

KARATAŞ, ADANA DENİZEL ALANI İÇİN KARŞILAŞTIRMALI UZUN DÖNEM DALGA ÇÖZÜMLEMESİ ÇALIŞMASI

*Aslı NUMANOĞLU GENÇ**

Alınma:06.07.2017; düzeltme: 17.11.2017; kabul: 19.03.2018

Öz: Kıyı mühendisliği tasarımlarında dalga iklimi çalışması önemli aşamalardan biridir. Başarılı bir tasarım kapsamlı ve doğru dalga iklimi modellemesine bağlıdır. Bu makalede Karataş, Adana denizel alanı için karşılaştırmalı uzun dönem dalga çözümü sunulmaktadır. Dalga çözümü çalışmalarında ampirik CEM (Coastal Engineering Manual) metodu ve üçüncü kuşak WAM (Wave Model) modeli tahminleri karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. CEM metodunda kara üzeri meteoroloji istasyonu ölçüm rüzgarları ve deniz üzeri ECMWF (European Centre for Medium-Ranged Weather Forecasts) operasyonel arşiv rüzgar tahminleri kullanılmıştır. Uzun dönem dalga çözümü için kullanılan birinci veri takımı Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Karataş Meteoroloji istasyonunun kara üstü ölçüm rüzgar verileridir. İkinci veri takımı olarak ECMWF 36,5⁰N 35,4⁰E koordinatı deniz üzeri rüzgar tahmin verileri kullanılmıştır. Üçüncü veri takımı ECMWF 36,5⁰N 35,4⁰E koordinatı WAM sayısal modeli dalga tahminleridir. Çözümleme çalışmalarında HYDROTAM-3D yazılımı ve veri tabanından faydalanılmıştır. WAM sayısal modeli ve CEM ampirik metodu ile elde edilen uzun dönem derin deniz dalga yüksekliği, H_s değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar CEM ampirik metodunda kullanılacak olan rüzgar veri takımının sonuçlar üzerinde belirleyici olduğunu, kara üzeri rüzgar verilerinin belirli bir katsayı ile yükseltilmesi gerekliliğini göstermiştir. ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E koordinatına ait rüzgar tahminleri kullanılarak CEM metodu ile elde edilen sonuçların ECMWF'in operasyonel arşivinde aynı koordinat için WAM sayısal modeli tahminlerinden yüksek olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: CEM metodu, ECMWF rüzgar verisi, WAM modeli, uzun dönem dalga çözümü, HYDROTAM-3D

A Comparative Study on Long Term Wave Analysis for Karataş, Adana Coastal Area

Abstract: One of the most important steps of coastal engineering design is the wave climate study, as a successful design depends on comprehensive and proper wave climate modeling. In this article a comparative long-term wave analysis for Karataş, Adana coastal area is presented. In the analyses, CEM (Coastal Engineering Manual) empirical method and third generation WAM model (Wave Model) predictions are compared. In CEM method, over land wind measurements of meteorological station and ECMWF (European Centre for Medium-Ranged Weather Forecasts) over sea wind predictions are used. For analyses, the first data set used is wind data of Karataş Meteorological Station. The second data set is ECMWF 36,5⁰N 35,4⁰E coordinate wind data predictions and the third set is ECMWF 36,5⁰N 35,4⁰E coordinate WAM numerical model wave predictions. In the analyses HYDROTAM-3D software and database is used. The deep water significant wave heights, H_s obtained from WAM model and CEM method are compared. The analyses showed that wind data has a significant effect in CEM method and over land wind measurement data has to be increased by a constant. The wave heights obtained by ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E coordinate wind predictions are higher than wave height predictions of WAM numerical model of the same coordinate.

* Atılım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kızılcaşar Mahallesi, İncek, 06830, Ankara, Türkiye.

İletişim yazarı: Aslı Numanoğlu Genç (asli.genc@atilim.edu.tr)

Keywords: CEM method, ECMWF wind data, WAM model, long term wave analysis, HYDROTAM-3D

1. GİRİŞ

Kıyı yapılarının tasarımı ve planlanmasında denizel ve kıyısal meteorolojinin anlaşılması önemli bir bileşendir. Meteorolojik etkenler arasında en önemli nokta, dalga oluşumunda rüzgarın baskın rolüdür. Dalga tahmininde kullanılan rüzgar verisi tahmin yöntemleri ikiye ayrılır. Birinci yöntem yerel yakın yüzey rüzgar ölçümlerinin doğrudan iç değerlendirme ya da veriye dayalı tahmin edilmesidir. Bu yöntem daha çok kıyısal alanlarda ya da büyük göllerde rüzgar tahmininde kullanılmaktadır. İkinci yöntem ise okyanus yüzey rüzgarlarının jeostrofik rüzgar tahminlerinden dönüştürülerek elde edilmesidir. Bu yöntem büyük okyanus yüzeyleri rüzgar tahmininde kullanılmaktadır (CEM, 2006).

Kıyısal ve denizel alanlardaki rüzgarlar geniş bir yelpazede toplanan, farklı mekan ve zaman dilimlerinde çalışan etmenlerin etkisi altındadırlar. Kıyı alanları için potansiyel olarak önemli olan ve bölgesel olarak karanın varlığı sonucunda beliren iki önemli etken vardır. Birincisi kara yüzey şekillerinin hava akımını etkilemesi olarak bilinen orografik etkiler ve ikincisi ise kara ile deniz yüzeyindeki sıcaklık farklılıkları sonucunda oluşan deniz meltemidir. Denizel alanlardaki rüzgarlarda ise yakın yüzey rüzgarları önem kazanmaktadır. Deniz yüzeyine yakın esen rüzgar hızının 10 m. yükseklikte, 5 m/s'den yüksek olduğu durumda hava-deniz etkileşiminde türbülans aktarım baskın olmaktadır. Bu nedenle deniz yüzeyi rüzgarı ölçüm yüksekliği uluslararası standart olarak 10 m.'dir (CEM, 2006).

Denizel ve kıyısal rüzgarların tahmininde genelde iki yaklaşım benimsenmektedir. Birincisi yakın yüzey gözlemlerinin kullanılmasıyla yapılan rüzgar tahminleridir. Bu gözlemler deniz üzeri olabildiği gibi kara üzeri gözlemler de olabilmektedir. Deniz üstü rüzgar ölçümlerinin olmadığı durumlarda karada denize yakın istasyonlarda yapılmış olan rüzgar ölçümlerinden deniz üstü rüzgar değerleri tahmin edilebilir. Ancak yapılan çalışmalarda kara üzeri gözlemlerin büyük göllerde daha iyi sonuç verdiği ve farklı alanlara uygulanırken dikkatli bir yaklaşım benimsenmesi gerektiği gösterilmiştir (CEM, 2006). İkinci yaklaşım ise basınç alanları ve hava haritaları kullanılarak rüzgar tahminidir. Ancak basınç alanlarını rüzgar ile ilişkilendirme süreci karmaşık olabilmektedir.

Dalga oluşumu ve dalga rüzgar etkileşimi uzun zamandır birçok bilim insanı, mühendis ve matematikçi tarafından çalışılmaktadır. Rüzgar etkisiyle oluşan dalgaların modellenmesinde, iki türlü yaklaşım bulunmaktadır; ampirik modeller ve sayısal modeller (Numanoğlu Genç, 2016 (a)). Dünyada en çok kullanılan ve ölçümlerle test edilmiş ampirik modeller SMB (Bretschneider,1973), JONSWAP (Hasselmann ve diğ. 1973), SPM (SPM, 1984) ve CEM (CEM, 2006) modelleri olarak sıralanabilir. Literatürde dalga tahmin yöntemlerinin karşılaştırıldığı ve sonuçlarının sunulduğu çalışmalar bulunmaktadır (Tür ve diğ., 2017; Akpınar ve diğ., 2014). Akpınar ve diğ. (2014), Sinop ili ve Hopa ilçesi denizel alanları için Wilson, SPM, JONSWAP ve CEM metodlarını içeren karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlar ve CEM metodunun dalga tahmininde en uygun metod olduğu sonucuna varmışlardır. Benzer bir çalışmada Tür ve diğ. WAM, SMB, Wilson ve CEM metodlarını Konyaaltı (Antalya) denizel alanı için karşılaştırmışlar ve CEM metodunun daha tutarlı sonuçlar verdiği sonucuna varmışlardır.

Düzenli olarak dalga tahminlerinin yapılmaya başlanması II. Dünya Savaşı ile birlikte olmuştur. 1940'larda büyük sayılarda dalga verisi toplanmış ve bu veriler ampirik teorilerin temelini oluşturmuştur. Farklı dalga parametreleri sonucunda oluşan dalga koşulları ilk olarak Sverdrup ve Munk (1947) tarafından yayınlanmıştır. Bretschneider (1952) bu bağlantıları yeni verilerin eklenmesiyle yenilemiştir. Sverdrup ve Munk (1947) ve Bretschneider (1952) geliştirilen metodlar günümüzde hala etkin olarak kullanılmaktadır. Ampirik tahmin metodlarının temelinde boyutsuz grupların arasındaki bağlantıların evrensel kanunlara göre oluştuğu prensibi yatmaktadır. Bu yasaların en başında etkin dalga kabarma mesafesi -büyüme yasası gelmektedir. Bu yasaya göre sabit bir etkin dalga kabarma mesafesi üzerinde belli bir

yönde ve sabit bir hızda esen rüzgar sonucu oluşan dalgaların büyümesi etkin dalga kabarma mesafesinin boyutu ile sınırlıdır. Ancak Sverdrup ve Munk (1947) ve Bretschneider (1952) bu çıkarımın bütünüyle doğru olmadığını ve tamamıyla kabarmış dalga yüksekliğinin rüzgar etkisiyle geliştiğini gözlemişlerdir (CEM, 2006).

1950'lerin başında araştırmacılar dalga oluşum sürecini tanımlamakta spektral yöntemlerin başarılı sonuç verdiği gözlemlenmiştir (CEM, 2006). Dalga spektrum çözümlemesi dalga frekanslarına dayanmaktadır ve dalga spektrumu dalganın potansiyel ve kinetik enerjisini göstermektedir (Ochi,1998). Phillips (1958) geliştirdiği teoride dalganın doğrusal büyüdüğünü ve bu büyümenin dalganın büyümesinin erken evrelerini kontrol ettiği öngörüsünde bulunmuştur. Pierson ve Moskowitz (1964) Phillips'in (1958) boyutsal parametrelerini deniz ölçümleri ile tamamlayarak Pierson-Moskowitz spektrumunu tanımlamışlardır. Böylece rüzgara bağlı spektral dalga büyümesi kavramlarına dayanarak birinci kuşak (1G) dalga modelleri geliştirilmiştir. (The WAMDI Group, 1988).

Hasselmann ve diğ. (1973) "Joint North Sea Wave Project-JONSWAP (Birleşik Kuzey Denizi Projesi)" projesinde kapsamlı bir dalga verisi toplamışlardır. Toplanan verinin detaylı analizi sonucunda dalga tahmin modellerinin dalga-dalga etkileşimlerini de içermesi gerektiği sonucuna varmışlardır. Bunun sonucunda 2. kuşak dalga modellerinin geliştirilmesine neden olmuştur.

1980'lerin başında Hasselmann ve diğ. (1985) tarafından 3. kuşak (3G) dalga modeli geliştirilmiştir. 2. kuşak ve 3. kuşak dalga modelleri arasındaki ayrım çözüm yöntemlerinin farklılığı olarak özetlenebilir. İkinci kuşak modeller doğrusal olmayan dalga-dalga etkileşimlerini spektral şeklin kısıtlamaları ile birleştirip parametrelendirerek dalga büyümesini modellemektedir. Üçüncü kuşak modeller ise doğrusal olmayan dalga-dalga etkileşimlerini spektral şeklin kısıtlamalarının çoğunu hafifleterek ve daha detaylı bir parametrelendirme ile dalga büyümesini modellemektedir. Bugün dünyada kullanılan üçüncü kuşak dalga modelleri arasında en yaygın kullanılan modellerden biri de WAM (WAVE Model) dalga tahmin modelidir. WAM Modeli, WAMDI (WAVE Model Development and Implementation-Dalga Modeli Geliştirilmesi ve Uygulanması) kısa adıyla anılan gruptaki araştırmacılar ve bilim adamları tarafından ortak geliştirilmiştir ve operasyonel olarak ECMWF'de çalıştırılmaktadır (Numanoğlu Genç, 2016(a)). WAM modelinde belirgin dalga yüksekliği, ortalama dalga yönü ve frekansı hesaplanan yönsel spektrumdan elde edilmektedir (Martucci ve diğ., 2010). Geliştirilen model derin deniz, etkin dalga kabarma mesafesi -sınırlı büyüme durumunu benzeştirmek için ayarlanmış ve sığ denize uzatılmıştır. (The WAMDI Group, 1988). Günümüzde WAM modeli hem küresel hem de bölgesel denizel alanlara uygulanarak geliştirilip test edilmektedir (Lavrenov, 2003).

Bu çalışmada Karataş, Adana denizel alanı için yapılan uzun dönem dalga çözümlemesi çalışmasının sonuçları sunulmaktadır. Adana iline bağlı Karataş ilçesi ilin iki sahil beldesinden biri olması nedeniyle önemli bir turizm merkezi olup özellikle yaz aylarında yoğun bir nüfus artışı yaşamaktadır. İlçe içerisinde Tuzla Yaban Hayatı Geliştirme Sahası ve Akyatan Yaban Hayatı Geliştirme Sahası başta olmak üzere toplam 5 adet Yaban Hayatı Geliştirme Sahası bulunmaktadır. Ayrıca Karataş-Akyatan'da saz kedisi ve deniz kaplumbağaları ve yumurta çıkışlarını da gözlemlemek mümkündür. (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016). Karataş ilçesinde 2017 yılı Eylül ayı itibarıyla henüz faaliyete geçmiş bir atıksu arıtma tesisi yoktur (Karataş, 2017). Arıtılan atıksu alıcı ortamlara bırakılmaktadır ve denizel alanlar da alıcı ortamlardır. Karataş denizel alanına yapılacak olan deniz deşarjı tasarımında dalga iklimi verileri gereklidir. Kıyısız alanların bir önemli problemi de aşınma ve buna bağlı olarak kumsalların kaybıdır. Bu nedenle Türkiye Kıyıları'nda özellikle atıksu arıtma tesisi olmayan ve aşınma sorunuyla yüz yüze olan bölgelerin dalga ikliminin çalışılması önemlidir. Sunulan çalışma seri bir çalışmanın ilk aşamasıdır. Sırasıyla önemli kıyısız alanlar için benzer bir çalışmanın yürütülmesi planlanmaktadır.

Çalışmada dalga tahmini için kullanılan HYDROTAM-3D, Türkiye’de birçok kıyı alanına uyarlanmış üç boyutlu hidrodinamik ve taşınım modelidir (Balas ve diğ. 2012, Balas ve İnan, 2007, Cebe ve Balas 2016, İnan, 2011, Numanoğlu Genç, 2016 (b), Numanoğlu Genç ve diğ., 2013). Modelin “Dalga İklimi Alt Modelinde” veri tabanından seçilen ya da kullanıcı tarafından tanımlanan verilere dayalı olarak, derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ve belirgin dalga dönemleri, uzun dönem dalga ve en yüksek değer dalga çözümlemesi kullanarak hesaplanmaktadır. Bu alt modülde ayrıca yıllık ve mevsimsel dalga gülleri hazırlanmaktadır. Veri tabanı olarak Türkiye Kıyıları Meteoroloji İstasyonları’nın kuruluşlarından bu yana saatlik rüzgar verileri ve tüm Türkiye’yi kapsayan 0,1⁰ aralıklı yatay çözüm ağı için ECMWF’in sayısal meteorolojik modeliyle üretilen her altı saatlik 2000-2016 yılları arası analiz rüzgarları ve yine 0,1⁰ aralıklı yatay çözüm ağında tüm Türkiye kıyılarını kapsayan ECMWF üçüncü kuşak dalga modeli olan WAM dalga tahmin modeliyle elde edilen altışar saatlik 2000-2016 yılları arası dalga yükseklikleri ve dalga periyotları bulunmaktadır (HYDROTAM-3D, 2017; Balas ve diğ., 2012).

Dalga çözümlemesi hesaplarında iki farklı rüzgar kaynağı kullanılmıştır. Birinci veri kaynağı Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü Karataş İstasyonunun 1973-2014 yılları arasındaki saatlik rüzgar ölçümleridir. İkinci veri kaynağı ise ECMWF operasyonel arşivinde bulunan 36,5°N-35,4°E koordinatındaki 6 saatlik rüzgar tahminleridir. Bahsedilen veriler CEM ampirik modeline (CEM, 2006) girdi oluşturmuş ve iki farklı dalga iklimi çalışılmıştır. Ayrıca ECMWF’in operasyonel arşivinde sayısal modelle üretilmiş dalga verileri üçüncü veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Elde edilen derin deniz belirgin dalga yükseklikleri uzun dönem dalga çözümlemesi çalışmasına girdi oluşturmuştur.

2. YÖNTEM

Karataş, Adana denizel alanı uzun dönem dalga çözümlemesi çalışmalarında kullanılan CEM metodunda etkin dalga kabarma mesafesi (km) ile büyüyen dalga oluşumu amprik olarak modellenmektedir. Dalga büyümesinin etkin dalga kabarma mesafesinin sınırlı olup olmadığını belirlemek için kullanılan denklem aşağıda verilmektedir (CEM, 2006):

$$t_{x,u} = 77,23 \frac{X^{0,67}}{u^{0,34} g^{0,33}} \quad (1)$$

Bu denklemde $t_{x,u}$ etkin dalga kabarma mesafesi sınırlı koşulunu sağlayabilmek için gerekli olan en az rüzgar esme süresi olarak tanımlanmaktadır. Denklem değişkenlerinden X etkin dalga kabarma mesafesi uzunluğunu, u rüzgar hızını ve g yerçekimi ivmesini ifade etmektedir. Enerji tabanlı belirgin dalga yüksekliğini, H_{m0} (m) hesaplamakta kullanılan denklem aşağıda verilmektedir (CEM, 2006).

$$\frac{gH_{m0}}{u_*^2} = 4,13 \times 10^{-2} \left(\frac{gX}{u_*^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$u_* = U_{10} C_D^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$C_D = 0,001(1,1 + 0,035U_{10}) \quad (4)$$

Yukarıdaki denklemde U_{10} 10 m. yükseklikteki rüzgar hızı, u_* sürtünme hızı ve C_D sürüklenme katsayısı olarak tanımlanmaktadır.

Süre kısıtlı dalga büyümesi koşulları için eşdeğer etkin dalga kabarma mesafesi uzunluğu şu şekilde hesaplanmaktadır (CEM, 2006):

$$\frac{gX}{u_*^2} = 5,23 \times 10^{-3} \left(\frac{gt}{u_*} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (5)$$

Yukarıdaki denklemde t saniye cinsinden esme süresidir. Bu denklemden elde edilen etkin dalga kabarma mesafesi uzunluğu denklem 2'ye uygulanarak süre kısıtlı durum için belirgin dalga yüksekliği H_s hesaplanmaktadır.

Seçilen veri tabanı rüzgar hızları deniz yüzeyinden 10 m. yükseklikteki rüzgar hızlarına dönüştürülmektedir. Seçilen denizel noktadan, tüm yönlerde, noktanın karşısındaki karayı kesen dikmenin uzunluğu, yani etkin dalga kabarma uzunluğunun belirlenmesi için cosinüs ortalama metodu uygulanmaktadır. Tüm ana yönler için $\pm 22,5$ derece aralığında, $\theta = 7,5$ derecelik açılarla dalga kabarma uzunluklarının ortalamaları alınmaktadır (CEM, 2006):

$$X_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos^2 \theta_i}{\sum \cos \theta_i} \quad (6)$$

Denklem 5'de X dalga kabarma uzunluğu, X_{eff} etkin dalga kabarma uzunluğudur.

CEM yönteminde önemli olan üç temel parametre etkin dalga kabarma mesafesi, rüzgarın esme süresi ve rüzgarın hızı olarak sıralanmaktadır. Yöntemde rüzgarın belirli bir etkin dalga kabarma mesafesi alanında, belirli bir süre boyunca sabit hızla estiği varsayılmaktadır. Bu varsayım, rüzgar hızlarının ve yön değişmelerinin belirli bir etkin dalga kabarma mesafesi alanı için sabit kabul edilebileceği tanımı ile yapılmaktadır. Hesaplamalarda belirli bir etkin dalga kabarma mesafesi alanında sabit kabul edilebilecek rüzgar hızı değişmeleri CEM (2006)'de önerildiği üzere 2,5 m/s ve yön değişmeleri ise 15 derece alınmıştır. Literatürde Akpınar ve diğ. (2014), ve Şahin ve diğ. (2007) tarafından Karadeniz için farklı rüzgar yön değişim açıları kullanılarak yapılan çalışmalarda 15 dereceden farklı rüzgar yön değişim açıları analiz edilmiştir. Sunulan çalışmada CEM metodu kullanıldığı için yön değişimi 15 derece olarak alınmıştır. Buna göre, saatlik değişen bir rüzgar kaydındaki herhangi bir hız U_i ve yön D_i ile kendinden önceki tüm kayıt edilen hızların ve yönlerinin ortalamaları arasında fark denklem 7 ve denklem 8'de tanımlandığı gibi 2,5 m/s den ve 15 dereceden küçük ise, etkin dalga kabarma mesafesi alanında ortalama hız ve ortalama yön sabit kabul edilmiştir.

$$|U_i - \bar{U}| < 2,5 \text{ m/s} \quad (7)$$

$$|D_i - \bar{D}| < 15^\circ \quad (8)$$

Karataş, Adana denizel alanı için uzun dönem dalga çözümleme log-lineer dağılım ile incelenmiştir. Log-lineer olasılık dağılım denklemi aşağıda verilmektedir (Goda, 2010).

$$Q(H_{1/3}) = e^{2,3 \left(\frac{H_{1/3} - B}{A} \right)} \quad (9)$$

Denklem 7'de $Q(H_{1/3})$ fırtınalarda oluşan belirgin dalga yüksekliğinin $H_{1/3}$ değerine eşit ya da daha büyük olma olasılığı, $H_{1/3}$ belirgin dalga yüksekliğinin değeri, A ve B dağılım parametreleridir. Log-lineer olasılık dağılım denklemi aşağıdaki biçimde de yazılabilir (Goda, 2010):

$$H_{1/3} = A * \log Q(H_{1/3}) + B \quad (10)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Karataş denizel alanı uzun dönem dalga çözümleme çalışmalarında Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü Karataş istasyonu 1973-2014 yılları arası saatlik rüzgar verisi, $0,1^{\circ}$ aralıklı yatay çözüm ağı için ECMWF'in sayısal meteorolojik modeliyle üretilen her altı saatlik 2000-2016 yılları arası analiz rüzgarları ve yine $0,1^{\circ}$ aralıklı yatay çözüm ağında tüm Türkiye kıyılarını kapsayan ECMWF üçüncü kuşak dalga modeli olan WAM dalga tahmin modeliyle elde edilen altışar saatlik 2000-2016 yılları arası dalga yükseklikleri kullanılmıştır. Karataş Meteoroloji İstasyonu rüzgar verileri ve ECMWF analiz rüzgar verilerinin konumları Şekil 1'de verilmektedir. Şekil 1'de Karataş Meteoroloji İstasyonu mavi nokta ve ECMWF rüzgar veri koordinatı ($36,5^{\circ}\text{N}$ $35,4^{\circ}\text{E}$) yeşil nokta ile gösterilmektedir. ECMWF rüzgar veri koordinatı seçilirken Karataş Meteoroloji İstasyonuna en yakın nokta alınmıştır. Şekil 1'de görülen sarı nokta ise etkin dalga kabarma mesafesi uzunlukları için seçilen etkin dalga kabarma mesafesi noktasıdır.

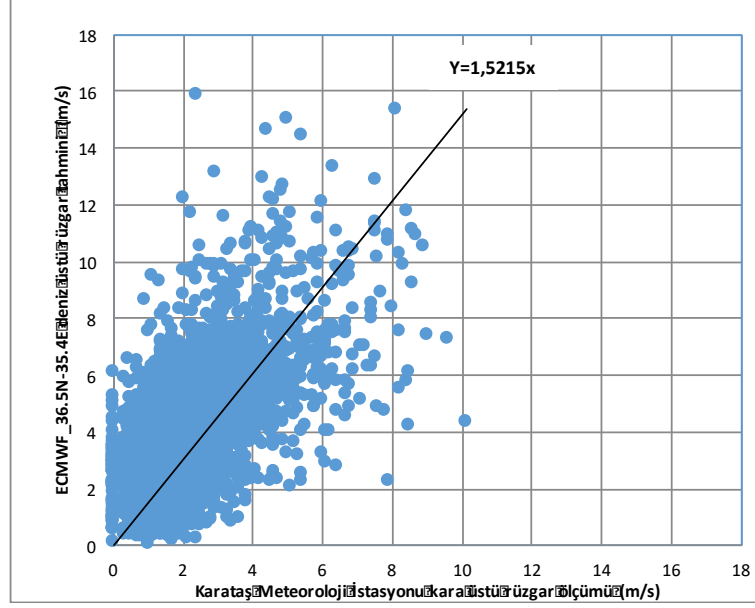


Şekil 1:

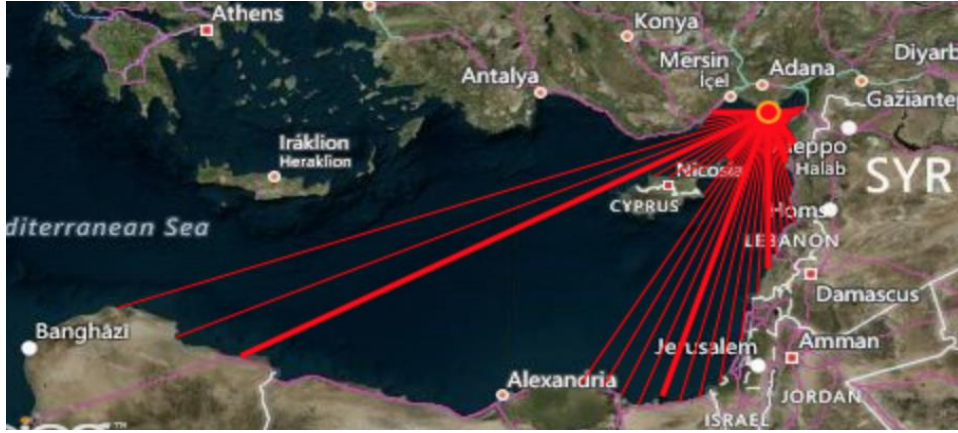
Karataş Meteoroloji İstasyonu ve ECMWF analiz rüzgar verileri konumları (HYDROTAM-3D, 2017)

Çalışmada ilk olarak Karataş Meteoroloji İstasyonu rüzgar verilerinden ve ECMWF $36,5^{\circ}\text{N}$ - $35,4^{\circ}\text{E}$ koordinatı için hesaplanmış olan analiz rüzgar verileri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken her iki veri tabanında aynı yıl, ay, gün ve saate denk gelen rüzgâr verileri kullanılmıştır. Rüzgâr veri tabanları karşılaştırması ve kesişme denklemi Şekil 2'de verilmektedir.

Karataş Meteoroloji İstasyonu $36,57^{\circ}\text{N}$ - $35,39^{\circ}\text{E}$ koordinatında yaklaşık 22 m. yükseklikte ve denize 0,2 m. mesafededir. Yüksekçe bir konumda olmasına rağmen istasyonun etrafındaki binaların rüzgar verileri üzerinde etkisi olmaktadır (Esen, M., 2014). Karataş Meteoroloji İstasyonu rüzgâr verilerinin ECMWF operasyonel arşivi rüzgâr hızı tahminleri ile karşılaştırması sonucunda, ECMWF $36,5^{\circ}\text{N}$ - $35,4^{\circ}\text{E}$ koordinatı rüzgâr hızı tahminlerinin Karataş İstasyonu verilerinden yaklaşık 1,5 kat daha fazla olduğunu görülmektedir. Bu oran literatürde 1,5-2,0 arası olarak önerilen deniz üzeri rüzgâr hızı/kara üzeri rüzgâr hızı oranı ile uyumludur (CEM, 2006). Etkin dalga kabarma mesafesi uzunluklarının coğrafi görünümleri ile etkin dalga kabarma mesafesi uzunluk değerleri sırasıyla Şekil 3 ve Tablo 1'de verilmektedir.



Şekil 2:
Karataş Meteoroloji İstasyonu ve ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E koordinatı rüzgar verileri karşılaştırması



Şekil 3:
Karataş denizel alanı için etkin dalga kabarma mesafeleri (HYDROTAM-3D, 2017)

Tablo 1. Etkin Dalga Kabarma Mesafeleri

Yön	Mesafe (Km)	Yön	Mesafe (Km)
Doğu (E)	51,61	GüneyGüneyBatı(SSW)	621,79
DoğuGüneyDoğu (ESE)	44,05	GüneyBatı (SW)	304,94
GüneyDoğu (SE)	73,17	BatıGüneyBatı (WSW)	636,73
GüneyGüneyDoğu(SSE)	144,80	Batı (W)	68,45
Güney (S)	356,29		

Uzun dönem dalga çözümleme (istatistiği) çalışmasında Karataş Meteoroloji İstasyonu rüzgar verileri ve ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E koordinatına ait rüzgar tahminleri veri tabanı

kullanılmıştır. Karataş Meteoroloji İstasyonu rüzgar verileri Şekil 2’de verilen analize uygun olarak 1,5215 katsayısı ile çarpılmıştır. Daha sonra her iki veri tabanı için CEM ampirik modeli ile elde edilen derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ve WAM modeli derin deniz belirgin dalga yüksekliklerinin “uzun dönem” istatistikleri çalışılmıştır. Karataş denizel alanı için HYDROTAM-3D ile çalışılan uzun dönem dalga çözümlemesi sonucunda etkin dalga yönlerinin E(Doğu)-W(Batı) aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, hesaplanan ve Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4’te sunulan derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ve dalga periyotları bu aralık için sunulmaktadır. Tablo 2’de Karataş Meteoroloji İstasyonu rüzgar verileri kullanılarak CEM metodu ile elde edilen dalga verileri ile hesaplanan uzun dönem dalga istatistiği, Tablo 3’de ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E koordinatına ait rüzgar tahminleri kullanılarak CEM metodu ile elde edilen dalga verilerinden hesaplanan uzun dönem dalga istatistiği ve Tablo 4’de ise ECMWF’in operasyonel arşivinde sayısal modelle üretilmiş dalga iklimi verileri kullanılarak hesaplanan uzun dönem dalga istatistiği sonuçları sunulmaktadır.

Karataş denizel alanı için Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4’te sunulan derin deniz belirgin dalga yükseklikleri değerleri Şekil 4 ve Şekil 5’te karşılaştırılmıştır. Şekil 4’te ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E koordinatı deniz üstü rüzgar verileri ile çalışılan derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ile Karataş Meteoroloji istasyonu kara üstü rüzgar verileri ile çalışılan derin deniz belirgin dalga yükseklikleri karşılaştırılmıştır. Her iki veri grubunun dalga yüksekliği sonuçları arasındaki bağlantı Şekil 4’te verilen grafik üzerinde sunulmaktadır. Bağlantı denklemine göre iki veri grubu yaklaşık aynı değerde dalga yüksekliği vermektedir. Şekil 2’de verilen Karataş Meteoroloji İstasyonu ve ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E koordinatı rüzgar verileri karşılaştırması sonucuna göre ECMWF rüzgar değerleri Karataş rüzgar değerlerinin yaklaşık 1,5 katıdır. CEM metodu ile yapılan dalga çalışmasında Karataş Meteoroloji istasyonu rüzgar değerleri Şekil 2’de bulunan kesişme denklemine uygun olarak 1,5 katsayısı ile çarpılarak kullanılmıştır. Şekil 4’de verilen karşılaştırma CEM ampirik modelinde kullanılacak olan rüzgar veri takımının sonuçlar üzerinde belirleyici olduğu, kara üstü rüzgar verilerinin çalışılan kıyısal alana bağlı olarak belirli bir katsayı ile yükseltilmesi gerektiğini göstermiştir.

Tablo 2. Uzun Dönem Dalga İstatistiği (Karataş Meteoroloji İstasyonu kara üstü ölçüm verileri ile CEM metodu sonuçları)

Yön	Dağılım Denklemi		1 saat/ yıl		5 saat/yıl		10 saat/yıl	
			Hs(±m)	Tm(sn)	Hs(±m)	Tm(sn)	Hs(±m)	Tm(sn)
			%90 güvenilirlik		%90 güvenilirlik		%90 güvenilirlik	
E	$H_s = -0,82 - 0,30 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,94$	1,9±0,09	3,9	1,4±0,06	3,5	1,2±0,06	3,2
ESE	$H_s = -0,82 - 0,27 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,96$	1,7±0,07	3,6	1,2±0,04	3,2	1,0±0,04	2,9
SE	$H_s = -1,84 - 0,45 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,99$	2,3±0,04	4,5	1,6±0,03	3,8	1,2±0,03	3,4
SSE	$H_s = -1,03 - 0,46 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,99$	3,2±0,05	5,6	2,4±0,03	5,0	2,1±0,03	4,7
S	$H_s = -1,12 - 0,66 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,99$	4,8±0,07	7,5	3,8±0,05	6,7	3,3±0,04	6,3
SSW	$H_s = -0,48 - 0,55 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,97$	4,5±0,12	7,7	3,6±0,08	6,9	3,3±0,07	6,5
SW	$H_s = -1,88 - 0,72 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,99$	4,6±0,05	7,4	3,5±0,03	5,9	3,0±0,03	5,9
WSW	$H_s = -2,56 - 0,69 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,96$	3,7±0,13	7,0	2,6±0,08	5,8	2,1±0,07	5,2
W	$H_s = -2,33 - 0,53 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,87$	2,5±0,19	4,7	1,6±0,12	3,8	1,3±0,1	3,4

Tablo 3. Uzun Dönem Dalga İstatistiği (ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E koordinatı deniz üzeri rüzgar tahminleri ile CEM metodu sonuçları)

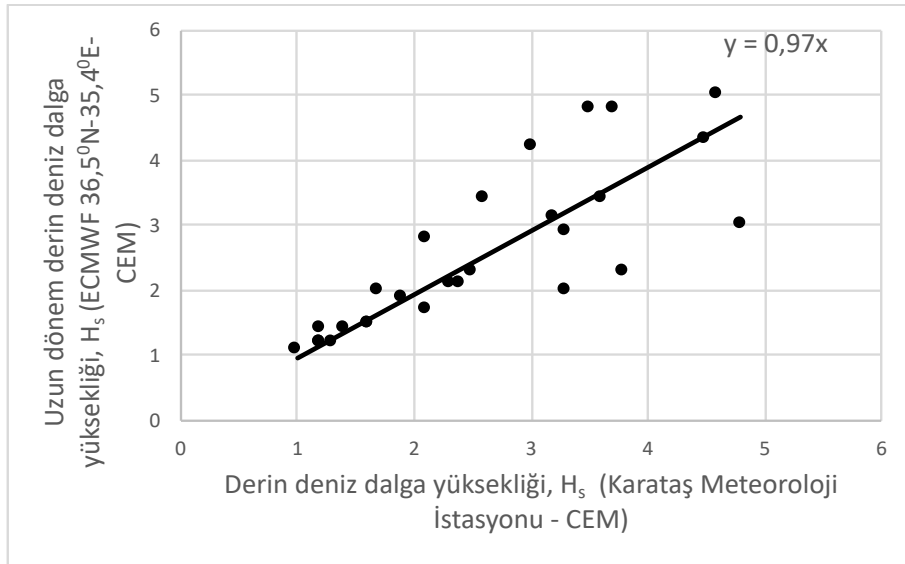
Yön	Dağılım Denklemi		1 saat/ yıl		5 saat/yıl		10 saat/yıl	
			Hs (±m) %90 güvenilirlik	Tm(sn)	Hs(±m) %90 güvenilirlik	Tm(sn)	Hs(±m) %90 güvenilirlik	Tm(sn)
E	$H_s = -1,06 - 0,33 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,96$	1,9±0,08	4,2	1,4±0,05	3,6	1,2±0,05	3,3
ESE	$H_s = -1,47 - 0,38 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,98$	2,0±0,06	4,1	1,4±0,04	3,5	1,1±0,03	3,1
SE	$H_s = -1,41 - 0,39 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,89$	2,1±0,17	4,4	1,5±0,10	3,7	1,2±0,09	3,4
SSE	$H_s = -2,23 - 0,58 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,96$	3,1±0,14	5,8	2,1±0,08	4,9	1,7±0,07	4,4
S	$H_s = -1,07 - 0,45 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,95$	3,0±0,16	6,2	2,3±0,10	5,4	2,0±0,09	5,0
SSW	$H_s = -1,08 - 0,59 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,88$	4,3±0,31	7,6	3,4±0,22	6,7	2,9±0,18	6,3
SW	$H_s = -1,68 - 0,86 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,98$	5,0±0,16	8,5	4,8±0,10	7,5	4,2±0,09	7,0
WSW	$H_s = -2,75 - 0,83 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,99$	4,8±0,12	8,1	3,4±0,08	6,8	2,8±0,06	6,2
W	$H_s = -2,02 - 0,47 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,90$	2,3±0,19	4,5	1,5±0,10	3,7	1,2±0,08	3,3

Tablo 4. Uzun Dönem Dalga İstatistiği (ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E WAM Sayısal Dalga Modeli tahminleri)

Yön	Dağılım Denklemi		1 saat/ yıl		5 saat/yıl		10 saat/yıl	
			Hs (±m) %90 güvenilirlik	Tm(sn)	Hs(±m) %90 güvenilirlik	Tm(sn)	Hs(±m) %90 güvenilirlik	Tm(sn)
E	$H_s = -0,73 - 0,29 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,96$	1,9±0,08	6,4	1,4±0,06	5,9	1,2±0,05	5,7
ESE	$H_s = -0,91 - 0,32 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,98$	2,0±0,06	6,6	1,5±0,04	6,1	1,3±0,03	5,9
SE	$H_s = -1,28 - 0,33 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,99$	1,7±0,05	6,2	1,2±0,03	5,6	0,9±0,03	5,3
SSE	$H_s = -1,40 - 0,35 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,99$	1,8±0,02	6,2	1,2±0,01	5,6	1,0±0,01	5,3
S	$H_s = -1,65 - 0,50 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,98$	3,0±0,09	7,2	2,1±0,06	6,6	1,8±0,05	6,2
SSW	$H_s = -1,14 - 0,58 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,97$	4,1±0,11	8,2	3,2±0,08	7,6	2,8±0,07	7,3
SW	$H_s = -0,53 - 0,53 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,99$	4,3±0,05	7,9	3,4±0,04	7,4	3,1±0,03	7,2
WSW	$H_s = -1,02 - 0,43 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,98$	2,8±0,07	7,1	2,2±0,04	6,7	1,9±0,04	6,4
W	$H_s = -1,09 - 0,27 \ln(p(H))$	$R^2 = 0,93$	1,3±0,10	6,3	0,9±0,07	5,7	0,7±0,07	5,4

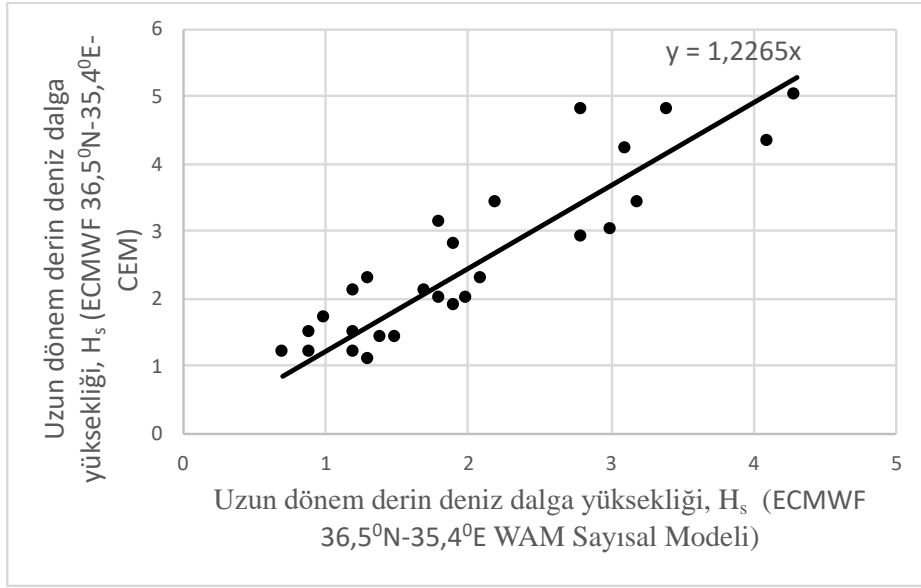
Şekil 5'te ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E koordinatına ait rüzgâr tahminleri kullanılarak CEM metodu ile elde edilen dalga verilerinden hesaplanan uzun dönem dalga istatistiği ile ECMWF'in operasyonel arşivinde aynı koordinat için WAM sayısal modeli ile üretilmiş dalga yüksekliği değerleri kullanılarak hesaplanan uzun dönem dalga istatistiği denklemleri

karşılaştırılmaktadır. Şekil 5 incelendiğinde WAM sayısal model tahminlerinin CEM metodu tahminlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Tablo 3 ile Tablo 4 karşılaştırıldığında özellikle GüneyGüneyDoğu (SSE), BatıGüneyBatı (WSW) ve Batı (W) yönlerinde ECMWF sayısal modelinin düşük dalga yüksekliği verdiği, diğer yönlerde ise belirgin bir fark olmadığı görülmektedir. Janssen ve diğ. (1997) ECMWF'in dalga tahmin sistemini dalga ölçülmüş dalga ve altimetre verileri ile geçekledikleri çalışmada, WAM sayısal modelinin bölgesel ve mevsimsel olarak dalga ikliminde daha düşük sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir. Hsu ve diğ. (2002) WAM sayısal modelinin ağ çözümleme hassasiyetinin tahmin sonuçları üzerinde etkili olabileceğini belirtmişlerdir. Bidlot ve diğ. (2014) modelin analiz rüzgar alanları ile çalıştırıldığında daha düşük dalga yüksekliği tahmin etmeye yatkın hale geldiği sonucuna varmışlardır. Mazarakis ve diğ. (2012) WAM modeli sonuçlarının altimetre verisi ile karşılaştırmışlar ve modelin Ege denizinde dalga yüksekliklerinin daha düşük tahmin ettiği sonucuna varmışlardır.



Şekil 4:

ECMWF 36,5°N-35,4°E koordinatı operasyonel rüzgâr arşivi verisi ve Karataş Meteoroloji İstasyonu rüzgar verisi ile hesaplanmış derin deniz dalga yüksekliği, H_s karşılaştırması

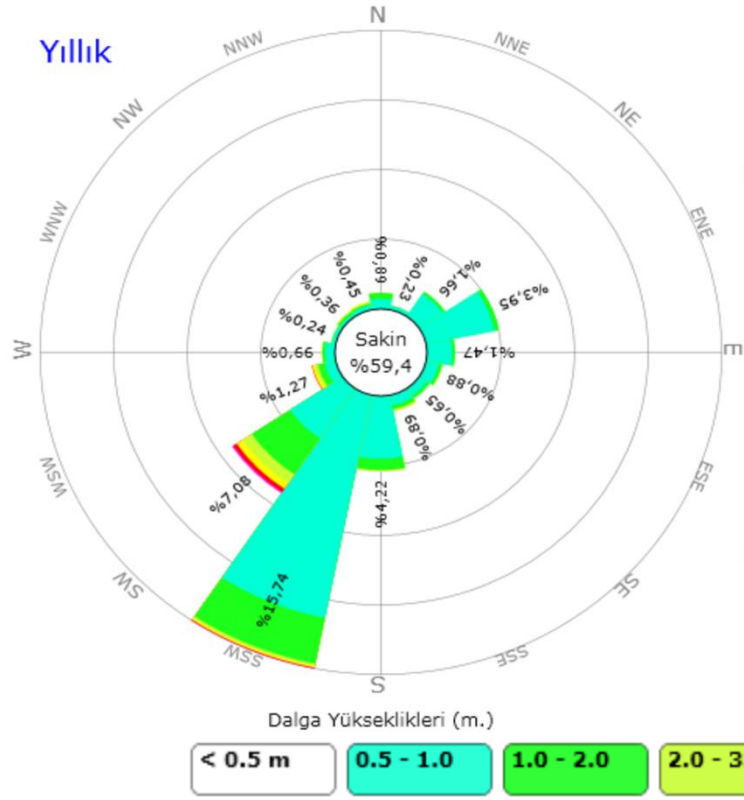


Şekil 5:

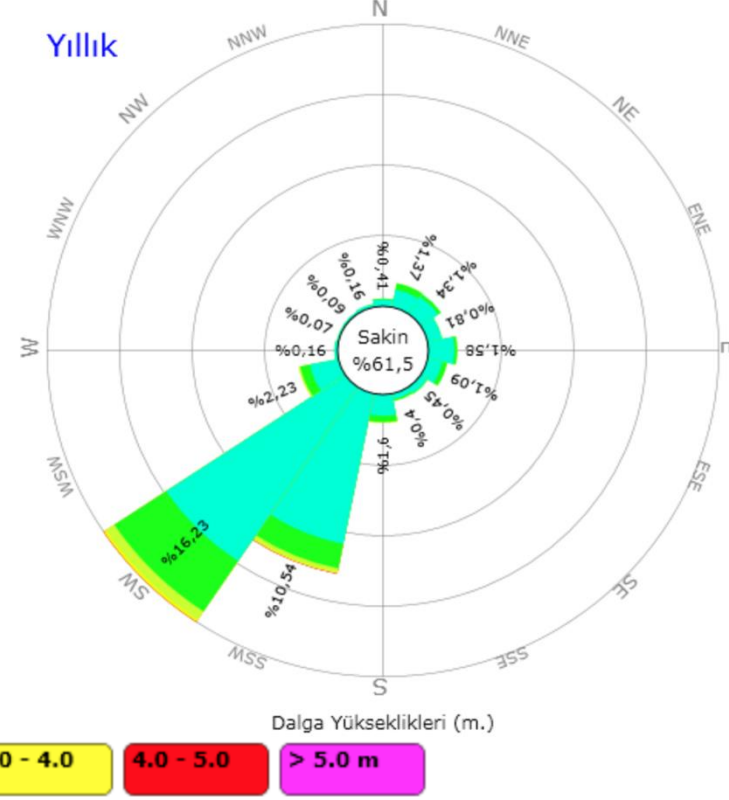
ECMWF 36,5°N-35,4°E koordinatı operasyonel rüzgâr arşivi verisi ile hesaplanmış derin deniz dalga yüksekliği, H_s ve ECMWF 36,5°N-35,4°E koordinatı sayısal model ile üretilmiş derin deniz dalga yüksekliği, H_s karşılaştırması

Şekil 6'da Karataş denizel alanı için ECMWF 36,5°N-35,4°E koordinatı analiz rüzgar tahmin verisi ile CEM ampirik metodu uygulanarak hesaplanan derin deniz belirgin dalga yükseklikleri yıllık dalga gülü gene aynı koordinat için WAM sayısal modeli dalga tahminleri ile elde edilen yıllık dalga gülü ile karşılaştırılmaktadır. Yıllık dalga gülleri, belirgin dalga yüksekliğinin tüm yıl boyunca değişik yönlerden oluşma oranlarını göstermektedir. Dalgaların nereden geldiğini gösteren yön dilimleri, coğrafik yönlerle aynı seçilmiştir. Dalga yüksekliği 0,5 metreden küçükse, denizin durumu "sakin" olarak kabul edilmektedir. Bu durumda herhangi bir dalga yönü belirtilmemekte ve oluşma oranı gülün ortasındaki çember içinde verilmektedir. Şekil 6'ya göre her iki veri takımı yıllık etkin dalga yönünü GüneyBatı (SW) ve GüneyGüneyBatı (SSW) olarak vermektedir. CEM ampirik yöntemi %59,4 sakinlik gösterirken sayısal model %61,5 sakinlik vermektedir. Dalga gülleri pik (en yüksek) değerlerine bakıldığında CEM ampirik yönteminin daha fazla pik verdiği görülmektedir. Bu sonuç Şekil 5'de elde edilen sonuçla uyumludur. Karataş denizel alanı için yılda denizin "sakin" olarak kabul edildiği zamanın ise yaklaşık %60 oranında olduğu söylenebilir.

ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E koordinatı rüzgar tahmini – CEM Metodu



ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E koordinatı sayısal tahmini – WAM modeli



Şekil 6:

Karataş denizel alanı dalga gülü karşılaştırması - (ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E koordinatı rüzgar verisi CEM metodu dalga gülü / ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E koordinatı WAM sayısal modeli dalga gülü)

4. SONUÇ

Sunulan çalışmada Karataş, Adana denizel alanı için karşılaştırmalı uzun dönem dalga çözümlemesi çalışılmıştır. Uzun dönem dalga çözümlemesi verileri olarak üç farklı kaynak kullanılmıştır: Karataş Meteoroloji İstasyonu rüzgar verileri ve ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E koordinatına ait rüzgar tahminleri veri tabanı kullanılarak CEM metodu ile elde edilen derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ve ECMWF'in operasyonel arşivinde sayısal modelle üretilmiş dalga yüksekliği değerleri. ECMWF'in operasyonel arşivinde sayısal modelle üretilmiş dalga yüksekliği değerleri kullanılarak hesaplanan uzun dönem dalga çözümlemesi sonuçları değerlendirildiğinde GüneyGüneyDoğu (SSE), BatıGüneyBatı (WSW) ve Batı (W) yönleri için modelinin daha düşük dalga yüksekliği verdiği, diğer yönlerde ise belirgin bir fark olmadığı görülmektedir. Literatürde özellikle sığ denizel alanlarda ECMWF'in sayısal model sonuçlarının ölçüm verilerinden daha düşük olabileceği gösterilmiştir (Janssen ve diğ., 1997; Hsu ve diğ., 2002; Bidlot ve diğ., 2014). Karataş denizel alanı için birincil etkin dalga yönleri GüneyGüneyBatı (SSW) ve GüneyBatı (SW) olarak değerlendirilmiş ikincil etkin yönler ise BatıGüneyBatı (WSW) ve Güney (S) yönü olarak belirlenmiştir.

Yapılan çözümleme ve sonuçların karşılaştırılması sonucunda CEM ampirik modelinde kullanılacak olan rüzgar veri takımının sonuçlar üzerinde belirleyici olduğu, kara üstü rüzgar verilerinin çalışılan kıyısız alana bağlı olarak belirli bir katsayı ile yükseltilmesi gerekliliği gösterilmiştir. ECMWF 36,5⁰N-35,4⁰E koordinatına ait rüzgar tahminleri kullanılarak CEM metodu ile elde edilen sonuçların ECMWF'in operasyonel arşivinde aynı koordinat için WAM sayısal modeli tahminlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. ECMWF analiz rüzgar verisi ile hesaplanan derin deniz belirgin dalga yükseklikleri ve dalga periyotları kullanılarak hazırlanan yıllık ve mevsimlik dalga güllerine göre yıllık ve mevsimsel olarak etkin dalga yönü GüneyBatı (SW) ve GüneyGüneyBatı (SSW) olarak görülmektedir. Yılda denizin "sakin" olarak kabul edildiği zaman ise yaklaşık %60 oranındadır. Türkiye kıyılarında ölçülmüş dalga yüksekliği verisi yeterli oranda bulunmamaktadır. Bu nedenle denizel alanların dalga iklimlerinin belirlenmesinde kıyısız rüzgar verileri kullanılmaktadır. Özellikle rüzgar veri kaynağının seçimi ve etkinliği bu noktada önem kazanmaktadır. Bu çalışmanın sonuçlarının Karataş denizel alanı özelinde Türkiye'de dalga ölçümünün bulunmadığı kıyı bölgelerinde rüzgar ve dalga iklimi hesaplarında kullanılacak veri kaynaklarının seçimi için anlamlı bir rehber oluşturacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Akpınar, A., Özger, M., Bekiroğlu, S. ve Kömürçü, M.İ., (2014). Performance evaluation of parametric models in the hindcasting of wave parameters along the South coast of Black Sea, *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 43(6), 905-920.
2. Balas L., Genç, A.N. ve İnan, A., (2012). Hydrotam-3D model for hydrodynamic and transport processes in coastal waters, *Managing Resources of a Limited Planet*, IEMSS 2012, 1439-1446.
3. Balas, L. ve Inan, A. (2007). A composite finite element- finite difference model applied to turbulence modelling, *Lecture Notes in Computer Science*, 4487, 1-7. doi:10.1007/978-3-540-72584-8_1.
4. Bidlot, J.R., Holmes, D.J., Wittmann, P.A., Lalbeharry, R., ve Chen, H.S., (2014). Intercomparison of the performance of operational ocean wave forecasting systems with buoy data, *Weather and Forecasting*, 17, 287-310. doi:10.1175/1520-0434(2002)017%3C0287:IOTPOO%3E2.0.CO;2

5. Bretschneider, C. (1952). Revised wave forecasting relationships, *Proceedings of the 2nd Coastal Engineering Conference*, American Society of Civil Engineers, pp 1-5. doi: /10.9753/icce.v2.1
6. Bretschneider, C. (1973). Prediction of waves and currents, *Look Lab./ Hawaii*, 3(1).
7. Cebe, K. ve Balas, L. (2016). Water quality modelling in Kaş Bay, *Applied Mathematical Modelling*, 40(3), 1887-1913. doi: 10.1016/j.apm.2015.09.037
8. CEM, 2006. Coastal engineering manual. Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, US Army Corps of Engineers, Washington DC, USA.
9. Esen, M. (2014). Comparison of wind and wave sources for Turkish coasts, Doktora Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
10. Goda, y. (2010). Random seas and design of maritime structures, Advanced Series on Ocean Engineering, Vol.33, World Scientific, Singapore.
11. Hasselmann, K., Barnett, T. P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D. E., Enke K., Weing, J. A., Gienapp, H., Hasselmann, D. E., Kruseman, P., Meerburg, A., Muller, P., Olbers, K. J., Richter, K., Sell, W., ve Walden, W. H. (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), *Deutsche Hydrograph, Zeit., Ergantung-self Reihe*, A 8(12).
12. Hasselmann, S., Hasselmann, K., Allender, J. H., ve Barnett, T. P. (1985). Computations and parameterizations of nonlinear energy transfer in a gravity-wave Spectrum; Part II: parameterization of nonlinear transfer for application in wave models. *J. Phys. Oceanogr.*, Vol 15, 1378-1391.
13. Hsu, Y.L., Rogers, W.E., ve Dykes, J.D., (2002). WAM performance in the Gulf of Mexico with COAMPS wind, 7th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting Preprints, Erişim Adresi: http://www.waveworkshop.org/7thWaves/Papers/Hsu_et_al.pdf. (Erişim tarihi: 30.06.2017)
14. HYDROTAM-3D Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşıma Modeli. Erişim Adresi: <http://hydrotam.com>. (Erişim tarihi: 17.03.2017)
15. İnan, A. (2011). Modeling of Oil Pollution in Derince Harbor, *Journal of Coastal Research*, SI 64(894-898).
16. Janssen, P.A.E.M., Hansen, B., ve Bidlot, J.R. (1997). Verification of the ECMWF wave forecasting system against buoy and altimeter data, *Weather and Forecasting*, 12(4), 763-784. doi: 10.1175/1520-0434(1997)012<0763:VOTEWF>2.0.CO;2
17. Karataş, 2017. *Karataş arıtma tesisini bekliyor*. Erişim Adresi: <http://www.5ocakgazetesi.com/aski-nin-elini-kolunu-kim-bagliyor-5158>. (Erişim tarihi: 21.11.2017)
18. Lavrenov, I.V. (2003). *Wind Waves in Oceans*. Springer, New York.
19. Martucci, G., Carniel, S., Chiggiato, J., Sclavo, M., Lionello, P. ve Galati, M.B., (2010). Statistical trend analysis and extreme distribution of significant wave height from 1958-19 – an application to the Italian Seas, *Ocean Science*, 6, 525-538. doi: 10.5194/os-6-525-2010.
20. Mazarakis, N., Kotroni, V., Lagouvardos, K., ve Bertotti, L., (2012). High-resolution wave model variation over the Greek maritime areas, *National Hazards Earth System Science*, 12, 3433-3440. doi: 10.5194/nhess-12-3433-2012.
21. Numanoğlu Genç, A., (2016 (a)). Kıyı yapılarının tasarımında rüzgar ve dalga iklimi modellemesi”, *Herkese Bilim Teknoloji*, sayı 24, 23, Ankara.

22. Numanoğlu Genç, A., (2016 (b)). Alara, Türkiye denizel alanında sediman taşınımının modellenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(3), 545-553. doi: 10.17341/gummfd.22374
23. Numanoğlu Genç, A., İnan, A., Yılmaz, N., ve Balas, L., (2013). Modeling of erosion at Göksu Coasts, *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65, 2155-2160. doi: 10.2112/SI65-364.1.
24. Ochi, M.K. (1998). *Ocean waves: The Stochastic Approach*. Cambridge Ocean Technology Series, Cambridge University Press, New York.
25. Phillips, O. M. (1958). The equilibrium range in the spectrum of wind-generated waves, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol 4, pp 426-434. doi:10.1017/S0022112058000550.
26. Pierson, W. J., ve Moskowitz, L. (1964). A proposed spectral form for fully developed wind seas based in the similarity theory of S. A. Kitiagorodskii, *J Geophys. Res.*, Vol 9, pp 5181-5190. doi:10.1029/JZ069i024p05181
27. SPM, (1984). *Shore Protection Manual*. U.S. Army Corps of Engineers
28. Sverdrup, H. U., ve Munk, W. H. (1947). *Wind, Sea, and Swell: Theory of Relations for Forecasting*. Pub. No. 601, U.S. Navy Hydrographic Office, Washington, DC.
29. Şahin, C., Aydoğan, B., Çevik, E. ve Yüksel, Y. (2007). Parametric wave modelling with wave daya of South-west Black Sea, VI. National Coastal Engineering Conference, İzmir, Turkey, 249 – 256.
30. T.C. Çevre Şehircilik Bakanlığı, 2016. *Seyhan havzası kirlilik önleme eylem planı*. Erişim Adresi: https://www.csb.gov.tr/db/cygm/editorodnya/seghan_KOEP.pdf. (Erişim tarihi: 21.11.2017)
31. The WAMDI Group, (1988). The WAM Model – A third generation ocean wave prediction model, *Journal of Physical Oceanography*, Vol 18, 1775-1810. doi:10.1175/1520-0485(1988)018<1775:TWMTGO>2.0.CO;2
32. Tür, R., Pekpostalcı, D.S., Küçükosmanoğlu, Ö. ve Küçükosmanoğlu A., 2017. Prediction of Significant Wave Height along Konyaaltı Coast, *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 9(4), 106-114. doi:10.24107/ijeas.368922

