

ERA5 ve ERA-INTERİM RÜZGARLARI İLE ÇALIŞTIRILAN SWAN MODEL SONUÇLARININ PERFORMANS ANALİZİ

Emre ÇALIŞIR *^{ID}
Adem AKPINAR *^{ID}

Alınma: 13.02.2020; düzeltme: 20.03.2020; kabul: 25.03.2020

Öz: Bu çalışmada, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF)'nin yeni yeniden değerlendirme (reanaliz) veri setinin Karadeniz bölgesi dalga tahminine katkı yapıp yapmadığı araştırılmıştır. Bu maksatla, ECMWF'in veri tabanından hem ERA5 hem de mukayese yapmak maksadıyla ERA-Interim veri setlerinin rüzgar verileri indirilmiştir. Performans değerlendirilmesi için dalga tahminlerini gerçekleştirmek maksadı ile bu rüzgar verisini kullanan üçüncü nesil dalga tahmin modeli olan SWAN varsayılan ayarlamalı olarak çalıştırılmıştır. SWAN tahminleri 1996 yılında NATO TU-WAVES projesi kapsamında Karadeniz'e kurulan şamandıra ölçüm istasyonlarından üçünün (Gelendzhik, Hopa, Sinop) dalga ölçümleri ile kıyaslanarak performansları irdelenmiştir. Performans değerlendirmesi sırasında hata istatistiği parametreleri, zaman serisi grafikleri, saçılım diyagramları, kuantil grafikleri ve dalga gülleri incelenmiştir. Hata istatistiği parametrelerinde örneğin Hopa şamandıra ölçüm verisi ile model veri setleri kıyaslandığında, belirgin dalga yüksekliğinde gözlenen ortalamaların farkı (bias) ERA-Interim veri setinde 0,317 m iken ERA5 veri setinde 0,261 m değerini almıştır. Tüm bu değerlendirme süreci sonucunda ise, Karadeniz özelinde ECMWF tarafından son yıllarda üretilmiş ERA5 model rüzgarlarının dalga modellerine girdi olarak tanımlandığında ERA-Interim rüzgarlarına kıyasla daha doğru dalga tahmini sağladığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: ERA5, ERA-Interim, SWAN model, Karadeniz

Performance Analysis of the SWAN Model Results Forced with The ERA5 And ERA-Interim Winds

Abstract: This study investigated whether a new re-analysis of ECMWF contributes to wave hindcast performance in the Black Sea. For this purpose, ERA5 and ERA-Interim winds presented by ECMWF were downloaded in order to have an inter-comparison of ECMWF datasets. For performance evaluation of wave hindcasts, third generation wave hindcast model SWAN was run with a default setting. SWAN hindcasts were compared with wave measurements at three buoys (Gelendzhik, Hopa, Sinop) installed in the Black Sea in 1996 as part of NATO TU-WAVES project. During performance evaluation, error statistics, time series, scatter plots, quantile graphics and wave roses were examined. In error statistics, for example bias observed for Hm0 compared to measurement and model data at Hopa was 0.317 m for ERA-Interim forcing and 0.261 m for ERA5 forcing. As a result of this all evaluation process, it was revealed that in the Black Sea ERA5 produced in the recent years by ECMWF presents a more advanced wind data set in comparison to the ERA-Interim winds because default setting SWAN model performs better in the case of ERA5 winds.

Keywords: ERA5, ERA-Interim, SWAN model, Black Sea

* Bursa Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye
İletişim Yazarı: Emre Çalışır (emrecalisir95@gmail.com)

1. GİRİŞ

Deniz dalgaları kıyı bölgesinde tasarlanacak bir yapı için önemli bir role sahiptir (Tucker ve Pitt, 2001). Bu deniz dalgalarını anlamamızı/öğrenmemizi sağlayan yollar ise (a) yerinde ölçümler, (b) uydu ve radar kullanılarak yapılan ölçümler, (c) model veri setleridir (Cavaleri ve Sclavo, 2006). Uzun dönemler boyunca yapılacak olan yerinde ölçüm ve uydu bazlı ölçümler hem zor hem de maliyetli olmaktadır. Bu nedenle sayısal modeller ile birlikte kullanılan model veri setleri ile dalga verilerinin tahmin edilmesi daha kolay ve ucuz bir yöntem olmaktadır.

Model veri setlerinin zaman içerisinde daha iyi duruma geldiği belirtilse de bu veri setlerinin kıyaslamaları genellikle küresel ölçekte düşünülmektedir. Geçmiş çalışmalarda çeşitli rüzgar ve dalga modellerinin farklı denizlerdeki doğruluğu incelenmiştir. Karadeniz gibi yarı kapalı bir denizde ise çok fazla bir çalışma yapılmamıştır. Yapılan çalışmalarda ise Rusu (2009) sadece 1.875° alansal çözünürlük ile NCEP NCAR ve 2.5° alansal çözünürlük ile ECMWF olmak üzere iki farklı rüzgar alanının performansını incelemiştir. Van Vledder ve Akpınar (2015)'da ise NCEP CFSR, NASA MERRA, JRA-25, ECMWF Operational, ECMWF ERA40 ve ERA-Interim rüzgar veri setlerinin Karadeniz üzerindeki etkisi daha detaylı bir şekilde incelemiştir. Varsayılan ayarlamalı SWAN dalga tahmin modeli ile de bu rüzgar alanları etkisiyle oluşacak olan dalgaların tahminleri yapılmıştır. Bu inceleme sonucunda, NCEP CFSR rüzgarları ile birlikte ERA-Interim rüzgarlarının iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmalardan sonra ECMWF tarafından yeni bir yeniden değerlendirme (reanaliz) veri seti olan ERA5 çıkarılmıştır. Yapılan çalışmalar ile farklı denizlerde ERA5 veri setinin ERA-Interim veri setinden daha doğru tahmin yeteneğine sahip olduğu gözlemlenmiştir (Hersbach ve diğ., 2019).

Yukarıdaki durumlar göz önüne alındığında, bu çalışmanın amacı yeni yeniden değerlendirme veri seti olan ERA5 rüzgar alanlarının doğruluğunu daha önce yine ECMWF tarafından çıkarılan ve doğruluğu önceki çalışmalarda (Van Vleder ve Akpınar, 2015) incelenen ERA-Interim rüzgar alanları ile karşılaştırarak performanslarının irdelenmesidir. Bu amaç için, iki farklı rüzgar alanının 1996 yılındaki verileri kullanılmıştır. Bu rüzgar verileri varsayılan ayarlamalı olacak şekilde ayarlanmış SWAN modelinde girdi verisi olarak kullanılmıştır. Bu simülasyon sonucunda Karadeniz'de 1996 yılı boyunca oluşabilecek dalgaların belirgin dalga yükseklikleri, ortalama dalga periyodu ve hakim dalga yönleri biriktirilmiştir. Bulunan bu dalga tahmin sonuçları yine aynı yılda ölçümleri alınan ve NATO TU-WAVES projesi kapsamında Karadeniz üzerine kurulan şamandıra dalga ölçüm noktalarından üçünün (Gelendzhik, Hopa, Sinop) ölçüm verileri ile kıyaslanarak performans değerlendirmesi yapılmıştır. Kıyaslama sırasında hata istatistiği parametreleri, zaman serisi grafikleri, saçılım diyagramları, kuantil grafikleri ve dalga gülleri kullanılmıştır.

2. VERİ VE YÖNTEM

2.1. ERA Rüzgar Verisi

Avrupa Birliği tarafından finanse edilen Kopernik İklim Değişikliği Servisi'nin (Copernicus Climate Change Service, C3S) uygulanmasının bir parçası olarak ECMWF (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi), küresel hava ve iklimin ERA5 yeniden değerlendirmesini üretmiştir. Bu yeni yeniden değerlendirme, 2006 yılında başlayan ve 1979'dan günümüze kadar olan ve oldukça başarılı olan ERA-Interim yeniden değerlendirmesinin yerini almıştır. ERA5, 2016 yılında ECMWF'de faaliyet gösteren Entegre Tahmin Sistemi'nin (Integrated Forecasting System, IFS) Döngüsü 41r2 kullanılarak 4D-Var veri asimilasyonuna dayanmaktadır. Böylece, ERA5, model fiziği, çekirdek dinamikleri ve ERA-Interim'e göre veri asimilasyonundaki on yıllık gelişmelerden faydalanmaktadır. ERA5, önemli ölçüde geliştirilmiş yatay çözünürlüğe ek olarak (ERA-Interim için 79 km'ye kıyasla 31 km sayısal ağ aralığı) bir dizi yenilikçi özelliğe de sahiptir. ERA-Interim'den ERA5'e geçiş, genel kalite ve ayrıntı düzeyinde bir adım değişikliğini temsil etmektedir (Hersbach ve diğ.,

2018). ERA5'in temel özelliklerine genel bir bakış ve ERA-Interim ile karşılaştırma Tablo 1'de sunulmuştur.

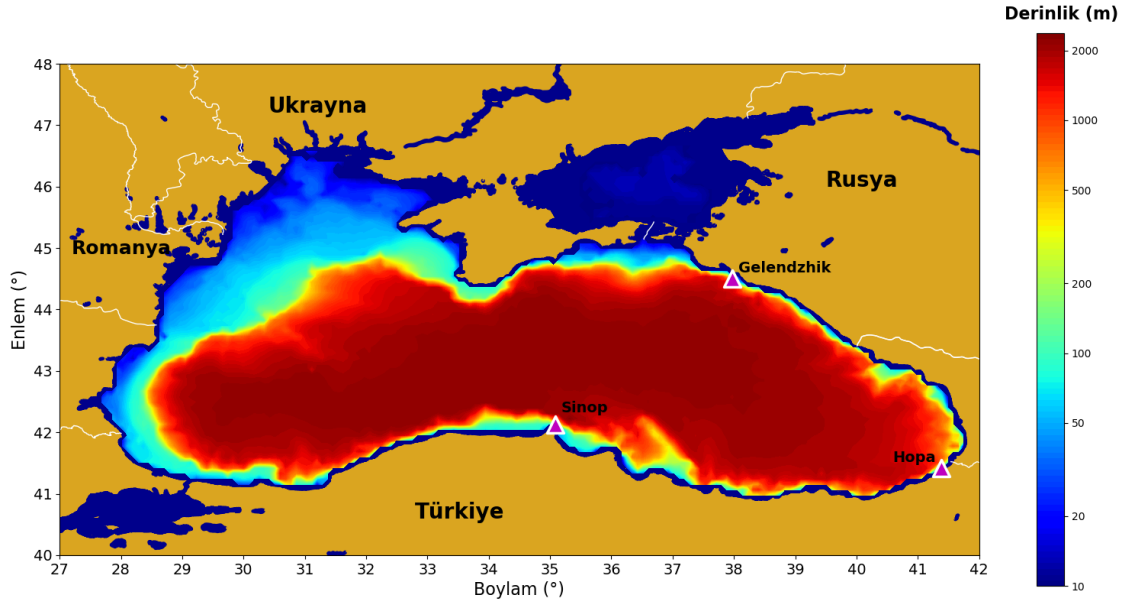
Tablo 1. ERA-Interim'e kıyasla ERA5'in özelliklerine genel bakış (Hersbach vd., 2019)

| | ERA-Interim | ERA5 |
|---|---|---|
| Zaman başlangıcı | 1979 sonrası | 1979 sonrası |
| 2020 başlarında kullanılabilir zaman aralığı | 1979 - Ağustos 2019'a kadar | 1950 sonrası dahil edilecek |
| Gerçek zamandan sonra bulunabilirlik | 2-3 ay | 2-3 ay (son ürün) 2-5 gün (ERA5T) |
| Entegre Tahmin Sistemi Döngüsü (Çıkış Tarihi) | 31r2 (2006) | 41r2 (2016) |
| Atmosferik veri asimilasyonu | 12-saatlik 4D-Var | 12 saatlik 4D-Var topluluğu |
| Model girişi (radyasyon ve yüzey) | Operasyonlarda olduğu gibi, deniz yüzey sıcaklığı ve deniz buzu | İklim için uygun, ör. sera gazlarının evrimi, aerosoller, deniz yüzey sıcaklığı ve deniz buzu |
| Kara yüzeyi modeli | TESSEL | HTESSSEL |
| Belirsizlik tahmini | Yok | 4D-Var topluluğundan, 63 km'de 10 üye (TL319) |
| Çıkış frekansı | Analizler için 6 saatlik Tahminler için 3 saatlik | Saatlik (belirsizlik 3 saatlik) |
| Çıktı parametreleri | Kapsamlı liste | Genişletilmiş liste (ör. 100 metrelik rüzgar) |
| Özel arazi ürünü | 79 km, HTESSSEL | 9 km, HTESSSEL |

Bu çalışmada ERA5 ve ERA-Interim veri setlerinden Karadeniz bölgesinde 1996 yılına ait deniz seviyesinden 10 metre yükseklikte olan rüzgar verileri kullanılmıştır. Kullanılan bu rüzgarlar ERA5 veri setinden saatlik ve 0.125°x0.125°'lik çözünürlüğe sahip olacak şekilde alınmıştır. ERA-Interim veri setinden ise 6 saatlik ve yine aynı çözünürlükte rüzgar verileri elde edilmiştir.

2.2. Şamandıra Dalga Ölçüm Verileri

İncelenen ERA veri setlerinin bulunduğu bölgede olan şamandıra ölçüm istasyonları ile yapılacak olan dalga model simülasyonu sonuçları karşılaştırılarak bir performans değerlendirilmesi yapılacaktır. Bu maksat için NATO TU-WAVES projesi kapsamında bölgede kullanılan üç şamandıra ölçüm istasyonu (Gelendzhik, Hopa ve Sinop) 1996 yılı dalga ölçüm verileri kullanılmıştır. Bu istasyonların konumları Şekil 1'de sunulan harita üzerinde gösterilmiştir. Bu şamandıra ölçüm istasyonlarının koordinat, su derinliği ve kıyıya olan uzaklık değerleri ise Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1:
Gelendzhik, Hopa, Sinop şamandıralarının Karadeniz batimetri haritası üzerinde gösterimi

Tablo 2. Şamandıra dalga ölçüm istasyonlarının konum, su derinliği ve kıyıya olan uzaklık bilgileri

| Şamandıra | Enlem (°) | Boylam (°) | Su Derinliği (m) | Kıyıya Uzaklık (km) |
|------------|------------|------------|------------------|---------------------|
| Gelendzhik | 44°30'27'' | 37°58'42'' | 85 | 7,0 |
| Hopa | 41°25'24'' | 41°23'00'' | 100 | 4,6 |
| Sinop | 42°07'24'' | 35°05'12'' | 100 | 11,6 |

Bu çalışma kapsamında 1996 yılına ait veriler kullanılacağı için şamandıraların benzer aralıklarda ne kadar süre boyunca ölçüm aldığı elde edilmiştir. Hopa şamandırasında 1996 yılının tamamında ölçüm alınmıştır. Gelendzhik şamandırasında Temmuz 1996 başından Aralık 1996 ayı sonuna kadar olacak şekilde 175 gün boyunca ölçüm alınmış ve Sinop şamandırasında Ocak 1996 başından başlanılarak Haziran 1996 ayının 13. gününe kadar 165 günlük ölçüm mevcuttur. Bu istasyonlar hakkındaki daha detaylı bilgi Özhan ve diğ. (1995) ile Yılmaz (2007)'de bulunabilir.

2.3. SWAN Model

ERA veri setlerinden alınan deniz seviyesinin 10 metre üzerindeki rüzgarlar ile dalga tahmin simülasyonu oluşturulmuştur. Bu simülasyon için kıyı alanlarında yüksek çözünürlüklü veri üretebilen üçüncü nesil bir dalga tahmin modeli olan ve Delft Teknoloji Üniversitesi tarafından geliştirilen SWAN (Simulating WAVes Nearshore) sürüm 41.31 kullanılmıştır. SWAN'ın teorik ve sayısal arka planı Holthuijsen vd. (1993), Ris ve diğ. (1999), Booij ve diğ. (1999) ve Zijlema ve Van der Westhuysen (2005)'e dayanmaktadır.

SWAN modeli, birim açısız frekans için dalga enerji yoğunluğu denklemini kullanmaktadır.

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} (c_x N) + \frac{\partial}{\partial y} (c_y N) + \frac{\partial}{\partial \sigma} (c_\sigma N) + \frac{\partial}{\partial \theta} (c_\theta N) = \frac{S(\sigma, \theta; x, y, t)}{\sigma} \quad (1)$$

Burada c_x ve c_y ; bir akım üzerinde yayılmak üzere düzeltilmiş grup hızının x ve y bileşenleridir. $S(\sigma, \theta; x, y, t)$, üretilen etki, yayılma ve doğrusal olmayan dalga-dalga etkileşiminin kaynak terimidir. Genellikle aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$S(\sigma, \theta) = S_{inp}(\sigma, \theta) + S_{wcp}(\sigma, \theta) + S_{nl4}(\sigma, \theta) + S_{brk}(\sigma, \theta) + S_{frc}(\sigma, \theta) + S_{nl3}(\sigma, \theta) \quad (2)$$

Bu terimler sırasıyla, rüzgar nedeniyle dalga üremesi, köpüklenme, doğrusal olmayan dördümlü dalga-dalga etkileşimleri, sıg suda derinlik kaynaklı dalga kırılması, taban sürtünmesi ve üçlü dalga-dalga etkileşimleri nedeniyle enerji yayılmasını temsil etmektedir. SWAN modelin fizikine ilişkin daha detaylı bilgiye SWAN kılavuzundan erişilebilir (Van Vledder ve Akpınar, 2015).

Bu çalışma kapsamında dalga modellemelerinde bütünlük sağlanabilmesi için, SWAN modelin varsayılan ayarlamaları tercih edilmiştir. Bunu tercih etmenin bir nedeni de, Van Vledder ve Akpınar (2015)'te 6 farklı rüzgarın model performansına etkisinin varsayılan ayarlamalara dayanarak yapılmasıdır. Ancak, burada şu belirtilmelidir ki, önceki çalışmada ve bu çalışmada varsayılan ayarlamalar tercih edilmesine karşın model versiyonları farklılık arz etmektedir. Varsayılan model takip eden ayarlamaları içermektedir. Rüzgar dalga artışı ve köpüklenme formülasyonu Komen ve diğ. (1994)'e dayanmaktadır. Rogers ve diğ. (2003) tarafından daha doğru sonuçlar ürettiği tavsiye edildiği için köpüklenmenin dalga sayısına bağımlılığını belirleyen katsayı olan $\Delta = 1$ olarak ayarlanmıştır. Dördümlü dalga-dalga etkileşimi Hasselmann ve diğ. (1985) tarafından önerilen dördümlü konfigürasyon katsayısı olan $\lambda = 0,25$ ve dördümlü etkileşimler için orantılılık katsayısı $C_{nl4} = 3 \times 10^7$ ayarlanmış Ayrık Etkileşim Yaklaşımına dayandırılmaktadır. Taban sürtünmesi için JONSWAP formülasyonu kullanılmıştır. Zijlema ve diğ. (2012)'e göre JONSWAP Formülasyon katsayısı olan $C_{fjon} = 0,038 \text{ m}^2\text{s}^{-3}$ değeri alınmaktadır. Derinlik etkileşimli dalga kırılmasında ise Battjes ve Janssen (1978) yaklaşımı kullanılarak dağılma oranının orantısallık katsayısı olan $\alpha = 1$ ve kırılma indeksi yani maksimum dalga yüksekliğinin su derinliğine oranı $\gamma = 0,73$ olarak ayarlanmaktadır.

SWAN simülasyonu için öncelikle Karadeniz'in tamamını kapsayan yaklaşık 1170 x 880 km'lik bir alan içerisinde düzgün ve homojen bir hesaplama ağı belirlenmiştir. Bu bölge 40°K – 48°K enlemleri ve 27°D – 42°D boylamları arasında bulunmaktadır. Sayısal ağ çözünürlüğü ise x yönünde 175 adım ve her bir adım 0.086° (yaklaşık 9.5 km) olacak şekilde, y yönünde ise 90 adım ve her bir adım 0.089° (yaklaşık 9.9 km) olacak şekilde hesap hücrelerine bölünmüştür. Dalga spektrumu, frekans aralığı (0.04-1 Hz) üzerinde 10° sabit aralıklar ile 36 yöne ayrılmıştır.

Karadeniz'e ait dalga modellemesinde kullanılacak batimetri verisi ise British Oceanographic Data Centre (BODC) tarafından sağlanan ve General Bathymetric Charts of the Ocean (GEBCO, 2014)'dan temin edilmiştir. Enlem ve boylamda çözünürlüğü 0,008333° (30 saniye) olan veri ile hazırlanan derinlik haritası Şekil 1'de verilmiştir.

SWAN sonuçları ise şamandıra ölçüm istasyonu bulunan noktalarda 1996 yılı boyunca her yarım saatte bir olacak şekilde üretilmiştir. Varsayılan ayarlamalı SWAN model simülasyonu sonucunda elde edilen ve bu çalışma kapsamında irdelenen parametreler; belirgin dalga yüksekliği (H_{m0}), ortalama dalga periyodu (T_{m02}) ve ortalama dalga yönü (°)'dür.

2.4. Modellerin Performans Değerlendirmesi

Dalga modeli performans değerlendirmesi, şamandıralarda yapılan ölçüm verilerine karşılık varsayılan ayarlamalı SWAN simülasyonu sonucunda tahmin edilen veriler olan belirgin dalga yüksekliği (H_{m0}) ve ortalama dalga periyodu (T_{m02}) değerlerinin belirli hata

istatistiği parametrelerinin hesaplanmasını ve bunların incelenmesini kapsamaktadır. Bu işlemlere ilave olarak görsel olarak grafikler ile de arada bulunan farklılıklar saptanmaya çalışılmıştır.

Hata istatistiği parametresi olarak ortalamaların farkı (bias), hataların ortalama karekökü (RMSE), mutlak ortalama hata (MAE), saçılım indeksi (SI) ve korelasyon katsayısı (R) kullanılmıştır. Bu parametrelerin formülasyonları aşağıdaki gibidir.

- Ortalamaların farkı

$$Bias = (\bar{X} - \bar{Y}) \quad (3)$$

- Hataların ortalama karekökü

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (4)$$

- Mutlak ortalama hata

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - X_i| \quad (5)$$

- Saçılım indeksi

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{X}} \quad (6)$$

- Korelasyon katsayısı

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (7)$$

Formüllerde; n veri sayısını, X_i ölçüm verilerini, Y_i tahmin verilerini, \bar{X} ölçümlerin ortalamasını, \bar{Y} tahminlerin ortalaması için kullanılan simgelerdir.

3. BULGULAR VE İRDELEME

Bu çalışmada ECMWF tarafından sunulan ERA5 ve ERA-Interim rüzgar verilerini kullanarak oluşturulan varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçlarının, Karadeniz üzerinde bulunan üç şamandıradan 1996 yılında alınan belirgin dalga yüksekliği (H_{m0}) ve ortalama dalga periyodu (T_{m02}) ölçümleri ile kıyaslanarak performansları Karadeniz özelinde incelenmiştir.

Değerlendirmeye veri ve yöntem kısmında açıklamaları yapılan çeşitli hata istatistiği parametreleri ile başlanmıştır. Bu maksatla, ERA5 ve ERA-Interim rüzgar verileri kullanılarak hazırlanan varsayılan ayarlamalı SWAN model simülasyon sonuçları ile ölçüm verilerinin eşzamanlı karşılaştırılması yapılmıştır. Daha sonra, bu eşzamanlı veriler yardımıyla her iki farklı rüzgar veri seti kullanan SWAN model sonuçlarının hata istatistikleri hesaplanmış ve Tablo 3'te sunulmuştur.

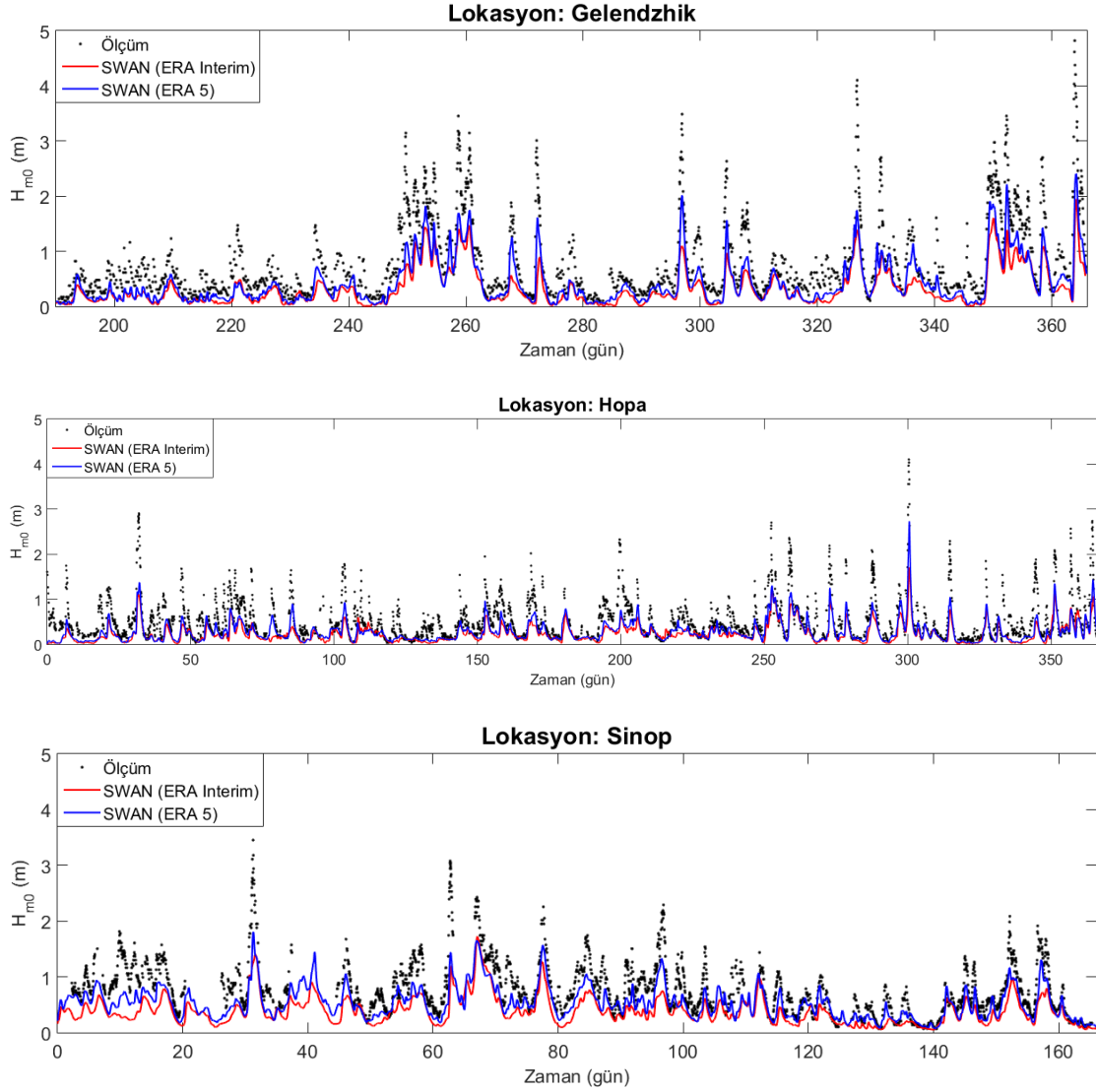
Tablo 3. Her bir şamandıra verisi ve üç şamandıradaki bütün veri düşünülerek geliştirilen varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçları için belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodunun hata istatistiği

| Şamandıra | Yeniden Değerlendirme Yöntemi | Parametre (H_{m0}) Hata İstatistiği | | | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | Veri Adedi | H_{m0} , ölçüm, ortalama | H_{m0} , model, ortalama | Ort. Farkı (Bias) | RMSE | MAE | SI | R |
| Gelendzhik | ERA5 | 1649 | 1,021 | 0,593 | 0,428 | 0,590 | 0,432 | 0,578 | 0,926 |
| | ERA-Interim | 1648 | 1,021 | 0,459 | 0,562 | 0,758 | 0,563 | 0,742 | 0,882 |
| Hopa | ERA5 | 3092 | 0,578 | 0,317 | 0,261 | 0,410 | 0,273 | 0,710 | 0,845 |
| | ERA-Interim | 3090 | 0,579 | 0,262 | 0,317 | 0,487 | 0,329 | 0,842 | 0,776 |
| Sinop | ERA5 | 2418 | 0,803 | 0,540 | 0,263 | 0,374 | 0,281 | 0,466 | 0,891 |
| | ERA-Interim | 2418 | 0,803 | 0,395 | 0,408 | 0,519 | 0,410 | 0,647 | 0,801 |
| Üç şamandıradaki bütün veri | ERA5 | 7159 | 0,756 | 0,456 | 0,300 | 0,447 | 0,312 | 0,592 | 0,896 |
| | ERA-Interim | 7156 | 0,757 | 0,352 | 0,404 | 0,571 | 0,410 | 0,755 | 0,840 |
| | | Parametre (T_{m02}) Hata İstatistiği | | | | | | | |
| Gelendzhik | ERA5 | 1649 | 3,947 | 2,934 | 1,013 | 1,231 | 1,054 | 0,312 | 0,874 |
| | ERA-Interim | 1648 | 3,948 | 2,621 | 1,326 | 1,539 | 1,351 | 0,390 | 0,820 |
| Hopa | ERA5 | 3092 | 4,009 | 3,166 | 0,843 | 1,159 | 0,971 | 0,289 | 0,774 |
| | ERA-Interim | 3090 | 4,008 | 2,834 | 1,174 | 1,546 | 1,332 | 0,386 | 0,611 |
| Sinop | ERA5 | 2418 | 3,795 | 3,083 | 0,712 | 0,949 | 0,816 | 0,250 | 0,789 |
| | ERA-Interim | 2418 | 3,795 | 2,788 | 1,007 | 1,267 | 1,091 | 0,334 | 0,650 |
| Üç şamandıradaki bütün veri | ERA5 | 7159 | 3,922 | 3,084 | 0,838 | 1,111 | 0,938 | 0,283 | 0,805 |
| | ERA-Interim | 7156 | 3,922 | 2,769 | 1,153 | 1,456 | 1,255 | 0,371 | 0,681 |

Tüm şamandıralar hem tek tek hem de hepsinin verisi bir bütün veri seti olarak düşünüldüğünde elde edilen hata istatistikleri incelendiğinde, ERA5 veri setinin tüm hata istatistiği parametrelerinde ERA-Interim veri setinden daha doğru sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Korelasyon katsayı (R) değerlerine bakıldığında, ERA5 (örneğin Sinop'ta H_{m0} için $R= 0,789$) veri setinin ERA-Interim (örneğin Sinop'ta H_{m0} için $R= 0,650$) veri setinden daha yüksek korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Ortalamaların farkı, karesel ortalama hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve saçılım indeksi (SI) değerleri incelendiğinde, ERA5 veri setinin ERA-Interim veri setinden daha düşük değerler aldığı görülmektedir. Örneğin; Hopa istasyonunda H_{m0} ve T_{m02} için ERA5 rüzgarlarını kullanan SWAN model için ortalamaların farkı değerleri 0,261 m ve 0,843 s iken ERA-Interim rüzgarlarını kullanan SWAN model sonuçları için bu değerler sırasıyla 0,317 m ve 1,174 s olarak elde edilmiştir. ERA5 ve ERA-Interim veri seti bir arada düşünülerek şamandıra verileri ile beraber ortalama değerleri bakımından da incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda tüm şamandıralarda model simülasyonundan elde edilen hem belirgin dalga yüksekliği hem de ortalama dalga periyodu değerlerinin ölçüm sonuçlarından daha düşük değerlere sahip olduğu gözlenmiştir.

Hata istatistiği parametreleri hesaplamalarından sonra verilerin performansını görsel olarak inceleyebilmek amacıyla zaman serisi kıyaslaması, saçılım grafikleri, kuantil-kuantil (Q-Q) grafikleri ve dalga gülleri çizilerek irdelenmiştir. Bunlardan ilki olan zaman serileri, belirgin dalga yüksekliği (H_{m0}) için Şekil 2'de ortalama dalga periyodu (T_{m02}) için Şekil 3'te verilmiştir. Zaman serisinde ERA5 ve ERA-Interim veri setleri kullanılarak hazırlanmış varsayılan

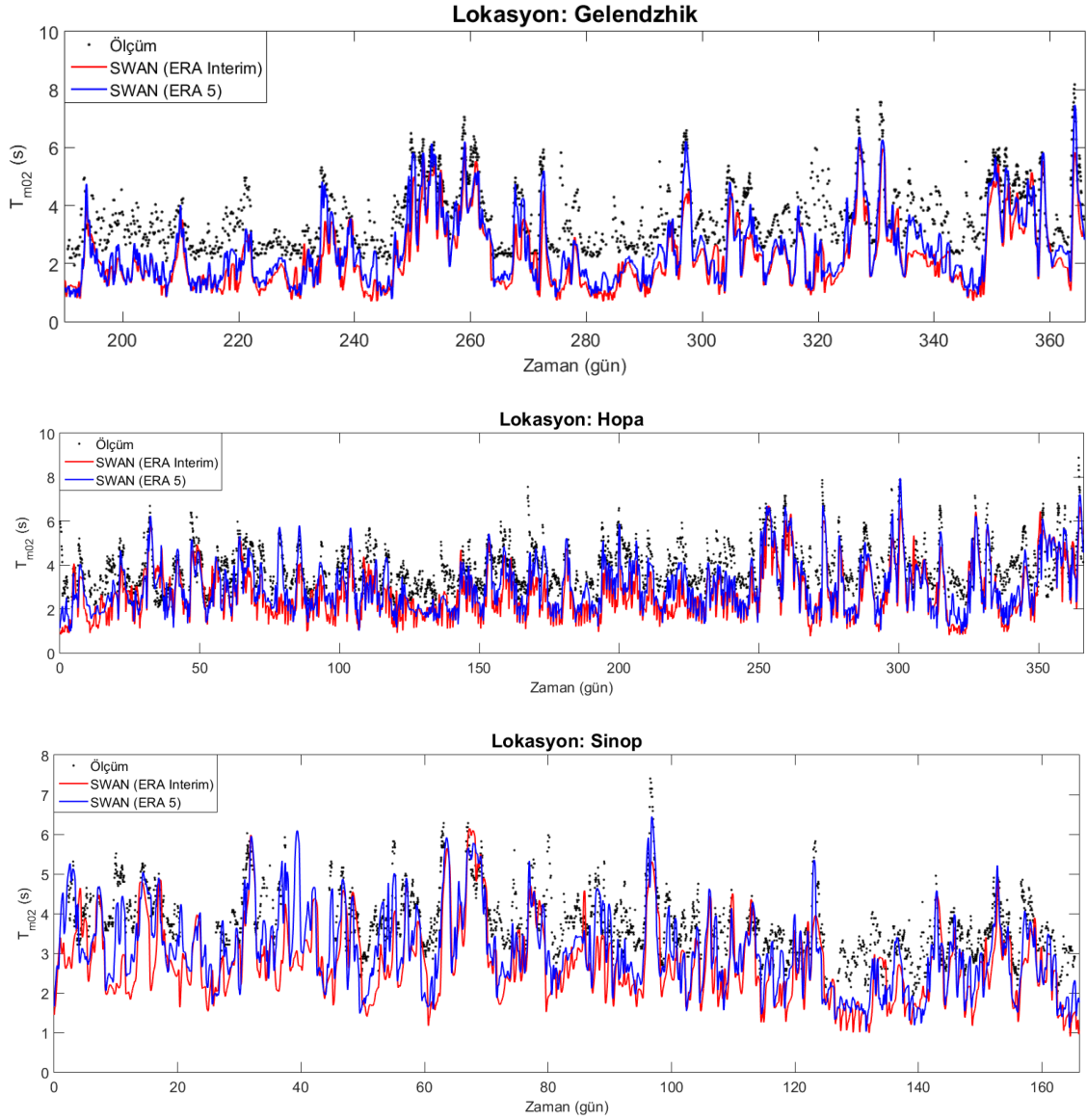
ayarlamalı SWAN model simülasyon sonuçlarının şamandıra verilerinin sonuçları ile zaman serisi kıyaslaması olarak sunulmuştur.



Şekil 2:

1996 yılında çeşitli zaman aralıklarında Gelendzhik, Hopa ve Sinop şamandıralarında ölçülen belirgin dalga yüksekliği (H_{m0}) ile ERA-Interim ve ERA5 veri seti rüzgarları ile çalıştırılan varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçlarının zaman serisi grafiği

ERA5 ve ERA-Interim veri seti rüzgarları ile oluşturulan varsayılan ayarlamalı SWAN modele karşılık şamandıra verilerinin belirgin dalga yüksekliği (H_{m0}) zamana bağlı değişimleri değerlendirildiğinde; ERA5 ve ERA-Interim veri setlerinin pik anlarındaki artışları yaklaşık olarak iyi bir şekilde yakalayabildiği, buna karşın genel olarak belirgin dalga yüksekliklerinin her iki veri setinde de şamandıra verisinin altında kaldığı belirlenmiştir. Bu durumun SWAN modelin kalibrasyonu neticesinde iyileşebileceği düşünülmektedir. İki veri seti kendi arasında kıyaslandığında ise, hata istatistiği parametrelerinde olduğu gibi ERA5 veri setinin ERA-Interim veri setinden daha iyi bir sonuç çıkardığını görmek mümkündür.



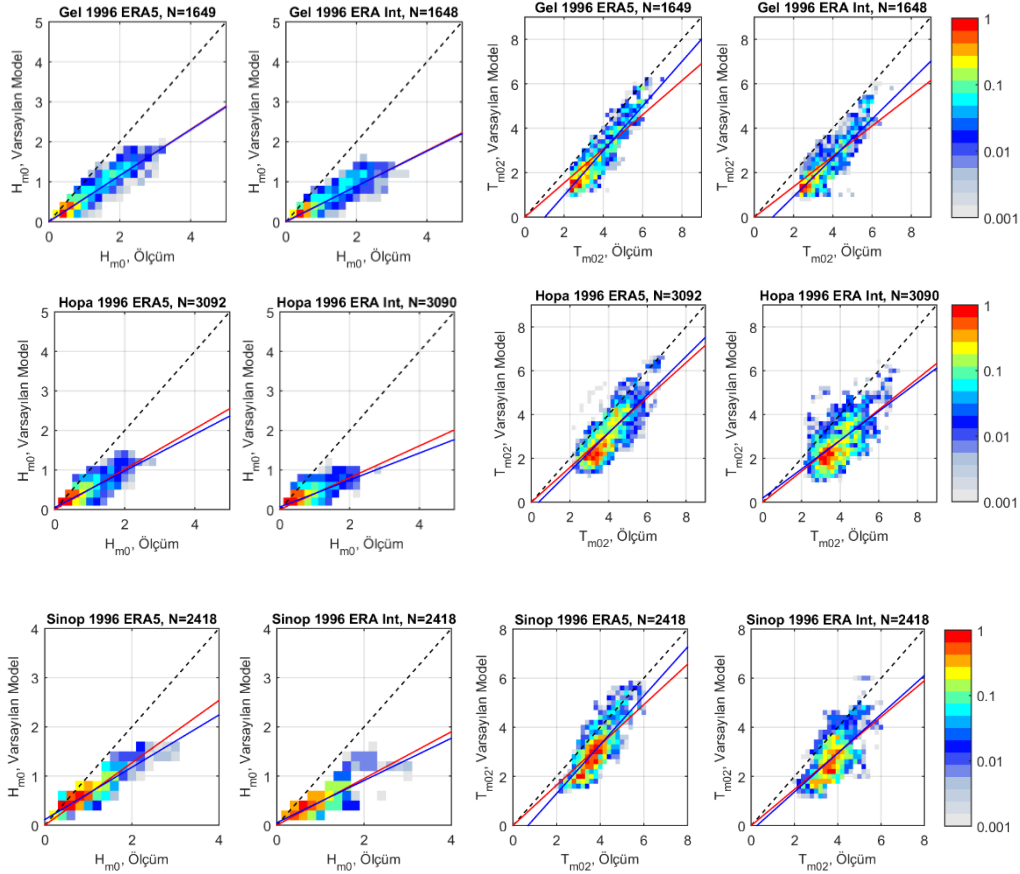
Şekil 3:

1996 yılında çeşitli zaman aralıklarında üç farklı şamandıradan ölçülen ortalama dalga periyodu (T_{m02}) ile ERA-Interim ve ERA5 veri seti rüzgarları ile çalıştırılan varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçlarının zaman serisi grafiği

Ortalama dalga periyodu bakımından Şekil 3 incelendiğinde, ERA5 ve ERA-Interim veri setlerinin pik anlarında oluşan artışları yine yaklaşık olarak iyi bir şekilde yakaladığı gözlemlenebilmektedir. Buna karşın, her iki veri seti de yine şamandıra verilerinden daha düşük sonuçlar vermektedir. Veri setleri aralarında incelendiğinde ise, bu sefer kesin bir şekilde ERA5 daha yakın sonuç vermiştir denilememektedir. ERA-Interim veri setinin bazı fırtına anlarını daha iyi tahmin ettiği görülebilmektedir. Genel bir bütün olarak bakıldığında ise ERA5 veri seti ERA-Interim veri setinden daha uyumlu sonuçlar vermiştir. Bu yakın sonuçları daha net görebilmek amacıyla saçılım grafikleri oluşturulmuş ve incelenmiştir.

Saçılım grafikleri de şamandıra ölçüm verilerine karşılık ERA-Interim ve ERA5 veri seti rüzgarlarını kullanan varsayılan ayarlamalı SWAN model sonuçlarından çıkan belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyodunun eş zamanlı olacak şekilde çakıştırılması ile elde

edilmiştir. Bu grafikler Gelendzhik, Hopa ve Sinop şamandıraları için Şekil 4'te gösterilmiştir. Grafiklerde mavi çizgi $y=a+bx$ formülasyonuna göre oluşturulan doğrusal regresyon çizgisidir ve kırmızı çizgi ise $y=cx$ formülasyonuna göre oluşturulmuştur. Kesikli siyah çizgi mükemmel uyumu temsil eder ve 45 derecelik bir açı ile çizilir. Başlıkta bulunan "N" ise zamansal olarak çakışan veri adedini göstermektedir.



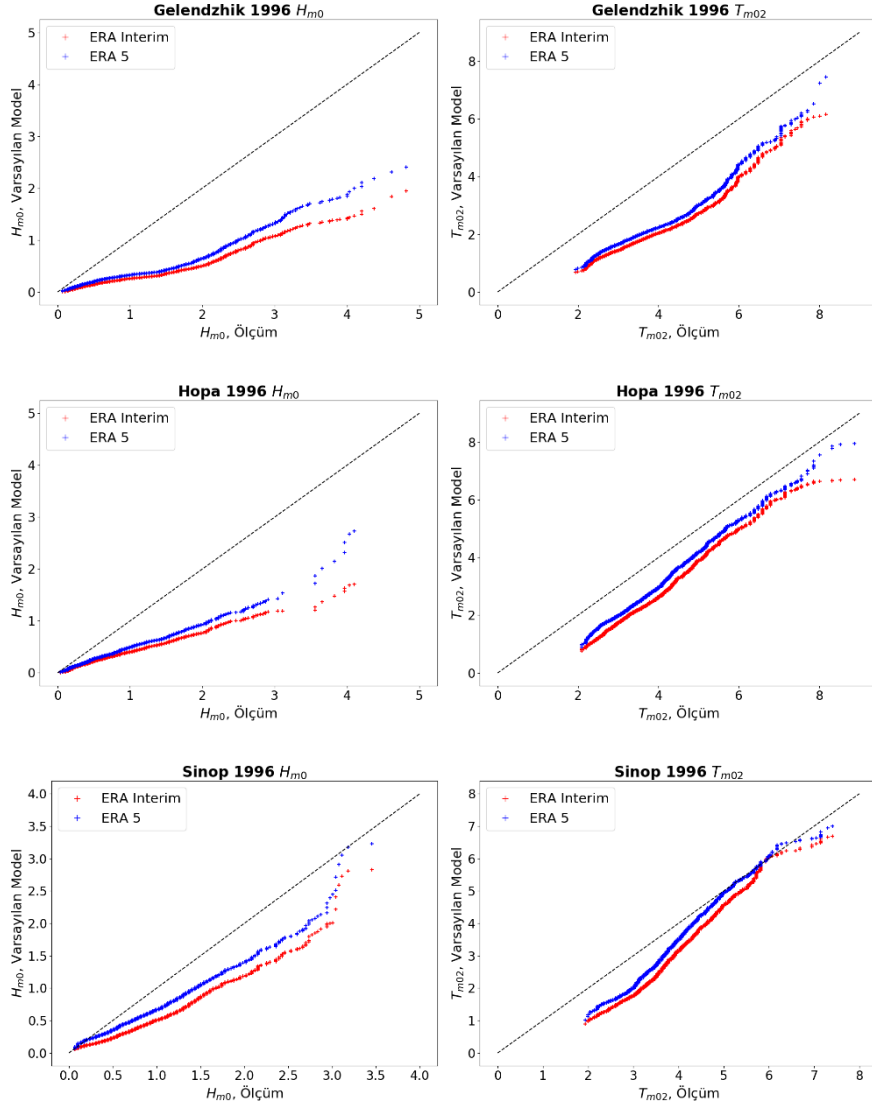
Şekil 4:

Gelendzhik (Gel), Hopa ve Sinop şamandıralarında ölçülen belirgin dalga yüksekliği ve ortalama dalga periyoduna karşılık ERA-Interim (ERA Int) ve ERA 5 veri seti rüzgarları ile çalıştırılan varsayılan ayarlamalı SWAN model simülasyonu sonuçlarının saçılım diyagramları

Saçılım diyagramları incelendiğinde, belirgin dalga yüksekliklerinde hem ERA5 hem de ERA-Interim mükemmel ilişkiyi temsil eden 45° lik çizginin aşağısında kalmıştır. Bu ölçüm değerlerinin model değerlerinden daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Hata istatistiği parametreleri ve zaman serileri ile benzer bir ilişki içinde olduğu tekrar gözlemlenmektedir. İki model veri seti kendi içinde incelendiğinde, yine ERA5 veri setinin ERA-Interim veri setinden net bir şekilde ölçüme daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Ortalama dalga periyodunun saçılım diyagramları incelendiğinde ise, mükemmel ilişki doğrusuna belirgin dalga yüksekliğinden kıyasla daha yakın bir durumda olduğu gözlenmektedir.

Zaman serilerinde pik anlarda veri setlerinin net bir şekilde üstünlük sağlayamadığı belirtilmişti. Bu ilişkileri daha iyi anlayabilmek için yalnızca zamansal olarak çakıştırılan değil tüm model verileri kullanılarak kuantil - kuantil grafikleri (Q-Q grafikleri) de incelenmelidir. Q-Q grafiği bir olasılık grafiğidir. Kuantil olarak tanımlanan istatistiksel büyüklükler esasen

verilen her bir ölçüm verisine tekabül eden model değerlerinin medyanlarıdır. İki farklı olasılık dağılımının kuantillerinin birbirlerine karşı çizilmesi ile elde edilir (Wilk ve Gnanadesikan, 1968). Düşük değerlerden yüksek değerlere doğru giderken veri setlerinin ölçüm sonuçlarına karşılık nasıl bir ilişki içinde olduğu daha net anlayabilmemize yarar sağlamaktadır. Grafiklerde saçılım diyagramlarında olduğu gibi 45°'lik bir uyum çizgisi çizilir, veriler ne kadar bu çizgiyi takip ediyorsa iki veri seti o kadar uyumludur denilebilmektedir. Bu grafikler Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5:

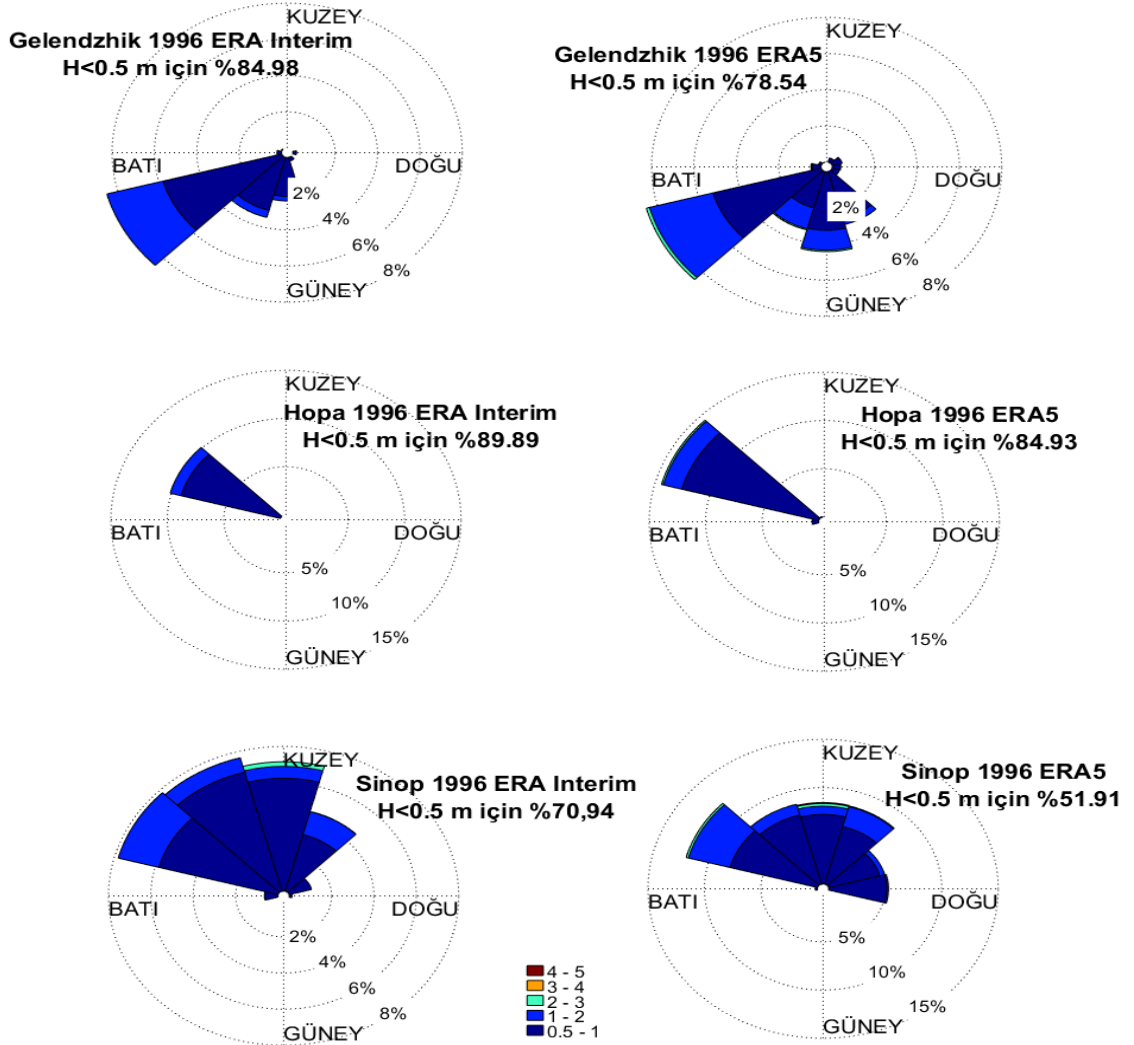
Üç farklı şamandıra ölçüm verilerine (H_{m0} , T_{m02}) karşılık ERA-Interim ve ERA5 veri seti rüzgarları kullanılarak çalıştırılan varsayılan ayarlamalı SWAN model simülasyonu sonuçlarının Q-Q grafikleri

Q-Q grafikleri incelendiğinde, ölçüm verilerinin (H_{m0} ve T_{m02}) ERA5 ve ERA-Interim veri setlerinden daha yüksek değerler aldığı gözlenebilmektedir. İki veri kendi aralarında değerlendirildiğinde, Gelendzhik ve Hopa şamandıralarında H_{m0} için veriler küçük değerlerde

bir miktar uyum yakalarken değerler yükseldikçe bu uyum düşüş göstermektedir. Hopa şamandırasında ise ERA5 veri seti yüksek değerlerinde tekrar uyum artışı gözlenmiştir. Sinop şamandırasında ise H_{m0} değerleri incelenirse diğer iki şamandıradan farklı olarak daha yüksek bir uyum söz konusudur. İki veri bu şamandıra içinde kendi aralarında incelenirse ERA5 veri setinin ERA-Interim veri setinden daha iyi bir uyum sağladığı söylenebilir. Gelendzhik ve Hopa şamandıralarında olduğu gibi burada da ERA5 yüksek değerlerde daha fazla uyum göstermiş ve hatta bazı değerlerde birebire yakın bir sonuç vermiştir. Ortalama dalga periyodu (T_{m02}) değerleri incelendiğinde ise, Gelendzhik şamandırasında düşük ve yüksek değerlerde daha fazla bir uyum gözlenirken ara değerlerde uyum azalmaktadır. ERA5 ve ERA-Interim veri setleri kıyaslandığında ise, ERA5 veri setinin daha yüksek bir uyuma sahip olduğu söylenebilmektedir. Hopa ve Sinop şamandıraları incelendiğinde ise, uyumun Gelendzhik şamandırasından daha yüksek olduğunu görmek mümkündür. Özellikle Sinop şamandırasında yüksek periyot değerlerine bakıldığında ERA5 veri setini kullanarak çalıştırılan SWAN simülasyon sonuçları ile şamandıra ölçümlerinin benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Benzer durum ERA-Interim veri setini kullanan simülasyon sonuçları içinde söylenebilir. İki veri seti kendi aralarında incelendiğinde ise, yine ERA5 veri setinin rüzgarlarını kullanan modelin daha uyumlu olduğu gözlemlenmektedir. Tüm hata istatistiği parametreleri ve görsel grafikler birlikte değerlendirildiğinde, ERA5 ve ERA-Interim veri seti rüzgarları ile yapılan varsayılan ayarlamalı SWAN simülasyon sonuçlarının, şamandıra ölçüm verileri ile net bir uyum içinde olduğu söylenememektedir. Ortalama dalga periyodu bakımından bazı şamandıralarda uygun değerler oluşmasına karşın buna tam bir uyum demek güçtür. İki veri setinin performansları kendi aralarında incelendiğinde ise 5. nesil atmosferik yeniden değerlendirme olan ERA5 veri seti rüzgarlarını kullanan SWAN model sonuçlarının ERA-Interim veri seti rüzgarlarını kullanan SWAN model sonuçlarından daha iyi sonuçlar vererek ölçüm sonuçlarına daha çok yaklaştığı gözlemlenmiştir.

Kıyı şeridi boyunca yapılacak bir faaliyet için hakim dalga yönünün ve dalga yüksekliğinin belirlenmesi önemlidir. Bu amaçla dalga gülleri hazırlanarak dalganın hangi yönden hangi yükseklikte geleceği görülebilmektedir. Çalışma kapsamında, ERA5 ve ERA-Interim veri seti rüzgarlarının SWAN model simülasyonu sonucunda oluşturacağı dalgaların yönleri ve o yönlerden gelen dalga yüksekliklerinin birbirileri ile karşılaştırılması ile aralarında oluşan farklar belirlenmeye çalışılmıştır. Gelendzhik, Hopa ve Sinop bölgelerinden alınan veriler ile oluşturulan dalga gülleri Şekil 6'da görülebilmektedir. Gelendzhik noktasında oluşan dalga gülleri incelendiğinde, ERA-Interim rüzgarları ile oluşan dalgaların %84,98'i 0,5 metreden daha düşük durumdadır. Bu durum, ERA5 veri setinde %78,54'tür. ERA-Interim ve ERA5 ile oluşan 0,5 metreden yüksek dalgaların yaklaşık %8'i batı güneybatı doğrultusundan gelmektedir. Burada, maksimum dalga yüksekliği ERA-Interim'de 1-2 metre arasında gözlenirken ERA5'te az bir miktarda dalga 2-3 metre arasında oluşmaktadır. Yönel farklılık olarak ERA5'e göre dalgalar daha geniş bir yön doğrultusundan ve daha şiddetli gelmektedir. Güney doğrultusundan gelen dalgalar ERA-Interim yok denecek kadar az iken ERA5'te bu değer %4,5'lere kadar çıkmaktadır. ERA5'e göre bu bölgeye gelen dalgaların %3 kadarı 0,5-1 metre arasındaki dalgalaran meydana gelirken %1,5'lik kısım 1-2 metre arasında oluşmaktadır. Hopa noktası incelendiğinde ise, hem ERA-Interim hem de ERA5'te hakim dalga yönünün aynı olduğu gözlemlenmektedir. ERA-Interim rüzgarları ile oluşan dalgaların %89,89'u ERA5 rüzgarları ile oluşan dalgaların %84,93'lük kısmının 0,5 metreden küçük dalgalar olduğu Şekil 6'da verilen grafikte görülebilmektedir. Diğer dalgaların ise, ERA-Interim'de %9'u 0,5-1 metre yüksekliğinde %1'lik kısmı ise 1-2 metre dalga yüksekliğine sahip olduğu ve kuzeybatı yönünden geldiği görülmektedir. ERA5 rüzgarları ile oluşan dalgalarda ise, %12,5'i 0,5-1 metre dalga yüksekliğindeki, %2,5'i ise 1-2 metre yüksekliğindeki dalgalaran oluşacak şekilde yine kuzeybatı yönünden gelmektedir. Sinop Karadeniz'in güney orta bölgesinde (Şekil 1) olduğu için gelen dalgaların yönleri batıdan doğuya doğru neredeyse tüm yönlerde olabilmektedir. Hakim olan yön ERA-Interim rüzgarları ile oluşan dalgalarda kuzey batı aralığı olarak

gözlenirken ERA5 rüzgarları ile oluşturulan dalgalarda ise batı kuzeybatı yönü daha hakim konumda bulunmaktadır. Bu konumda 0,5 metreden küçük dalgaların miktarları da azalmaktadır. Bu değer, ERA-Interim rüzgarları ile oluşan dalgalarda %70,94 iken ERA5 rüzgarları ile oluşan dalgalarda %51,91 oranında kalmaktadır. ERA-Interim bu bölgede ERA5 verisinden çok daha düşük dalga yüksekliğinin oluşmasını sağlamıştır. Dalga yüksekliklerini sınıflandırırsak ERA-Interim rüzgarları ile oluşan dalgaların yaklaşık %22,5'si 0,5-1 metre aralığında, %6'sı 1-2 metre, %0,5'i ise 2-3 metre aralığında görülmüştür. ERA5 rüzgarları ile oluşan dalgalarda ise, dalgaların %34'ü 0,5-1 metre, %13'ü 1-2 metre, %0,5 i ise 2-3 metre aralığında görülmektedir.



Şekil 6:

1996 yılı boyunca üç noktada alınan ERA5 ve ERA-Interim veri seti rüzgarlarının etkisiyle oluşan dalgaların yüksekliklerinin yönsel dağılımını belirten dalga gülleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ERA-Interim veri seti rüzgarlarının 5. nesil atmosferik yeniden değerlendirme olan ERA5 veri seti rüzgarlarının bir üçüncü nesil dalga tahmin modeli olan SWAN'a girdi olarak tanımlanması durumunda elde edilecek dalga tahminlerinin performanslarının kıyaslaması hedeflenmiştir. Kıyaslama yapılırken Karadeniz üzerinde bulunan üç farklı şamandıra noktasının 1996 yılının Hopa şamandırasında tümü, Gelendzhik ve Sinop şamandıralarında ise yılın altı ayına yakın olacak şekilde ölçüm verileri kullanılmıştır.

ECMWF kuruluşunun veri merkezinden alınan ERA-Interim ve ERA5 rüzgar verileri ile varsayılan ayarlamalı olacak şekilde SWAN model simülasyonu çalıştırılmıştır. Bu simülasyon sonunda çıkan değerler ile şamandıra ölçümlerinden alınan veriler zamansal olarak karşılaştırılarak hata istatistiği parametreleri ve görsel grafikleri olan saçılım diyagramları ve tüm veri kullanılarak oluşturulan zaman serileri ve Q-Q grafiklerinin yorumlamaları yapılmıştır. Daha sonra iki veri setinin dalga gülleri çizilerek aralarında oluşan farklılıklar irdelenmiştir.

Tüm bu yapılanlar neticesinde, ERA5 veri setinin rüzgarlarını kullanarak hazırlanan SWAN simülasyonu sonuçları ölçüm sonuçlarına ERA-Interim veri seti rüzgarları kullanarak hazırlanan SWAN simülasyonundan daha iyi uyum sağladığı gözlenmiştir. Bu nedenle, Karadeniz'de gelecekte yapılacak dalga tahmini çalışmalarında ERA-Interim rüzgar verisinin kullanılmasından ziyade ERA5 model verisinin kullanılması daha uygun olacaktır.

Çalışmada kullanılan simülasyon modelinin varsayılan ayarlamalı olması nedeniyle ölçümler ve tahminler arasında bariz farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklara rağmen ERA5 özellikle ortalama dalga periyodunda ölçüm verilerini yakalamayı başardığı bazı noktalar olmuştur. Ayrıca, bu farklılık SWAN simülasyon modelinin kalibre edilmesi ile daha aza indirgenebilir.

TEŞEKKÜR

Çalışma kapsamında kullanılan dalga tahmin modeli için Delft Üniversitesi SWAN araştırma grubuna, çalışmada kullanılan rüzgar verileri olan ERA5 ve ERA-Interim için ECMWF'ye, Karadeniz'in batimetrisini temin ettiğimiz GEBCO'ya, gerekli olan şamandıra ölçüm verilerinin paylaşımından dolayı NATO TU-WAVES Projesinin yürütücüsü Prof. Dr. Erdal Özhan'a ve bu projeye desteklerinden ötürü NATO İstikrar İçin Bilim Programına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Appendini CM, Torres-Freyermuth A, Oropeza F, Salles P, Lopez J, Mendoza ET. (2012) Wave modelling performance in the Gulf of Mexico and Western Caribbean: wind reanalysis assessment. *Applied Ocean Research*, 39, 20–30. doi:10.1016/j.apor.2012.09.004
2. Ardhuin F, Bertotti L, Bidlot J-R, Cavaleri L, Filipetto V, Lefevre J-M, Wittman P. (2007) Comparison of wind and wave measurements and models in the Western Mediterranean Sea. *Ocean Engineering*, 34, 526–541. doi:10.1016/j.oceaneng.2006.02.008
3. Battjes, J.A, Janssen, J.P.F.M. (1978) Energy loss and set-up due to breaking of random waves. *Proceedings of the Sixth Conference on Coastal Engineering, ASCE*, 569-587. doi:10.1061/9780872621909.034
4. Bolanos-Sanchez R, Sanchez-Arcilla A, Cateura J. (2007) Evaluation of two atmospheric models for wind-wave modelling in the NW Mediterranean, *Journal of Marine Systems*, 65, 336–353. doi:10.1016/j.jmarsys.2005.09.014

5. Booij N, Holthuijsen LH, Ris RC. (1999) A third-generation wave model for coastal regions. Model description and validation, *Journal of Geophysical Research*, 104(C4), 7649–7666. doi:10.1029/98JC02622
6. Caires S, Sterl A, Bidlot JR, Graham N, Swail V. (2004) Intercomparison of different wind–wave reanalysis. *Journal of Climate*, 17(10), 1893–1913. doi:10.1175/1520-0442(2004)017<1893:IODWR>2.0.CO;2
7. Cavaleri, L. ve Sclavo, M. (2006) The calibration of wind and wave model data in the Mediterranean Sea, *Coastal Engineering*, 53, 613–627. doi:10.1016/j.coastaleng.2005.12.006
8. Chelton DB, Freilich MH. (2005) Scatterometer-based assessment of 10-m wind analyses from the operational ECMWF and NCEP numerical weather prediction models, *Monthly Weather Review*, 133, 409–429. doi:10.1175/MWR-2861.1
9. Durrant TH, Greenslade DJM, Simmonds I. (2013) The effect of statistical wind corrections on global wave forecasting, *Ocean Modelling*, 70, 116–131. doi:10.1016/j.ocemod.2012.10.006
10. Feng H, Vandemark D, Quilfen Y, Chapron B, Beckley B. (2006) Assessment of wind-forcing impact on a global wind wave model using the TOPEX altimeter, *Ocean Engineering*, 33, 1431–1461. doi:10.1016/j.oceaneng.2005.10.015
11. GEBCO, 2014. GEBCO Overview. General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO), http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data, Erişim Tarihi: 14.12.2014, Konu: Batimetri verisi.
12. 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 energy transfer for application in wave models, *Journal of Physical Oceanography*, 15(11), 1378–1391. doi:10.1175/1520-0485(1985)015<1378:CAPOTN>2.0.CO;2
13. Hersbach, H, Bell, W, Berrisford, P, Horányi, A, J., M-S, Nicolas, J, Radu, R, Schepers, D, Simmons, A, Soci, C, Dee, D. (2019) Global reanalysis: goodbye ERA-Interim, hello ERA5, *ECMWF Newsletter*, 159, 17–24. doi:10.21957/vf291hehd7
14. Hersbach, H, de Rosnay, P, Bell, B, Schepers, D, Simmons, A, Soci, C, Abdalla, S, Alonso-Balmaseda, M, Balsamo, G, Bechtold, P, Berrisford, P, Bidlot, J-R, de Boissésón, E, Bonavita, M, Browne, P, Buizza, R, Dahlgren, P, Dee, D, Dragani, R, Diamantakis, M, Flemming, J, Forbes, R, Geer, AJ, Haiden, T, Hólm, E, Haimberger, L, Hogan, R, Horányi, A, Janiskova, M, Laloyaux, P, Lopez, P, Muñoz-Sabater, J, Peubey, C, Radu, R, Richardson, D, Thépaut, J-N, Vitart, F, Yang, X, Zsótér, E, Zuo, H. (2018) Operational global reanalysis: progress, future directions and synergies with NWP, *ECMWF ERA Report Series 27*. doi:10.21957/tkic6g3wm
15. Holthuijsen LH, Booij N, Ris RC. (1993) A spectral wave model for the coastal zone. *Proceedings of the 2nd international symposium on ocean wave measurement and analysis*. New Orleans, Louisiana, United States, 630–641.
16. Komen, G. J., Cavaleri, L., Donelan, M., Hasselmann, K., Hasselmann, S., Janssen, P. A. E. M. (1994) Dynamics and Modeling of Ocean Waves. *Cambridge University Press*, No: 9780521577816, USA, 532 doi:10.1017/CBO9780511628955
17. Özhan E, Abdalla S, Sezis-Papila S, Turhan M. (1995) Measurements and modelling of wind–waves along the Turkish Mediterranean Coasts and the Black Sea. *Proceedings of the*

second international conference on the Mediterranean coastal environment, MEDCOAST'95, Tarragona, Spain

18. Ponce de León S, Guedes Soares C. (2008) Sensitivity of wave model predictions to wind fields in the Western Mediterranean Sea, *Coastal Engineering*, 55(11), 920–929. doi:10.1016/j.coastaleng.2008.02.023
19. Ponce de León S, Orfila A, Gomez-Pujol L, Renault L, Vizoso G, Tintore J. (2012) Assessment of wind models around the Balearic Islands for operational wave forecast. *Applied Ocean Research*, 34, 1–9. doi:10.1016/j.apor.2011.09.001
20. Ris RC, Holthuijsen LH, Booij N. (1999) A third-generation wave model for coastal regions: 2, verification, *Journal of Geophysical Research*, 104(C4), 7667–7681. doi:10.1029/1998JC900123
21. Rogers, W.E., Hwang P.A., Wang D.W. (2003) Investigation of Wave Growth and Decay in The SWAN Model: Three Regional-Scale Applications. *Journal of Physical Oceanography*, 33(2), 366-389. doi:10.1175/1520-0485(2003)033<0366:IOWGAD>2.0.CO;2
22. Signell RP, Carniel S, Cavaleri L, Chiggiato J, Doyle JD, Pullen J, Sclavo M. (2005) Assessment of wind quality for oceanographic modelling in semi-enclosed basins, *Journal of Marine Systems*, 53, 217–233. doi:10.1016/j.jmarsys.2004.03.006
23. Tucker, M.J. ve Pitt, E.G. (2001) *Waves in Ocean Engineering*, Elsevier Science, Amsterdam.
24. Van Vledder, G.P., Akpınar, A. (2015) Wave model predictions in the Black Sea: Sensitivity to wind field, *Applied Ocean Research*, 53, 161-178. doi:10.1016/j.apor.2015.08.006
25. Wilk, M.B.; Gnanadesikan, R. (1968), Probability plotting methods for the analysis of data, *Biometrika, Biometrika Trust*, 55 (1), 1–17. doi:10.2307/2334448
26. Yılmaz N. (2007) Spectral characteristics of wind waves in the Eastern Black Sea, Doktora Tezi, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
27. Zijlema M, Van der Westhuysen AJ. (2005) On convergence behaviour and numerical accuracy in stationary SWAN simulations of nearshore wind wave spectra. *Coastal Engineering*, 52(3), 237–256. doi:j.coastaleng.2004.12.006
28. Zijlema, M., Van Vledder, G.P., Holthuijsen, L.H. (2012) Bottom Friction and Wind Drag for Wave Models. *Coastal Engineering*, (65), 19-26. doi: 10.1016/j.coastaleng.2012.03.002