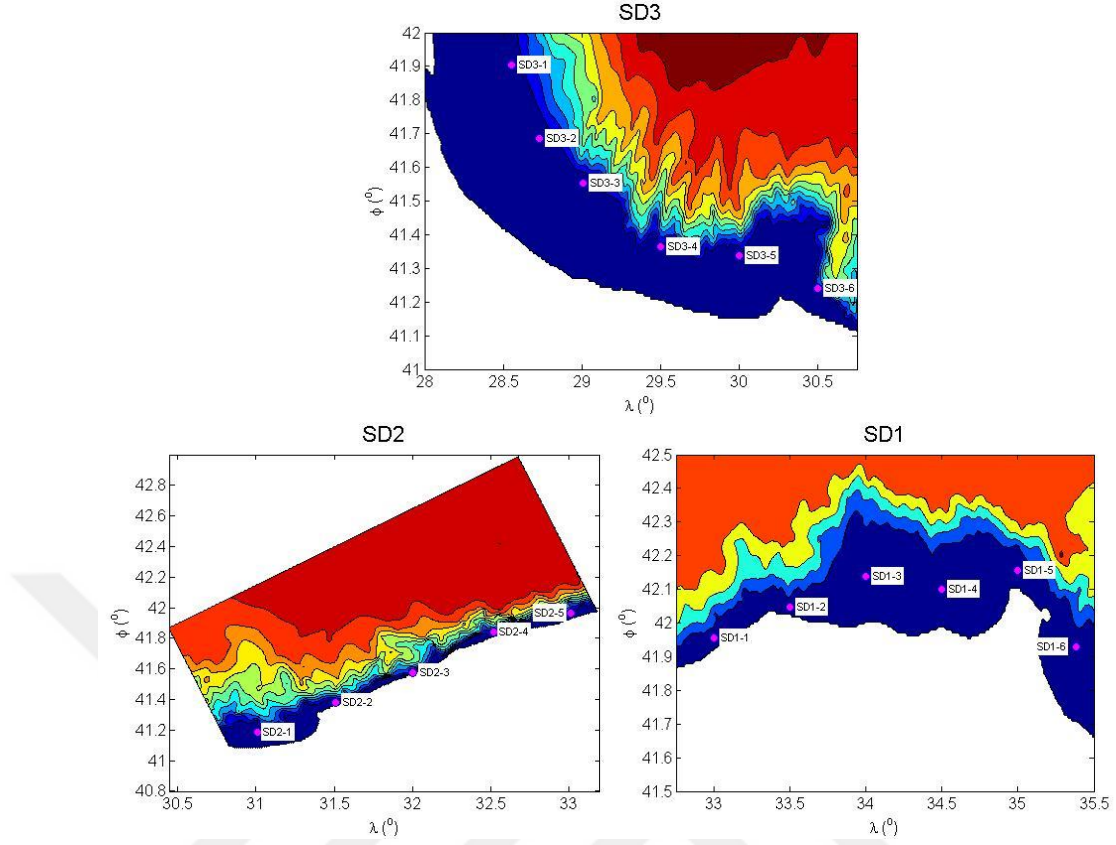
### 3.3. SWAN Modelin Karadeniz'e uygulanması

Modelde ayarlanabilen özellikte olan pek çok parametrenin Karadeniz'e ayarlanması ve Karadeniz için en uygun model konfigürasyonunun elde edilmesinde kritik olan nokta, modelin iyi bir şekilde kurulması ve ayarlanabilen parametrelerin Karadeniz için kalibre edilmesidir. Bu çalışmada, literatürdeki modelleme çalışmalarının (Akpınar ve Kömürcü, 2013; Aydoğan ve ark. 2013) tersine hem odaklanılmak istenilen bölgede yüksek bir çözünürlük elde etmek hem de fazla koşma zamanından kurtulmak için iç içe geçmiş karelajlar kullanılmıştır. Bunun için, enlemde ve boylamda 0,067° lik alansal çözünürlüğe sahip kaba bir karelaj, 0,02° lik alansal çözünürlüğe sahip daha ince bir karelaj ve bu karelajın içerisinde de 0,004°-0,006° lik alansal çözünürlüklere sahip 3 adet alt karelajlar (SD1, SD2 ve SD3) tanımlanmıştır. Böylelikle istenilen çıktılar yalnızca odaklanması planlanan Karadeniz'in güney batı sahilleri için tanımlanan bu üç alt karelajda yüksek çözünürlükte talep edilmiş ve biriktirilmiştir. Bütün dalga ölçüm istasyonları kaba karelaj içerisinde kalırken, bir ölçüm istasyonu (Gloria) daha ince karelaj içerisinde ve diğer üç ölçüm istasyonu (Karaburun, Filyos ve Sinop) ise alt karelajların her birinde kalmaktadır. Kaba karelajdaki rüzgar-dalga modelleme fiziği (özellikle köpüklenme, rüzgardan dalga üretimi ve dörtlü dalga-dalga etkileşim formülasyonları ve bunların ayarlanabilir parametreleri) içerisinde kalan üç şamandıra istasyonunun (Hopa, Sinop ve Gelendzhik) kısa süreli dalga ölçüm verileri ile kalibre edilmiş ve Gloria'daki ölçüm verileri ile de daha ince karelajın rüzgar-dalga modelleme fiziği ayarlanmıştır. En içteki karelajların rüzgar-dalga modelleme fiziği (özellikle köpüklenme ve rüzgardan dalga üretimi, taban sürtünmesi, derinlik etkileşimli dalga

kırılması, dörtlü ve üçlü lineer olmayan dalga-dalga etkileşim formülasyonları ve bunların ayarlanabilir parametreleri) ise Sinop, Karaburun ve Filyos'taki ölçüm verileri ile kalibre edilmiştir. Ayrıca, her bir karelağın sayısal fiziği (hesaplamalı karelağların alansal çözünürlükleri, frekans çözünürlükleri, frekans aralıkları, rüzgar alanlarına duyarlılıkları vb) de yine içerisinde kalan ölçüm istasyonları verileri yardımıyla Karadeniz'e uyarlanmıştır. Bütün bu kalibrasyon ve ayarlama işlemlerinden sonra, SWAN model yine bu altı ölçüm istasyonunda farklı zaman aralıklarındaki ölçüm verileri ile doğrulanmıştır. Sonuçta, Karadeniz için en iyi ayarlanmış iç içe geçmiş SWAN modeli geliştirilmiştir. Bundan sonra ise, bu model kullanılarak batimetri ve rüzgar alanları girdi olarak tanımlanıp 31 yıllık uzun dönemli bir simülasyon gerçekleştirilmiştir. Dalga iklim analizi için ihtiyaç duyulan dalga parametreleri en içte tanımlanmış üç alt karelağ için alansal ve bu karelağlar içerisinde belirlenmiş istasyonlar (Şekil 3.2 ve Çizelge 3.3) için uzun dönemli olarak geliştirilmiş SWAN modelden çıktı olarak üretilmiştir. Noktasal bu istasyonların dışında, uzun dönemli analiz kısmında Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002) sonuçlarının kıyaslanması amacıyla da her bir alt karelağda belirlenmiş iki lokasyon için çıktılar biriktirilmiştir (Çizelge 3.4).

**Çizelge 3.3.** Uzun dönemli analizde her alt karelağda odaklanılan lokasyonların bazı karakteristikleri

İstasyon	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Derinlik (m)
SD1_1	41,96	33,00	99,46
SD1_2	42,05	33,50	91,69
SD1_3	42,14	34,00	99,58
SD1_4	42,10	34,50	100,49
SD1_5	42,16	35,00	99,40
SD1_6	41,93	35,38	100,05
SD2_1	41,19	31,01	98,68
SD2_2	41,38	31,51	106,82
SD2_3	41,58	32,00	107,42
SD2_4	41,84	32,52	107,17
SD2_5	41,97	33,02	101,52
SD3_1	41,90	28,57	98,76
SD3_2	41,69	28,73	101,51
SD3_3	41,55	29,01	99,21
SD3_4	41,37	29,50	105,61
SD3_5	41,34	30,00	101,57
SD3_6	41,24	30,50	108,01



**Şekil 3. 2.** Üç alt kareajda seçilmiş istasyonların konumları

**Çizelge 3.4.** Uzun dönemli analiz kısmında Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002) sonuçlarının kıyaslanması maksadıyla belirlenmiş lokasyonların bazı karakteristikleri

İstasyon	Enlem (Kuzey)	Boylam (Doğu)	Derinlik (m)
DA1_1	42,00	35,30	90
DA1_2	42,00	33,80	54
DA2_1	41,75	32,30	80
DA2_2	41,50	31,40	1387
DA3_1	41,25	29,20	70
DA3_2	41,75	28,40	68

### 3.4. Model Kalitesinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler

Bu çalışma kapsamında SWAN tahmin modellerinin kalibrasyonunun yapılmasında, kalibre edilmiş modellerin doğrulanmasında ve duyarlılık analizlerinin yapılmasında, tahmin verilerinin ölçüm verilerine karşın eş zamanlı analizleri sonucunda elde edilen istatistiksel hata parametreleri kullanılmıştır. Ayrıca, zaman serileri ve saçılım diyagramları çizilerek sonuçlardan türetilen bu istatistiksel hata parametreleri ve görsel

grafikler kullanılarak model sonuçları değerlendirilmiştir. Model kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan bu yöntemlerin detayları takip eden alt bölümlerde sunulmuştur.

### 3.4.1. İstatistiksel Hata Göstergeleri

Geliştirilen SWAN modellerin performanslarını irdelemek için, eş zamanlı ölçüm ve tahmin verileri karşılaştırılarak belirgin dalga yüksekliği ve dalga periyotların hata değerleri belirlenmiş ve en iyi modele bu istatistiksel hata değerlerine göre karar verilmiştir. Her model için istatistiksel göstergeler eş zamanlı ölçüm ve tahmin değerlerine dayanarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

- Mutlak ortalama hata

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - X_i| \quad (3.1)$$

- Hataların ortalama karekökü

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (3.2)$$

- Ortalamaların farkı

$$Bias = (\bar{X} - \bar{Y}) \quad (3.3)$$

- Saçılım indeksi

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{X}} \quad (3.4)$$

- Korelasyon katsayısı

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3.5)$$

Bağıntılarda;  $Y_i$  tahmin değerleri,  $X_i$  ölçülen değerleri,  $\bar{X}$  ölçümlerin ortalaması,  $\bar{Y}$  gözlemlerin ortalaması ve  $n$  veri sayısıdır.

### 3.4.2. Saçılım Diyagramları

Saçılım diyagramı, iki farklı değişkenin arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılmaktadır. Bu diyagramlarda ilgili iki değişkenin arasındaki ilişkinin sebebi görülemesede, bunlar arasında direk olarak bir ilişkinin bulunup bulunmadığı ve bu ilişkinin ne derece güçlü olduğu görülebilmektedir. Aralarında çok yüksek bir ilişki bulunan iki değişkenin değerleri diyagramda her iki eksenin 45°'lik açı ile kesen doğru boyunca uzanacaktır. Birbirine karşılık gelen değerler bu çizgiye yaklaştıkça aralarındaki ilişkinin güçlendiği anlaşılır. Saçılım diyagramlarındaki renk şeması, maksimum girdi sayısının bulunduğu karedeki girdi sayısının  $\log_{10}$ 'uyla normalleştirilmiş dalga yükseklikleri için 0,2 m'lik dalga periyodları için 0,3 m'lik bir karedeki girdi sayısının  $\log_{10}$ 'unun temsil etmektedir. İnce kareler için çizilen saçılım diyagramları dalga yükseklikleri için 0,3 m'lik dalga periyodları için 0,4 m'lik bir karedeki girdi sayısının  $\log_{10}$ 'unun temsil etmektedir. Böylece, veri noktalarının kümelenmesi vurgulanmaktadır.

### 3.5. Uzun Dönemli Tahmin Sonuçlarının Analizinde Kullanılan Yöntemler

Geliştirilen katmanlı SWAN model ile üretilmiş veri seti yardımıyla bazı seçilmiş lokasyonlar için gerçekleştirilen uzun dönemli analizlerde dalga gülleri ve farklı tekerrürlü ekstrem dalgalar elde edilmiş ve mevcut Dalga Atlası dalga gülleri ve farklı

tekerrürlü ekstrem dalgaları ile kıyaslanmıştır. Bu maksatla, takip eden alt bölümlerde oluşturulan dalga güllerinin çizim detayları ve elde edilen farklı tekerrürlü ekstrem dalgaların hesaplanma yöntemleri sunulmuştur.

### **3.5.1. Dalga Gülleri**

Geliştirilen SWAN modeli ile seçilmiş lokasyonlar için tahmin edilmiş dalga yüksekliklerinin yönsel dağılımlarının değerlendirilebilmesi için dalga gülleri oluşturulmuştur. Güller kutupsal koordinat sistemi üzerinde çizilen açısız histogramlar olarak ifade edilebilmektedir. Bir merkeze gelen rüzgar dalgalarının coğrafi alandaki dağılımları bu güller yardımı ile belirlenebilmektedir. Rüzgar dalgalarının yönsel dağılımları güller üzerinde belirlenen yüzde cinsinden bir ölçekte gösterilebilmektedir. Aynı zamanda, rüzgar dalgaları için kullanıcı tarafından belirlenen bir büyüklük ölçeği bulunur ve bu ölçekte aralıklar renklerle de ifade edilebilir. Belirlenen büyüklük aralığındaki veriler ait olduğu yönde ve veri sayısının yüzdesi oranında histogramlar üzerinde gösterilmektedir. Aynı yönde ancak farklı büyüklükteki veriler ise histogram üzerinde bir önceki veriye eklenerek gösterilmektedir. Böylece, hangi yönden hangi büyüklük aralığında yüzde olarak hangi oranda rüzgar dalgasının geldiği tespit edilebilmektedir.

Bu tez çalışmasında, dalga gülleri için açısız histogram  $22.5^\circ$  lik aralıklara bölünerek oluşturulmuştur. Dalgalar için büyüklük aralıkları 0,5 - 1 m, 1 - 2 m, 2 - 3 m, 3 - 4 m ve 4 metreden daha büyük olacak şekilde seçilmiştir. Böylece, dalgaların farklı yönlerdeki yüzdeleri bu 5 aralığa göre sunulmuştur. 0,5 m'den daha küçük dalga yükseklikleri sakin dönemi yansıttığı için güllerde 0 - 0,5 m aralığındaki dalga yükseklikleri gösterilmemiş ancak bu aralıktaki dalgaların toplam içerisindeki payı diyagramların üst kısmında yüzde cinsinden verilmiştir.

### **3.5.2. Ekstrem Değer Analizi**

Ekstrem değer teorisinde ekstrapolasyon yardımı ile mevcut veri süresinden daha uzun sürede maksimum değerlerin görülme olasılıkları irdelenebilmektedir. Ekstrem değer



analizleri genel olarak Gumbel, Weibull ve Genelleştirilmiş Pareto dağılımları kullanılarak oluşturulmaktadır (Neelamani ve ark. 2007, Muzathik ve ark. 2011). Bu çalışmada, ekstrem değer analizleri literatürde kabul gören Gumbel dağılımı kullanılarak elde edilmiş ve grafikler oluşturulmuştur (Liu ve Ma 1980, Persson ve Rydén 2010). Ekstrem değer analizi, seçilmiş olan bütün istasyonlar için 31 yıl boyunca biriktirilmiş tahmin veri setinden yıllık maksimum belirgin dalga yükseklikleri çıkartılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir lokasyon için belirlenmiş yıllık maksimum değerlere Gumbel dağılımı uygulanarak farklı yinleme periyotlu dalga yükseklikleri tahmin edilmiştir. Gumbel dağılımının genel formülasyonu aşağıda verilmektedir.

$$G_{(H)} = e \left[ -e \left\{ - \left( \frac{H-a}{c} \right) \right\} \right] \quad (3.6)$$

Burada;  $G_{(H)}$  aşılma olasılığını vermekte olup,  $a$  yer parametresini,  $c$  ise ölçek parametresini ifade etmektedir. Aşılma olasılığı  $Q_{(H)} = 1 - G_{(H)}$  olarak ifade edilmekte ve  $Q_{(H)}$  ;

$$Q_{(H)} = (i - d_1) / (N + d_2) \quad (3.7)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada;  $i$  azalan sırayla oluşturulan verilerden hesaplanan verinin sırasını ve  $N$  toplam veri sayını ifade etmektedir. Gumbel dağılımında  $d_1 = 0,44$  ve  $d_2 = 0,12$  olarak alınabilmektedir (Neelamani ve ark. 2007).

Gumbel dağılımında  $y$  eksenini her yılın maksimum değerini,  $x$  eksenini ise Gumbel dağılımına göre hesaplanmış olasılığı ifade etmektedir. Dağılım grafiği üzerinde maksimum değerlere karşılık gelen olasılık değerleri işaretlenerek belirlenen noktalardan en uygun doğru geçirilmektedir.  $x$  ekseninin üst satırı yinleme aralığını yıllık olarak vermektedir. Yinleme aralığında seçilen bir yılın bu doğru ile kesiştirilmesi ile o yıla ait yinlemeli maksimum dalga yüksekliği değeri elde edilebilmektedir.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, Karadeniz'in güney batı kıyılarına odaklanan iç içe geçmiş katmanlı bir dalga tahmin modelinin geliştirilmesi ve geliştirilen bu modelle gerçekleştirilen 31 yıllık uzun dönemli simülasyon sonucunda biriktirilen veri seti kullanılarak bölgenin dalga karakteristiğinin ortaya çıkartılması hedeflenmiştir. Bu maksatla, model geliştirilmesinde öncelikle iç içe geçmiş katmanlı SWAN model kurulmuş ve Karadeniz'e uygulanması için modelin sayısal ayarlamalarında kullanılan parametreler ve modelin fiziksel süreçleri için tanımlanan formülasyonlar ve bu formülasyonlardaki parametreler değiştirilerek oluşturulan SWAN modellerin simülasyonları yürütülmüş ve tanımlanan kaba, ince ve 3 alt karelaj için de ayrı ayrı model kalibrasyonları gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon sonucu geliştirilen iç içe geçmiş katmanlı SWAN model sisteminin performansı (doğrulama) her bir karelajda kalibrasyonda kullanılmayan ölçüm verileri kullanılarak irdelenmiştir. Daha sonra, Karadeniz'in güney batı sahillerinin yüzeysel dalgalarının benzeşimi geliştirilmiş iç içe geçmiş katmanlı SWAN model kullanılarak 1979 – 2009 yılları arası için 31 yıl boyunca gerçekleştirilmiş ve pek çok farklı parametreyi içeren yüksek çözünürlüklü bir veri seti ilgili kıyı bölgesini kapsayan üç farklı karelaj için üretilmiştir. Bu veri setinden bu üç alt bölge için ortalama belirgin dalga yükseklikleri, ortalama dalga yönleri ve ortalama dalga enerji periyodlarının aylık, mevsimsel ve yıllık alansal dağılımları ayrıca 31 yıllık ortalama %95 ve %99 aşılmama ihtimalli belirgin dalga yükseklikleri, 31 yıllık ortalama belirgin dalga yüksekliği tahminlerinden 0,5 m ve 4 m'lik dalgaların aşılma ihtimalleri ve 31 yıllık maksimum dalga yüksekliklerinin alansal dağılım haritaları üretilmiştir. Daha sonra, her bir alt karelajda seçilmiş istasyonlar için bölgenin dalga istatistiği dalga gülleri, bazı dalga parametrelerinin ikili ilişkileri ve farklı tekerrür süreli ekstrem değer analizi ile ortaya konulmuştur. Ayrıca, günümüzde Türkiye kıyılarında yapılacak herhangi bir yapının tasarımında ana kaynak olan Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002) sonuçları ile bu çalışma kapsamında geliştirilen model sonuçlarının dalga istatistikleri kıyaslanarak irdelenmiştir.

#### 4.1. Sayısal Modelin Geliştirilmesi ve Kalibrasyonu

İki ana girdi dosyasının temin edilmesi, işlenmesi ve analize hazır hale getirilmesinden sonra, sayısal dalga tahmin modelinin istenilen hesaplamaların yapılmasını yöneten kod dosyası hazırlanmıştır. Düşünülen model iç içe geçmiş karelajlar (kaba karelaj, orta karelaj ve 3 adet ince karelaj) (bakınız Şekil 3.3) içerdiğinden sayısal modelin sayısal ve fiziksel ayarlaması yani kalibrasyonu ve doğrulaması her bir karelaj için ayrı ayrı yapılmıştır. Kalibrasyon, farklı karelajlar için farklı istasyonlarda mevcut ölçüm verisi kullanılarak yapılmıştır. Kaba karelaj Hopa, Sinop ve Gelendzhik 'teki 1996 yılı ölçümleri, İnce karelaj Gloria istasyonundaki 2006 yılındaki ölçümler, alt karelajlar SD1 Sinop istasyonundaki 1996 yılındaki ölçümler, SD2 Filyos istasyonundaki 1996 yılındaki ölçümler ve SD3 Karaburun'daki 2004 yılındaki ölçümler ile kalibre edilmiştir. Kalibrasyonda, farklı süreçleri tanımlayan farklı formülasyonların etkileri ve ayarlanabilen fiziksel ve sayısal pek çok parametrenin belirtilen 5 karelaj için simülasyonları ayrı ayrı yürütülmüş ve elde edilen tahmin verileri ile ölçüm verileri eşzamanlı açıklanmıştır. Dolayısı ile aynı andaki ölçümlere karşılık aynı andaki tahmin verileri ile istatistiksel hata parametreleri hesaplanmıştır. Bu şekilde her tahmin için hata parametreleri ve korelasyon katsayıları aynı zamandaki ölçüm ve tahmin verileri kullanılarak hesaplanmıştır. En düşük hata değerine ve en yüksek korelasyona sahip model daha doğru sonuçlara sahip olacağından bu yöndeki gelişmeler irdelenerek her karelaj için en düşük hataya ve en yüksek korelasyona sahip model ayarlamaları çıkartılmış ve her karelajın kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Literatürde (Siadatmousavi ve ark. 2011; Moeini ve Etemad-Shahidi, 2007), model sonuçlarında en etkin parametre olarak köpüklenme katsayısı belirtildiğinden bu katsayının her karelaj için bölgeyi temsil eden en uygun değerleri deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir.

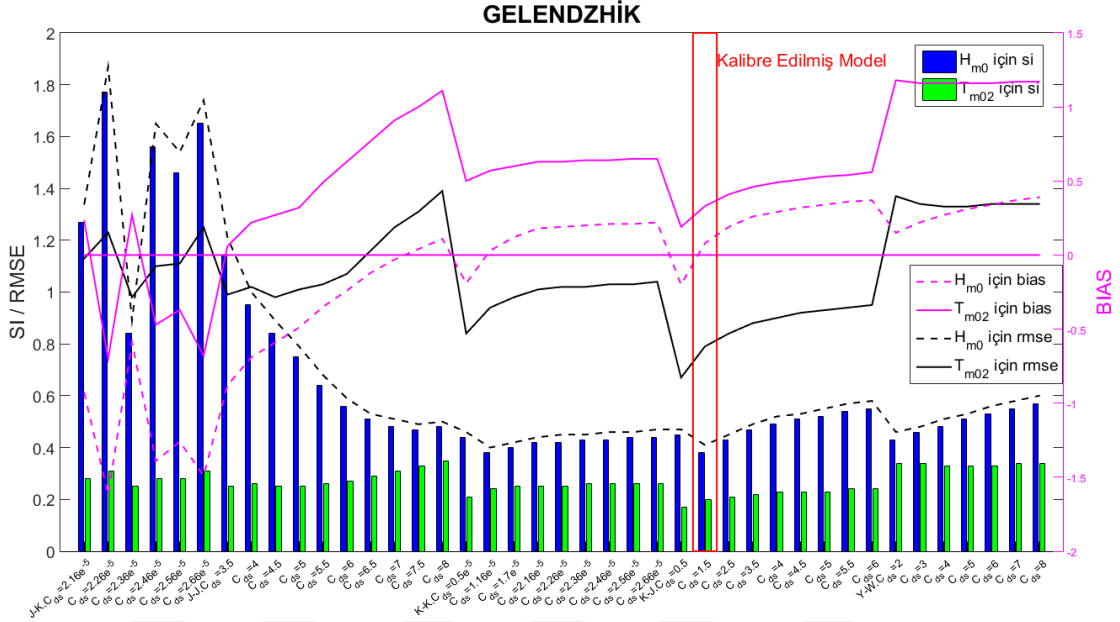
Yukarıda da bahsedildiği gibi, kalibrasyonda Siadatmousavi ve ark. (2011) ve Moeini ve Etemad-Shahidi (2007)'de olduğu gibi sayısal dalga modellemesinde en az bilinen köpüklenme olayı üzerine odaklanılmıştır. SWAN model, rüzgar girdisi ve köpüklenme için farklı formülasyonlar içerdiğinden bu iki fiziksel süreci tanımlayan formülasyonlardan beş farklı kombinasyon oluşturulmuş, bu kombinasyonların performansları her bir karelajda ayrı ayrı incelenmiş ve her kombinasyonda köpüklenme

katsayısının etkisi irdelenmiştir. Kalibrasyon için oluşturulan kombinasyonlar aşağıdaki gibidir:

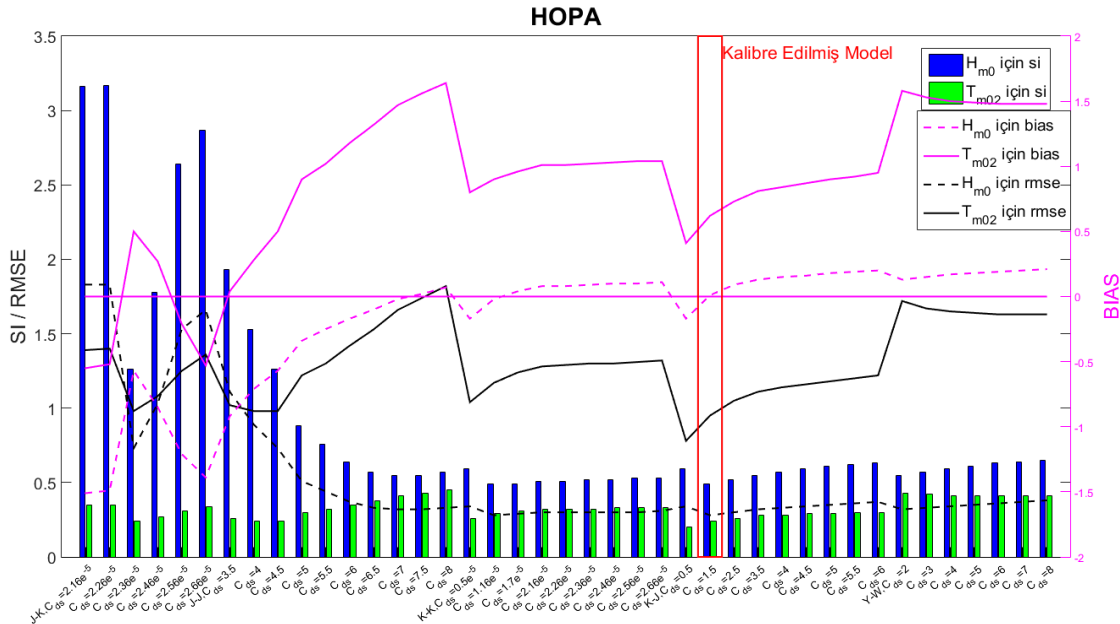
- Rüzgar girdisi için Komen ve ark. (1994) formülasyonu ve köpüklenme için Komen ve ark. (1994) formülasyonu
- Rüzgar girdisi için Komen ve ark. (1994) formülasyonu ve köpüklenme için Janssen (1991a; 1991b) formülasyonu
- Rüzgar girdisi için Janssen (1991a; 1991b) formülasyonu ve köpüklenme için Janssen (1991a; 1991b) formülasyonu
- Rüzgar girdisi için Janssen (1991a; 1991b) formülasyonu ve köpüklenme için Komen ve ark. (1994) formülasyonu
- Rüzgar girdisi için Yan (1987) formülasyonu ve köpüklenme için Van der Westhuysen ve ark. (2007) formülasyonu

Yukarıda bahsedilen kombinasyonlar için SWAN model simülasyonları birbirinden bağımsız bir şekilde gerçekleştirilmiş, daha sonra her kombinasyondaki köpüklenme parametresi azaltılarak ve artırılarak deneme yanılma yoluyla Siadatmousavi ve ark. (2011) ve Moeini ve Etemad-Shahidi (2007)'deki gibi ayarlanmıştır. Model performansları, ölçüm verilerinin zaman serilerinde boşlukların olması ve sabit bir zamansal çözünürlüğünün olmaması nedeniyle ölçüm verileri ile aynı zamana ait tahmin verileri eşleştirilerek ayıklanmış ve eşzamanlı tahmin ve ölçüm verilerine dayanarak her modelin performansı istatistiksel hata parametreleri (bakınız Bölüm 3.4.1) kullanılarak belirlenmiştir. Örneğin, Hopa istasyonunda 1996 yılında 3093 adet ölçüm verisi bulunduğundan bu ölçüm verileri ile aynı andaki tahmin verileri tüm simülasyon sonuçlarından ayıklanarak elde edilen eşzamanlı tahmin ve ölçüm verilerinden istatistiksel hata parametreleri belirlenmiştir. Örneğin; her model için hataların ortalama karekök hatası (RMSE), bu 3093 adet ölçüm ve tahmin verilerinin farklarının kareleri toplamının veri sayısına oranının karekökü olarak belirlenmiştir. Böylelikle oluşturulan pek çok model sonucunda en yüksek korelasyona, en düşük Bias, RMSE ve MAE hatasına ve en düşük saçılım indeksine (SI) sahip model, en iyi model olarak belirlenmiştir. Kaba kareyaj için oluşturulan modellerin dalga parametre ( $H_{m0}$  ve  $T_{m02}$ ) tahminlerinin Hopa, Gelendzhik ve Sinop istasyonlarındaki istatistiksel hata

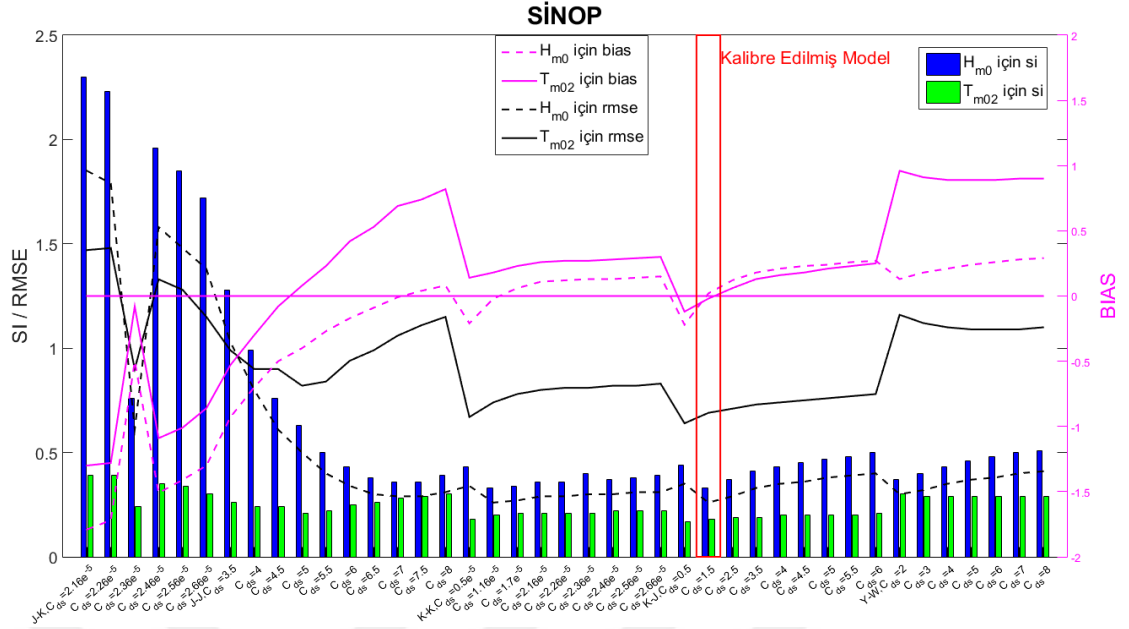
değerleri Ek 1’de verilmiştir. Üç istasyonda geliştirilen bütün SWAN modellerin saçılım indeksi, hataların ortalama karekökü ve ortalamalarının farkı değerlerinin kıyaslaması Şekil 4.1 – 4.3’te sunulmuştur.



**Şekil 4. 1.** Gelendzhik istasyonunda oluşturulan SWAN modellerin dalga parametre tahminleri için hata parametrelerinin (Bias, RMSE ve SI) kıyaslaması



**Şekil 4. 2.** Hopa istasyonunda oluşturulan SWAN modellerin dalga parametre tahminleri için hata parametrelerinin (Bias, RMSE ve SI) kıyaslaması



**Şekil 4. 3.** Sinop istasyonunda oluşturulan SWAN modellerin dalga parametre tahminleri için hata parametrelerinin (Bias, RMSE ve SI) kıyaslaması

Kıyaslamalar sonucunda en iyi performansa C3.2 (K-J,  $C_{ds}=1,5$ ) olarak numaralanmış rüzgar girdisi için Komen formülasyonunu ve köpüklenme için Janssen formülasyonunu kullanan ve köpüklenme katsayısının ( $C_{ds}$ ) 1,5 değerine eşit ayarlandığı SWAN modelin sahip olduğu belirlenmiştir.

Kalibrasyon sürecinin dışında, bazı parametreler ve durumlar için de duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Her bir kareajda etkisinin olup olmadığının incelendiği yani duyarlılık analizi gerçekleştirilen fiziksel ve sayısal parametreler aşağıdaki gibidir:

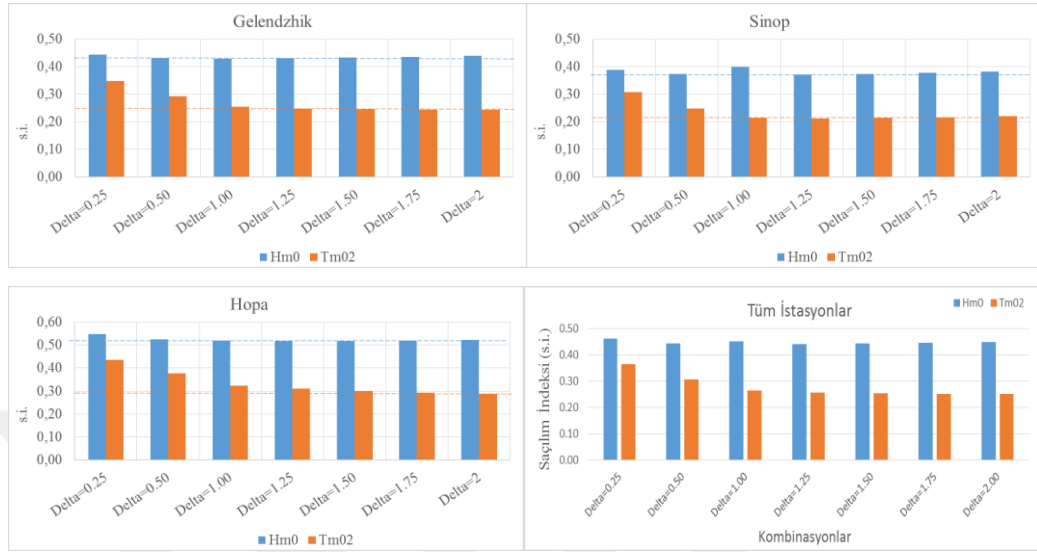
- Derinlik etkileşimli dalga kırılması (aktif veya aktif olmaması durumları için)
- Üçlü dalga-dalga etkileşimleri (aktif veya aktif olmaması durumları için)
- Taban sürtünmesi (aktif veya aktif olmaması durumları için)
- Köpüklenmenin dalga sayısına bağımlılığını belirleyen delta katsayısı
- Pierson-Moskowitz spektrumu için dalga dikliğinin değeri olan stpm katsayısı
- Taban sürtünmesinin hesabında kullanılan JONSWAP (Hasselmann ve ark. 1973) formülünün cfjon katsayısı
- Derinlik etkileşimli dalga kırılması nedeniyle oluşan enerji dağılımının miktarının orantısal katsayısı (alfa)

- Derinlik etkileşimli dalga kırılmasında derinlik üzerinde maksimum bireysel dalga yüksekliğinin oranı ( $\gamma$ )
- Collins (1972) taban sürtünme katsayısı ( $c_{fw}$ )
- Madsen ve ark. (1988)'in taban sürtünmesi formülünde tabanın eşdeğer pürüzlülük katsayısı ( $k_n$ )
- Suyun yoğunluğu ( $\rho$ )
- Hesaplamalı karelajın alansal çözünürlüğü
- Hesaplamalı karelajın frekans aralığı
- Hesaplamalı karelajın frekans çözünürlüğü
- Hesaplamalı karelajın yönsel çözünürlüğü
- Rüzgar hızlarının bir katsayı ile düzeltilmesi (yükseltilmiş rüzgarlar)
- Durağan olmayan hesaplamanın zaman aralığı

Önceki çalışmalarda (Akpınar ve ark. 2012), durağan olmayan hesaplamanın zaman aralığının (time step) duyarlılığı 6 saat, 3 saat, 1 saat, 30 dakika ve 15 dakika için gerçekleştirilen simülasyonlarda incelenmiş ve 30 dakikalık ayarlamaların uygun olacağı belirlenmiştir. Bundan dolayı, bu tez çalışmasında kaba karelajın hesaplama zaman aralığı 30 dakika olarak dikkate alınmıştır. Köpüklenmenin dalga sayısına bağımlılığını belirleyen delta katsayısının dalga model sonuçlarına etkisi ise araştırılmış ve üç şamandıra istasyonundaki hata istatistiğine göre etkili olduğu ve  $\delta = 1$  alınmasının uygun olduğu belirlenmiştir. (Şekil 4.4).

Duyarlılık analizi için yukarıda bahsedilen diğer parametreler ve durumlar için SWAN model simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Pierson-Moskowitz spektrumu için dalga dikliğinin değeri olan  $stpm$  katsayısı için farklı değerler kullanılarak SWAN model çalıştırılmış ancak model performansında herhangi bir iyileşme elde edilememiştir. Ayrıca, yakın kıyı süreçlerinden biri olan taban sürtünmesi için kullanılan formüllerdeki ayarlanabilen parametreler  $c_{fjon}$ ,  $c_{fw}$  ve  $k_n$  için ve diğer bir yakın kıyı süreci olan derinlik etkileşimli dalga kırılmasındaki ayarlanabilen parametreler  $\alpha$  ve  $\gamma$  için farklı değerler kullanılarak çalıştırılan SWAN modellerle model performansında iyileşme elde edilememiştir. Bunların yanında, hesaplamalı karelajın alansal çözünürlüğü, frekans aralığı, frekans çözünürlüğü ve yönsel çözünürlüğü için de farklı

değerler kullanılarak SWAN modeller çalıştırılmış ve üç istasyonda model performansları irdelenmiş ancak herhangi bir iyileşme elde edilememiştir.

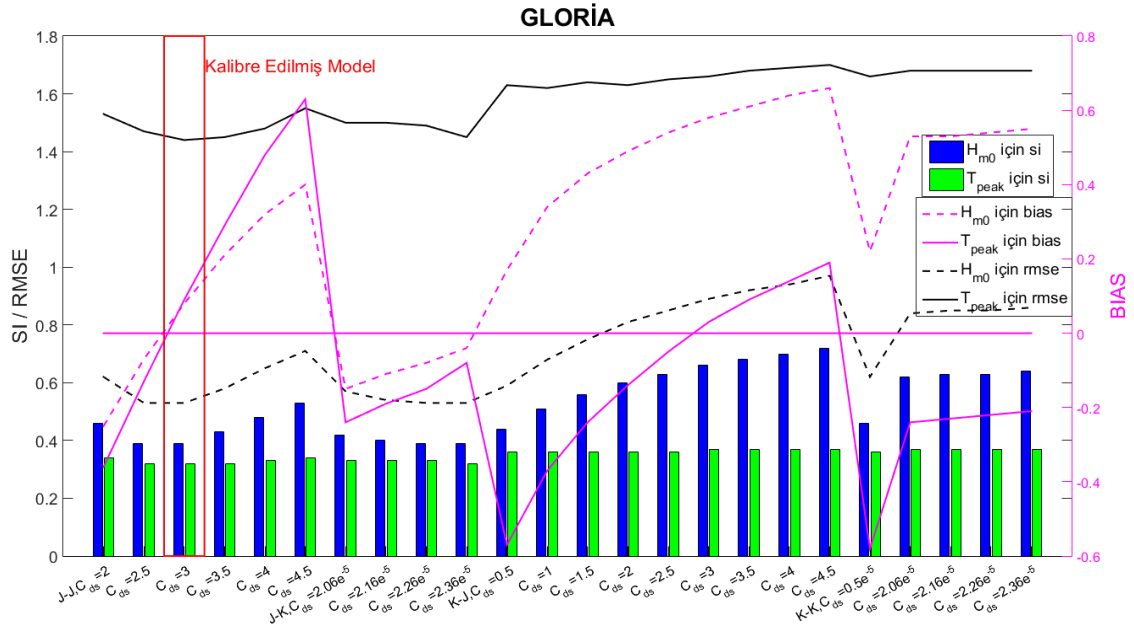


**Şekil 4. 4.** Üç farklı şamandıra istasyonunda farklı delta değerleri ile ayarlanan SWAN model sonuçlarının kıyaslaması

SWAN modele girdi olarak kullanılan CFSR rüzgarları %5 ve %10 artırılarak bu durumun model performansına etkisi de ayrıca incelenmiştir. Model sonuçlarından rüzgarların artırılması durumunda Gelendzhik istasyonunda her iki dalga parametresinin tahmininde ve Hopa istasyonunda dalga periyodunun tahmininde model performansında iyileşme oluşurken Sinop istasyonunda her iki dalga parametresi ve Hopa istasyonunda dalga yüksekliğinin tahminlerinde kötüleşme olduğu görülmüştür. Bundan dolayı, kaba kareajda rüzgarların yükseltilmesinin uygun olmadığına karar verilmiştir. Bu durum için geliştirilen SWAN model sonuçlarının istatistiksel hata değerleri Ek 2’de sunulmuştur. Derinlik etkileşimli dalga kırılması, üçlü dalga-dalga etkileşimleri ve taban sürtünmesi süreçlerinin SWAN modelde aktif edilmelerinin ve ihmal edilmelerinin de etkisi incelenmiştir. Her üç sürecin SWAN modelde kapatılması durumunda model performanslarında kötüleşmenin olduğu ve aktif edilmelerinin gerektiği sonucuna varılmıştır (Ek 3). Duyarlılık analizinde irdelenen durumlar ve parametreler için geliştirilen SWAN model performansları, varsayılan model performansında herhangi bir değişime neden olmadığından dolayı burada sunulmamıştır.



Kaba kareyaj için kalibrasyon ve duyarlılık analizi kapsamında gerçekleştirilen bütün test simülasyonları bir içteki ince kareyaj ve en içteki 3 alt kareyaj için de ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. İnce kareyaj için kalibrasyon sürecinde kullanılan yukarıda bahsedilen kombinasyonlarla ayarlanan SWAN model, kaba kareyaj için belirlenen en iyi modelden alınan sınır şartları kullanılarak çalıştırılmış ve model sonuçlarının doğrulukları Gloria istasyonundaki ölçümlerle test edilmiştir. İnce kareyajın kalibrasyon sürecinde her kombinasyon için geliştirilen bütün SWAN modellerin her iki dalga parametresinin tahminlerinin Gloria istasyonundaki istatistiksel hata göstergeleri Ek 4'te verilmiştir. Gloria istasyonunda geliştirilen bütün SWAN modellerin saçılım indeksi, hataların ortalama karekökü ve ortalamalarının farkı değerlerinin kıyaslaması Şekil 4.5'te sunulmuştur. Burada sunulan sonuçlara dayanarak ince kareyaj için en uygun SWAN modelin, G.1.3 (J-J,  $C_{ds} = 3$ ) olarak numaralandırılan rüzgar girdisi için Janssen formülasyonunu köpüklenme için de Janssen formülasyonunu kullanan  $C_{ds} = 3$  olarak ayarlanan model olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 4. 5.** Gloria ölçüm istasyonu için oluşturulan SWAN modellerin dalga parametre tahminleri için hata parametrelerinin (Bias, RMSE ve SI) kıyaslaması

İnce kareyajın duyarlılık test sonuçları incelendiğinde, irdelenen bütün parametreler için geliştirilen bütün modellerin performanslarında herhangi bir değişikliğin oluşmadığı tespit edilmiştir. Orta kareyaj için gerçekleştirilen test simülasyonların hata

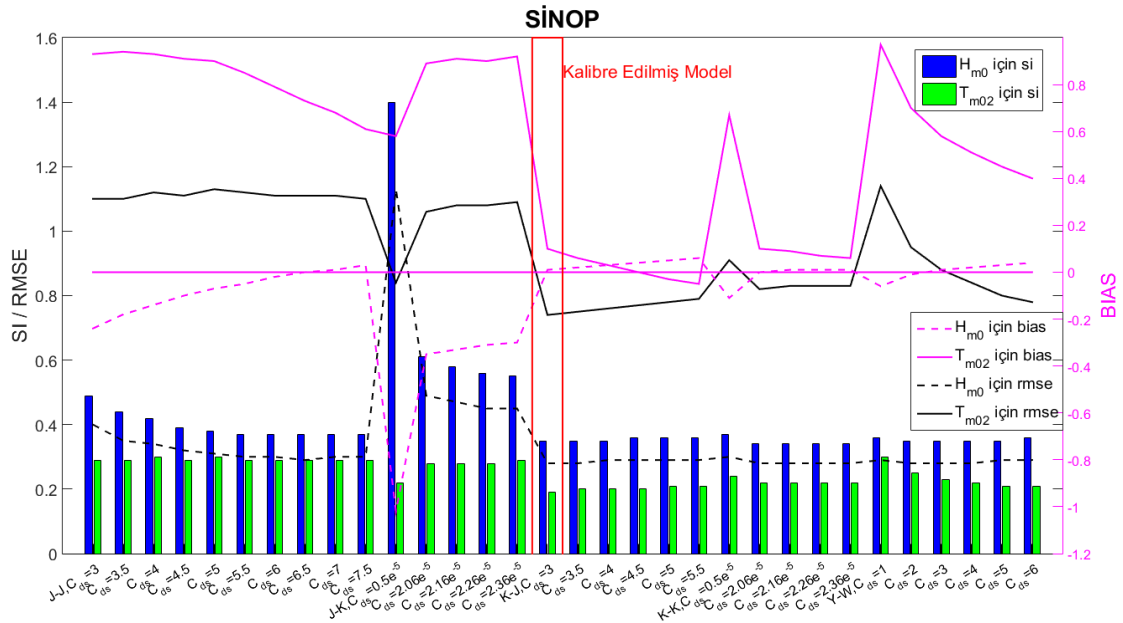
istatistiklerine göre, hesaplamalı karelağın zaman aralığının bir etkiye sahip olduğu anlaşılmış ve deneme yanılma yoluyla en düşük hatayı en yüksek korelasyonu veren değer belirlenmiş ve orta karelağ için farklı zaman aralıkları için çalıştırılan SWAN model simülasyonlarının Gloria istasyonundaki  $H_{m0}$  ve  $T_p$  tahminlerinin hata istatistikleri Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Bu Çizelgede görülebileceği gibi, 20 dakikalık bir zaman aralığının seçilmesi daha yüksek doğrulukta dalga parametrelerinin tahminine sebebiyet vermektedir.

**Çizelge 4. 1.** Orta karelağda farklı zaman aralıklarına dayanan SWAN simülasyon sonuçlarının Gloria istasyonundaki dalga parametre tahminlerinin hata istatistiği

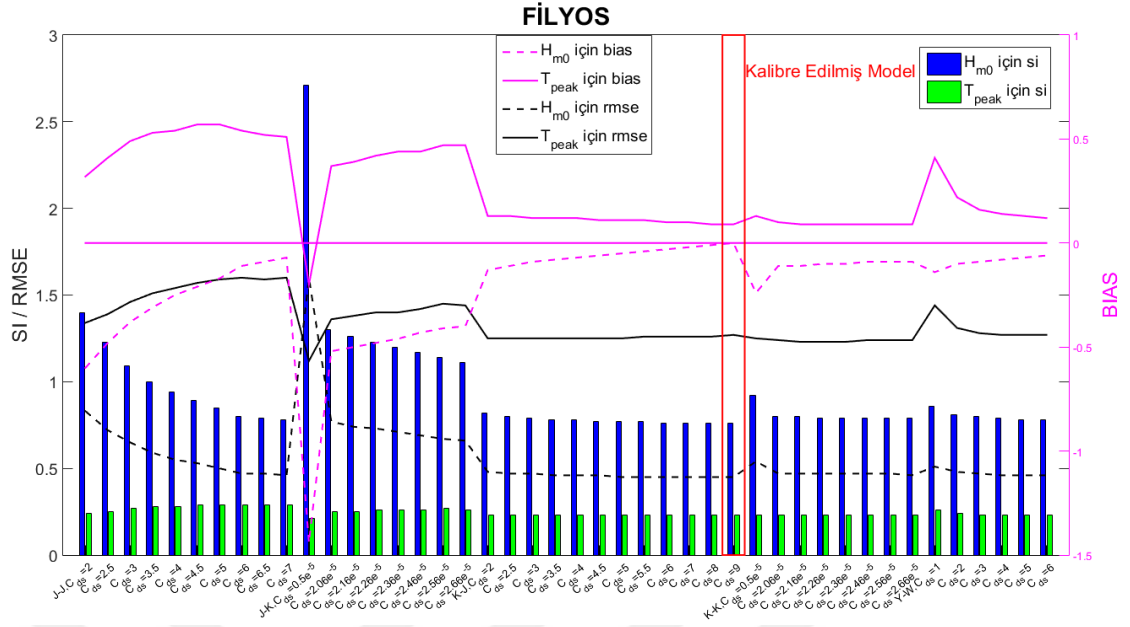
		Gloria- $H_{m0}$ için Hata istatistiği							
		Zaman aralığı (dk)	n	R	Bias (m)	RMSE (m)	MAE (m)	$X_{ort.}$ (m)	$Y_{ort.}$ (m)
Rüzgar Girdisi: Janssen Köpüklenme: Janssen $C_{ds}=3$	10	1352	0,87	0,37	0,68	0,46	1,35	0,98	0,50
	15	1352	0,88	0,22	0,57	0,39	1,35	1,13	0,42
	20	1352	0,87	0,08	0,53	0,37	1,35	1,27	0,39
	30	1352	0,78	-0,10	0,69	0,49	1,35	1,45	0,51
		Gloria- $T_{pik}$ için Hata istatistiği							
		Zaman aralığı (dk)	n	R	Bias (s)	RMSE (s)	MAE (s)	$X_{ort.}$ (s)	$Y_{ort.}$ (s)
Rüzgar Girdisi: Janssen Köpüklenme: Janssen $C_{ds}=3$	10	1352	0,42	-0,08	1,56	1,15	4,55	4,64	0,34
	15	1352	0,45	-0,01	1,49	1,11	4,55	4,57	0,33
	20	1352	0,47	0,09	1,44	1,09	4,55	4,46	0,32
	30	1352	0,37	0,24	1,44	1,12	4,55	4,31	0,31

SD1, SD2 ve SD3 olarak numaralandırılan alt karelağların her birinin ayrı ayrı kalibrasyonlarında da yukarıda ifade edilen beş kombinasyonun performansları irdelenmiş ve bu kombinasyonların her birinde köpüklenme parametresi azaltılarak veya artırılarak deneme yanılma yoluyla ayarlanmaya çalışılmıştır. SD1 alt karelağı için geliştirilen modellerin Sinop istasyonundaki belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodu için hata istatistiği Ek 5’te, SD2 alt karelağı için geliştirilen modellerin Filyos istasyonundaki belirgin dalga yüksekliği ve pik periyot için hata istatistiği Ek 6’da ve SD3 alt karelağı için geliştirilen modellerin Karaburun istasyonundaki belirgin dalga yüksekliği için hata istatistiği Ek 7’de verilmiştir. Üç alt karelağ için geliştirilen bütün

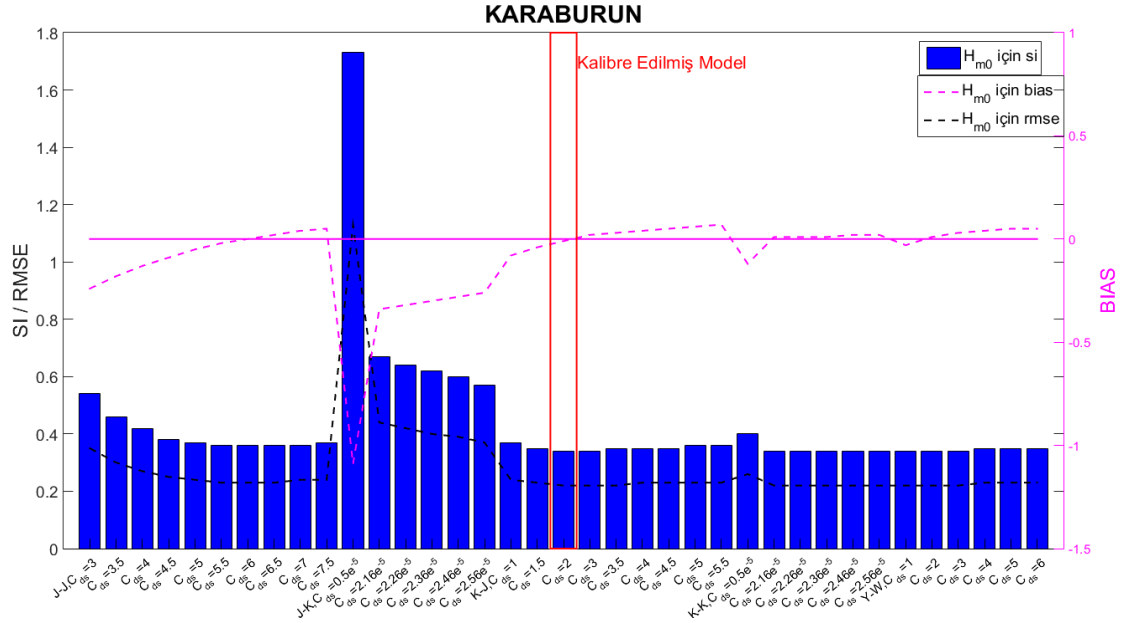
SWAN modellerin saçılım indeksi, hataların ortalama karekökü ve ortalamalarının farkı değerlerinin kıyaslaması Şekil 4.6 – 4.8’de sunulmuştur. Kalibrasyon sürecinin sonuçlarına göre; SD1 alt karelağı için rüzgar girdisi olarak Komen ve köpüklenme için Janssen formülasyonlarını kullanan  $C_{ds} = 3$  olarak ayarlanan SWAN modelin, SD2 alt karelağı için rüzgar girdisi olarak Komen ve köpüklenme için Janssen formülasyonlarını kullanan  $C_{ds} = 9$  olarak ayarlanan SWAN modelin ve SD3 alt karelağı için rüzgar girdisi olarak Komen ve köpüklenme için Janssen formülasyonlarını kullanan  $C_{ds} = 2$  olarak ayarlanan SWAN modelin en iyi performansa sahip olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 4. 6.** Sinop ölçüm istasyonu için oluşturulan SWAN modellerin dalga parametre tahminleri için hata parametrelerinin (Bias, RMSE ve SI) kıyaslaması



**Şekil 4. 7.** Filyos ölçüm istasyonu için oluşturulan SWAN modellerin dalga parametre tahminleri için hata parametrelerinin (Bias, RMSE ve SI) kıyaslaması



**Şekil 4. 8.** Karaburun ölçüm istasyonu için oluşturulan SWAN modellerin dalga parametre tahminleri için hata parametrelerinin (Bias, RMSE ve SI) kıyaslaması

Her alt kareyaj için bazı parametrelerin ve durumların dalga model sonuçlarına etkisi duyarlılık analizi ile ayrı ayrı irdelenmiştir. Derinlik etkileşimli dalga kırılması fiziksel sürecindeki alfa katsayısı için 0,8, 0,9, 1,0, 1,1 ve 1,2 değerlerine ve gamma parametresi için 0,53, 0,63, 0,73, 0,83 ve 0,93 değerlerine göre ayarlanan SWAN modeller

çalıştırılmış ancak model sonuçlarında hiçbir değişikliğin olmadığı görülmüştür. Taban sürtünmesi formüllerindeki  $c_{\text{fon}}$  parametresi için 0,02, 0,03, 0,038 ve 0,05 değerlerine,  $c_{\text{fw}}$  parametresi için 0,005, 0,015, 0,01 ve 0,02 değerlerine ve  $k_n$  parametresi için 0,02, 0,03, 0,04 ve 0,05 değerlerine göre ayarlanan SWAN modeller çalıştırılmış ancak model sonuçlarında hiçbir değişikliğin olmadığı görülmüştür. Hesaplamalı karelağın frekans aralığı için 0,03 – 1, 0,04 – 0,625, 0,04 – 1, 0,01 – 1,2 ve 0,04 – 1,2 değerlerine, hesaplamalı karelağın alansal çözünürlüğü için 750 x 300, 500 x 200 ve 934 x 444 değerlerine, hesaplamalı karelağın frekans çözünürlüğü için 18, 24, 30 ve 35 değerlerine ve hesaplamalı karelağın yönsel çözünürlüğü için 10, 20, 30 ve 36 değerlerine göre ayarlanan SWAN modeller çalıştırılmış yine model sonuçlarında hiçbir değişikliğin olmadığı görülmüştür. Her üç alt karelağda rüzgarlar %5 ve %10 artırılarak SWAN modeller çalıştırılmış ancak model sonuçlarında belirgin bir iyileşme görülmemiştir. Üçlü dalga-dalga etkileşimlerinin aktif edilmemesi durumunda model sonuçlarında çok küçükte olsa bir kötüleşme (hata değerlerinde artma) olduğu belirlenmiştir. Her üç alt karelağda son olarak durağan olmayan hesaplamasının zaman aralığının (time step of computation) model sonuçlarına etkisi irdelenmiştir. Her üç karelağ için modeller, 30 dk, 20 dk, 15 dk, 10 dk ve 5 dk zaman aralıkları için çalıştırılmış ve model sonuçları olarak dalga parametrelerinin SD1 alt karelağında Sinop istasyonunda, SD2 alt karelağında Filyos istasyonunda ve SD3 alt karelağında Karaburun istasyonunda hata istatistikleri Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Bu sonuçlara göre; SD1 alt karelağında SWAN modelin 10 dk zaman aralığı ile, SD2 alt karelağında SWAN modelin 30 dk zaman aralığı ile ve SD3 alt karelağında SWAN modelin 20 dk zaman aralığı ile çalıştırılması sonucu en doğru sonuçlara ulaşılabildiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak, geliştirilmesi düşünülen iç içe geçmiş karelağ sistemli SWAN model için, kaba, ince ve 3 alt karelağda kalibrasyon ve duyarlılık analiz işlemleri tamamlanmıştır. Bütün bu gerçekleştirilen test analizleri sonucunda, köpüklenme olayının ve köpüklenme katsayısının SWAN model performansı üzerinde en etkin süreç ve parametre olduğu ve dalga modellemesindeki diğer süreçlerin ve ayarlanabilir parametrelerin model sonuçları üzerine düşük bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Her karelağ için kalibre edilmiş model ayarlamaları aşağıdaki gibidir.

**Çizelge 4. 2.** Üç alt karelejda farklı hesaplama zaman aralıkları için  $H_{m0}$  hata istatistiği

		<b>Sinop-<math>H_{m0}</math> için Hata istatistiği</b>							
<b>Rüzgar Girdisi: Komen</b> <b>Köpüklenme: Janssen</b> <b><math>C_{ds}=3</math></b>	<b>Zaman aralığı</b> <b>(dk)</b>	<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias</b> <b>(m)</b>	<b>RMSE</b> <b>(m)</b>	<b>MAE</b> <b>(m)</b>	<b><math>X_{ort.}</math></b> <b>(m)</b>	<b><math>Y_{ort.}</math></b> <b>(m)</b>	<b>SI</b>
	5	2164	0,84	<b>0,01</b>	<b>0,27</b>	<b>0,20</b>	<b>0,80</b>	<b>0,79</b>	0,33
	10	2164	0,84	0,01	0,27	0,20	0,80	0,79	0,34
	15	2413	0,83	0,01	0,28	0,21	0,80	0,79	0,34
	20	1828	0,83	0,01	0,28	0,21	0,81	0,79	0,35
	30	1249	0,82	0,02	0,28	0,21	0,81	0,79	0,35
		<b>Filyos-<math>H_{m0}</math> için Hata istatistiği</b>							
<b>Rüzgar Girdisi: Komen</b> <b>Köpüklenme: Janssen</b> <b><math>C_{ds}=9</math></b>	<b>Zaman aralığı</b> <b>(dk)</b>	<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias</b> <b>(m)</b>	<b>RMSE</b> <b>(m)</b>	<b>MAE</b> <b>(m)</b>	<b><math>X_{ort.}</math></b> <b>(m)</b>	<b><math>Y_{ort.}</math></b> <b>(m)</b>	<b>SI</b>
	5	1335	0,56	0,00	0,44	0,30	0,59	0,59	0,75
	10	1335	0,56	0,00	0,44	0,30	0,59	0,59	0,75
	15	1335	0,56	0,00	0,44	0,30	0,59	0,59	0,75
	20	4003	0,55	0,00	0,45	0,30	0,59	0,59	0,76
	30	1335	0,56	0,00	0,44	0,30	0,59	0,59	0,75
		<b>Karaburun-<math>H_{m0}</math> için Hata istatistiği</b>							
<b>Rüzgar Girdisi: Komen</b> <b>Köpüklenme: Janssen</b> <b><math>C_{ds}=2</math></b>	<b>Zaman aralığı</b> <b>(dk)</b>	<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias</b> <b>(m)</b>	<b>RMSE</b> <b>(m)</b>	<b>MAE</b> <b>(m)</b>	<b><math>X_{ort.}</math></b> <b>(m)</b>	<b><math>Y_{ort.}</math></b> <b>(m)</b>	<b>SI</b>
	5	771	0,87	-0,02	0,23	0,16	0,63	0,65	0,37
	10	771	0,87	-0,02	0,23	0,16	0,63	0,65	0,37
	15	1019	0,88	-0,01	0,22	0,15	0,64	0,66	0,35
	20	734	0,88	-0,01	0,22	0,15	0,65	0,66	0,34
	30	531	0,87	-0,02	0,23	0,16	0,66	0,68	0,36

Kaba karelej için:

- Rüzgar girdisi & Köpüklenme süreçleri için Komen ve ark. (1994) & Janssen (1991a; 1991b) formülasyonları

$$C_{ds} = 1,5 \text{ ve } \Delta = 1,0$$

Durağan olmayan hesaplamaların zaman aralığı: 30 dakika

Diğer fiziksel süreçler varsayılan modda aktiftir.

Orta (ince) karelej için:

- Rüzgar girdisi & Köpüklenme süreçleri için Janssen (1991a; 1991b) & Janssen (1991a; 1991b) formülasyonları

$$C_{ds} = 3,0$$

Durağan olmayan hesaplamasının zaman aralığı: 20 dakika

Diğer fiziksel süreçler varsayılan modda aktiftir.

Sınır şartları kaba karelajdaki kalibre edilmiş SWAN modelden alınmaktadır.

**Çizelge 4. 3.** Üç alt karelajda farklı hesaplama zaman aralıkları için periyot tahminleri için hata istatistiği

		Sinop-T <sub>m02</sub> için Hata istatistiği							
Rüzgar Girdisi: Komen	Zaman aralığı (dk)	n	R	Bias (s)	RMSE (s)	MAE (s)	X <sub>ort.</sub> (s)	Y <sub>ort.</sub> (s)	SI
C <sub>ds</sub> =3	10	2164	0,73	0,08	0,73	0,59	3,79	3,71	0,19
	15	2413	0,72	0,09	0,74	0,59	3,79	3,70	0,20
	20	1828	0,72	0,10	0,74	0,59	3,80	3,70	0,19
	30	1249	0,71	0,12	0,74	0,59	3,80	3,68	0,19
		Filyos-T <sub>pik</sub> için Hata istatistiği							
Rüzgar Girdisi: Komen	Zaman aralığı (dk)	n	R	Bias (s)	RMSE (s)	MAE (s)	X <sub>ort.</sub> (s)	Y <sub>ort.</sub> (s)	SI
C <sub>ds</sub> =9	10	1335	0,51	0,11	1,23	0,95	5,46	5,35	0,23
	15	1335	0,52	0,10	1,23	0,95	5,46	5,36	0,23
	20	4003	0,50	0,09	1,27	0,96	5,46	5,37	0,23
	30	1335	0,52	0,08	1,22	0,94	5,46	5,38	0,22

SD1 alt karelajı için:

- Rüzgar girdisi & Köpüklenme süreçleri için Komen ve ark. (1994) & Janssen (1991a; 1991b) formülasyonları

$$C_{ds} = 3,0$$

Durağan olmayan hesaplamasının zaman aralığı: 10 dakika

Diğer fiziksel süreçler varsayılan modda aktiftir.

Sınır şartları orta (ince) karelajdaki kalibre edilmiş SWAN modelden alınmaktadır.

SD2 alt karelağı için:

- Rüzgar girdisi & Köpüklenme süreçleri için Komen ve ark. (1994) & Janssen (1991a; 1991b) formülasyonları

$$C_{ds} = 9,0$$

Durağan olmayan hesaplamasının zaman aralığı: 30 dakika

Diğer fiziksel süreçler varsayılan modda aktiftir.

Sınır şartları orta (ince) karelajdaki kalibre edilmiş SWAN modelden alınmaktadır.

SD3 alt karelağı için:

- Rüzgar girdisi & Köpüklenme süreçleri için Komen ve ark. (1994) & Janssen (1991a; 1991b) formülasyonları

$$C_{ds} = 2,0$$

Durağan olmayan hesaplamasının zaman aralığı: 20 dakika

Diğer fiziksel süreçler varsayılan modda aktiftir.

Sınır şartları orta (ince) karelajdaki kalibre edilmiş SWAN modelden alınmaktadır.

## **4.2.Sayısal Modelin Doğrulanması**

İç içe geçmiş karelağ sistemli SWAN sayısal modelin her bir karelağ sistemindeki kalibrasyonundan sonra, model performansında gelişmenin olup olmadığını görmek için kalibrasyonda dikkate alınmayan süreler için model sonuçlarının her bir karelağdaki doğrulama analizi yürütülmüştür. Bunun için, her bir karelağda sayısal modelin kalibrasyonunda kullanılmayan ölçüm verisi kullanılarak geliştirilen modelin performansı irdelenmiştir. Modelin performansı, Bölüm 4.1’de detayları sunulan istatistiksel hata göstergelerine (Bias, RMSE, SI vb.) dayanarak irdelenmiştir.

### **4.2.1. Kaba Karelağ için Geliştirilen Sayısal Modelin Doğrulanması**

Kaba karelağ için kalibre edilmiş SWAN modelin performansı (doğrulanması), Filyos istasyonunda 1995 ve 1996 yıllarındaki, Gloria istasyonunda 2006 – 2009 yılları



arasındaki, Karaburun istasyonunda 2003 ve 2004 yıllarındaki, Gelendzhik istasyonunda 1997 – 1998 ve 2000 – 2003 yılları arasındaki ve Hopa istasyonunda 1997 – 1999 yılları arasındaki ölçülmüş belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ve ortalama (veya maksimum) dalga periyodu ( $T_{m02}$  veya  $T_p$ ) verileri kullanılarak kontrol edilmiştir. Kalibre edilmiş SWAN model ile tahmin edilmiş  $H_{m0}$  ve  $T_{m02}$  (veya  $T_p$ ) verilerinin ölçüm verilerine karşı hata istatistikleri Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5’te sunulmuştur.

**Çizelge 4. 4.** Kaba kareyaj için kalibre edilen SWAN model sonuçlarının ( $H_{m0}$  için) ölçümlere karşı hata istatistiği

İstasyon Adı	Yıl	R		Bias (m)		RMSE (m)		MAE (m)		SI	
		A	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Filyos	1995	0,86	<b>0,86</b>	0,21	<b>0,13</b>	0,44	<b>0,38</b>	0,29	<b>0,26</b>	0,67	<b>0,59</b>
	1996	0,56	<b>0,57</b>	0,20	<b>0,13</b>	0,48	<b>0,45</b>	0,31	<b>0,29</b>	0,81	<b>0,77</b>
Karaburun	2003	0,74	<b>0,75</b>	0,26	<b>0,16</b>	0,48	<b>0,42</b>	0,36	<b>0,32</b>	0,48	<b>0,43</b>
	2004	0,91	<b>0,91</b>	0,05	<b>-0,04</b>	0,21	<b>0,20</b>	0,14	<b>0,14</b>	0,33	<b>0,31</b>
	Tümü	0,84	<b>0,84</b>	0,12	<b>0,02</b>	0,32	<b>0,29</b>	0,21	<b>0,20</b>	0,42	<b>0,38</b>
Hopa	1997	0,87	<b>0,87</b>	0,16	<b>0,09</b>	0,34	<b>0,30</b>	0,21	<b>0,18</b>	0,55	<b>0,48</b>
	1998	0,83	<b>0,83</b>	0,14	<b>0,05</b>	0,39	<b>0,36</b>	0,24	<b>0,24</b>	0,56	<b>0,52</b>
	1999	0,90	<b>0,90</b>	0,14	<b>0,06</b>	0,34	<b>0,30</b>	0,20	<b>0,19</b>	0,55	<b>0,49</b>
	Tümü	0,85	<b>0,85</b>	0,15	<b>0,07</b>	0,36	<b>0,33</b>	0,22	<b>0,21</b>	0,56	<b>0,50</b>
Gelendzhik	1997	0,88	<b>0,88</b>	0,24	<b>0,13</b>	0,48	<b>0,43</b>	0,35	<b>0,31</b>	0,45	<b>0,41</b>
	1998	0,72	<b>0,73</b>	0,38	<b>0,23</b>	0,73	<b>0,66</b>	0,52	<b>0,45</b>	0,51	<b>0,46</b>
	2000	0,91	<b>0,92</b>	0,17	<b>0,09</b>	0,31	<b>0,28</b>	0,23	<b>0,20</b>	0,44	<b>0,39</b>
	2001	0,92	<b>0,92</b>	0,23	<b>0,12</b>	0,39	<b>0,36</b>	0,29	<b>0,24</b>	0,40	<b>0,36</b>
	2002	0,87	<b>0,87</b>	0,22	<b>0,15</b>	0,36	<b>0,32</b>	0,25	<b>0,21</b>	0,52	<b>0,47</b>
	2003	0,87	<b>0,87</b>	0,18	<b>0,07</b>	0,46	<b>0,44</b>	0,31	<b>0,29</b>	0,49	<b>0,47</b>
	Tümü	0,88	<b>0,88</b>	0,22	<b>0,12</b>	0,45	<b>0,41</b>	0,31	<b>0,27</b>	0,47	<b>0,43</b>
Gloria	2006	0,89	<b>0,89</b>	0,53	<b>0,41</b>	0,81	<b>0,71</b>	0,56	<b>0,48</b>	0,60	<b>0,53</b>
	2007	0,79	<b>0,79</b>	0,46	<b>0,34</b>	0,78	<b>0,70</b>	0,55	<b>0,49</b>	0,59	<b>0,53</b>
	2008	0,90	<b>0,90</b>	0,52	<b>0,40</b>	0,75	<b>0,65</b>	0,55	<b>0,46</b>	0,56	<b>0,49</b>
	2009	0,81	<b>0,81</b>	0,48	<b>0,37</b>	0,71	<b>0,63</b>	0,52	<b>0,45</b>	0,58	<b>0,51</b>
	Tümü	0,85	<b>0,85</b>	0,50	<b>0,38</b>	0,76	<b>0,67</b>	0,55	<b>0,47</b>	0,58	<b>0,51</b>

a: Varsayılan model; b: Kalibre edilen model

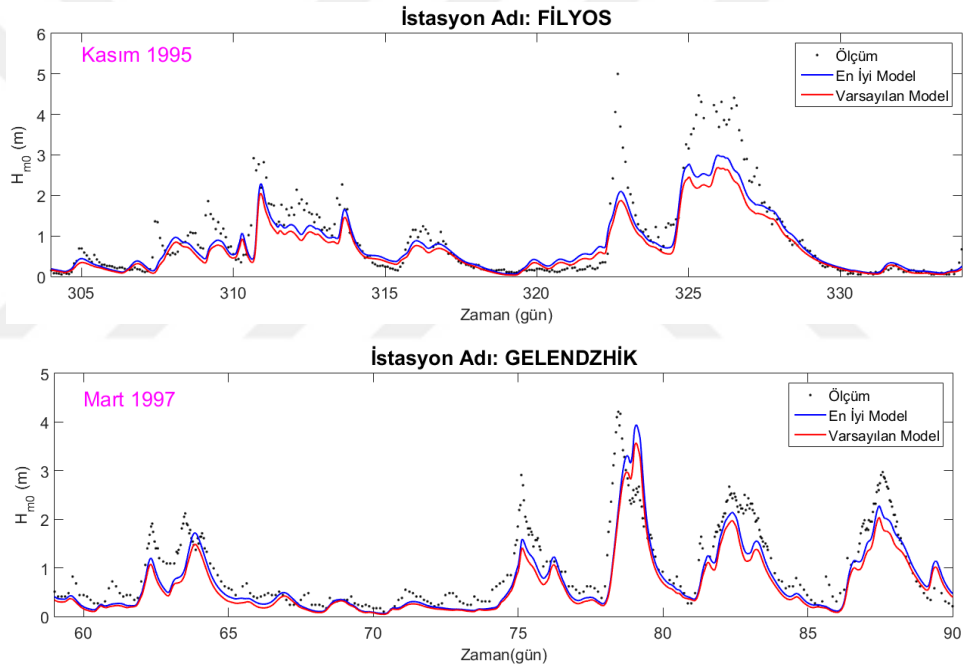
**Çizelge 4. 5.** Kaba kareyaj için kalibre edilen SWAN model sonuçlarının ( $T_{m02}$  için) ölçümlere karşı hata istatistiği

İstasyon Adı	Yıl	R		Bias (s)		RMSE (s)		MAE(s)		SI	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Filyos ( $T_{pik}$ )	1995	0,73	<b>0,73</b>	0,43	<b>0,30</b>	1,08	<b>1,05</b>	0,82	<b>0,80</b>	0,20	<b>0,19</b>
	1996	0,51	<b>0,51</b>	0,55	<b>0,43</b>	1,38	<b>1,33</b>	1,05	<b>1,03</b>	0,25	<b>0,24</b>
Hopa	1997	0,80	<b>0,79</b>	0,91	<b>0,49</b>	1,20	<b>0,91</b>	1,01	<b>0,73</b>	0,30	<b>0,23</b>
	1998	0,75	<b>0,75</b>	0,84	<b>0,45</b>	1,26	<b>1,00</b>	1,02	<b>0,78</b>	0,31	<b>0,24</b>
	1999	0,81	<b>0,79</b>	0,88	<b>0,46</b>	1,24	<b>0,98</b>	1,02	<b>0,76</b>	0,31	<b>0,24</b>
	Tümü	0,77	<b>0,77</b>	0,87	<b>0,47</b>	1,24	<b>0,96</b>	1,01	<b>0,75</b>	0,30	<b>0,24</b>
Gelendzhik	1997	0,82	<b>0,82</b>	0,65	<b>0,36</b>	1,08	<b>0,85</b>	0,90	<b>0,69</b>	0,27	<b>0,21</b>
	1998	0,72	<b>0,72</b>	0,58	<b>0,30</b>	1,21	<b>1,02</b>	0,94	<b>0,76</b>	0,27	<b>0,23</b>
	2000	0,86	<b>0,86</b>	0,77	<b>0,42</b>	1,04	<b>0,77</b>	0,90	<b>0,63</b>	0,30	<b>0,22</b>
	2001	0,89	<b>0,90</b>	0,77	<b>0,48</b>	1,09	<b>0,83</b>	0,93	<b>0,68</b>	0,28	<b>0,22</b>
	2002	0,82	<b>0,83</b>	0,86	<b>0,54</b>	1,09	<b>0,83</b>	0,94	<b>0,68</b>	0,32	<b>0,24</b>
	2003	0,89	<b>0,89</b>	0,61	<b>0,31</b>	1,01	<b>0,78</b>	0,85	<b>0,63</b>	0,27	<b>0,21</b>
	Tümü	0,85	<b>0,86</b>	0,70	<b>0,40</b>	1,07	<b>0,83</b>	0,90	<b>0,67</b>	0,28	<b>0,22</b>
Gloria ( $T_{pik}$ )	2006	0,44	<b>0,43</b>	-0,33	<b>-0,55</b>	1,58	<b>1,65</b>	1,20	<b>1,26</b>	0,35	<b>0,36</b>
	2007	0,42	<b>0,41</b>	-0,31	<b>-0,53</b>	1,58	<b>1,65</b>	1,21	<b>1,26</b>	0,34	<b>0,36</b>
	2008	0,45	<b>0,44</b>	0,08	<b>-0,13</b>	1,52	<b>1,54</b>	1,15	<b>1,18</b>	0,31	<b>0,31</b>
	2009	0,32	<b>0,31</b>	0,31	<b>0,10</b>	1,70	<b>1,69</b>	1,34	<b>1,32</b>	0,33	<b>0,33</b>
	Tümü	0,40	<b>0,39</b>	-0,06	<b>-0,28</b>	1,59	<b>1,63</b>	1,22	<b>1,26</b>	0,33	<b>0,34</b>

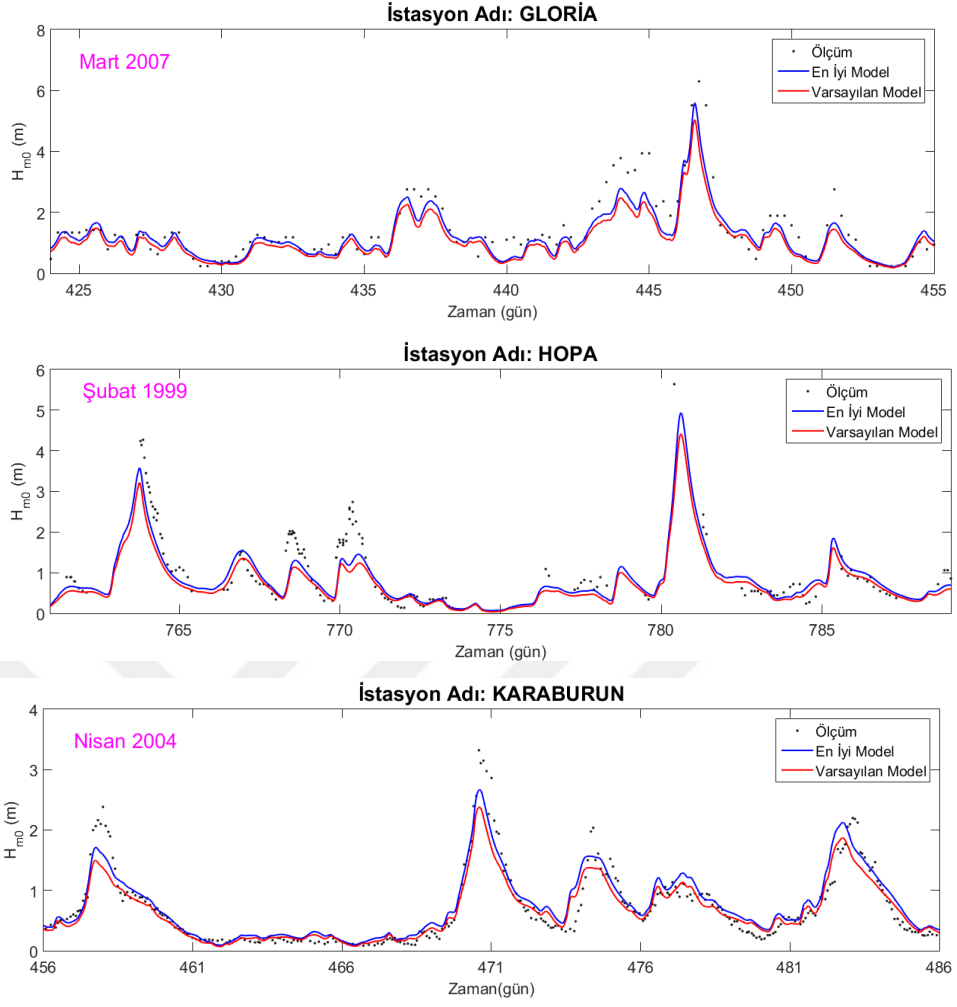
a: Varsayılan model; b: Kalibre edilen model

Bu çizelgelardan da görülebileceği gibi, kalibre edilen SWAN model sonuçlarının hata istatistiği, dört farklı istatistiksel hata parametresine (Bias, RMSE, MAE, SI ve R) dayanarak beş farklı istasyonda mevcut verilerin bulunduğu her yıl için ayrı ayrı ve bütün veri için sunulmuştur. Ayrıca, kalibre edilen model performansının iyi olduğunu gösterebilmek için, varsayılan ayarlamalı SWAN model simülasyonları da yürütülmüş ve elde edilen sonuçların hata istatistiği çıkartılarak bu Çizelgelarda varsayılan model olarak verilmiştir. Çizelgelardaki hata parametre değerleri incelendiğinde, yalnızca Gloria istasyonunda pik dalga periyodunun tahminlerinde Bias ve RMSE değerlerinde kalibre edilen modelde daha kötü sonuçların elde edildiği, diğerlerinde ise kalibre edilen SWAN modelin daha iyi bir performansa sahip olduğu görülmektedir.

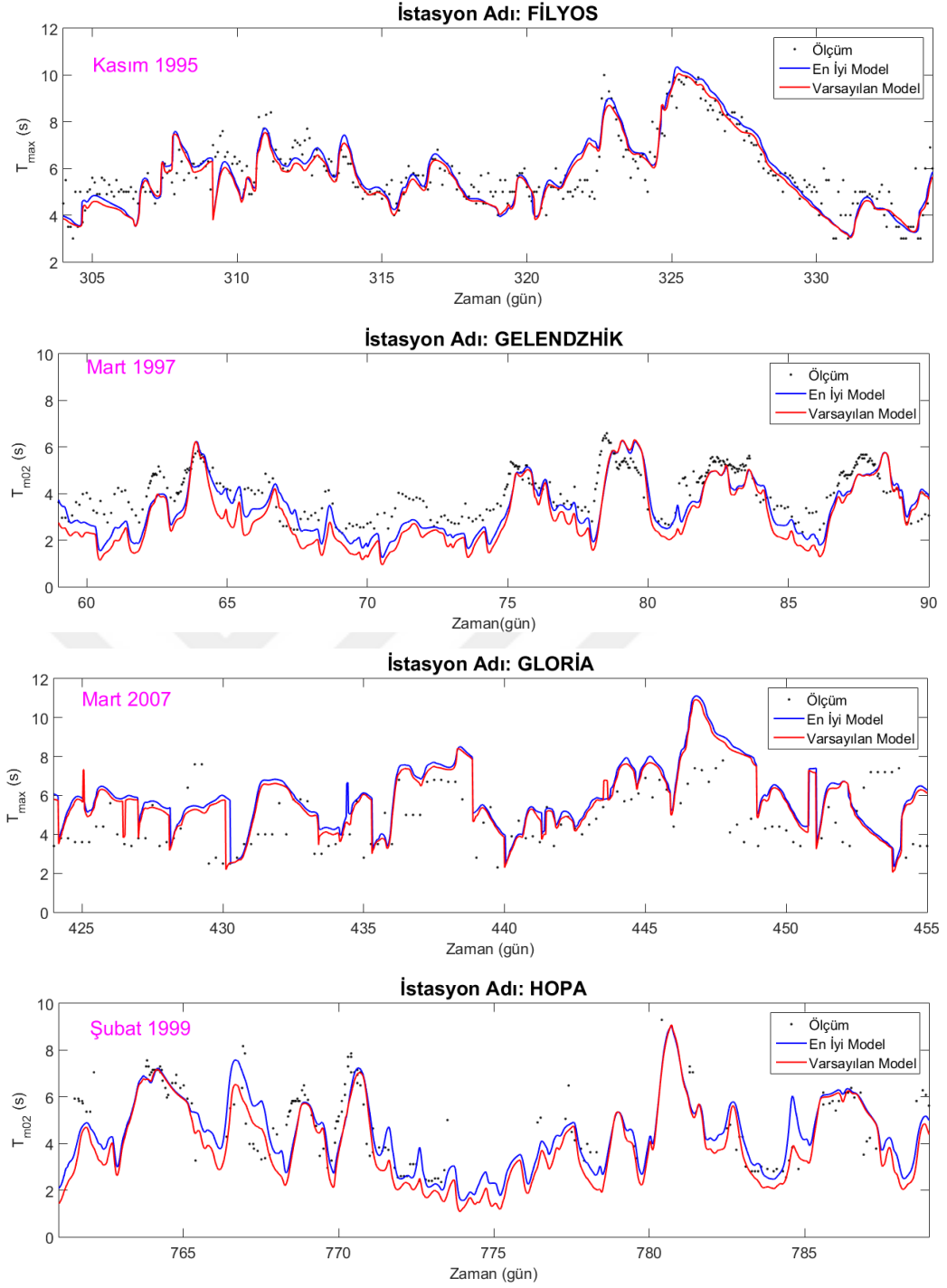
Model performanslarının görsel kıyaslaması için her istasyonda seçilen 1 aylık bir periyot için ölçüm verisine karşı kalibre edilen ve varsayılan ayarlamalı SWAN model tahminlerinin zaman serileri kıyaslaması Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da ve her istasyonda bütün eşzamanlı veriye dayanarak ölçümlere karşı kalibre edilen (en iyi) model tahminlerinin ve ölçümlere karşı varsayılan model tahminlerinin saçılım diyagramları Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de sunulmuştur. Doğrulama periyodu boyunca mevcut tüm ölçümlere karşı tahminlerin zaman serisi kıyaslaması Ek 8'de verilmiştir. Bu grafiklerden de, kalibre edilen modelin varsayılan ayarlamalı modele kıyasla ölçümlerle çok daha uyumlu olduğu, yalnızca Gloria istasyonunda daha kötü bir performansa sahip olduğu anlaşılmaktadır.



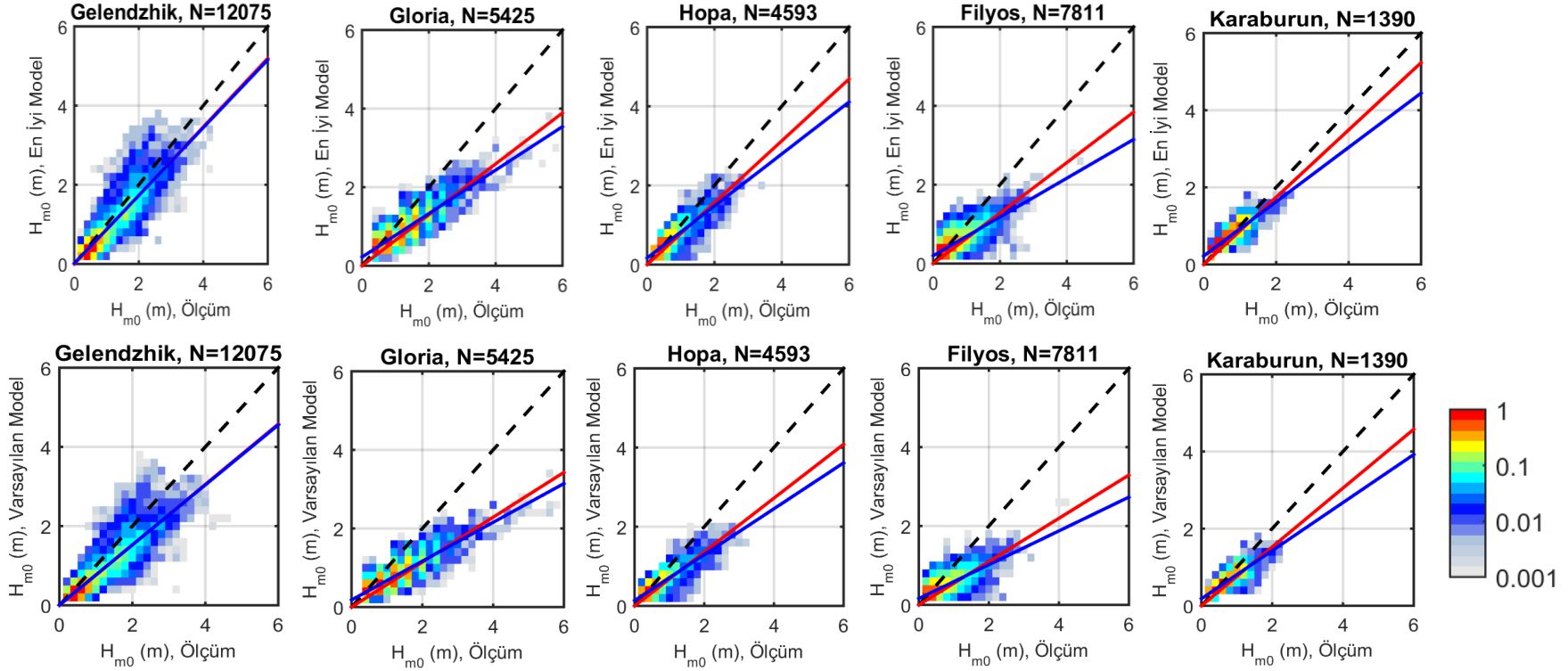
**Şekil 4. 9.** Filyos, Gelendzhik, Gloria, Hopa ve Karaburun ölçüm istasyonlarında kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  tahminlerinin ölçümlere karşı zaman serilerinin kıyaslaması



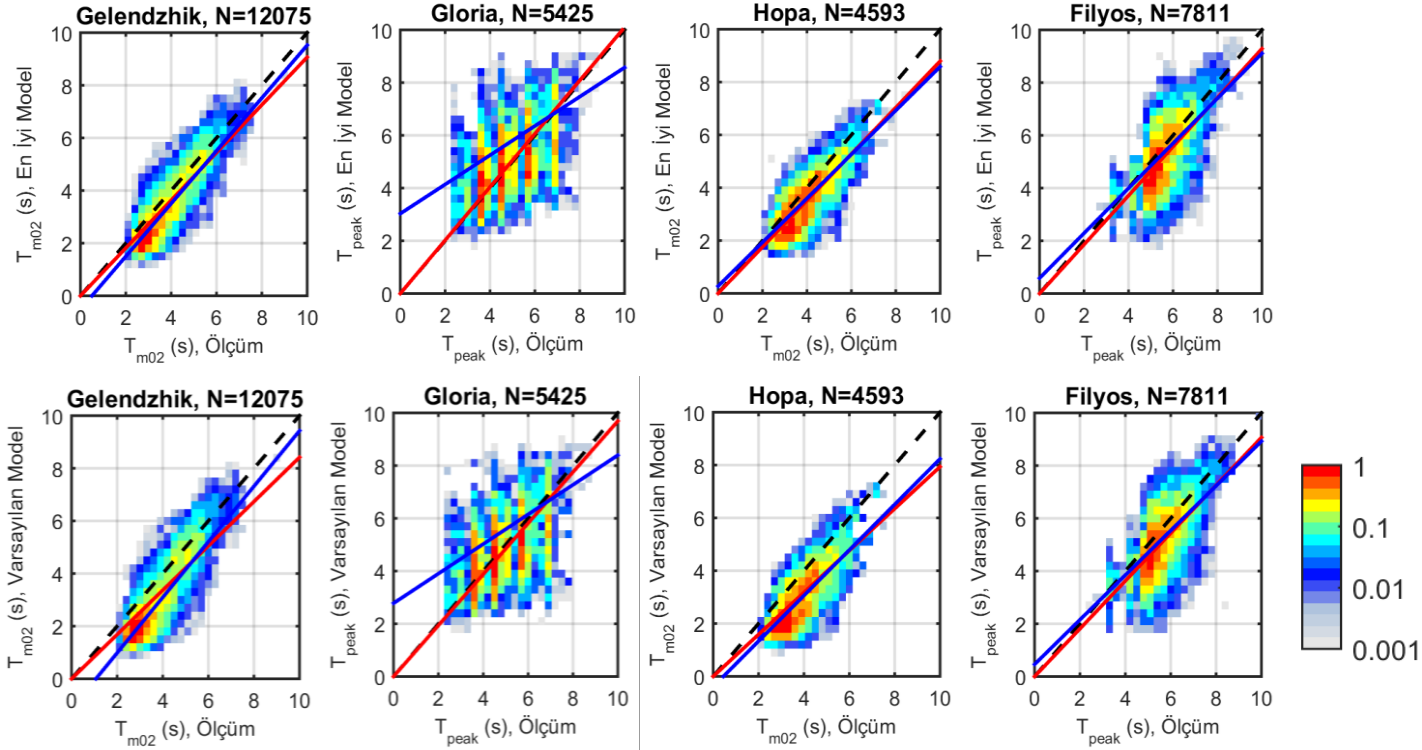
Şekil 4. 9. devamı



**Şekil 4. 10.** Beş ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $T_{m02}$  (veya  $T_{pik}$ ) tahminlerinin ölçümlere karşı zaman serilerinin kıyaslaması



**Şekil 4. 11.** Beş ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  tahminlerinin ölçümlere karşı saçılım diyagramları



**Şekil 4. 12.** Beş ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $T_{m02}$  veya  $T_{pik}$  tahminlerinin ölçümlere karşı saçılım diyagramları

#### 4.2.2. Orta (İnce) Karelaj için Geliştirilen Sayısal Modelin Doğrulanması

Orta karelaj için SWAN model kaba karelajda kalibre edilen SWAN modelden sınır şartlarını alarak Gloria istasyonundaki 2006 yılının ölçümleri ile kalibre edilmiştir. Bu karelajda kalibre edilen modelin doğrulanması, kalibrasyonda kullanılmayan aynı istasyondaki 2007 – 2009 yılları arasındaki ölçümler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçların başka bir istasyonda doğrulanamamasının nedeni, bu karelaj içerisine yalnızca 1 ölçüm istasyonunun denk gelmesidir. Orta karelaj için kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modeller ile tahmin edilmiş  $H_{m0}$  ve  $T_p$  verilerinin ölçüm verilerine karşı hata istatistikleri Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de sunulmuştur.

**Çizelge 4. 6.** Orta karelaj için kalibre edilen ve varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçlarının ( $H_{m0}$  için) Gloria istasyonundaki ölçümlere karşı hata istatistiği

	Yıl	R	Bias (m)	RMSE (m)	MAE (m)	SI
Varsayılan Model	2007	0,77	0,48	0,81	0,57	0,62
	2008	0,88	0,54	0,79	0,57	0,59
	2009	0,78	0,50	0,74	0,55	0,60
Kalibre Edilen Model	2007	<b>0,76</b>	<b>-0,01</b>	<b>0,66</b>	<b>0,44</b>	<b>0,51</b>
	2008	<b>0,87</b>	<b>0,05</b>	<b>0,49</b>	<b>0,36</b>	<b>0,37</b>
	2009	<b>0,80</b>	<b>0,07</b>	<b>0,53</b>	<b>0,38</b>	<b>0,43</b>

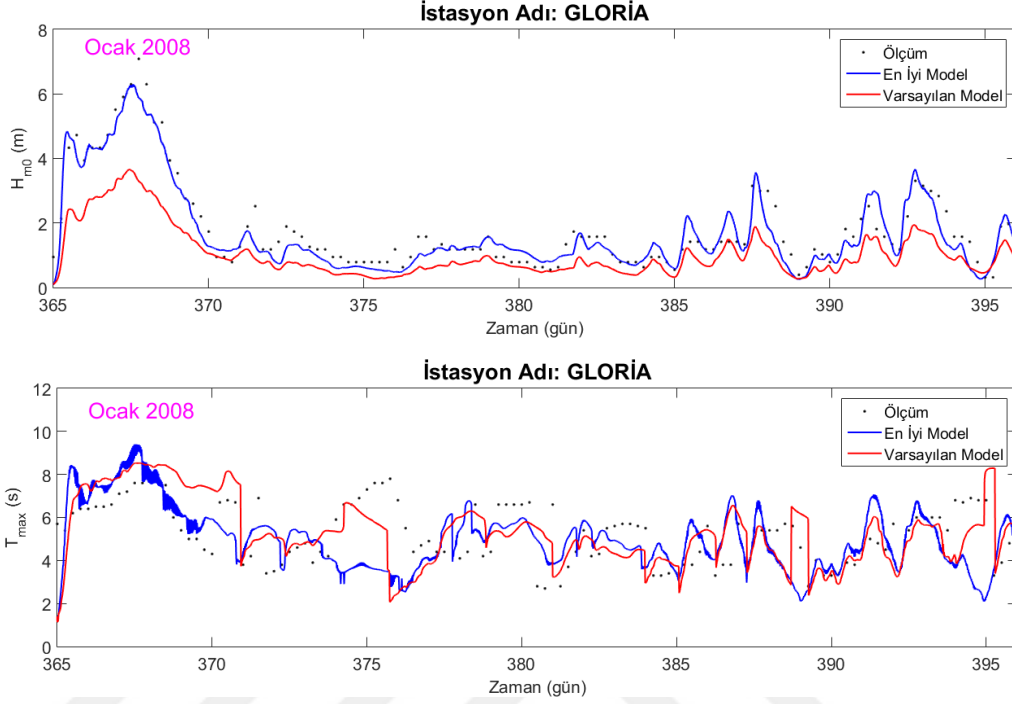
**Çizelge 4. 7.** Orta karelaj için kalibre edilen ve varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçlarının ( $T_{pik}$  için) Gloria istasyonundaki ölçümlere karşı hata istatistiği

	Yıl	R	Bias (s)	RMSE (s)	MAE(s)	SI
Varsayılan Model	2007	0,38	-0,23	1,67	1,27	0,36
	2008	0,40	0,13	1,67	1,27	0,34
	2009	0,29	0,40	1,83	1,42	0,36
Kalibre Edilen Model	2007	<b>0,39</b>	<b>0,04</b>	<b>1,59</b>	<b>1,21</b>	<b>0,34</b>
	2008	<b>0,35</b>	<b>0,40</b>	<b>1,70</b>	<b>1,28</b>	<b>0,34</b>
	2009	<b>0,28</b>	<b>0,70</b>	<b>1,84</b>	<b>1,42</b>	<b>0,36</b>

Gloria ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  ve  $T_{pik}$  tahminlerinin ölçümlere karşı 1 aylık bir dönem için zaman serilerinin kıyaslaması ve 2007 – 2009 yılları arasındaki tüm veri için saçılım diyagramları sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te sunulmuştur. Tüm verinin zaman serisi kıyaslaması ise Ek 9’da verilmiştir. Yukarıdaki hata istatistiğinden ve aşağıdaki grafiklerden de görülebileceği gibi, kaba karelaj için geliştirilen kalibre edilmiş SWAN model

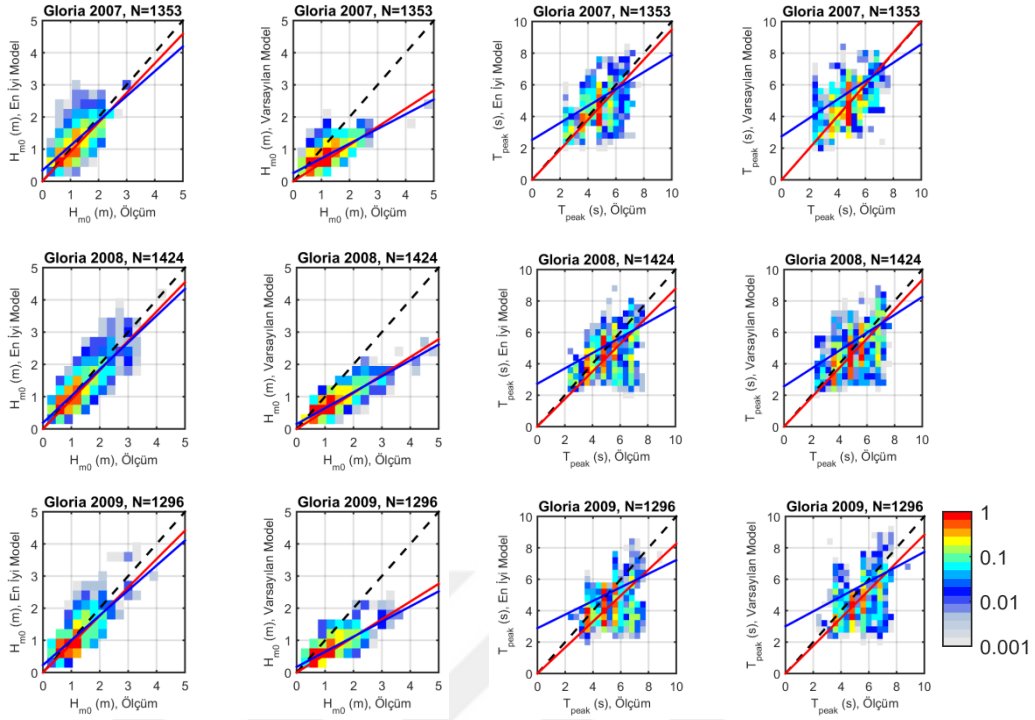


tahminlerinde daha kötü performansa sahip olan Gloria istasyonunda önemli derecede iyileşme (daha düşük hata ve daha yüksek korelasyon) elde edilmiştir.



**Şekil 4. 13.** Gloria ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  ve  $T_{max}$  tahminlerinin ölçümlere karşı zaman serilerinin kıyaslaması

Kaba kareyaj için kalibre edilen SWAN modelden alınan sınır şartları ile çalıştırılan ve orta karelajda kalibre edilen SWAN model sonuçları varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçlarına göre çok daha iyi çıkmıştır. Belirgin dalga yüksekliğinin yıllık ortalama bias değeri varsayılan ayarlamalı model durumunda 0,51 m iken kalibre edilen model durumunda 0,04 m civarında olduğu görülmektedir. Ayrıca, varsayılan modele kıyasla kalibre edilen modelle belirgin dalga yüksekliğinin tahminlerinde yaklaşık %16 değerinde bir iyileşmenin elde edildiği görülmektedir. Bu, kalibre edilen iç içe geçmiş katmanlı dalga tahmin modelindeki gelişmeyi göstermektedir.



**Şekil 4. 14.** Gloria ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  ve  $T_{max}$  tahminlerinin 2007 – 2009 yılları arasındaki ölçümlere karşı saçılım diyagramları

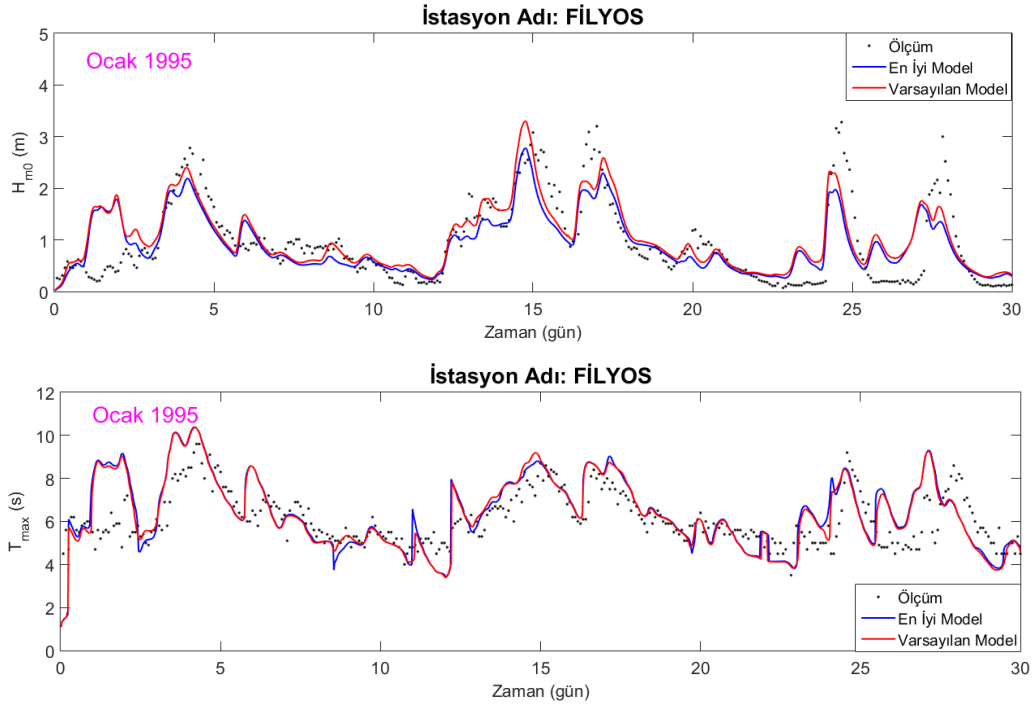
#### 4.2.3. Üç Alt Karelaj (SD1, SD2 ve SD3) için Geliştirilen Sayısal Modelin Doğrulaması

Her üç alt karelaj için de, orta karelaj için kalibre edilmiş SWAN modelden türetilen sınır şartları kullanılarak ayrı ayrı kurulan üç SWAN model için kalibrasyon işlemi yürütülmüş ve her bir alt karelaj için SWAN model kalibre edilmiştir. Kalibre edilen bu SWAN modellerin performansları SD2 alt karelajı için Filyos istasyonundaki 1995 yılı ölçümleri ve SD3 alt karelajı için Karaburun istasyonundaki 2003 yılı ölçümleri kullanılarak irdelenmiştir. SD1 alt karelajı için ise, mevcut ölçümlerin azlığı nedeniyle bütün mevcut veri kalibrasyonda kullanılmış ve bu yüzden doğrulama yapılamamıştır. SD2 alt karelajı için kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN model ile tahmin edilmiş  $H_{m0}$  ve  $T_{m02}$  (veya  $T_p$ ) verilerinin ölçüm verilerine karşı hata istatistikleri Çizelge 4.8’de sunulmuştur.

**Çizelge 4. 8.** SD2 alt karelağı için kalibre edilen ve varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçlarının ( $H_{m0}$  ve  $T_{max}$  için) Filyos istasyonundaki 1995 yılı ölçümlerine karşı hata istatistiğı

	$H_{m0}$					$T_{max}$				
	R	Bias (m)	RMSE (m)	MAE (m)	SI	R	Bias (s)	RMSE (s)	MAE (s)	SI
Varsayılan Model	0,85	-0,09	0,35	0,26	0,54	0,70	0,02	1,05	0,80	0,19
En İyi Model	0,84	0,01	0,36	0,24	0,55	0,67	0,01	1,11	0,84	0,20

Filyos ölçüm istasyonunda 1 aylık bir periyot için kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  ve  $T_{max}$  tahminlerinin ölçümlere karşı zaman serilerinin kıyaslaması ve 1995 yılının tüm verisi için saçılım diyagramları Şekil 4.15 – Şekil 4.16’da sunulmuştur. 1995 yılının tüm verisi için zaman serileri kıyaslaması ise Ek 10’da verilmiştir.

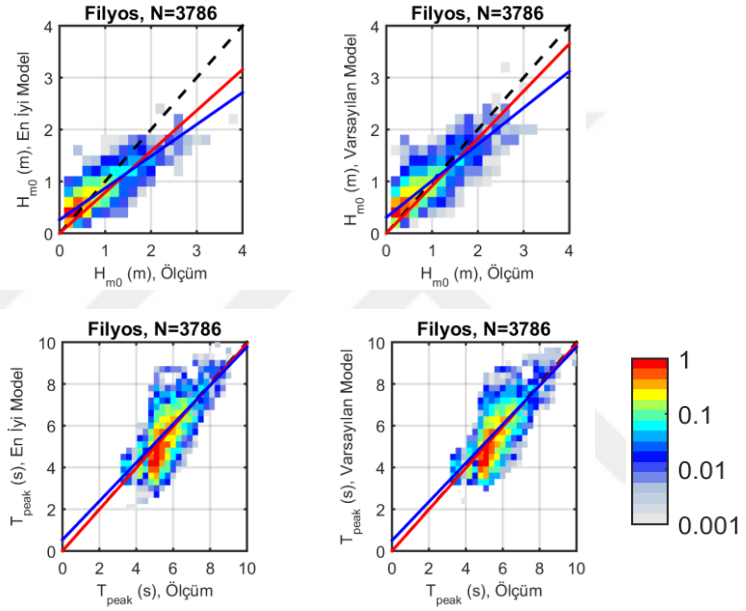


**Şekil 4. 15.** Filyos ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  ve  $T_{max}$  tahminlerinin ölçümlere karşı zaman serilerinin kıyaslaması

SD3 alt karelağı için kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN model ile tahmin edilmiş  $H_{m0}$  verilerinin ölçüm verilerine karşı hata istatistikleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

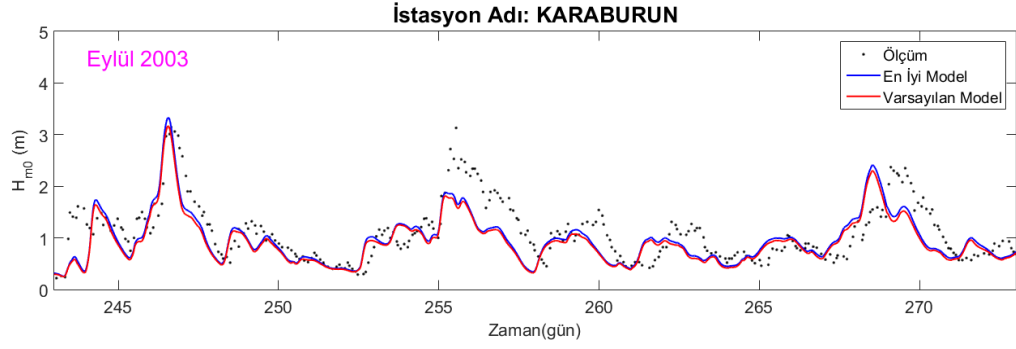
**Çizelge 4. 9.** SD3 alt karelağı için kalibre edilen ve varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçlarının ( $H_{m0}$  için) Karaburun istasyonundaki 2003 yılı ölçümlerine karşı hata istatistiğı

	R	Bias (m)	RMSE (m)	MAE (m)	SI
Varsayılan Model	0,70	0,18	0,47	0,35	0,48
En İyi Model	0,70	0,14	0,46	0,35	0,47

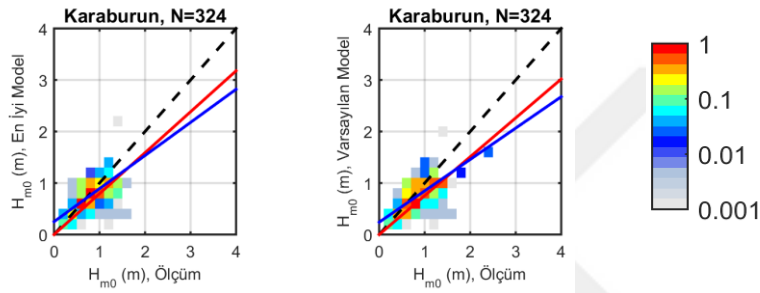


**Şekil 4. 16.** Filyos ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  ve  $T_{max}$  tahminlerinin ölçümlere karşı saçılım diyagramları

Karaburun ölçüm istasyonunda 1 aylık bir periyot için kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  tahminlerinin ölçümlere karşı zaman serilerinin kıyaslaması ve 2003 yılı verileri için saçılım diyagramları sırasıyla Şekil 4.17 – Şekil 4.18’de sunulmuştur.



**Şekil 4. 17.** Karaburun ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  tahminlerinin ölçümlere karşı zaman serilerinin kıyaslaması



**Şekil 4. 18.** Karaburun ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  tahminlerinin 2003 yılı ölçümlerine karşı saçılım diyagramları

Yukarıdaki grafiklerden ve hata istatistiklerinden de görülebileceği gibi, alt kareajlarda model kalibrasyonlarında bir miktar iyileşme gözlemlenmesine karşın belirgin bir gelişme sağlanamamıştır. Ancak, geliştirilen iç içe geçmiş kareaj sistemi ile gerçekleştirilen dalga tahminlerinde önemli derecede gelişmenin elde edildiği görülmektedir. Örneğin, kaba kareaj için çalıştırılan varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçlarının Filyos istasyonunda 1995 yılı hata istatistiği  $H_{m0}$  için Bias=0,21, RMSE=0,44, SI=0,67 ve R=0,86 ve  $T_{m02}$  için Bias=0,43, RMSE=1,08, SI=0,20 ve R=0,73'tür. İç içe geçmiş kareaj sisteminde Filyos istasyonunda 1995 yılı hata istatistiği ise  $H_{m0}$  için Bias=0,01, RMSE=0,36, SI=0,55 ve R=0,84 ve  $T_{m02}$  için Bias=0,01, RMSE=1,11, SI=0,20 ve R=0,67'dir. Sonuçta, Tüm Karadeniz için çalıştırılan SWAN modele göre, kalibre edilen iç içe geçmiş kareajlı SWAN model belirgin dalga yüksekliklerinin tahmininde %12 ve dalga periyodunun tahmininde %1'lik bir gelişme sağlamaktadır. Ayrıca, dalga yüksekliğinin piklerinin tahminlerinde de önemli bir gelişme elde edilmiştir.

### 4.3.Karadeniz'in Güney Batı Kıyılarının Dalga Şartları

Geliştirilen iç içe geçmiş karelaçlı SWAN model, her üç alt karelaç için de ayrı ayrı çalıştırılarak 31 yıllık bir süre (1979 - 2009) için simülasyonlar yürütülmüştür. İlgilenilen rüzgar ve dalga parametreleri (rüzgar hız bileşenleri, belirgin dalga yüksekliği, pik periyot, enerji periyodu, ortalama periyot, ortalama dalga yönü vb.), noktasal ve alansal çıktı olarak her alt karelaç için 31 yıl boyunca biriktirilmiştir. Alansal çıktılar, her alt karelaçta 2 saatlik bir zaman çözünürlüğünde biriktirilirken, noktasal çıktılar Filyos alt karelaç için 30 dakika, Sinop alt karelaç için 10 dakika ve Karaburun alt karelaç için 20 dakikalık bir zamansal çözünürlükte biriktirilmiştir.

Her üç alt karelaç için ayrı ayrı 31 yıl boyunca biriktirilen bu veri setinden yararlanılarak

- ✓ belirgin dalga yüksekliğinin, ortalama dalga yönünün ve dalga enerji periyodunun 31 yıl boyunca ve her yıl için ayrı ayrı yıllık, mevsimlik ve aylık ortalama alansal değişimleri,
- ✓ zamanın %5 ve %1'inde dalgaların aşılma olasılıklı belirgin dalga yüksekliklerinin 31 yıl boyunca ve her yıl için ayrı ayrı alansal değişimleri,
- ✓ belirgin dalga yüksekliğinin 0,5 m ve 4 m 'den daha büyük olma olasılığının 31 yıl boyunca ve her yıl için ayrı ayrı alansal değişimleri
- ✓ belirgin dalga yüksekliğinin 31 yıl boyunca maksimum değerlerinin alansal dağılımları
- ✓ Her bir alt karelaçta seçilmiş istasyonlar için dalga gülleri
- ✓ Her bir alt karelaçta seçilmiş istasyonlar için dalga parametrelerinin ikili ilişkileri
- ✓ Her bir alt karelaçta seçilmiş istasyonlar için farklı tekerrürlü ekstrem dalgalar

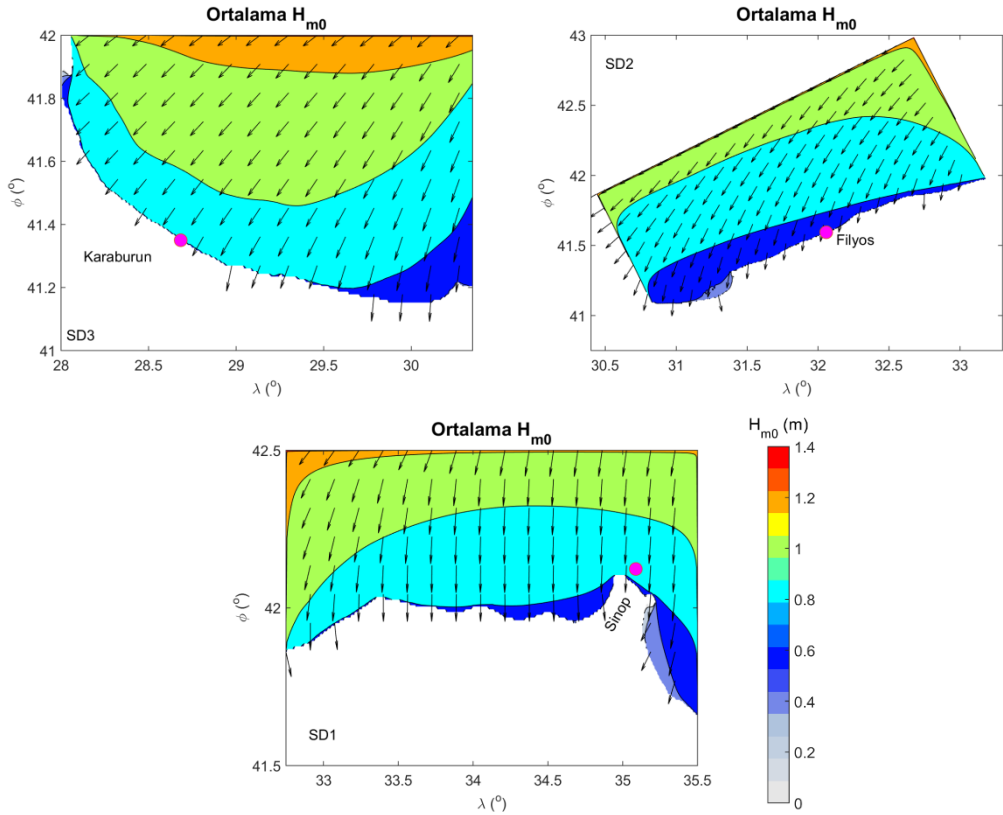
belirlenmiş ve irdelenmiştir.

Günümüzde, Türkiye kıyılarında herhangi bir yapının tasarımında ana kaynak olarak kullanılan Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002)'nin her bir alt karelaçta seçilmiş ikişer lokasyonda sunulan dalga gülleri, belirgin dalga yüksekliğinin ortalama dalga periyodu ilişkisi ve farklı tekerrürlü ekstrem

dalgaların bu çalışma kapsamında üretilen uzun dönemli veriden türetilenlerle kıyaslaması da gerçekleştirilmiştir.

#### 4.3.1. Yıllık, Mevsimlik ve Aylık Ortalama Belirgin Dalga Yüksekliği

Modelleme çalışması sonucunda her alt kareyaj için üretilen 31 yıllık uzun dönemli dalga parametrelerini içeren veri seti kullanılarak öncelikle belirgin dalga yüksekliğinin ve ortalama dalga yönünün uzun dönemli ortalama yıllık, mevsimlik ve aylık alansal değişimleri hesaplanmış ve Şekil 4.19 – Şekil 4.23'te sunulmuştur. Bunların yanında, her yıl için de ayrı ayrı her alt kareyaj için belirgin dalga yüksekliğinin uzun dönemli ortalama yıllık, mevsimlik ve aylık alansal değişimleri hesaplanmış ve CD Ekinde verilmiştir.

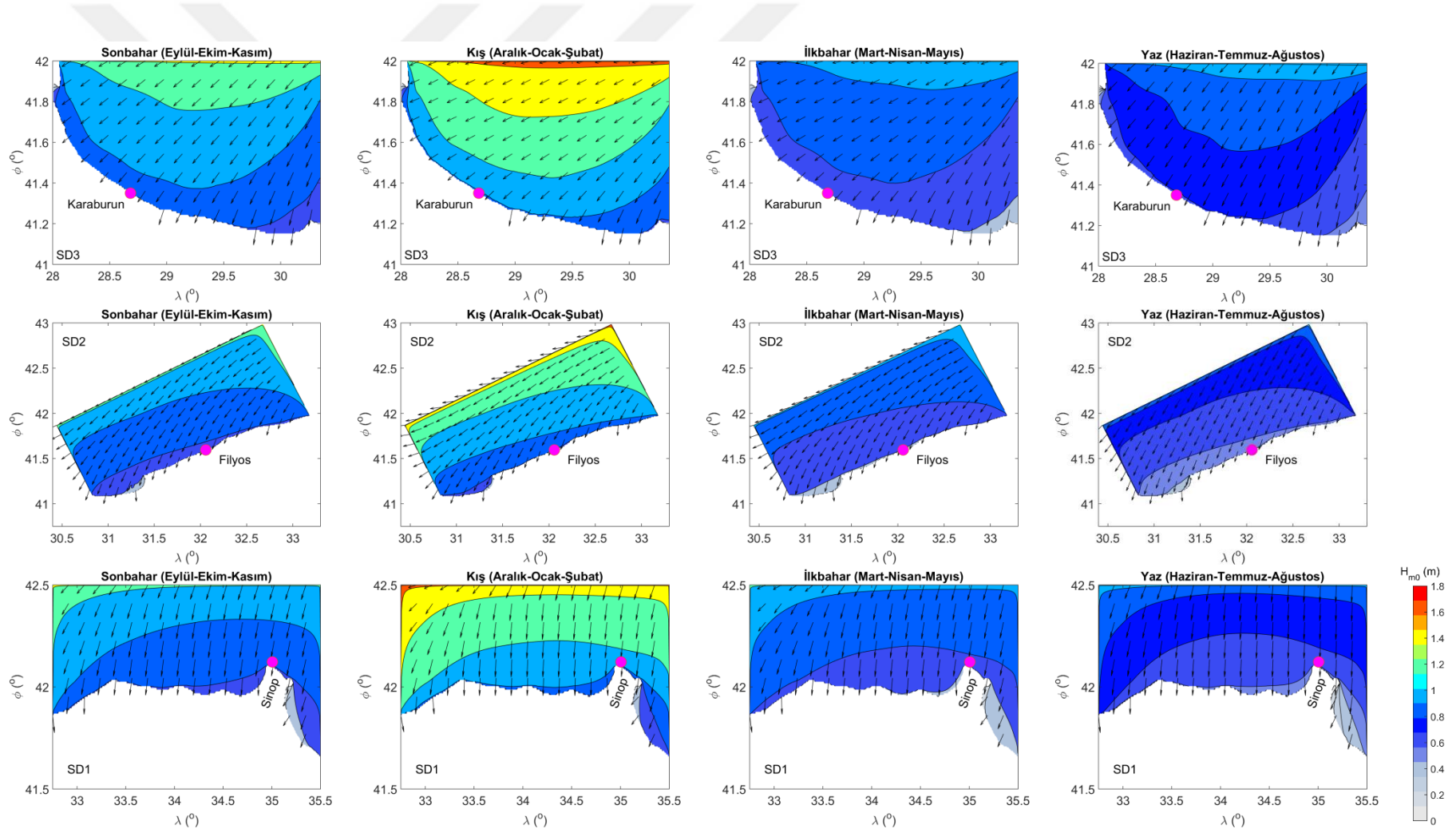


**Şekil 4. 19.** SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) kareyajlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca yıllık ortalama belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga yönü

Şekil 4.19'e göre, bütün alt karelajların kıyıları boyunca 31 yıllık ortalama belirgin dalga yüksekliğinin en yüksek olduğu bölge (yaklaşık olarak 0,8 m) Karaburun SD3 alt karelajında İstanbul ili Şile sahilinden Bulgaristan sınırına kadar olan, Bartın ili Hisarköy sahilinden İnebolu sahiline kadar olan alan ve İnce Burun ve Sinop Burnu arasındaki kıyı şeridi olarak belirlenmiştir. Ortalama dalga yönü ise, Karaburun ve Filyos alt karelajlarında Kuzey Doğu iken, Sinop alt karelajında Kuzey olduğu gözlenmektedir.







**Şekil 4. 20.** SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) karelejalarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca mevsimsel ortalama belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga yönü

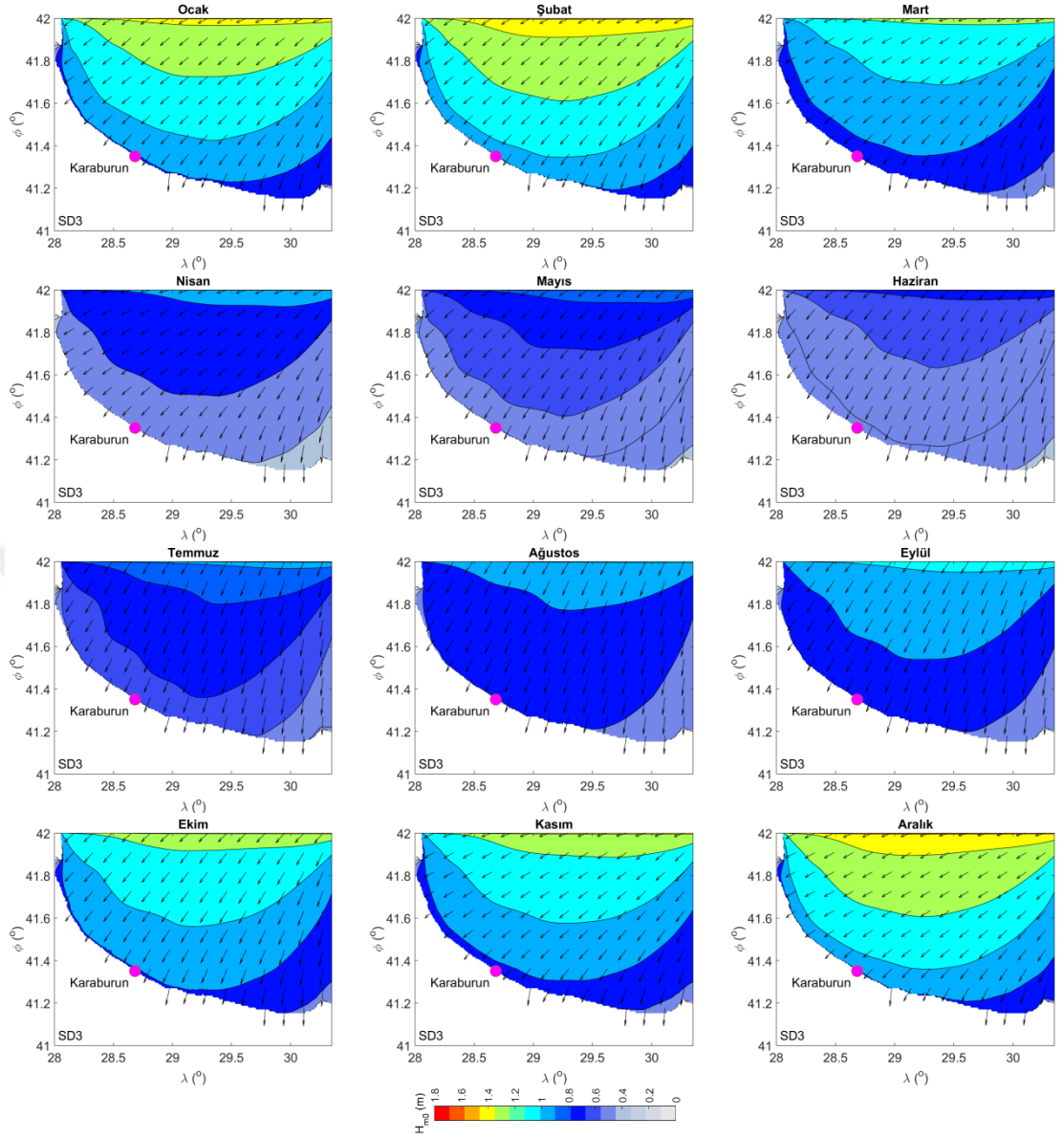
Şekil 4.20'deki her bir alt karelaj için belirlenmiş olan 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca mevsimsel ortalama belirgin dalga yüksekliğinin alansal dağılım haritalarına göre; en yüksek ortalama belirgin dalga yüksekliğine sahip mevsim kış ve daha sonra sonbahar iken yaz ve ilkbahar mevsimlerinde birbirine yakın değerlerin görüldüğü belirlenmiştir. Karaburun SD3 karelajında ilkbahar döneminde karelajın batı bölgesinde 0,6 m 'lik ortalama  $H_{m0}$  gözlenirken doğu tarafında azalarak 0,4 m'lik dalgaların uzun dönemli ortalama olarak görüldüğü tespit edilmiştir. Yaz mevsiminde, Karaburun ölçüm istasyonu civarı 0,8 m yüksekliğindeki dalgalara maruz kalırken ölçüm istasyonunun batısı ve doğusuna doğru bu değer azaldığı belirlenmiştir. Sonbahar ve kış mevsimlerinde ise, karelajın batı tarafında sırasıyla 0,8 m ve 1 m yüksekliğindeki dalgalar oluşmuşken doğu tarafında 0,4 m ve 0,6 m yüksekliğindeki dalgaların oluştuğu tespit edilmiştir. Bu alt karelajın tüm yüzeylerinde her mevsim için ortalama dalga yönünün Kuzey Doğu olduğu da belirlenmiştir.

Filyos SD2 karelajında; ilkbahar mevsiminde kıyı şeridinin büyük bir bölümü boyunca 0,6 m yüksekliğinde, yaz mevsiminde 0,4 m ve daha düşük yükseklikte ve kış mevsiminde 0,8 m yüksekliğinde dalgalar oluşmuştur. Sonbaharda, Filyos ölçüm istasyonunun batısında 0,6 m ve doğusunda 0,8 m yüksekliğinde dalgalar görülmüştür. Bu karelajda, bütün mevsimlerde Baba Burnu'ndan Karasu sahiline kadarki bölge en düşük yükseklikte dalgalara maruz kalmıştır. Ayrıca, yaz mevsiminde karelajın doğu köşesine doğru daha yüksek dalgaların oluştuğu da görülmektedir. Sinop SD1 karelajında; ilkbahar ve yaz mevsimlerinde bütün kıyı şeridi boyunca 0,6 m'lik dalgalar hakimken Sinop burnunun doğusunda koyda azalarak 0,4 m'den daha düşük ortalama yükseklikli dalgalar görülmektedir. Sonbahar ve kış mevsimlerinde, Sinop burnunun doğu ve İnce Burun'un batı sahillerinde sırasıyla 0,6 m ve 0,8 m yükseklikli ve diğer bütün kıyı alanlarında 1 m ve 1,1 m yükseklikli dalgaların oluştuğu belirlenmiştir. Filyos SD2 alt karelajının tüm yüzeylerinde her mevsim için ortalama dalga yönünün Kuzey Doğu ve Sinop SD1 alt karelajının tüm yüzeylerinde her mevsim için ortalama dalga yönünün Kuzey olduğu da belirlenmiştir.

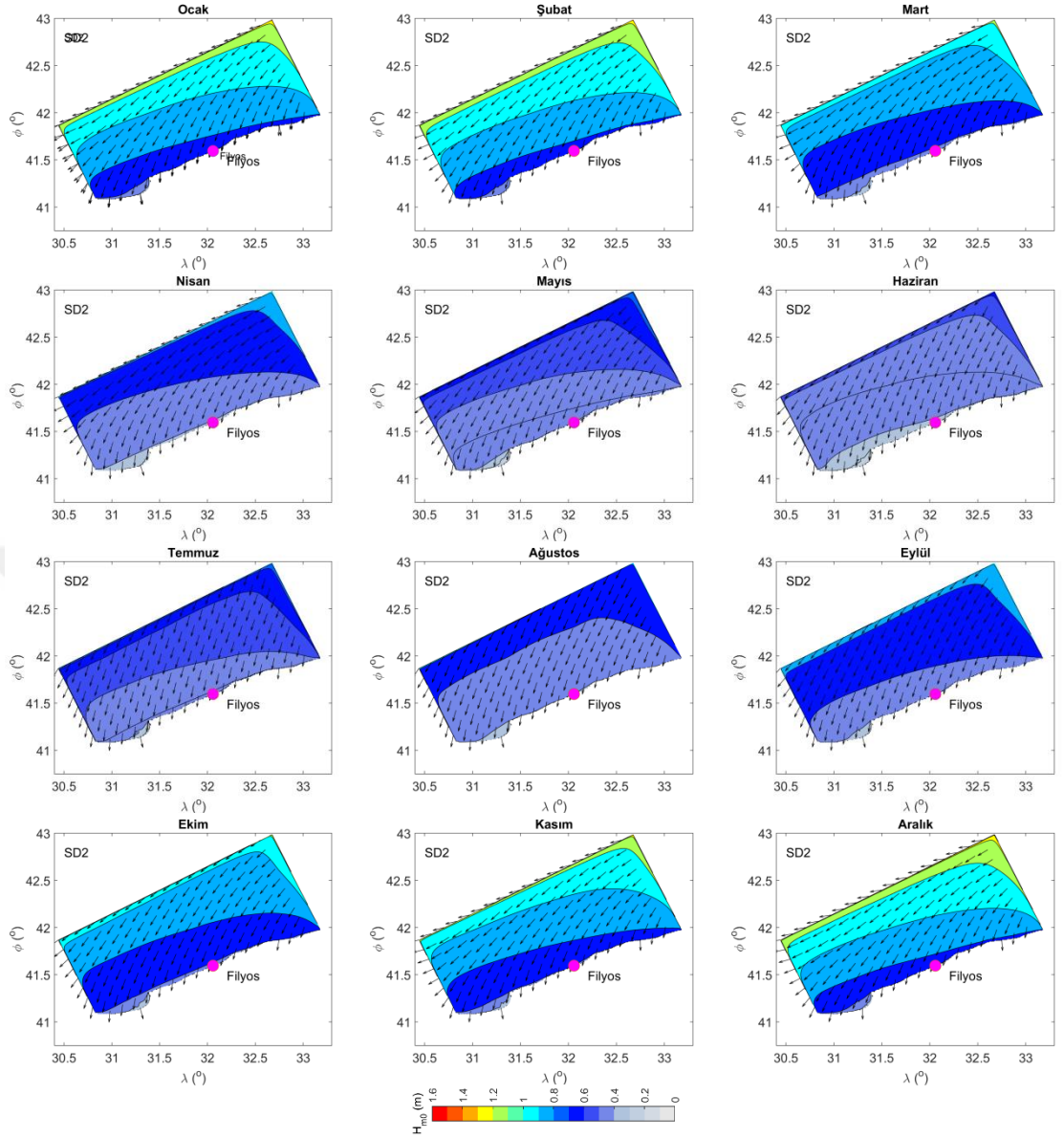
Şekil 4.21, Karaburun SD3 karelajına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama belirgin dalga yüksekliğinin alansal dağılımlarını göstermektedir. Bu

alansal dağılım haritaları Şekil 4.19'daki tüm verinin ortalama yıllık alansal dağılım haritası ile benzer özellik taşımaya karşın değer olarak farklılık göstermektedir. Kış mevsimi ayları olan Aralık, Ocak ve Şubat aylarında kıyı şeridinin büyük çoğunluğu 1,1 m'lik dalgalara maruz kalmaktadır. Mart ayında 1 m ve Nisan ve Mayıs aylarında 0,6 m'lik ortalama yükseklikli dalgaların oluştuğu belirlenmiştir. Haziran ayında sahil şeridinin tamamı 0,4 m ve daha düşük yükseklikli dalgalara maruz kalırken diğer ayların tamamında kıyı şeridinin büyük çoğunluğunda 0,8 m'lik dalgaların oluştuğu görülmüştür. Bu kareleajda, farklı aylarda dalgaların Kuzey Kuzey Doğu ve Kuzey Doğu yönlerinden geldiği belirlenmiştir.

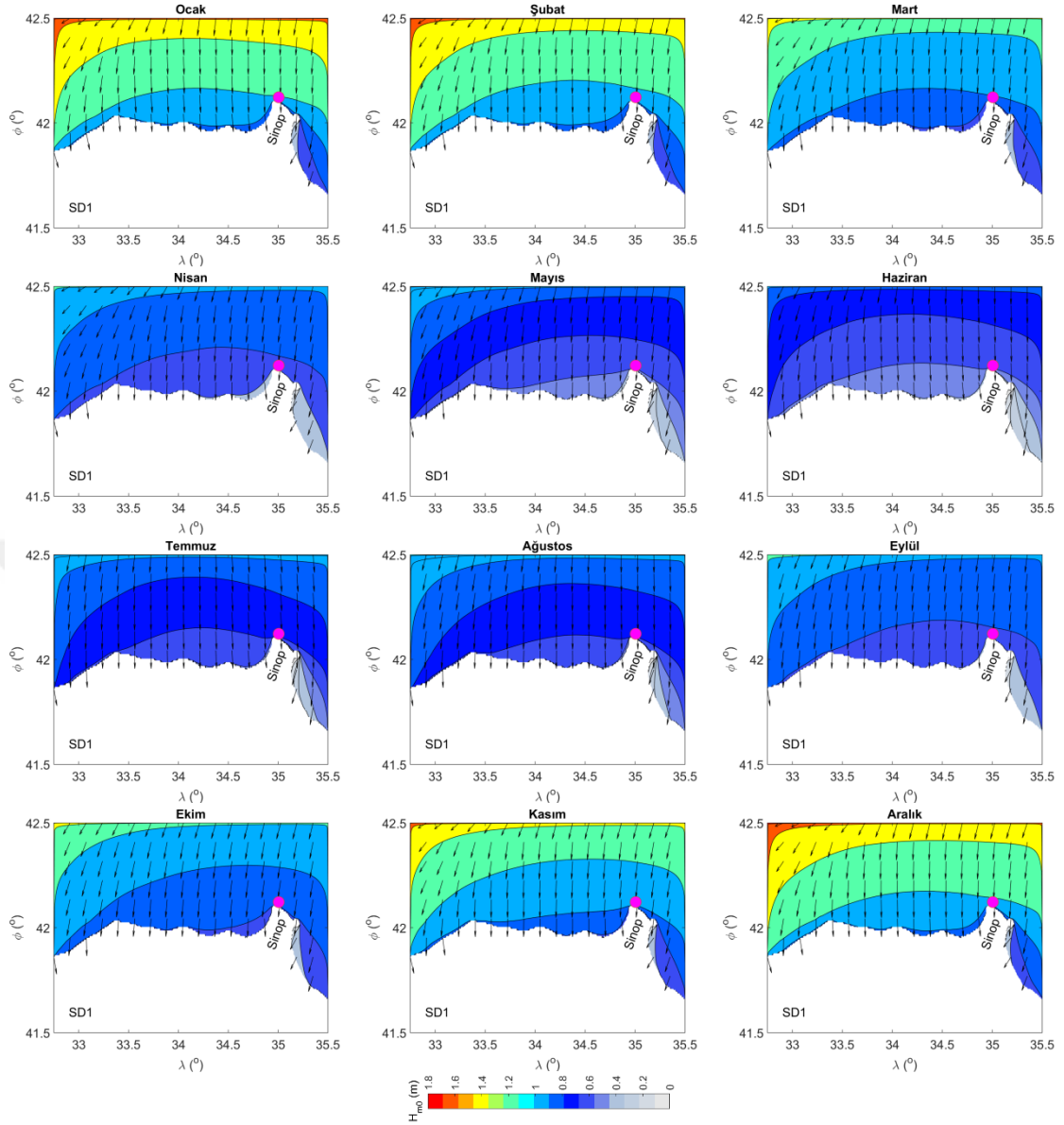
Filyos SD2 kareleajına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama belirgin dalga yüksekliğinin alansal dağılımları incelendiğinde (Şekil 4.22); Mayıs ve Nisan aylarının en düşük yükseklikli dalgalara (<0,4 m) maruz kaldığı görülmüştür. En büyük yükseklikli dalgalarla Aralık, Ocak, Şubat, Ekim ve Kasım aylarında 1 m olarak karşılaşıldığı anlaşılmıştır. Mart ayında kareleajın doğu tarafında 1 m yüksekliğinde dalgalar oluşmuşken batı tarafında Nisan, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında olduğu gibi 0,6 m'lik dalgalar görülmüştür. Şekil 4.23, Sinop SD1 kareleajına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama belirgin dalga yüksekliğinin alansal dağılımlarını sunmaktadır. Bu kareleajda, kış mevsimini temsil eden Aralık, Ocak ve Şubat aylarında kıyı boyunca ve Kasım ayında kareleajın batı tarafında 1,1 m'lik dalgaların oluştuğu gözlemlenmiştir. Mart ve Ekim aylarında 1 m, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında 0,6 m ve Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında 0,8 m büyüklüğündeki dalgaların oluştuğu belirlenmiştir. Filyos DS2 alt kareleajında dalgaların bütün aylarda Kuzey doğu yönünden geldiği ve Sinop SD1 alt kareleajında ise, Kuzey yönünden geldiği tespit edilmiştir.



**Şekil 4. 21.** SD3 (Karaburun) karelijına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga yönü



**Şekil 4. 22.** SD2 (Filyos) karelijına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama belirgin dalga yüksekliği

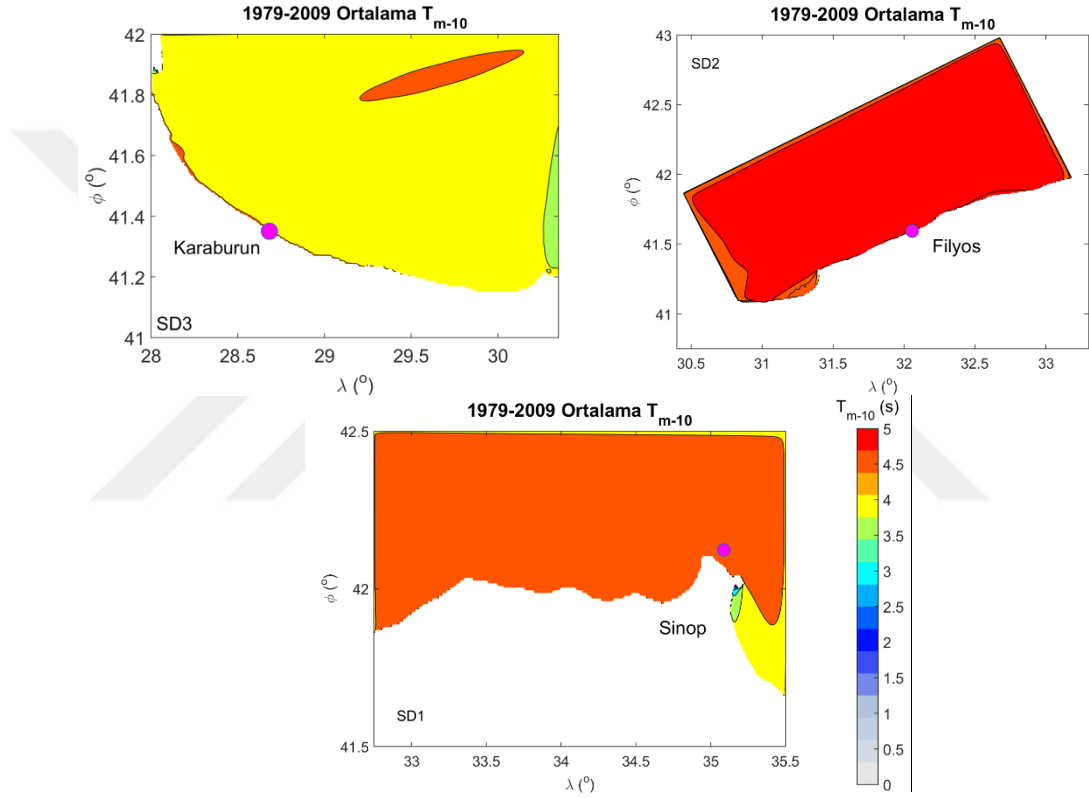


**Şekil 4. 23.** SD1 (Sinop) karelejına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga yönü

#### 4.3.2. Yıllık, Mevsimlik ve Aylık Ortalama Dalga Enerji Periyodu

Her alt karelej için üretilen 31 yıllık uzun dönemli dalga parametrelerini içeren veri seti kullanılarak dalga enerji periyodunun uzun dönemli ortalama yıllık, mevsimlik ve aylık alansal değişimleri de hesaplanmış ve Şekil 4.24 – Şekil 4.28’de sunulmuştur. Bunların yanında, her yıl için de ayrı ayrı her alt karelej için dalga enerji periyodunun uzun dönemli ortalama yıllık, mevsimlik ve aylık alansal değişimleri hesaplanmış ve CD Ekinde verilmiştir.

Şekil 4.24'e göre; Karaburun karelajının büyük bir çoğunluğu (Pazarbaşı Burnu'ndan Bulgaristan sınırına kadar) uzun dönemli yıllık ortalama 4 s enerji periyotlu dalgalara maruz kalırken Filyos ve Sinop Karelajlarının büyük bir çoğunluğunda 5 s enerji periyotlu dalgaların olduğu belirlenmiştir. Karaburun karelajının doğusunda küçük bir bölümde 3,5 s enerji periyotlu dalgalar gözlenirken Sinop Burnu'nun doğusunda koy bölgesinde ve Baba Burnu ile Alaplı sahili arasındaki bölgede 4 s enerji periyotlu dalgaların olduğu tespit edilmiştir.

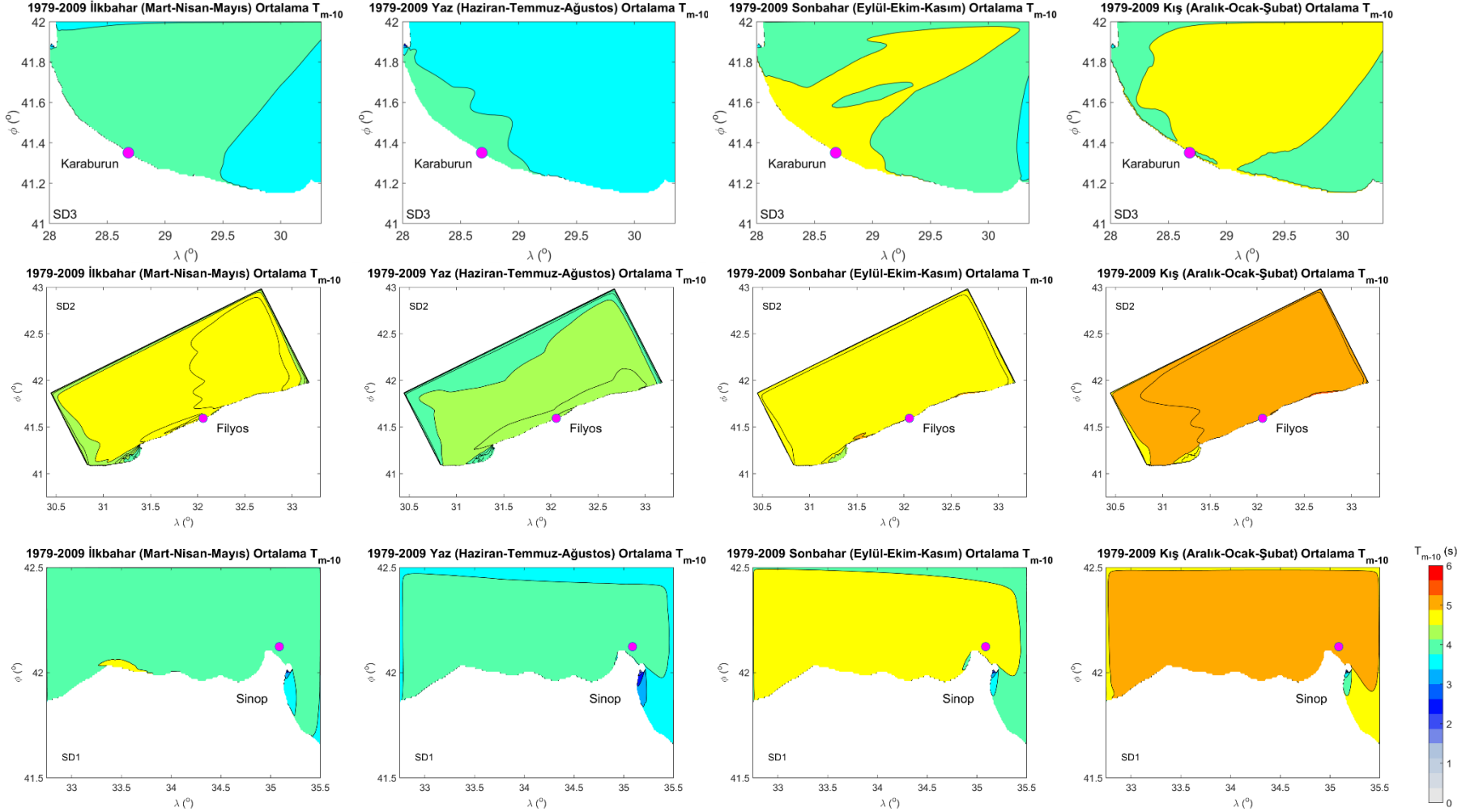


**Şekil 4. 24.** SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) karelajlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca yıllık ortalama dalga enerji periyodu

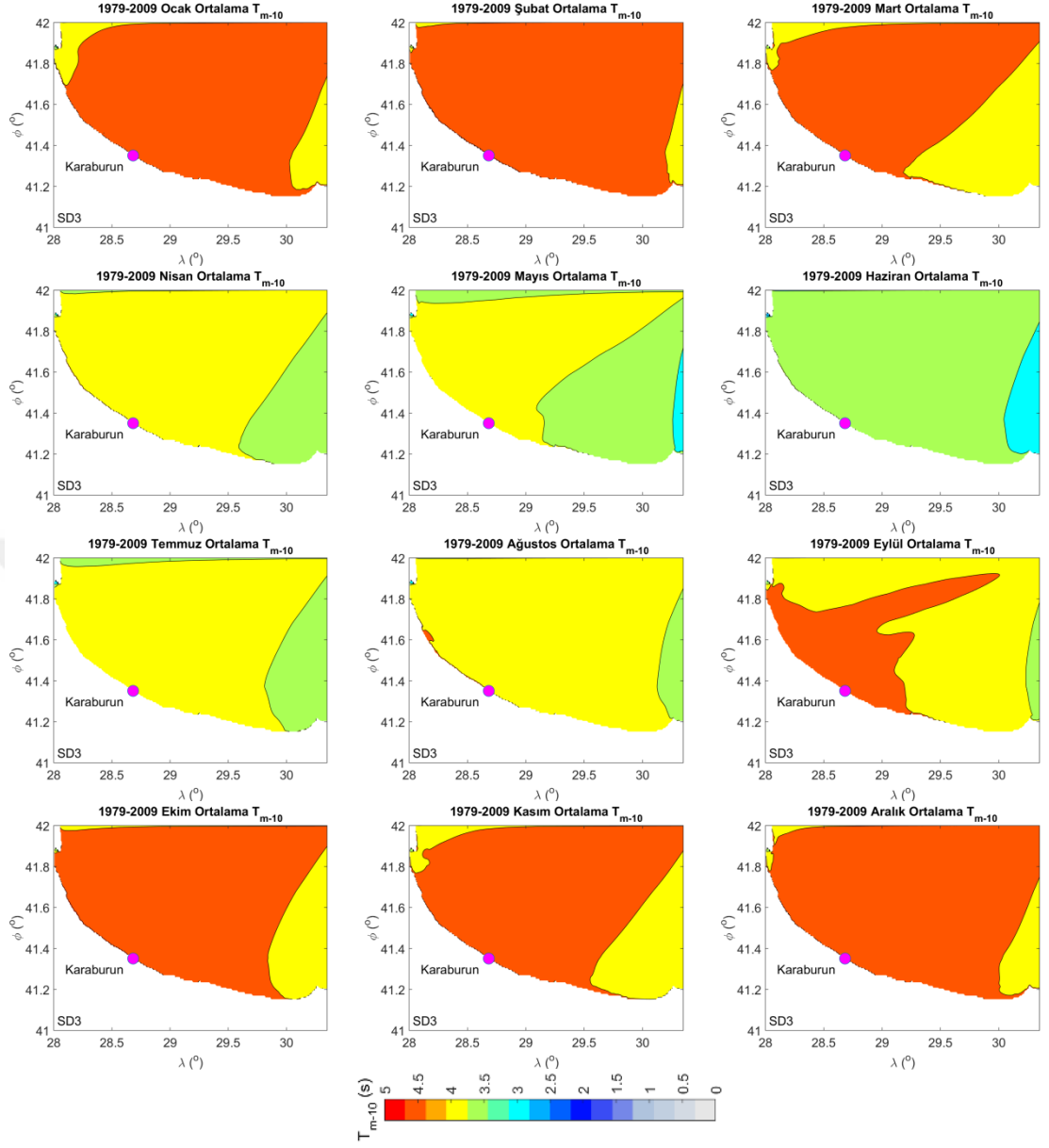
Her alt karelajlar için 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca belirlenmiş mevsimsel ortalama dalga enerji periyodunun alansal haritalarına göre (Şekil 4.25); ilkbahar mevsiminde Şile sahilinden Bulgaristan sınırına kadarki ve yaz mevsiminde Akpınar sahilinden İğneada Burnuna kadarki bölgelerde 4 s enerji periyotlu dalgalara gözlemlenirken doğuya doğru azalarak 3 s enerji periyotlu dalgaların olduğu bölgelerin olduğu tespit edilmiştir. Sonbahar mevsiminde, Akpınar ve Kıyıköy sahilleri arasındaki bölgede 4,5 s enerji periyotlu dalgaların hakim olduğu ve doğuya doğru azalarak 3,5 s enerji periyotlu dalgalara maruz kanal

bölgelerin bulunduğu belirlenmiştir. Kış mevsiminde; Karaburun ölçüm istasyonu çevresinde 4,5 s enerji periyotlu dalgalar oluşmuşken karelağın diğler bölgelerinde 4 s enerji periyotlu dalgalar görölmüştür. Filyos SD2 karelağında; yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde, tüm kıyı şeridi boyunca sırasıyla 4,5 s, 5 s ve 5,5 s enerji periyotlu dalgaların olduğu görölmüştür. İlkbahar mevsiminde ise, Filyos ölçüm istasyonunun batısında 4,5 s ve doğusunda 5 s enerji periyotlu dalgaların oluştuğu ve karelağın en doğusunda gidildikçe azalarak tekrar 4,5 s enerji periyotlu dalgalarla karşılağığı görölmektedir. Sinop SD1 karelağında ise; kıyı şeridinin büyük bir çoğunluğunda ilkbahar ve yaz mevsimlerinde 4 s, sonbahar mevsiminde 4,5 s ve kış mevsiminde 5 s enerji periyotlu dalgaların hakim olduğu anlaşılmaktadır. Sinop Burnunun doğusundaki bölgede ilkbahar ve yaz mevsimlerinde 3,5 s, sonbahar mevsiminde 4 s ve kış mevsiminde 4,5 s enerji periyotlu dalgalarla karşılaşılmaktadır. Bunların yanında, bütün karelağlarda kış mevsiminde en yüksek enerji periyotlu dalgaların oluştuğu onu sonbahar mevsiminin takip ettiğı ve minimum şartların yaz mevsiminde olduğu görölmektedir. Karaburun SD3 karelağına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji periyodunun alansal dağılım haritaları Şekil 4.26'da sunulmuştur. Bu haritalara göre; kış ve sonbahar ayları ile mart ayında karelağın batı bölgeleri (karelağın büyük bir çoğunluğı) 4,5 s ve doğu bölgeleri 4 s enerji periyotlu dalgalara maruz kalmıştır. Haziran ayında karelağın batı bölgelerinde 3,5 s ve küçük bir bölgede doğu kesiminde daha düşük enerji periyotlu dalgaların oluştuğu gözlenmektedir. Geri kalan diğler aylarda ise, karelağın batı bölgelerinde 4 s enerji periyotlu dalgalar görölürken doğu bölgelerinde 3,5 s periyotlu dalgalar oluşmuştur. Buradan da görölebileceğı gibi, bütün aylarda karelağın batı bölgeleri doğusuna kıyasla daha yüksek enerji periyotlu dalgalara maruz kalmaktadır. Filyos SD2 karelağına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji periyodunun alansal dağılım haritaları Şekil 4.27'de verilmiştir. Bu karelağda kış aylarını temsil eden alansal dağılım haritalarına göre, Karaburun karelağındaki durumun tersine doğu bölgelerinde batı bölgelerine kıyasla daha yüksek enerji periyotlu dalgaların oluştuğu görölmektedir. Bu aylarda karelağın batı bölümünde 5,3 s ve doğu bölümünde 6s enerji periyotlu dalgalar gözlenmektedir. Ağustos ayında, karelağın kıyı boyunca tamamen 4,5 – 5 s enerji periyotlu dalgalar oluşmuşken açıklara doğru gidildikçe 4 – 4,5 s enerji periyotlu dalgalar görölmektedir. Karelağın hemen hemen tamamı Mart, Ekim ve Kasım aylarında 5 - 5,3 s, Nisan ve Eylül aylarında 4,5 – 5 s ve Mayıs ve Temmuz aylarında 4 – 4,5 s enerji periyotlu dalgalara maruz kalmaktadır.

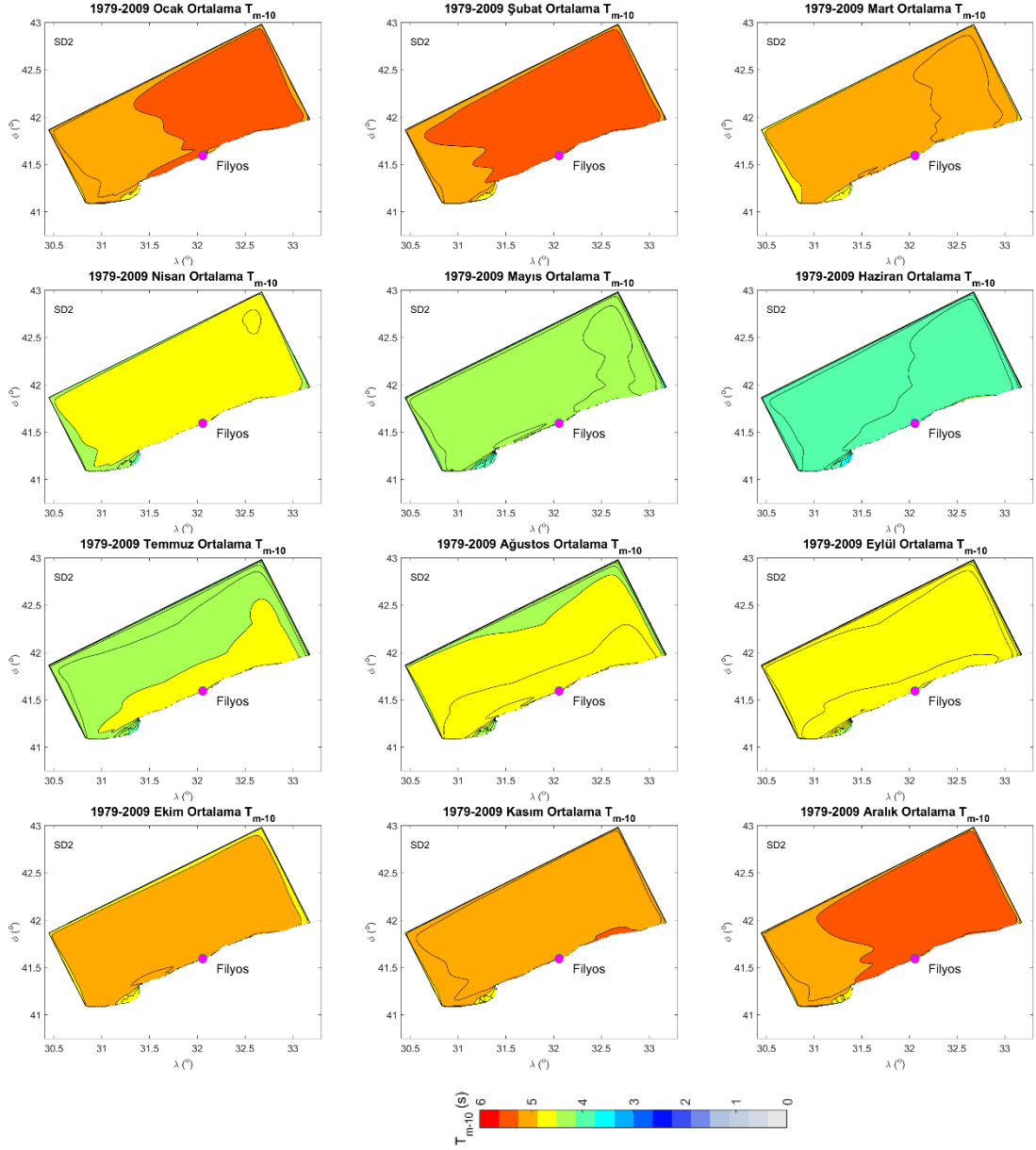




**Şekil 4. 25.** SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) kareajlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca mevsimsel ortalama dalga enerji periyodu



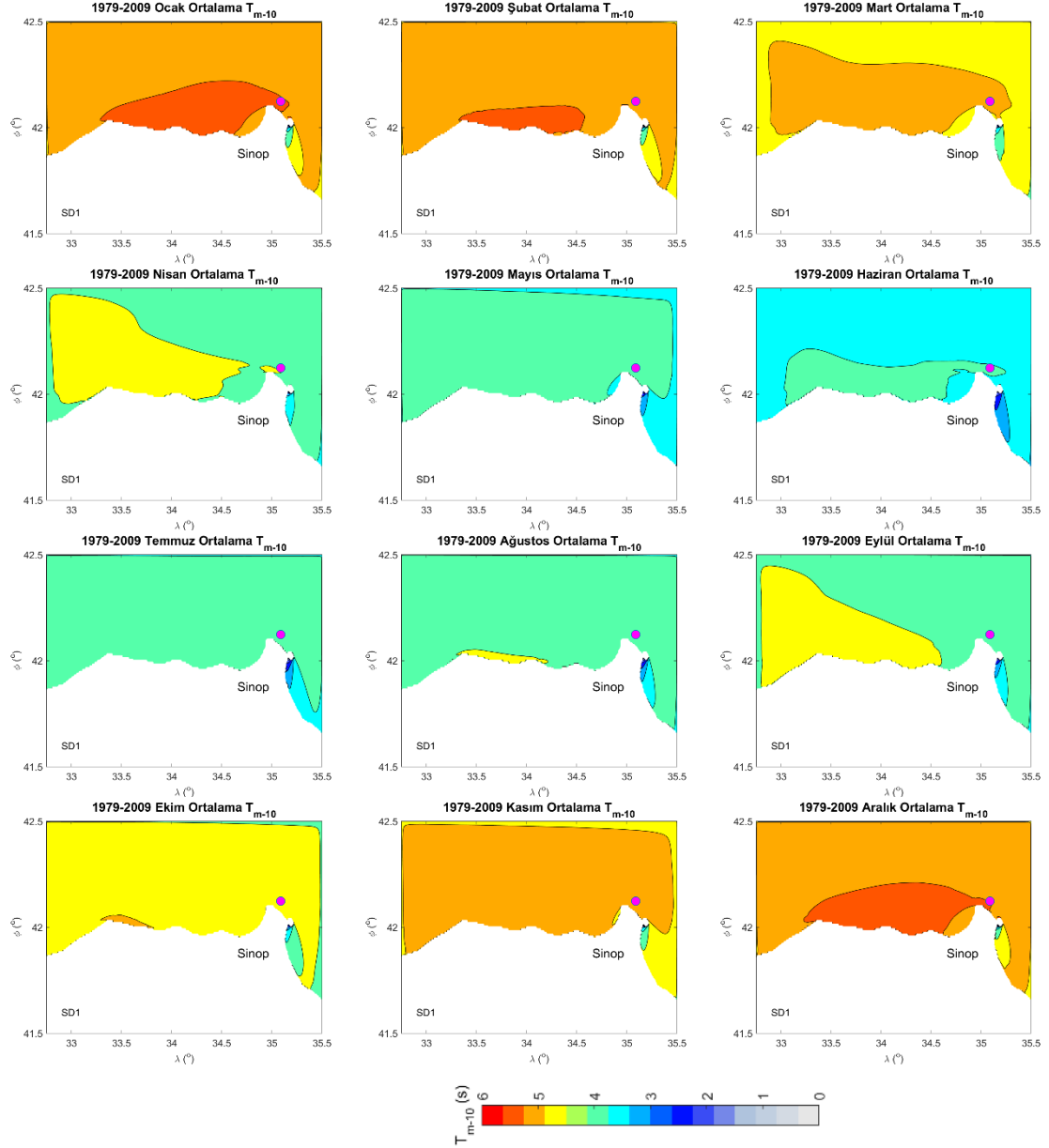
**Şekil 4. 26.** SD3 (Karaburun) karelijına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji periyodu



**Şekil 4. 27.** SD2 (Filyos) karelajına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji periyodu

Şekil 4.28, Sinop SD1 karelajına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji periyodunun alansal dağılım haritalarını sunmaktadır. Bu haritalara göre; kış aylarında İnce Burunun batı tarafında kıyıya yakın küçük bir bölgede 6 s enerji periyotlu dalgalar gözlenirken karelajın geri kalan büyük bir çoğunluğunda 5 s enerji periyotlu dalgalar görülmüştür. Yalnızca, Sinop burnunun doğu tarafında koy bölgesinde 4 – 4,8 s enerji periyotlu dalgalar oluşmuştur. Mayıs, temmuz ve ağustos aylarında karelajın büyük bir çoğunluğunda 4 s enerji periyotlu dalgalar

görülürken Sinop Burnunun doğu kısmında 3,5 s enerji periyotlu dalgalar görülmüştür. Ekim ve Kasım aylarında ise, sırasıyla 4,5 ve 5 s enerji periyotlu dalgalar gözlenmiştir. Nisan ve Eylül aylarında, karelağın batı bölgesinde 4,5 s ve doğu bölgesinde 4 s enerji periyotlu dalgalar görülmüştür.

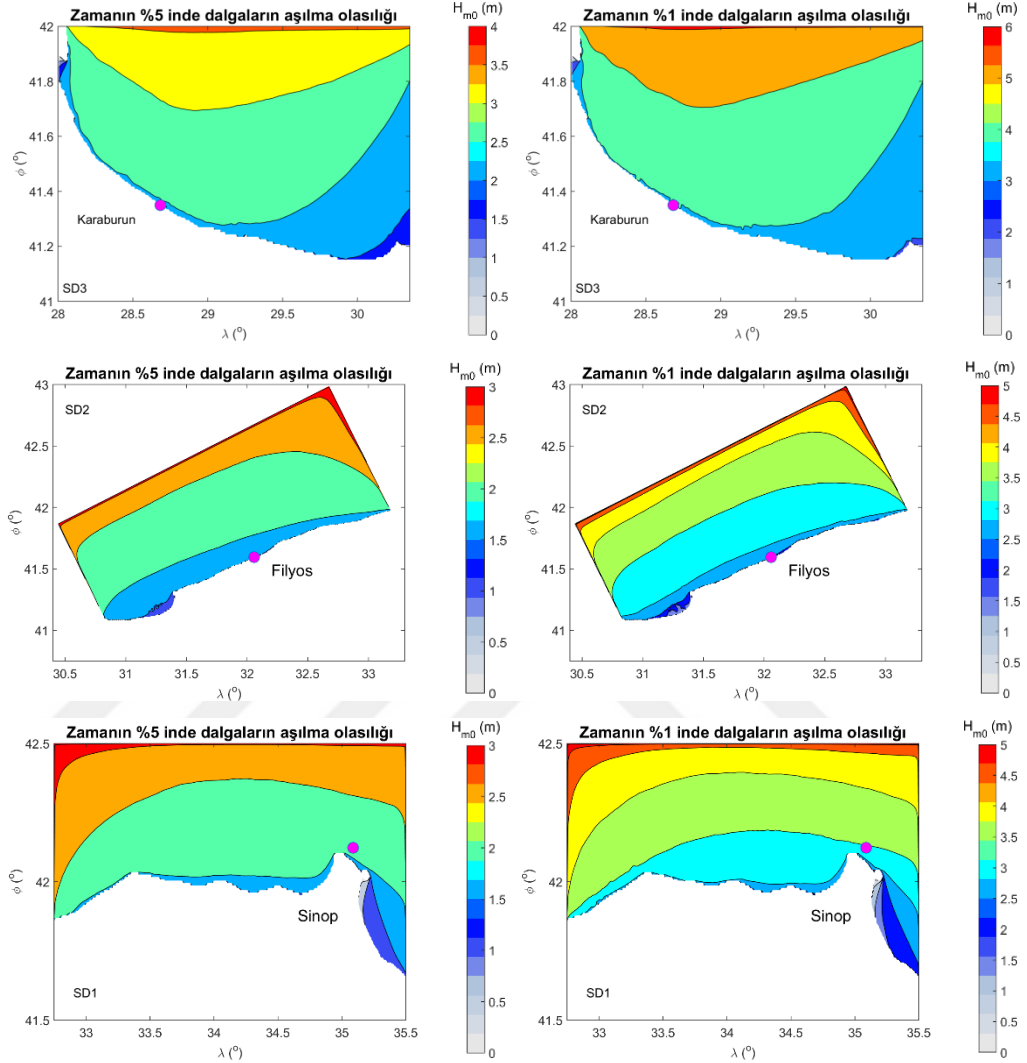


**Şekil 4. 28.** SD1 (Sinop) karelağına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca aylık ortalama dalga enerji periyodu

### 4.3.3. Farklı Aşılmama İhtimalli Belirgin Dalga Yükseklikleri

Kıyılarda yapılacak her hangi bir yapıların civarındaki dalga şartları büyük önem taşımaktadır. Bölgede oluşacak dalgaların büyüklükleri, sıklıkları ve geliş (oluşma veya aşılma) olasılık değerlerinin bilinmesi yapıların baş etmesi gerekeceği dalga şartlarını ortaya koymaktadır. Bu maksatla, ilk irdelenen ortalama dalga şartlarının yanında zamanın %5 ve %1'inde dalgaların aşılma olasılıklı belirgin dalga yükseklikleri uzun dönemli veriye dayanarak hesaplanmış ve alansal dağılımları her bir alt karelej için Şekil 4.29'da sunulmuştur. Bunların yanında, her yıl için de ayrı ayrı her alt karelej için zamanın %5 ve %1'inde dalgaların aşılma olasılıklı belirgin dalga yükseklikleri uzun dönemli veriye dayanarak hesaplanmış ve alansal dağılımları CD Ekinde verilmiştir. Şekil 4.29'dan de görülebileceği gibi, Karaburun karelajının batı bölgesinde belirgin dalga yüksekliğinin zamanın %5 ve %1'inde dalgaların aşılma olasılıklı değerleri sırasıyla 2,6 m ve 4 m civarında iken doğuya doğru gidildikçe azalmakta ve en doğuda 1,3 m ve 2 m olmaktadır. Filyos karelajında, kıyı boyunca 1,6 m olan belirgin dalga yüksekliğinin zamanın %5'inde dalgaların aşılma olasılıklı değeri biraz açığa gidince artarak 2 m ve açık denize doğru gidildikçe 2,5 m olmaktadır. Belirgin dalga yüksekliğinin zamanın %1'inde dalgaların aşılma olasılıklı değeri kıyı boyunca çok dar bir alanda 2,5 m iken açığa doğru artarak önce 3 m 'lik bir alan, daha sonra 3,5 m ve 4 m 'lik alanlara sahip olmaktadır. Ayrıca, Baba Burnu'nun batı tarafında korunaklı bölgede zamanın %5 ve %1'inde dalgaların aşılma olasılıklı belirgin dalga yükseklikleri sırasıyla 1 m ve 2 m değerindedir. Sinop karelajında, İnce Burunun batısına doğru kıyı boyunca çok dar bir alanda ve Sinop Burnunun doğu tarafında 1,5 m ve daha düşük belirgin dalga yüksekliğinin zamanın %5'inde dalgaların aşılma olasılıklı değeri gözlenmektedir. Ayrıca, karelajın yakın kıyı bölgesinde tüm kıyı boyunca 2 m ve açık denize doğru 2,5 m zamanın %5'inde dalgaların aşılma olasılıklı belirgin dalga yüksekliğine sahip bölgelerin olduğu belirlenmiştir. Bu karelajda, zamanın %1'inde dalgaların aşılma olasılıklı belirgin dalga yüksekliği kıyı boyunca 3 m değerinden açık denize doğru 3 m, 3,5 m ve 4 m'lik değerler olarak artış göstermektedir. Bunların yanında, Sinop Burnunun doğu tarafında koy bölgesinde açıkta 2,5 m görülen zamanın %1'inde dalgaların aşılma olasılıklı belirgin dalga yüksekliği kıyı çizgisine doğru azalarak 1 m değerine gerilemiştir. Bütün karelajlarda belirgin dalga yüksekliğinin zamanın %1'inde dalgaların aşılma olasılıklı değerinin alansal dağılımı ile zamanın

%5'inde dalgaların aşılma olasılıklı değerin alansal dağılımları benzerlik göstermektedir.

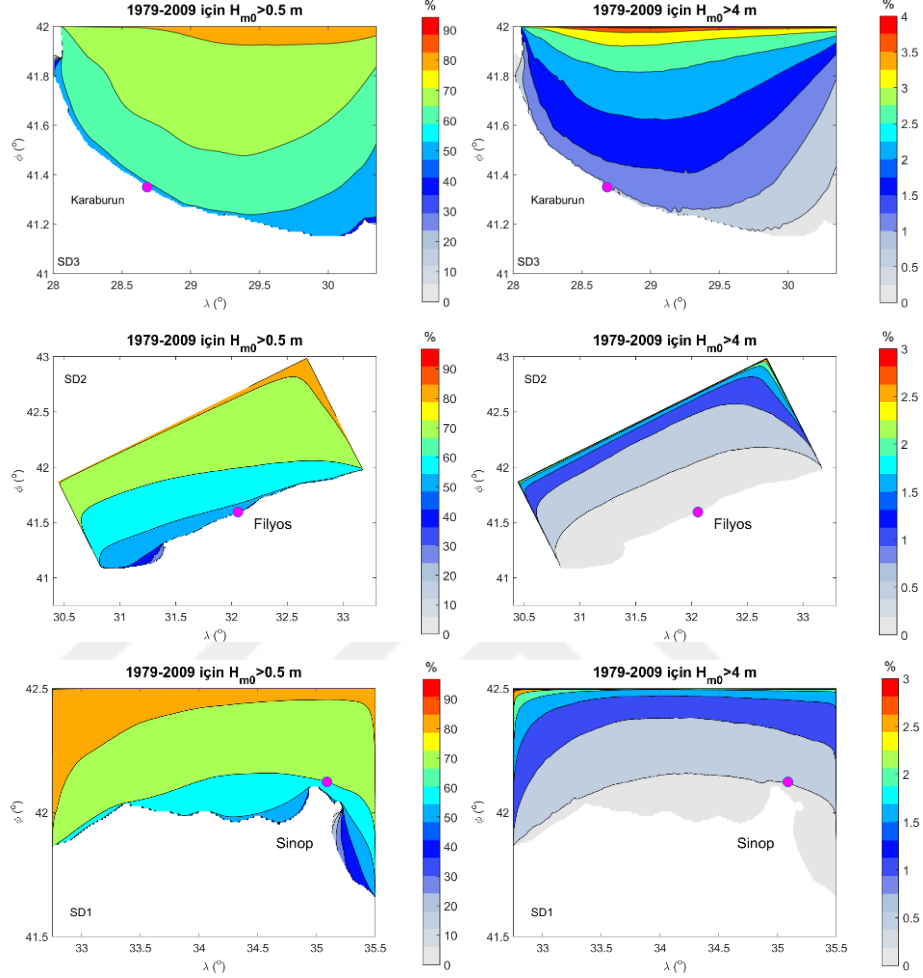


**Şekil 4. 29.** SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) karelejlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıllık veri setine dayanan zamanın %5 ve %1'inde dalgaların aşılma olasılıklı belirgin dalga yüksekliğinin alansal dağılımları

#### 4.3.4. Belirgin Dalga Yüksekliğinin Kritik Bir Değerdan Daha Büyük Olma Olasılığı

Belirgin dalga yüksekliğinin farklı aşılma olasılıklı değeri irdelendikten sonra, kritik bir değerdan (0,5 m ve 4 m) daha büyük olma olasılıkları da ayrıca uzun dönemli veriye dayanarak hesaplanmış ve alansal dağılımları her bir alt karelej için Şekil 4.30'da sunulmuştur. Bunların yanında, her yıl için de ayrı ayrı her alt karelej için 0,5 m ve 4

m'den daha büyük olma olasılıkları uzun dönemli veriye dayanarak hesaplanmış ve alansal dağılımları CD Ekinde verilmiştir.



**Şekil 4. 30.** SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) kareajlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıllık veri setine dayanan belirgin dalga yüksekliğinin 0,5 m ve 4 m'den daha büyük olma olasılığı

Şekil 4.30'a göre; Karaburun kareajında Şile sahilinden Bulgaristan sınırına kadar belirgin dalga yüksekliğinin 0,5 m'den daha düşük olma olasılığı %60-65 arasındadır. Açığa doğru gidildikçe bu değer önce %65 – 70 arasında olmakta daha sonra %80 değerini bulmaktadır. Ayrıca, doğuya doğru azalarak %20 değerine gerilemektedir. Belirgin dalga yüksekliğinin 4 m'den daha büyük olma olasılığı Şile sahilinden Bulgaristan sınırına kadar kıyı boyunca %1 iken aynı bölgede açığı doğru artarak %4 değerine ulaşmıştır. Filyos kareajında, Filyos ölçüm istasyonunun batı bölgesinde kıyı boyunca belirgin dalga yüksekliğinin 0,5 m 'den daha büyük olma olasılığı %50 – 55

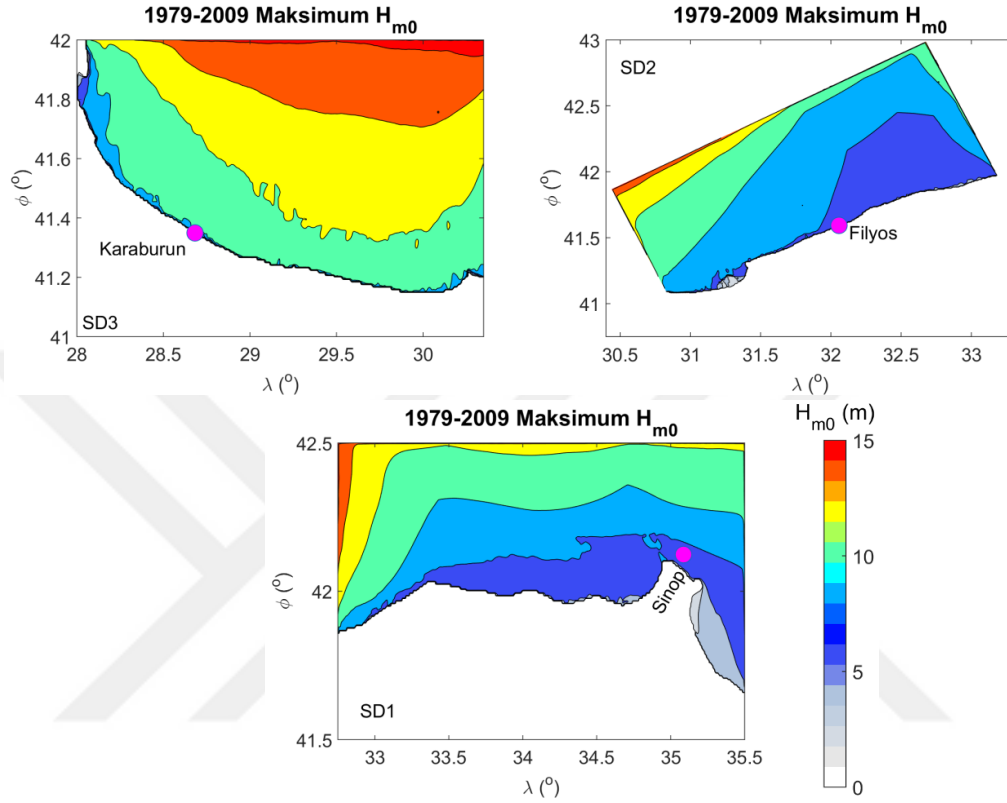
iken doğu tarafında %55 – 60 civarındadır. Bu karelejda belirgin dalga yüksekliğinin 4 m'den daha büyük olma olasılığı ise, bütün kıyı boyunca %0,5 değerinin altındadır. Sinop karelejında, İnce Burunun batı tarafında İnebolu'ya kadar ki kıyı boyunca ve Sinop burnunun doğusunda belirgin dalga yüksekliğinin 0,5 m'den daha küçük olma olasılığı %50 – 55 civarında iken Sinop Burnunun doğusunda koy bölgesinde kıyı çizgisine doğru azalarak %30 değerine gerilemektedir. Kerempe Burnunun batı tarafında ki kıyı şeridi boyunca çok dar bir alanda olmasına karşın karelajın bütün kıyı bölgesi boyunca belirgin dalga yüksekliğinin 0,5 m'den daha büyük olma olasılığı %60 civarındadır. Biraz açığa gidince bu değer %70 olmaktadır. Belirgin dalga yüksekliğinin 4 m'den daha büyük olma olasılığı, Kerempe Burnunun batı kıyı şeridinde çok dar bir alanda olmasına karşın bütün kıyı şeridi boyunca %0,5 değerinin altındadır. Açığa doğru bu değer artarak %1,5 olmaktadır. Bütün karelajlarda, belirgin dalga yüksekliğinin 4 m 'den daha büyük olma olasılığının alansal dağılımı ile 0,5 m'den daha büyük olma olasılıklarının alansal dağılımları hemen hemen birbirine benzemekle birlikte değer olarak farklılık göstermektedirler.

#### **4.3.5. Maksimum Belirgin Dalga Yüksekliği**

Bir bölgede yapılacak herhangi bir yapı, ömrü boyunca o bölgede gözlemlenecek maksimum dalga şartlarına dayanabilecek nitelikte olmalıdır. Bu maksimum şartlara dayanamayacak yapı tasarımı durumunda yapı ve çevresinde önemli hasarlar oluşabilecektir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında odaklanılan üç kıyı bölgesi için gerçekleştirilen 31 yıllık simülasyon sonucunda türetilen veri setinden yararlanılarak SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) alt karelajlarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıllık veri setine dayanan her bir karelaj noktası için tahmin edilmiş maksimum belirgin dalga yüksekliklerinin alansal dağılımları belirlenmiş ve Şekil 4.31'de sunulmuştur. Bu şekildeki alt grafiklerden, 31 yıl boyunca tahmin edilmiş en büyük belirgin dalga yüksekliğinin Karaburun SD3 alt karelaj alanının hemen hemen tüm sahil şeridinde yaklaşık 10,5 m olduğu belirlenmiştir. Filyos SD2 alt karelajında ölçüm istasyonunun batısında kıyı şeridinde yaklaşık 8,5 m ve doğusunda yaklaşık 6,5 m maksimum yükseklikte dalgalar tahmin edilmiştir. Sinop SD1 alt karelajında hemen hemen tüm kıyı şeridi boyunca 6,5 m'lik bir maksimum dalga yüksekliği değeri tespit



edilmiştir. Bununla birlikte, Sinop'un doğusundaki körfez bölgesinde 5 m'den daha düşük bir maksimum dalga yüksekliği değeri gözlenmiştir. Maksimum dalga yüksekliği değeri tüm karelejlarda kıyıya doğru azalmıştır.

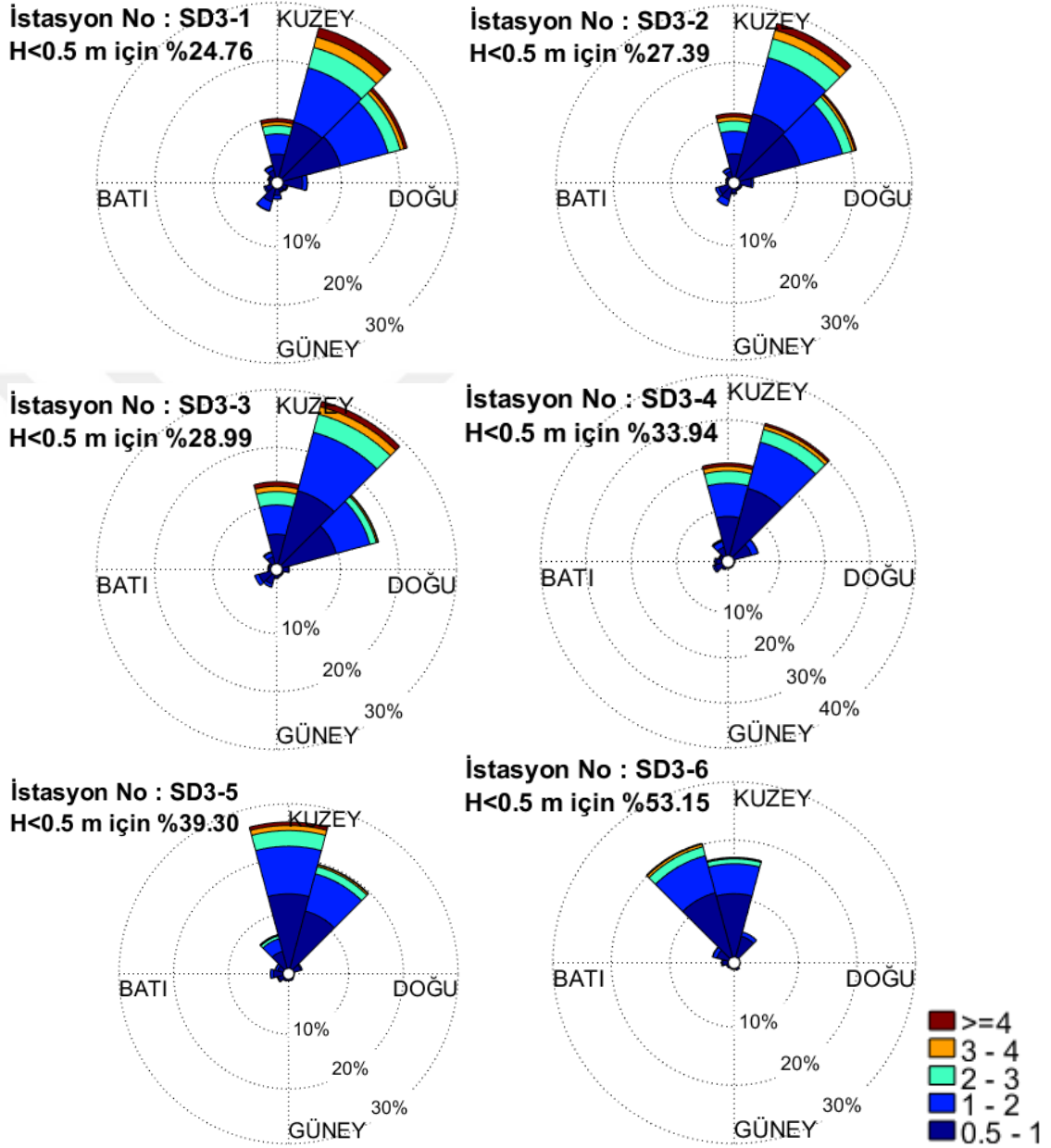


**Şekil 4. 31.** SD1 (Sinop), SD2 (Filyos) ve SD3 (Karaburun) karelejlalarına ait 1979-2009 yılları arası için 31 yıllık veri setine dayanan her bir karelejlama noktası için tahmin edilmiş maksimum belirgin dalga yüksekliklerinin alansal dağılımları

#### 4.3.6. Dalga Gülleri

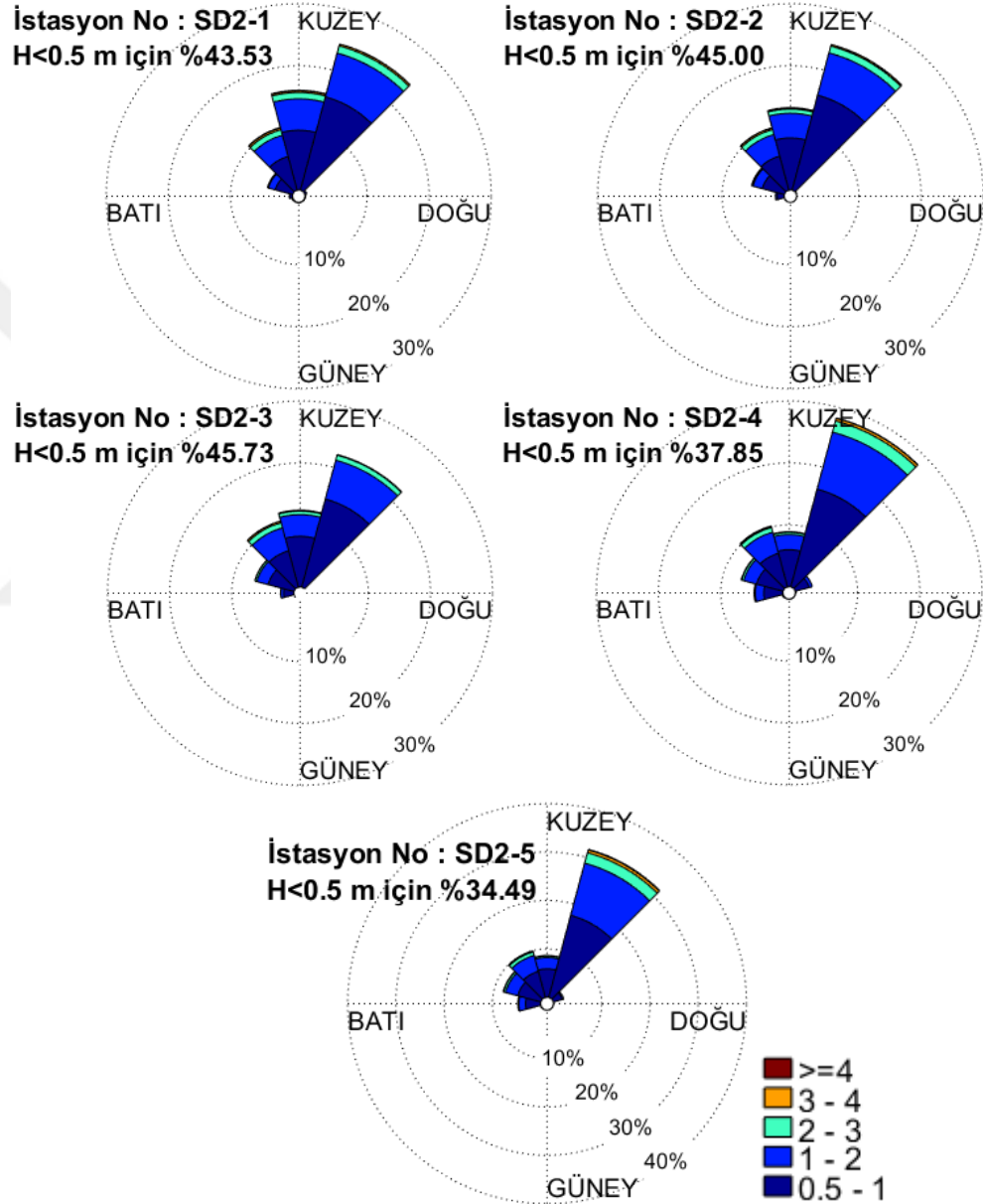
Bir kıyı yöresinde yapılacak herhangi bir faaliyet için o bölgede mevcut hakim dalga şartlarının yönsel bilgisi son derece önemlidir. Bundan dolayı, bu tez çalışması kapsamında her bir alt karelejlama seçilmiş lokasyonlar için (Şekil 3.2 ve Çizelge 3.3) dalga gülleri 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak elde edilmiş ve Şekil 4.32 – Şekil 4.34'te sunulmuştur. Şekil 4.32'den de görülebileceği gibi, SD3 karelejlamaındaki neredeyse bütün istasyonlarda dalgaların Kuzey (K) ve Doğu Kuzey-Doğu (DKD) yön sektöründen hakim bir şekilde geldikleri anlaşılmaktadır. Yalnızca, bu karelejlamaın en doğusundaki SD3-6 numaralı istasyonda hakim yön sektörünün KB - K olduğu görülmektedir. Bu karelejlama batıdan doğuya doğru dalga yüksekliklerinin 0,5 m'den

daha küçük olma olasılığı artmakta ve SD3-1'de sakin deniz durumu yaklaşık %25 iken SD3-6'da %53 civarında olmaktadır.

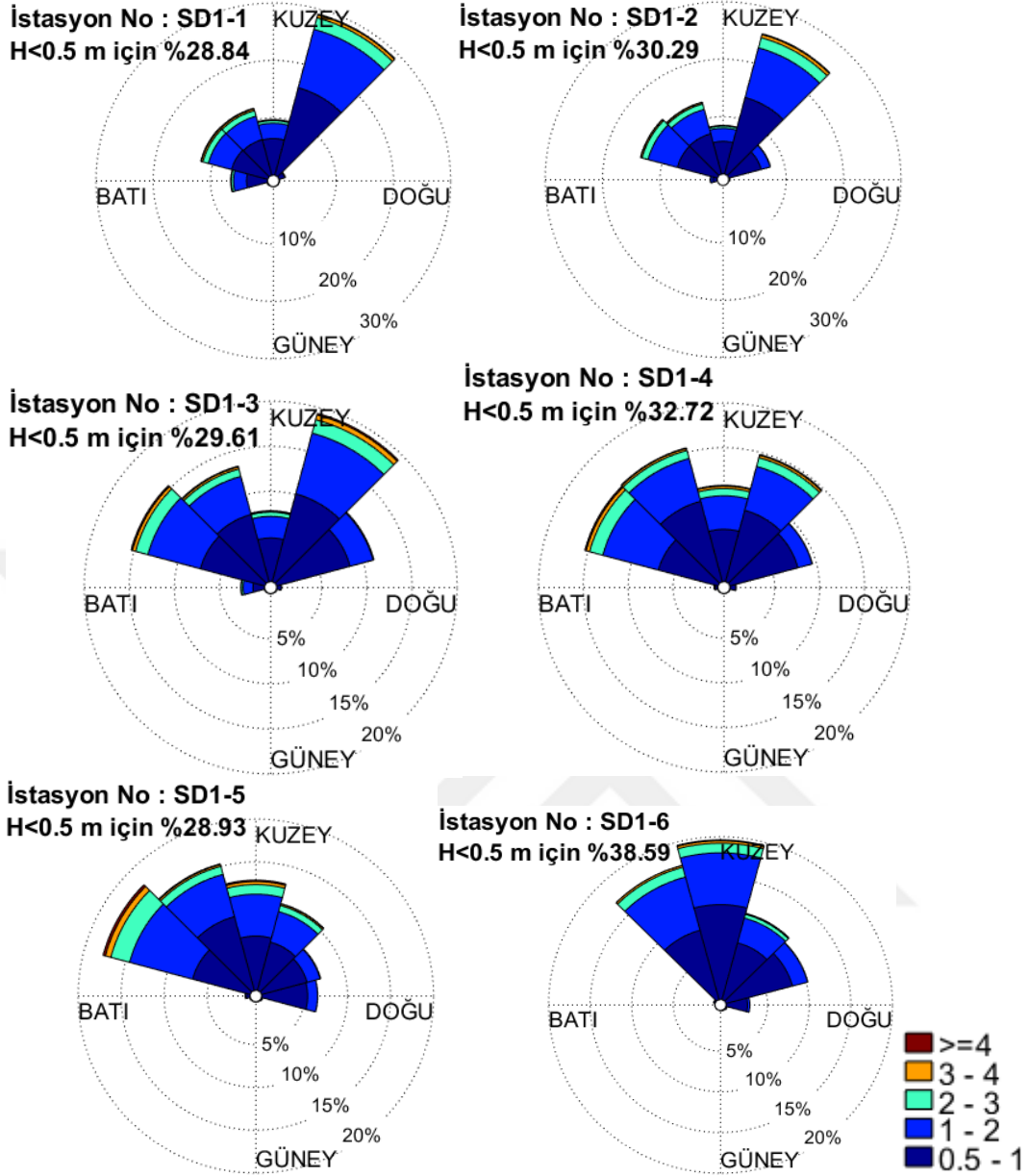


Şekil 4. 32. SD3 alt karelaında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan dalga gülleri

SD2 Filyos alt karelaındaki istasyonlarda, hakim yön KKD yön dilimi olarak gözlenmekte ise de, KD – KB yön sektöründen dalgaların geldiği belirlenmiştir. Bu karelaıda batıdan doğuya doğru gidildikçe hakim yön dilimi olan KKD yönünden gelen dalgaların yüzdesinin arttığı ve ve diğer yönlerden gelen dalgaların yüzdesinin ise azaldığı da tespit edilmiştir (Şekil 4.33).



**Şekil 4. 33.** SD2 alt karelaında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan dalga gülleri



**Şekil 4. 34.** SD1 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan dalga gülleri

Sakin deniz durumları irdelendiğinde, batıdan doğuya doğru öncelikle 0,5 m'den daha küçük dalgaların oluşma olasılıkları artmakta ve SD2-3 istasyonunda %46 oranına sahip iken daha sonrasında azalış göstermekte ve SD2-5 numaralı istasyonda %35 olmaktadır. SD1 karelajının batısındaki istasyonlarda da hakim yön KKD iken doğuya doğru ilerledikçe belli bir hakim yön diliminden ziyade BKB – DKD yön sektöründen dalgaların hakim bir şekilde geldiği belirlenmiştir. Bu karelajda SD1-6 istasyonu hariç

diğer istasyonlarda sakin deniz durumunun yaklaşık %30'luk bir paya sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.34).

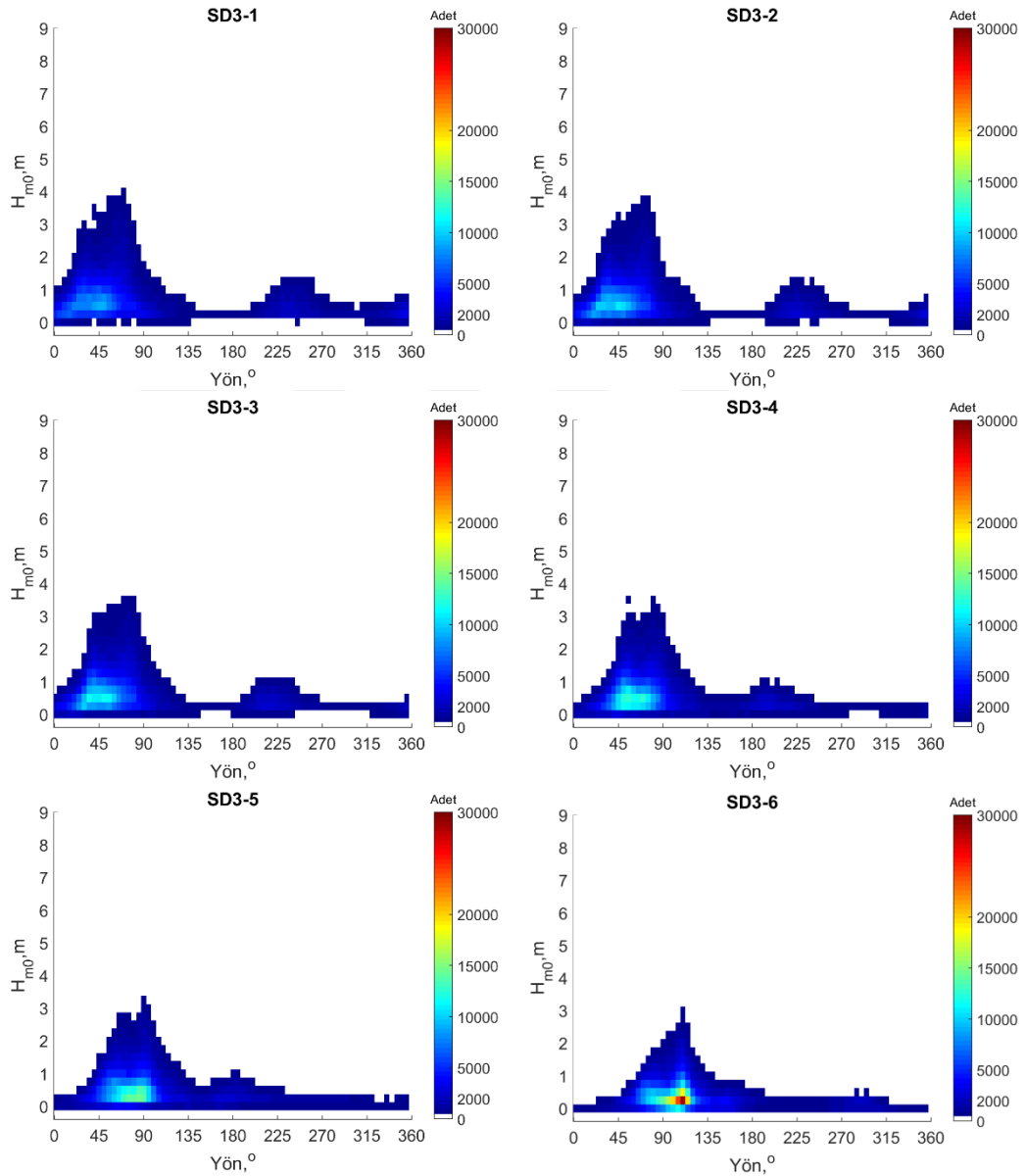
#### 4.3.7. Dalga Parametrelerinin İkili İlişkileri

Her bir alt karelejda seçilmiş lokasyonlar için belirgin dalga yüksekliğinin ortalama dalga yönü ile ilişkisi 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş ve Şekil 4.35 – Şekil 4.37'de sunulmuştur. Bu şekillerdeki renk ölçeği farklı yükseklik ve yön aralıklarında görülen dalga sayılarını vermektedir. Şekil 4.35'ten de görülebileceği gibi, SD3 Karaburun alt krelajında seçilmiş olan istasyonlarda en fazla sayıda dalganın 0 – 1 m aralığında ve 22,5° – 120° (DKD – Kuzey Kuzey-batı, KKB) yön aralığında oluştuğu anlaşılmaktadır. Karelajın batısından doğuya doğru gidildikçe 0 – 1 m aralığında gözlenen dalga sayısı artmakta ve en fazla sayı dalgaların görüldüğü yön dilimi de 60° – 120° (Kuzey Kuzey-doğu, KKD - KKB) aralığına doğru kaymıştır. Ayrıca, bu şekilden karelajın batısında daha yüksek dalga yükseklikli dalgaların görüldüğü doğuya doğru gidildikçe dalga yüksekliklerinin azaldığı da görülmektedir. Bu alt karelejda 1 m 'den daha büyük dalga yüksekliğine sahip fırtınaların karelajın batısındaki istasyonlarda 0 – 90° (Doğu, D – Kuzey, K) aralığında oluştuğu ve diğer istasyonlarda 45° – 135° (Kuzey doğu, KD – Kuzey batı, KB) aralığından geldiği anlaşılmaktadır.

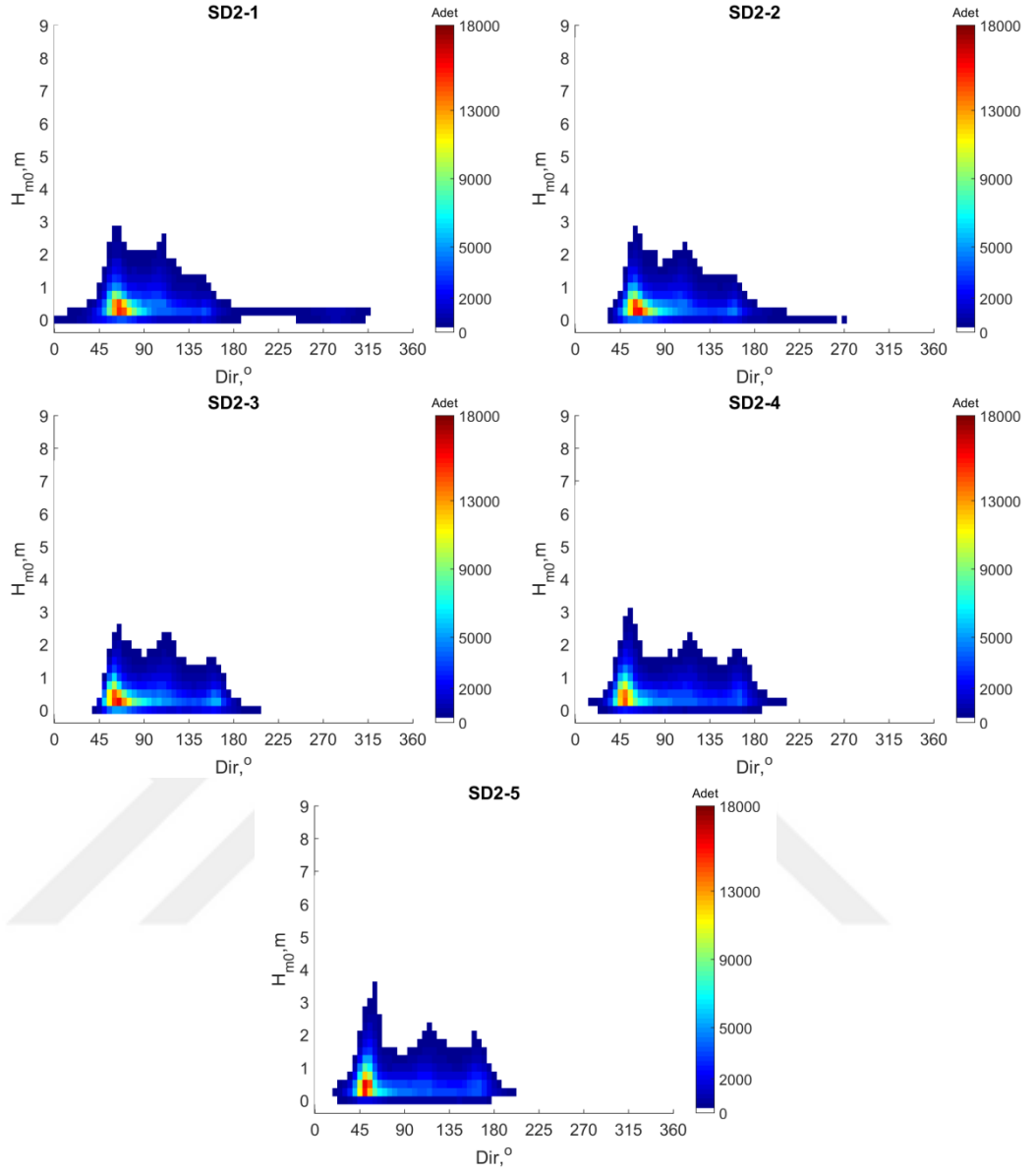
SD2 Filyos alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ve ortalama dalga yönü (Şekil 4.36) ilişkisi irdelendiğinde, SD3 karelajındaki istasyonlarında da olduğu gibi en fazla dalganın oluştuğu dalga yükseklik aralığı bütün istasyonlarda 0 – 1 m ve dalga yön aralığı da 45° – 90° (KD – K)'dir. Bu karelajdaki bütün istasyonlarda dalgaların 45° – 180° (KD – Batı, B) aralığında geldiği de görülmektedir. Bütün istasyonlarda yüksek dalgaların bu yön aralığın tamamından geldiği ancak en yüksek dalgaların 45° (KD)'lik yön diliminden geldiği de anlaşılmaktadır.

Şekil 4.37'den de görülebileceği gibi, SD1 Sinop alt karelajındaki bütün istasyonlard dalgaların 0 – 180° (D - B) yön aralığından geldiği ve en fazla dalganın 0 – 1 m aralığında yükseklikli olarak görüldüğü anlaşılmaktadır. Karelajın batısından doğuya

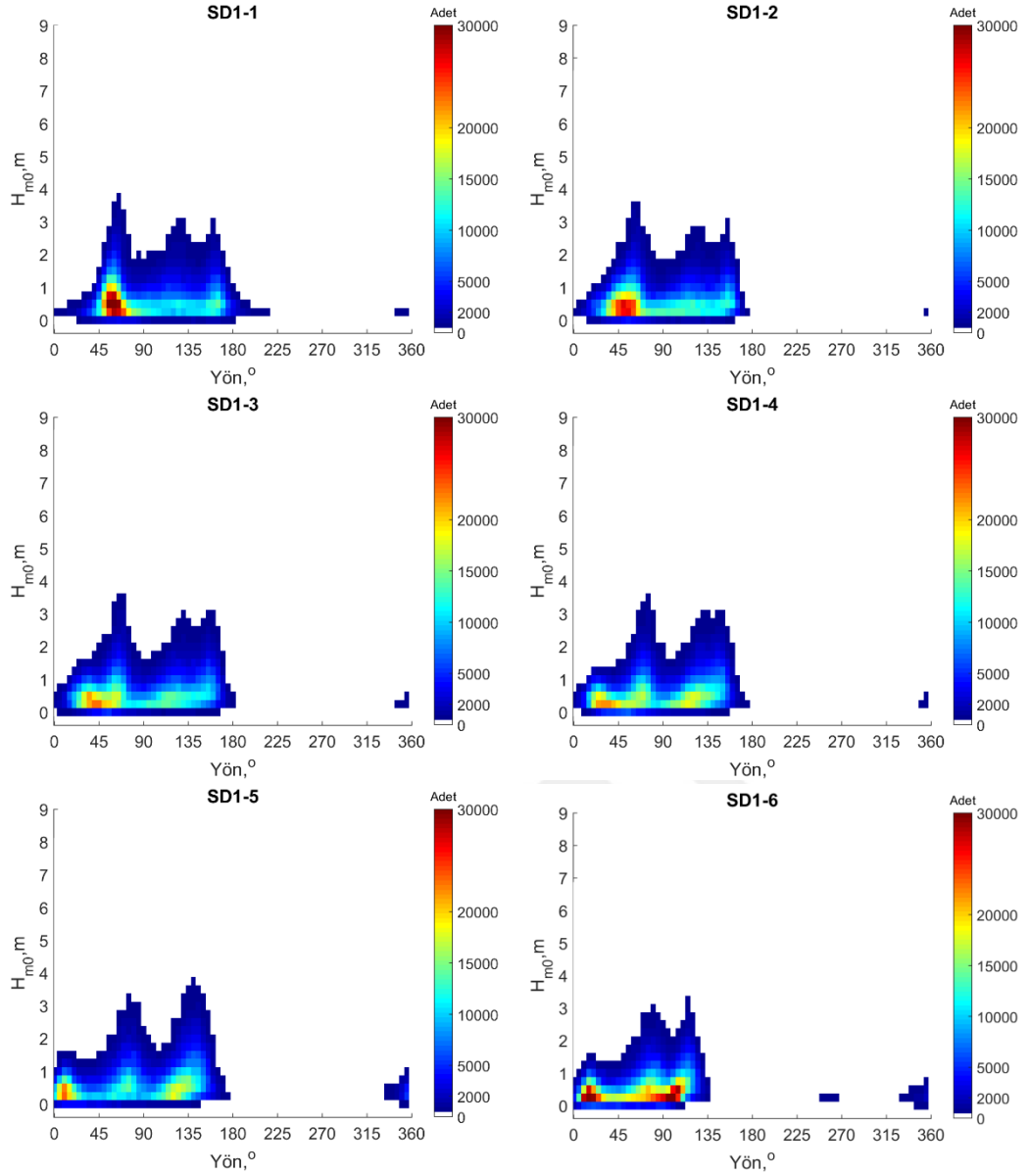
doğru gelindiğinde en fazla gelen dalgaların farklı yön dilimlerinden geldiği de görölmektedir. Şekil 4.35 – Şekil 4.37’deki bütün alt şekillerde beyaz renk bu alanlarda hiç dalganın gelmediği anlamı taşımamaktadır. Oluşturulan koda 0 ve belli bir değer arası beyaz renk ile nitelendirilmektedir. Dolayısı ile bu grafiklerde görölen maksimum dalga yüksekliği yanılıcı olabilmektedir. Bu grafiklerde görölen maksimum değer belli sayıda oluşan maksimum dalga yüksekliği olarak dikkate alınmalıdır.



**Şekil 4. 35.** SD3 alt karelaında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi



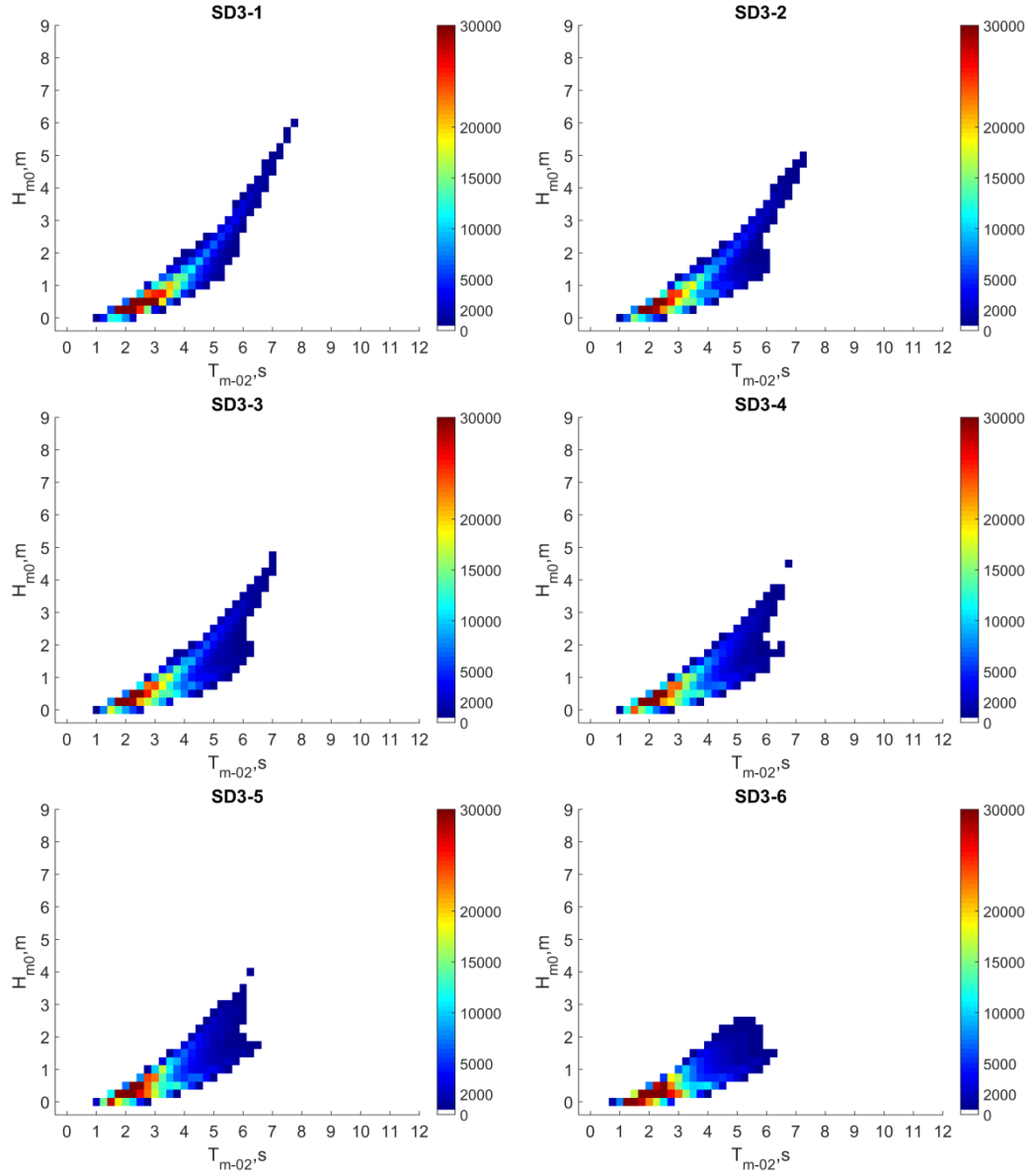
**Şekil 4. 36.** SD2 alt karelağında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi



**Şekil 4. 37.** SD3 alt karelaında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi

Her bir alt karelaında seçilmiş lokasyonlar için belirgin dalga yüksekliğinin ortalama dalga periyodu ile ilişkisi 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak elde edilmiş ve Şekil 4.38 – Şekil 4.40’da sunulmuştur.

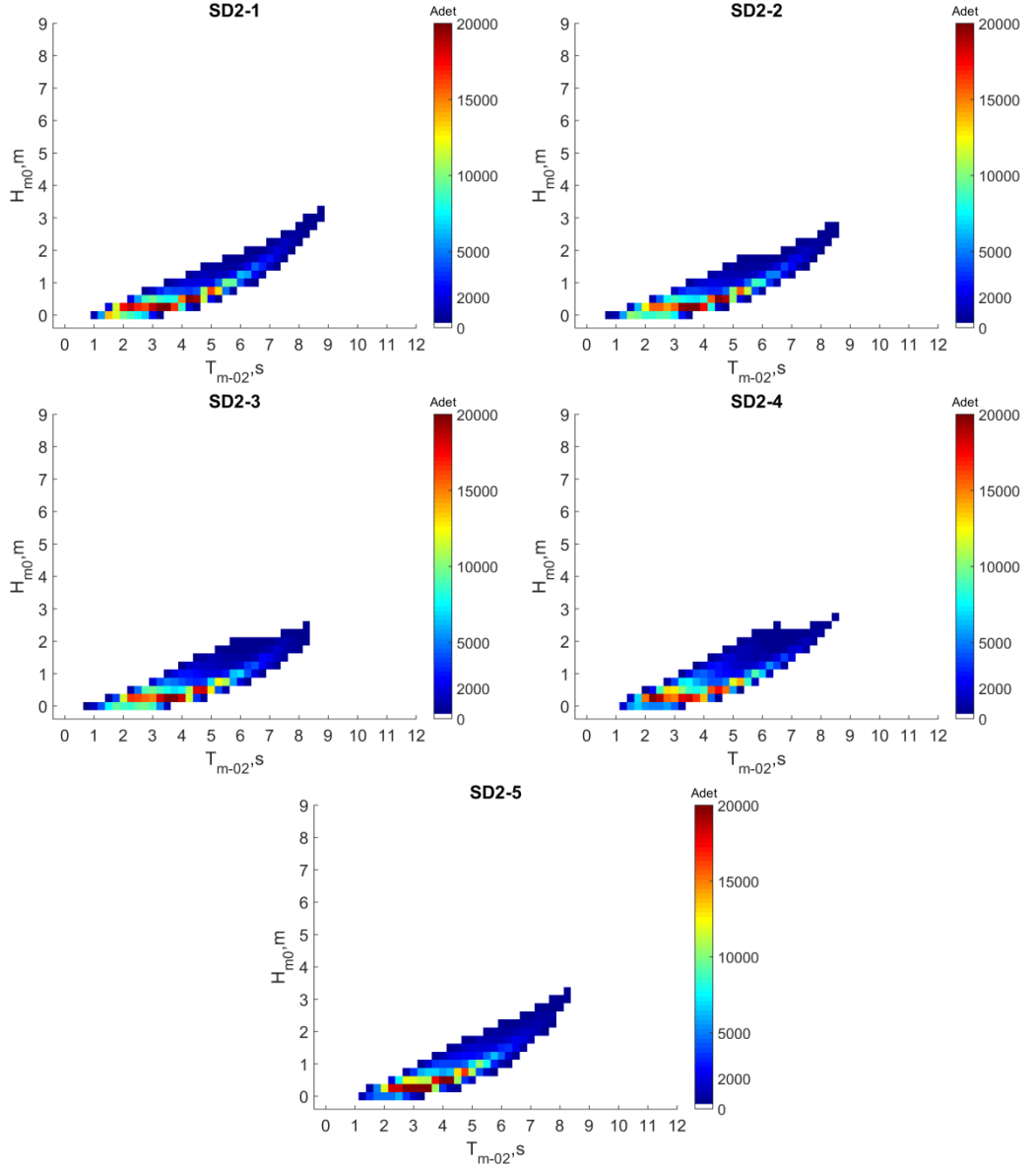




**Şekil 4. 38.** SD3 alt karelaında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ve ortalama dalga periyodu ( $T_{m02}$ ) ilişkisi

Şekil 4.38'den görülebileceği gibi, SD3 Karaburun karelaındaki batıdan doğuya doğru ilk dört istasyonda en yoğun dalga sayısı 1,5 – 4 sn ve 0 – 2 m aralıklarındadır. Ayrıca, en yüksek dalganın yaklaşık 6 m dalga yüksekliğine en batıdaki istasyonda sahip olduğu ve yine bu istasyonda en yüksek dalga periyodunun 8 sn olarak görüldüğü anlaşılmaktadır. Burada, tekrardan vurgu yapılmalıdır ki, bu grafikler için de oluşturulan koddan 0 ve belli bir değer arası beyaz renk ile nitelendirilmektedir. Dolayısı

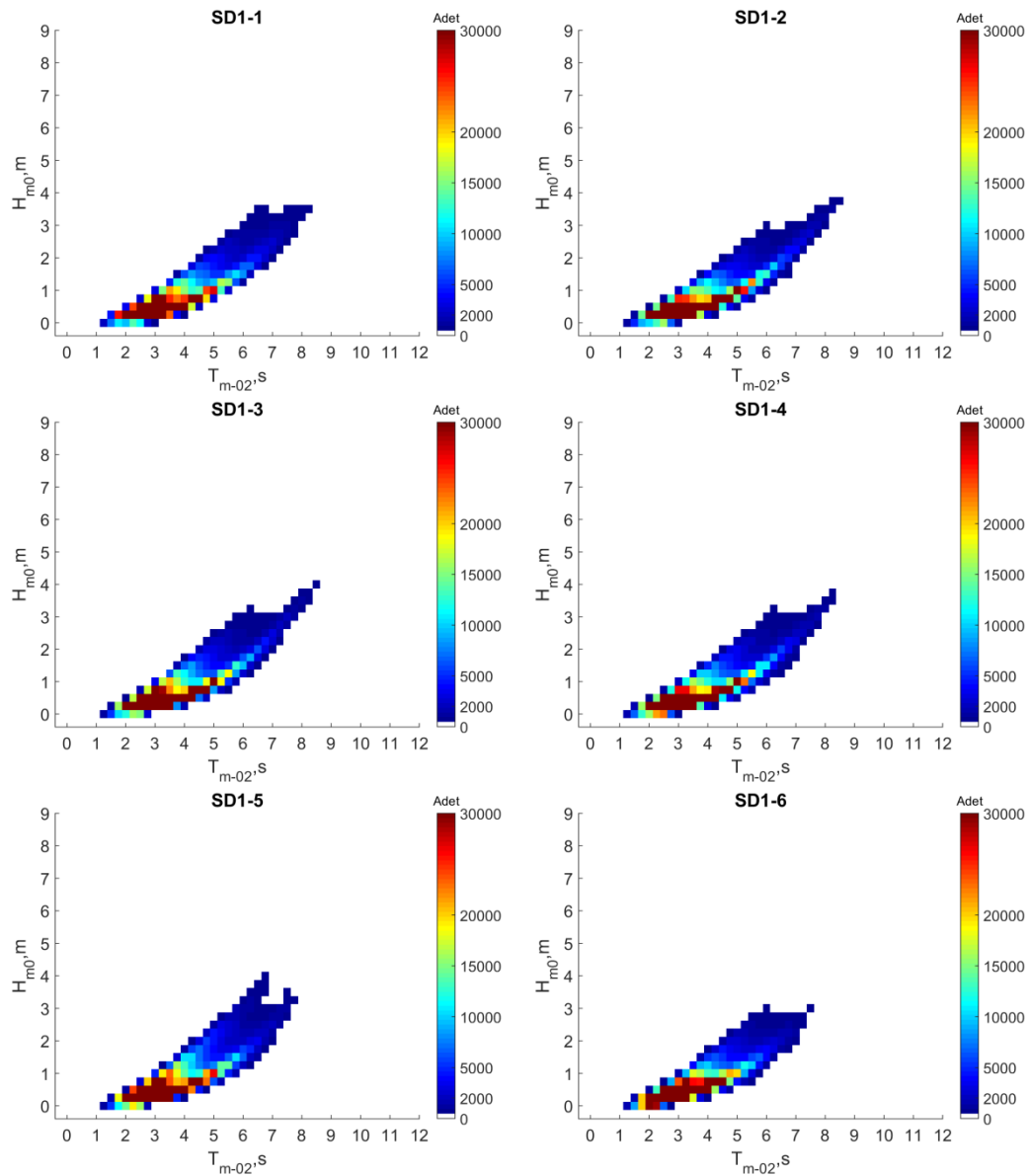
ile bu grafiklerde görülen maksimum değerler yanıltıcı olabilmektedir. Bu grafiklerde görülen maksimum değerler belli sayıda oluşan maksimum değerleri temsil etmektedir.



**Şekil 4. 39.** SD2 alt karelağında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ve ortalama dalga periyodu ( $T_{m02}$ ) ilişkisi

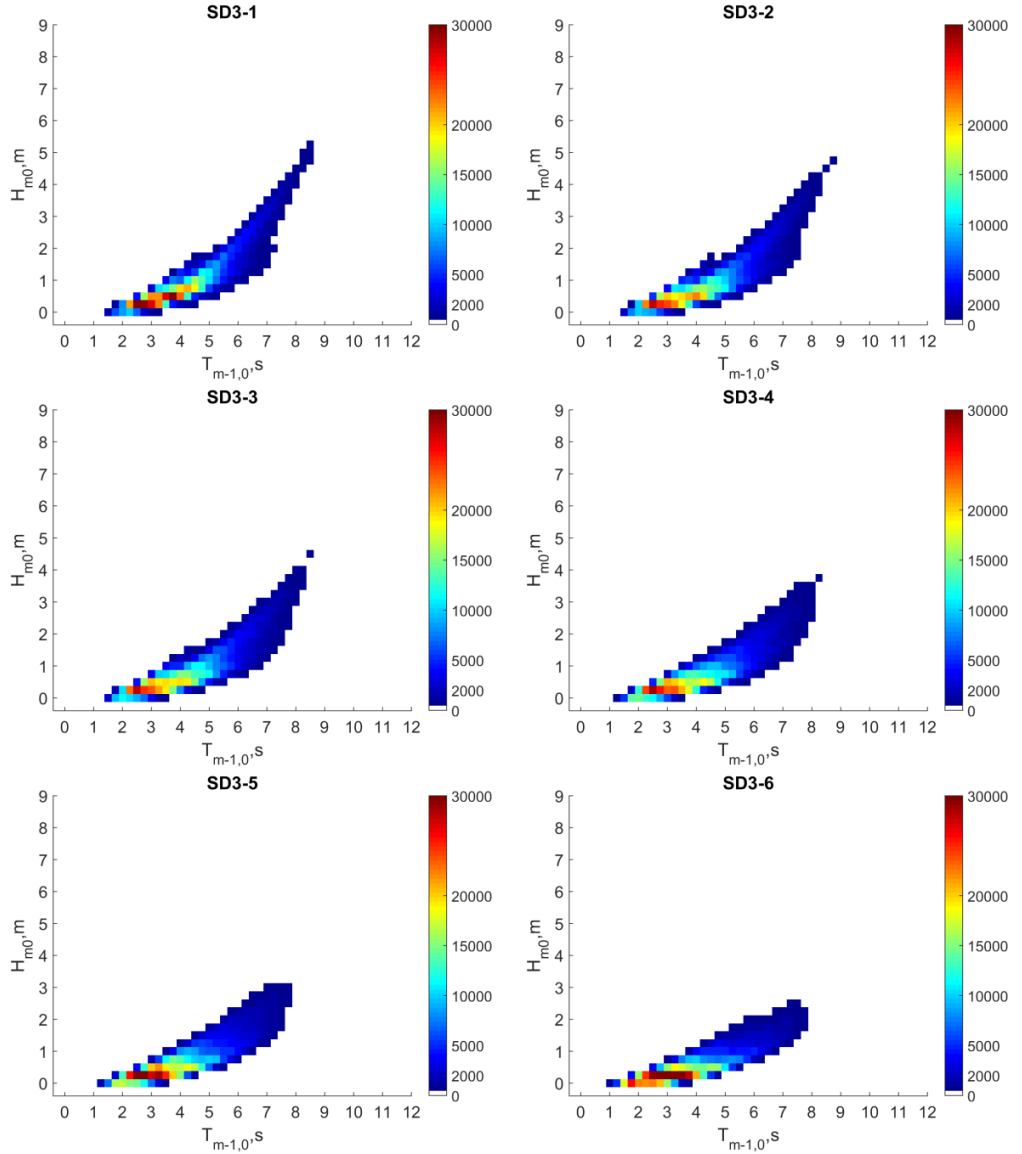
SD2 Filyos alt karelağındaki istasyonlarda en yoğun dalga sayısının 0 – 1 m ve 1 – 5,5 sn aralıklarında olduğu görülmektedir. Bu karelağıdaki istasyonlarda da belli bir sayıyı aşan dalgalar neticesinde grafiklerde görülen maksimum dalga yükseklikleri yine batıdan doğuya doğru azalmakta ve batıda 4 m iken doğuda 3 m olarak görülmüştür.

Ancak, bu kareladaki istasyonlarda SD3 Karaburun karelajında gözlenmiş olan maksimum dalga periyodundan daha yüksek periyotlu dalgaların olduğu da belirlenmiştir (Şekil 4.39). SD1 Sinop karelajındaki istasyonlarda 31 yıl boyunca oluşmuş dalgaların büyük çoğunluğu 0 – 1 m ve 1,5 – 5,5 sn aralığındadır. Bu kareladaki istasyonlarda da belli sayıda dalga oluşumunu aşan maksimum dalga yüksekliği 4 m iken dalga periyodu 9 sn'dir (Şekil 4.40).



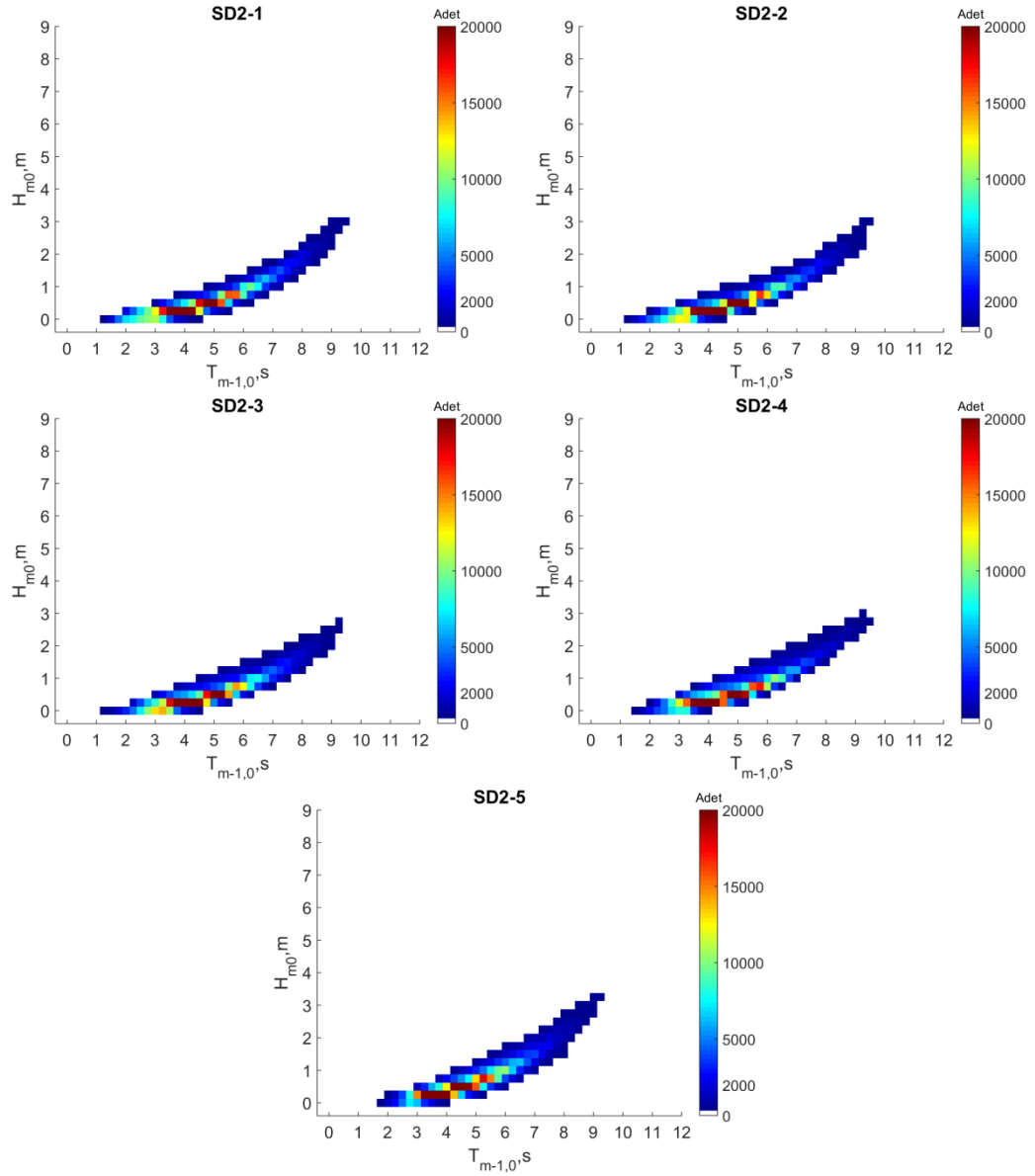
**Şekil 4. 40.** SD1 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ve ortalama dalga periyodu ( $T_{m02}$ ) ilişkisi

Son zamanlarda kıyı yapılarının tasarımında kullanılan dalga enerji periyodunun ( $T_{m-10}$ ) yine belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ile olan ilişkisi dikkate alınan lokasyonların her biri için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş ve Şekil 4.41 – Şekil 4.43'te sunulmuştur. Bu grafiklerin tümü  $H_{m0} - T_{m02}$  ilişki grafikleri ile kıyaslandığında genellikle benzer özellik göstermelerine karşın, daha yüksek dalga enerji periyodunun görüldüğü ve daha geniş bir yüzey alanı kapladığı görülmüştür.

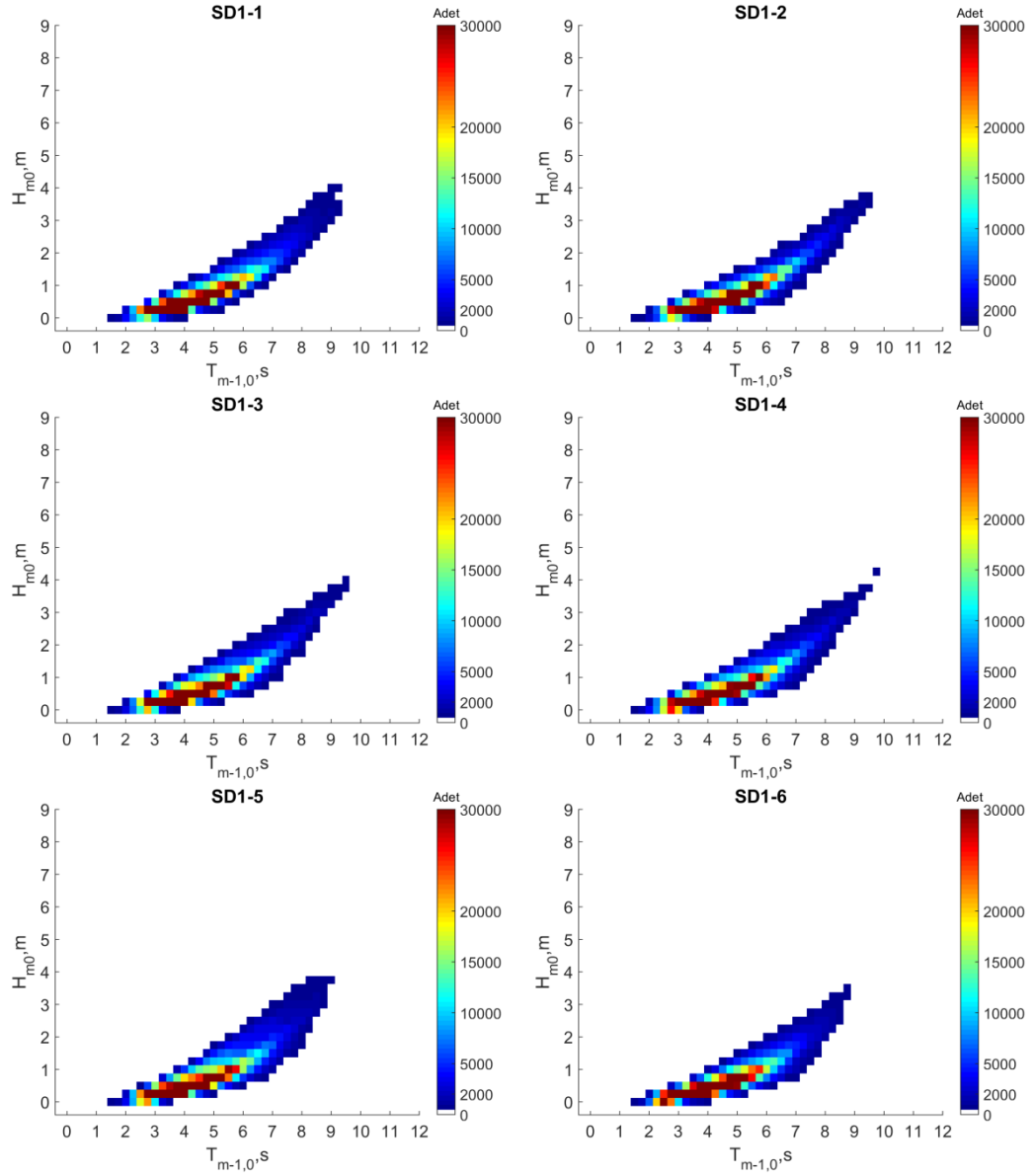


**Şekil 4. 41.** SD3 alt karelaında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ve dalga enerji periyodu ( $T_{m-10}$ ) ilişkisi

SD3 alt karelaındaki istasyonlarda belli sayıda gözlenmiş olan maksimum dalga enerji periyodu 8,5 sn iken SD2 ve SD1 alt karelaındaki istasyonlarda 9,5 sn olarak belirlenmiştir.



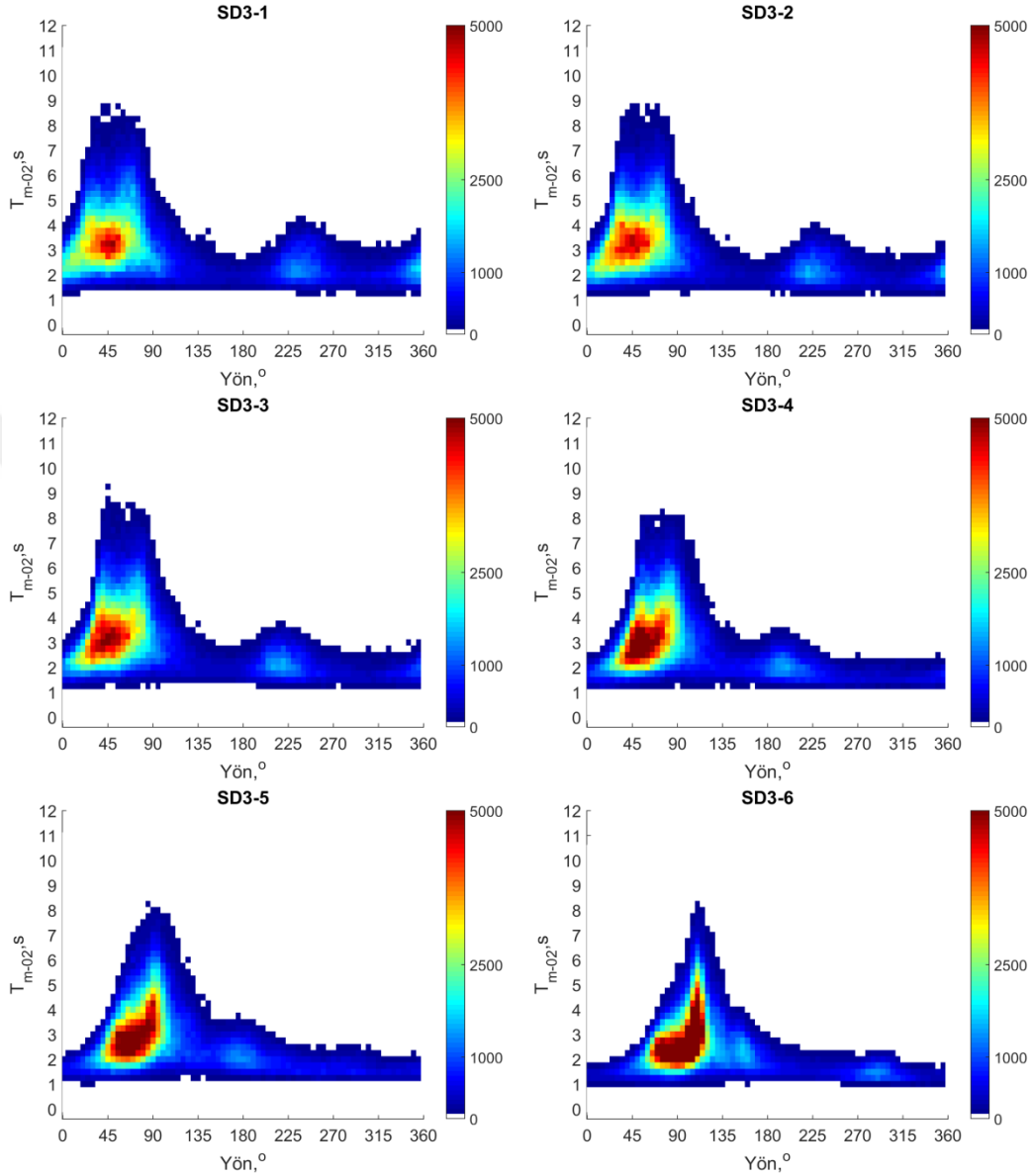
**Şekil 4. 42.** SD2 alt karelaında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ve dalga enerji periyodu ( $T_{m-10}$ ) ilişkisi



**Şekil 4. 43.** SD1 alt karelaında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş belirgin dalga yüksekliği ( $H_{m0}$ ) ve dalga enerji periyodu ( $T_{m-10}$ ) ilişkisi

Her bir alt karelaında seçilmiş lokasyonlar için ortalama dalga periyodunun ( $T_{m02}$ ) ortalama dalga yönü (DIR) ile ilişkisi 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş ve Şekil 4.44 – Şekil 4.46’da sunulmuştur. Şekil 4.44’ten de görülebileceği gibi, SD3 Karaburun karelaında en doğudaki SD3-6 nolu istasyon hariç diğer bütün istasyonlarda en yoğun dalganın  $0^\circ - 90^\circ$  (D - K) yön ve 2 – 5,5 sn aralıklarında olduğu anlaşılmaktadır. Bu istasyonlardaki en uzun dalgalar yine bu yön aralığından gelmektedir. Bütün yönlerden kısa dalgaların geldiği de tespit edilmiştir. SD3-6 nolu

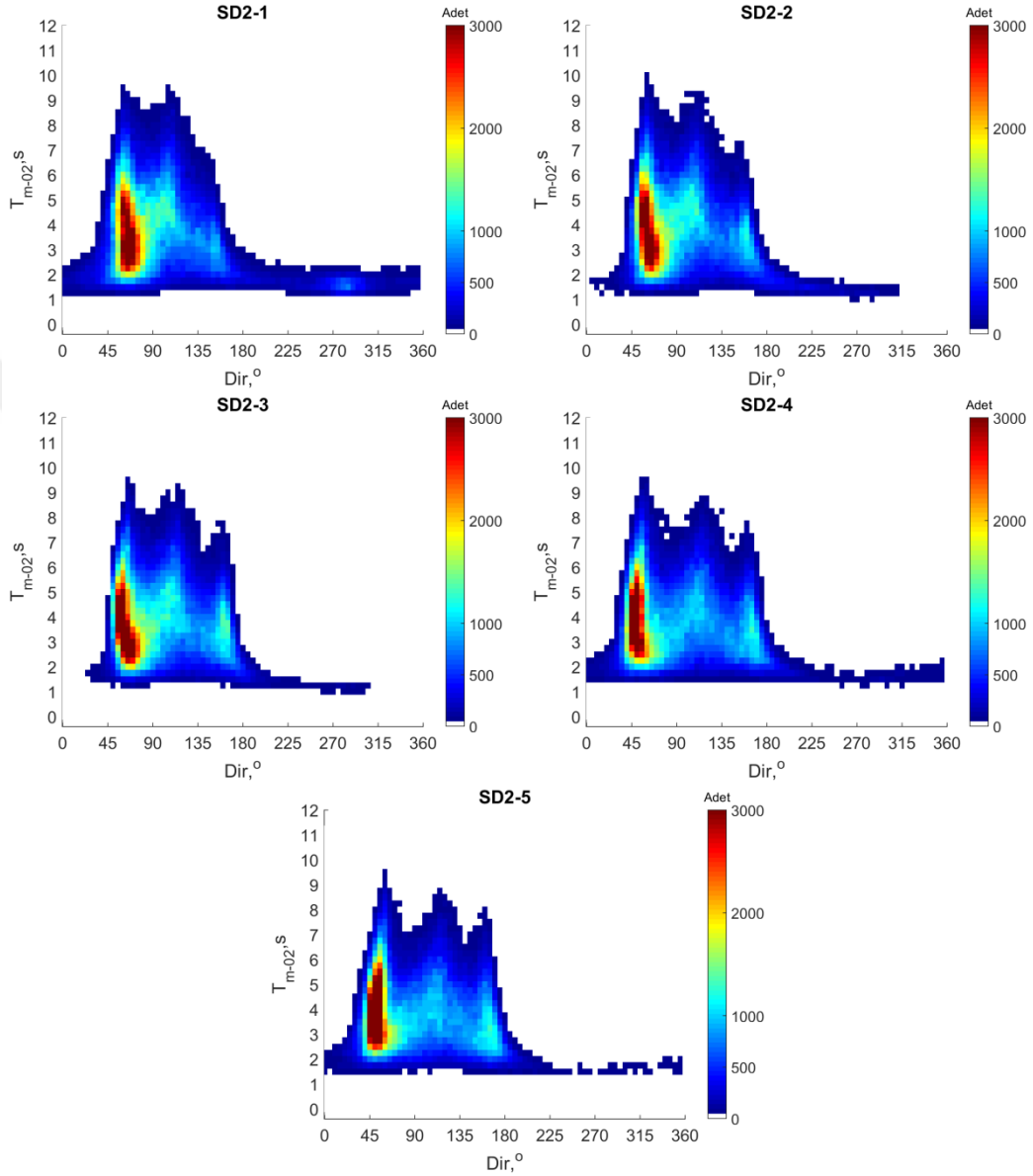
istasyonda ise, en fazla dalganın  $65^{\circ} - 130^{\circ}$  (KKD - KKB) yön aralığından yine 2 – 5,5 sn periyot aralığında geldiği belirlenmiştir.



**Şekil 4. 44.** SD3 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş ortalama dalga periyodu ( $T_{m02}$ ) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi

SD2 Filyos alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş ortalama dalga periyodunun ( $T_{m02}$ ) ve ortalama dalga yönü (DIR) ile ilişkisinden (Şekil 4.45), en fazla dalganın 2 – 6,5 sn aralığında ve KKD yön diliminden geldiği anlaşılmaktadır. Bu karelajlardaki istasyonlarda uzun dalgaların SD3

karelaçındakilere kıyasla çok daha geniş bir yön aralığından ( $45^{\circ} - 180^{\circ}$ , KD - B) geldiği de görölmektedir. Doğuya doğru gidildikçe uzun dalgaların etkisinin olmadığı ve kısa dalgaların etkisinin de azaldığı anlaşılmaktadır.

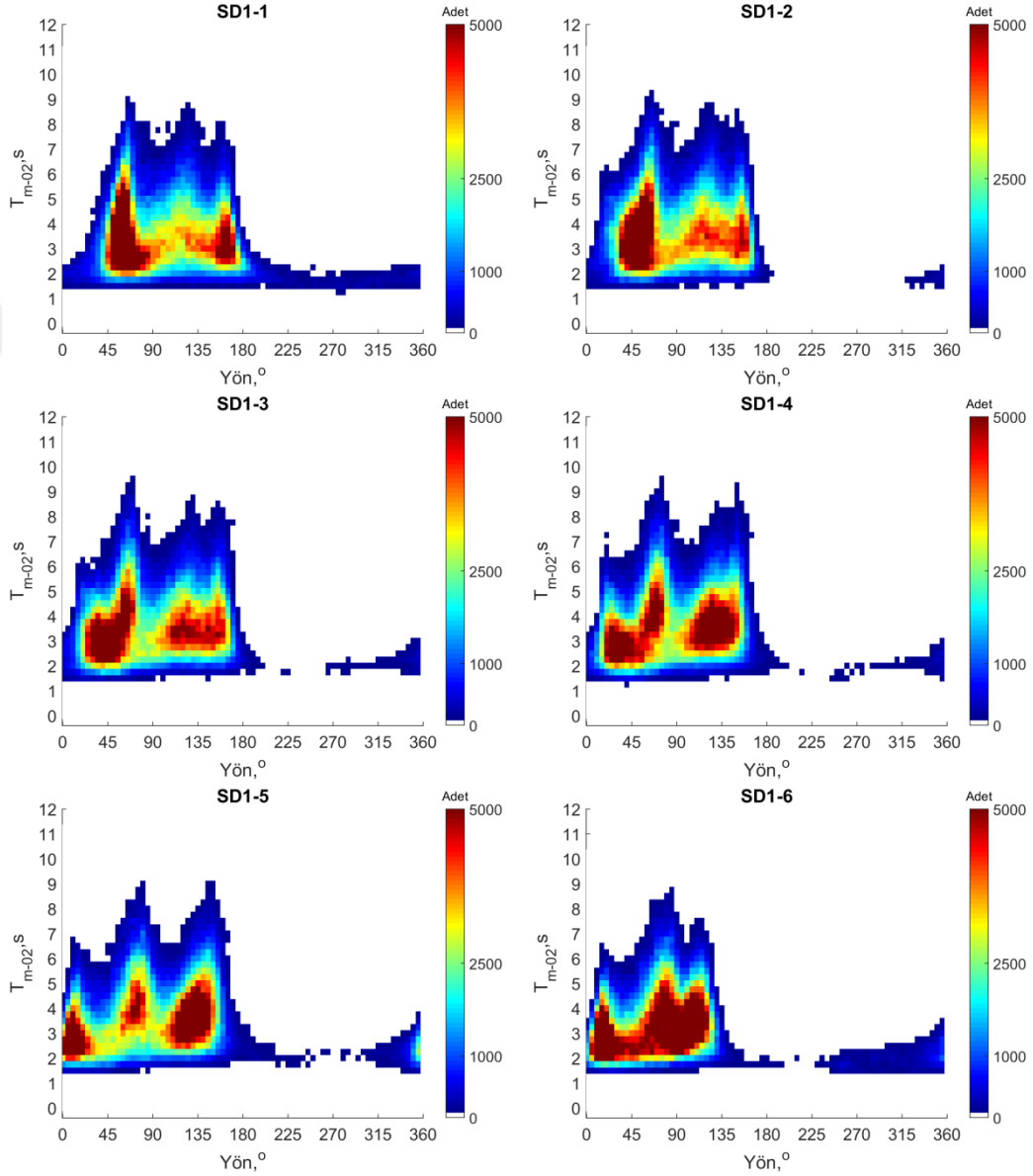


**Şekil 4. 45.** SD2 alt karelaçında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş ortalama dalga periyodu ( $T_{m02}$ ) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi

SD1 Sinop alt karelaçında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş ortalama dalga periyodunun ( $T_{m02}$ ) ve ortalama dalga yönü (DIR) ile ilişkisinden (Şekil 4.46), en fazla dalganın SD2 Filyos alt karelaçındaki istasyonlarda



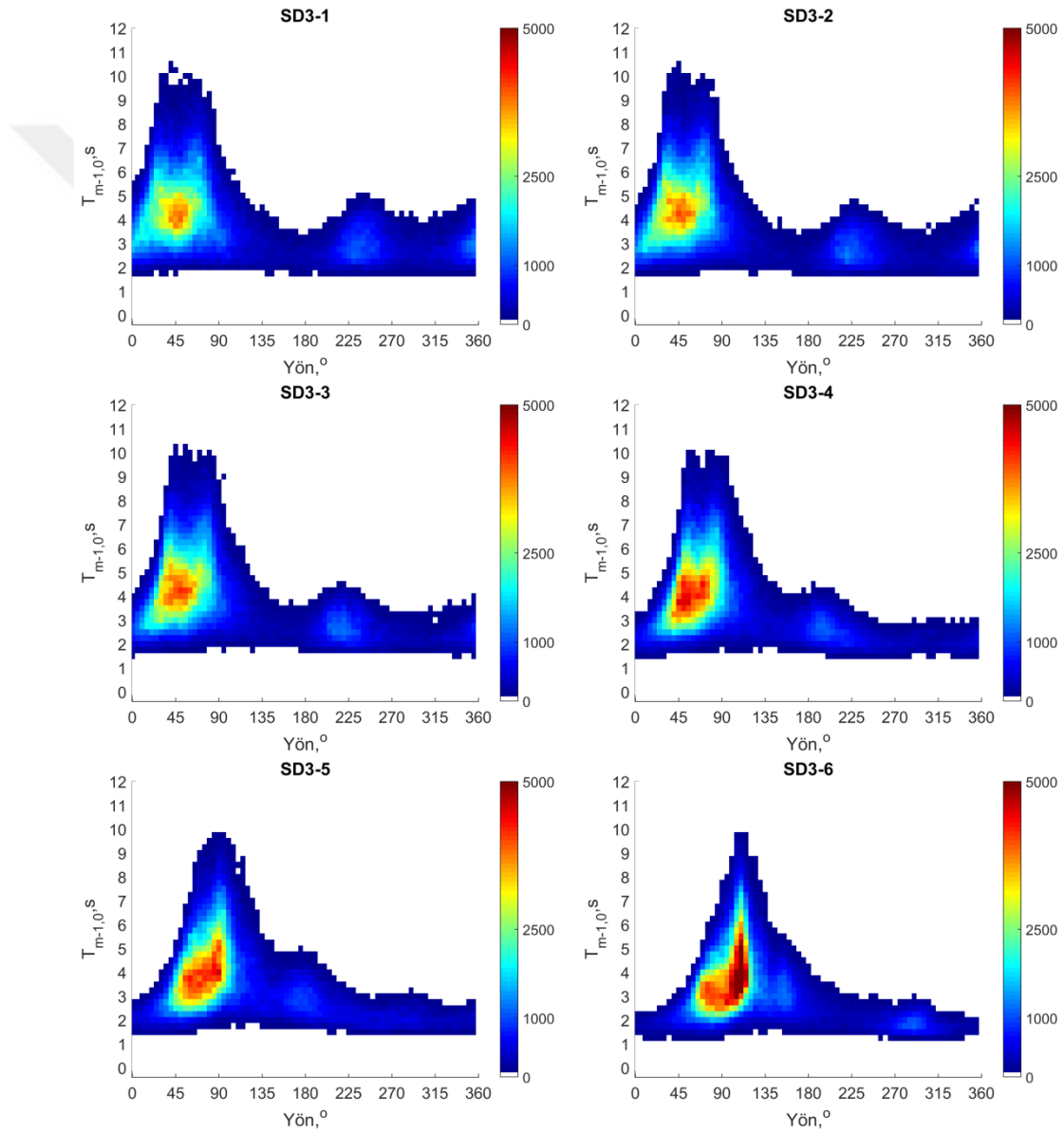
da olduğu gibi 2 – 6 sn aralığında ve ancak daha geniş bir yön sektöründen (KD - B) geldiği anlaşılmaktadır. Bu karelejlardaki istasyonlarda uzun dalgaların SD1-6 istasyonu hariç SD3 karelejlindakilere benzer bir şekilde geniş bir yön aralığından (45° – 180°, KD - B) geldiği de görülmektedir.



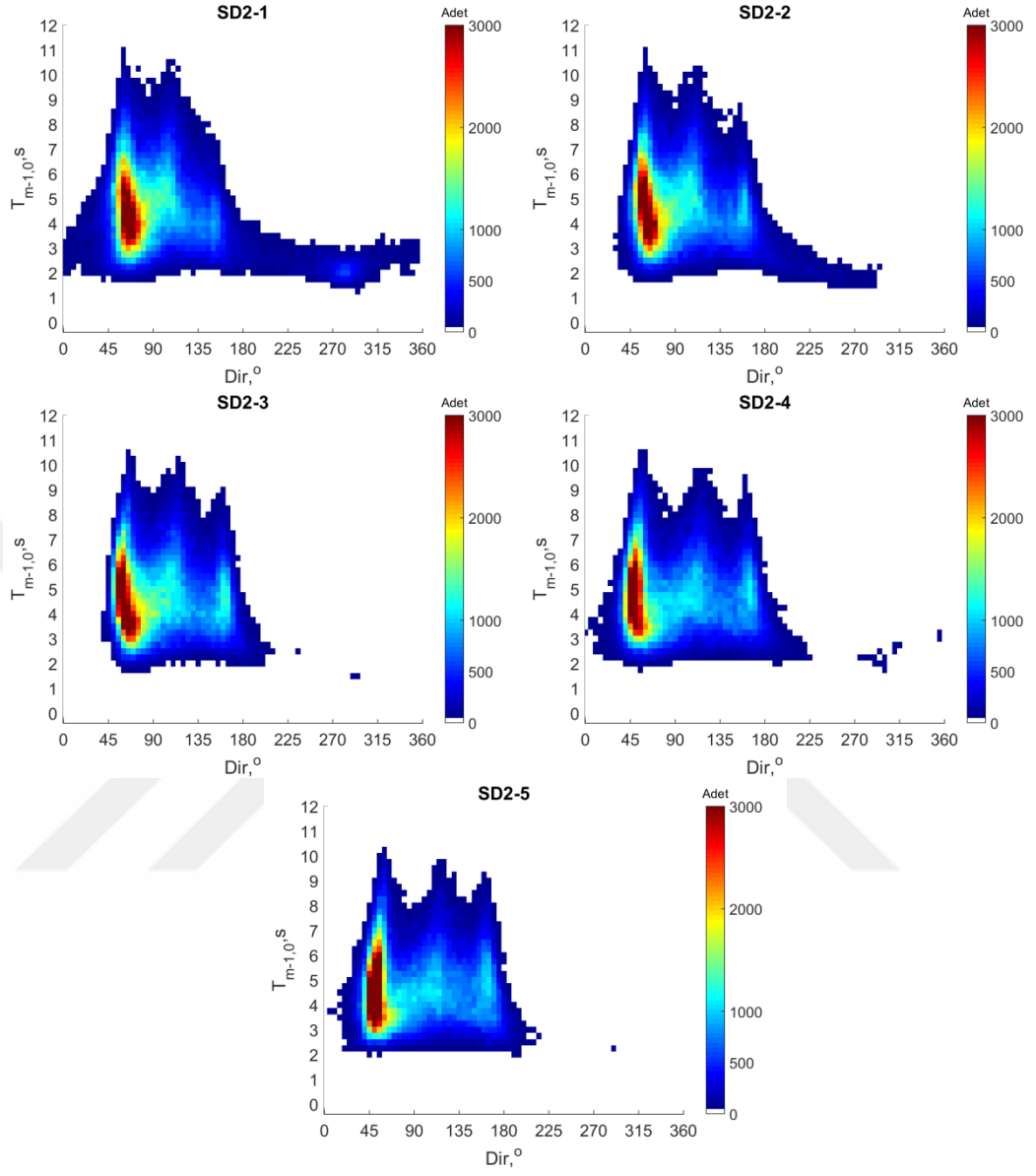
**Şekil 4. 46.** SD1 alt karelejlında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş ortalama dalga periyodu ( $T_{m02}$ ) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi

Dalga parametrelerinin ikili ilişkilerinin analizi için son olarak her bir alt karelejlada seçilmiş lokasyonlar için dalga enerji periyodunun ( $T_{m-10}$ ) ortalama dalga yönü ile

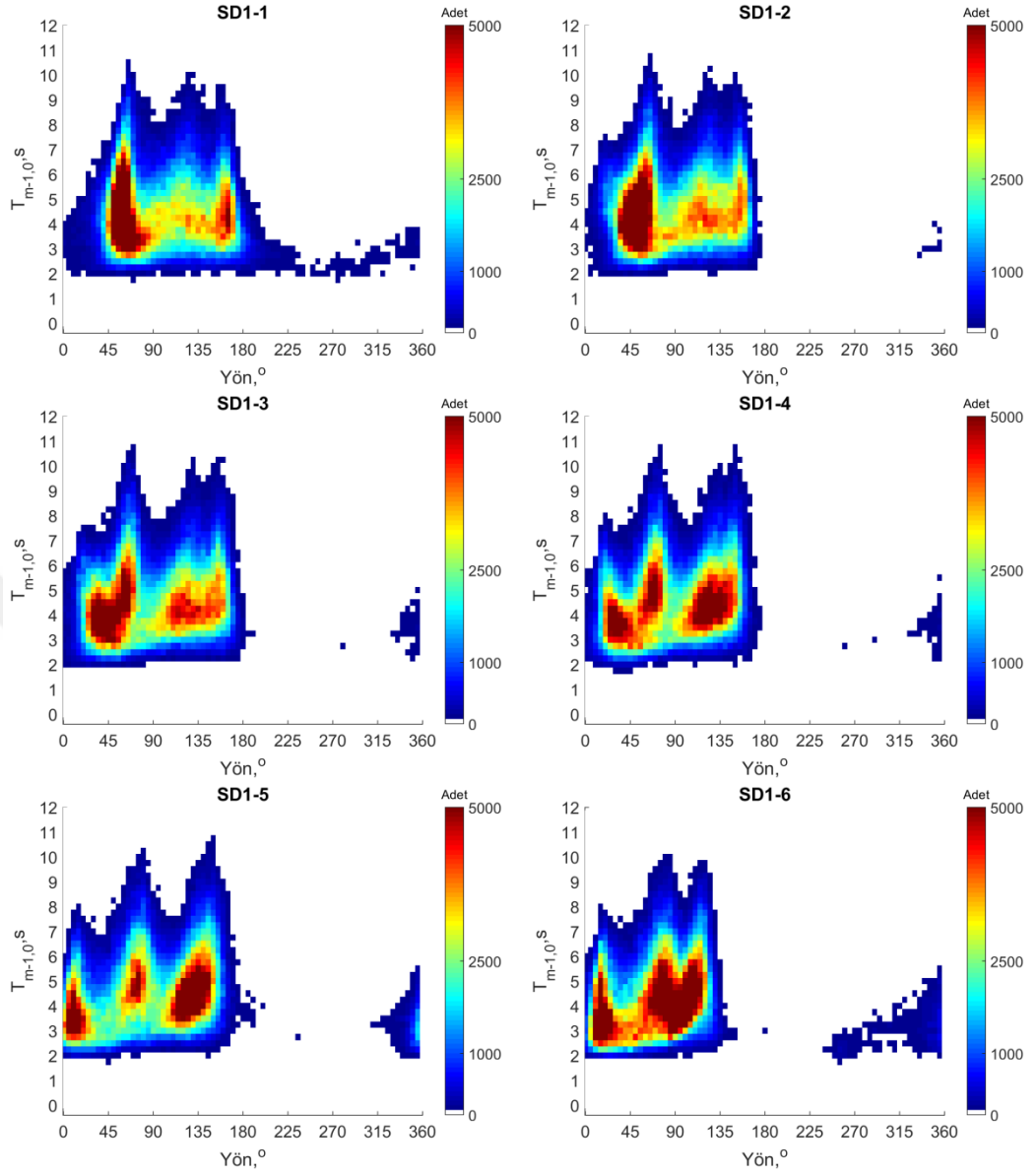
ilişkisi 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş ve Şekil 4.47 – Şekil 4.49’da sunulmuştur. Bu şekillerden, SD3 Karaburun karelaındaki istasyonlarda ortalama dalga periyodunun maksimum değeri 8 sn olarak gözlenirken dalga enerji periyodunun maksimum değerinin 10 sn civarında olduğu belirlenmiştir. SD2 karelaındaki istasyonlarda maksimum ortalama periyot 10 sn iken maksimum enerji periyodu 11 sn ve SD1 karelaındaki istasyonlarda maksimum ortalama periyot 9 sn iken maksimum enerji periyodu 11 sn olduğu da tespit edilmiştir.



**Şekil 4. 47.** SD3 alt karelaında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş dalga enerji periyodu ( $T_{m-10}$ ) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi



**Şekil 4. 48.** SD2 alt karelağında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş dalga enerji periyodu ( $T_{m-10}$ ) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi

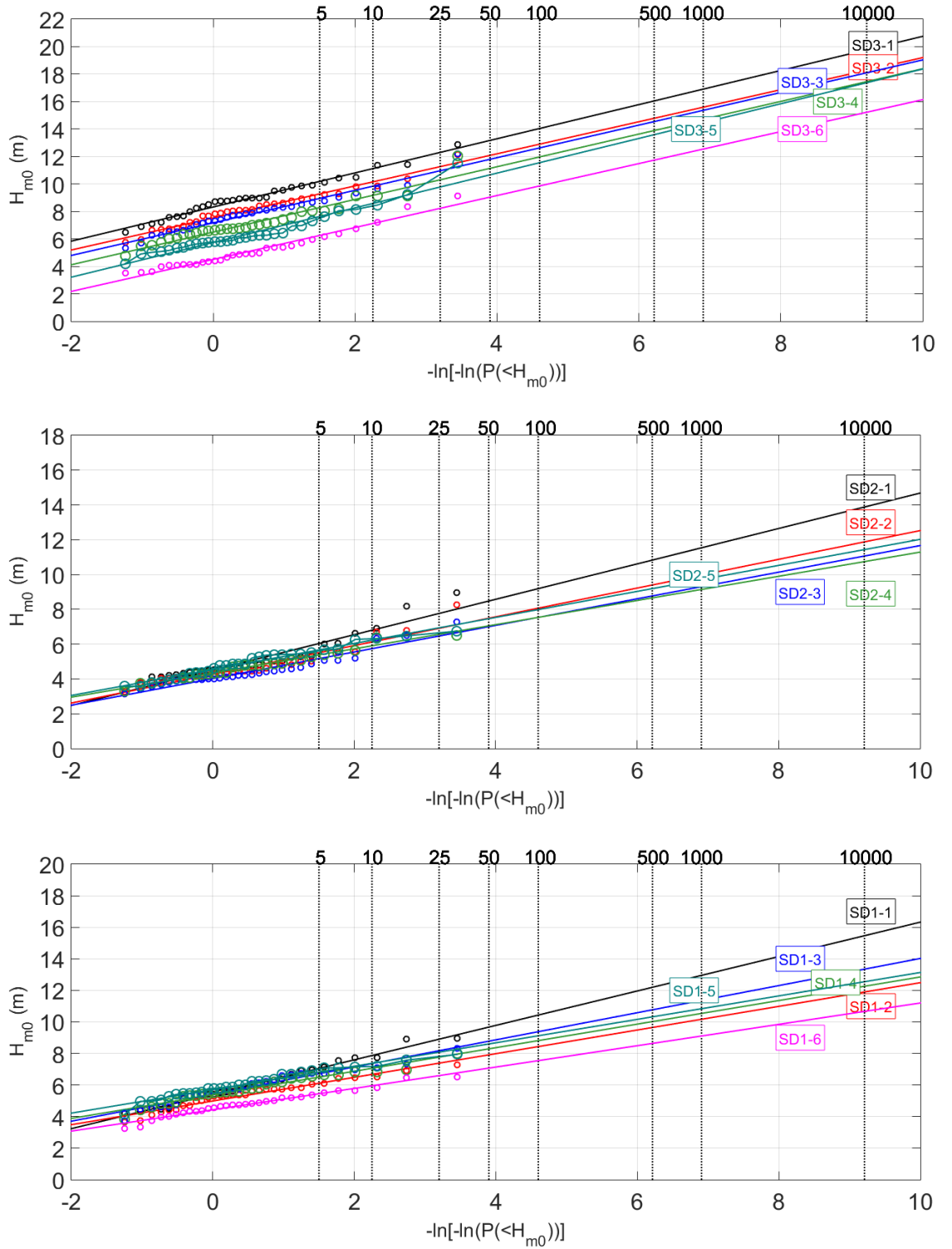


**Şekil 4. 49.** SD3 alt karelajında seçilmiş lokasyonlar için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanarak belirlenmiş dalga enerji periyodu ( $T_{m-10}$ ) ve ortalama dalga yönü (DIR) ilişkisi

#### 4.3.8. Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

Dalgadan enerji üretiminde dikkate alınan bölgedeki mevcut enerji potansiyelinin yanında bu bölgede kurulacak sistemin güvenli, uzun ömürlü ve şiddetli dalgalara dayanabilecek bir yapıda olması gerekmektedir. Bundan dolayı, dalga enerji dönüştürücülerinin stabilitesini sağlamak amacıyla ihtiyaç duyulacak tasarım dalgaları da her alt karelajdaki seçilmiş istasyonlar için belirlenmiştir. Bunun için, 31 yıl boyunca üretilen belirgin dalga yüksekliklerinden her yılın maksimum değerleri

alınarak farklı tekerrürlü ekstrem dalgalar hem yönsel hem de yön dikkate alınmadan mevcut bütün veriler kullanılarak tahmin edilmiş ve sonuçlar Ek 11'de sayısal olarak ve her alt kareajda seçilmiş ikişer lokasyon için Şekil 4.50'de görsel olarak sunulmuştur. Bu şekle göre, SD3 Karaburun alt kareajındaki 100 yıl tekerrürlü dalga yüksekliği 1 No'lu istasyonda 14 m iken azalarak 5 No'lu istasyonda 11,5 m değerlerini almaktadır. 6 No'lu istasyonda ise 100 yıl tekerrürlü dalga yüksekliği 9,9 m değerindedir. Buradan da görülebileceği gibi, bu kareajda batıdan doğuya doğru 100 yıl tekerrürlü tasarım dalga yüksekliği azalmıştır. Mevsimlik ekstrem değer analizi sonuçları incelendiğinde, 1, 2 ve 4 No'lu istasyonlarda sırasıyla KKD, KKD ve K yönlerinden gelen dalgalarla gerçekleştirilen ekstrem değer analizleri sonucunda üretilen 100 yıl tekerrürlü dalga yükseklikleri (14,7 m, 13,3 m ve 12,2 m) bütün verideki yıllık maksimum değerlere dayanarak üretilenlerden (14 m, 12,9 m ve 12 m) daha yüksek çıktığı görülmüştür. Diğer istasyonlarda ise, bütün veriye dayanarak gerçekleştirilen ekstrem değer analizi sonucunda üretilen 100 yıl tekerrürlü dalga yükseklikleri yönsel üretilenlerden daha yüksek çıkmıştır. Filyos SD2 kareajında da batıdan doğuya doğru 100 yıl tekerrürlü tasarım dalgası azalmış ancak 5 No'lu istasyonda artmıştır. Bu kareajda 1 No'lu istasyonda 100 yıl tekerrürlü tasarım dalgası 9,2 m iken azalarak 4 No'lu istasyonda 7,5 m değerine gerilemiştir. 5 No'lu istasyonda tekrardan artarak 8 m değerine yükselmiştir. 3 ve 4 No'lu istasyonlarda KKB yönünden gelen dalgaların tasarım dalga yüksekliği 8,1 m iken bütün yönlerden geleninki 7,5 m değerindedir. Ayrıca, 2 No'lu istasyonda KKB yönünden gelen dalgaların tasarım dalga yüksekliği (8,4 m) bütün veriye dayanan tasarım dalga yüksekliğinden (8,1 m) daha büyüktür. SD1 Sinop kareajı istasyonlarında en büyük 100 yıl tekerrürlü dalga yüksekliğine (10,4 m) 1 No'lu istasyon ve en düşüğüne (7,5 m) 6 No'lu istasyon sahiptir. Bu kareajda 6 No'lu istasyonda K yönünden gelen dalgaların 100 yıl tekerrürlü tasarım dalgası 7,8 m iken bütün veriye dayananı 7,5 m değerindedir. 3, 4 ve 5 No'lu istasyonlarda BKB yönünden gelen dalgaların 100 yıl tekerrürlü tasarım dalgası (9,7 m, 9,4 m ve 9,5 m) bütün veriye dayananından (9,4 m, 8,8 m ve 9,1 m) daha büyüktür. 2 No'lu istasyonda, KKB yönünden gelen dalgaların 100 yıl tekerrürlü tasarım dalga yüksekliği 8,7 m iken bütün veriye dayananı 8,4 m olarak belirlenmiştir.



**Şekil 4. 50.** Her bir alt karelajda seçilmiş lokasyonlar için 1979-2009 yılları arası bütün veriye dayanarak oluşturulmuş farklı tekerrür süreli ekstrem dalgalar

#### 4.3.9. Genel Değerlendirme

Karadeniz'in güney batı sahillerinin dalga ikliminin her bir alt karelejda seçilen lokasyonlarda incelenmesinden sonra, elde edilen uzun dönemli veri setinin sonuçlarının dalga gülleri, belirgin dalga yüksekliğinin ortalama dalga periyodu ilişkisi ve farklı tekerrürlü ekstrem dalgalar açısından günümüzde Türkiye kıyılarında herhangi bir yapının tasarımında ana kaynak olarak kullanılan Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002)'nin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu analiz için her bir alt karelejda ikişer lokasyon seçilmiştir (Şekil 3.1 ve Çizelge 3.4). Toplam 6 istasyon için geliştirilen modellerle üretilmiş uzun dönemli dalga veri seti kullanılarak üretilen dalga gülleri Şekil 4.51'de,  $H_{m0} - T_{m02}$  ilişki grafikleri Şekil 4.52'de ve farklı tekerrürlü ekstrem dalga grafikleri Şekil 4.53'te Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002)'nininkilerle birlikte sunulmuştur.

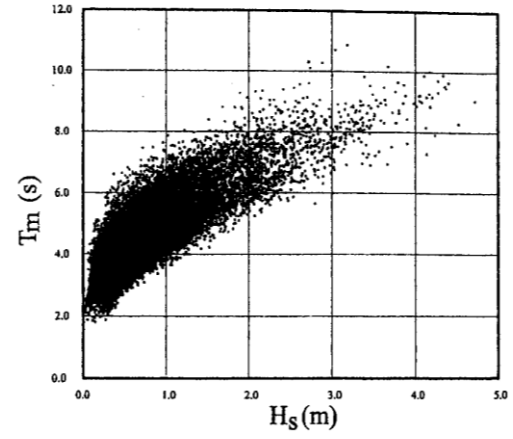
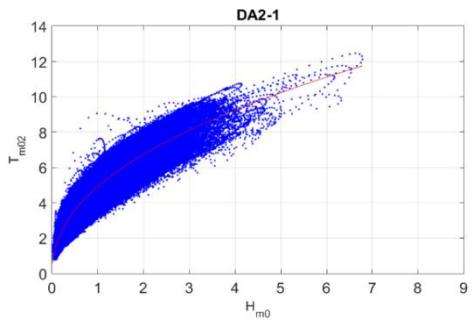
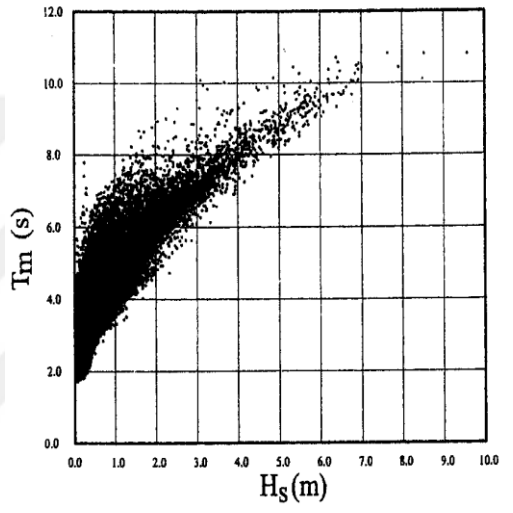
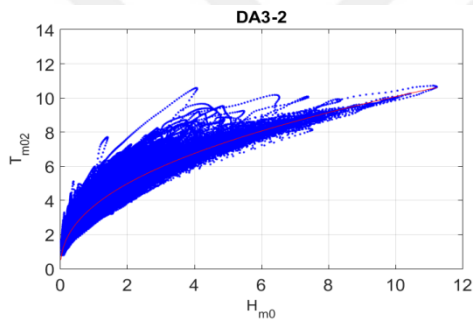
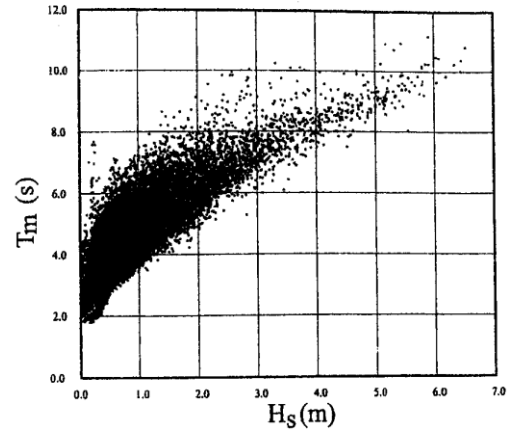
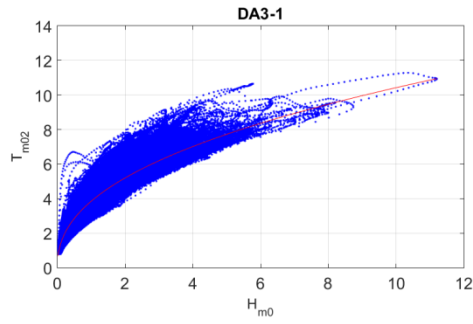
Şekil 4.51'den de görülebileceği gibi, bu çalışma kapsamında üretilen dalga gülleri ile dalga atlasının dalga gülleri hemen hemen birbirine benzemektedirler. Hakim yön ve ikincil yönler her iki çalışmada da benzer bir şekilde tahmin edilmiştir. Ancak, her iki çalışmadan üretilen dalga güllerinde bu tür benzerlikler olmasına karşın aralarında bazı farklılıkların da bulunduğu görülmektedir. Karaburun karelejındaki DA3-1 istasyonunda, bu çalışma kapsamında üretilen dalga gülünde dalgaların yaklaşık %50'inin K – KD yön sektöründen geldiği ve aynı sektörden dalga atlasında %48,6 oranında dalganın geldiği görülmektedir. Bu istasyonda ayrıca dalga atlasında %9,8 civarında bu çalışma kapsamında üretilen dalga gülünde tespit edilemeyen yönlerden dalgaların geldiği de gözlenmektedir. Bunların yanında, sakin dönem dalga atlasında %31,71 iken bu çalışma kapsamında üretilen dalga gülünde %42'dir. Karaburun karelejında seçilen diğer istasyonda da yönsel olarak dalga atlası ile önemli benzerliklerin olduğu da görülmektedir. Hakim yön, her iki çalışmada da KKD – DKD yön sektörü olarak ön plana çıkmakta ve sakin deniz durumu dalga atlasında yaklaşık %32 iken bu çalışmada %31 olarak ortaya çıkmıştır. Bu istasyonda (DA3-2) her iki çalışmada da GB yön dilimi ikincil yön olarak tespit edilmiştir. Filyos karelejına denk gelen iki istasyonda da bu çalışma kapsamında üretilen dalga güllerinde yaklaşık %30'luk bir oranla KKD yön dilimi hakim yön olarak ön plana çıkarken dalga atlasında bu yön dilimi ön plana çıkmamaktadır.



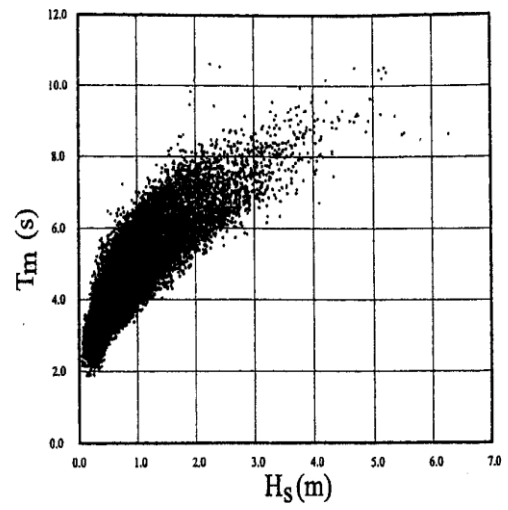
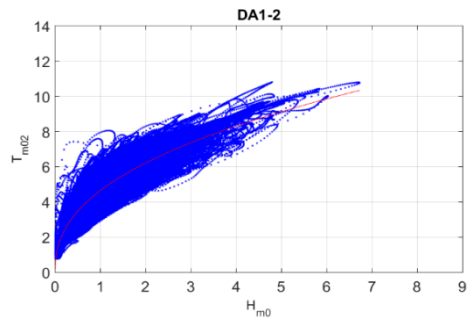
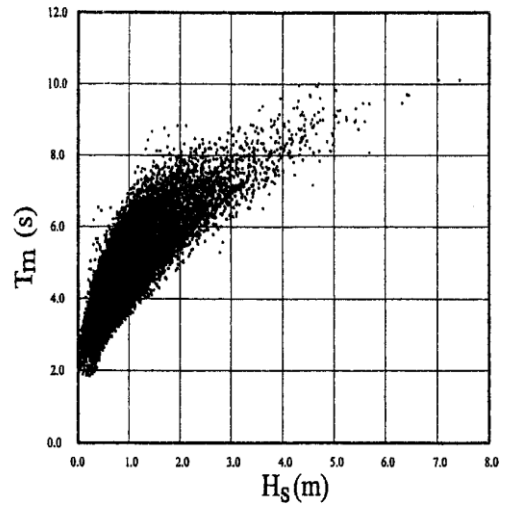
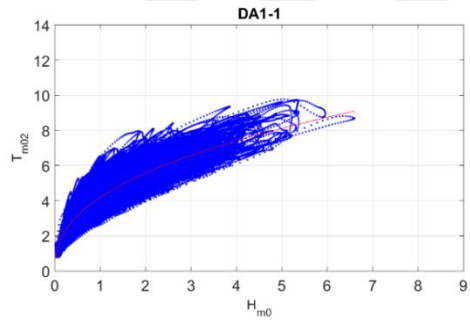
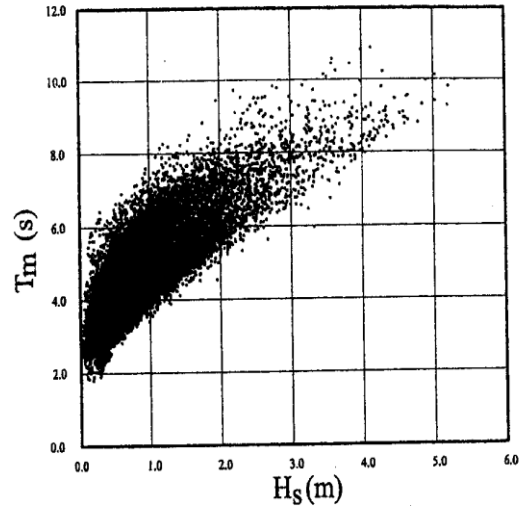
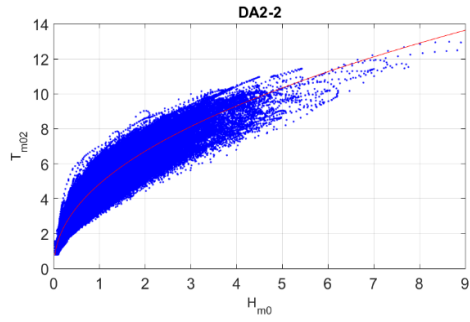


Filyos karelajına denk gelen iki istasyonda da dalga atlasında yaklaşık %5 ve %10 aralığında paylara sahip B – KD yön sektörü gibi çok daha geniş bir hakim yön sektörü ortaya konmuştur. Buna karşın, bu sektördeki yüzde oranları bu çalışma kapsamında üretilen dalga güllerinde de elde edilebilmiştir. DA2-1 istasyonunda sakin deniz durumunun payı her iki çalışmada da hemen hemen aynı iken, DA2-2 numaralı istasyonunda bu çalışmada üretilen dalga gülünde dalga atlasındakine kıyasla daha yüksek bir paya sahip sakin deniz durumunun olduğu da görülmektedir. SD1 Sinop karelajına denk gelen her iki istasyonda da bu çalışmada üretilen dalga güllerinde dalga atlasındakilerine kıyasla yaklaşık %9 daha yüksek oranda sakin deniz durumu tespit edilmiştir. Her iki çalışmada da her iki istasyon için geniş bir hakim dalga yön sektörü tespit edilmiştir. Dalga atlasındaki dalga güllerine göre, DA1-1 istasyonunda KB yön diliminden daha batıdan gelen dalgalar ve DA1-2 istasyonunda ise batı ve doğu yön dilimlerinden gelen dalgalar bu çalışma kapsamında üretilen dalga güllerinde tespit edilememiştir.

Dalga gülleri açısından her iki çalışmanın sonuçları kıyaslandıktan sonra, ortalama dalga periyodunun belirgin dalga yüksekliği ile ikili ilişkileri de kıyaslanmıştır. Şekil 4.52'deki grafiklerden görülebilecek en net sonuç, yalnızca DA1-1 istasyonu hariç diğer bütün istasyonlarda dalga atlası ile sunulan sonuçlarda en yüksek dalga yüksekliklerinin bu çalışma kapsamında üretilen sonuçlarla elde edilen en yüksek dalga yüksekliğinden daha düşük olmasıdır. Örneğin; DA3-1 numaralı istasyonda dalga atlasında sunulmuş en yüksek dalga yüksekliği yaklaşık 6,5 m iken bu çalışmada üretilen sonuçlara göre bu değer 11 m'den daha yüksek verilmiştir. Bu, yüksek dalga yüksekliklerinin (fırtınaların) kıyı yapılarının tasarımında en önemli parametre olması nedeniyle son derece önemli bir sonuçtur. DA1-1 istasyonunda ise, dalga atlasında 7,5 m'lik bir en yüksek dalga yüksekliği sunulurken bu çalışmadan üretilen sonuçlardan bu değer için 6,8 m'lik bir yükseklik bilgisi sunulmuştur. Bütün istasyonlarda periyot bilgisi irdelendiğinde, yüksek periyotlu (uzun) dalgalar için her iki çalışmada da birbirine yakın değerlerin sunulduğu görülmektedir. Ancak, kısa periyotlu dalgalar için bu çalışma kapsamında üretilen sonuçların 2 sn 'den daha küçük değerler sunduğu, dalga atlasında ise 2 sn 'den daha küçük değerlerin olmadığı görülmektedir.



**Şekil 4. 52.** Her bir alt kareajda seçilmiş iki lokasyon için 31 yıllık uzun dönemli veriye dayanan  $H_{m0} - T_{m02}$  ilişkisi ve aynı lokasyonlar için Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002)'nin  $H_{m0} - T_{m02}$  ilişkisi

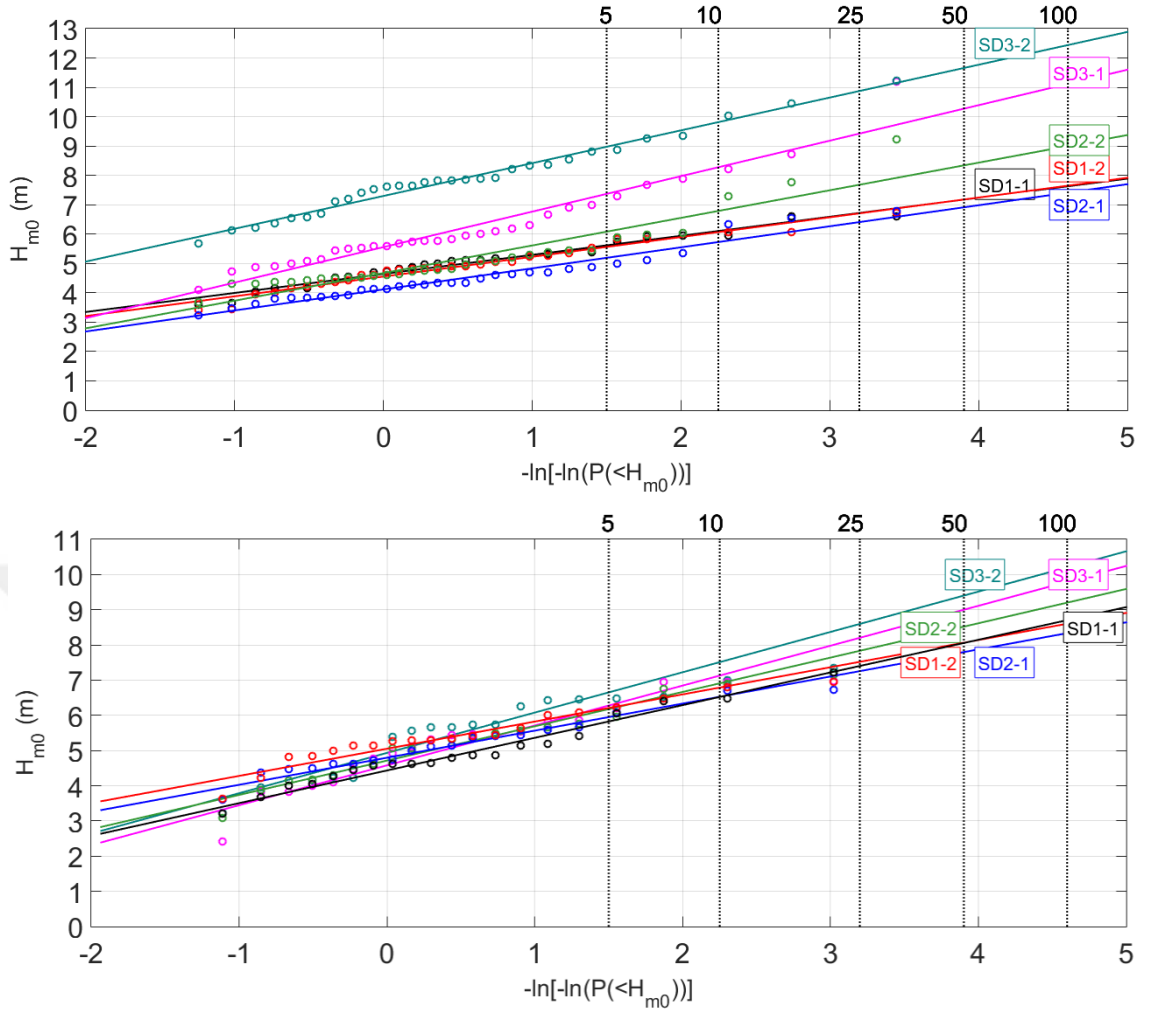


Şekil 4.52. Devamı

Her iki dalga parametre arasındaki ilişkinin irdelenmesinden sonra, seçilmiş istasyonlardaki farklı tekerrür süreli ekstrem dalgalar da her iki çalışma sonuçları açısından kıyaslanmıştır (Şekil 4.53 ve Çizelge 4.10). Bu çizelge ve şekillerden 25, 50 ve 100 yıl tekerrürlü tasarım dalgaları dikkate alındığında, bu çalışma kapsamında üretilen sonuçların dalga atlasının (Özhan ve Abdalla, 2002) sonuçlarına göre, SD3 Karaburun alt karelağının her iki istasyonunda daha yüksek ancak diğer istasyonlarda daha düşük ekstrem dalgalar sunduğu görülmektedir. SD3 Karaburun alt karelağındaki istasyonlarda bu çalışma kapsamında elde edilen tasarım dalgaları ile dalga atlası tasarım dalgaları arasında 2 m'den daha büyük farkların olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Karaburun alt karelağı dışındaki diğer alt karelağlardaki istasyonlarda dalga atlasının şu anki çalışmanın sonuçlarına göre yaklaşık 1 m'ye kadar daha yüksek değerler sunduğu da görülmektedir.

**Çizelge 4.10** Her bir alt karelağda seçilmiş iki lokasyon için 31 yıllık uzun dönemli yıllık maksimum belirgin dalga yüksekliklerine dayanarak hesaplanan farklı tekerrürlü (T) ekstrem dalgalar ve aynı lokasyonlar için Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002)'nin farklı tekerrürlü ekstrem dalgaları

T	25 yıl		50 yıl		100 yıl		25 yıl	50 yıl	100 yıl
	Dalga atlası	Şu anki çalışma	Dalga atlası	Şu anki çalışma	Dalga atlası	Şu anki çalışma	Fark		
SD1-2	7,50	6,72	8,15	7,18	8,80	7,63	0,78	0,98	1,17
SD1-1	7,64	6,71	8,19	7,18	8,74	7,65	0,93	1,01	1,09
SD2-2	7,47	6,41	8,05	6,91	8,62	7,41	1,07	1,14	1,21
SD2-1	7,84	7,68	8,53	8,34	9,21	9,00	0,16	0,19	0,21
SD3-2	8,42	9,42	9,26	10,27	10,08	11,12	-1,00	-1,02	-1,04
SD3-1	8,68	10,87	9,50	11,66	10,31	12,44	-2,19	-2,16	-2,13



**Şekil 4. 53.** Her bir alt kareajda seçilmiş iki lokasyon için 31 yıllık uzun dönemli yıllık maksimum veriye dayanan farklı tekerrürlü ekstrem dalgalar ve aynı lokasyonlar için Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002)'nin farklı tekerrürlü ekstrem dalgaları

## 5. SONUÇ

Karadeniz'in güney batı sahillerinin dalga iklimi ve dalga karakteristiklerinin değişkenliğinin analizine odaklanan bu çalışmada, öncelikle çalışma bölgesi dalga şartlarını iyi bir şekilde temsil edebilecek bir iç içe geçmiş karelaj sistemli dalga tahmin modeli geliştirilmiştir. Model, hem ana karelaj hem de alt karelajlarda mevcut ölçümlere dayanarak bazı kaynak ifadeleri ve onların ayarlanabilir parametreleri baz alınarak çalışma bölgesine uyarlanmış ve kalibre edilmiştir. Kalibre edilen modelin doğruluğu, kalibrasyonda kullanılmayan ölçüm verilerine dayanarak test edilmiştir. Daha sonra, 31 yıllık uzun dönemli bir simülasyon gerçekleştirilerek arzu edilen rüzgar/dalga parametreleri biriktirilmiştir. Bu uzun dönemli veriye dayanarak bölgenin dalga iklimi ve dalga parametrelerinin değişkenliği farklı açılardan ortaya çıkartılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar iki ana başlık altında aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Model geliştirilmesi üzerine elde edilen sonuçlar:

- ✓ Her bir karelaj için gerçekleştirilen test analizleri neticesinde, dalga model tahminlerinin köpüklenme süreci için kullanılan formülasyonlara en fazla duyarlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, köpüklenme katsayısının ve köpüklenmenin dalga sayısına bağımlılığını belirleyen delta katsayısının dalga model tahminlerinin geliştirilmesi üzerine önemli bir etkiye sahip oldukları tespit edilmiştir.
- ✓ Model performansı üzerine durağan olmayan hesaplamaların zaman aralığının da etki ettiği görülmüştür. Daha yüksek çözünürlükte gerçekleştirilen hesaplamaların daha iyi bir performans gösterdiği belirlenmiştir.
- ✓ Duyarlılık analizinde odaklanılan diğer süreç ve/veya parametreler model performansı üzerine ya hiçbir etki etmemiş ya da model performansını olumsuz yönde etkilemiştir.
- ✓ Tüm Karadeniz'i içeren ana karelajda rüzgar girdisi için Komen formülasyonunu ve köpüklenme için Janssen formülasyonunu kullanan ve köpüklenme katsayısının ( $C_{ds}$ ) 1,5 değerine eşit ayarlandığı SWAN modelin en düşük hataya ve en yüksek korelasyona sahip en iyi model konfigürasyonu olduğu belirlenmiştir.

- ✓ Ana karelejdan sınır şartlarını alarak çalıştırılan ince karelej için rüzgar girdisi ve köpüklenme süreçlerinin her ikisi için de Janssen formülasyonunu kullanan  $C_{ds} = 3$  olarak ayarlanan modelin en iyi performansa sahip olduğu belirlenmiştir.
- ✓ İnce karelejdan sınır şartları alınarak çalıştırılan üç alt karelej için de rüzgar girdisi olarak Komen ve köpüklenme için Janssen formülasyonlarını kullanan ve SD1 (Sinop) alt karelajı için  $C_{ds} = 3$ , SD2 (Filyos) alt karelajı için  $C_{ds} = 9$  ve SD3 (Karaburun) alt karelajı için  $C_{ds} = 2$  olarak ayarlanan SWAN modelin en iyi performansa sahip olduğu belirlenmiştir.
- ✓ Model performansına etkisi olduğu belirlenen durağan olmayan hesaplamaların zaman aralığı SD1 alt karelajında 10 dk, SD2 alt karelajında 30 dk ve SD3 alt karelajında 20 dk olarak çalıştırılması sonucu en doğru sonuçlara ulaşılabildiği tespit edilmiştir.
- ✓ Ana karelejda, diğer ölçüm istasyonlarına kıyasla daha düşük doğruluk gösteren özellikle İnce karelej içerisine denk gelen Gloria istasyonunda iç içe geçmiş karelej sisteminde performans önemli derecede iyileşme göstermiştir.

Uzun dönemli analize dayalı elde edilen sonuçlar:

- ✓ Karaburun SD3 alt karelajında İstanbul ili Şile sahilinden Bulgaristan sınırına kadar, Bartın ili Hisarköy sahilinden İnebolu sahiline kadar ve İnce Burun ve Sinop Burnu arasında olan alanlarda yaklaşık olarak uzun dönemli ortalama 1 m'lik dalgaların oluştuğu tespit edilmiştir.
- ✓ 1979-2009 yılları arası için 31 yıl boyunca en yüksek ortalama belirgin dalga yüksekliğine sahip mevsim kış ve daha sonra sonbahar iken yaz ve ilkbahar mevsimlerinde birbirine yakın değerlerin görüldüğü belirlenmiştir.
- ✓ Karaburun karelajının büyük bir çoğunluğu (Pazarbaşı Burnu'ndan Bulgaristan sınırına kadar) uzun dönemli yıllık ortalama 4 s enerji periyotlu dalgalara maruz kalırken Filyos ve Sinop Karelajlarının büyük bir çoğunluğunda 5 s enerji periyotlu dalgaların oluştuğu belirlenmiştir.
- ✓ Karaburun karelajının batı bölgesinde belirgin dalga yüksekliğinin zamanın %5 ve %1'inde dalgaların aşılma olasılıklı değerleri sırasıyla 2,6 m ve 4 m civarında iken doğruya doğru gidildikçe azalmaktadır. Filyos ve Sinop karelajlarında, her

iki parametrenin değerleri de kıyı boyunca en düşük değere sahipken açığa doğru artış gösterdikleri grlmştr.

- ✓ Karaburun karelaında belirgin dalga yksekliliğinin 0,5 m'den daha düşük olma olasılığı Şile sahilinden Bulgaristan sınırına kadar kıyı boyunca %60-65 civarında iken diğer karelaılarda kıyı boyunca daha düşük değerlere sahip olmaktadır. Belirgin dalga yksekliliğinin 4 m'den daha büyük olma olasılığı ise, Şile sahilinden Bulgaristan sınırına kadarki kıyı boyunca %1 civarında iken, diğer karelaılarda %0,5 değerinin de altındadır.
- ✓ Karaburun SD3 alt karelaı alanının hemen hemen tüm sahil Şeridinde yaklaşık 10,5 m'lik, Filyos SD2 alt karelaında ölüm istasyonunun batısında kıyı Şeridinde yaklaşık 8,5 m ve doğusunda yaklaşık 6,5 m ve Sinop SD1 alt karelaında hemen hemen tüm kıyı Şeridi boyunca 6,5 m'lik bir maksimum dalga yksekliliğinin 31 yıllık uzun dönem boyunca gözlendiği belirlenmiştr.
- ✓ SD3 Karaburun alt karelaındaki neredeyse bütün istasyonlarda dalgaların K ve DKD, SD2 Filyos alt karelaında KD – KB ve SD1 Sinop alt karelaında ise BKB – DKD yn sektöründen dalgaların hakim bir Şekilde geldiği tespit edilmiştr.
- ✓ Sakin deniz durumunun ( $H_{m0} < 0,5$  m) en düşük SD3 karelaının en batısında meydana geldiği belirlenmiştr.
- ✓ Karaburun karelaında 100 yıl tekerrürlü tasarıml dalga yüksekliliği batıdan doğuya doğru 14 m'den 9,9 m'ye azalmıştır. Filyos karelaında karelaının en batısındaki 1 No'lu istasyonda 100 yıl tekerrürlü tasarıml dalgası 9,2 m iken azalarak 4 No'lu istasyonda 7,5 m değerine gerilemişt ve 5 No'lu istasyonda tekrardan artarak 8 m değerine yükselmiştir. Sinop karelaı istasyonlarında en büyük 100 yıl tekerrürlü dalga yüksekliliği (10,4 m) karelaının en batısındaki 1 No'lu istasyonda ve en düştüğü (7,5 m) karelaının en doğusundaki 6 No'lu istasyonda gözlenmiştir.
- ✓ Her  alt karelaıda seilmişt bazı istasyonlarda yönsel yıllık maksimumlara dayanarak belirlenen farklı tekerrür süreli ekstrem dalgalar bütün verinin yıllık maksimumlarına dayanarak elde edileninkinden daha yksekliliğ tasarıml dalgaları sunmuştur.



- ✓ Türkiye Denizleri Rüzgar ve Derin Deniz Atlası (Özhan ve Abdalla, 2002) ve şu anki çalışma sonuçlarının hakim yöner açısından büyük benzerlikler göstermesine karşın, maksimum dalga yükseklikleri ve farklı tekerrür süreli tasarım dalgaları açısından önemli farklılıkların olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ Şu an ki çalışmada üretilen veri setindeki maksimum belirgin dalga yüksekliklerinin bütün istasyonlarda dalga atlasında sunulanlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- ✓ Dalga atlasının SD3 Karaburun alt karelağının en batısındaki 2 istasyonda farklı tekerrürlü tasarım dalgalarını şu anki çalışmanın sonuçlarına göre 2 m'den daha büyük bir değerde düşük ve diğer istasyonlarda ise yaklaşık 1 m'ye kadar daha yüksek tahmin ettiği tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Abbaspour, M., Rahimi, R. 2011.** Iran atlas of offshore renewable energies, *Renewable Energy*, 36:388–398.
- Akpınar, A. 2012.** Karadeniz’de Dalga Modellemesi Ve Dalga Gücü Potansiyelinin Belirlenmesi. *Doktora Tezi*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Akpınar, A., Kömürcü, M.İ. 2012.** Wave energy potential along the south-east coasts of the Black Sea, *Energy*, 42:289–302.
- Akpınar, A., Kömürcü, M.İ. 2013.** Assessment of wave energy resource of the Black Sea based on 15-year numerical hindcast data, *Applied Energy*, 101:502–512.
- Akpınar, A., van Vledder, G.Ph., Kömürcü, M.İ., Özger, M. 2012.** Evaluation of the numerical wave model (SWAN) for wave simulation in the Black Sea, *Continental Shelf Research*, 50-51, 80-99.
- Akpınar, A., Bingölbali, B., Van Vledder, G.Ph., 2016.** Wind and wave characteristics in the Black Sea based on the SWAN wave model forced with the CFSR winds. *Ocean Engineering*, 126:276–298.
- Alves, J.H.G.M., Banner, M.L., 2003.** Performance of a saturation-based dissipation-rate source term in modelling the fetch-limited evolution of wind waves, *J. Phys. Oceanogr.*, 33:1274-1298.
- Amrutha, M.M., Sanil Kumar, V., Sandhya, K.G., Balakrishnan Nair, T.M., Rathod, J.L., 2016.** Wave hindcast studies using SWAN nested in WAVEWATCH III – comparison with measured nearshore buoy data off Karwar, eastern Arabian Sea, *Ocean Engineering*, 119:114 – 124.
- Anil Arı Güner, H., Yüksel, Y., Çevik, E.Ö., 2013.** Estimation of wave parameters based on nearshore wind-wave correlations. *Ocean Eng.* 63:52–62.
- Arkipkin, V.S., Gippius, F.N., Koltermann, K.P., Surkova, G.V., 2014.** Wind waves in the Black Sea: results of a hindcast study, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14:2883 -2897.
- Atan, R., Nash, S., Goggins, J., 2017.** Development of a nested local scale wave model for a ¼ scale wave energy test site using SWAN, *Journal of Operational Oceanography*, 10:59 – 78.
- Aydoğan, B., Ayat, B., Yüksel, Y. 2013.** Black Sea wave energy atlas from 13 years hindcasted wave data, *Renewable Energy*, 57:436–447.
- Battjes, J.A., Janssen, J.P.F., 1978.** Energy Loss and Set-up Due to Breaking of Random Waves, 16th International Conference on Coastal Engineering (ASCE), Hamburg, Germany, Proceedings: 569-587.
- Batu, M., 2008.** Karaburun deniz durumunun dalga enerji spektrumu yöntemiyle incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Bhowmick, S.A., Kumar, R., Chaudhuri, S., Sarkar, A., 2011.** Sensitivity study of a coastal wave model for prediction of ocean waves over Indian ocean region, *Marine Geodesy*, 34:167 -180.
- Bilyay, E., Ozbahceci, B.O., Yalciner, A.C., 2011.** Extreme waves at Filyos, southern Black Sea. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 11:659–666.
- Booij, N., Holthuijsen, L.H., Ris, R.C., 1999.** A third-generation wave model for coastal

regions. 1 Model description and validation. *Journal of Geophysical Research* 104 (C4): 7649–7666.

**Cavaleri, L., Malanotte-Rizzoli, P., 1981.** Wind Wave Prediction in Shallow Water: Theory and Applications, *Journal of Geophysical Research*, 86, C11:10961-10973.

**Chen, X., Wang, K., Zhang, Z., Zeng, Y., Zhang, Y., O'Driscoll, K., 2017.** An assessment of wind and wave climate as potential sources of renewable energy in the nearshore Shenzhen coastal zone of the South China Sea, *Energy*, 134:789-801.

**Cherneva, Z., Andreeva, N., Pilar, P., Valchev, N., Petrova, P., Guedes Soares, C., 2008.** Validation of the WAMC4 wave model for the Black Sea, *Coastal Engineering*, 55 (11):881 – 893.

**Collins, J.I., 1972.** Prediction of shallow water spectra, *Journal of Geophysical Research*, 77 (15):2693-2707.

**Çevik, E., Yüksel, Y., Yalçiner, A.C., Güler, I., Ari, A., 2006.** Kıyı çizgisi değişiminin belirlenmesi ve kumlanma problemi için Karaburun örneği. TÜBİTAK, İÇTAG 1845 (1031008).

**de Jong, J.C.M., 1997.** Verification of the Numerical Wave Model SWAN in the Petten Coastal Area, *Master Thesis*, The Delft University of Technology, National Institute for Coastal & Marine Management, Netherlands.

**DHI, 2007.** MIKE 21 SW. Spectral Wave FM Model User Module.[http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/COURSES/MANUALS/DHI\\_water\\_resources\\_software/MIKE21-River\\_hydraulics\\_and\\_morphology/MIKE21\\_SW.pdf](http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/COURSES/MANUALS/DHI_water_resources_software/MIKE21-River_hydraulics_and_morphology/MIKE21_SW.pdf)

**Divinsky, B.V., Kosyan, R.D., 2017.** Spatiotemporal variability of the Black Sea wave climate in the last 37 years. *Continental Shelf Research*, 136:1-19.

**Eldeberky, Y., Battjes, J.A., 1995.** Parameterization of Triad Interactions in Wave Energy Models, Coastal Dynamics Conference '95, September, Gdansk, Poland, Proceedings: 140-148.

**GEBCO, 2014.** British Oceanographic Data Centre, Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas [CDROM]. Published on behalf of the Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Hydrographic Organization, Liverpool.

**Gouldby, B., Méndez, F.J., Guanche, Y., Rueda, A. Mínguez, R., 2014.** A methodology for deriving extreme nearshore sea conditions for structural design and flood risk analysis, *Coastal Engineering*, 88:15–26.

**Günther, H., Hasselmann S., and Janssen, P.A.E.M., 1992.** The WAM model Cycle 4 (revised version), Deutsch. Klim. Rechenzentrum, Techn. Rep. No. 4, Hamburg, Germany.

**Hasselmann, K., 1974.** On the Spectral Dissipation of Ocean Waves due to Whitecapping, *Boundary-layer Meteorology*, 6, 1-2:107-127.

**Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H., Hasselmann, D.E., Kruseman, P., Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Sell, W., Walden, H. 1973.** Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), Dtsch. Hydrogr. Z. Suppl., 12, A8.

**Hasselmann, S., Hasselmann, K., Allender, J.H., Barnett, T.P., 1985.** Computations and Parameterizations of the Nonlinear Energy Transfer in a Gravity Wave Spectrum, Part II: Parameterizations of the Nonlinear Transfer for Application in Wave Models, *Journal of Physical Oceanography*, 15, 11:1378-1391.

- Inghilesi, R., Catini, F., Bellotti, G., Franco, L., Orasi, A., Corsini, S., 2012.** Implementation and validation of a coastal forecasting system for wind waves in the Mediterranean Sea, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12:485 – 494.
- Izaguirre, C., Méndez, F.J., Menéndez, M., Losada, I.J., 2011.** Global extreme wave height variability based on satellite data, *Geophysical Research Letter*, 38 (10):L10607.
- Janssen, P.A.E.M. 1991a.** Quasi-linear theory of wind-wave generation applied to wave forecasting, *Journal of Physical Oceanography*, 21:1631-1642.
- Janssen, P.A.E.M. 1991b.** Consequences of the effect of surface gravity waves on the mean air flow, Int. Union of Theor. and Appl. Mech. (IUTAM), Sydney, Australia, 193-198.
- Jensen, R.E., Cialone, A., Smith, J.M., Bryant, M.A., Hesser, T.J., 2017.** Regional wave modelling and evaluation for the North Atlantic coast comprehensive study, *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, B4016001 – 1 – 15.
- Joubert, J.R. 2008.** An Investigation of the Wave Energy Resource on the South African Coast, Focusing on the Spatial Distribution of the South West Coast, *Master Thesis*, The University of Stellenbosch, Department of Civil Engineering, South Africa.
- Komen, G.J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., Janssen, P.A.E.M. 1994.** Dynamics and Modelling of Ocean Waves. Cambridge University Press.
- Komen, G.J., Hasselmann, S., Hasselmann, K., 1984.** On the Existence of a Fully Developed Wind-sea Spectrum, *Journal of Physical Oceanography*, 14:1271-1285.
- Kutupoğlu, V., 2017.** Marmara Denizi'nde CFSR ve ERA Interim rüzgarları ile çalıştırılan SWAN model performansları ve model sonuçlarının uzun dönemli farklılıkları, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Liu, T. F., Ma, F. S. 1980.** Prediction of Extreme Wave Heights and Wind Velocities. *Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division*, 106(4): 469-479.
- Madsen, O.S., Poon, Y.-K. Graber, H.C. 1988.** Spectral wave attenuation by bottom friction: Theory, Proc. 21 th Int. Conf. Coastal Engineering, ASCE, 492-504.
- Mei, C.C. 1983.** The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, Advanced Series on Ocean Engineering, 1, Singapore: World Scientific Publishing Co.
- Mihailov, M.-E., Tomescu-Chivu, M.-I., Dima, V., 2012.** Black sea water dynamics on the Romanian littoral – case study: the upwelling phenomena, *Atmosphere and Earth Phys. Rom. Rep. Phys.* 64 (1):232–245.
- Miles, J.W., 1957.** On the Generation of Surface Waves by Shear Flows, *Journal of Fluid Mechanics*, 3, 2:185-204.
- Moeini, M.H., Etemad-Shahidi, A., 2007.** Application of two numerical models for wave hindcasting in Lake Erie. *Applied Ocean Research*, 29:137-145.
- Muzathik, A. M., Nik, W. W., Samo, K. B., Ibrahim, M. Z. 2011.** Ocean Wave Measurement and Wave Climate Prediction of Peninsular Malaysia. *Journal of Physical Science*, 22(1):77-92.
- Myslenkov, S.A., Shestakova, A.A., Toropov, P.A., 2016.** Numerical Simulation of Storm Waves near the North eastern Coast of the Black Sea, *Russian Meteorology and Hydrology*, 41 (10):706 – 713.
- Neelamani, S., Al-Salem, K., Rakha, K. 2007.** Extreme Waves for Kuwaiti Territorial Waters. *Ocean Engineering*, 34(10):1496-1504
- Özhan, E., Abdalla, S., 1998.** Wind-wave climate of the Black Sea and the Turkish coast (NATO TU-WAVES project), 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, January 27–30, Melbourne, Florida, USA, 71–82.

- Özhan, E., Abdalla, S., Seziş-Papila, S., Turhan, M., 1995.** Measurements and modeling of wind waves along the Turkish Mediterranean coast and the Black Sea, the Second Int. Conf. On the Mediter. Coast. Environment, MEDCOAST 95, October 24–27, Tarragona, Spain, 1899–1910.
- Özhan, E., Abdalla, S., 2002.** Wind and deep water wave atlas of Turkish coasts, Turkish national coastal zone management committee/MEDCOAST, Middle East Technical University, Ankara, 445 pages.
- Özger, M. 2007.** Dalga Enerjisi Tahmini ve Stokastik Modelleme. *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özsoy, E., Ünlüata, Ü., 1997.** Oceanography of the Black Sea: a review of some recent results. *Earth Sci Rev*, 42: 231–272.
- Pallares, E., Sanchez-Arcilla, A., Espino, M., 2014.** Wave energy balance in wave models (SWAN) for semi-enclosed domains – application to the Catalan coast, *Continental Shelf Research*, 87:41 – 53.
- Pallares, E., Lopez, J., Espino, M., Sanchez-Arcilla, A., 2017.** Comparison between nested grids and unstructured grids for a high-resolution wave forecasting system in the western Mediterranean sea, *Journal of Operational Oceanography*, 10:45 – 58.
- Perez, J., Menendez, M., Losada, I.J. 2017.** GOW2: A global wave hindcast for coastal applications, *Coastal Engineering*, 124:1 – 11.
- Persson, K., Rydén, J. 2010.** Exponentiated Gumbel Distribution for Estimation of Return Levels of Significant Wave Height. *Journal of Environmental Statistics*, 1(3): 1-12.
- Phillips, O.M., 1957.** On the Generation of Waves by Turbulent Wind, *Journal of Fluid Mechanics*, 2, 5:417-445.
- Pierson, W.J., Moskowitz, L., 1964.** A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S.A. Kitaigorodskii. *J. Geophys. Res.* 69 (24):5181–5190.
- Reguero, B.G., Menéndez, M., Méndez, F.J., Mínguez, R., Losada, I.J., 2012.** A global ocean wave (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards, *Coastal Engineering*, 65:38–55.
- Reguero, B.G., Losada, I.J., Méndez, F.J., 2015.** A global wave power resource and its seasonal, interannual and long-term variability, *Applied Energy*, 148:366–380.
- Rusu, E. 2009.** Wave energy assessments in the Black Sea, *Journal of Marine Science Technology*, 14:359-372.
- Rusu, L., 2010.** Application of numerical models to evaluate oil spills propagation in the coastal environment of the Black Sea, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 18 (4):288-295.
- Rusu, E., Rusu, L., Guedes Soares, C., 2006.** Prediction of extreme wave conditions in the Black Sea with numerical models, JCOMM Tech. Report No. 34, WMO-TD, No. 1368.
- Rusu, L., Bernardino, M., Guedes Soares, C., 2014.** Wind and wave modelling in the Black Sea, *Journal of Operational Oceanography*, 7 (1):5-20.
- Saha, S., Moorthi, S., Pan, H.-L., Wu, X., Wang, J., Nadigai, S., Tripp, P., Kistler, R., Woollen, J., Behringer, D., Liu, H., Stokes, D., Grumbine, R., Gayno, G., Wang, J., Hou, Y.-T., Chuang, H.-Y., Juang, H.-M.H., Sela, J., Iredell, M., Treadon, R., Kleist, D., van Delst, P., Keyser, D., Derber, J., Ek, M., Meng, J., Wei, H., Yang, R., Lord, S., van den Dool, H., Kumar, A., Wang, W., Long, C., Chelliah,**

- M., Xue, Y., Huang, B., Schemm, J.-K., Ebisuzaki, W., Lin, R., Xie, P., Chen, M., Zhou, S., Higgins, W., Zou, C.-Z., Liu, Q., Chen, Y., Han, Y., Cucurull, L., Reynolds, R.W., Rutledge, G., Goldberg, G., 2010.** The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91:1015–1057.
- Saremi, S., 2010.** Development of a wave database in coastal areas around Sweden using the SWAN wave model, *Master's Thesis*, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Siadatmousavi, S.M., 2012.** Skill assessment and optimization of the third generation wave models for applications in Gulf of Mexico, *Doctor of Philosophy*, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, USA.
- Siadatmousavi, S.M., Jose, F., Stone G.W., 2011.** Evaluation of two WAM whitecapping parameterizations using parallel unstructured SWAN with application to the Northern Gulf of Mexico, USA, *Applied Ocean Research*, 33:23-30.
- Siadatmousavi, S.M., Jose, F., Miot da Silva, G., 2016.** Sensitivity of a third generation wave model to wind and boundary condition sources and model physics: A case study from the South Atlantic Ocean off Brazil coast, *Computers & Geosciences*, 90:57 – 65.
- Snyder, R.L., Dobson, F.W., Elliott, J.A., Long, R.B., 1981.** Array Measurement of Atmospheric Pressure Fluctuations Above Surface Gravity Waves, *Journal of Fluid Mechanics*, 102:1-59.
- Staneva, J.V., Stanev, E.V., 1998.** Oceanic response to atmospheric forcing derived from different climatic datasets. Intercomparison study for the Black Sea. *Oceanol Acta*, 21:393 – 417.
- Stopa, J.E., Cheung, K.F., Chen, Y.L., 2011.** Assessment of wave energy resources in Hawaii, *Renewable Energy*, 36 (2):554–567.
- SWAN, 2014.** SWAN technical documentation, Delft University of Technology, Netherlands.
- Şahin, C., 2008.** Parametrik rüzgar dalga modellemesi ve Batı Karadeniz uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Tolman, H.L., 1992.** Effects of Numerics on the Physics in a Third-generation Wind-wave Model, *Journal of Physical Oceanography*, 22, 10:1095-1111.
- Tolman, H.L., 1999.** User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 1.18, NOAA/NWS/NCEP/OMB technical note 166, 100 pp.
- Trifonova, E.V., Valchev, N.N., Andreeva, N.K., Eftimova, P.T., 2012.** Critical storm thresholds for morphological changes in the western Black Sea coastal zone. *Geomorphology*, 143-144, 81 – 94.
- Umesh, P.A., Kani, S.P., Bhaskaran, P.K., 2017.** Numerical simulation of wave characteristics off Kulasekharapatnam, Southeast coast of India, *Pure Appl. Geophys.*, 174:3979 – 4001.
- U.S. Army, 2003.** Coastal Engineering Manual. Meteorology and Wave Climate, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, U.S. Government Printing Office, Washington (DC), USA, 77pp.
- Valchev, N., Davidan, I., Belberov, Z., Palazov, A., Velcheva, N., 2010.** Hindcasting and assessment of the western Black Sea wind and wave climate, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 11:1001 – 1012.
- Valchev, N., Trifonova, E.V., Andreeva, N.K., 2012.** Past and recent trends in the western Black Sea storminess, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12:961 – 977.

- Van der Westhuysen, A.J., 2002.** The Application of the Numerical Wind-wave Model SWAN to a Selected Field Case on the South African Coast, *Master Thesis*, The University of Stellenbosch, Civil Engineering Department, South Africa.
- Van der Westhuysen, A.J., 2007.** Advances in the spectral modelling of wind waves in the nearshore, *Ph.D. thesis*, Delft University of Technology, Department of Civil Engineering, The Netherlands.
- Van der Westhuysen, A.J., Zijlema, M., Battjes, J.A. 2007.** Nonlinear saturation based whitecapping dissipation in SWAN for deep and shallow water, *Coastal Engineering*, 54:151-170.
- Van Vledder, G.Ph., Akpınar, A. 2015.** Wave model predictions in the Black Sea: Sensitivity to wind fields. *Applied Ocean Research*, 53:161-178.
- WAMDI group, 1988.** The WAM model – a third generation ocean wave prediction model, *J.Phys. Oceanogr.*, 18:1775–1810.
- Wang, J., Zhang, J., Yang, J., Bao, W., Wu, G., Ren, Q., 2017.** An evaluation of input/dissipation terms in WAVEWATCH III using in situ and satellite significant wave height data in the South China Sea, *Acta Oceanol. Sin.*, 36:20 – 25.
- Yan, L. 1987.** An improved wind input source term for third generation ocean wave modelling, Scientific report WR-No 87-8, De Bilt, The Netherlands.
- Young, I.R., Zieger, S., Babanin, A.V., 2011.** Global trends in wind speed and wave height, *Science*, 332 (6028): 451–455.

## EKLER

- EK 1** Kalibrasyon Süreci Sonucunda Kaba Karelaj İçin Oluşturulan Modellerin Belirgin Dalga Yüksekliği Ve Ortalama (Veya Pik) Dalga Periyodu Tahminlerinin Üç Dalga Ölçüm İstasyonundaki Hata İstatistiği
- EK 2** Kaba Karelaj İçin Artırılmış Rüzgar Hızları İle Çalıştırılan SWAN Modellerin Her İki Dalga Parametre Tahminleri İçin Üç Dalga Ölçüm İstasyonundaki Hata İstatistiği
- EK 3** Kaba Karelaj İçin Derinlik Etkileşimli Dalga Kırılması, Üçlü Dalga-Dalga Etkileşimleri Ve Taban Sürtünmesi Süreçlerinin SWAN Modelde Aktif Ve Aktif Olmama Durumlarında Her İki Dalga Parametre Tahminlerinin Üç Dalga Ölçüm İstasyonundaki Hata İstatistiği
- EK 4** İnce Karelaj İçin Kalibrasyon Sürecinde Geliştirilen Bütün SWAN Modellerin Her İki Dalga Parametresinin Tahminlerinin Gloria İstasyonundaki Hata İstatistiği
- EK 5** Alt Karelaj SD1 İçin Kalibrasyon Sürecinde Geliştirilen Bütün SWAN Modellerin Her İki Dalga Parametresinin Tahminlerinin Sinop İstasyonundaki Hata İstatistiği
- EK 6** Alt Karelaj SD2 İçin Kalibrasyon Sürecinde Geliştirilen Bütün SWAN Modellerin Her İki Dalga Parametresinin Tahminlerinin Filyos İstasyonundaki Hata İstatistiği
- EK 7** Alt Karelaj SD3 İçin Kalibrasyon Sürecinde Geliştirilen Bütün SWAN Modellerin Belirgin Dalga Yüksekliğinin Tahminleri İçin Karaburun İstasyonundaki Hata İstatistiği
- EK 8** Kaba Karelajda Doğrulama Analizi İçin Geliştirilen Model Tahminlerinin Mevcut Tüm Ölçüm Verisine Karşı Zaman Serisi Kıyaslaması
- EK 9** İnce Karelajda Doğrulama Analizi İçin Geliştirilen Model Tahminlerinin Mevcut Tüm Ölçüm Verisine Karşı Zaman Serisi Kıyaslaması
- EK 10** Alt Karelajlarda Doğrulama Analizi İçin Geliştirilen Model Tahminlerinin Mevcut Tüm Ölçüm Verisine Karşı Zaman Serisi Kıyaslaması



**EK 1: Kalibrasyon Süreci Sonucunda Kaba Karelaç İçin Oluşturulan Modellerin Belirgin Dalga Yüksekliği Ve Ortalama (Veya Pik) Dalga Periyodu Tahminlerinin Üç Dalga Ölçüm İstasyonundaki Hata İstatistiği**

**Ek Çizelge 1.1.** Gelendzhik istasyonunda geliştirilen modellerin hata istatistiği

<b>H<sub>m0</sub> için Hata istatistiği</b>											
<b>No</b>	<b>Rüzgar Girdisi</b>	<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>	<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (m)</b>	<b>RMSE (m)</b>	<b>MAE (m)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>SI</b>
C.1.1	Komen	Komen	0,5 e-5	1924	0,89	-0,19	0,46	0,32	1,06	1,25	0,44
C.1.2	Komen	Komen	1,16 e-5	1924	0,88	0,03	0,40	0,27	1,06	1,02	0,38
C.1.3	Komen	Komen	1,7 e-5	1924	0,88	0,12	0,42	0,28	1,06	0,93	0,40
C.1.4	Komen	Komen	2,16 e-5	1924	0,88	0,18	0,44	0,30	1,06	0,88	0,42
C.1.5	Komen	Komen	2,26 e-5	1924	0,88	0,19	0,45	0,31	1,06	0,87	0,42
C.1.0	Komen	Komen	2,36 e-5	1924	0,88	0,20	0,45	0,31	1,06	0,86	0,43
C.1.6	Komen	Komen	2,46 e-5	1924	0,88	0,21	0,46	0,31	1,06	0,85	0,43
C.1.7	Komen	Komen	2,56 e-5	1924	0,88	0,21	0,46	0,32	1,06	0,84	0,44
C.1.8	Komen	Komen	2,66 e-5	1924	0,88	0,22	0,47	0,32	1,06	0,83	0,44
C.3.1	Komen	Janssen	0,5	1924	0,89	-0,20	0,47	0,32	1,06	1,27	0,45
C.3.2	Komen	Janssen	1,5	1924	0,88	0,08	0,41	0,27	1,06	0,98	0,38
C.3.3	Komen	Janssen	2,5	1924	0,88	0,19	0,45	0,31	1,06	0,86	0,43
C.3.4	Komen	Janssen	3,5	1924	0,88	0,26	0,49	0,34	1,06	0,79	0,47
C.3.5	Komen	Janssen	4	1924	0,88	0,29	0,52	0,36	1,06	0,76	0,49
C.3.0	Komen	Janssen	4,5	1924	0,88	0,32	0,53	0,37	1,06	0,74	0,51
C.3.6	Komen	Janssen	5	1924	0,88	0,34	0,55	0,39	1,06	0,72	0,52
C.3.7	Komen	Janssen	5,5	1924	0,88	0,36	0,57	0,40	1,06	0,70	0,54
C.3.8	Komen	Janssen	6	1924	0,88	0,37	0,58	0,41	1,06	0,68	0,55
C.2.1	Janssen	Komen	2,16 e-5	1924	0,77	-0,93	1,34	0,99	1,05	1,99	1,27
C.2.2	Janssen	Komen	2,26 e-5	1924	0,78	-1,62	1,87	1,62	1,05	2,67	1,77
C.2.0	Janssen	Komen	2,36 e-5	1924	0,86	-0,59	0,89	0,65	1,05	1,65	0,84
C.2.3	Janssen	Komen	2,46 e-5	1924	0,73	-1,39	1,65	1,40	1,05	2,44	1,56
C.2.4	Janssen	Komen	2,56 e-5	1924	0,78	-1,26	1,54	1,27	1,05	2,32	1,46
C.2.5	Janssen	Komen	2,66 e-5	1924	0,79	-1,49	1,74	1,50	1,05	2,55	1,65
C.4.1	Janssen	Janssen	3,5	1924	0,79	-0,88	1,21	0,94	1,05	1,94	1,14
C.4.2	Janssen	Janssen	4	1924	0,81	-0,69	1,00	0,76	1,05	1,74	0,95
C.4.0	Janssen	Janssen	4,5	1924	0,86	-0,59	0,89	0,65	1,05	1,65	0,84
C.4.3	Janssen	Janssen	5	1924	0,84	-0,49	0,79	0,56	1,05	1,54	0,75
C.4.4	Janssen	Janssen	5,5	1924	0,84	-0,35	0,68	0,46	1,05	1,40	0,64
C.4.5	Janssen	Janssen	6	1924	0,84	-0,24	0,59	0,40	1,05	1,30	0,56

**Ek Çizelge 1.1. Devamı**

No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	$C_{ds}$	n	R	Bias (m)	RMSE (m)	MAE (m)	$X_{ort.}$ (m)	$Y_{ort.}$ (m)	SI
C.4.6	Janssen	Janssen	6,5	1924	0,83	-0,12	0,53	0,36	1,05	1,18	0,51
C.4.7	Janssen	Janssen	7	1924	0,82	-0,03	0,51	0,34	1,05	1,09	0,48
C.4.8	Janssen	Janssen	7,5	1924	0,82	0,04	0,49	0,33	1,05	1,02	0,47
C.4.9	Janssen	Janssen	8	1924	0,82	0,11	0,50	0,34	1,05	0,94	0,48
C.5.1	Yan	Westhuysen	0,2	1924	0,86	0,15	0,46	0,31	1,05	0,91	0,43
C.5.2	Yan	Westhuysen	0,3	1924	0,87	0,22	0,48	0,33	1,05	0,83	0,46
C.5.3	Yan	Westhuysen	0,4	1924	0,87	0,27	0,51	0,35	1,05	0,78	0,48
C.5.0	Yan	Westhuysen	0,5	1924	0,87	0,31	0,53	0,37	1,05	0,74	0,51
C.5.4	Yan	Westhuysen	0,6	1924	0,88	0,34	0,56	0,39	1,05	0,71	0,53
C.5.5	Yan	Westhuysen	0,7	1924	0,88	0,37	0,58	0,41	1,05	0,69	0,55
C.5.6	Yan	Westhuysen	0,8	1924	0,88	0,39	0,60	0,42	1,05	0,67	0,57
<b><math>T_{m02}</math> için Hata istatistiği</b>											
No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	$C_{ds}$	n	R	Bias (s)	RMSE (s)	MAE (s)	$X_{ort.}$ (s)	$Y_{ort.}$ (s)	SI
C.1.1	Komen	Komen	0,5 e-5	1924	0,87	0,50	0,84	0,70	3,99	3,50	0,21
C.1.2	Komen	Komen	1,16 e-5	1924	0,86	0,57	0,94	0,79	3,99	3,43	0,24
C.1.3	Komen	Komen	1,7 e-5	1924	0,86	0,60	0,98	0,83	3,99	3,39	0,25
C.1.4	Komen	Komen	2,16 e-5	1924	0,86	0,63	1,01	0,86	3,99	3,37	0,25
C.1.5	Komen	Komen	2,26 e-5	1924	0,86	0,63	1,02	0,86	3,99	3,36	0,25
C.1.0	Komen	Komen	2,36 e-5	1924	0,86	0,64	1,02	0,86	3,99	3,36	0,26
C.1.6	Komen	Komen	2,46 e-5	1924	0,86	0,64	1,03	0,87	3,99	3,35	0,26
C.1.7	Komen	Komen	2,56 e-5	1924	0,86	0,65	1,03	0,87	3,99	3,35	0,26
C.1.8	Komen	Komen	2,66 e-5	1924	0,86	0,65	1,04	0,88	3,99	3,34	0,26
C.3.1	Komen	Janssen	0,5	1924	0,87	0,19	0,67	0,54	3,99	3,80	0,17
C.3.2	Komen	Janssen	1,5	1924	0,86	0,33	0,79	0,64	3,99	3,66	0,20
C.3.3	Komen	Janssen	2,5	1924	0,86	0,41	0,84	0,70	3,99	3,58	0,21
C.3.4	Komen	Janssen	3,5	1924	0,86	0,46	0,88	0,73	3,99	3,53	0,22
C.3.5	Komen	Janssen	4	1924	0,86	0,49	0,90	0,75	3,99	3,51	0,23
C.3.0	Komen	Janssen	4,5	1924	0,86	0,51	0,92	0,76	3,99	3,49	0,23
C.3.6	Komen	Janssen	5	1924	0,86	0,53	0,93	0,77	3,99	3,47	0,23
C.3.7	Komen	Janssen	5,5	1924	0,86	0,54	0,94	0,78	3,99	3,45	0,24
C.3.8	Komen	Janssen	6	1924	0,86	0,56	0,95	0,79	3,99	3,43	0,24
C.2.1	Janssen	Komen	2,16 e-5	1924	0,60	0,23	1,13	0,89	3,99	3,76	0,28
C.2.2	Janssen	Komen	2,26 e-5	1924	0,66	-0,70	1,23	0,97	3,99	4,69	0,31

**Ek Çizelge 1.1. Devamı**

No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	$C_{ds}$	n	R	Bias (s)	RMSE (s)	MAE (s)	$X_{ort.}$ (s)	$Y_{ort.}$ (s)	SI
C.2.0	Janssen	Komen	2,36 e-5	1924	0,77	0,27	0,98	0,76	3,99	3,73	0,25
C.2.3	Janssen	Komen	2,46 e-5	1924	0,63	-0,47	1,10	0,91	3,99	4,47	0,28
C.2.4	Janssen	Komen	2,56 e-5	1924	0,64	-0,37	1,11	0,84	3,99	4,36	0,28
C.2.5	Janssen	Komen	2,66 e-5	1924	0,65	-0,68	1,25	1,00	3,99	4,67	0,31
C.4.1	Janssen	Janssen	3,5	1924	0,71	0,06	0,99	0,77	3,99	3,93	0,25
C.4.2	Janssen	Janssen	4	1924	0,72	0,22	1,02	0,76	3,99	3,78	0,26
C.4.0	Janssen	Janssen	4,5	1924	0,77	0,27	0,98	0,76	3,99	3,73	0,25
C.4.3	Janssen	Janssen	5	1924	0,76	0,32	1,01	0,80	3,99	3,67	0,25
C.4.4	Janssen	Janssen	5,5	1924	0,78	0,49	1,03	0,85	3,99	3,51	0,26
C.4.5	Janssen	Janssen	6	1924	0,78	0,63	1,07	0,90	3,99	3,36	0,27
C.4.6	Janssen	Janssen	6,5	1924	0,78	0,77	1,16	0,97	3,99	3,22	0,29
C.4.7	Janssen	Janssen	7	1924	0,77	0,91	1,25	1,06	3,99	3,08	0,31
C.4.8	Janssen	Janssen	7,5	1924	0,77	1,00	1,31	1,11	3,99	3,00	0,33
C.4.9	Janssen	Janssen	8	1924	0,76	1,11	1,39	1,19	3,99	2,89	0,35
C.5.1	Yan	Westhuysen	0,2	1924	0,84	1,18	1,37	1,22	3,99	2,81	0,34
C.5.2	Yan	Westhuysen	0,3	1924	0,85	1,16	1,34	1,20	3,99	2,83	0,34
C.5.3	Yan	Westhuysen	0,4	1924	0,85	1,16	1,33	1,19	3,99	2,84	0,33
C.5.0	Yan	Westhuysen	0,5	1924	0,85	1,16	1,33	1,19	3,99	2,83	0,33
C.5.4	Yan	Westhuysen	0,6	1924	0,86	1,16	1,34	1,20	3,99	2,83	0,33
C.5.5	Yan	Westhuysen	0,7	1924	0,86	1,17	1,34	1,20	3,99	2,82	0,34
C.5.6	Yan	Westhuysen	0,8	1924	0,86	1,17	1,34	1,20	3,99	2,82	0,34

**Ek Çizelge 1.2.** Hopa istasyonunda geliştirilen modellerin hata istatistiği

<b>H<sub>m0</sub> için Hata istatistiği</b>											
<b>No</b>	<b>Rüzgar Girdisi</b>	<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>	<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (m)</b>	<b>RMSE (m)</b>	<b>MAE (m)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>SI</b>
C.1.1	Komen	Komen	0,5 e-5	3093	0,84	-0,17	0,34	0,27	0,58	0,75	0,59
C.1.2	Komen	Komen	1,16 e-5	3093	0,84	-0,02	0,28	0,20	0,58	0,60	0,49
C.1.3	Komen	Komen	1,7 e-5	3093	0,84	0,04	0,29	0,19	0,58	0,54	0,49
C.1.4	Komen	Komen	2,16 e-5	3093	0,84	0,08	0,30	0,19	0,58	0,50	0,51
C.1.5	Komen	Komen	2,26 e-5	3093	0,84	0,08	0,30	0,20	0,58	0,50	0,51
C.1.0	Komen	Komen	2,36 e-5	3093	0,84	0,09	0,30	0,20	0,58	0,49	0,52
C.1.6	Komen	Komen	2,46 e-5	3093	0,84	0,10	0,30	0,20	0,58	0,48	0,52
C.1.7	Komen	Komen	2,56 e-5	3093	0,84	0,10	0,30	0,20	0,58	0,48	0,53
C.1.8	Komen	Komen	2,66 e-5	3093	0,84	0,11	0,31	0,20	0,58	0,47	0,53
C.3.1	Komen	Janssen	0,5	3093	0,85	-0,17	0,34	0,27	0,58	0,75	0,59
C.3.2	Komen	Janssen	1,5	3093	0,84	0,01	0,28	0,20	0,58	0,57	0,49
C.3.3	Komen	Janssen	2,5	3093	0,84	0,09	0,30	0,20	0,58	0,49	0,52
C.3.4	Komen	Janssen	3,5	3093	0,84	0,13	0,32	0,21	0,58	0,45	0,55
C.3.5	Komen	Janssen	4	3093	0,83	0,15	0,33	0,21	0,58	0,43	0,57
C.3.0	Komen	Janssen	4,5	3093	0,83	0,16	0,34	0,22	0,58	0,41	0,59
C.3.6	Komen	Janssen	5	3093	0,83	0,18	0,35	0,23	0,58	0,40	0,61
C.3.7	Komen	Janssen	5,5	3093	0,83	0,19	0,36	0,23	0,58	0,39	0,62
C.3.8	Komen	Janssen	6	3093	0,83	0,20	0,37	0,24	0,58	0,39	0,63
C.2.1	Janssen	Komen	2,16 e-5	3093	0,54	-1,51	1,83	1,53	0,58	2,09	3,16
C.2.2	Janssen	Komen	2,26 e-5	3093	0,56	-1,49	1,83	1,51	0,58	2,07	3,17
C.2.0	Janssen	Komen	2,36 e-5	3093	0,74	-0,57	0,73	0,61	0,58	1,15	1,26
C.2.3	Janssen	Komen	2,46 e-5	3093	0,63	-0,85	1,03	0,88	0,58	1,42	1,78
C.2.4	Janssen	Komen	2,56 e-5	3093	0,58	-1,21	1,53	1,24	0,58	1,79	2,64
C.2.5	Janssen	Komen	2,66 e-5	3093	0,56	-1,39	1,66	1,42	0,58	1,97	2,87
C.4.1	Janssen	Janssen	3,5	3093	0,64	-0,92	1,11	0,95	0,58	1,50	1,93
C.4.2	Janssen	Janssen	4	3093	0,69	-0,71	0,89	0,76	0,58	1,29	1,53
C.4.0	Janssen	Janssen	4,5	3093	0,74	-0,57	0,73	0,61	0,58	1,15	1,26
C.4.3	Janssen	Janssen	5	3093	0,77	-0,34	0,51	0,41	0,58	0,92	0,88
C.4.4	Janssen	Janssen	5,5	3093	0,78	-0,25	0,44	0,34	0,58	0,83	0,76
C.4.5	Janssen	Janssen	6	3093	0,79	-0,17	0,37	0,29	0,58	0,75	0,64
C.4.6	Janssen	Janssen	6,5	3093	0,80	-0,10	0,33	0,25	0,58	0,67	0,57
C.4.7	Janssen	Janssen	7	3093	0,79	-0,02	0,32	0,23	0,58	0,60	0,55
C.4.8	Janssen	Janssen	7,5	3093	0,79	0,02	0,32	0,22	0,58	0,56	0,55

Ek Çizelge 1.2. Devamı

No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	$C_{ds}$	n	R	Bias (m)	RMSE (m)	MAE (m)	$X_{ort.}$ (m)	$Y_{ort.}$ (m)	SI
C.4.9	Janssen	Janssen	8	3093	0,78	0,07	0,33	0,22	0,58	0,51	0,57
C.5.1	Yan	Westhuysen	0,2	3093	0,82	0,13	0,32	0,21	0,58	0,45	0,55
C.5.2	Yan	Westhuysen	0,3	3093	0,83	0,15	0,33	0,21	0,58	0,43	0,57
C.5.3	Yan	Westhuysen	0,4	3093	0,83	0,17	0,34	0,22	0,58	0,41	0,59
C.5.0	Yan	Westhuysen	0,5	3093	0,83	0,18	0,35	0,23	0,58	0,40	0,61
C.5.4	Yan	Westhuysen	0,6	3093	0,83	0,19	0,36	0,23	0,58	0,38	0,63
C.5.5	Yan	Westhuysen	0,7	3093	0,83	0,20	0,37	0,24	0,58	0,37	0,64
C.5.6	Yan	Westhuysen	0,8	3093	0,83	0,21	0,38	0,24	0,58	0,37	0,65
<b><math>T_{m02}</math> için Hata istatistiği</b>											
No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	$C_{ds}$	n	R	Bias (s)	RMSE (s)	MAE (s)	$X_{ort.}$ (s)	$Y_{ort.}$ (s)	SI
C.1.1	Komen	Komen	0,5 e-5	3093	0,82	0,80	1,04	0,87	4,01	3,21	0,26
C.1.2	Komen	Komen	1,16 e-5	3093	0,80	0,90	1,17	0,98	4,01	3,11	0,29
C.1.3	Komen	Komen	1,7 e-5	3093	0,80	0,96	1,24	1,04	4,01	3,05	0,31
C.1.4	Komen	Komen	2,16 e-5	3093	0,79	1,01	1,28	1,08	4,01	3,00	0,32
C.1.5	Komen	Komen	2,26 e-5	3093	0,79	1,01	1,29	1,08	4,01	3,00	0,32
C.1.0	Komen	Komen	2,36 e-5	3093	0,79	1,02	1,30	1,09	4,01	2,99	0,32
C.1.6	Komen	Komen	2,46 e-5	3093	0,79	1,03	1,30	1,10	4,01	2,98	0,33
C.1.7	Komen	Komen	2,56 e-5	3093	0,79	1,04	1,31	1,11	4,01	2,97	0,33
C.1.8	Komen	Komen	2,66 e-5	3093	0,79	1,04	1,32	1,11	4,01	2,96	0,33
C.3.1	Komen	Janssen	0,5	3093	0,82	0,41	0,78	0,61	4,01	3,60	0,20
C.3.2	Komen	Janssen	1,5	3093	0,81	0,62	0,95	0,76	4,01	3,39	0,24
C.3.3	Komen	Janssen	2,5	3093	0,80	0,73	1,05	0,85	4,01	3,28	0,26
C.3.4	Komen	Janssen	3,5	3093	0,80	0,81	1,11	0,91	4,01	3,20	0,28
C.3.5	Komen	Janssen	4	3093	0,80	0,84	1,14	0,93	4,01	3,17	0,28
C.3.0	Komen	Janssen	4,5	3093	0,79	0,87	1,16	0,96	4,01	3,14	0,29
C.3.6	Komen	Janssen	5	3093	0,79	0,90	1,18	0,98	4,01	3,11	0,29
C.3.7	Komen	Janssen	5,5	3093	0,79	0,92	1,20	1,00	4,01	3,09	0,30
C.3.8	Komen	Janssen	6	3093	0,79	0,95	1,22	1,02	4,01	3,06	0,30
C.2.1	Janssen	Komen	2,16 e-5	3093	0,49	-0,55	1,39	1,12	4,01	4,56	0,35
C.2.2	Janssen	Komen	2,26 e-5	3093	0,52	-0,52	1,40	1,11	4,01	4,53	0,35
C.2.0	Janssen	Komen	2,36 e-5	3093	0,69	0,50	0,98	0,76	4,01	3,51	0,24
C.2.3	Janssen	Komen	2,46 e-5	3093	0,49	0,27	1,08	0,86	4,01	3,74	0,27
C.2.4	Janssen	Komen	2,56 e-5	3093	0,53	-0,21	1,25	1,00	4,01	4,22	0,31

**Ek Çizelge 1.2. Devamı**

<b>No</b>	<b>Rüzgar Girdisi</b>	<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>	<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (s)</b>	<b>RMSE (s)</b>	<b>MAE (s)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (s)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (s)</b>	<b>SI</b>
C.2.5	Janssen	Komen	2,66 e-5	3093	0,51	-0,53	1,36	1,13	4,01	4,54	0,34
C.4.1	Janssen	Janssen	3,5	3093	0,56	0,04	1,02	0,81	4,01	3,97	0,26
C.4.2	Janssen	Janssen	4	3093	0,61	0,28	0,98	0,75	4,01	3,73	0,24
C.4.0	Janssen	Janssen	4,5	3093	0,69	0,50	0,98	0,76	4,01	3,51	0,24
C.4.3	Janssen	Janssen	5	3093	0,69	0,90	1,22	0,99	4,01	3,11	0,30
C.4.4	Janssen	Janssen	5,5	3093	0,70	1,02	1,30	1,07	4,01	2,99	0,32
C.4.5	Janssen	Janssen	6	3093	0,70	1,18	1,42	1,21	4,01	2,83	0,35
C.4.6	Janssen	Janssen	6,5	3093	0,72	1,32	1,53	1,34	4,01	2,69	0,38
C.4.7	Janssen	Janssen	7	3093	0,71	1,47	1,66	1,47	4,01	2,54	0,41
C.4.8	Janssen	Janssen	7,5	3093	0,71	1,56	1,74	1,57	4,01	2,45	0,43
C.4.9	Janssen	Janssen	8	3093	0,70	1,64	1,82	1,65	4,01	2,37	0,45
C.5.1	Yan	Westhuysen	0,2	3093	0,79	1,58	1,72	1,59	4,01	2,42	0,43
C.5.2	Yan	Westhuysen	0,3	3093	0,80	1,53	1,67	1,53	4,01	2,48	0,42
C.5.3	Yan	Westhuysen	0,4	3093	0,80	1,50	1,65	1,50	4,01	2,51	0,41
C.5.0	Yan	Westhuysen	0,5	3093	0,80	1,49	1,64	1,49	4,01	2,52	0,41
C.5.4	Yan	Westhuysen	0,6	3093	0,80	1,48	1,63	1,49	4,01	2,53	0,41
C.5.5	Yan	Westhuysen	0,7	3093	0,80	1,48	1,63	1,48	4,01	2,53	0,41
C.5.6	Yan	Westhuysen	0,8	3093	0,80	1,48	1,63	1,48	4,01	2,53	0,41

**Ek Çizelge 1.3.** Sinop istasyonunda geliştirilen modellerin hata istatistiği

<b>H<sub>m0</sub> için Hata istatistiği</b>											
<b>No</b>	<b>Rüzgar Girdisi</b>	<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>	<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (m)</b>	<b>RMSE (m)</b>	<b>MAE (m)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>SI</b>
C.1.1	Komen	Komen	0,5 e-5	2416	0,85	-0,21	0,34	0,28	0,80	1,01	0,43
C.1.2	Komen	Komen	1,16 e-5	2416	0,85	-0,02	0,26	0,20	0,80	0,82	0,33
C.1.3	Komen	Komen	1,7 e-5	2416	0,85	0,06	0,27	0,20	0,80	0,74	0,34
C.1.4	Komen	Komen	2,16 e-5	2416	0,85	0,11	0,29	0,21	0,80	0,70	0,36
C.1.5	Komen	Komen	2,26 e-5	2416	0,85	0,12	0,29	0,21	0,80	0,69	0,36
C.1.0	Komen	Komen	2,36 e-5	2416	0,85	0,13	0,30	0,21	0,80	0,68	0,40
C.1.6	Komen	Komen	2,46 e-5	2416	0,85	0,13	0,30	0,22	0,80	0,67	0,37
C.1.7	Komen	Komen	2,56 e-5	2416	0,85	0,14	0,31	0,22	0,80	0,66	0,38
C.1.8	Komen	Komen	2,66 e-5	2416	0,85	0,15	0,31	0,22	0,80	0,66	0,39
C.3.1	Komen	Janssen	0,5	2416	0,85	-0,22	0,35	0,29	0,80	1,02	0,44
C.3.2	Komen	Janssen	1,5	2416	0,85	0,02	0,26	0,19	0,80	0,78	0,33
C.3.3	Komen	Janssen	2,5	2416	0,85	0,12	0,29	0,21	0,80	0,68	0,37
C.3.4	Komen	Janssen	3,5	2416	0,85	0,18	0,33	0,24	0,80	0,62	0,41
C.3.5	Komen	Janssen	4	2416	0,85	0,21	0,35	0,25	0,80	0,60	0,43
C.3.0	Komen	Janssen	4,5	2416	0,85	0,23	0,36	0,27	0,80	0,58	0,45
C.3.6	Komen	Janssen	5	2416	0,85	0,24	0,38	0,28	0,80	0,56	0,47
C.3.7	Komen	Janssen	5,5	2416	0,85	0,26	0,39	0,29	0,80	0,54	0,48
C.3.8	Komen	Janssen	6	2416	0,85	0,27	0,40	0,30	0,80	0,53	0,50
C.2.1	Janssen	Komen	2,16 e-5	2416	0,72	-1,79	1,85	1,89	0,80	2,59	2,30
C.2.2	Janssen	Komen	2,26 e-5	2416	0,69	-1,72	1,79	1,72	0,80	2,52	2,23
C.2.0	Janssen	Komen	2,36 e-5	2416	0,81	-0,50	0,61	0,53	0,80	1,31	0,76
C.2.3	Janssen	Komen	2,46 e-5	2416	0,72	-1,51	1,58	1,51	0,80	2,31	1,96
C.2.4	Janssen	Komen	2,56 e-5	2416	0,73	-1,41	1,48	1,41	0,80	2,21	1,85
C.2.5	Janssen	Komen	2,66 e-5	2416	0,75	-1,30	1,38	1,30	0,80	2,10	1,72
C.4.1	Janssen	Janssen	3,5	2416	0,76	-0,93	1,03	0,93	0,80	1,74	1,28
C.4.2	Janssen	Janssen	4	2416	0,78	-0,70	0,80	0,71	0,80	1,50	0,99
C.4.0	Janssen	Janssen	4,5	2416	0,81	-0,50	0,61	0,53	0,80	1,31	0,76
C.4.3	Janssen	Janssen	5	2416	0,83	-0,40	0,50	0,43	0,80	1,20	0,63
C.4.4	Janssen	Janssen	5,5	2416	0,83	-0,27	0,40	0,33	0,80	1,07	0,50
C.4.5	Janssen	Janssen	6	2416	0,82	-0,17	0,34	0,27	0,80	0,98	0,43
C.4.6	Janssen	Janssen	6,5	2416	0,82	-0,09	0,30	0,24	0,80	0,89	0,38
C.4.7	Janssen	Janssen	7	2416	0,81	-0,01	0,29	0,22	0,80	0,82	0,36
C.4.8	Janssen	Janssen	7,5	2416	0,82	0,04	0,29	0,22	0,80	0,76	0,36

**Ek Çizelge 1.3. Devamı**

No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	C <sub>ds</sub>	n	R	Bias (m)	RMSE (m)	MAE (m)	X <sub>ort.</sub> (m)	Y <sub>ort.</sub> (m)	SI
C.4.9	Janssen	Janssen	8	2416	0,80	0,08	0,31	0,23	0,80	0,72	0,39
C.5.1	Yan	Westhuysen	0,2	2416	0,84	0,13	0,30	0,21	0,80	0,67	0,37
C.5.2	Yan	Westhuysen	0,3	2416	0,84	0,18	0,32	0,24	0,80	0,62	0,40
C.5.3	Yan	Westhuysen	0,4	2416	0,85	0,21	0,35	0,25	0,80	0,59	0,43
C.5.0	Yan	Westhuysen	0,5	2416	0,85	0,24	0,37	0,27	0,80	0,57	0,46
C.5.4	Yan	Westhuysen	0,6	2416	0,85	0,26	0,38	0,29	0,80	0,54	0,48
C.5.5	Yan	Westhuysen	0,7	2416	0,85	0,28	0,40	0,30	0,80	0,53	0,50
C.5.6	Yan	Westhuysen	0,8	2416	0,85	0,29	0,41	0,31	0,80	0,51	0,51
<b>T<sub>m02</sub> için Hata istatistiği</b>											
No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	C <sub>ds</sub>	n	R	Bias (s)	RMSE (s)	MAE (s)	X <sub>ort.</sub> (s)	Y <sub>ort.</sub> (s)	SI
C.1.1	Komen	Komen	0,5 e-5	2416	0,73	0,14	0,67	0,52	3,79	3,65	0,18
C.1.2	Komen	Komen	1,16 e-5	2416	0,72	0,18	0,74	0,59	3,79	3,61	0,20
C.1.3	Komen	Komen	1,7 e-5	2416	0,72	0,23	0,78	0,62	3,79	3,57	0,21
C.1.4	Komen	Komen	2,16 e-5	2416	0,71	0,26	0,80	0,64	3,79	3,53	0,21
C.1.5	Komen	Komen	2,26 e-5	2416	0,71	0,27	0,81	0,65	3,79	3,53	0,21
C.1.0	Komen	Komen	2,36 e-5	2416	0,71	0,27	0,81	0,65	3,79	3,52	0,21
C.1.6	Komen	Komen	2,46 e-5	2416	0,71	0,28	0,82	0,66	3,79	3,51	0,22
C.1.7	Komen	Komen	2,56 e-5	2416	0,71	0,29	0,82	0,66	3,79	3,50	0,22
C.1.8	Komen	Komen	2,66 e-5	2416	0,71	0,30	0,83	0,66	3,79	3,50	0,22
C.3.1	Komen	Janssen	0,5	2416	0,74	-0,12	0,64	0,49	3,79	3,91	0,17
C.3.2	Komen	Janssen	1,5	2416	0,72	-0,02	0,69	0,53	3,79	3,81	0,18
C.3.3	Komen	Janssen	2,5	2416	0,72	0,06	0,71	0,56	3,79	3,73	0,19
C.3.4	Komen	Janssen	3,5	2416	0,72	0,13	0,73	0,58	3,79	3,67	0,19
C.3.5	Komen	Janssen	4	2416	0,72	0,16	0,74	0,59	3,79	3,64	0,20
C.3.0	Komen	Janssen	4,5	2416	0,72	0,18	0,75	0,60	3,79	3,61	0,20
C.3.6	Komen	Janssen	5	2416	0,72	0,21	0,76	0,61	3,79	3,59	0,20
C.3.7	Komen	Janssen	5,5	2416	0,72	0,23	0,77	0,61	3,79	3,56	0,20
C.3.8	Komen	Janssen	6	2416	0,71	0,25	0,78	0,62	3,79	3,54	0,21
C.2.1	Janssen	Komen	2,16 e-5	2416	0,63	-1,30	1,47	1,32	3,79	5,09	0,39
C.2.2	Janssen	Komen	2,26 e-5	2416	0,59	-1,28	1,48	1,30	3,79	5,08	0,39
C.2.0	Janssen	Komen	2,36 e-5	2416	0,64	-0,08	0,90	0,66	3,79	3,87	0,24
C.2.3	Janssen	Komen	2,46 e-5	2416	0,59	-1,09	1,33	1,12	3,79	4,88	0,35
C.2.4	Janssen	Komen	2,56 e-5	2416	0,60	-1,01	1,28	1,06	3,79	4,81	0,34



**Ek Çizelge 1.3. Devamı**

No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	$C_{ds}$	n	R	Bias (s)	RMSE (s)	MAE (s)	$X_{ort.}$ (s)	$Y_{ort.}$ (s)	SI
C.2.5	Janssen	Komen	2,66 e-5	2416	0,63	-0,86	1,15	0,93	3,79	4,65	0,30
C.4.1	Janssen	Janssen	3,5	2416	0,65	-0,53	0,99	0,73	3,79	4,32	0,26
C.4.2	Janssen	Janssen	4	2416	0,61	-0,30	0,90	0,67	3,79	4,10	0,24
C.4.0	Janssen	Janssen	4,5	2416	0,64	-0,08	0,90	0,66	3,79	3,87	0,24
C.4.3	Janssen	Janssen	5	2416	0,67	0,08	0,82	0,62	3,79	3,71	0,21
C.4.4	Janssen	Janssen	5,5	2416	0,70	0,23	0,84	0,66	3,79	3,56	0,22
C.4.5	Janssen	Janssen	6	2416	0,69	0,42	0,94	0,76	3,79	3,38	0,25
C.4.6	Janssen	Janssen	6,5	2416	0,67	0,53	0,99	0,81	3,79	3,26	0,26
C.4.7	Janssen	Janssen	7	2416	0,69	0,69	1,06	0,88	3,79	3,10	0,28
C.4.8	Janssen	Janssen	7,5	2416	0,67	0,74	1,11	0,95	3,79	3,05	0,29
C.4.9	Janssen	Janssen	8	2416	0,66	0,82	1,15	0,98	3,79	2,97	0,30
C.5.1	Yan	Westhuysen	0,2	2416	0,71	0,96	1,16	1,01	3,79	2,84	0,30
C.5.2	Yan	Westhuysen	0,3	2416	0,71	0,91	1,12	0,97	3,79	2,88	0,29
C.5.3	Yan	Westhuysen	0,4	2416	0,71	0,89	1,10	0,96	3,79	2,90	0,29
C.5.0	Yan	Westhuysen	0,5	2416	0,71	0,89	1,09	0,95	3,79	2,90	0,29
C.5.4	Yan	Westhuysen	0,6	2416	0,71	0,89	1,09	0,95	3,79	2,90	0,29
C.5.5	Yan	Westhuysen	0,7	2416	0,72	0,90	1,09	0,96	3,79	2,90	0,29
C.5.6	Yan	Westhuysen	0,8	2416	0,72	0,90	1,10	0,96	3,79	2,89	0,29

**EK 2: Kaba Karelaaj İçin Artırılmış Rüzgar Hızları İle alıştırılan SWAN Modellerin Her İki Dalga Parametre Tahminleri İçin Üç Dalga Ölçüm İstasyonundaki Hata İstatistiği**

**Ek izelge 2.1.** Gelendzhik istasyonunda geliştirilen modellerin hata istatistiği

				<b>H<sub>m0</sub> için Hata istatistiği</b>							
<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>	<b>Delta</b>	<b>Artırılmış Rüzgar (%)</b>	<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (m)</b>	<b>RMSE (m)</b>	<b>MAE (m)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>SI</b>
Komen	2,36 e-5	1	5	1924	0,88	0,12	0,42	0,28	1,05	0,94	0,39
Komen	2,36 e-5	1	10	1924	0,88	0,11	0,41	0,29	1,05	0,95	0,39
Komen	2,36 e-5	1	-	1924	0,88	0,20	0,45	0,31	1,06	0,86	0,43
Janssen	1,5	1	5	1924	0,88	-0,01	0,41	0,27	1,05	1,07	0,38
Janssen	1,5	1	10	1924	0,88	-0,02	0,41	0,28	1,05	1,08	0,39
Janssen	1,5	1	-	1924	0,88	0,08	0,41	0,27	1,06	0,98	0,38
Janssen	1,5	1,5	5	1924	0,89	0,09	0,41	0,28	1,05	0,96	0,39
Janssen	1,5	1,5	10	1924	0,89	0,01	0,41	0,27	1,05	1,05	0,38
Janssen	1,5	1,5	-	1924	0,88	0,18	0,44	0,30	1,05	0,88	0,41
				<b>T<sub>m02</sub> için Hata istatistiği</b>							
<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>	<b>Delta</b>	<b>Artırılmış Rüzgar (%)</b>	<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (s)</b>	<b>RMSE (s)</b>	<b>MAE (s)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (s)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (s)</b>	<b>SI</b>
Komen	2,36 e-5	1	5	1924	0,86	0,49	0,98	0,83	3,99	3,50	0,25
Komen	2,36 e-5	1	10	1924	0,86	0,20	0,78	0,63	3,99	3,79	0,19
Komen	2,36 e-5	1	-	1924	0,86	0,40	0,96	0,81	3,99	3,59	0,24
Janssen	1,5	1	5	1924	0,86	0,12	0,78	0,63	3,99	3,88	0,20
Janssen	1,5	1	10	1924	0,86	0,33	0,79	0,64	3,99	3,66	0,20
Janssen	1,5	1	-	1924	0,86	0,13	0,80	0,65	3,99	3,86	0,20
Janssen	1,5	1,5	5	1924	0,86	0,00	0,83	0,66	3,99	4,00	0,21
Janssen	1,5	1,5	10	1924	0,86	0,27	0,80	0,65	3,99	3,72	0,20
Janssen	1,5	1,5	-	1924	0,86	0,64	1,02	0,86	3,99	3,36	0,26

**Ek Çizelge 2.2.** Hopa istasyonunda geliştirilen modellerin hata istatistiği

				<b>H<sub>m0</sub> için Hata istatistiği</b>							
<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>	<b>Delta</b>	<b>Artırılmış Rüzgar (%)</b>	<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (m)</b>	<b>RMSE (m)</b>	<b>MAE (m)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>SI</b>
Komen	2,36 e-5	1	5	3093	0,84	0,04	0,29	0,19	0,58	0,54	0,49
Komen	2,36 e-5	1	10	3093	0,84	0,05	0,28	0,19	0,58	0,53	0,49
Komen	2,36 e-5	1	-	3093	0,84	0,09	0,3	0,2	0,58	0,49	0,52
Janssen	1,5	1	5	3093	0,84	-0,04	0,29	0,21	0,58	0,62	0,50
Janssen	1,5	1	10	3093	0,84	-0,04	0,29	0,20	0,58	0,61	0,50
Janssen	1,5	1	-	3093	0,84	0,01	0,28	0,2	0,58	0,57	0,49
Janssen	1,5	1,5	5	3093	0,84	0,03	0,28	0,19	0,58	0,55	0,49
Janssen	1,5	1,5	10	3093	0,84	-0,02	0,29	0,20	0,58	0,60	0,50
Janssen	1,5	1,5	-	3093	0,84	0,08	0,29	0,19	0,58	0,50	0,50
				<b>T<sub>m02</sub> için Hata istatistiği</b>							
<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>	<b>Delta</b>	<b>Artırılmış Rüzgar (%)</b>	<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (s)</b>	<b>RMSE (s)</b>	<b>MAE (s)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (s)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (s)</b>	<b>SI</b>
Komen	2,36 e-5	1	5	3093	0,80	0,90	1,22	1,02	4,01	3,11	0,30
Komen	2,36 e-5	1	10	3093	0,80	0,79	1,17	0,96	4,01	3,22	0,29
Komen	2,36 e-5	1	-	3093	0,79	1,02	1,30	1,09	4,01	2,99	0,32
Janssen	1,5	1	5	3093	0,81	0,50	0,90	0,72	4,01	3,51	0,23
Janssen	1,5	1	10	3093	0,81	0,40	0,88	0,70	4,01	3,60	0,22
Janssen	1,5	1	-	3093	0,81	0,62	0,95	0,76	4,01	3,39	0,24
Janssen	1,5	1,5	5	3093	0,81	0,41	0,89	0,70	4,01	3,60	0,22
Janssen	1,5	1,5	10	3093	0,81	0,29	0,88	0,69	4,01	3,72	0,22
Janssen	1,5	1,5	-	3093	0,80	0,53	0,93	0,74	4,01	3,48	0,23

**Ek Çizelge 2.3.** Sinop istasyonunda geliştirilen modellerin hata istatistiği

				<b>H<sub>m0</sub> için Hata istatistiği</b>							
<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>	<b>Delta</b>	<b>Artırılmış Rüzgar (%)</b>	<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (m)</b>	<b>RMSE (m)</b>	<b>MAE (m)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>SI</b>
Komen	2,36 e-5	1	5	2416	0,85	0,06	0,27	0,20	0,80	0,74	0,34
Komen	2,36 e-5	1	10	2416	0,85	0,06	0,27	0,20	0,80	0,74	0,34
Komen	2,36 e-5	1	-	2416	0,85	0,13	0,30	0,21	0,80	0,68	0,40
Janssen	1,5	1	5	2416	0,85	-0,05	0,27	0,20	0,80	0,85	0,33
Janssen	1,5	1	10	2416	0,85	-0,05	0,27	0,20	0,80	0,85	0,34
Janssen	1,5	1	-	2416	0,85	0,02	0,26	0,19	0,80	0,78	0,33
Janssen	1,5	1,5	5	2416	0,85	0,04	0,27	0,20	0,80	0,76	0,33
Janssen	1,5	1,5	10	2416	0,85	-0,03	0,27	0,20	0,80	0,83	0,33
Janssen	1,5	1,5	-	2416	0,84	0,11	0,29	0,21	0,80	0,70	0,36
				<b>T<sub>m02</sub> için Hata istatistiği</b>							
<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>	<b>Delta</b>	<b>Artırılmış Rüzgar (%)</b>	<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (s)</b>	<b>RMSE (s)</b>	<b>MAE (s)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (s)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (s)</b>	<b>SI</b>
Komen	2,36 e-5	1	5	2416	0,72	0,12	0,81	0,64	3,79	3,67	0,21
Komen	2,36 e-5	1	10	2416	0,71	0,00	0,85	0,67	3,79	3,79	0,22
Komen	2,36 e-5	1	-	2416	0,71	0,27	0,81	0,65	3,79	3,52	0,21
Janssen	1,5	1	5	2416	0,73	-0,16	0,73	0,56	3,79	3,96	0,19
Janssen	1,5	1	10	2416	0,72	-0,26	0,80	0,62	3,79	4,05	0,21
Janssen	1,5	1	-	2416	0,72	-0,02	0,69	0,53	3,79	3,81	0,18
Janssen	1,5	1,5	5	2416	0,72	-0,24	0,81	0,63	3,79	4,04	0,21
Janssen	1,5	1,5	10	2416	0,72	-0,39	0,89	0,69	3,79	4,18	0,23
Janssen	1,5	1,5	-	2416	0,72	-0,10	0,75	0,58	3,79	3,89	0,20

**EK 3: Kaba Karelaaj İçin Derinlik Etkileşimli Dalga Kırılması, Üçlü Dalga-Dalga Etkileşimleri Ve Taban Sürtünmesi Süreçlerinin SWAN Modelde Aktif Ve Aktif Olmama Durumlarında Her İki Dalga Parametre Tahminlerinin Üç Dalga Ölçüm İstasyonundaki Hata İstatistiği**

**Ek Çizelge 3.1.** Gelendzhik istasyonunda geliştirilen modellerin hata istatistiği

				<b>H<sub>m0</sub> için Hata istatistiği</b>							
<b>Rüzgar Girdisi</b>	<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>		<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (m)</b>	<b>RMSE (m)</b>	<b>MAE (m)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>SI</b>
Komen	Janssen	1,5	Tamamı aktif	1924	0,88	0,08	0,41	0,27	1,06	0,98	0,38
Komen	Janssen	1,5	breaking kapalı	1924	0,88	0,20	0,45	0,31	1,05	0,85	0,43
Komen	Janssen	1,5	friction kapalı	1924	0,88	0,15	0,43	0,29	1,05	0,90	0,41
Komen	Janssen	1,5	triad kapalı	1924	0,88	0,15	0,43	0,29	1,05	0,90	0,41
				<b>T<sub>m02</sub> için Hata istatistiği</b>							
<b>Rüzgar Girdisi</b>	<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>		<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (s)</b>	<b>RMSE (s)</b>	<b>MAE (s)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (s)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (s)</b>	<b>SI</b>
Komen	Janssen	1,5	Tamamı aktif	1924	0,86	0,33	0,79	0,64	3,99	3,66	0,20
Komen	Janssen	1,5	breaking kapalı	1924	0,86	0,34	0,79	0,64	3,99	3,66	0,20
Komen	Janssen	1,5	friction kapalı	1924	0,86	0,38	0,81	0,66	3,99	3,61	0,20
Komen	Janssen	1,5	triad kapalı	1924	0,86	0,38	0,81	0,66	3,99	3,61	0,20

**Ek Çizelge 3.2.** Hopa istasyonunda geliştirilen modellerin hata istatistiği

				<b>H<sub>m0</sub> için Hata istatistiği</b>							
<b>Rüzgar Girdisi</b>	<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>		<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (m)</b>	<b>RMSE (m)</b>	<b>MAE (m)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>SI</b>
Komen	Janssen	1,5	Tamamı aktif	3093	0,84	0,01	0,28	0,20	0,58	0,57	0,49
Komen	Janssen	1,5	breaking kapalı	3093	0,84	0,09	0,30	0,19	0,58	0,49	0,51
Komen	Janssen	1,5	friction kapalı	3093	0,84	0,07	0,29	0,19	0,58	0,51	0,50
Komen	Janssen	1,5	triad kapalı	3093	0,84	0,07	0,29	0,19	0,58	0,51	0,50
				<b>T<sub>m02</sub> için Hata istatistiği</b>							
<b>Rüzgar Girdisi</b>	<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>		<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (s)</b>	<b>RMSE (s)</b>	<b>MAE (s)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (s)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (s)</b>	<b>SI</b>
Komen	Janssen	1,5	Tamamı aktif	3093	0,81	0,62	0,95	0,76	4,01	3,39	0,24
Komen	Janssen	1,5	breaking kapalı	3093	0,81	0,60	0,95	0,76	4,01	3,41	0,24
Komen	Janssen	1,5	friction kapalı	3093	0,81	0,64	0,97	0,78	4,01	3,37	0,24
Komen	Janssen	1,5	triad kapalı	3093	0,81	0,64	0,97	0,78	4,01	3,37	0,24

**Ek Çizelge 3.3.** Sinop istasyonunda geliştirilen modellerin hata istatistiği

				<b>H<sub>m0</sub> için Hata istatistiği</b>							
<b>Rüzgar Girdisi</b>	<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>		<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (m)</b>	<b>RMSE (m)</b>	<b>MAE (m)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>SI</b>
Komen	Janssen	1,5	Tamamı aktif	2416	0,85	0,02	0,26	0,19	0,80	0,78	0,33
Komen	Janssen	1,5	breaking kapalı	2416	0,84	0,13	0,30	0,21	0,80	0,68	0,37
Komen	Janssen	1,5	friction kapalı	2416	0,84	0,09	0,28	0,20	0,80	0,71	0,35
Komen	Janssen	1,5	triad kapalı	2416	0,84	0,09	0,28	0,20	0,80	0,71	0,35
				<b>T<sub>m02</sub> için Hata istatistiği</b>							
<b>Rüzgar Girdisi</b>	<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>		<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (s)</b>	<b>RMSE (s)</b>	<b>MAE (s)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (s)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (s)</b>	<b>SI</b>
Komen	Janssen	1,5	Tamamı aktif	2416	0,72	-0,02	0,69	0,53	3,79	3,81	0,18
Komen	Janssen	1,5	breaking kapalı	2416	0,73	0,02	0,69	0,55	3,79	3,77	0,18
Komen	Janssen	1,5	friction kapalı	2416	0,72	0,02	0,71	0,56	3,79	3,78	0,19
Komen	Janssen	1,5	triad kapalı	2416	0,72	0,03	0,71	0,56	3,79	3,77	0,19

**EK 4: İnce Karelaç İçin Kalibrasyon Sürecinde Geliştirilen Bütün SWAN Modellerin Her İki Dalga Parametresinin Tahminlerinin Gloria İstasyonundaki Hata İstatistiği**

**Ek Çizelge 4.1.** Gloria istasyonunda geliştirilen modellerin  $H_{m0}$  için hata istatistiği

No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	$C_{ds}$	$H_{m0}$ için Hata istatistiği							
				n	R	Bias (m)	RMSE (m)	MAE (m)	$X_{ort.}$ (m)	$Y_{ort.}$ (m)	SI
G.1.1	Janssen	Janssen	2	1352	0,86	-0,25	0,62	0,46	1,35	1,60	0,46
G.1.2	Janssen	Janssen	2,5	1352	0,87	-0,07	0,53	0,38	1,35	1,42	0,39
G.1.3	Janssen	Janssen	3	1352	0,87	0,08	0,53	0,37	1,35	1,27	0,39
G.1.4	Janssen	Janssen	3,5	1352	0,87	0,21	0,58	0,40	1,35	1,14	0,43
G.1.5	Janssen	Janssen	4	1352	0,86	0,32	0,65	0,44	1,35	1,03	0,48
G.1.0	Janssen	Janssen	4,5	1352	0,86	0,40	0,71	0,48	1,35	0,95	0,53
G.2.1	Janssen	Komen	2,06 e-5	1352	0,87	-0,15	0,57	0,42	1,35	1,50	0,42
G.2.2	Janssen	Komen	2,16 e-5	1352	0,87	-0,11	0,54	0,40	1,35	1,46	0,40
G.2.3	Janssen	Komen	2,26 e-5	1352	0,87	-0,08	0,53	0,39	1,35	1,43	0,39
G.2.0	Janssen	Komen	2,36 e-5	1352	0,87	-0,04	0,53	0,38	1,35	1,39	0,39
G.3.1	Komen	Janssen	0,5	1352	0,86	0,17	0,59	0,40	1,35	1,18	0,44
G.3.2	Komen	Janssen	1	1352	0,86	0,34	0,68	0,45	1,35	1,01	0,51
G.3.3	Komen	Janssen	1,5	1352	0,86	0,43	0,75	0,50	1,35	0,92	0,56
G.3.4	Komen	Janssen	2	1352	0,86	0,49	0,81	0,55	1,35	0,86	0,60
G.3.5	Komen	Janssen	2,5	1352	0,86	0,54	0,85	0,58	1,35	0,81	0,63
G.3.6	Komen	Janssen	3	1352	0,86	0,58	0,89	0,61	1,35	0,77	0,66
G.3.7	Komen	Janssen	3,5	1352	0,86	0,61	0,92	0,64	1,35	0,74	0,68
G.3.8	Komen	Janssen	4	1352	0,86	0,64	0,94	0,66	1,35	0,71	0,70
G.3.0	Komen	Janssen	4,5	1352	0,86	0,66	0,97	0,69	1,35	0,68	0,72
G.4.1	Komen	Komen	0,5 e-5	1352	0,86	0,22	0,62	0,41	1,35	1,13	0,46
G.4.2	Komen	Komen	2,06 e-5	1352	0,86	0,53	0,84	0,57	1,35	0,82	0,62
G.4.3	Komen	Komen	2,16 e-5	1352	0,86	0,53	0,85	0,58	1,35	0,82	0,63
G.4.4	Komen	Komen	2,26 e-5	1352	0,86	0,54	0,85	0,58	1,35	0,81	0,63
G.4.0	Komen	Komen	2,36 e-5	1352	0,86	0,55	0,86	0,59	1,35	0,80	0,64

**Ek Çizelge 4.2.** Gloria istasyonunda geliştirilen modellerin  $T_{pik}$  için hata istatistiği

No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	$C_{ds}$	$T_{pik}$ için Hata istatistiği							
				n	R	Bias (s)	RMSE (s)	MAE (s)	$X_{ort.}$ (s)	$Y_{ort.}$ (s)	SI
G.1.1	Janssen	Janssen	2	1352	0,47	-0,36	1,53	1,18	4,55	4,91	0,34
G.1.2	Janssen	Janssen	2,5	1352	0,47	-0,13	1,47	1,12	4,55	4,69	0,32
G.1.3	Janssen	Janssen	3	1352	0,47	0,09	1,44	1,09	4,55	4,46	0,32
G.1.4	Janssen	Janssen	3,5	1352	0,46	0,29	1,45	1,10	4,55	4,27	0,32
G.1.5	Janssen	Janssen	4	1352	0,45	0,48	1,48	1,12	4,55	4,07	0,33
G.1.0	Janssen	Janssen	4,5	1352	0,42	0,63	1,55	1,16	4,55	3,92	0,34
G.2.1	Janssen	Komen	2,06 e-5	1352	0,47	-0,24	1,50	1,15	4,55	4,79	0,33
G.2.2	Janssen	Komen	2,16 e-5	1352	0,47	-0,19	1,50	1,15	4,55	4,74	0,33
G.2.3	Janssen	Komen	2,26 e-5	1352	0,46	-0,15	1,49	1,14	4,55	4,71	0,33
G.2.0	Janssen	Komen	2,36 e-5	1352	0,47	-0,08	1,45	1,11	4,55	4,63	0,32
G.3.1	Komen	Janssen	0,5	1352	0,44	-0,57	1,63	1,26	4,55	5,12	0,36
G.3.2	Komen	Janssen	1	1352	0,42	-0,37	1,62	1,23	4,55	4,92	0,36
G.3.3	Komen	Janssen	1,5	1352	0,40	-0,24	1,64	1,23	4,55	4,79	0,36
G.3.4	Komen	Janssen	2	1352	0,40	-0,14	1,63	1,22	4,55	4,69	0,36
G.3.5	Komen	Janssen	2,5	1352	0,39	-0,05	1,65	1,23	4,55	4,60	0,36
G.3.6	Komen	Janssen	3	1352	0,38	0,03	1,66	1,24	4,55	4,53	0,37
G.3.7	Komen	Janssen	3,5	1352	0,37	0,09	1,68	1,25	4,55	4,47	0,37
G.3.8	Komen	Janssen	4	1352	0,37	0,14	1,69	1,26	4,55	4,41	0,37
G.3.0	Komen	Janssen	4,5	1352	0,36	0,19	1,70	1,27	4,55	4,36	0,37
G.4.1	Komen	Komen	0,5 e-5	1352	0,44	-0,58	1,66	1,27	4,55	5,14	0,36
G.4.2	Komen	Komen	2,06 e-5	1352	0,39	-0,24	1,68	1,25	4,55	4,79	0,37
G.4.3	Komen	Komen	2,16 e-5	1352	0,39	-0,23	1,68	1,26	4,55	4,78	0,37
G.4.4	Komen	Komen	2,26 e-5	1352	0,39	-0,22	1,68	1,26	4,55	4,77	0,37
G.4.0	Komen	Komen	2,36 e-5	1352	0,39	-0,21	1,68	1,26	4,55	4,76	0,37



**EK 5: Alt Karelaç SD1 İçin Kalibrasyon Sürecinde Geliştirilen Btn SWAN Modellerin Her İki Dalga Parametresinin Tahminlerinin Sinop İstasyonundaki Hata İstatistiği**

**Ek izelge 5.1.** Sinop istasyonunda geliştirilen modellerin  $H_{m0}$  için hata istatistiği

No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	$C_{ds}$	n	R	Bias (m)	RMSE (m)	MAE (m)	$X_{ort.}$ (m)	$Y_{ort.}$ (m)	SI
S.1.1	Janssen	Janssen	3	1828	0,82	-0,24	0,40	0,31	0,81	1,04	0,49
S.1.2	Janssen	Janssen	3,5	1828	0,83	-0,18	0,35	0,28	0,81	0,99	0,44
S.1.3	Janssen	Janssen	4	1828	0,82	-0,14	0,34	0,26	0,81	0,95	0,42
S.1.0	Janssen	Janssen	4,5	1828	0,82	-0,10	0,32	0,24	0,81	0,91	0,39
S.1.4	Janssen	Janssen	5	1828	0,81	-0,07	0,31	0,23	0,81	0,88	0,38
S.1.5	Janssen	Janssen	5,5	1828	0,81	-0,05	0,30	0,22	0,81	0,85	0,37
S.1.6	Janssen	Janssen	6	1828	0,81	-0,02	0,30	0,22	0,81	0,83	0,37
S.1.7	Janssen	Janssen	6,5	1828	0,81	0,00	0,29	0,22	0,81	0,81	0,37
S.1.8	Janssen	Janssen	7	1828	0,81	0,01	0,30	0,22	0,81	0,79	0,37
S.1.9	Janssen	Janssen	7,5	1828	0,81	0,03	0,30	0,22	0,81	0,78	0,37
S.2.1	Janssen	Komen	0,5 e-5	1828	0,82	-1,02	1,13	1,02	0,81	1,83	1,40
S.2.2	Janssen	Komen	2,06 e-5	1828	0,83	-0,35	0,49	0,40	0,81	1,16	0,61
S.2.3	Janssen	Komen	2,16 e-5	1828	0,83	-0,33	0,47	0,38	0,81	1,13	0,58
S.2.4	Janssen	Komen	2,26 e-5	1828	0,83	-0,31	0,45	0,37	0,81	1,12	0,56
S.2.0	Janssen	Komen	2,36 e-5	1828	0,83	-0,30	0,45	0,36	0,81	1,11	0,55
S.3.1	Komen	Janssen	3	1828	0,83	0,01	0,28	0,21	0,81	0,79	0,35
S.3.2	Komen	Janssen	3,5	1828	0,83	0,02	0,28	0,21	0,81	0,78	0,35
S.3.3	Komen	Janssen	4	1828	0,83	0,03	0,29	0,21	0,81	0,77	0,35
S.3.0	Komen	Janssen	4,5	1828	0,82	0,04	0,29	0,21	0,81	0,76	0,36
S.3.4	Komen	Janssen	5	1828	0,82	0,05	0,29	0,21	0,81	0,76	0,36
S.3.5	Komen	Janssen	5,5	1828	0,82	0,06	0,29	0,21	0,81	0,75	0,36
S.4.1	Komen	Komen	0,5 e-5	1828	0,84	-0,11	0,30	0,23	0,81	0,92	0,37
S.4.2	Komen	Komen	2,06 e-5	1828	0,83	0,00	0,28	0,21	0,81	0,80	0,34
S.4.4	Komen	Komen	2,26 e-5	1828	0,83	0,01	0,28	0,21	0,81	0,80	0,34
S.4.0	Komen	Komen	2,36 e-5	1828	0,83	0,01	0,28	0,21	0,81	0,79	0,34
S.5.1	Yan	Westhuysen	1	1828	0,84	-0,06	0,29	0,22	0,81	0,87	0,36
S.5.2	Yan	Westhuysen	2	1828	0,83	-0,01	0,28	0,21	0,81	0,82	0,35
S.5.3	Yan	Westhuysen	3	1828	0,83	0,01	0,28	0,21	0,81	0,80	0,35
S.5.4	Yan	Westhuysen	4	1828	0,83	0,02	0,28	0,21	0,81	0,78	0,35
S.5.0	Yan	Westhuysen	5	1828	0,82	0,03	0,29	0,21	0,81	0,78	0,35
S.5.5	Yan	Westhuysen	6	1828	0,82	0,04	0,29	0,21	0,81	0,77	0,36

**Ek Çizelge 5.2.** Sinop istasyonunda geliştirilen modellerin  $T_{m02}$  için hata istatistiği

No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	$C_{ds}$	n	R	Bias (s)	RMSE (s)	MAE (s)	$X_{ort.}$ (s)	$Y_{ort.}$ (s)	SI
S.1.1	Janssen	Janssen	3	1828	0,71	0,93	1,10	0,95	3,80	2,87	0,29
S.1.2	Janssen	Janssen	3,5	1828	0,73	0,94	1,10	0,96	3,80	2,86	0,29
S.1.3	Janssen	Janssen	4	1828	0,70	0,93	1,12	0,96	3,80	2,88	0,30
S.1.0	Janssen	Janssen	4,5	1828	0,71	0,91	1,11	0,95	3,80	2,89	0,29
S.1.4	Janssen	Janssen	5	1828	0,69	0,90	1,13	0,97	3,80	2,90	0,30
S.1.5	Janssen	Janssen	5,5	1828	0,67	0,85	1,12	0,97	3,80	2,96	0,29
S.1.6	Janssen	Janssen	6	1828	0,66	0,79	1,11	0,96	3,80	3,01	0,29
S.1.7	Janssen	Janssen	6,5	1828	0,63	0,73	1,11	0,96	3,80	3,07	0,29
S.1.8	Janssen	Janssen	7	1828	0,62	0,68	1,11	0,95	3,80	3,13	0,29
S.1.9	Janssen	Janssen	7,5	1828	0,62	0,61	1,10	0,95	3,80	3,19	0,29
S.2.1	Janssen	Komen	0,5 e-5	1828	0,67	0,58	0,84	0,66	3,80	3,22	0,22
S.2.2	Janssen	Komen	2,06 e-5	1828	0,71	0,89	1,06	0,91	3,80	2,92	0,28
S.2.3	Janssen	Komen	2,16 e-5	1828	0,70	0,91	1,08	0,92	3,80	2,90	0,28
S.2.4	Janssen	Komen	2,26 e-5	1828	0,71	0,90	1,08	0,92	3,80	2,90	0,28
S.2.0	Janssen	Komen	2,36 e-5	1828	0,71	0,92	1,09	0,93	3,80	2,88	0,29
S.3.1	Komen	Janssen	3	1828	0,72	0,10	0,74	0,59	3,80	3,70	0,19
S.3.2	Komen	Janssen	3,5	1828	0,72	0,06	0,75	0,60	3,80	3,74	0,20
S.3.3	Komen	Janssen	4	1828	0,71	0,03	0,76	0,61	3,80	3,77	0,20
S.3.0	Komen	Janssen	4,5	1828	0,71	0,00	0,77	0,62	3,80	3,80	0,20
S.3.4	Komen	Janssen	5	1828	0,71	-0,03	0,78	0,63	3,80	3,83	0,21
S.3.5	Komen	Janssen	5,5	1828	0,71	-0,05	0,79	0,64	3,80	3,85	0,21
S.4.1	Komen	Komen	0,5 e-5	1828	0,74	0,67	0,91	0,75	3,80	3,14	0,24
S.4.2	Komen	Komen	2,06 e-5	1828	0,71	0,10	0,82	0,67	3,80	3,70	0,22
S.4.3	Komen	Komen	2,16 e-5	1828	0,71	0,09	0,83	0,67	3,80	3,72	0,22
S.4.4	Komen	Komen	2,26 e-5	1828	0,71	0,07	0,83	0,67	3,80	3,73	0,22
S.4.0	Komen	Komen	2,36 e-5	1828	0,71	0,06	0,83	0,67	3,80	3,75	0,22
S.5.1	Yan	Westhuysen	1	1828	0,70	0,97	1,14	0,99	3,80	2,84	0,30
S.5.2	Yan	Westhuysen	2	1828	0,71	0,70	0,95	0,79	3,80	3,10	0,25
S.5.3	Yan	Westhuysen	3	1828	0,72	0,58	0,88	0,72	3,80	3,22	0,23
S.5.4	Yan	Westhuysen	4	1828	0,72	0,51	0,84	0,68	3,80	3,30	0,22
S.5.0	Yan	Westhuysen	5	1828	0,73	0,45	0,80	0,65	3,80	3,36	0,21
S.5.5	Yan	Westhuysen	6	1828	0,73	0,40	0,78	0,63	3,80	3,40	0,21

**EK 6: Alt Karelaç SD2 İçin Kalibrasyon Sürecinde Geliştirilen Bütün SWAN Modellerin Her İki Dalga Parametresinin Tahminlerinin Filyos İstasyonundaki Hata İstatistiği**

**Ek izelge 6.1.** Filyos istasyonunda geliştirilen modellerin hata istatistiği

<b>H<sub>m0</sub> için Hata istatistiği</b>											
<b>No</b>	<b>Rüzgar Girdisi</b>	<b>Köpüklenme</b>	<b>C<sub>ds</sub></b>	<b>n</b>	<b>R</b>	<b>Bias (m)</b>	<b>RMSE (m)</b>	<b>MAE (m)</b>	<b>X<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>Y<sub>ort.</sub> (m)</b>	<b>SI</b>
F.1.1	Janssen	Janssen	2	4003	0,49	-0,60	0,83	0,68	0,59	1,19	1,40
F.1.2	Janssen	Janssen	2,5	4003	0,50	-0,48	0,72	0,58	0,59	1,07	1,23
F.1.3	Janssen	Janssen	3	4003	0,50	-0,38	0,65	0,51	0,59	0,97	1,09
F.1.4	Janssen	Janssen	3,5	4003	0,51	-0,31	0,59	0,46	0,59	0,90	1,00
F.1.5	Janssen	Janssen	4	4003	0,52	-0,25	0,55	0,42	0,59	0,84	0,94
F.1.0	Janssen	Janssen	4,5	4003	0,53	-0,21	0,53	0,40	0,59	0,80	0,89
F.1.6	Janssen	Janssen	5	4003	0,53	-0,17	0,50	0,37	0,59	0,76	0,85
F.1.7	Janssen	Janssen	6	4003	0,53	-0,11	0,47	0,34	0,59	0,70	0,80
F.1.8	Janssen	Janssen	6,5	4003	0,53	-0,09	0,47	0,33	0,59	0,68	0,79
F.1.9	Janssen	Janssen	7	4003	0,53	-0,07	0,46	0,32	0,59	0,66	0,78
F.1.10	Janssen	Janssen	7,5	4003	0,53	-0,05	0,46	0,32	0,59	0,64	0,78
F.2.1	Janssen	Komen	0,5 e-5	4003	0,44	-1,44	1,60	1,46	0,59	2,03	2,71
F.2.2	Janssen	Komen	2,06 e-5	4003	0,49	-0,52	0,77	0,62	0,59	1,11	1,30
F.2.3	Janssen	Komen	2,16 e-5	4003	0,49	-0,50	0,74	0,60	0,59	1,09	1,26
F.2.4	Janssen	Komen	2,26 e-5	4003	0,50	-0,48	0,73	0,59	0,59	1,07	1,23
F.2.0	Janssen	Komen	2,36 e-5	4003	0,50	-0,46	0,71	0,57	0,59	1,05	1,20
F.2.5	Janssen	Komen	2,46 e-5	4003	0,50	-0,43	0,69	0,55	0,59	1,02	1,17
F.2.6	Janssen	Komen	2,56 e-5	4003	0,50	-0,41	0,67	0,54	0,59	1,00	1,14
F.2.7	Janssen	Komen	2,66 e-5	4003	0,51	-0,40	0,66	0,52	0,59	0,99	1,11
F.3.1	Komen	Janssen	2	4003	0,54	-0,13	0,48	0,35	0,59	0,72	0,82
F.3.2	Komen	Janssen	2,5	4003	0,54	-0,11	0,47	0,34	0,59	0,70	0,80
F.3.3	Komen	Janssen	3	4003	0,55	-0,09	0,47	0,33	0,59	0,68	0,79
F.3.4	Komen	Janssen	3,5	4003	0,55	-0,08	0,46	0,32	0,59	0,67	0,78
F.3.5	Komen	Janssen	4	4003	0,55	-0,07	0,46	0,32	0,59	0,66	0,78
F.3.0	Komen	Janssen	4,5	4003	0,55	-0,06	0,46	0,31	0,59	0,65	0,77
F.3.6	Komen	Janssen	5	4003	0,55	-0,05	0,45	0,31	0,59	0,64	0,77
F.3.7	Komen	Janssen	5,5	4003	0,55	-0,04	0,45	0,31	0,59	0,63	0,77
F.3.8	Komen	Janssen	6	4003	0,55	-0,03	0,45	0,31	0,59	0,62	0,76
F.3.9	Komen	Janssen	7	4003	0,55	-0,02	0,45	0,30	0,59	0,61	0,76
F.3.10	Komen	Janssen	8	4003	0,55	-0,01	0,45	0,30	0,59	0,60	0,76

Ek Çizelge 6.1 Devamı

No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	C <sub>ds</sub>	n	R	Bias (m)	RMSE (m)	MAE (m)	X <sub>ort.</sub> (m)	Y <sub>ort.</sub> (m)	SI
F.3.11	Komen	Janssen	9	4003	0,55	0,00	0,45	0,30	0,59	0,59	0,76
F.4.1	Komen	Komen	0,5 e-5	4003	0,54	-0,24	0,54	0,41	0,59	0,83	0,92
F.4.2	Komen	Komen	2,06 e-5	4003	0,55	-0,11	0,47	0,33	0,59	0,70	0,80
F.4.3	Komen	Komen	2,16 e-5	4003	0,55	-0,11	0,47	0,33	0,59	0,70	0,80
F.4.4	Komen	Komen	2,26 e-5	4003	0,55	-0,10	0,47	0,33	0,59	0,69	0,79
F.4.0	Komen	Komen	2,36 e-5	4003	0,55	-0,10	0,47	0,33	0,59	0,69	0,79
F.4.5	Komen	Komen	2,46 e-5	4003	0,55	-0,09	0,47	0,33	0,59	0,68	0,79
F.4.6	Komen	Komen	2,56 e-5	4003	0,55	-0,09	0,47	0,33	0,59	0,68	0,79
F.4.7	Komen	Komen	2,66 e-5	4003	0,55	-0,09	0,46	0,33	0,59	0,68	0,79
F.5.1	Yan	Westhuysen	1	4003	0,53	-0,14	0,51	0,36	0,59	0,73	0,86
F.5.2	Yan	Westhuysen	2	4003	0,54	-0,10	0,48	0,34	0,59	0,69	0,81
F.5.3	Yan	Westhuysen	3	4003	0,55	-0,09	0,47	0,33	0,59	0,68	0,80
F.5.4	Yan	Westhuysen	4	4003	0,55	-0,08	0,46	0,32	0,59	0,67	0,79
F.5.0	Yan	Westhuysen	5	4003	0,55	-0,07	0,46	0,32	0,59	0,66	0,78
F.5.5	Yan	Westhuysen	6	4003	0,55	-0,06	0,46	0,32	0,59	0,65	0,78

T<sub>pik</sub> için Hata istatistiği

No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	C <sub>ds</sub>	n	R	Bias (s)	RMSE (s)	MAE (s)	X <sub>ort.</sub> (s)	Y <sub>ort.</sub> (s)	SI
F.1.1	Janssen	Janssen	2	4003	0,46	0,32	1,34	1,04	5,46	5,13	0,24
F.1.2	Janssen	Janssen	2,5	4003	0,47	0,41	1,39	1,08	5,46	5,04	0,25
F.1.3	Janssen	Janssen	3	4003	0,48	0,49	1,46	1,14	5,46	4,96	0,27
F.1.4	Janssen	Janssen	3,5	4003	0,47	0,53	1,51	1,18	5,46	4,93	0,28
F.1.5	Janssen	Janssen	4	4003	0,47	0,54	1,54	1,20	5,46	4,92	0,28
F.1.0	Janssen	Janssen	4,5	4003	0,46	0,57	1,57	1,22	5,46	4,89	0,29
F.1.6	Janssen	Janssen	5	4003	0,45	0,57	1,59	1,23	5,46	4,89	0,29
F.1.7	Janssen	Janssen	6	4003	0,44	0,54	1,60	1,23	5,46	4,92	0,29
F.1.8	Janssen	Janssen	6,5	4003	0,44	0,52	1,59	1,22	5,46	4,94	0,29
F.1.9	Janssen	Janssen	7	4003	0,43	0,51	1,60	1,23	5,46	4,94	0,29
F.1.10	Janssen	Janssen	7,5	4003	0,43	0,51	1,62	1,24	5,46	4,95	0,30
F.2.1	Janssen	Komen	0,5 e-5	4003	0,46	-0,20	1,12	0,86	5,46	5,66	0,21
F.2.2	Janssen	Komen	2,06 e-5	4003	0,48	0,37	1,36	1,05	5,46	5,08	0,25
F.2.3	Janssen	Komen	2,16 e-5	4003	0,47	0,39	1,38	1,07	5,46	5,07	0,25
F.2.4	Janssen	Komen	2,26 e-5	4003	0,47	0,42	1,40	1,09	5,46	5,04	0,26
F.2.0	Janssen	Komen	2,36 e-5	4003	0,47	0,44	1,40	1,09	5,46	5,02	0,26

**Ek Çizelge 6.1 Devamı**

No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	$C_{ds}$	n	R	Bias (s)	RMSE (s)	MAE (s)	$X_{ort.}$ (s)	$Y_{ort.}$ (s)	SI
F.2.5	Janssen	Komen	2,46 e-5	4003	0,48	0,44	1,42	1,10	5,46	5,01	0,26
F.2.6	Janssen	Komen	2,56 e-5	4003	0,47	0,47	1,45	1,13	5,46	4,99	0,27
F.2.7	Janssen	Komen	2,66 e-5	4003	0,47	0,47	1,44	1,12	5,46	4,99	0,26
F.3.1	Komen	Janssen	2	4003	0,50	0,13	1,25	0,95	5,46	5,32	0,23
F.3.2	Komen	Janssen	2,5	4003	0,50	0,13	1,25	0,95	5,46	5,33	0,23
F.3.3	Komen	Janssen	3	4003	0,50	0,12	1,25	0,95	5,46	5,33	0,23
F.3.4	Komen	Janssen	3,5	4003	0,50	0,12	1,25	0,95	5,46	5,34	0,23
F.3.5	Komen	Janssen	4	4003	0,50	0,12	1,25	0,95	5,46	5,34	0,23
F.3.0	Komen	Janssen	4,5	4003	0,50	0,11	1,25	0,95	5,46	5,34	0,23
F.3.6	Komen	Janssen	5	4003	0,50	0,11	1,25	0,95	5,46	5,35	0,23
F.3.7	Komen	Janssen	5,5	4003	0,50	0,11	1,26	0,95	5,46	5,35	0,23
F.3.8	Komen	Janssen	6	4003	0,50	0,10	1,26	0,95	5,46	5,36	0,23
F.3.9	Komen	Janssen	7	4003	0,50	0,10	1,26	0,95	5,46	5,36	0,23
F.3.10	Komen	Janssen	8	4003	0,50	0,09	1,26	0,96	5,46	5,37	0,23
F.3.11	Komen	Janssen	9	4003	0,50	0,09	1,27	0,96	5,46	5,37	0,23
F.4.1	Komen	Komen	0,5 e-5	4003	0,50	0,13	1,25	0,95	5,46	5,33	0,23
F.4.2	Komen	Komen	2,06 e-5	4003	0,50	0,10	1,24	0,94	5,46	5,36	0,23
F.4.3	Komen	Komen	2,16 e-5	4003	0,50	0,09	1,23	0,93	5,46	5,37	0,23
F.4.4	Komen	Komen	2,26 e-5	4003	0,50	0,09	1,23	0,93	5,46	5,37	0,23
F.4.0	Komen	Komen	2,36 e-5	4003	0,50	0,09	1,23	0,93	5,46	5,37	0,23
F.4.5	Komen	Komen	2,46 e-5	4003	0,50	0,09	1,24	0,94	5,46	5,37	0,23
F.4.6	Komen	Komen	2,56 e-5	4003	0,50	0,09	1,24	0,94	5,46	5,37	0,23
F.4.7	Komen	Komen	2,66 e-5	4003	0,50	0,09	1,24	0,94	5,46	5,37	0,23
F.5.1	Yan	Westhuysen	1	4003	0,48	0,41	1,44	1,10	5,46	5,04	0,26
F.5.2	Yan	Westhuysen	2	4003	0,49	0,22	1,31	0,99	5,46	5,24	0,24
F.5.3	Yan	Westhuysen	3	4003	0,50	0,16	1,28	0,97	5,46	5,30	0,23
F.5.4	Yan	Westhuysen	4	4003	0,50	0,14	1,27	0,96	5,46	5,32	0,23
F.5.0	Yan	Westhuysen	5	4003	0,50	0,13	1,27	0,96	5,46	5,33	0,23
F.5.5	Yan	Westhuysen	6	4003	0,50	0,12	1,27	0,96	5,46	5,34	0,23

**EK 7: Alt Karelaç SD3 İçin Kalibrasyon Sürecinde Geliştirilen Bütün SWAN Modellerin Belirgin Dalga Yüksekliğinin Tahminleri İçin Karaburun İstasyonundaki Hata İstatistiği**

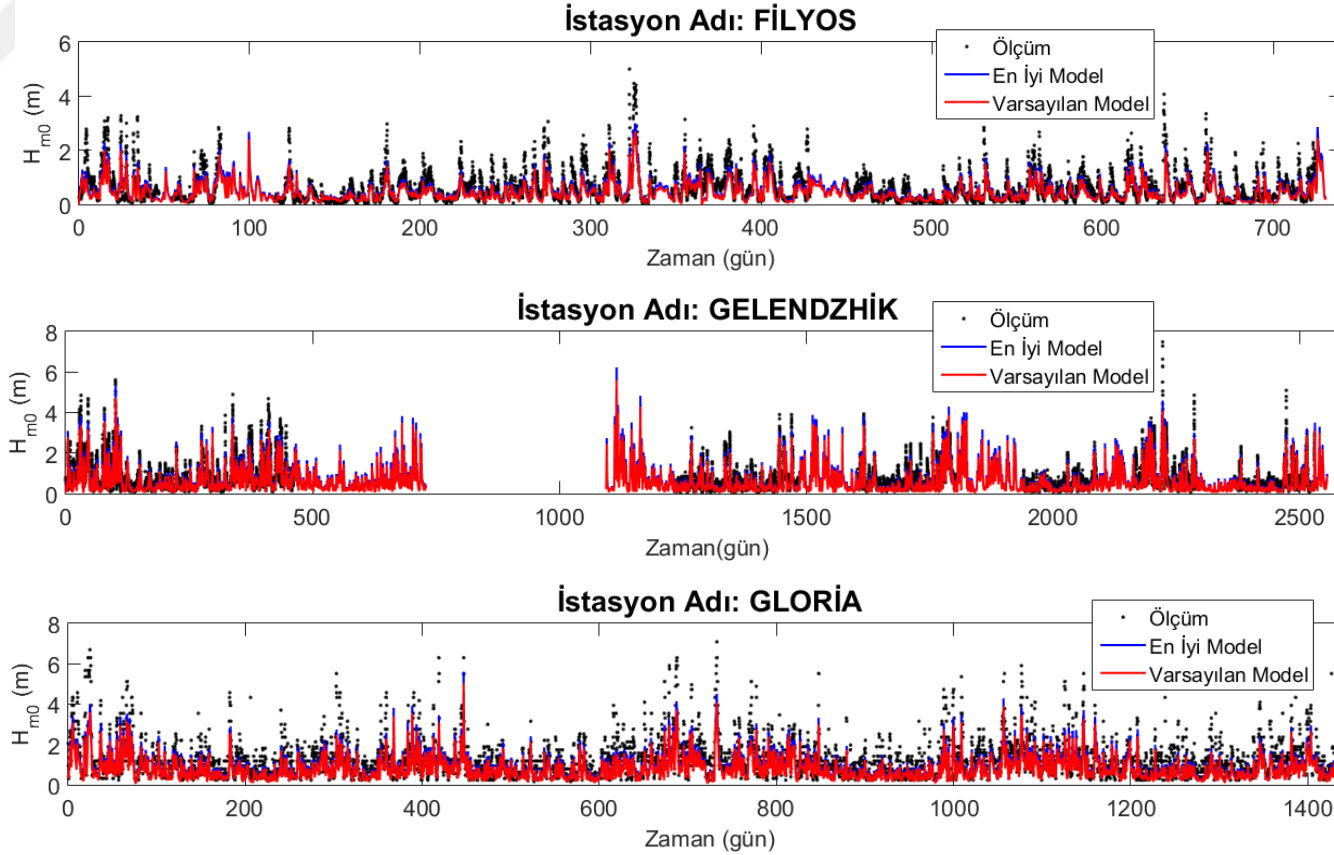
**Ek izelge 7.1.** Karaburun istasyonunda geliştirilen modellerin  $H_{m0}$  için hata istatistiği

No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	$C_{ds}$	$H_{m0}$ için Hata istatistiği							
				n	R	Bias (m)	RMSE (m)	MAE (m)	$X_{ort.}$ (m)	$Y_{ort.}$ (m)	SI
K.1.1	Janssen	Janssen	3	734	0,88	-0,24	0,35	0,27	0,65	0,89	0,54
K.1.2	Janssen	Janssen	3,5	734	0,88	-0,18	0,30	0,23	0,65	0,83	0,46
K.1.3	Janssen	Janssen	4	734	0,88	-0,13	0,27	0,19	0,65	0,78	0,42
K.1.0	Janssen	Janssen	4,5	734	0,88	-0,09	0,25	0,18	0,65	0,74	0,38
K.1.4	Janssen	Janssen	5	734	0,88	-0,05	0,24	0,17	0,65	0,70	0,37
K.1.5	Janssen	Janssen	5,5	734	0,88	-0,02	0,23	0,16	0,65	0,67	0,36
K.1.6	Janssen	Janssen	6	734	0,87	0,00	0,23	0,16	0,65	0,65	0,36
K.1.7	Janssen	Janssen	6,5	734	0,87	0,02	0,23	0,16	0,65	0,63	0,36
K.1.8	Janssen	Janssen	7	734	0,87	0,04	0,24	0,16	0,65	0,61	0,36
K.1.9	Janssen	Janssen	7,5	734	0,87	0,05	0,24	0,16	0,65	0,60	0,37
K.2.1	Janssen	Komen	0,5 e-5	734	0,82	-1,09	1,13	1,09	0,65	1,74	1,73
K.2.2	Janssen	Komen	2,16 e-5	734	0,87	-0,34	0,44	0,36	0,65	0,99	0,67
K.2.3	Janssen	Komen	2,26 e-5	734	0,87	-0,32	0,42	0,34	0,65	0,97	0,64
K.2.0	Janssen	Komen	2,36 e-5	734	0,87	-0,30	0,40	0,32	0,65	0,95	0,62
K.2.4	Janssen	Komen	2,46 e-5	734	0,87	-0,28	0,39	0,31	0,65	0,93	0,60
K.2.5	Janssen	Komen	2,56 e-5	734	0,87	-0,26	0,37	0,29	0,65	0,91	0,57
K.3.1	Komen	Janssen	1	734	0,88	-0,08	0,24	0,16	0,65	0,73	0,37
K.3.2	Komen	Janssen	1,5	734	0,88	-0,04	0,23	0,15	0,65	0,69	0,35
K.3.3	Komen	Janssen	2	734	0,88	-0,01	0,22	0,15	0,65	0,66	0,34
K.3.4	Komen	Janssen	3	734	0,88	0,02	0,22	0,15	0,65	0,63	0,34
K.3.5	Komen	Janssen	3,5	734	0,88	0,03	0,22	0,15	0,65	0,62	0,35
K.3.6	Komen	Janssen	4	734	0,88	0,04	0,23	0,15	0,65	0,61	0,35
K.3.0	Komen	Janssen	4,5	734	0,88	0,05	0,23	0,16	0,65	0,60	0,35
K.3.7	Komen	Janssen	5	734	0,88	0,06	0,23	0,16	0,65	0,59	0,36
K.3.8	Komen	Janssen	5,5	734	0,88	0,07	0,23	0,16	0,65	0,58	0,36
K.4.1	Komen	Komen	0,5 e-5	734	0,88	-0,12	0,26	0,19	0,65	0,77	0,40
K.4.2	Komen	Komen	2,16 e-5	734	0,88	0,01	0,22	0,15	0,65	0,64	0,34
K.4.3	Komen	Komen	2,26 e-5	734	0,88	0,01	0,22	0,15	0,65	0,64	0,34

**Ek Çizelge 7.1 Devamı**

No	Rüzgar Girdisi	Köpüklenme	$C_{ds}$	n	R	Bias (m)	RMSE (m)	MAE (m)	$X_{ort.}$ (m)	$Y_{ort.}$ (m)	SI
K.4.0	Komen	Komen	2,36 e-5	734	0,88	0,01	0,22	0,15	0,65	0,63	0,34
K.4.4	Komen	Komen	2,46 e-5	734	0,88	0,02	0,22	0,15	0,65	0,63	0,34
K.4.5	Komen	Komen	2,56 e-5	734	0,88	0,02	0,22	0,15	0,65	0,63	0,34
K.5.1	Yan	Westhuysen	1	734	0,89	-0,03	0,22	0,15	0,65	0,68	0,34
K.5.2	Yan	Westhuysen	2	734	0,89	0,01	0,22	0,15	0,65	0,64	0,34
K.5.3	Yan	Westhuysen	3	734	0,88	0,03	0,22	0,15	0,65	0,62	0,34
K.5.4	Yan	Westhuysen	4	734	0,88	0,04	0,23	0,15	0,65	0,61	0,35
K.5.0	Yan	Westhuysen	5	734	0,88	0,05	0,23	0,16	0,65	0,60	0,35
K.5.0	Yan	Westhuysen	6	734	0,88	0,05	0,23	0,16	0,65	0,60	0,35

## EK 8: Kaba Karelajda Doğrulama Analizi İçin Geliştirilen Model Tahminlerinin Mevcut Tüm Ölçüm Verisine Karşı Zaman Serisi Kıyaslaması

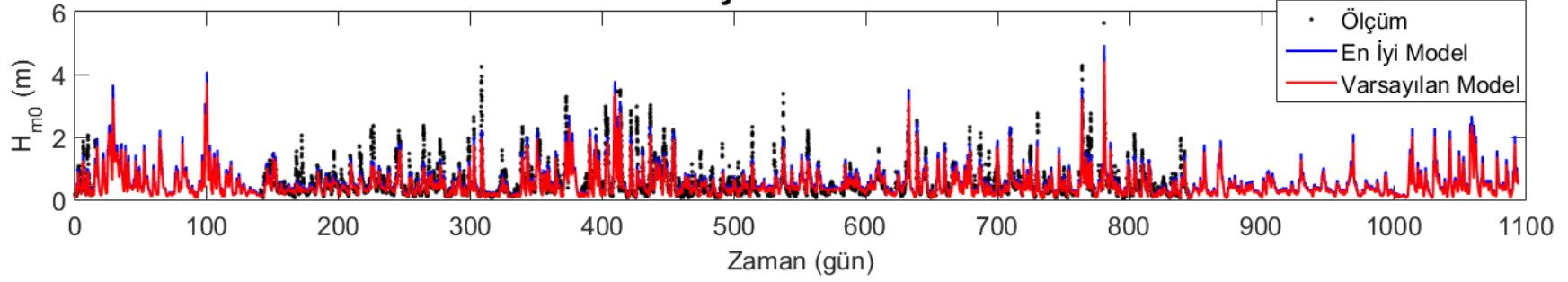


**Ek Şekil 8.1.** Filyos istasyonunda 1995 ve 1996 yıllarındaki, Gelendzhik istasyonunda 1997 – 1998 ve Gloria istasyonunda 2006 – 2009 yılları arasındaki ölçümlere karşı kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  tahminlerinin zaman serilerinin kıyaslaması

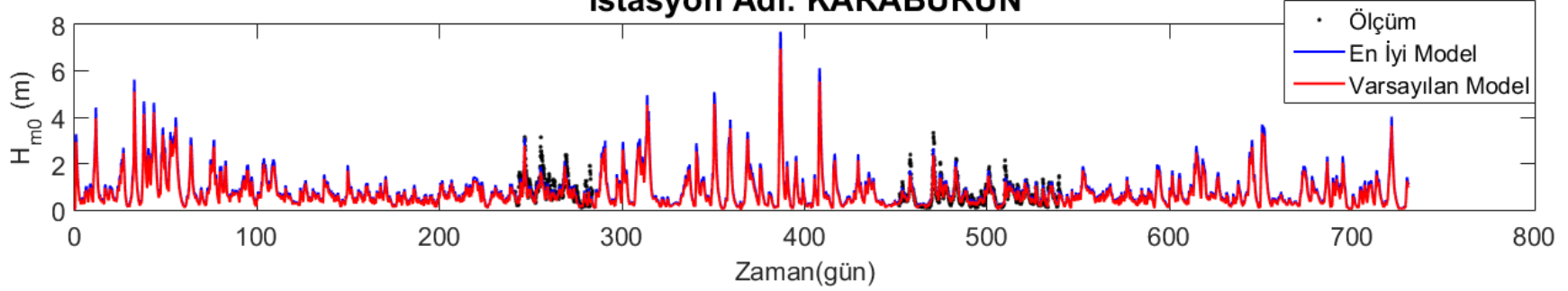




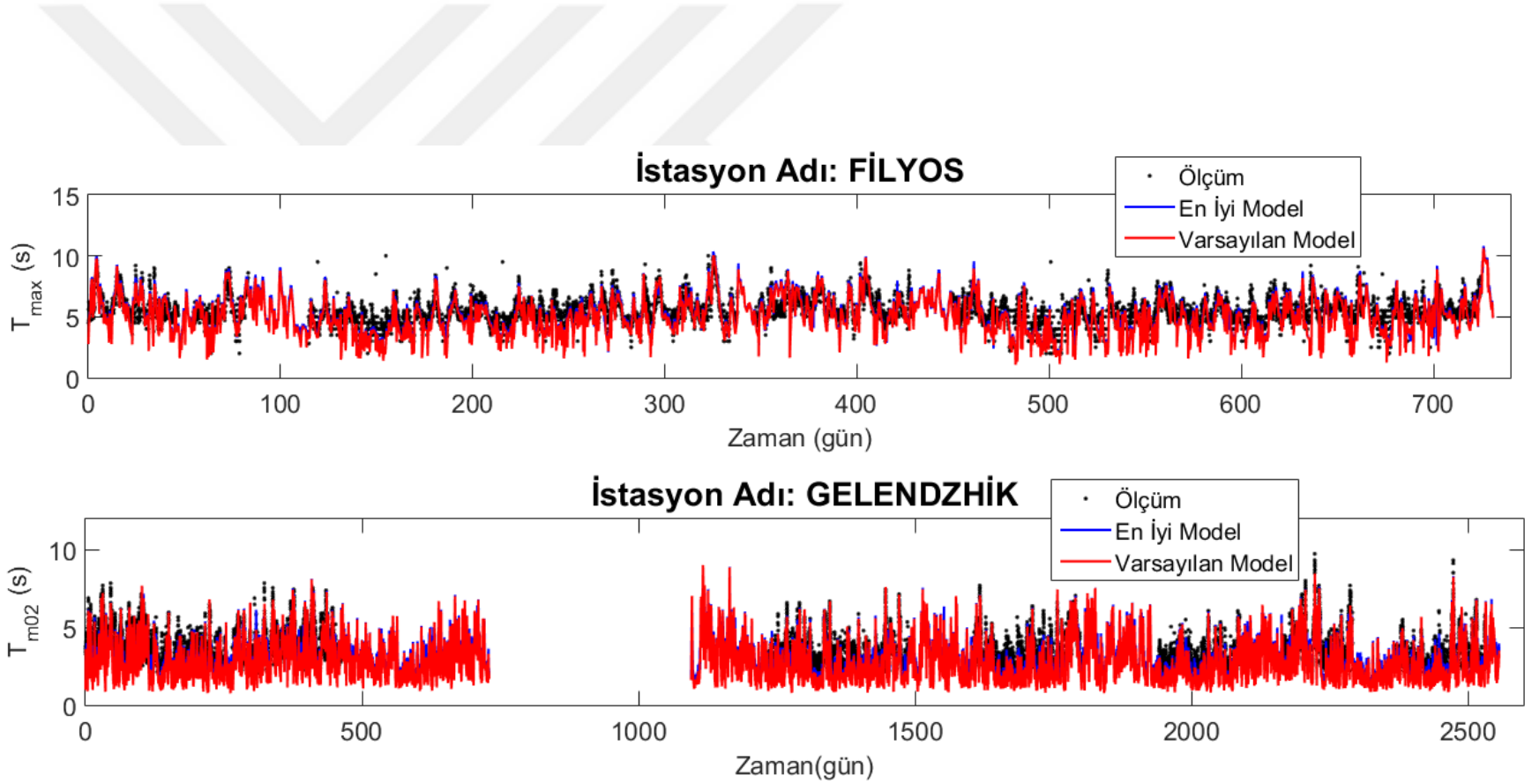
### İstasyon Adı: HOPA



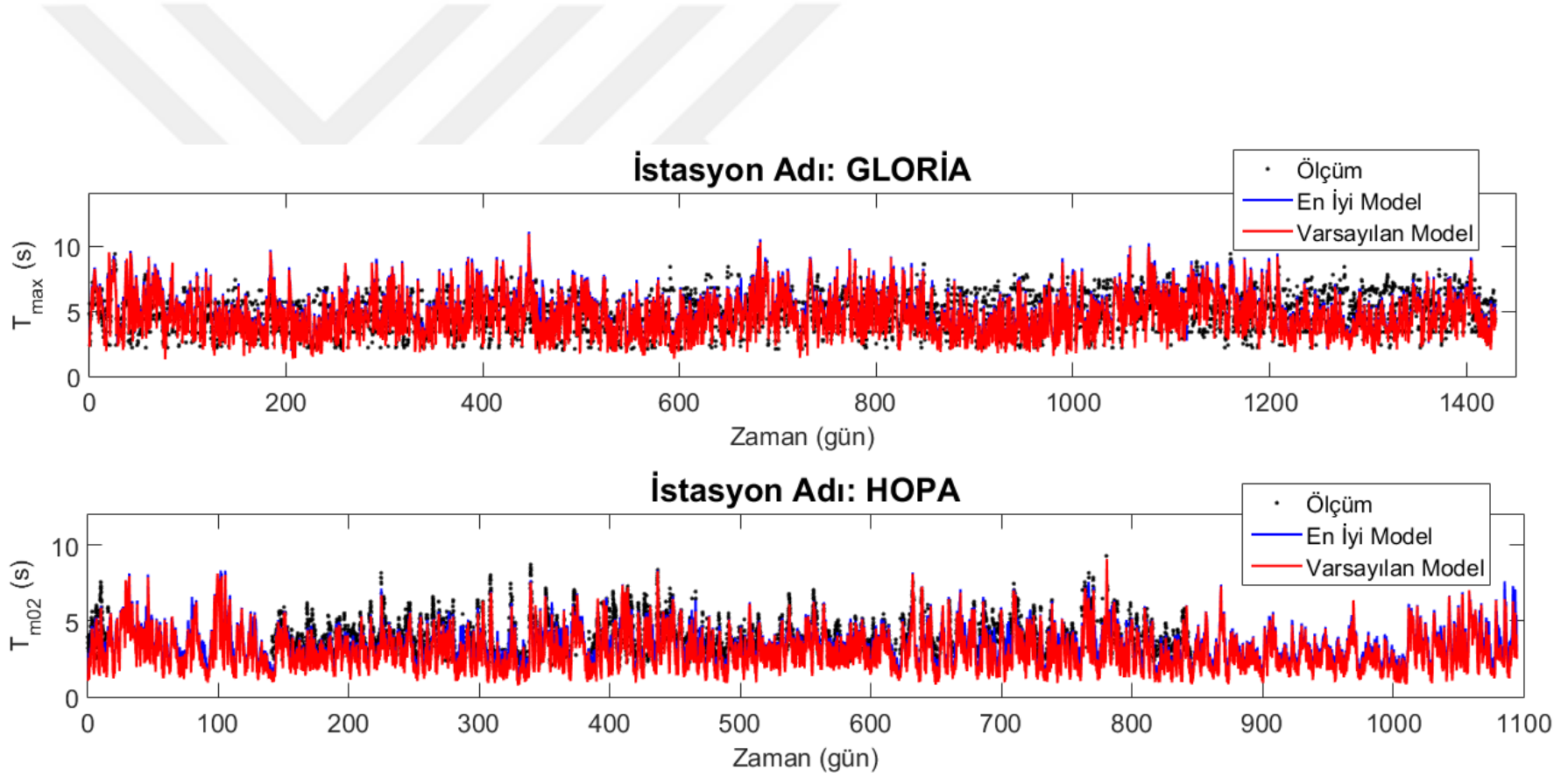
### İstasyon Adı: KARABURUN



**Ek Şekil 8.2.** Hopa istasyonunda 1997 – 1999 yılları arasındaki ve Karaburun istasyonunda 2003 ve 2004 yıllarındaki ölçümlere karşı kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  tahminlerinin zaman serilerinin kıyaslaması

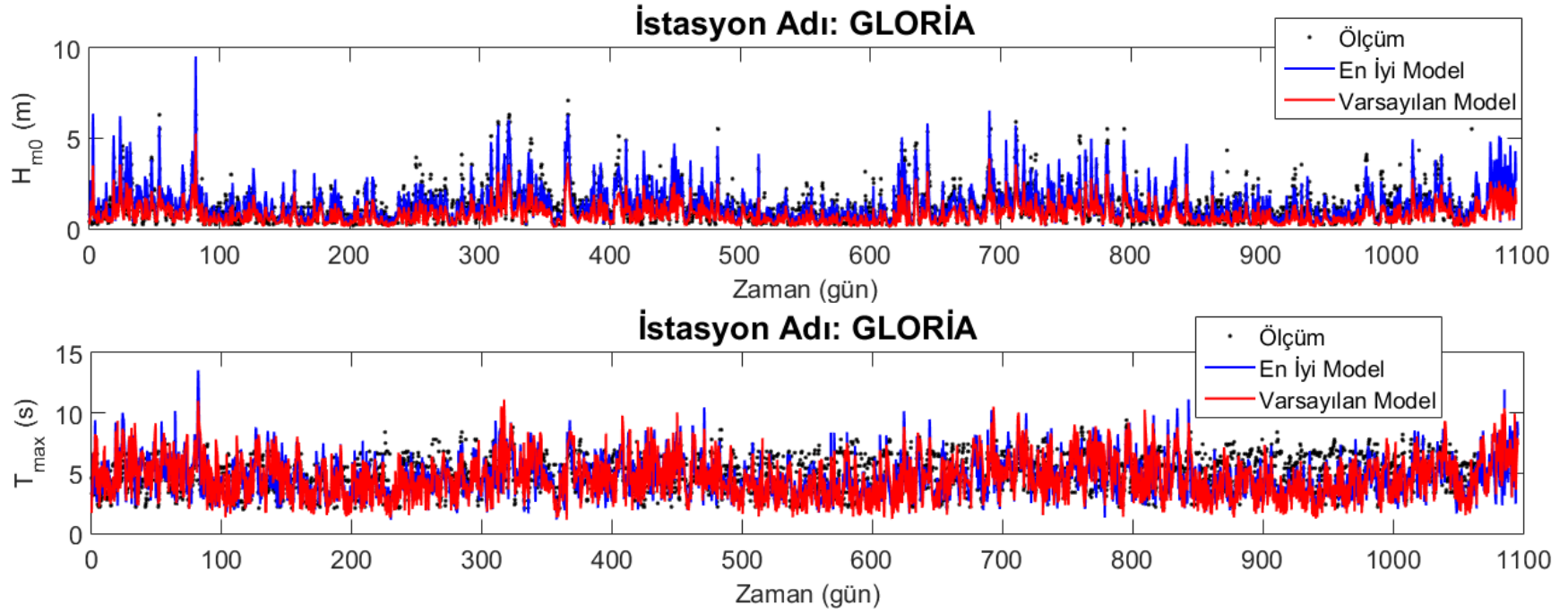


**Ek Şekil 8.3.** Filyos istasyonunda 1995 ve 1996 yıllarındaki ve Gelendzhik istasyonunda 1997 – 1998 yılları arasındaki ölçümlere karşı kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $T_{m02}$  (veya  $T_{pik}$ ) tahminlerinin zaman serilerinin kıyaslaması



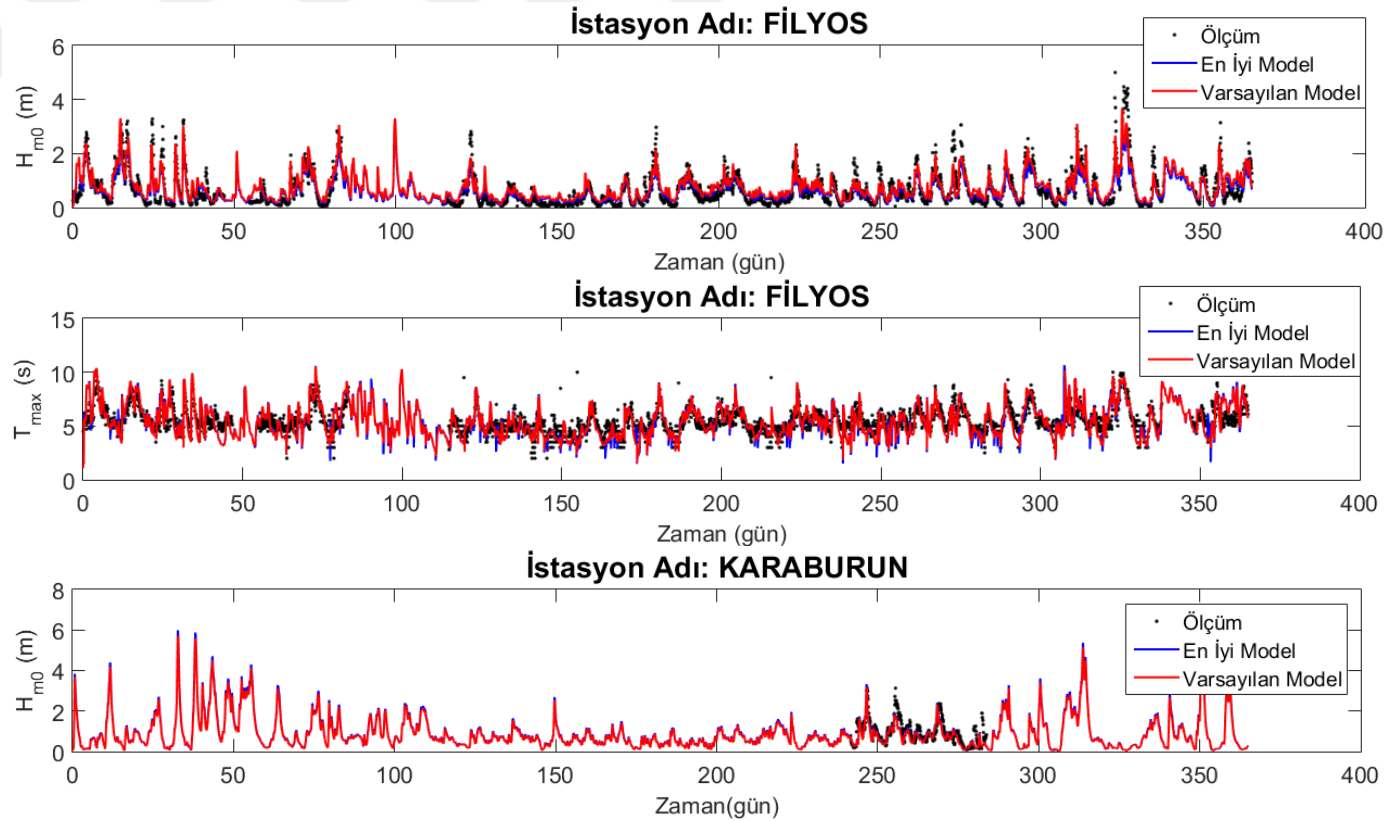
**Ek Şekil 8.4.** Gloria istasyonunda 2006 – 2009 ve Hopa istasyonunda 1997 – 1999 yılları arasındaki ölçümlere karşı kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $T_{m02}$  (veya  $T_{pik}$ ) tahminlerinin zaman serilerinin kıyaslaması

## EK 9: İnce Karelajda Doğrulama Analizi İçin Geliştirilen Model Tahminlerinin Mevcut Tüm Ölçüm Verisine Karşı Zaman Serisi Kıyaslaması



**Ek Şekil 9.1** Gloria ölçüm istasyonunda kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  ve  $T_{max}$  tahminlerinin 2007 – 2009 yılları arasındaki ölçümlere karşı zaman serilerinin kıyaslaması

## EK 10: Alt Kareajlarda Doğrulama Analizi İçin Geliştirilen Model Tahminlerinin Mevcut Tüm Ölçüm Verisine Karşı Zaman Serisi Kıyaslaması



**Ek Şekil 10.1** Filyos (1995) ve Karaburun (2003) ölçüm istasyonlarında kalibre edilmiş ve varsayılan ayarlamalı SWAN modellerin  $H_{m0}$  ve  $T_{max}$  tahminlerinin ölçümlere karşı zaman serilerinin kıyaslaması

**EK 11: Her Alt Karelaj İçin Seçilmiş Bütün İstasyonlarda Farklı Yönlere Ait Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar**

**Ek Çizelge 11. 1.** SD1 (Sinop) Karelajı 1. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												H <sub>max</sub>
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yönler	<b>D</b>	0,4	0,8	0,9	1,0	1,0	<b>1,1</b>	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	0,9
	<b>DKD</b>	0,5	1,0	1,1	1,2	1,3	<b>1,4</b>	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1	1,2
	<b>KD</b>	1,5	3,1	3,5	3,9	4,2	<b>4,6</b>	4,9	5,3	5,7	6,0	6,4	6,7	4,2
	<b>KKD</b>	2,7	5,0	5,5	6,1	6,5	<b>7,0</b>	7,4	8,0	8,5	8,9	9,5	10,0	6,0
	<b>K</b>	1,2	4,9	5,7	6,7	7,5	<b>8,2</b>	9,0	9,9	10,7	11,4	12,4	13,2	7,5
	<b>KKB</b>	1,3	5,7	6,7	7,9	8,8	<b>9,6</b>	10,5	11,7	12,5	13,4	14,6	15,4	8,7
	<b>KB</b>	2,0	6,0	6,9	8,0	8,8	<b>9,6</b>	10,4	11,5	12,3	13,1	14,1	14,9	8,9
	<b>BKB</b>	1,8	6,3	7,2	8,4	9,3	<b>10,2</b>	11,1	12,3	13,1	14,0	15,2	16,1	8,9
	<b>B</b>	1,1	4,3	5,0	5,9	6,5	<b>7,2</b>	7,8	8,6	9,3	9,9	10,7	11,4	6,5
	<b>BGB</b>	0,3	1,3	1,5	1,8	2,0	<b>2,2</b>	2,4	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6	2,1
	<b>GB</b>	0,4	0,8	1,0	1,1	1,2	<b>1,3</b>	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,0
	<b>GGB</b>	0,3	0,8	0,9	1,0	1,1	<b>1,2</b>	1,3	1,4	1,5	1,5	1,7	1,8	0,9
	<b>G</b>	0,2	0,7	0,8	1,0	1,1	<b>1,2</b>	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	1,0
	<b>GGD</b>	0,2	0,7	0,8	1,0	1,1	<b>1,2</b>	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	1,0
	<b>GD</b>	0,3	0,7	0,8	0,9	1,0	<b>1,1</b>	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,0
	<b>DGD</b>	0,2	0,7	0,8	1,0	1,1	<b>1,2</b>	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	0,9
	<b>Tümü</b>	3,2	7,1	7,9	8,9	9,7	<b>10,4</b>	11,2	12,2	13,0	13,7	14,7	15,5	8,9

**Ek Çizelge 11. 2.** SD1 (Sinop) Karelajı 2. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												H <sub>max</sub>
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yönel	<b>D</b>	0,2	0,8	0,9	1,1	1,2	<b>1,3</b>	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	1,0
	<b>DKD</b>	0,7	1,7	1,9	2,2	2,4	<b>2,6</b>	2,8	3,1	3,3	3,5	3,8	4,0	2,4
	<b>KD</b>	1,8	3,6	4,0	4,5	4,9	<b>5,3</b>	5,6	6,1	6,5	6,9	7,4	7,7	4,7
	<b>KKD</b>	2,6	5,2	5,7	6,4	6,9	<b>7,5</b>	8,0	8,7	9,2	9,7	10,4	10,9	6,1
	<b>K</b>	1,1	4,8	5,7	6,7	7,4	<b>8,2</b>	8,9	9,9	10,7	11,4	12,4	13,1	7,3
	<b>KKB</b>	1,6	5,3	6,2	7,2	7,9	<b>8,7</b>	9,4	10,4	11,2	11,9	12,9	13,6	6,9
	<b>KB</b>	2,4	5,2	5,8	6,6	7,1	<b>7,7</b>	8,2	9,0	9,5	10,1	10,8	11,3	6,8
	<b>BKB</b>	2,0	5,1	5,7	6,6	7,2	<b>7,8</b>	8,4	9,2	9,8	10,5	11,3	11,9	6,5
	<b>B</b>	0,5	2,1	2,4	2,8	3,1	<b>3,4</b>	3,7	4,1	4,4	4,7	5,1	5,4	2,7
	<b>BGB</b>	-0,2	0,8	1,1	1,3	1,5	<b>1,7</b>	1,9	2,2	2,4	2,6	2,9	3,1	1,6
	<b>GB</b>	0,0	0,6	0,8	0,9	1,1	<b>1,2</b>	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	1,0
	<b>GGB</b>	-0,2	0,6	0,7	0,9	1,1	<b>1,2</b>	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	0,9
	<b>G</b>	-0,1	0,6	0,7	0,9	1,1	<b>1,2</b>	1,3	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	0,9
	<b>GGD</b>	-0,2	0,5	0,7	0,9	1,0	<b>1,2</b>	1,3	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	0,8
	<b>GD</b>	0,1	0,5	0,6	0,8	0,9	<b>1,0</b>	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	0,6
	<b>DGD</b>	0,1	0,6	0,7	0,8	0,9	<b>1,0</b>	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	0,7
<b>Tümü</b>	3,5	6,1	6,7	7,4	7,9	<b>8,4</b>	9,0	9,6	10,2	10,7	11,4	11,9	7,3	

**Ek Çizelge 11. 3.** SD1 (Sinop) Karelajı 3. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												H <sub>max</sub>
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yönel	<b>D</b>	0,5	1,1	1,3	1,4	1,6	<b>1,7</b>	1,8	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	1,5
	<b>DKD</b>	1,0	2,2	2,4	2,7	3,0	<b>3,2</b>	3,4	3,7	4,0	4,2	4,5	4,7	2,5
	<b>KD</b>	1,2	3,6	4,1	4,7	5,2	<b>5,6</b>	6,1	6,7	7,2	7,6	8,3	8,7	5,5
	<b>KKD</b>	2,5	5,4	6,1	6,9	7,4	<b>8,0</b>	8,6	9,4	10,0	10,5	11,3	11,9	7,0
	<b>K</b>	1,3	5,0	5,8	6,8	7,5	<b>8,3</b>	9,0	10,0	10,7	11,5	12,4	13,2	7,3
	<b>KKB</b>	1,3	5,2	6,1	7,1	7,9	<b>8,7</b>	9,5	10,5	11,3	12,0	13,1	13,8	6,7
	<b>KB</b>	2,4	5,5	6,2	7,1	7,7	<b>8,3</b>	9,0	9,8	10,4	11,1	11,9	12,5	6,7
	<b>BKB</b>	2,1	6,1	7,0	8,1	8,9	<b>9,7</b>	10,5	11,6	12,4	13,2	14,2	15,1	8,3
	<b>B</b>	0,7	3,9	4,5	5,4	6,0	<b>6,7</b>	7,3	8,1	8,7	9,4	10,2	10,8	6,2
	<b>BGB</b>	-0,1	1,5	1,9	2,3	2,6	<b>2,9</b>	3,3	3,7	4,0	4,3	4,8	5,1	2,2
	<b>GB</b>	-0,1	1,3	1,6	2,0	2,3	<b>2,5</b>	2,8	3,2	3,5	3,7	4,1	4,4	2,1
	<b>GGB</b>	0,0	0,9	1,1	1,4	1,6	<b>1,8</b>	2,0	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	1,4
	<b>G</b>	0,0	0,9	1,0	1,3	1,5	<b>1,6</b>	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	1,2
	<b>GGD</b>	-0,1	0,9	1,1	1,4	1,6	<b>1,8</b>	2,0	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	1,7
	<b>GD</b>	0,0	0,9	1,1	1,4	1,6	<b>1,7</b>	1,9	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	1,6
	<b>DGD</b>	0,2	0,9	1,1	1,3	1,5	<b>1,6</b>	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,6	1,6
<b>Tümü</b>	3,7	6,7	7,4	8,2	8,8	<b>9,4</b>	10,0	10,8	11,4	12,0	12,7	13,3	8,3	

**Ek Çizelge 11. 4.** SD1 (Sinop) Karelajı 4. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												H <sub>max</sub>
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yöneler	D	0,6	1,1	1,2	1,4	1,5	<b>1,6</b>	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	1,5
	DKD	0,9	2,0	2,2	2,5	2,7	<b>2,9</b>	3,1	3,4	3,6	3,8	4,1	4,3	2,4
	KD	1,1	3,0	3,4	3,9	4,2	<b>4,6</b>	5,0	5,5	5,8	6,2	6,7	7,0	4,4
	KKD	2,6	5,3	5,9	6,6	7,1	<b>7,7</b>	8,2	8,9	9,5	10,0	10,7	11,2	7,0
	K	1,8	5,0	5,7	6,6	7,2	<b>7,8</b>	8,5	9,3	9,9	10,6	11,4	12,0	6,8
	KKB	1,4	5,0	5,8	6,8	7,5	<b>8,2</b>	8,9	9,9	10,6	11,3	12,3	13,0	6,6
	KB	2,6	5,6	6,3	7,1	7,7	<b>8,3</b>	9,0	9,8	10,4	11,0	11,8	12,4	6,8
	BKB	2,0	5,9	6,8	7,8	8,6	<b>9,4</b>	10,2	11,3	12,0	12,8	13,9	14,7	8,0
	B	0,3	1,7	2,0	2,4	2,7	<b>3,0</b>	3,2	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	2,5
	BGB	-0,1	1,2	1,5	1,9	2,2	<b>2,5</b>	2,7	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	2,0
	GB	-0,2	1,1	1,4	1,7	2,0	<b>2,2</b>	2,5	2,8	3,1	3,3	3,6	3,9	2,1
	GGB	-0,1	1,0	1,2	1,5	1,8	<b>2,0</b>	2,2	2,5	2,7	2,9	3,2	3,5	1,5
	G	-0,1	0,9	1,1	1,3	1,5	<b>1,7</b>	1,9	2,1	2,3	2,5	2,8	3,0	1,3
	GGD	0,0	0,9	1,0	1,3	1,4	<b>1,6</b>	1,8	2,0	2,2	2,3	2,6	2,7	1,3
	GD	0,1	0,8	1,0	1,2	1,3	<b>1,5</b>	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	1,3
	DGD	0,2	0,9	1,0	1,2	1,4	<b>1,5</b>	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	1,3
Tümü	3,9	6,5	7,1	7,8	8,3	<b>8,8</b>	9,3	10,0	10,5	11,1	11,7	12,3	8,0	

**Ek Çizelge 11. 5.** SD1 (Sinop) Karelajı 5. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												H <sub>max</sub>
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yöneler	D	0,9	2,0	2,3	2,6	2,8	<b>3,0</b>	3,2	3,5	3,8	4,0	4,3	4,5	2,6
	DKD	1,0	2,5	2,8	3,2	3,5	<b>3,8</b>	4,1	4,5	4,8	5,2	5,6	5,9	3,8
	KD	1,4	2,8	3,1	3,4	3,7	<b>4,0</b>	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8	3,4
	KKD	2,4	5,0	5,6	6,3	6,8	<b>7,3</b>	7,9	8,5	9,1	9,6	10,3	10,8	6,0
	K	2,2	5,6	6,4	7,3	8,0	<b>8,7</b>	9,4	10,3	10,9	11,6	12,5	13,2	6,9
	KKB	1,0	5,3	6,2	7,3	8,2	<b>9,0</b>	9,9	11,0	11,8	12,6	13,8	14,6	7,1
	KB	3,1	6,2	6,8	7,7	8,3	<b>8,9</b>	9,5	10,3	10,9	11,5	12,3	12,9	7,6
	BKB	2,5	6,2	7,0	8,0	8,7	<b>9,5</b>	10,2	11,2	11,9	12,7	13,6	14,4	7,9
	B	0,6	1,8	2,1	2,4	2,6	<b>2,9</b>	3,1	3,4	3,7	3,9	4,2	4,5	2,3
	BGB	0,0	1,4	1,7	2,1	2,3	<b>2,6</b>	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	2,2
	GB	0,0	1,3	1,6	1,9	2,2	<b>2,4</b>	2,7	3,1	3,3	3,6	3,9	4,2	2,2
	GGB	0,1	1,0	1,2	1,5	1,7	<b>1,8</b>	2,0	2,3	2,4	2,6	2,9	3,1	1,5
	G	0,1	1,0	1,2	1,5	1,7	<b>1,9</b>	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	1,5
	GGD	0,0	1,1	1,3	1,6	1,8	<b>2,1</b>	2,3	2,5	2,8	3,0	3,2	3,5	1,6
	GD	0,2	1,1	1,3	1,5	1,7	<b>1,9</b>	2,0	2,3	2,4	2,6	2,8	3,0	1,5
	DGD	0,5	1,2	1,4	1,6	1,7	<b>1,9</b>	2,0	2,2	2,4	2,5	2,7	2,9	1,6
Tümü	4,2	6,8	7,4	8,1	8,6	<b>9,1</b>	9,6	10,3	10,8	11,4	12,0	12,5	7,9	



**Ek Çizelge 11. 6.** SD1 (Sinop) Karelajı 6. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												H <sub>max</sub>
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yönel	D	0,8	1,3	1,4	1,5	1,6	<b>1,7</b>	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	1,5
	DKD	1,0	2,1	2,4	2,6	2,9	<b>3,1</b>	3,3	3,6	3,8	4,0	4,3	4,5	2,4
	KD	1,1	2,4	2,6	3,0	3,2	<b>3,5</b>	3,7	4,0	4,3	4,5	4,8	5,1	3,3
	KKD	2,0	4,3	4,8	5,4	5,8	<b>6,3</b>	6,7	7,3	7,7	8,2	8,8	9,2	5,4
	K	2,4	5,3	5,9	6,7	7,3	<b>7,8</b>	8,4	9,2	9,8	10,3	11,1	11,7	6,5
	KKB	2,2	4,7	5,3	6,0	6,5	<b>7,0</b>	7,5	8,2	8,7	9,2	9,9	10,4	6,3
	KB	1,8	3,6	3,9	4,4	4,8	<b>5,1</b>	5,4	5,9	6,2	6,6	7,0	7,4	4,1
	BKB	0,4	0,9	1,1	1,2	1,3	<b>1,4</b>	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	1,2
	B	0,2	0,7	0,9	1,0	1,1	<b>1,2</b>	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,0
	BGB	0,1	0,7	0,8	0,9	1,1	<b>1,2</b>	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	0,9
	GB	-0,1	0,6	0,8	1,0	1,1	<b>1,2</b>	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	0,9
	GGB	0,1	0,6	0,8	0,9	1,0	<b>1,1</b>	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	0,8
	G	0,2	0,7	0,8	0,9	1,0	<b>1,1</b>	1,2	1,3	1,4	1,4	1,6	1,7	0,7
	GGD	0,1	0,9	1,1	1,3	1,5	<b>1,7</b>	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	1,6
	GD	0,2	1,0	1,1	1,3	1,5	<b>1,6</b>	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,6	1,5
DGD	0,4	1,0	1,2	1,4	1,5	<b>1,6</b>	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	1,3	
Tümü	3,1	5,4	6,0	6,6	7,1	<b>7,5</b>	8,0	8,6	9,1	9,6	10,2	10,7	6,5	

**Ek Çizelge 11. 7.** SD2 (Filyos) Karelajı 1. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												H <sub>max</sub>
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yönel	D	0,2	0,8	1,0	1,1	1,2	<b>1,4</b>	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	1,1
	DKD	0,3	0,9	1,0	1,2	1,3	<b>1,4</b>	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	1,2
	KD	1,0	2,3	2,5	2,9	3,2	<b>3,4</b>	3,7	4,0	4,3	4,5	4,8	5,1	3,1
	KKD	2,4	4,2	4,6	5,2	5,5	<b>5,9</b>	6,3	6,8	7,2	7,5	8,0	8,4	5,2
	K	2,0	5,2	5,8	6,7	7,3	<b>8,0</b>	8,6	9,5	10,1	10,7	11,6	12,2	8,2
	KKB	2,0	5,7	6,5	7,5	8,2	<b>9,0</b>	9,7	10,7	11,4	12,1	13,1	13,8	9,0
	KB	1,5	4,9	5,6	6,5	7,2	<b>7,9</b>	8,6	9,4	10,1	10,8	11,7	12,3	8,2
	BKB	0,4	3,2	3,8	4,5	5,1	<b>5,6</b>	6,2	6,9	7,4	8,0	8,7	9,2	5,5
	B	0,5	1,4	1,6	1,8	2,0	<b>2,2</b>	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	1,7
	BGB	0,3	1,0	1,2	1,3	1,5	<b>1,6</b>	1,8	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	1,3
	GB	0,2	0,9	1,0	1,2	1,3	<b>1,5</b>	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	1,3
	GGB	0,3	0,8	0,9	1,0	1,1	<b>1,2</b>	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,0
	G	0,3	0,7	0,8	0,9	1,0	<b>1,1</b>	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	0,9
	GGD	0,2	0,7	0,8	0,9	1,0	<b>1,1</b>	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,0
	GD	0,3	0,7	0,8	0,9	1,0	<b>1,1</b>	1,2	1,3	1,4	1,4	1,6	1,6	1,0
DGD	0,3	0,7	0,8	1,0	1,1	<b>1,2</b>	1,2	1,4	1,5	1,5	1,7	1,8	1,0	
Tümü	2,5	6,0	6,8	7,8	8,5	<b>9,2</b>	9,9	10,8	11,5	12,2	13,2	13,9	9,0	

**Ek Çizelge 11. 8.** SD2 (Filyos) Karelajı 2. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												$H_{max}$
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yönel	D	0,1	0,5	0,5	0,6	0,7	<b>0,8</b>	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	0,8
	DKD	0,1	0,5	0,6	0,7	0,8	<b>0,9</b>	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	0,8
	KD	1,0	2,5	2,8	3,2	3,5	<b>3,7</b>	4,0	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	3,3
	KKD	2,3	4,1	4,5	5,0	5,4	<b>5,8</b>	6,2	6,6	7,0	7,4	7,9	8,2	5,0
	K	1,6	4,7	5,3	6,2	6,8	<b>7,4</b>	8,0	8,8	9,4	10,0	10,9	11,5	6,6
	KKB	1,8	5,3	6,0	7,0	7,7	<b>8,4</b>	9,1	10,0	10,7	11,4	12,3	13,0	8,3
	KB	1,7	4,3	4,9	5,6	6,1	<b>6,7</b>	7,2	7,9	8,4	8,9	9,6	10,2	6,8
	BKB	0,7	3,7	4,4	5,2	5,9	<b>6,5</b>	7,1	7,9	8,5	9,1	10,0	10,6	6,6
	B	0,2	2,2	2,6	3,1	3,5	<b>3,9</b>	4,2	4,7	5,1	5,5	6,0	6,4	3,5
	BGB	0,2	0,9	1,0	1,2	1,4	<b>1,5</b>	1,6	1,8	2,0	2,1	2,3	2,4	1,3
	GB	0,2	0,6	0,7	0,8	0,9	<b>0,9</b>	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	0,8
	GGB	0,1	0,5	0,5	0,6	0,7	<b>0,7</b>	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	0,6
	G	0,1	0,4	0,4	0,5	0,5	<b>0,6</b>	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,5
	GGD	0,1	0,4	0,4	0,5	0,5	<b>0,6</b>	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,5
	GD	0,1	0,4	0,5	0,5	0,6	<b>0,7</b>	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	0,6
DGD	0,1	0,4	0,5	0,6	0,6	<b>0,7</b>	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	0,6	
Tümü	2,6	5,5	6,1	6,9	7,5	<b>8,1</b>	8,6	9,4	10,0	10,5	11,3	11,9	8,3	

**Ek Çizelge 11. 9.** SD2 (Filyos) Karelajı 3. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												$H_{max}$
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yönel	D	0,0	0,3	0,3	0,4	0,4	<b>0,4</b>	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,3
	DKD	0,1	0,3	0,4	0,5	0,5	<b>0,6</b>	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,5
	KD	0,9	1,7	1,8	2,0	2,2	<b>2,3</b>	2,5	2,7	2,8	2,9	3,1	3,3	2,1
	KKD	1,9	3,6	3,9	4,4	4,7	<b>5,1</b>	5,4	5,8	6,2	6,5	6,9	7,3	4,4
	K	1,7	4,0	4,4	5,1	5,5	<b>6,0</b>	6,4	7,0	7,5	7,9	8,5	9,0	5,3
	KKB	1,6	5,0	5,7	6,7	7,4	<b>8,1</b>	8,7	9,6	10,3	11,0	11,9	12,6	7,3
	KB	1,8	4,4	4,9	5,6	6,1	<b>6,6</b>	7,1	7,8	8,3	8,8	9,5	10,0	6,3
	BKB	1,2	3,8	4,3	5,1	5,6	<b>6,1</b>	6,6	7,3	7,8	8,4	9,0	9,6	5,8
	B	0,4	2,4	2,8	3,3	3,7	<b>4,1</b>	4,5	5,0	5,4	5,7	6,3	6,6	3,6
	BGB	0,1	0,6	0,7	0,8	0,9	<b>1,0</b>	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	0,8
	GB	0,1	0,3	0,4	0,4	0,5	<b>0,5</b>	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,4
	GGB	0,1	0,3	0,3	0,4	0,4	<b>0,5</b>	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,3
	G	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	<b>0,4</b>	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,3
	GGD	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	<b>0,4</b>	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,3
	GD	0,0	0,2	0,3	0,3	0,3	<b>0,4</b>	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,3
DGD	0,0	0,2	0,3	0,3	0,4	<b>0,4</b>	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,3	
Tümü	2,5	5,2	5,7	6,5	7,0	<b>7,5</b>	8,1	8,8	9,3	9,8	10,5	11,1	7,3	

**Ek Çizelge 11. 10.** SD2 (Filyos) Karelajı 4. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												$H_{max}$
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yönler	<b>D</b>	0,3	0,7	0,8	0,9	1,0	<b>1,1</b>	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	0,9
	<b>DKD</b>	0,4	0,9	1,0	1,1	1,2	<b>1,3</b>	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,0
	<b>KD</b>	2,1	4,1	4,5	5,1	5,5	<b>5,9</b>	6,3	6,8	7,2	7,6	8,2	8,6	5,4
	<b>KKD</b>	2,2	4,7	5,2	5,8	6,3	<b>6,8</b>	7,3	7,9	8,4	8,9	9,5	10,0	5,6
	<b>K</b>	1,0	4,3	5,0	5,9	6,6	<b>7,3</b>	7,9	8,8	9,5	10,1	11,0	11,7	6,5
	<b>KKB</b>	1,5	5,0	5,7	6,7	7,4	<b>8,0</b>	8,7	9,6	10,3	11,0	11,9	12,6	6,5
	<b>KB</b>	2,1	4,2	4,7	5,2	5,7	<b>6,1</b>	6,5	7,0	7,5	7,9	8,4	8,8	5,5
	<b>BKB</b>	1,7	4,0	4,4	5,1	5,5	<b>6,0</b>	6,4	7,0	7,4	7,9	8,5	8,9	4,8
	<b>B</b>	1,1	2,9	3,3	3,8	4,1	<b>4,5</b>	4,9	5,3	5,7	6,1	6,5	6,9	4,0
	<b>BGB</b>	0,3	1,1	1,3	1,5	1,7	<b>1,8</b>	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	2,9	1,7
	<b>GB</b>	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	<b>1,0</b>	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	0,8
	<b>GGB</b>	0,3	0,7	0,7	0,8	0,9	<b>1,0</b>	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	0,8
	<b>G</b>	0,2	0,6	0,7	0,8	0,9	<b>0,9</b>	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	0,7
	<b>GGD</b>	0,2	0,6	0,7	0,8	0,9	<b>0,9</b>	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	0,7
	<b>GD</b>	0,2	0,6	0,7	0,9	0,9	<b>1,0</b>	1,1	1,3	1,3	1,4	1,6	1,6	0,7
<b>DGD</b>	0,2	0,6	0,7	0,9	0,9	<b>1,0</b>	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	0,8	
<b>Tümü</b>	3,0	5,4	5,9	6,6	7,1	<b>7,5</b>	8,0	8,7	9,1	9,6	10,3	10,7	6,5	

**Ek Çizelge 11. 11.** SD2 (Filyos) Karelajı 5. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												$H_{max}$
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yönler	<b>D</b>	0,3	0,6	0,7	0,8	0,9	<b>1,0</b>	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	0,8
	<b>DKD</b>	0,4	0,9	0,9	1,1	1,2	<b>1,2</b>	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,1
	<b>KD</b>	2,3	3,9	4,2	4,6	5,0	<b>5,3</b>	5,6	6,0	6,3	6,6	7,0	7,4	4,7
	<b>KKD</b>	2,6	5,1	5,7	6,4	6,9	<b>7,4</b>	7,9	8,5	9,1	9,6	10,2	10,7	6,5
	<b>K</b>	0,8	4,3	5,1	6,0	6,7	<b>7,4</b>	8,1	9,0	9,7	10,4	11,3	12,0	6,7
	<b>KKB</b>	1,7	4,9	5,6	6,5	7,2	<b>7,8</b>	8,5	9,3	10,0	10,6	11,5	12,1	6,3
	<b>KB</b>	2,2	4,1	4,6	5,1	5,5	<b>5,9</b>	6,3	6,8	7,2	7,6	8,1	8,5	5,4
	<b>BKB</b>	1,7	4,1	4,6	5,2	5,7	<b>6,1</b>	6,6	7,2	7,7	8,1	8,8	9,2	4,9
	<b>B</b>	1,2	2,9	3,2	3,7	4,0	<b>4,3</b>	4,6	5,1	5,4	5,7	6,1	6,4	3,7
	<b>BGB</b>	0,3	1,1	1,3	1,5	1,7	<b>1,9</b>	2,0	2,3	2,4	2,6	2,8	3,0	1,6
	<b>GB</b>	0,2	0,7	0,8	1,0	1,1	<b>1,2</b>	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	0,9
	<b>GGB</b>	0,2	0,6	0,7	0,8	0,9	<b>1,0</b>	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	0,8
	<b>G</b>	0,1	0,6	0,7	0,9	1,0	<b>1,1</b>	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	0,8
	<b>GGD</b>	0,1	0,6	0,7	0,8	0,9	<b>1,0</b>	1,0	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	0,7
	<b>GD</b>	0,1	0,6	0,7	0,8	0,9	<b>1,0</b>	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	0,7
<b>DGD</b>	0,1	0,6	0,7	0,8	0,9	<b>1,0</b>	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	0,8	
<b>Tümü</b>	3,0	5,7	6,2	6,9	7,5	<b>8,0</b>	8,5	9,2	9,7	10,2	10,9	11,4	6,7	

**Ek Çizelge 11. 12.** SD3 (Karaburun) Karelajı 1. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												H <sub>max</sub>
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yöneler	D	0,9	2,3	2,6	3,0	3,3	<b>3,6</b>	3,8	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	3,3
	DKD	1,5	6,7	7,8	9,2	10,2	<b>11,3</b>	12,3	13,6	14,7	15,7	17,0	18,1	9,8
	KD	3,9	8,7	9,7	11,0	12,0	<b>13,0</b>	13,9	15,2	16,1	17,1	18,4	19,3	11,2
	KKD	4,7	10,0	11,1	12,6	13,6	<b>14,7</b>	15,7	17,1	18,2	19,2	20,6	21,6	12,9
	K	3,1	8,1	9,2	10,5	11,5	<b>12,5</b>	13,5	14,8	15,8	16,7	18,0	19,0	10,6
	KKB	0,9	5,0	5,8	6,9	7,7	<b>8,6</b>	9,4	10,4	11,2	12,1	13,1	13,9	6,6
	KB	0,7	2,6	3,0	3,6	4,0	<b>4,3</b>	4,7	5,2	5,6	6,0	6,5	6,9	3,3
	BKB	0,5	2,1	2,4	2,8	3,2	<b>3,5</b>	3,8	4,2	4,5	4,8	5,2	5,5	2,9
	B	0,6	1,6	1,9	2,1	2,4	<b>2,6</b>	2,8	3,0	3,3	3,5	3,7	3,9	2,2
	BGB	0,7	1,7	1,9	2,2	2,4	<b>2,6</b>	2,8	3,1	3,2	3,4	3,7	3,9	2,2
	GB	1,3	2,2	2,4	2,6	2,8	<b>3,0</b>	3,2	3,4	3,6	3,7	4,0	4,2	2,5
	GGB	1,4	2,4	2,6	2,9	3,1	<b>3,3</b>	3,5	3,8	4,0	4,2	4,5	4,7	2,8
	G	1,1	2,1	2,3	2,5	2,7	<b>2,9</b>	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1	2,4
	GGD	0,8	1,8	2,0	2,3	2,5	<b>2,7</b>	2,9	3,2	3,4	3,6	3,9	4,1	2,4
	GD	0,8	1,9	2,1	2,4	2,6	<b>2,8</b>	3,1	3,3	3,6	3,8	4,1	4,3	2,4
	DGD	0,8	1,9	2,2	2,5	2,7	<b>2,9</b>	3,1	3,4	3,7	3,9	4,2	4,4	2,5
Tümü	5,8	10,2	11,1	12,3	13,2	<b>14,0</b>	14,9	16,0	16,9	17,8	18,9	19,8	12,9	

**Ek Çizelge 11. 13.** SD3 (Karaburun) Karelajı 2. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												H <sub>max</sub>
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yöneler	D	0,8	2,1	2,4	2,8	3,0	<b>3,3</b>	3,5	3,9	4,1	4,4	4,7	5,0	2,8
	DKD	1,5	4,2	4,7	5,4	5,9	<b>6,5</b>	7,0	7,7	8,2	8,7	9,4	9,9	6,6
	KD	3,1	7,3	8,2	9,3	10,2	<b>11,0</b>	11,8	12,9	13,7	14,6	15,7	16,5	9,0
	KKD	4,2	9,0	10,1	11,4	12,4	<b>13,3</b>	14,3	15,5	16,5	17,5	18,7	19,7	12,1
	K	3,6	7,9	8,9	10,1	10,9	<b>11,8</b>	12,7	13,8	14,7	15,5	16,7	17,5	9,8
	KKB	0,7	5,0	6,0	7,1	8,0	<b>8,9</b>	9,7	10,8	11,7	12,6	13,7	14,5	6,4
	KB	0,6	2,4	2,8	3,3	3,6	<b>4,0</b>	4,3	4,8	5,2	5,5	6,0	6,3	3,4
	BKB	0,6	1,8	2,1	2,4	2,6	<b>2,9</b>	3,1	3,5	3,7	4,0	4,3	4,5	2,5
	B	0,6	1,5	1,7	1,9	2,1	<b>2,3</b>	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	2,0
	BGB	0,9	1,7	1,9	2,1	2,2	<b>2,4</b>	2,6	2,8	2,9	3,1	3,3	3,4	2,1
	GB	1,3	2,1	2,3	2,5	2,7	<b>2,9</b>	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	2,4
	GGB	1,0	2,1	2,3	2,6	2,8	<b>3,0</b>	3,2	3,5	3,7	3,9	4,1	4,4	2,6
	G	0,9	1,8	1,9	2,2	2,3	<b>2,5</b>	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	2,4
	GGD	0,6	1,6	1,8	2,1	2,3	<b>2,5</b>	2,7	3,0	3,2	3,4	3,7	3,9	2,5
	GD	0,7	1,7	1,9	2,2	2,4	<b>2,6</b>	2,8	3,0	3,2	3,4	3,7	3,9	2,5
	DGD	0,6	1,7	1,9	2,2	2,5	<b>2,7</b>	2,9	3,2	3,4	3,6	3,9	4,1	2,4
Tümü	5,2	9,3	10,2	11,3	12,1	<b>12,9</b>	13,7	14,8	15,6	16,4	17,5	18,3	12,1	

**Ek Çizelge 11. 14.** SD3 (Karaburun) Karelajı 3. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												$H_{max}$
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yönler	D	0,6	1,7	1,9	2,2	2,5	<b>2,7</b>	2,9	3,2	3,4	3,6	3,9	4,1	2,3
	DKD	1,3	2,9	3,3	3,7	4,1	<b>4,4</b>	4,7	5,1	5,4	5,8	6,2	6,5	3,9
	KD	2,6	6,8	7,7	8,8	9,6	<b>10,5</b>	11,3	12,4	13,2	14,1	15,1	16,0	8,8
	KKD	3,6	8,4	9,4	10,7	11,7	<b>12,6</b>	13,6	14,9	15,8	16,8	18,0	19,0	12,2
	K	4,2	8,0	8,9	9,9	10,7	<b>11,5</b>	12,3	13,3	14,1	14,8	15,8	16,6	9,3
	KKB	1,2	5,6	6,6	7,8	8,7	<b>9,5</b>	10,4	11,6	12,5	13,4	14,5	15,4	8,5
	KB	0,5	2,7	3,2	3,8	4,2	<b>4,6</b>	5,0	5,6	6,0	6,5	7,0	7,5	3,5
	BKB	0,6	1,8	2,1	2,4	2,7	<b>2,9</b>	3,2	3,5	3,7	4,0	4,3	4,5	2,4
	B	0,7	1,6	1,7	2,0	2,1	<b>2,3</b>	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,4	2,0
	BGB	1,0	1,9	2,1	2,3	2,5	<b>2,7</b>	2,8	3,1	3,2	3,4	3,6	3,8	2,2
	GB	1,1	2,0	2,2	2,4	2,6	<b>2,8</b>	2,9	3,2	3,4	3,5	3,8	3,9	2,3
	GGB	0,9	1,8	2,0	2,2	2,4	<b>2,6</b>	2,7	3,0	3,1	3,3	3,6	3,7	2,4
	G	0,7	1,6	1,7	2,0	2,1	<b>2,3</b>	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,4	2,4
	GGD	0,4	1,5	1,7	2,0	2,2	<b>2,4</b>	2,6	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	2,4
	GD	0,5	1,4	1,6	1,9	2,1	<b>2,3</b>	2,4	2,7	2,9	3,0	3,3	3,5	2,3
	DGD	0,4	1,5	1,7	2,0	2,2	<b>2,4</b>	2,6	2,9	3,1	3,3	3,6	3,8	2,3
Tümü	4,8	8,9	9,8	11,0	11,8	<b>12,6</b>	13,5	14,5	15,4	16,2	17,3	18,1	12,2	

**Ek Çizelge 11. 15.** SD3 (Karaburun) Karelajı 4. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												$H_{max}$
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yönler	D	0,4	1,1	1,2	1,4	1,5	<b>1,6</b>	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	1,4
	DKD	0,8	1,8	2,0	2,2	2,4	<b>2,6</b>	2,8	3,0	3,2	3,4	3,7	3,8	2,3
	KD	2,1	5,0	5,6	6,4	7,0	<b>7,6</b>	8,2	9,0	9,5	10,1	10,9	11,5	7,4
	KKD	3,6	7,6	8,4	9,5	10,3	<b>11,1</b>	11,9	13,0	13,7	14,5	15,6	16,4	9,8
	K	3,4	8,1	9,1	10,3	11,2	<b>12,2</b>	13,1	14,3	15,2	16,2	17,4	18,3	12,0
	KKB	1,8	6,4	7,4	8,6	9,6	<b>10,5</b>	11,4	12,6	13,5	14,4	15,6	16,6	9,1
	KB	0,4	3,6	4,2	5,1	5,7	<b>6,3</b>	7,0	7,8	8,4	9,0	9,9	10,5	4,9
	BKB	0,6	2,1	2,5	2,9	3,2	<b>3,6</b>	3,9	4,3	4,6	4,9	5,3	5,6	3,1
	B	0,9	1,9	2,1	2,3	2,5	<b>2,7</b>	2,9	3,2	3,4	3,5	3,8	4,0	2,3
	BGB	0,9	1,8	2,0	2,3	2,5	<b>2,6</b>	2,8	3,1	3,2	3,4	3,6	3,8	2,2
	GB	0,7	1,5	1,7	1,9	2,0	<b>2,2</b>	2,3	2,5	2,7	2,8	3,1	3,2	1,9
	GGB	0,6	1,2	1,3	1,5	1,6	<b>1,7</b>	1,8	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	1,6
	G	0,6	1,0	1,1	1,2	1,3	<b>1,4</b>	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,3
	GGD	0,5	1,0	1,1	1,2	1,3	<b>1,4</b>	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,1
	GD	0,4	1,0	1,1	1,2	1,4	<b>1,5</b>	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	1,1
	DGD	0,4	0,9	1,1	1,2	1,3	<b>1,5</b>	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	1,2
Tümü	4,1	8,3	9,2	10,3	11,1	<b>12,0</b>	12,8	13,9	14,7	15,5	16,6	17,5	12,0	

**Ek Çizelge 11. 16.** SD3 (Karaburun) Karelajı 5. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												H <sub>max</sub>
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yöneler	D	0,2	1,0	1,1	1,3	1,5	<b>1,6</b>	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,6	1,5
	DKD	0,4	1,4	1,6	1,8	2,0	<b>2,2</b>	2,4	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	1,9
	KD	1,4	2,7	2,9	3,3	3,5	<b>3,8</b>	4,0	4,3	4,6	4,8	5,1	5,4	3,2
	KKD	3,0	5,6	6,2	6,9	7,4	<b>7,9</b>	8,4	9,1	9,6	10,1	10,8	11,3	7,9
	K	3,2	7,4	8,3	9,4	10,2	<b>11,0</b>	11,9	13,0	13,8	14,6	15,7	16,5	11,5
	KKB	2,4	6,2	7,0	8,0	8,8	<b>9,6</b>	10,3	11,3	12,1	12,8	13,8	14,6	9,2
	KB	0,6	4,6	5,5	6,6	7,4	<b>8,2</b>	9,0	10,0	10,8	11,6	12,7	13,5	8,4
	BKB	0,7	2,6	3,0	3,5	3,9	<b>4,3</b>	4,7	5,2	5,5	5,9	6,4	6,8	3,9
	B	0,8	2,3	2,6	3,0	3,3	<b>3,6</b>	3,8	4,2	4,5	4,8	5,2	5,5	2,9
	BGB	0,8	1,8	2,0	2,2	2,4	<b>2,6</b>	2,8	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	2,2
	GB	0,6	1,3	1,5	1,7	1,8	<b>2,0</b>	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8	3,0	1,6
	GGB	0,4	1,2	1,3	1,5	1,6	<b>1,8</b>	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6	2,7	1,6
	G	0,4	1,1	1,2	1,4	1,5	<b>1,7</b>	1,8	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	1,4
	GGD	0,5	1,1	1,2	1,4	1,5	<b>1,6</b>	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	1,2
	GD	0,3	1,0	1,1	1,3	1,4	<b>1,6</b>	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,5	1,2
	DGD	0,2	0,9	1,1	1,3	1,4	<b>1,6</b>	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	1,3
Tümü	3,2	7,6	8,6	9,8	10,7	<b>11,5</b>	12,4	13,6	14,5	15,3	16,5	17,4	11,5	

**Ek Çizelge 11. 17.** SD3 (Karaburun) Karelajı 6. Noktaya Ait Bütün Veriye Dayanan ve Yönel Farklı Tekerrürlü Ekstrem Dalgalar

		Tekerrür süresi												H <sub>max</sub>
		1,0006	5	10	25	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	
Yöneler	D	0,2	0,6	0,7	0,9	1,0	<b>1,1</b>	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,0
	DKD	0,2	0,7	0,7	0,9	0,9	<b>1,0</b>	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,0
	KD	0,4	1,0	1,2	1,3	1,5	<b>1,6</b>	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3	2,5	1,5
	KKD	1,3	2,4	2,6	2,9	3,1	<b>3,3</b>	3,5	3,8	4,0	4,3	4,6	4,8	3,1
	K	2,1	4,3	4,8	5,4	5,9	<b>6,3</b>	6,8	7,3	7,8	8,2	8,8	9,3	6,0
	KKB	2,1	6,2	7,1	8,2	9,1	<b>9,9</b>	10,7	11,8	12,6	13,4	14,5	15,3	9,1
	KB	1,3	4,6	5,3	6,2	6,9	<b>7,5</b>	8,2	9,1	9,7	10,4	11,3	11,9	8,2
	BKB	0,8	2,3	2,6	3,1	3,4	<b>3,7</b>	4,0	4,4	4,7	5,0	5,4	5,7	3,2
	B	0,6	1,6	1,8	2,1	2,3	<b>2,5</b>	2,7	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	2,0
	BGB	0,5	1,1	1,3	1,5	1,6	<b>1,7</b>	1,8	2,0	2,1	2,3	2,4	2,6	1,4
	GB	0,4	1,0	1,1	1,2	1,4	<b>1,5</b>	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	1,2
	GGB	0,4	0,9	1,0	1,1	1,2	<b>1,3</b>	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,2
	G	0,3	0,9	1,0	1,1	1,2	<b>1,3</b>	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	1,2
	GGD	0,4	0,9	1,0	1,2	1,3	<b>1,4</b>	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	1,1
	GD	0,3	0,8	0,9	1,1	1,2	<b>1,3</b>	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	1,0
	DGD	0,2	0,6	0,7	0,9	1,0	<b>1,1</b>	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,0
Tümü	2,2	6,2	7,1	8,2	9,0	<b>9,9</b>	10,7	11,7	12,5	13,3	14,4	15,2	9,1	

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Bilal BİNGÖLBALİ

Doğum Yeri ve Tarihi : Varto/MUŞ

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Varto Çok Programlı Lisesi, 2010

Lisans : Uludağ Üniversitesi, 2015

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

Koru Osmangazi Yapı Denetim -Kontrol  
Mühendisi

Uludağ Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Proje Asistanı 2015-2017

İletişim (e-posta) : bilalbingolbali@gmail.com

Yayınları :

Uluslararası Makaleler (SCI ve SCI-E)

**Akpınar, A., Bingölbali, B., 2016.** Long-term variations of wind and wave conditions in the coastal regions of the Black Sea. *Natural Hazards*, 84:69–92.

**Akpınar, A., Bingölbali, B., Van vledder, G.Ph., 2017.** Long-term analysis of wave power potential in the Black Sea, based on 31-year SWAN simulations. *Ocean Engineering*, 130:482–497.

**Akpınar, A., Bingölbali, B., Van vledder, G.Ph., 2016.** Wind and wave characteristics in the Black Sea based on the SWAN wave model forced with the CFSR winds. *Ocean Engineering*, 126:276–298.

**Bingölbali, B., Akpınar, A., Jafali, H., Van Vledder, G.Ph., 2018.** Downscaling of wave climate in the western Black Sea. *Ocean Engineering*, under review.

**Bingölbali, B., Jafali, H., Akpınar, A., Bekiroğlu, S., 2018.** Wave energy potential and variability for the South West coasts of the Black Sea: The WEB-based wave energy atlas. *Renewable Energy*, under review.

#### Ulusal Bildiriler

- Akpınar, A., Bingölbalı, B., 2014.** Karadeniz’de kıyaslamalı dalga tahmini: Sinop örneği, 8. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 1011-1021, 7-9 Kasım, İstanbul Türkiye.
- Kutupoğlu, V., Bingölbalı, B., Çakmak, R.E., Akpınar, A., 2017.** Marmara Denizi’nin 2014 Yılı Deniz Dalga Durumunun Analizi, Ulusal Çevre, Deniz ve Kıyı Kirliliği Sempozyumu, 10-12 Ekim, Bursa Türkiye.

#### Uluslararası Bildiriler

- Akpınar, A., Bingölbalı, B., 2016.** Comparison of the calibrated SWAN models’ performances forcing with different winds in the Black Sea, International Conference on Sustainable Development (ICSD2016), 19 – 23 October, Skopje, Macedonia.
- Akpınar, A., Bingölbalı, B., Jafalı, H., 2016.** Wave Hindcasting for Wave Energy Assessments in the Black Sea, International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS2016), 24 – 28 May, Sarajevo, Bosnia-Herzegovina.
- Akpınar, A., Bingölbalı, B., Jafalı, H., 2016.** Spatial distribution of mean wave energy flux over the Black Sea, International Conference on Sustainable Development (ICSD2016), 19 – 23 October, Skopje, Macedonia.
- Akpınar, A., van Vledder, G. Ph., Bingölbalı, B., 2015.** Wave Climate Simulation in the Black Sea Basin, 36th IAHR World Congress, June 28 – July 3, Delft-The Hague, Netherlands.
- Bingölbalı, B., Akpınar, A., Van Vledder, G.Ph., 2016.** Determination of wave energy potential of Black Sea, 35th International Conference on Coastal Engineering (ICCE2016), 17 – 20 November, Antalya, Turkey.
- Bingölbalı, B., Çakmak, R.E., Akpınar, A., 2018.** Contribution of Swells to Wave Climate along with the Southwestern Black Sea Coast, (ISHAD2018), 4-6 May 2018, Sakarya, Turkey.
- Bingölbalı, B., Jafalı, H., Akpınar, A., 2017.** Wave Energy Potential in and around Sinop, (ICENS2017), 3-7 May 2017, Budapest, Hungary.
- Çakmak, R.E., Akpınar, A., Bingölbalı, B., Jafalı, H., 2018.** The Recent Extreme Sea Waves affecting the Black Sea, (ISHAD2018), 4-6 May 2018, Sakarya, Turkey.
- Çakmak, R.E., Bingölbalı, B., Akpınar, A., 2016.** Analysis of Wind and Wave Climate along the Coasts of the Black Sea, International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS2016), 24 – 28 May, Sarajevo, Bosnia-Herzegovina.
- Çakmak, R.E., Bingölbalı, B., Jafalı, H., Akpınar, A., 2017.** Comparison of three different wave climate studies along the south western Black Sea coasts, (ICENS2017), 3-7 May 2017, Budapest, Hungary.
- Kutupoğlu, V., Bingölbalı, B., Çakmak, R.E., Akpınar, A., 2018.** Marmara Denizi’nde rüzgar dalga şartlarının uzun dönemli yıllık ortalamalarının analizi, Uluslararası Su ve Çevre Kongresi (SUCEV2018), , 22-24 March 2018, Bursa, Turkey.