



Samsun Körfezi kıyı sularında rüzgar iklimi, dalga iklimi ve akıntı düzeni modellenmesi

Nihal Yılmaz*^{ID}

Gazi Üniversitesi, Deniz ve Su Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara, 06570, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Samsun Körfezi rüzgar iklimi ve dalga iklimi
- Samsun Körfezi kıyusal akıntı düzeni
- Kıyı sularında sayısal modelleme, HYDROTAM-3D

Makale Bilgileri

Geliş: 03.11.2016

Kabul: 03.05.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.406801

Anahtar Kelimeler:

Rüzgar iklimi,
dalga iklimi,
kıyusal akıntı düzeni,
sayısal model,
Samsun körfezi

ÖZET

Kıyı suları için, hidromorfolojik özelliklerin belirlenmesinde büyük öneme sahip olan rüzgar ikliminin, dalga ikliminin ve akıntı düzeninin belirlenmesi için sayısal çalışmalar yürütülmüştür. Uygulama alanı olarak Samsun Körfezi kıyı suları seçilmiştir. Çalışmalarda, Samsun Bölge Meteoroloji İstasyonunun 1970-2016 yılları arası saatlik rüzgar ölçümleri; Deniz Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonunun Ocak 2014-Mart 2016 arası ölçümleri; Körfez derin sularındaki dalgaölçer şamandıranın Ağustos 2015-Mart 2016 arası ölçümleri; 41,3°N-36,4°E, 41,4°N-36,4°E ve 41,5°N-36,4°E koordinatlarına ait Avrupa Orta Ölçekli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) operasyonel arşivin 2000-2016 yılları arası altı saat aralıklı tahminleri; Mayıs 2015-Mayıs 2016 tarihleri arasında Samsun Körfezi kıyı sularında her ay düzenli olarak gerçekleştirilen fiziksel parametrelerin ve akıntuların ölçümleri; ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve bulut bilişim destekli HYDROTAM-3D üç boyutlu hidrodinamik, türbülans ve taşınım sayısal model sistemi tahminleri kullanılmıştır. Tahminlerin birbirleriyle ve ölçümlerle karşılaştırmaları ile yapılan sayısal çalışmalar, Samsun Körfezi kıyı sularının rüzgar iklimi, dalga iklimi ve akıntı düzeninin başarı ile belirlendiğini ve sayısal model sisteminin kıyı alanları yönetim planlarının hazırlanmasında önemli bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Modeling of wind climate, wave climate and current pattern in Samsun Bay coastal waters

H I G H L I G H T S

- Wind climate and wave climate in Samsun Bay
- Coastal current pattern in Samsun Bay
- Numerical modeling in coastal waters, HYDROTAM-3D

Article Info

Received: 03.11.2016

Accepted: 03.05.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.406801

Keywords:

Wind climate,
wave climate,
coastal current pattern,
numerical model,
Samsun bay

ABSTRACT

Wind climate, wave climate and current pattern numerical modeling studies that are crucial in the determination of hydromorphological properties of coastal waters, have been performed. Modeling system has been applied to Samsun Bay coastal waters. In the study, hourly wind measurements of Samsun Regional Meteorological Station between 1970-2016; measurements of Marine Automatic Meteorological Observation Station between January 2014-March 2016; measurements of wave buoy located at deep coastal waters of the bay between August 2015-March 2016; predictions with six hours interval of European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) operational archive at the coordinates of 41.3°N-36.4°E, 41.4°N-36.4°E and 41.5°N-36.4°E between 2000-2016; regular monthly measurements carried out for the physical parameters and currents in Samsun Bay coastal waters between May 2015-May 2016; and geographic information system (GIS) and cloud computing based, three dimensional hydrodynamic, turbulence and transport model system HYDROTAM-3D predictions, have been used. The verification studies performed by the comparisons of predictions and measurements have proved the success of modeling for the wind climate, wave climate and current patterns in the Samsun Bay coastal waters and have shown that model system can be used as a powerful coastal areas management tool.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: ynihal@gmail.com / Tel: +90 312 582 3217

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kıyısız alanlarda kirleticilerin yayılımı ve dağılımı akıntılarla gerçekleşmektedir. Kıyı sularının kalite parametrelerindeki değişimler, sediman ve kirletici taşınımı, iyi su durumuna ulaşılması için alınacak tedbirler, kıyı koruma ve kullanma yapılarının tasarımı gibi önemli çalışmaların başarısı, genellikle, kıyı sularda rüzgar, dalga, gelgit ve bunlara bağlı oluşan çevrinti düzeninin, yani kıyı hidrodinamiğinin iyi anlaşılmasına ve tahmin edilmesine bağlıdır. Günümüzde hızla gelişmekte olan bilgisayar ve bilişim teknolojisi olanaklarına paralel olarak, sayısal modeller, kıyı mühendisliği çalışmalarında da önemli tahmin araçları olarak kullanılmaktadır [1]. Kıyı hidrodinamiğinin ve taşınım olaylarının başarılı olarak modellenmesi için, temel olarak, çevrinti düzenini ve karışım karakteristiklerini etkileyen gelgit hareketlerinin, tatlı su girdilerinin, yoğunluk farklılaşmasının, dünyanın dönüş etkisini ifade eden sanal Coriolis kuvvetinin, rüzgar ve dalga kuvvetlerinin gözetilmesi gereklidir [2]. Kıyı sistemlerinde görülen kıyısız akıntıların en önemli özelliği, yatay ve düşey yönlerdeki akım büyüklüklerinin çok farklı olmasıdır. Büyük ölçekli su çevrintileri, özellikle lagün, haliç, göl ve körfez gibi, yüzey alanı/ortalama su derinliği oranı büyük olan kıyı sistemlerinde oluşmaktadır. Yerçekimi, ay ve güneşin çekim etkisiyle oluşan gelgit kuvveti ve su yüzeyini etkileyen rüzgar kuvveti, büyük ölçekli akıntıları oluşturan dış etkenli kuvvetlerdendir. Türkiye kapalı kıyısız su alanları ile çevrilidir ve gelgit yüksekliği 50 cm'yi aşmamaktadır. Bu nedenle gelgit kuvveti ile oluşan çevrintiler rüzgar ve diğer kuvvetlere oranla oldukça düşüktür [3]. Türkiye kıyısız suları gibi, rüzgar kuvvetinin etkin olduğu alanlarda, yüzey tabakası ve taban tabakası suları farklı çevrinti düzenlerine sahip olabilirler; bu nedenle çevrinti düzenlerinin, yatay düzlemde ve düşey düzlemde değişimleri incelemeye olanak sağlayan, üç boyutlu modeller ile incelenmesi kaçınılmazdır [4].

Bu çalışmada rüzgar iklimi, dalga iklimi ve akıntı iklimi modellemelerinde, HYDROTAM-3D sayısal modeli kullanılmıştır [5]. HYDROTAM-3D, rüzgar, dalga, coriolis ve gelgit kuvvetlerini, sıcaklık ve tuzluluk farklılıklarından kaynaklanan yoğunluk değişimlerini, tatlı su girişlerini ve su tabanı sürtünmesi etkilerini de gözeterek, kıyı ve geçiş sularındaki, yatay ve düşey çevrintileri, su düzeyi değişimlerini, taşınım olaylarını ve su kalitesi parametrelerindeki değişimleri benzeştirebilen, üç boyutlu bir sayısal modeldir. HYDROTAM-3D, bilimsel kaynaklarda yayınlanan analitik ve deneysel sonuçlarla ve saha çalışmaları ile karşılaştırılarak gerçekleştirilmiş ve Türkiye'de, birçok kıyı alanına uyarlanmıştır [6]. HYDROTAM-3D sayısal modeli istemci/sunucu mimarisini kullanmaktadır. İstemci/sunucu mimarisi, bilgi teknolojisi (BT) kaynaklarına İnternet üzerinden erişim ve paylaşım ortamının tesis edilmesi olarak özetlenebilir. Kullanıcı önyüzü sadece web tarayıcı üzerinde bulunan model yazılımının kullanıcı veri tanımlamaları CBS üzerinden

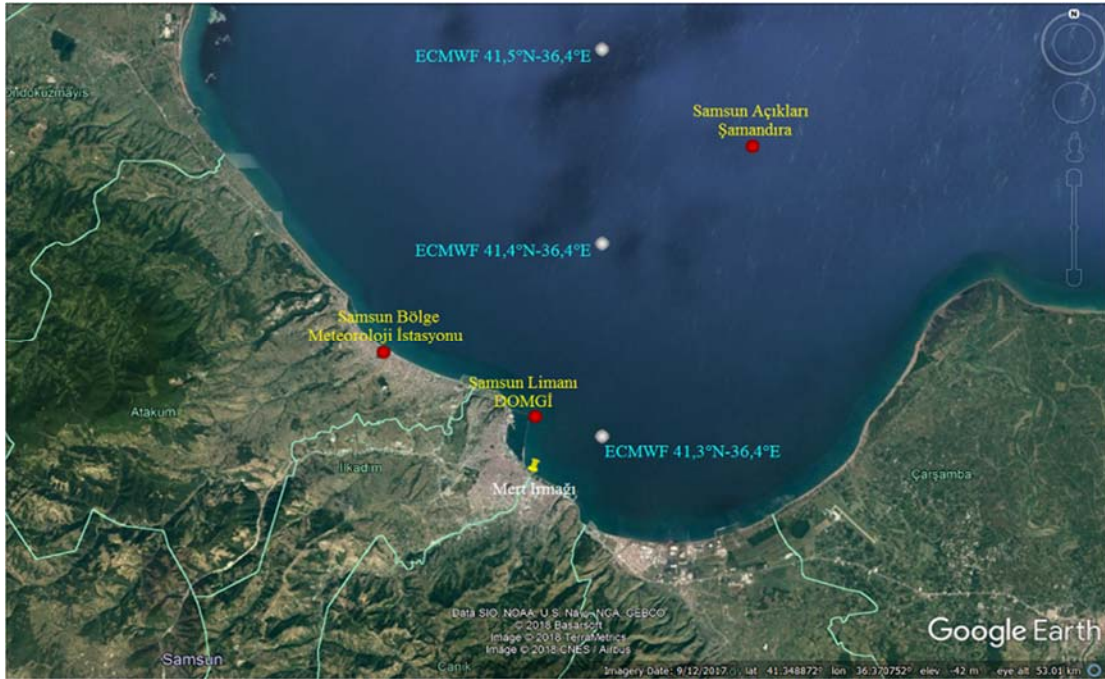
yapılmakta ve karar destek sistemi CBS temelli olup üç boyutlu analiz yapılabilmektedir. Model veri tabanında Türkiye Kıyıları Meteoroloji İstasyonlarının kuruluşlarından bu yana (yaklaşık 40 yıllık) saatlik rüzgar verileri, Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) operasyonel ve ERA (ECMWF re-analysis) arşiv rüzgar tahminleri (2000-2016 yılları arası 6 saat aralıklı) yer almakta [7] ve rüzgar iklimi alt modelinde bu veriler kullanılarak uzun dönem ve en yüksek değer rüzgar istatistiği çalışmaları yapılabilmektedir. Aynı sürelerle ait, WAM dalga modeli [8] çıktılarında oluşturulan ECMWF operasyonel ve ERA arşivleri sayısal dalga tahminleri de HYDROTAM-3D'nin veri tabanında yer almaktadır [9]. Dalga iklimi alt modelinde, bu sayısal dalga tahminleri kullanılarak, uzun dönem ve en yüksek değer dalga istatistiği analizleri yapılmaktadır. Uzun dönem istatistik çalışmalarında, yönsel olarak, Log-lineer dağılım ve Weibull dağılımı; en yüksek değer istatistiğinde ise Gumbel dağılımı uygulanmaktadır. Yıllık, mevsimlik ve/veya istenilen zaman aralığı için rüzgar ve dalga gülleri hazırlanmaktadır. Derin denizden kıyıya yaklaşan dalgaların, düzensiz taban topoğrafyasına ve değişen su derinliklerine bağlı olarak sığlaşma, sapma, dönme, yansıma, taban sürtünmesi ve kırılma etkileri sonucunda sahip olacakları dalga yükseklikleri, geliştirilmiş yumuşak eğim denklemleri çözülerek benzeştirilmektedir [10, 11]. Dalga ilerleme alt modelinden elde edilen kıyı bölgesi dalga yükseklikleri, yaklaşım açıları ve gerilme akıları, dalga etkisiyle oluşan akıntı düzeninin, kıyı boyu sediman taşınımının ve morfolojik değişimlerin benzeştirilmesinde kullanılmaktadır [12, 13]. Modelin kıyısız hidrodinamik alt modeli, türbülans alt modeli ve taşınım alt modeli ile etkileşimli olarak; rüzgar, dalga, Coriolis kuvveti, gelgit ve/veya yoğunluk farklılaşması etkenli akıntıları ve su düzeyi değişimlerini benzeştirmektedir. Modelde deniz suyu yoğunluğu, tuzluluğun, sıcaklığın ve basıncın bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Taşınım alt modelinde, üç boyutlu(3-D) ilerlemeli yayılma denklemleri suyun sıcaklığı, tuzluluğu ve askıda katı madde taşınımı için ayrı ayrı çözülmektedir. Su alanında, ortama bırakılan korunumlu/korunumsuz bir kirleticinin taşınımı ve dağılımı üç boyutlu kirletici taşınım denklemleri çözülerek, kirletici kaynakları ve kirleticinin yok olma hızı da gözetilerek modellenmektedir [14]. Su kalitesi alt modelinde, kıyısız sulardaki azot, fosfor, karbon ve oksijen biyokimyasal döngüleri çözümlenmekte, su kalitesi parametrelerinin değişimleri benzeştirilmektedir [15]. Çalışmada, öncelikle Samsun Körfezi kıyı sularının rüzgar iklimi ve dalga iklimi belirlenmiştir. Bu hedeflerle rüzgar ve dalga iklimi çalışmalarında Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün meteoroloji istasyonlarına ait ölçümler ve ECMWF sayısal modellerinin operasyonel arşiv verilerinden faydalanılmıştır. Yürütülen analizlerde, bu verileri, veri tabanında bulunduran CBS temelli HYDROTAM-3D model sistemi bir sayısal araç olarak kullanılmıştır. Dünyanın pek çok yerinde olduğu gibi Karadeniz baseninde de ECMWF rüzgar ve dalga tahminlerinin incelendiği ve kullanıldığı birçok çalışma

bulunmaktadır. Bunlar arasında, öncü nitelikte ve en kapsamlı olanı 1994-2001 yılları arasında yürütülen NATO TU-WAVES projesidir [16]. Proje kapsamında Karadeniz'in Sinop, Hopa ve Gelincik (Rusya) kıyılarında gerçekleştirilen dalga ölçümleri, ECMWF analiz rüzgarları girdisi ile çalıştırılan WAM dalga modelinden elde edilen dalga tahminlerinin doğrulanmasında kullanılmıştır [17, 18]. Proje sonucunda hazırlanan rüzgar ve dalga atlasının uzun dönem istatistik analizleri de 1991-1999 arası 8 yıllık ECMWF analiz rüzgarlarından ve WAM dalga modelinden elde edilmiştir [19]. Sinop, Hopa ve Gelincik'teki dalga ölçümleri sonraki çalışmalarca da dalga tahminlerinin doğrulanmasında sıklıkla kullanılmıştır. Karadeniz'in dalga enerjisinin değerlendirildiği bir çalışmada, 1995-2009 yılları arası ECMWF-ERA rüzgar alanları kullanılarak SWAN dalga modeli ile dalga tahminleri gerçekleştirmiş, dalga tahminlerinin doğrulanmasında Hopa ölçümleri kullanılmıştır [20]. ECMWF ile birlikte Karadeniz için mevcut diğer birkaç atmosferik veri kaynağı kullanılarak gerçekleştirilen dalga tahminlerinin rüzgar alanları girdisine olan hassasiyetinin incelendiği bir diğer çalışmada da SWAN modeli sonuçları Sinop, Hopa ve Gelincik ölçümleriyle karşılaştırılmıştır [21]. Bu çalışmada, ECMWF operasyonel arşivden $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ alansal çözünürlükte indirilen 6 saat aralıklı rüzgar ve dalga tahminlerinin doğrulanmasında Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Samsun Limanında bulunan Deniz Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu Ocak 2014-Mart 2016 arası saatlik rüzgar ölçümleri ve Samsun körfezi açıklarında bulunan dalgaölçer şamandıranın Ağustos 2015-Mart 2016 arası saatlik rüzgar ve dalga ölçümleri kullanılmıştır. Rüzgar ve dalga iklimi çalışmalarını, HYDROTAM-3D sayısal modeli akıntı düzeni belirleme ve sahada yürütülen akıntı izleme çalışmaları izlemiştir.

2. SAMSUN KÖRFEZİ RÜZGAR İKLİMİ (SAMSUN BAY WIND CLIMATE)

2.1. Rüzgar Verisinin Belirlenmesi (Analysis of Wind Data)

Çalışma bölgesinin rüzgar ikliminin belirlenebilmesi için, öncelikle, Samsun Körfezi'ndeki meteorolojik veri kaynakları değerlendirilmiştir. Bu amaçla, konumları Şekil 1'de sunulan uydu görüntüsü üzerinde kırmızı noktalarla gösterilen Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün kara ve deniz istasyonlarından elde edilen veriler ile birlikte beyaz noktalarla gösterilmekte olan ECMWF operasyonel arşiv verileri kullanılmıştır. Samsun Limanı kuzey mendirek feneri üzerinde bulunan Deniz Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonunun (DOMGİ) ve Samsun açıklarında bulunan dalgaölçer şamandıranın (ŞAMANDIRA) ölçüm süreleri, bölgenin rüzgar ikliminin belirlenmesinde kullanılacak uzunlukta değildir. DOMGİ verisi Ocak 2014'den Mart 2016'ya kadar çeşitli dönemlerdeki kesintilerle birlikte yaklaşık 19 aydan oluşurken, ŞAMANDIRA verisi Ağustos 2015'den Mart 2016'ya kadar yaklaşık 8 aydan oluşmaktadır. Ancak, deniz üzerinde ölçülmüş çok değerli birer veri kaynağı olmaları nedeniyle bu ölçümler, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Atakum ilçesindeki Samsun Bölge Meteoroloji İstasyonu verilerinin ve ECMWF operasyonel arşiv verilerinin doğrulanması çalışmalarında kullanılmışlardır. Karşılaştırılan tüm veriler 10 m yükseklikteki verilerdir. Çalışma alanı için en uzun süreli rüzgar verisi kaynağı Samsun Bölge Meteoroloji İstasyonudur. HYDROTAM-3D veri tabanında bu istasyona ait 1970-2016 yılları arası yaklaşık 45 yıllık saatlik rüzgar verisi mevcuttur. Bu nedenle, öncelikle, Samsun Bölge istasyonu rüzgar



Şekil 1. Samsun Körfezi'nde kullanılan meteorolojik veri kaynaklarının konumları (Google Earth, 2016)
(Locations of meteorological data sources in Samsun Bay (Google Earth, 2016))

ölçümlerinin çalışma alanını ne ölçüde temsil ettiği incelenmiştir. Bu amaçla, bu veriler, hem Samsun Bölge istasyonuna yakınlığı, hem de körfez sularını ortalayan bir konumda bulunması nedeniyle, DOMGİ tarafından deniz üzerinde ölçülmüş olan rüzgarlar ile karşılaştırılmıştır. Şekil 2’de Samsun Bölge istasyonu ve DOMGİ’nin Ocak 2014 ve Mart 2016 tarihleri arasında aynı zamanlara ait, yaklaşık 19 aylık rüzgar hızları karşılaştırması saçılma grafiği şeklinde sunulmuştur. Ayrıca, iki veri seti arasındaki doğrusal ilişkiyi gösteren eşitlik ($y=Ax$) ve aşağıda verilen Eş. 1, Eş. 2 ve Eş. 3 ile hesaplanan istatistiksel parametreler de bu grafik üzerinde verilmiştir.

Belirleme katsayısı,

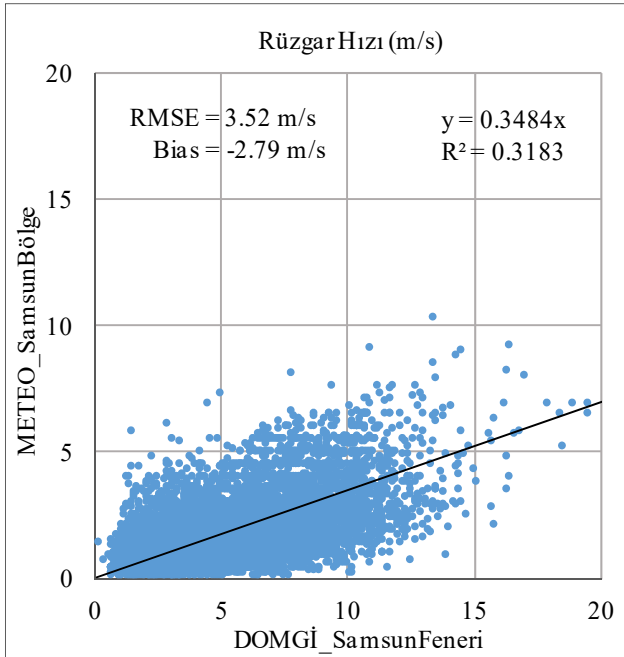
$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

Hata kareleri ortalamasının karekökü,

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2} \quad (2)$$

Sapma (Bias),

$$B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i) = \bar{y} - \bar{x} \quad (3)$$



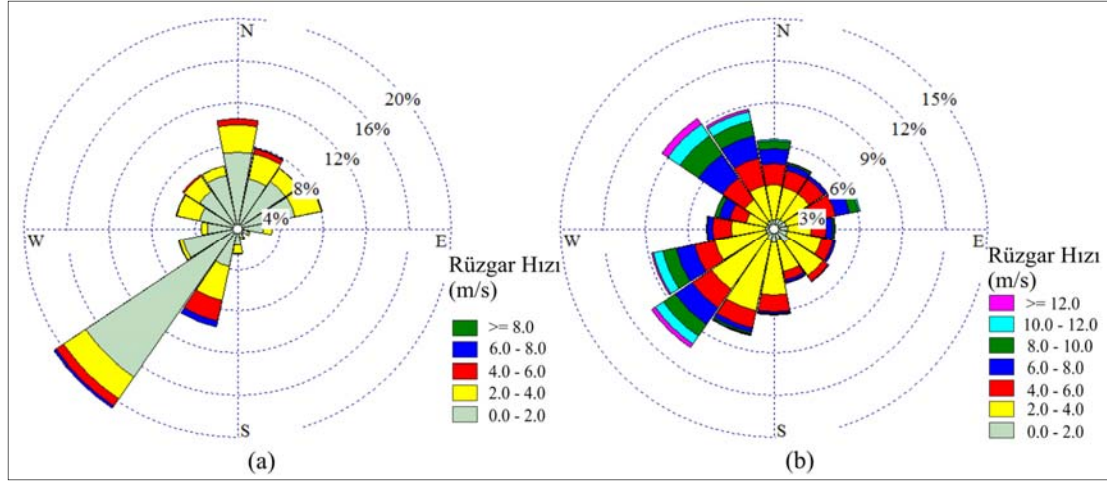
Şekil 2. Samsun Bölge Meteoroloji İstasyonu ve DOMGİ rüzgar hızı ölçümlerinin karşılaştırması

(Comparison of wind data measured at Samsun Meteorological Station and at Marine Automatic Meteorological Observation Station (DOMGİ))

Buna göre, Samsun Bölge istasyonu tarafından kaydedilmiş saatlik rüzgar hızları DOMGİ tarafından ölçülenlere göre yaklaşık 1/3 oranında düşük seviyelerdedir. Sapma (Bias = -2,79 m/s) ve hata kareleri ortalamasının karekökü

(RMSE=3,52 m/s) değerleri yüksektir. Her iki veri seti için, ayrıca, rüzgar hızlarının yönler göre oluşum oranları belirlenerek rüzgar gülleri de hazırlanmış ve Şekil 3’de sunulmuştur. Samsun Bölge istasyonunda ölçülen rüzgarların DOMGİ ölçümlerine göre çok daha düşük hızlarda olduğu, rüzgar gülleri incelendiğinde de açıkça görülmektedir. Ayrıca, DOMGİ ölçümlerinden oluşturulan rüzgar güllünde net bir şekilde görülen ve körfezin belirgin bir özelliği olan kuzey batılı yönlerden esen güçlü denizel rüzgarların, Samsun Bölge istasyonunca ölçülememiş olduğu görülmektedir. Atakum ilçesi kıyı şeridinde yerleşik olan Samsun Bölge meteoroloji istasyonu, kıyı sularına çok yakın bir konumda kurulmuş olmasına rağmen, zamanla çevresinde artan yapılaşmanın ortasında kalmıştır. Bu durum da, binalar ve değişen topoğrafya tarafından engellenen rüzgarların bu alanda ölçülememesine veya olduğundan daha düşük değerlerde ölçülmesine neden olmaktadır. Şekil 3’deki rüzgar gülleri karşılaştırıldığında, Atakum’daki istasyonun, özellikle, Batı-KuzeyKuzeyBatı (W-NNW) arası yönlerden esen denizel rüzgarları ve güneydoğulu yönlerden esen karasal rüzgarları ölçemediği görülmektedir. Sonuç olarak, Şekil 2 ve Şekil 3 incelendiğinde, Samsun Bölge istasyonu rüzgar verilerinin Samsun Körfezi kıyı sularını yeterince iyi temsil edemediği değerlendirilmiştir.

İkinci olarak benzer bir çalışma 6 saat aralıklı ECMWF operasyonel arşiv rüzgar tahminleri için gerçekleştirilmiştir. Konumları Şekil 1’deki uydu görüntüsünde verilen 41,3°N-36,4°E, 41,4°N-36,4°E ve 41,5°N-36,4°E koordinatlarına ait ECMWF operasyonel arşiv verileri ile DOMGİ verileri karşılaştırılmıştır. Bunun için, öncelikle DOMGİ’nin Ocak 2014 ve Mart 2016 tarihleri arası saatlik rüzgar verileri 6 saatlik ortalama (ör. 6-12 saat arası için hesaplanan ortalama değer 6. saati temsil edecek şekilde) rüzgar verilerine çevrilmiştir. Şekil 4’de, 6 saat aralıklı bu veriler ile ECMWF’in aynı zamanlara ait model tahminlerinin karşılaştırması saçılma grafikleri olarak verilmektedir. Bu karşılaştırmalara göre, kıyıya daha yakın olan 41,3°N-36,4°E koordinatına ait model tahmin hızları, DOMGİ tarafından ölçülmüş verilerden yaklaşık yarı yarıya düşüken, 41,4°N-36,4°E ve 41,5°N-36,4°E koordinatlarına ait hızlar ölçülmüş verilerle daha iyi bir uyum göstermektedir. Ayrıca, grafikler üzerinde verilen hata değerlerinin (Bias ve RMSE) de, 41,4°N-36,4°E ve 41,5°N-36,4°E koordinatları için daha düşük olduğu (Bias sırasıyla -0,67 ve 0,08 cm/s, ve RMSE sırasıyla 2,14 ve 2,31 m/s) görülmektedir. Her üç koordinat için hazırlanan rüzgar gülleri de Şekil 4’de sunulmuştur. Şekil 3’de verilen DOMGİ ölçümlerine ait rüzgar güllü ile karşılaştırıldığında, 41,3°N-36,4°E koordinatına ait güllün rüzgar hızlarının düşük değerlerde olmasına rağmen yön dağılımının ölçümlerle uyumlu olduğu görülmektedir. 41,4°N-36,4°E koordinatına ait rüzgar güllü ve DOMGİ rüzgar güllü ile karşılaştırıldığında ise hız tahminlerinin ölçümlerle çok daha uyumlu ve özellikle kuzeybatılı rüzgar yönlerinin iyi tahmin edildiği görülmektedir. Körfezin dışında, açıkta yer alan 41,5°N-36,4°E koordinatı için ise kuzeybatılı yönlerle birlikte Doğu ve Güneydoğu arası yönlerden esen rüzgarların frekans ve



Şekil 3. Ölçümler için rüzgar gülleri a) Samsun Bölge Meteoroloji İstasyonu ve b) DOMGİ (Wind roses for the measurements at (a) Samsun Meteorological Station and at (b) Marine Automatic Meteorological Observation Station (DOMGI))

şiddetinin artışı gözlenmektedir. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Samsun Körfezi açıklarına yerleştirilen dalgaölçer ŞAMANDIRA'nın (Şekil 1) Ağustos 2015 ve Mart 2016 tarihleri arasında kaydettiği yaklaşık 8 aylık saatlik rüzgar verileri de ECMWF operasyonel arşiv rüzgar tahminlerinin Samsun Körfezi denizel alanı için kullanılabilir bir meteorolojik kaynak olabileceğini doğrulamak amacıyla kullanılmıştır. ŞAMANDIRA'nın saatlik rüzgar verileri 6 saatlik ortalama rüzgar verilerine çevrilerek, en yakın koordinatlar olan 41,4°N-36,4°E ve 41,5°N-36,4°E (Şekil 1) için ECMWF'in aynı zamanlara ait model tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5'de verilen saçılma grafikleri incelendiğinde ŞAMANDIRA ölçümleri ve ECMWF model tahminleri arasında iyi bir uyum olduğu (RMSE<2,2 m/s ve Bias<1 m/s) görülmektedir. Yürütülen tüm veri karşılaştırma çalışmaları sonucunda, ECMWF operasyonel arşiv 41,4°N-36,4°E koordinatına ait 6 saat aralıklı rüzgar verilerinin, Samsun Körfezi kıyı sularını etkileyen rüzgarları diğerlerine göre daha iyi temsil ettiği ve körfezin kıyı suları rüzgar iklimi çalışmalarında kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

2.2. Uzun Dönem ve En Büyük Değer Rüzgar İstatistiği (Long Term and Extreme Value Wind Statistics)

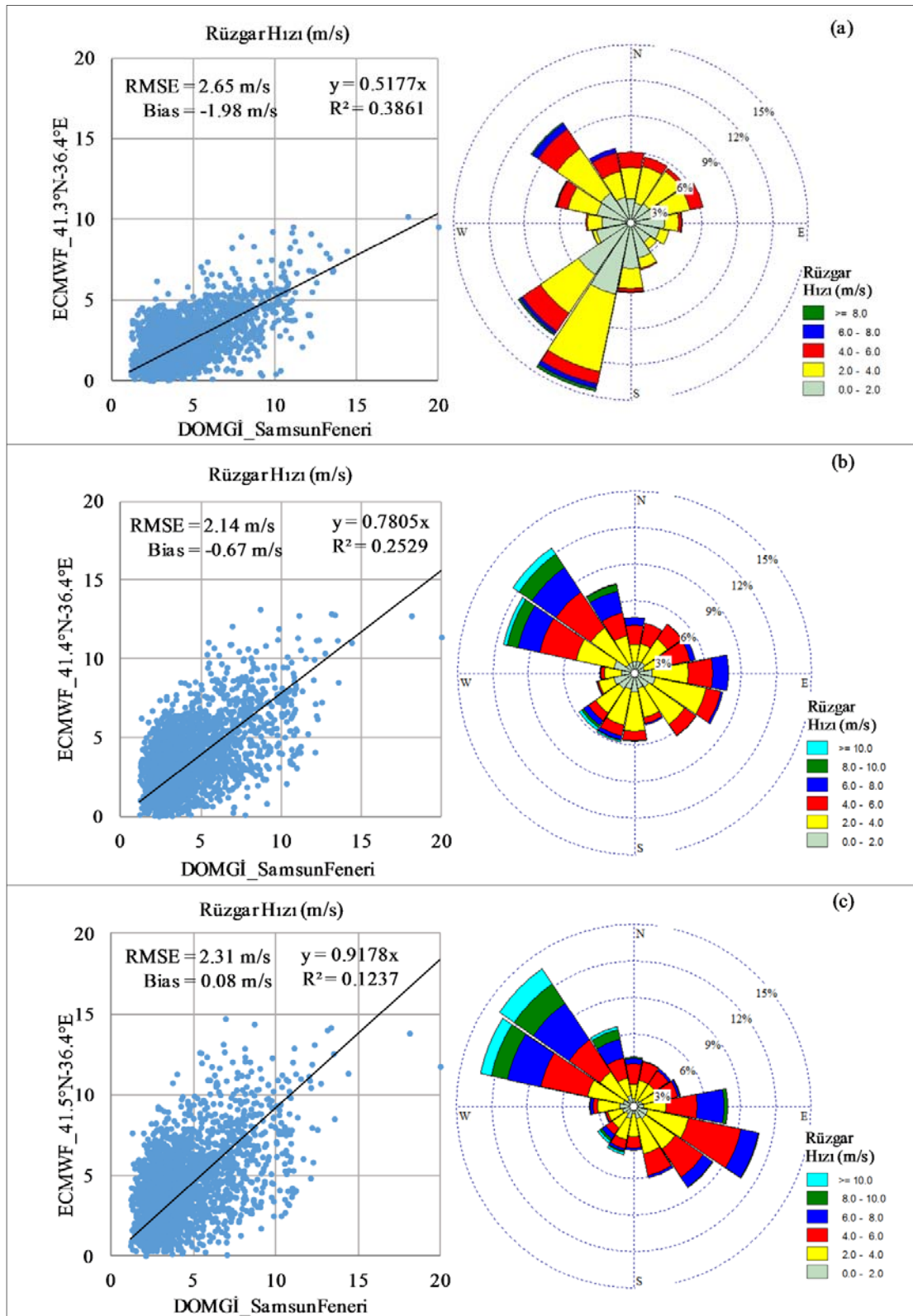
Samsun Körfezi için 41,4°N-36,4°E koordinatına ait ve HYDROTAM-3D veri tabanında mevcut 2000-2016 yılları arası 16 yıllık 6 saat aralıklı ECMWF operasyonel arşiv verileri kullanarak uzun dönem ve en büyük değer rüzgar istatistiği çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Rüzgar hızlarının yönlere göre oluşum oranları belirlenerek yıllık ve mevsimsel rüzgar gülleri hazırlanmıştır (Şekil 6). Aylık ortalama ve en uç değer rüzgar hızları da bir grafik olarak Şekil 7'de sunulmaktadır. Rüzgar hızlarının aylık ortalamaları, 2000-2016 yılları arasında, o ay içindeki tüm rüzgar hızlarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Aylık en yüksek değerler olarak, aynı sürelerde o ay içerisinde gözlenen aylık ortalama ve en yüksek, en düşük ve ortalama en büyük değerler (herhangi bir ay için, her yılın en yüksek değerlerinin ortalaması)

verilmektedir. Ayrıca, yıllara göre en yüksek rüzgar hızları ve esme yönleri de Şekil 8'de sunulmuştur. Şekil 6'da sunulan rüzgar gülleri değerlendirildiğinde, 16 yıllık genel durum için rüzgarların esme yönü baskın olarak denizden saat yönünde BatıKuzeyBatı-KuzeyKuzeyBatı (WNW-NNW) yönleri aralığındadır. Ayrıca, rüzgarın güneybatılı ve doğulu yönlerden de zaman zaman güçlü estiği görülmektedir. Mevsimsel duruma bakıldığında, rüzgarlar kış mevsiminde hem denizden BatıKuzeyBatı-KuzeyKuzeyBatı (WNW-NNW) yönleri aralığından, hem de karadan Güney-GüneyBatı (S-SW) yönleri aralığından etkili olarak esmektedir. Yaz mevsiminde ise etkin olarak denizden kuzeybatılı yönlerden estiği görülmektedir. Sonbahar mevsimi için de benzer şekilde kuzeybatılı yönler hakim rüzgar yönüdür. Ancak sonbahar mevsimi için rüzgar karasal yönlerden de geniş bir yelpazede esmektedir. İlkbahar mevsiminde ise kuzeybatılı denizel yönler yine hakim rüzgar yönü iken, karadan Doğu-DoğuGüneyDoğu (E-ESE) yönlerinden esen rüzgarlar ikincil yön olarak görülmektedir. Aylık ortalama rüzgar hızı değerleri 12 ay için ortalama 3,5 m/s civarındadır. En yüksek en büyük değer rüzgar hızları 11-15 m/s aralığında değişmektedir. Ortalama en büyük değer rüzgar hızları yaz aylarında, diğer aylara göre, nispeten daha düşük seviyelerde 8 m/s civarındadır. Kış döneminde ise 10 m/s'nin üzerindedir. İnceleme süresi içinde yıllara göre en yüksek hızı sahip rüzgarlar çoğunlukla kuzeybatılı yönlerden gerçekleşmiştir. Karadan esen rüzgarlar için kaydedilen en yüksek rüzgar hızı 12,7 m/s ile GüneyBatı (SW) yönünden, denizden esen rüzgarlar için de 14,7 m/s ile KuzeyBatı (NW) yönünden gerçekleşmiştir.

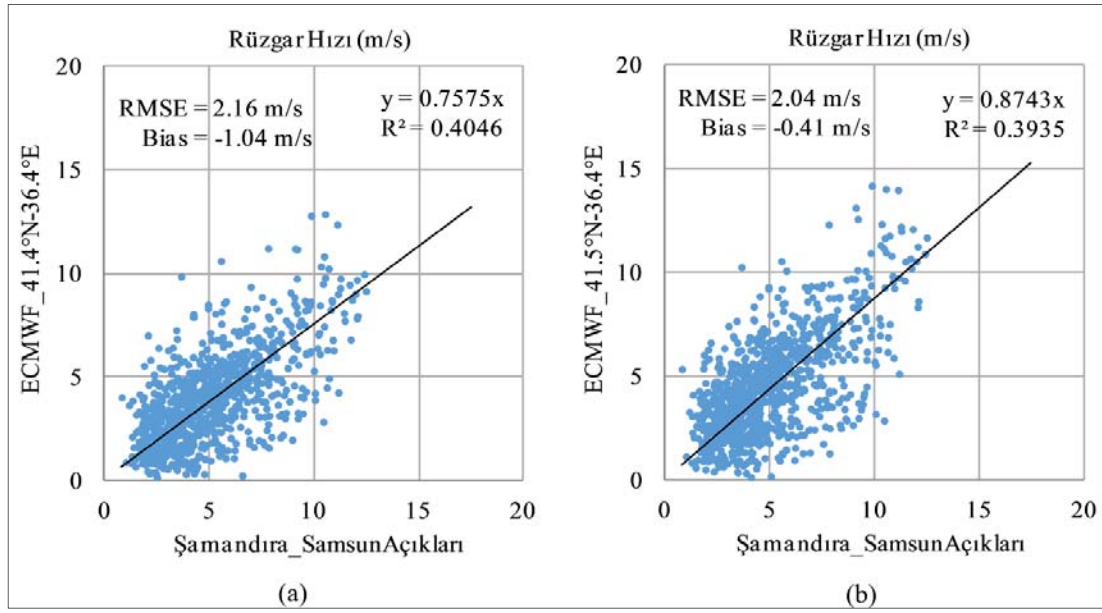
3. SAMSUN KÖRFEZİ DERİN DENİZ DALGA İKLİMİ (DEEP WATER WAVE CLIMATE OF SAMSUN BAY)

3.1. Derin Deniz Dalga Verisinin Belirlenmesi (Analysis of Deep Water Wave Data)

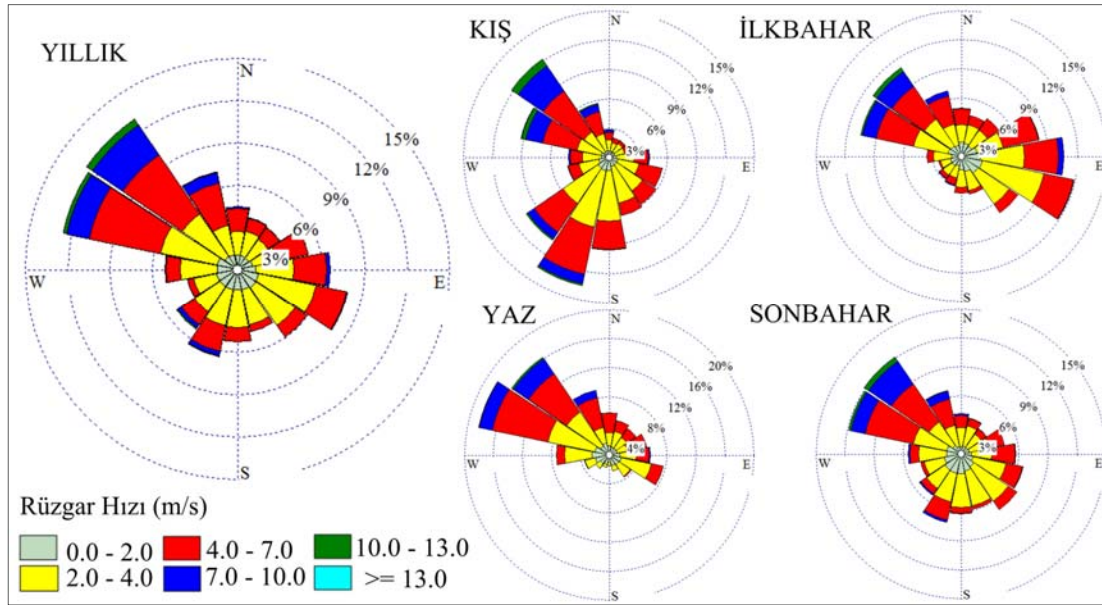
Samsun Körfezi'nde, dalga iklimi çalışmalarında kullanılabilir uzunlukta ölçülmüş dalga verisi bulunmamaktadır.



Şekil 4. DOMGI ölçülen rüzgar hızlarının ECMWF operasyonel arşiv tahminleri ile karşılaştırması ve rüzgar gülleri a) 41,3°N-36,4°E b) 41,4°N-36,4°E ve c) 41,5°N-36,4°E koordinatları
 (Comparison of DOMGI wind speed measurements with ECMWF operational archive predictions and wind roses at coordinates of (a) 41,3°N-36,4°E (b) 41,4°N-36,4°E and (c) 41,5°N-36,4°E)



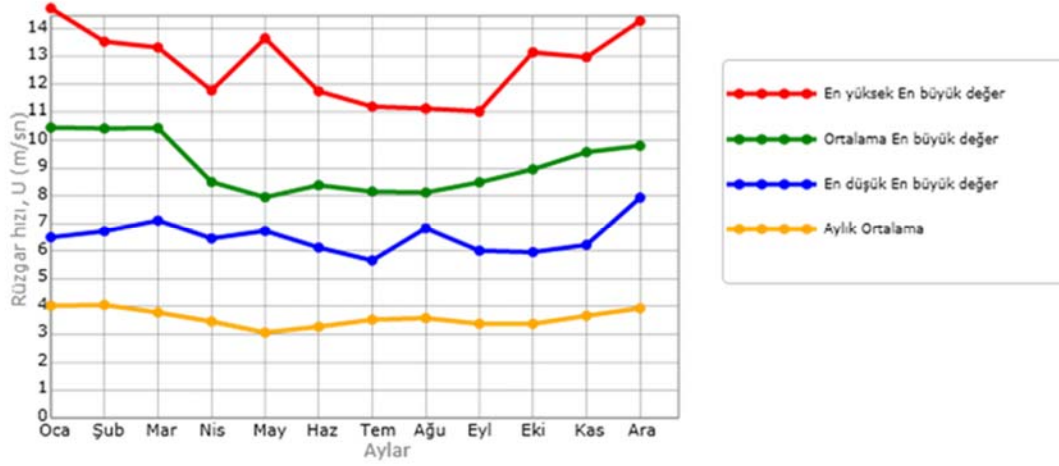
Şekil 5. ŞAMANDIRA rüzgar hızları ölçümlerinin ECMWF operasyonel arşiv tahminleri ile karşılaştırması a) 41,4°N-36,4°E ve b) 41,5°N-36,4°E koordinatları (Comparison of BUOY wind speed measurements with ECMWF operational archive predictions at coordinates of (a) 41,4°N-36,4°E and (b) 41,5°N-36,4°E)



Şekil 6. ECMWF operasyonel arşiv verisi 41,4°N-36,4°E koordinatı için yıllık ve mevsimsel rüzgar gülleri (Annual and seasonal wind roses for ECMWF operational archive predictions at coordinate of 41,4°N-36,4°E)

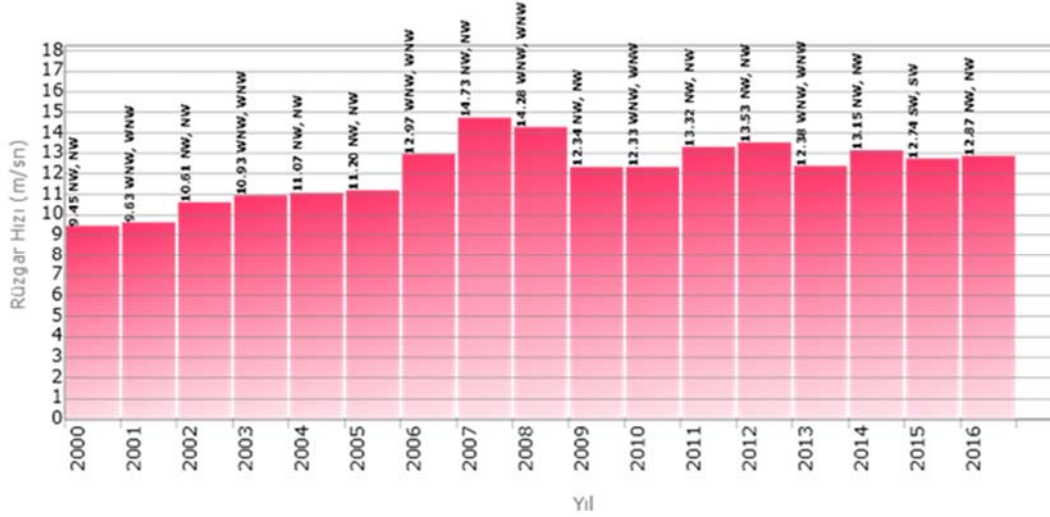
Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından körfez açıklarında su derinliğinin yaklaşık 280m olduğu derin deniz sularına yerleştirilen dalgaölçer ŞAMANDIRA'nın (Şekil 1) Mart 2015 ile Mart 2016 tarihleri arasında kaydettiği yaklaşık 1 yıllık saatlik dalga verisi ECMWF operasyonel arşiv derin deniz dalga tahminlerinin doğrulanması amacıyla kullanılmıştır. ECMWF dalga tahminlerini ünlü bir üçüncü kuşak dalga modeli olan WAM modeli ile gerçekleştirmektedir [8, 9]. ŞAMANDIRA'nın saatlik dalga verileri 6 saatlik ortalama dalga verilerine çevrilerek 41,5°N-36,4°E koordinatı (Şekil 1) için ECMWF'in aynı zamanlara

ait model tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 9'da derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ve ortalama dalga periyodları için saçılma grafikleri verilmektedir. Her iki veri seti için hazırlanan dalga gülleri ise Şekil 10'da sunulmuştur. ŞAMANDIRA ölçümleri, 41,5°N-36,4°E koordinatına ait ECMWF model tahminleri ile karşılaştırıldığında, gerek belirgin dalga yüksekliklerinin (RMSE<0,2m ve Bias<0,03m) ve ortalama dalga periyotlarının (RMSE<0,72s ve Bias<-0,33s) gerekse yön dağılımlarının oldukça iyi bir uyumu olduğu görülmektedir. Hem ölçümlere hem de tahminlere göre etkin dalga yönü kuzey batılı yönlere.



Şekil 7. ECMWF operasyonel arşiv verisi 41,4°N-36,4°E koordinatı için aylık ortalama ve en büyük değer rüzgar hızları (HYDROTAM-3D)

(Monthly mean and extreme values of wind speeds for ECMWF operational archive predictions at coordinate of 41,4°N-36,4°E)



Şekil 8. ECMWF operasyonel arşiv verisi 41,4°N-36,4°E koordinatı için yıllara göre en yüksek rüzgar hızları ve esme yönleri (HYDROTAM-3D)

(Annually maximum wind speeds and directions for ECMWF operational archive predictions at coordinate of 41,4°N-36,4°E)

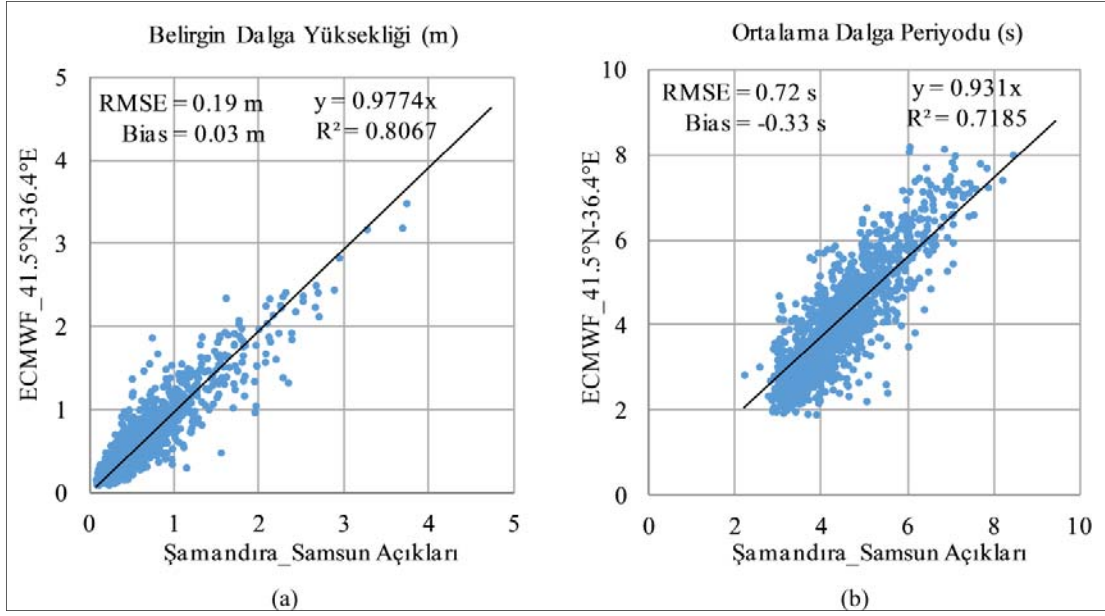
Karşılaştırmalar, ECMWF operasyonel arşiv dalga verilerinin Samsun Körfezi dalgalarını oldukça iyi temsil ettiğini ve körfezin dalga iklimi çalışmalarında kullanılabilirliğini göstermektedir. Körfezdeki konumu değerlendirildiğinde de rüzgar iklimi çalışmalarında olduğu gibi 41,4°N-36,4°E koordinatına ait ECMWF operasyonel arşiv verilerinin dalga iklimi çalışmasında da kullanılmasına karar verilmiştir.

3.2. Uzun Dönem ve En Büyük Değer Derin Deniz Dalga İstatistiği

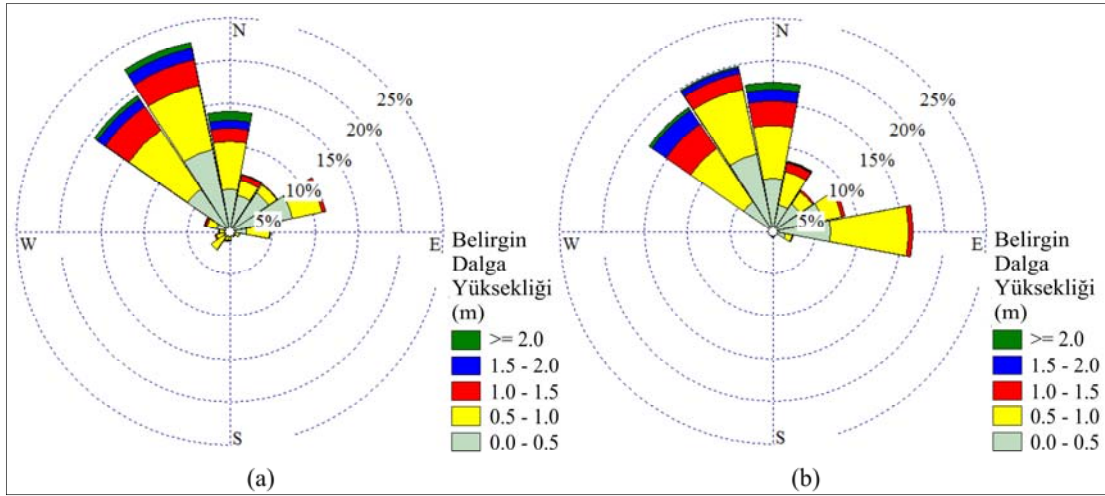
(Long Term and Extreme Value Deep Water Wave Statistics)

Samsun Körfezi'nin derin deniz dalga ikliminin belirlenmesi çalışmalarında, 41,4°N-36,4°E koordinatına ait ve HYDROTAM-3D veri tabanında mevcut, 2000-2016 yılları arası 16 yıllık 6 saat aralıklı ECMWF operasyonel arşiv

dalga tahminleri kullanılmıştır. Derin deniz belirgin dalga yüksekliklerinin uzun dönem dalga istatistiği, log-lineer dağılım kullanılarak çalışılmıştır. Samsun Körfezi için konum olarak en çok, saat yönünde, KuzeyBatı-Doğu (NW-E) yönleri aralığından gelecek dalgalar etkili olan dalgalar. KuzeyKuzeyBatı (NNW) yönü dalga verileri için elde edilen log-lineer dağılım örnek olarak Şekil 11'de verilirken, etkili tüm yönler için dağılım eşitlikleri ve yılda 1, 5 ve 10 saat aşılma olasılığı bulunan belirgin dalga yükseklikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Körfezin uzun dönem dalga istatistiği çalışmaları kapsamında, tüm yönler için, belirgin dalga yüksekliği (H_s) ile ortalama dalga periyodu (T_m) oluşum sıklıklarını gösteren ortak(bağlı) dağılım Tablo 2'de verilmiş ve aralarındaki ilişki Şekil 12'de gösterilmiştir. Tablo 2'de, 2 numaralı son kolonda verilen dalga periyotları, frekans ağırlıklı ortalama yöntemi ile hesaplanmıştır [22]. Örneğin, $H_s=2,875m$ ($2,75m \leq H_s < 3m$) dalga yüksekliğine



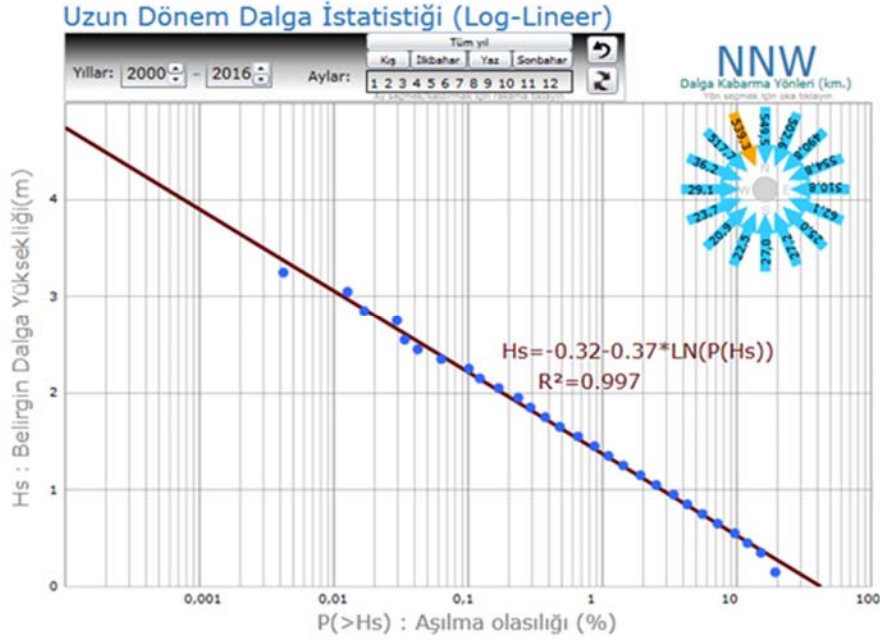
Şekil 9. ŞAMANDIRA dalga ölçümlerinin ECMWF operasyonel arşiv dalga tahminleri ile karşılaştırması a) belirgin dalga yüksekliği ve b) ortalama dalga periyotları (Comparison of BUOY wave measurements with ECMWF operational archive wave predictions for (a) significant wave heights and (b) mean wave periods)



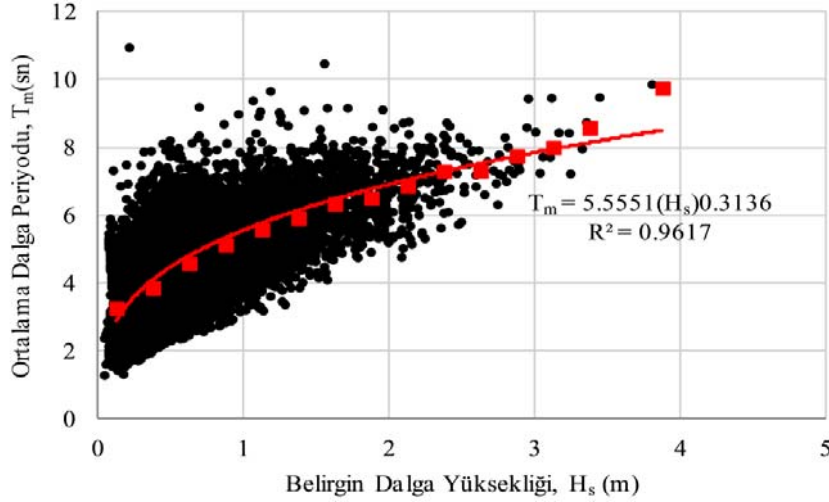
Şekil 10. Dalga gülleri (a) ŞAMANDIRA dalga ölçümleri ve (b) 41,5°N-36,4°E koordinatı ECMWF operasyonel arşiv tahminleri (Wave roses for (a) BUOY wave measurements and for (b) ECMWF operational archive wave predictions at 41,5°N-36,4°E)

karşılık gelen dalga periyodu $T_m = (7 \cdot 7,25 + 3 \cdot 7,75 + 2 \cdot 8,25 + 8,75 + 9,25) / 14 = 7,75$ sn olarak bulunmuştur. Şekil 12’de tüm verilerin saçılımı ve Tablo 2’de yer alan H_s ve T_m (kolon no 1 ve 2) arasındaki bağıntı ($T_m = 5,5551 H_s^{0,3136}$) sunulmaktadır. Benzer şekilde, KuzeyBatı-Doğu (NW-E) yönleri aralığındaki her bir yön için H_s - T_m bağıntısı bulunmuş ve Tablo 3’de özetlenmiştir. Yıllık ve mevsimlik dalga gülleri Şekil 13’de ve aylık ortalama ve en büyük değer belirgin dalga yükseklikleri Şekil 14’de sunulmaktadır. Yıllara göre belirlenen en yüksek belirgin dalga yükseklikleri için Gumbel dağılımı kullanılarak Samsun Körfezi’nin en büyük değer dalga istatistiği de çalışılmıştır. 41,4°N-36,4°E koordinatına ait

2000-2016 yılları arası ECMWF operasyonel arşiv derin deniz belirgin dalga yüksekliklerinin Gumbel dağılımı Şekil 15’de verilmektedir. Samsun Körfezi’nde ECMWF operasyonel arşiv derin deniz dalga tahminleri için gerçekleştirilen uzun dönem istatistik analizlerine göre saatin ilerleme yönünde KuzeyBatı-KuzeyKuzeyDoğu (NW-NNE) yönleri aralığından ilerleyen dalgalar Körfez’e etkin dalga olarak girmektedir. Etkin dalga ilerleme yön aralığından yılda 10 saat olasılıkla 2,0 m’den yüksek dalgalar yaklaşmaktadır. 4,0 m ve üzeri derin deniz belirgin dalga yüksekliğine sahip dalgaların beklenen yinleme süresi 25 yıldır. Yinleme süresi 100 yıl olan belirgin dalga yüksekliği yaklaşık 5,0 m ve dalga periyodu yaklaşık 9,0 s’dir.



Şekil 11. 41,4°N-36,4°E koordinatı ECMWF operasyonel arşiv dalga tahminleri Kuzey Kuzey Batı (NNW) yönü için log-linear dağılımı (HYDROTAM-3D)
(Log-linear distribution in North North West (NNW) direction for ECMWF operational archive wave predictions at 41,4°N-36,4°E)



Şekil 12. 41,4°N-36,4°E koordinatı 2000-2016 yılları arası tüm ECMWF operasyonel arşiv dalga tahminleri için Hs-Tm ilişkisi (Hs-Tm relationship for all ECMWF operational archive wave predictions at 41,4°N-36,4°E between years 2000-2016)

Tablo 1. 41,4°N-36,4°E koordinatı ECMWF operasyonel arşiv dalga tahminleri için yönlere göre log-linear dağılım eşitlikleri ve aşılma süreleri (HYDROTAM-3D)

(Directional log-linear distribution equations and exceedance times for ECMWF operational archive wave predictions at 41,4°N-36,4°E)

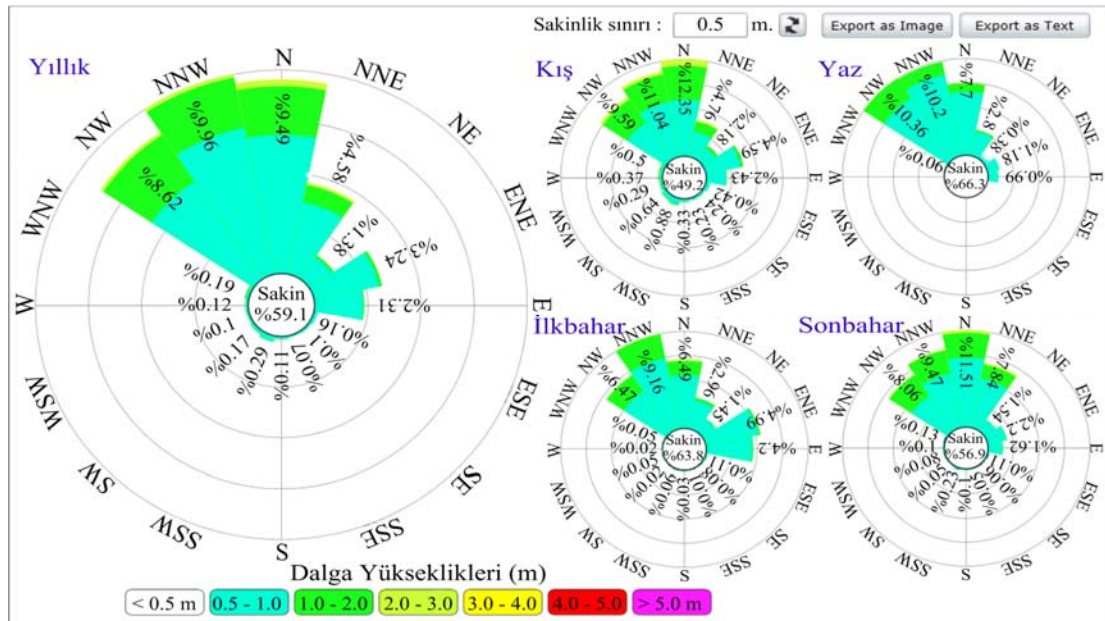
Yön	Log-linear Dağılım Eşitliği	Belirgin Dalga Yüksekliği, Hs (m)		
		1 saat/yıl	5 saat/yıl	10 saat/yıl
NW	$H_s = -0,190 - 0,329 * \ln(P(H_s))$	2,8	2,3	2,0
NNW	$H_s = -0,315 - 0,366 * \ln(P(H_s))$	3,0	2,4	2,2
N	$H_s = -0,455 - 0,425 * \ln(P(H_s))$	3,4	2,7	2,4
NNE	$H_s = -0,999 - 0,457 * \ln(P(H_s))$	3,2	2,4	2,1
NE	$H_s = -0,417 - 0,219 * \ln(P(H_s))$	1,6	1,2	1,1
ENE	$H_s = 0,031 - 0,141 * \ln(P(H_s))$	1,3	1,1	1,0
E	$H_s = -0,138 - 0,165 * \ln(P(H_s))$	1,4	1,1	1,0

Tablo 2. 41,4°N-36,4°E koordinatı 2000-2016 yılları arası tüm ECMWF operasyonel arşiv belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve ortalama dalga periyotları (T_m) tahminleri için oluşma sıklıklarına göre ortak(bağlı) dağılım (Joint distribution of significant wave heights(H_s) and mean wave periods(T_m) according to number of occurrences for all ECMWF operational archive wave predictions at 41,4°N-36,4°E between 2000-2016)

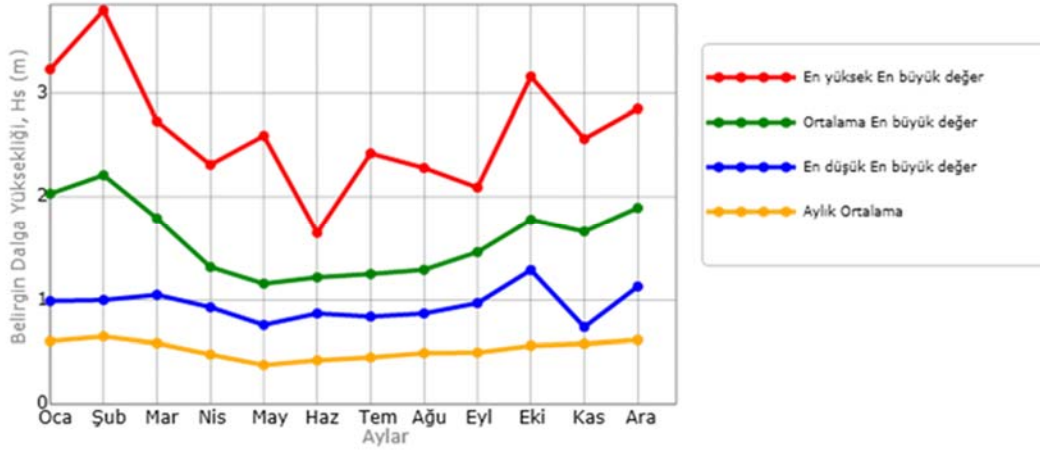
1	T_m (sn)																2			
H_s (m)	1,25	1,75	2,25	2,75	3,25	3,75	4,25	4,75	5,25	5,75	6,25	6,75	7,25	7,75	8,25	8,75	9,25	9,75	10,25	T_m (sn)
0,125	4	165	567	866	995	851	389	164	76	21	5	2	1	1	0	0	0	0	0	3,26
0,375	0	25	452	1232	1796	2173	2091	1344	535	224	58	33	16	4	3	0	0	0	0	3,86
0,625	0	0	7	187	517	670	935	1135	932	486	171	61	20	11	4	0	1	0	0	4,58
0,875	0	0	0	12	77	188	308	353	455	460	266	67	21	9	2	2	0	0	0	5,12
1,125	0	0	0	0	8	48	103	135	196	251	206	100	38	17	3	1	3	1	0	5,58
1,375	0	0	0	0	2	3	27	65	89	101	108	84	47	13	2	3	1	0	0	5,92
1,625	0	0	0	0	0	0	4	11	40	55	62	48	38	21	5	1	2	0	1	6,33
1,875	0	0	0	0	0	0	0	3	15	28	40	28	21	17	4	1	1	0	0	6,51
2,125	0	0	0	0	0	0	0	1	10	7	11	22	22	16	5	3	0	0	0	6,86
2,375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	7	11	11	8	2	0	0	0	7,30
2,625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	3	7	1	0	0	0	0	7,31
2,875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	3	2	1	1	0	0	7,75
3,125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3	0	1	0	0	8,00
3,375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	8,58
3,625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,75
3,875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3,26

Tablo 3. 41,4°N-36,4°E koordinatı 2000-2016 yılları arası ECMWF operasyonel arşiv dalga tahminleri için yönsel olarak H_s - T_m bağıntıları (Directional H_s - T_m equations for ECMWF operational archive wave predictions at 41,4°N-36,4°E between years 2000-2016)

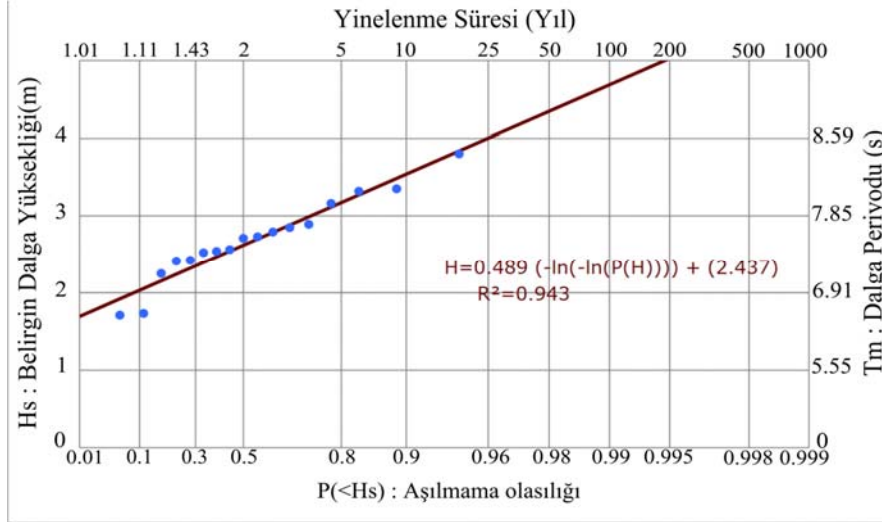
Yön	H_s - T_m Eşitliği	R^2
NW	$T_m=5,4500(H_s)^{0,1717}$	$R^2=0,9508$
NNW	$T_m=5,4168(H_s)^{0,2627}$	$R^2=0,9525$
N	$T_m=5,6878(H_s)^{0,2868}$	$R^2=0,9886$
NNE	$T_m=5,9321(H_s)^{0,3325}$	$R^2=0,9569$
NE	$T_m=5,1857(H_s)^{0,2472}$	$R^2=0,8466$
ENE	$T_m=5,4046(H_s)^{0,2852}$	$R^2=0,9559$
E	$T_m=4,2211(H_s)^{0,2011}$	$R^2=0,9722$
Tüm yönler	$T_m=5,5551(H_s)^{0,3136}$	$R^2=0,9617$



Şekil 13. 41,4°N-36,4°E koordinatı ECMWF operasyonel arşiv dalga tahminleri için yıllık ve mevsimlik dalga gülleri (HYDROTAM-3D) (Annual and seasonal wave roses for ECMWF operational archive wave predictions at 41,4°N-36,4°E)



Şekil 14. 41,4°N-36,4°E koordinatı ECMWF operasyonel arşiv dalga tahminleri için aylık ortalama ve en yüksek belirgin dalga yükseklikleri (HYDROTAM-3D)
(Monthly mean and extreme values of significant wave heights for ECMWF operational archive predictions at coordinate of 41,4°N-36,4°E)



Şekil 15. 41,4°N-36,4°E koordinatı ECMWF operasyonel arşiv dalga tahminleri için Gumbel dağılımı (HYDROTAM-3D) (Gumbel distribution for ECMWF operational archive wave predictions at coordinate of 41,4°N-36,4°E)

Şekil 13'de sunulan yıllık dalga gülüne göre, zamanın yaklaşık %60'ında dalga yüksekliklerinin 0,5 m'den az olması ve dalgaların, zamanın yaklaşık %28'inde etkin dalga ilerleme yönü aralığından yaklaşmaları beklenmektedir. Aylık ortalama belirgin dalga yüksekliği 0,6 m, aylık ortalama en büyük değer belirgin dalga yüksekliği de 1,7 m mertebesinde tahmin edilmektedir.

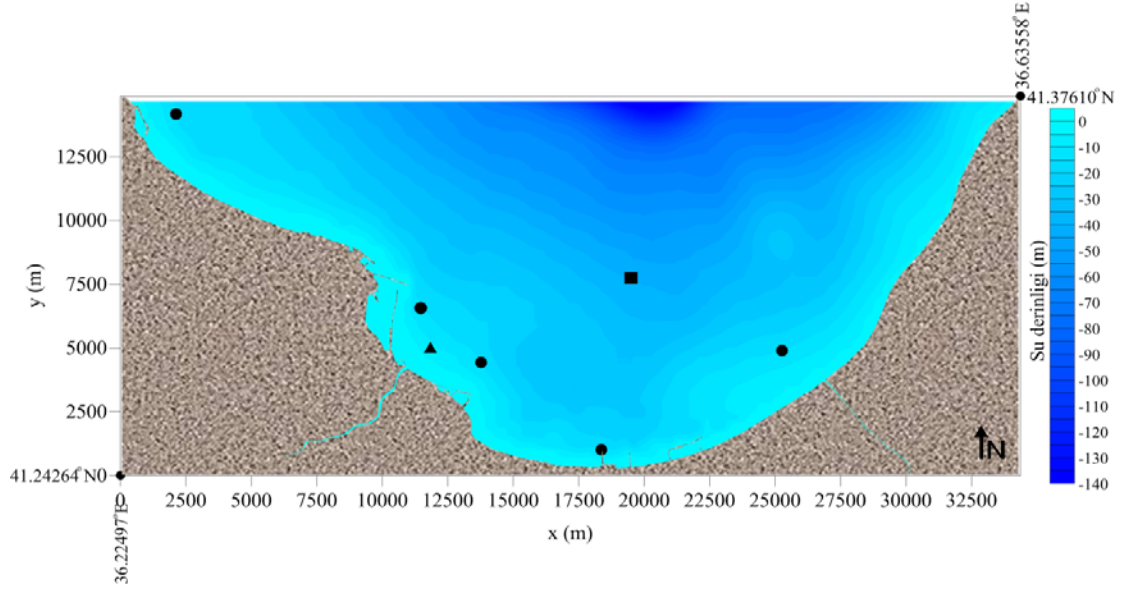
4. SAMSUN KÖRFEZİ AKINTI DÜZENİ (CURRENT PATTERN IN SAMSUN BAY)

Samsun Körfezi kıyısız alanında rüzgar, coriolis kuvveti, dalga, gelgit, yoğunluk farklılaşması etkenli akıntılar, HYDROTAM-3D üç boyutlu hidrodinamik, türbülans ve taşınım sayısal modeli kullanılarak benzeştirilmiştir. HYDROTAM-3D türbülans alt modeli olarak üç boyutlu kinetik enerji ve sönmülme hızı (k-ε) modelini içermektedir. Modelde, türbülanslı hareket ile ortalama hareket arasındaki bağlantı, düşey ve yatay eddy vizkoziteler

ve düşeyde ve yatayda eddy difüzyonu ile oluşan kütle yer değişimi ile sağlanmaktadır [4]. Yüzey su alanının, su derinliğine oranla büyük olduğu Körfez kıyısız sularında, çevrıntilerin yatay ve düşey yönlerdeki türbülans yoğunluğu da önemli ölçüde farklılaşmaktadır [4]. Düşey ve yatay uzunluklardaki bu farklılık izotropik olmayan bir durum yaratmakta, bu nedenle, türbülans modelinde yatay ve düşeyde birbirinden farklı olarak hesaplanan eddy vizkozitesi değerleri de benzeştirmelerin başarısını artırmaktadır. Modelde tüm eddy vizkozite ve difüzyon parametreleri yere ve zamana göre değişken olup k-ε türbülans modeli ve matematiksel Smagorinsky türbülans modeli ile hesaplanmaktadır [4].

4.1. Model Girdileri (Model Inputs)

Zamana göre çözümleme yapan HYDROTAM-3D modelinin girdiler, batimetri ve topografya, rüzgar şiddeti ve yönü zaman serisi, nehir gibi su kaynakları var ise



Şekil 16. Akıntı düzeni modelleme alanı su derinlikleri ve ölçüm noktaları; ●,▲: fiziksel parametreler, ▲: akıntı, ■: model akıntı gülü

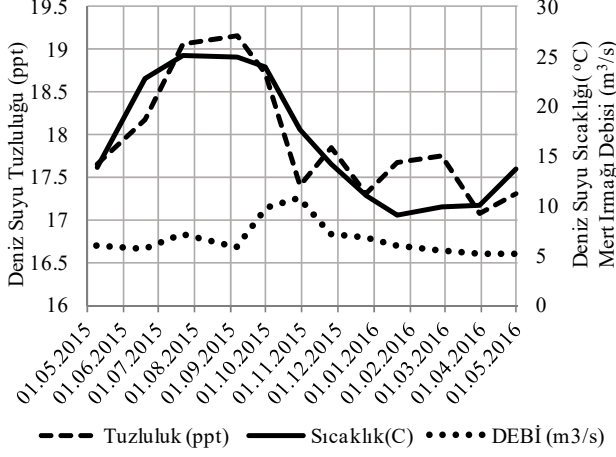
(Water depths in current pattern modelling domain and measurement points; ●,▲: physicochemical parameters, ▲: current, ■: model current rose)

debilerinin zaman serisi, başlangıç zamanında($t=0$) akıntı, su tuzluluğu ve sıcaklığı, gelgit seviyesi ve periyodudur. Modelin Samsun Körfezi'ne uyarlanması için öncelikle alana ait Seyir ve Hidrografi Dairesi Başkanlığı 131 ve 1311 numaralı deniz haritaları sayısallaştırılmış ve modelleme alanının batimetri ve topografya verileri hazırlanmıştır (Şekil 16). Şekil 16'da gösterilen modelleme alanı $41,24264^{\circ}\text{N}$ - $36,22497^{\circ}\text{E}$ ile $41,37610^{\circ}\text{N}$ - $36,63558^{\circ}\text{E}$ koordinatları arasındaki x-yönünde(E-W) 34370 m ve y-yönünde(N-S) 14856 m uzunluğunda dikdörtgen bir alanı kapsamaktadır. Derinlik boyunca deniz tabanını takip eden altı tabaka, yatayda ise $712\text{m}\times 730\text{m}$ uzunluklarında çözüm ağı kullanılmıştır. Model zamana göre kapalı çözümleme yapmakta ve zaman adımı, seçilen çözüm ağı uzunluklarına göre otomatik kalibrasyonla hesaplanarak koşulsuz kararlı bir çözüm uygulanmaktadır [4]. Gazi Üniversitesi Deniz ve Su Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (GÜ-DENAM) tarafından, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM)'nin yürütücülüğünü yaptığı, Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın "Türkiye'de havza bazında hassas alanların ve su kalitesi hedeflerinin belirlenmesi" projesi kapsamında, Samsun Körfezi kıyı sularında, Mayıs 2015 ile Mayıs 2016 tarihleri arasında, her ay 6 farklı noktada, deniz suyu fiziksel parametreleri (Şekil 16, ▲ ve ●) ve iki ayda bir akıntı ve su seviyesi (Şekil 16, ▲), ölçümlenmiş ve modelin veri tabanına aktarılmıştır. Ölçümler, yılın her ayı için, modelleme alanına ilişkin su tuzluluğu ve sıcaklığı değerlerini sağlamıştır. Model veri tabanından alınan bu ölçümler lineer olarak interpolasyon yöntemiyle günlük değerlere çevrilmiş, günlük zaman serisi olarak modele verilmiştir. Modelleme çalışmalarında kullanılan su sıcaklık ve tuzluluk değerleri, her ay için, ölçüm yapılan altı farklı noktanın ortalaması olarak Şekil 17'de sunulmuştur. Rüzgar verisi girdileri, yapılan akıntı düzeni çalışmasının amacına uygun olarak, rüzgar iklimi bölümünde anlatılan çalışmalar

doğrultusunda seçilmiştir. Akıntı düzeni sayısal çalışmalarında iki ayrı çalışma yürütülmüştür. Birincisi ölçüm tarihlerini kapsayan Mayıs 2015 ile Mayıs 2016 tarihleri arasında $41,4^{\circ}\text{N}$ - $36,4^{\circ}\text{E}$ koordinatına ait ECMWF altışar saatlik rüzgar verilerini kullanan akıntı tahminleri, ikincisi ise akıntı gülünü oluşturmak için $41,4^{\circ}\text{N}$ - $36,4^{\circ}\text{E}$ koordinatına ait 2000-2016 yılları arasındaki 16 yıllık ortalamaları alınan altışar saatlik zaman serisi halinde tüm ECMWF operasyonel arşiv rüzgar verileri ile yapılan akıntı tahminleridir. Model veri tabanından amaca uygun olarak seçilen altışar saatte bir değişen zaman serisi halindeki rüzgar verileri ile bir yıl boyunca akıntı tahminleri yapılmıştır.

Modelleme alanında yer alan Mert Irmağı (Şekil 1)'nin debileri, Devlet Su İşleri, Etüt Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı, Rasatlar Şube Müdürlüğü'nde temin edilerek veri tabana yüklenmiştir. Modelde noktasal kaynak girdisi olarak kullanılan, Mert Irmağı'nın 2007-2016 yılları arası tüm günlük debi ölçümlerinin ortalamaları, bir yıllık modelleme süresini temsil edecek şekilde Şekil 17'de verilmiştir. Modelleme çalışmalarında, ölçüm tarihleri arasındaki (2015-2016) bir yıllık akıntı tahminlerinde, Mert Irmağı debileri için o sürece ait günlük debilerin zaman serisi, ortalama akıntı düzeninin belirlendiği çalışmada ise, 2007-2016 yılları arası günlük debilerin ortalamaları ile oluşturulan 1 yıllık debi zaman serisi kullanılmıştır. Başlangıç zamanında($t=0$), benzeştirmelere akıntuların olmadığı sakin su seviyesi yaklaşımı ile başlanmakta olup su derinlikleri, topografya, su tuzluluğu, su sıcaklığı ve debi verileri, veri tabanından otomatik olarak HYDROTAM-3D modeline girdi olarak aktarılmaktadır. Modelde, Türkiye kıyılarında görülen M2 tipi gelgit tanımlanmış, gelgit dalgası yüksekliği 50 cm ve gelgit periyodu 12,42 saat olarak alınmıştır [4]. Açık deniz sınırı yatay bir sınırdır ve su

alanının içine ya da dışına doğru akıntı olabilmektedir. Açık deniz sınırında radyasyon tipi sınır koşulu tanımlaması ile konveksiyon, gelgit dalgası hızı ve su düzeyi değişimi hesaplanmaktadır [4].

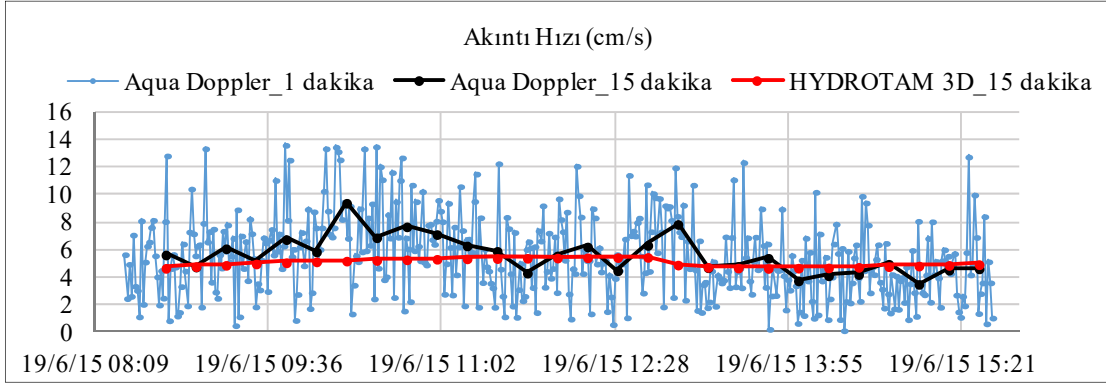


Şekil 17. Aylık ortalama deniz suyu tuzluluk ve sıcaklık ölçümleri, günlük ortalama Mert Irmağı debisi (Mean of monthly measurements for seawater salinity and temperature and mean of daily measurements for discharge of Mert River)

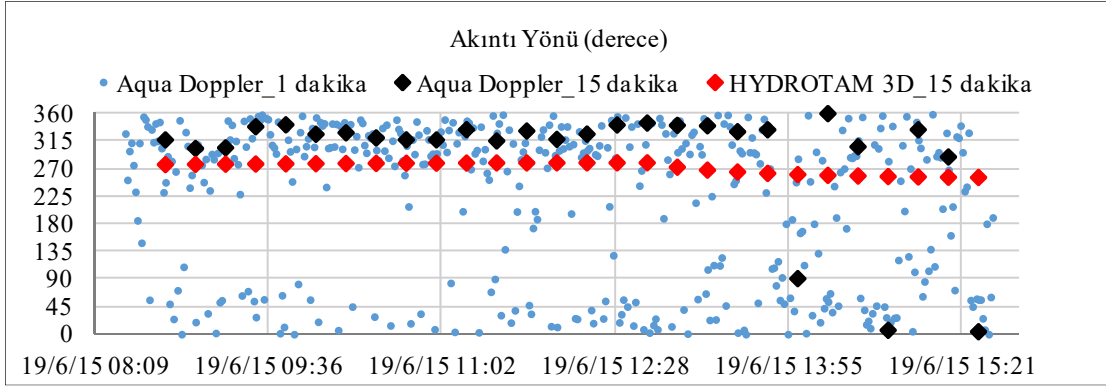
4.2. Model Çıktıları (Model Outputs)

Akıntı ölçümleme çalışmalarında, Nortek Aqua Doppler ve Nortek AWAC akıntı ölçerler ile birlikte, ayrıca, koşulların uygun olduğu zamanlarda, akıntı ile aynı anda sürüklenen Davies yüzekleri kullanılmıştır. Akıntı ölçerler ile tek bir noktadaki akıntının zaman serisi, GPS li Davies yüzeklerini izleme çalışması ile zamanla değişen akıntı yolları ve hızları elde edilmektedir. Akıntı ölçümlerinde kullanılan AWAC ve Doppler cihazları, güvenlik nedeni ile sahada uzun süre bırakılamamıştır. Doppler cihazı yerleştirildiği noktada ölçüm yapabilmektedir. Bu çalışmada Doppler yüzey tabakasına yerleştirilmiştir. Akıntı ile sürüklenen GPS yerleştirilmiş Davies yüzekleri de yine yüzey tabakasının akıntı düzenini izlemek için kullanılmıştır. Tekne üzerinden halatlar yardımıyla su tabanına yerleştirilen AWAC cihazı ile iki kez derinlik boyunca akıntı ölçümleme çalışması yapılmış, ancak çalışmanın birinde tabanda oluşan gömülme nedeni ile ölçümler sağlıklı olamamıştır. Bu nedenle derinlik boyunca yeterli sayıda akıntı ölçümü mevcut değildir. Sabah saatlerinde başlatılan akıntı ölçümleme çalışmaları, hava şartlarına bağlı olarak ancak en fazla 6 saat sürekli olarak gerçekleştirilebilmiştir. Akıntı ölçüm çalışmaları ile Mayıs 2015-Mayıs 2016 tarihleri arasındaki 1 yıllık dönemi temsilen, haziran, ağustos, ekim, aralık, şubat ve nisan aylarına ait 3-6 saat arasında değişen toplam 6 adet yüzey akıntıları ve su seviyesi ölçüm kayıtları mevcuttur. Su seviyesi ölçümleri kısa süreli oldukları için sakin su seviyesi ayırımı sağlıklı olarak yapılamamış bu nedenle su seviyesi ölçümleri karşılaştırma çalışmalarında değerlendirilememiştir. Modelleme çalışmalarında, Bölüm 4.1.'de anlatılan model girdileri ile ölçüm tarihleri arasında (Mayıs 2015-Mayıs 2016) kapsayan bir yıllık akıntı tahminleri yapılmış, 15 dakikada bir yapılan tahminlerinin

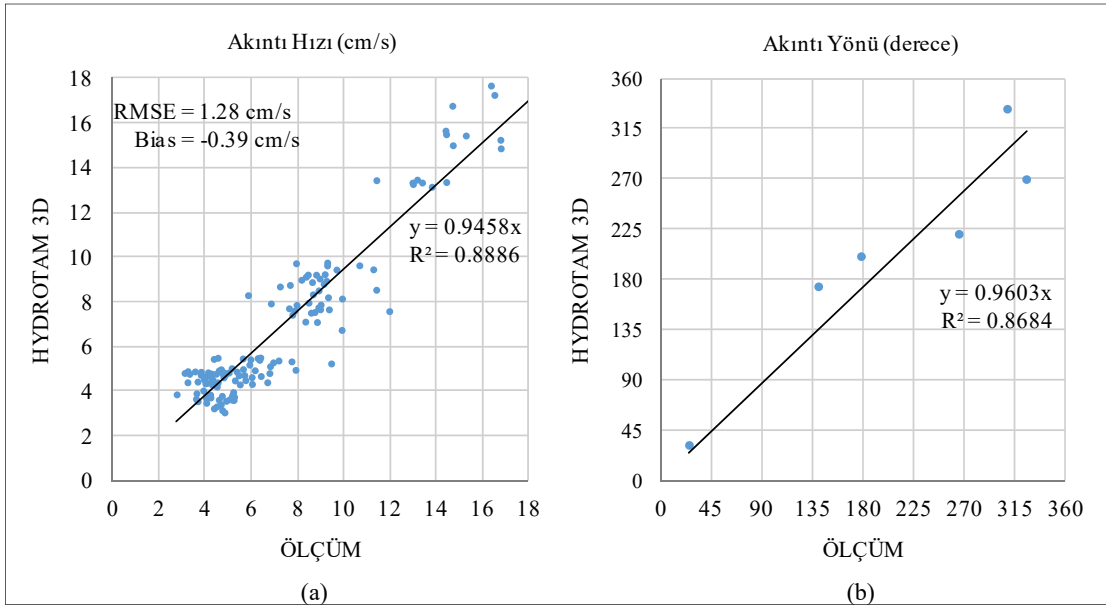
çıktıları alınmıştır. Model çıktılarının zaman serisinin bir örneği olarak, 19 Haziran 2015 günü, Samsun Körfezi Mert Irmağı kıyısız alanında su derinliğinin yaklaşık 10 m olduğu bir noktada (Şekil 16, ▲) gerçekleştirilen çalışmada yüzey tabakasında kaydedilen akıntı hızları ve yönlerinin HYDROTAM-3D ile aynı süre için yapılan model tahminleri ile karşılaştırması, sırası ile Şekil 18 ve Şekil 19'da verilmektedir. Şekil 18 ve Şekil 19'da sunulan örnek zaman serisi karşılaştırmaları, model tahminlerinin ölçülen yüzey akıntı hız ve yön aralığını başarı ile benzeştirmekte olduğunu göstermektedir. Ölçülen akıntı hızlarının 15 dakikalık ortalamaları ve HYDROTAM-3D ile yapılan akıntı hızı tahminleri karşılaştırıldığında, doğulu (ENE-ESE) yönlerden, 3-5 m/s hız aralığında esmekte olan rüzgarların yüzey sularına aktardığı kesme kuvveti etkisinde, batılı (W-NW) yönlere doğru, ortalama 4-8 cm/s hızlarda kıyısız akıntılar oluştuğu görülmektedir. Benzer uyum diğer tüm ölçümler için de elde edilmiştir. Sahada yürütülen 6 adet akıntı ölçümlerinin ve ölçüm döneminin tümünü kapsayan (Mayıs 2015-Mayıs 2016) bir yıllık akıntı düzeni modelleme çalışmasında ölçümlere karşılık gelen zaman aralıklarındaki model tahminlerinin tamamı için, akıntı hızlarının 15 dakikalık ortalamaları ve akıntı yönlerinin ölçüm dönemi ortalamaları (3-6 saat arasında değişen her bir kayıt için 1 adet akıntı yönü) Şekil 20'deki saçılma grafiklerinde karşılaştırılmaktadır. Grafikler incelendiğinde HYDROTAM-3D model tahminlerinin gerek akıntı hızları, gerekse akıntı yönleri olarak saha gözlemleri ile uyumlu olduğu (Bias<-0,4 cm/s, RMSE<1,3 cm/s) görülmekte, model girdilerinin başarısı doğrulanmaktadır. Samsun Körfezi kıyısız sularına uyarlanan ve ölçüm çalışmaları ile karşılaştırılan HYDROTAM-3D, Bölüm 4.1.'de verilen model girdileri ile bu kez Körfez akıntı düzeninin belirlenmesi çalışmalarında kullanılmıştır. Bu çalışmada, Körfezin rüzgar ve dalga iklimi çalışmalarında uygunluğu doğrulanmış 41,4°N-36,4°E koordinatına ait 2000-2016 yılları arasındaki 16 yıllık tüm ECMWF operasyonel arşiv rüzgar ve dalga verileri ile akıntı düzeni modelleme çalışması yapılmıştır. Modellenen akıntı düzenlerine ait, su derinliğinin yaklaşık 10 m (Şekil 16, ▲:akıntı ölçüm noktası) ve 40 m (Şekil 16, ■) olduğu iki nokta için hazırlanan yıllık yüzey tabakası ve taban tabakası akıntı gülleri sırası ile Şekil 21 ve Şekil 22'de sunulmuştur. Samsun Körfezi kıyısız alanında, açık denizle en kuvvetli su alışverişini sağlayan yön aralığı saat yönünde Batı Kuzey Batı-Kuzey Kuzey Batı (WNW-NNW) yön aralığıdır. Şekil 21 incelendiğinde, akıntı ölçümleme çalışmalarının da yürütüldüğü, su derinliğinin yaklaşık 10 m olduğu (Şekil 16, ▲) yakın kıyı noktasında, yüzey akıntılarının yaklaşık, %27 oranında 10-15 cm/s, %55 oranında 15-20 cm/s, %16 oranında 20-25 cm/s hızlarında olduğu görülmektedir. Yüzey suları, 15cm/s ve üzeri akıntı hızları ile, sıklıkla (yaklaşık %56), GüneyDoğu-Güney (SE-S) hakim yön aralığında sürüklenmektedirler. Taban tabakalarında ise akıntılar yaklaşık %31 oranında 2-4 cm/s, %33 oranında 4-6 cm/s, %14 oranında 6-8 cm/s, %18 oranında 8-10 cm/s hızlarındadır. Taban tabakası suları, 4 cm/s ve üzeri akıntı hızları ile sıklıkla (yaklaşık %51) KuzeyKuzeyDoğu-KuzeyDoğu (NNE-NE) hakim yön aralığında hareket etmektedirler.



Şekil 18. Ölçülen yüzey kıyısak akıntı hızları ve HYDROTAM-3D model tahminlerinin karşılaştırması (Comparison of measured surface coastal current velocities and HYDROTAM-3D model predictions)



Şekil 19. Ölçülen yüzey kıyısak akıntı yönleri ve HYDROTAM-3D model tahminlerinin karşılaştırması (Comparison of measured surface coastal current directions and HYDROTAM-3D model predictions)

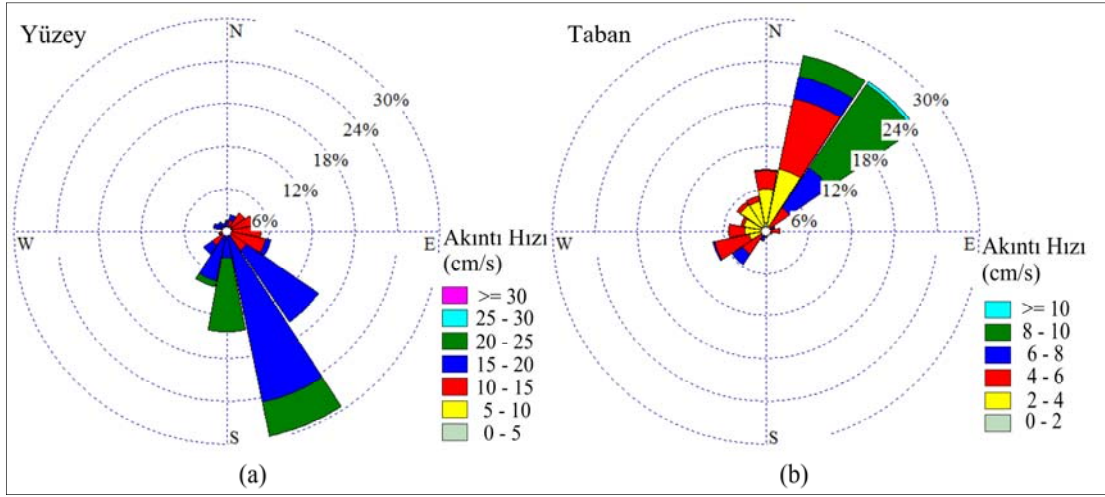


Şekil 20. Akıntı ölçümlerinin HYDROTAM-3D model tahminleri ile karşılaştırması: (a) akıntı hızı ve (b) akıntı yönü (Comparison of measured coastal currents and HYDROTAM-3D model predictions (a) velocity (b) direction)

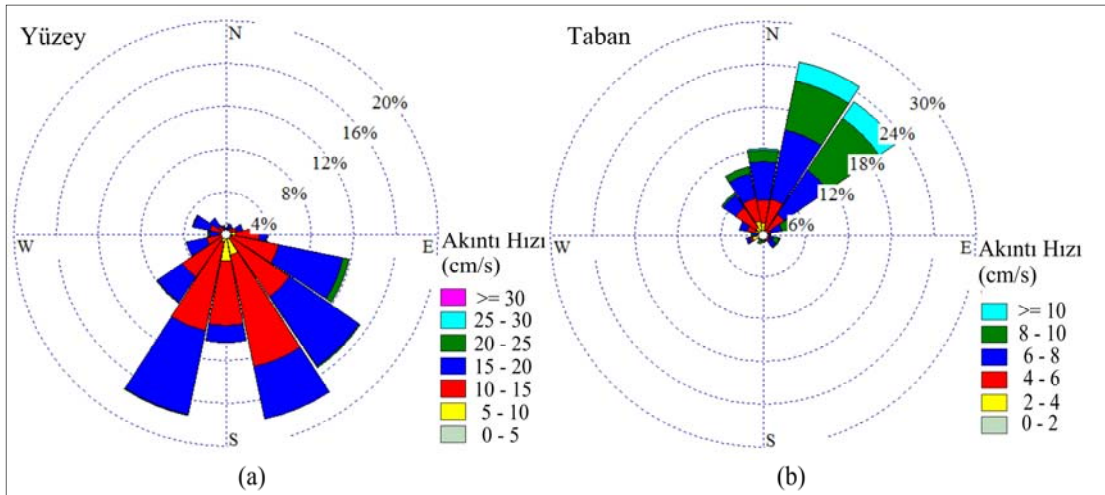
Şekil 22 incelendiğinde, su derinliğinin yaklaşık 40 m olduğu (Şekil 16, ■) açık kıyı noktasında, yüzey akıntılarının, yaklaşık %8 oranında 5-10 cm/s, %51 oranında 10-15 cm/s, %39 oranında 15-20 cm/s ve %1 oranında 20 cm/s den büyük hızlarda olduğu görülmektedir. Yüzey suları, 10cm/s ve üzeri akıntı hızları ile, sıklıkla (yaklaşık %45), GüneyDoğu-Güney (SE-S) hakim yön aralığında sürüklenmektedirler. Yakın kıyı sularından farklı olarak Körfez açık sularında, ikincil yön olarak (yaklaşık %25), yüzey sularının 10 cm/s ve üzeri akıntı hızları ile GüneyGüneyBatı-GüneyBatı (SSW-SW) yönlerine doğru sürüklenmekte oldukları görülmektedir. Taban tabakalarında ise akıntılar, yaklaşık %10 oranında 2-4 cm/s, %24 oranında 4-6 cm/s, %36 oranında 6-8 cm/s, %23 oranında 8-10 cm/s ve %6 oranında 10 cm/s den büyük hızlardadır. Taban tabakası suları, 4 cm/s ve üzeri akıntı hızları ile sıklıkla (yaklaşık %48), KuzeyKuzeyDoğu-KuzeyDoğu (NNE-NE)

hakim yön aralığında sürüklenmektedirler. Örnek olarak, hakim KuzeyBatı (NW) yönünden 5m/s hızla esen rüzgarlar etkisinde Körfezde yatışkın durumda oluşan tipik yüzey ve taban tabakası akıntı düzenleri, su düzeyi değişimi sırasıyla Şekil 23, Şekil 24 ve Şekil 25’de sunulmuştur. Aynı benzeştirme için ölçümleme noktasındaki (Şekil 16, ▲) derinlik boyunca akıntı hızlarının ve yönlerinin değişimi Şekil 26’da verilmiştir.

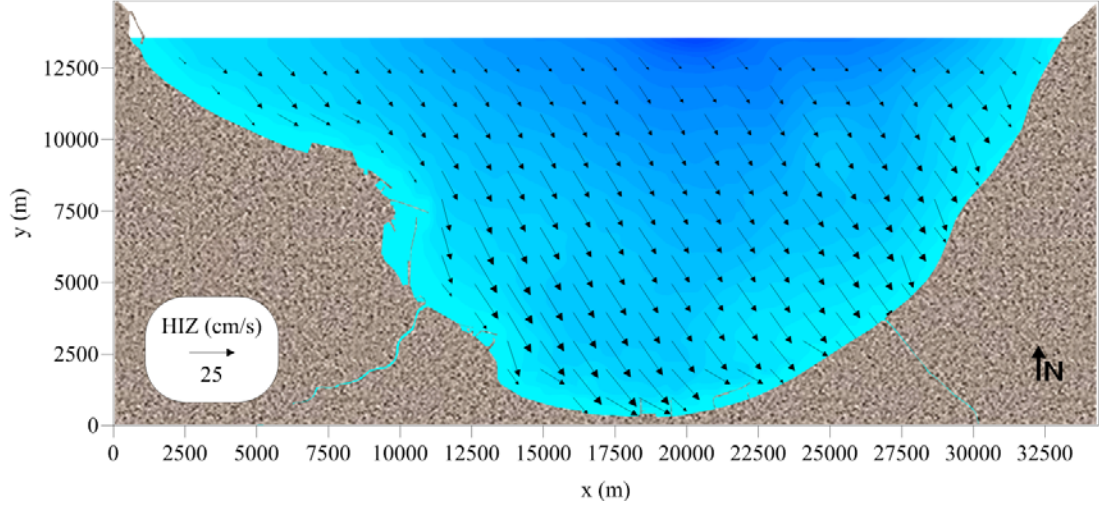
Ölçümler ve modelleme çalışmaları, Samsun Körfezi’nde akıntılar ile taşınım için hakim yönün batıdan doğuya doğru olduğunu göstermektedir. Yüzey suları baskın olarak güneydoğulu yönlerde doğru sürüklenirken, kıyıya doğru su düzeyinde artışa sebep olan bir deniz yüzeyi eğimi yaratmaktadırlar. Oluşan bu barotropik basınç değişimi, taban tabakalarında akıntı yönünün baskın olarak kuzeybatılı yönlerde dönmeye neden olmaktadır.



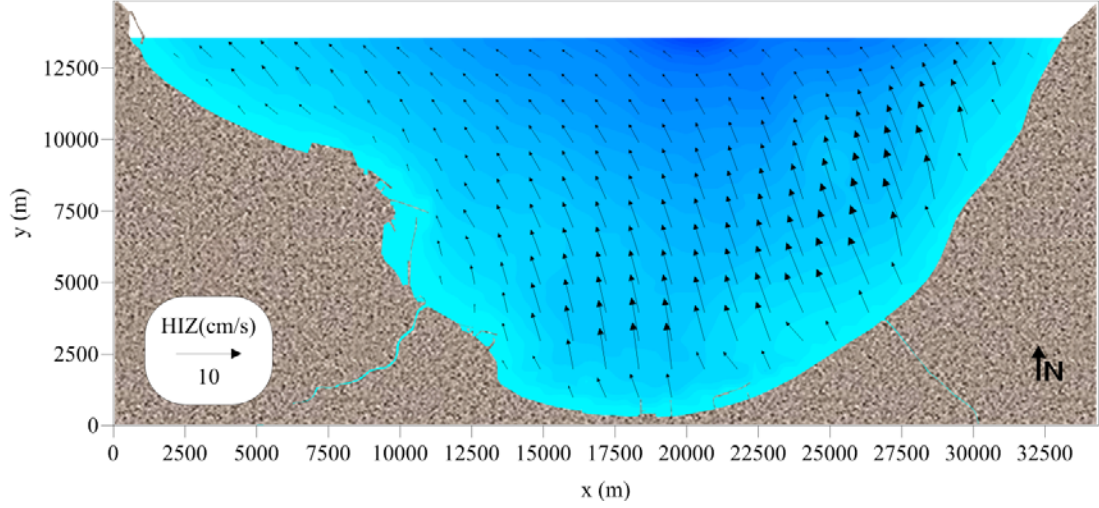
Şekil 21. Model sonuçlarına göre yüzey ve taban tabakalarında yıllık kıyusal akıntı gülleri (Şekil 16, ▲, Su derinliği=10m)
(Annual coastal current rose for model predictions at the surface and bottom layers, (Figure 16, ▲, Water depth=10m))



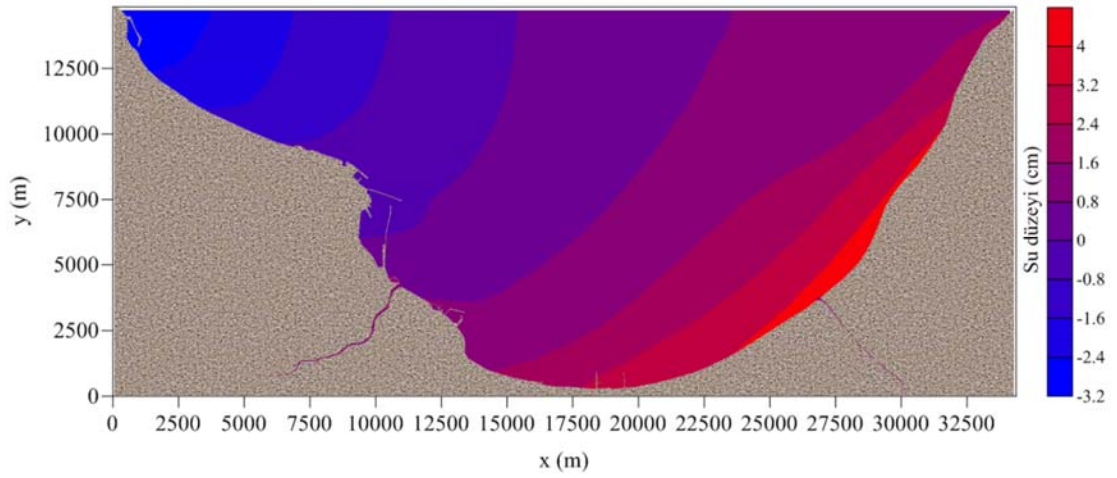
Şekil 22. Model sonuçlarına göre yüzey ve taban tabakalarında yıllık kıyusal akıntı gülleri (Şekil 16, ■, Su derinliği=40m)
(Annual coastal current rose for model predictions at the surface and bottom layers, (Figure 16, ■, Water depth=40m))



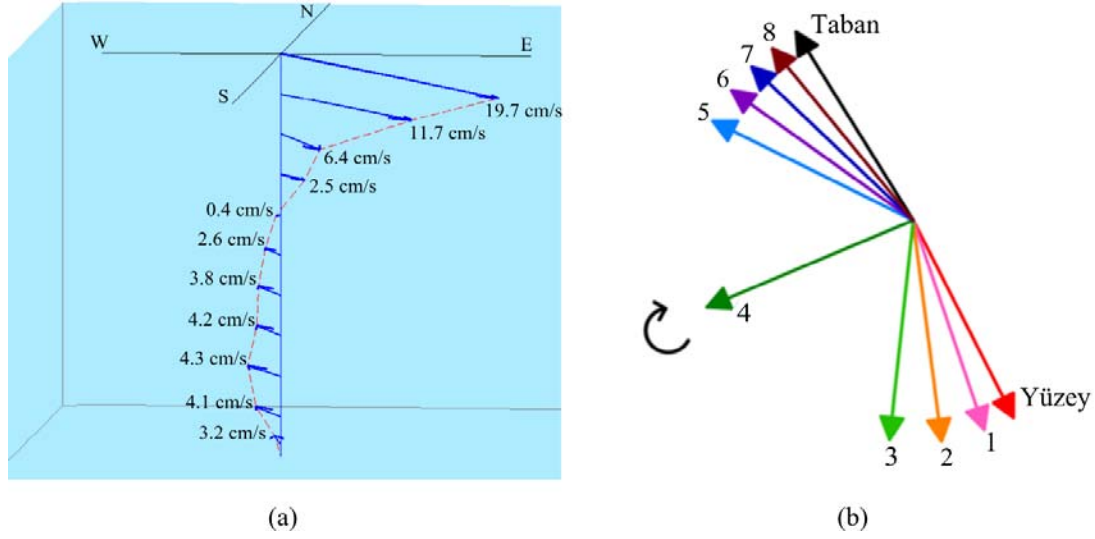
Şekil 23. KuzeyBatı (NW)dan 5m/s hızla esen rüzgarlar etkisinde yatışkın durumda yüzeyde akıntı düzeni (Current pattern at the surface layer due to wind blowing from Northwest with a speed of 5 m/s at the steady state)



Şekil 24. KuzeyBatı (NW)dan 5m/s hızla esen rüzgarlar etkisinde yatışkın durumda tabanda akıntı düzeni (Current pattern at the bottom layer due to wind blowing from Northwest with a speed of 5 m/s at the steady state)



Şekil 25. KuzeyBatı (NW)dan 5m/s hızla esen rüzgarlar etkisinde yatışkın durumda su düzeyi değişimi (Water surface elevation due to wind blowing from Northwest with a speed of 5 m/s at the steady state)



Şekil 26. KuzeyBatı (NW)dan 5m/s hızla esen rüzgarlar etkisinde yatışkın durumda ölçümleme noktasında (Şekil 16, ▲) derinlik boyunca a) akıntı hızlarının değişimi b) akıntı yönlerinin değişimi

(a) Current speed changes b) current direction changes throughout the water depth due to wind blowing from NorthWest (NW) with a speed of 5 m/s at the steady state (Figure 16, ▲)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Samsun Körfezi kıyısız sularının, rüzgar iklimi, dalga iklimi ve akıntı düzeni belirleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda, saha ölçümleri, Samsun Bölge Meteoroloji İstasyonu ölçümleri, Deniz Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu ölçümleri, Körfez derin sularındaki dalgaölçer şamandıra ölçümleri, ECMWF operasyonel arşiv tahminleri ve HYDROTAM-3D üç boyutlu hidrodinamik, türbülans ve taşınım sayısal modeli tahminleri kullanılmıştır. Samsun Körfezi kıyısız sularının rüzgar ikliminin belirlenmesinde kullanılacak rüzgar verilerini belirlemek amacıyla, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Samsun Bölge Meteoroloji İstasyonu ölçümleri ve ECMWF operasyonel arşiv tahminleri incelenmiştir. Bu iki veri seti Samsun Limanı kuzey mendirek feneri üzerindeki Deniz Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu ve Samsun açıklarındaki dalgaölçer şamandıra ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, ECMWF operasyonel arşiv 41,4°N-36,4°E koordinatına ait 6 saat aralıklı rüzgar verilerinin Samsun Körfezi rüzgarlarını başarı ile temsil ettiğine ve körfezin rüzgar iklimi çalışmalarında kullanılabilirliğine karar verilmiştir. Buna göre, ECMWF'in 2000 ile 2016 yılları arası 16 yıllık rüzgar tahminleri değerlendirildiğinde, tüm mevsimler için hakim rüzgarlar kuzey batılı olup denizden karaya doğru, saat yönünde BatıKuzeyBatı-KuzeyKuzeyBatı (WNW-NNW) yönleri aralığından, esmektedir. Kış aylarında güneybatılı, ilkbahar aylarında ise doğulu rüzgarların sıklığı artış göstermektedir. Aylık ortalama rüzgar hızı değerleri, bir yıl için ortalama olarak yaklaşık 3,5 m/s'dir. En yüksek en büyük değer rüzgar hızları 11-15 m/s aralığında değişmektedir. İnceleme süresi içinde yıllara göre en yüksek hıza sahip rüzgarlar çoğunlukla kuzeybatılı yönlerden gerçekleşmiştir. Samsun Körfezi derin deniz sularında yer alan dalgaölçer şamandıra ölçümleri ile doğrulanan ECMWF operasyonel arşiv dalga tahminleri dalga iklimi çalışmasında da kullanılmıştır. Buna göre, saat

yönünde KuzeyBatı-KuzeyKuzeyDoğu (NW-NNE) yönleri aralığından yaklaşan dalgalar Körfez'e etkin dalga olarak girmektedirler. Genel olarak, belirgin dalga yükseklikleri 0-3 m arasında, dalga periyodu ise 2-8 s arasında değişmektedir. 4 m ve üzeri derin deniz belirgin dalga yüksekliğine sahip dalgaların, beklenen yinleme süresi 25 yıldır.

Samsun Körfezi kıyısız alanında rüzgar, coriolis kuvveti, dalga, gelgit ve yoğunluk farklılaşması etkenli akıntılar, HYDROTAM-3D üç boyutlu hidrodinamik, türbülans ve taşınım sayısal modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Model sonuçları, Samsun Körfezi kıyı sularında, Mayıs 2015 ile Mayıs 2016 tarihleri arasında, düzenli olarak yürütülen deniz suyu fiziksel parametreleri ve akıntı ölçümleri ile karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır. Akıntı ölçümleri ve modelleme çalışmaları, rüzgar iklimi ve dalga iklimi çalışmaları ile önemli bir uygunluk göstermektedir. Samsun Körfezi kıyı sularında, akıntılar ile taşınım için hakim yön, batıdan doğuya doğru olup, akıntı oluşturan baskın kuvvet rüzgardır. Coriolis kuvveti etkisiyle yüzeyden tabana doğru akıntı yönleri saat yönüne doğru dönüş göstermektedir. KuzeyBatı-Kuzey (NW-N) hakim yön aralığından yaklaşan dalga ve BatıKuzeyBatı-KuzeyKuzeyBatı (WNW-NNW) hakim yön aralığından esmekte olan rüzgar kuvvetleri etkisinde, yüzey suları hakim olarak güneydoğulu yönler doğru GüneyDoğu-Güney (SE-S) aralığında sürüklenmekte ve kıyıya doğru su düzeyinde artışa neden olan bir deniz yüzeyi eğimi oluşmaktadır. Oluşan bu barotropik basınç değişimi, taban tabakalarında akıntı yönünün baskın olarak kuzeydoğulu yönler KuzeyKuzeyDoğu-KuzeyDoğu (NNE-NE) aralığına doğru dönmesine neden olmaktadır. Samsun Körfezi kıyı sularına uyarlanan model sistemi tahminlerinin birbirleriyle ve ölçümlerle karşılaştırmaları ile yapılan doğrulama çalışmaları, Samsun Körfezi kıyı sularının rüzgar iklimi, dalga iklimi ve akıntı düzeninin başarı ile modellendiğini ve model sisteminin hidromorfolojik

özelliklerin belirlenmesinde ve kıyı alanları yönetim planlarının hazırlanmasında önemli bir araç olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Stansby P.K., Coastal hydrodynamics – present and future, *Journal of Hydraulic Research*, 51 (4), 341-350, 2013.
2. Cerralbo P., Espino M., Grifoll M., Modelling Circulation Patterns Induced by Spatial Cross-shore Wind Variability in a Small-size Coastal Embayment, *Ocean Modelling*, 104, 84-98, 2016.
3. Balas L., Simulation of Pollutant Transport in Marmaris Bay, *China Ocean Engineering*, 15 (4), 565-578, 2001.
4. Balas L., Özhan E., Three Dimensional Modelling of Stratified Coastal Waters, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 56, 75-87, 2002.
5. Genç, A.N., Yılmaz, N., İnan A., Balas L., HYDROTAM-3D Sayısal Modeli ile Türkiye’de Dalga İklimi Çalışmaları, Türkiye’nin Kıyı ve Deniz Alanları IX. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 925-936, Antakya-Türkiye, 14-17 Kasım, 2012.
6. Balas L., Genç, A.N., İnan, A., HYDROTAM:3D Model for Hydrodynamic and Transport Processes in Coastal Waters, *Proceedings of the 6th Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society (IEMSS)*, 1439-1446, Leipzig-Almanya, 2012.
7. Andersson E., User Guide to ECMWF Forecast Products, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Reading-İngiltere, 2015.
8. WAMDI Group, The WAM Model-A Third Generation Ocean Wave Prediction Model, *Journal of Physical Oceanography*, 18, 1775-1810, 1988.
9. ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Part VII:ECMWF Wave Model, IFS Documentation-CY41R2, Reading-İngiltere, 2016.
10. İnan A., Balas L., Applications of a Numerical Model to Wave Propagation on Mild Slopes, *China Ocean Engineering*, 16 (4), 569-576, 2002.
11. İnan A., Balas L., A Finite Difference Approach for Extended Mild Slope Equation, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (2), 401-408, 2013.
12. Yılmaz N., Balas L., İnan A., Coastal Erosion Problem, Modelling and Protection, *Ocean Science Journal*, 50 (3), 589-601, 2015.
13. Genç, A.N., Modeling of sediment transport processes in Alara, Turkey, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (3), 545-553, 2016.
14. Balas L., İnan A., Genç, A.N., Modelling of Dilution of Thermal Discharges in Enclosed Coastal Waters, *Research Journal of Chemistry and Environment*, 17 (10), 82-89, 2013.
15. Cebe K., Balas L., Water Quality Modelling in Kaş Bay, *Applied Mathematical Modelling*, 40 (3), 1887-1913, 2016.
16. Özhan E., Abdalla S., Wind and Wave Climatology of the Turkish Coast and the Black Sea: An Overview of the NATO TU-WAVES Project, *Proc. Intl. MEDCOAST Conf. on Wind and Wave Climate of the Mediterranean and the Black Sea*, 30 March-2 April 1999, Antalya, Türkiye, MEDCOAST, 1-20, 1999.
17. Özhan E., Abdalla S., Seziş-Papila S., Turhan M., Measurements and Modelling of Wind Waves along the Turkish Mediterranean Coasts and the Black Sea, *Proc. of the 2nd. Int. Conf. on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 95)*, 24-27 October 1995, Spain, MEDCOAST, 1899-1910, 1995.
18. Yılmaz N., Özhan E., Abdalla S., Comparison of Wave Hindcasting with Measurements in the Eastern Black Sea, *Proc. of the Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 03)*, 7-11 October 2003, Ravenna, Italy, MEDCOAST, 1905-1916, 2003.
19. Özhan E., Abdalla S., Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası, Kıyı Alanları Yönetimi Türk Milli Komitesi/MEDCOAST, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 445, 2002.
20. Akpınar A., Kömürcü M.I., Assessment of wave energy resource of the Black Sea based on 15-year numerical hindcast data, *Applied Energy*, 101, 502-512, 2013.
21. Van Vledder, G. P., Akpınar, A., Wave model predictions in the Black Sea: sensitivity to wind fields, *Applied Ocean Research*, 53, 161-178, 2015.
22. Kamphuis J.W., Introduction to Coastal Engineering and Management, *Advanced Series on Ocean Engineering*, 16, 100-102, 2000.

