



MAKÜ FEBED  
ISSN Online: 1309-2243  
<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 7(2): 175-183 (2016)  
*The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 7(2):175-183 (2016)*

**Araştırma Makalesi / Research Paper**

## **Belirgin Dalga Yüksekliğinin (Significant Wave Height= $H_s$ ) Bulanık Sinir Ağları (ANFIS) ile Tahmini**

Rıfat TÜR

Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Antalya

Geliş Tarihi (Received): 17.07.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 05.09.2016

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author): [rifattur@akdeniz.edu.tr](mailto:rifattur@akdeniz.edu.tr)

☎ +90 242 3106362 📠 +90 242 3106306

### **ÖZ**

Rüzgar etkenli dalgalar kıyı planlaması ve kıyı yapılarının tasarımında büyük rol oynadığı için doğru tahmin edilmelidir. Tatmin edici bir tahmin, gerçek değerleri yansıtan yüksek korelasyon (higher correlation) ve düşük sapma (lower deviations) değerlerini gerektirmektedir. Literatürde dalga tahminlerinin genellikle ampirik, nümerik ve yapay zeka teknikleri ile yapıldığı görülmektedir. Yapay zeka tekniklerinin diğer geleneksel metotlara kıyasla daha hızlı ve etkin sonuçlar verdiği görülmektedir. Yapay zeka tekniklerinin eğitilebilir ve esnek yapıya sahip olması son yıllarda kıyı mühendisliğinin farklı alanlarında kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu çalışmada, Filyos deniz yöresi için belirgin dalga yüksekliği ( $H_s$ ), ANFIS metodu ile tahmin edilmiştir.  $H_s$  için farklı algoritmalar ve alt modeller denenmiş, model sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Geliştirilen alt model sonuçları dikkate alındığında diğer metotlara kıyasla daha doğru ve tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Belirgin dalga yüksekliği, ANFIS, Dalga tahmini, Filyos deniz yöresi

## **Estimation of Significant Wave Height through Adaptive Neural Network**

### **ABSTRACT**

The wind caused waves which have important role at the coastal planning and design must be estimated correctly. Correct estimation will give the correct values considering the higher correlation and lower deviation. Generally, the estimation of the waves at the literature have been done by the empirical, numerical and artificial intelligence techniques. The artificial intelligence techniques give faster and effective results than the traditional methods. The educable and the flexible structure of the artificial intelligence techniques cause it to be used at the different branches of the coastal engineering at the last years. In this study, wave parameters  $H_s$ , have been estimated by ANFIS methods at the Filyos Sea region. At the ANFIS method, different algorithms have been tried for each wave parameter and the results of each have been compared.

**Keywords:** Significant wave height, ANFIS, Wave forecasting, Filyos sea region

### **GİRİŞ**

Birçok kıyı yapısının tasarımında belirgin dalga yüksekliğinin tahmini büyük önem arz etmektedir. Kıyı yapısı-

nın tasarımında kullanılacak olan dalga parametresi (örn:  $H_s$ ,  $H_{1/10}$ ,  $H_{ort}$ ,  $H_{mak}$ ) yapının önem derecesine göre tayin edilmektedir. Dalga parametresinin tahmin edilebilmesi için öncelikli olarak kıyı yapısının yapılacağı

denizel bölgede dalga ölçümlerinin yapılması gerekmektedir.

Dalga parametresi ölçümleri iki şekilde yapılmaktadır. Birincisi cihaz ölçümleri (Instrumental observations) ikincisi ise saha gözlemleri (Field observations) dir. Aletlerle yapılan ölçümler direkt olarak çalışma alanına yerleştirilen yüksek maliyetli cihazlar ile yapıldığından pahalı ve zaman alıcıdır (Mahjoobi et al., 2008). Saha gözlemleri ise geçmiş yıllara ait meteorolojik (rüzgar hızı, sinoptik haritalar vs.) ve oşinografik veriler kullanıldığından diğerine kıyasla daha az maliyetli ve hızlıdır (Rao and Mandal, 2005). Ayrıca dalga parametrelerini doğru bir şekilde tahmin etmek yüksek maliyetli kıyı yapılarının ekonomik ömrünü uzatmaktadır.

Literatürde, dalga parametrelerinin belirlemek için geliştirilmiş bir çok ampirik ve nümerik metot bulunmaktadır. Bunların başlıcaları; Goda (Goda, 2003), Coastal Engineering Manual (CEM, 2003), Shore Protection Manual (SPM, 1984), SMB (Bretschneider, 1970), JOHNSWAP (Hasselmann et al., 1973), Wilson (Wilson, 1965) vb. dir. WAM (WAMDI Group, 1988) ve SWAN (Booij et al., 1999) gibi modeller ise genellikle enerji transfer denklemlerine dayanan modellerdir.

Son yıllarda diğer karmaşık kıyı mühendisliği problemlerinin çözümleri için yapay zeka teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Dalga verilerinin analizi ve tahmini (Balas and Koc, 2004; Tsai et al., 1999; Tsai and Tsai, 2009; Yaseri et al., 2010; Sylaios et al., 2009; Deo and Kumar, 2000; Deo and Naidu, 1999), gel-git yüksekliği tahmin modelleri (Tsai and Lee, 1999), kıyı yapılarında güvenilirliğe dayalı risk modelleri (Kim and Park, 2005; Balmat et al., 2009), kıyı yapılarının yapısal stabilite analizleri (Mandal et al., 2007; Mase et al., 1995; Balas et al., 2010), kıyı alanlarında oluşan kirliliğin sınıflandırılması ve tahmini (Balas and Tur., 2006) vb. bir çok kıyı mühendisliği problemlerinin çözümünde yapay zeka teknikleri etkin olarak kullanılmaktadır.

Tahmin modelleri yatırım maliyeti çok yüksek olan kıyı yapılarının tasarım aşamasında belirleyici bir unsur olan dalga parametrelerinin tahmin edilmesinde etkin bir rol oynadığından çalışmada, Karadeniz sahilinde yer alan Filyos deniz yöresinde ölçülmüş olan 2 saatlik ortalama  $H_s$  verilerinin kullanıldığı bir tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen yedi farklı alt model, istatistiksel performans parametreleri ile test edilmiştir. Sonuçların diğer tahmin yöntemlerine kıyasla daha doğru ve tutarlı olduğu görülmüştür.

### Adaptive Neural Network Based Fuzzy Inference Systems-ANFIS

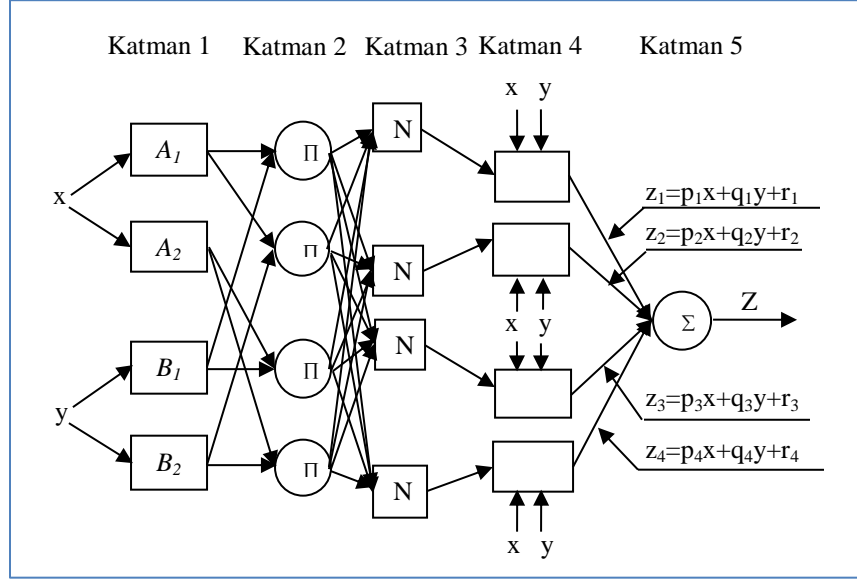
ANFIS, kolay uygulanabilir eğitim algoritmalarını içeren yapısıyla ANN'yi ve uzman bilgi sistemi ile FL'yi bünyesinde barındıran ve son yıllarda birçok alanda yaygın olarak kullanılan bir yapay zeka tekniği haline gelmiştir. Bir başka deyişle, ANFIS yapısı, Sugeno tipi bulanık sistemlerin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısı olarak tanımlanabilir (Özçalık ve Uygur, 2003). Söz konusu ağ yapısı katmanlar halinde yerleştirilmiş ve her biri için ayrı fonksiyonların tanımlandığı düğümlerden oluşmaktadır (Tsoukalas and Uhrig, 1996).

Örnek olarak, x ve y gibi iki girişi olan ve z çıkışına sahip bir bulanık çıkarım mekanizması ele alınacak olunursa, tipik olarak birinci mertebeden Sugeno bulanık modeline ait iki adet Eğer – O halde (If-Then Rules) kuralı yazılabilir. Bu kurallar;

- Kural 1: Eğer x  $A_1$  ve y  $B_1$  ise O halde  $z_1=p_1x+q_1y+r_1$   
Kural 2: Eğer x  $A_2$  ve y  $B_2$  ise O halde  $z_2=p_2x+q_2y+r_2$

şeklinde ifade edilebilir.

Burada  $p_i$ ,  $q_i$  ve  $r_i$  ( $i = 1, 2$ ) birinci mertebeden Sugeno bulanık modelinin lineer parametreleridir. Şekil 1'de görüldüğü gibi ANFIS yapısı 5 katmana ayrılabilir. Kısaca bu katmanlar açıklanacak olunursa;



Şekil 1. İki girişli ve dört kurallı bulanık Sugeno modelinin ANFIS yapısı

Katman 1: her düğüm için üyelik fonksiyonları yardımı ile bulanık kümeye aitlik derecesini belirten üyelik dereceleri hesaplanır (Eşitlik 1).

$$\begin{aligned} R_{1,i} &= \mu_{A_i}(x), \quad i = 1, 2 \\ R_{1,i} &= \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 1, 2 \end{aligned} \quad (1)$$

Burada,  $x$ ,  $y$  ve  $i$  düğümündeki deterministik (crisp) girdi değerleri,  $A_i$  ve  $B_i$  bulanık dilsel terimler ve  $\mu_{A_i}$  ve  $\mu_{B_i}$  ise üyelik fonksiyonlarını ifade etmektedir. Literatürde birçok farklı üyelik fonksiyonu tipine rastlanmaktadır. Genellikle üçgen tip üyelik fonksiyonları basitliklerinden ötürü tercih edilmektedir. Fakat son yıllarda Gauss eğrisi tipindeki üyelik fonksiyonları da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada da yaygın olarak Gauss tipi üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Örnek olarak çan eğrisi tipi üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Eşitlik 2).

$$\mu_{A_i} = \frac{1}{1 + \left[ \left( \frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}} \quad (2)$$

Burada,  $\{a_i, b_i, c_i\}$  Eğer – O halde bulanık kural yapısının önerme kısmına bağılı olarak üyelik fonksiyonlarının eğriliklerini değiştiren parametrelerdir.

Katman 2: birbirlerini izleyen kuralların gerçekleşme derecelerinin “ve” mantıksal işleminin ile çarpımlarının gerçekleştirildiği katmandır. Eşitlik 3’de çarpım işlemi matematiksel olarak ifade edilmektedir.

$$R_{2,k} = w_k = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_j}(y), \quad k = 1, \dots, 4; \quad i = 1, 2; j = 1, 2 \quad (3)$$

Katman 3: 3.katmandaki  $i$ . düğüm,  $i$ . kuralın gerçekleşme derecesinin, tüm kuralların gerçekleşme dereceleri oranının hesaplandığı katmandır (Eşitlik 4).

$$R_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{k=1}^4 w_k} \quad i = 1, \dots, 4 \quad (4)$$

Katman 4: her  $i$ . kuralın toplam çıktı içerisindeki katkısını hesaplandığı katmandır (Eşitlik 5).

$$R_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i), \quad i = 1, \dots, 4 \quad (5)$$

$\bar{w}_i$ , bir önceki katmanın  $i$ . düğümünün çıktı değeridir.

Katman 5: toplam çıkışı hesaplamak üzere kendisine gelen tüm sinyallerin toplandığı düğüm noktasıdır. Bu katmanda bulanık kurallar durulaştırılarak tek bir sayı üretilmektedir (Eşitlik 6).

$$R_{5,i} = \sum_{i=1}^4 \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_{i=1}^4 w_i f_i}{\sum_{i=1}^4 w_i} \quad (6)$$

## MATERYAL VE YÖNTEM

Zonguldak İli, Çaycuma İlçesi, Filyos (Hisarönü) Beldesi, Karadeniz kıyılarının batı bölümünde, Zon-

guldak merkeze bağlı Türkali Köyü ile Çaycuma İlçesine bağlı Saz Köyü yakınından denize dökülen Filyos Çayı vadisine kurulmuştur. Çalışma kapsamında, Karadeniz sahilinde yer alan 32° 01' 00" E enlemi, 41° 32' 50" N boylamı koordinatlarında bulunan Filyos deniz yöresi incelenmiştir.

Çalışma kapsamında Filyos deniz yöresi'nde 1995 ve 1996 yıllarında mülga Demiryollar, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü) tarafından ölçülmüş dalga yüksekliği verileri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ölçümler 2 yıl boyunca 2' şer saat aralıklarla ölçülmüş ve toplamda yaklaşık 8000 adet dalga yüksekliği verisi toplanmıştır. Bu veri seti ile dalga yüksekliği tahmini yapılmıştır.

Birbirlerinden farklı alt modeller oluşturulmuş esnek bir yapıya sahip olan bulanık sinir ağları ile modellenmiştir. ANFIS modelleri Matlab R2014b programı ile çözülmüştür. Alt modeller sonucunda elde edilen tahmin değerleri gerçek dalga yüksekliği değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Derlenen veriler için 7 adet alt model oluşturulmuştur. Oluşturulan alt modeller zaman gecikmeli modellerdir. Dalga yüksekliği ( $H$ ) ve dalga periyodu ( $T$ ) kombinasyonlu olarak geciktirilmiş ve analizler yapılmıştır. Aşağıda zaman gecikmeli bir alt model örneği verilmektedir;

$$\text{Model - 6} = H_{s(t-2)} + H_{s(t-1)} + T_{s(t-1)} \Rightarrow H_s$$

Alt modelde 2 dalga yüksekliği ve 1 dalga periyodu olarak toplamda 3 adet giriş parametresi kullanılmış ve  $H_s$  dalga yüksekliği çıktı olarak alınmıştır.  $H_s = 08:00$  saati dalga yüksekliği ise,  $H_{s(t-1)} = 06:00$ ,  $H_{s(t-2)} = 04:00$  dalga yüksekliği,  $T_{s(t-1)} = 06:00$  dalga periyodudur. Bu çalışma için oluşturulan modeller Tablo 1 de listelenmiştir.

Geliştirilen alt modeller için birçok üyelik fonksiyonu ve dilsel terim kombinasyonu oluşturulmuştur. Eldeki yaklaşık 8000 verinin 5500'ü eğitim için, 2500'ü ise test aşaması için kullanılmıştır. Elde edilen hata sonuçları ve tahmin etkinliğine bağlı olarak diğer kombinasyona ve alt modele geçiş yapılmıştır.

**Tablo 1.** Oluşturulan zaman gecikmeli  $H_s$  model yapıları

Model Adı	Kısaltılmış Model Adı	Model Yapısı
<b>Model - 1</b>	$H_1 T_1$	$H_{s(t-1)}, T_{s(t-1)}$
<b>Model - 2</b>	$H_1 T_2$	$T_{s(t-2)}, H_{s(t-1)}, T_{s(t-1)}$
<b>Model - 3</b>	$H_2$	$H_{s(t-2)}, H_{s(t-1)}$
<b>Model - 4</b>	$H_2 T_1$	$H_{s(t-2)}, H_{s(t-1)}, T_{s(t-1)}$
<b>Model - 5</b>	$H_3$	$H_{s(t-3)}, H_{s(t-2)}, H_{s(t-1)}$
<b>Model - 6</b>	$H_3 T_1$	$H_{s(t-3)}, H_{s(t-1)}, T_{s(t-1)}$
<b>Model - 7</b>	$H_5$	$H_{s(t-5)}, H_{s(t-3)}, H_{s(t-1)}$

Literatürde, gerçek ve tahmin verilerini karşılaştırma işlemini anlamlı kılan çeşitli istatistiksel performans parametreleri mevcuttur. Bunlardan en sık kullanılanları arasında, ortalama hata karelerinin toplamının karekökü (RMSE, Root Mean Square Error), Ortalama Bağıl Hata (MAE, Mean Absolute Error) ve Korelasyon Katsayısı ( $R^2$ , Correlation Coefficients) bulunmaktadır (Eşitlik 7, 8 ve 9). Çalışmalarda istatistiksel performans parametrelerinin sonuçları en uygun modelin seçiminde anahtar rol oynamaktadır (Nayak and Sudheer, 2008).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t^o - y_t^p)^2}{n}} \quad (7)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t^o - y_t^p| \quad (8)$$

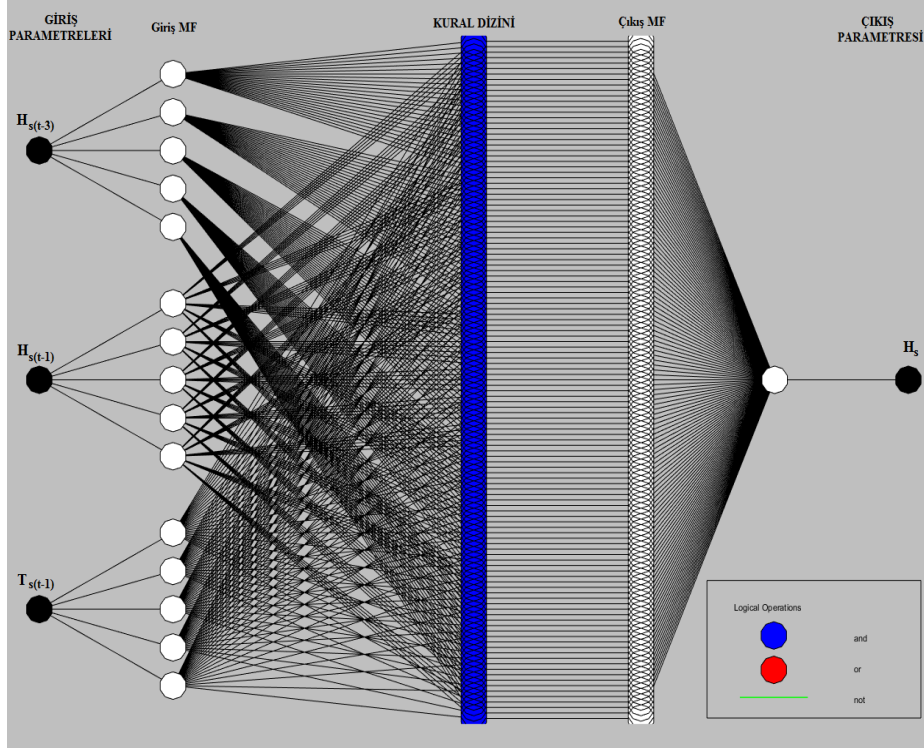
$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{t=1}^n (y_t^o - \bar{y}^o)(y_t^p - \bar{y}^p)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (y_t^o - \bar{y}^o)^2} \sqrt{\sum_{t=1}^n (y_t^p - \bar{y}^p)^2}} \right\}^2$$

Burada,  $y_t^o$  = ölçülen değerleri,  $y_t^p$  = tahmin değerleri- ni ve n ise toplam veri sayısıdır.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

$H_s$  parametresi için denenmiş olan tüm alt modeller arasında Model-6 en doğru ve güvenilir sonuçları vermektedir. Model-6'da Gumbell üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Modelde 3 adet giriş parametresi kullanılmış ve bulanık dilsel terim sayısı ise her giriş parametresi için 5 olarak seçilmiştir. Ayrıca optimizasyon metodu olarak hibrit optimizasyon metodu seçilmiştir (Şekil 2).

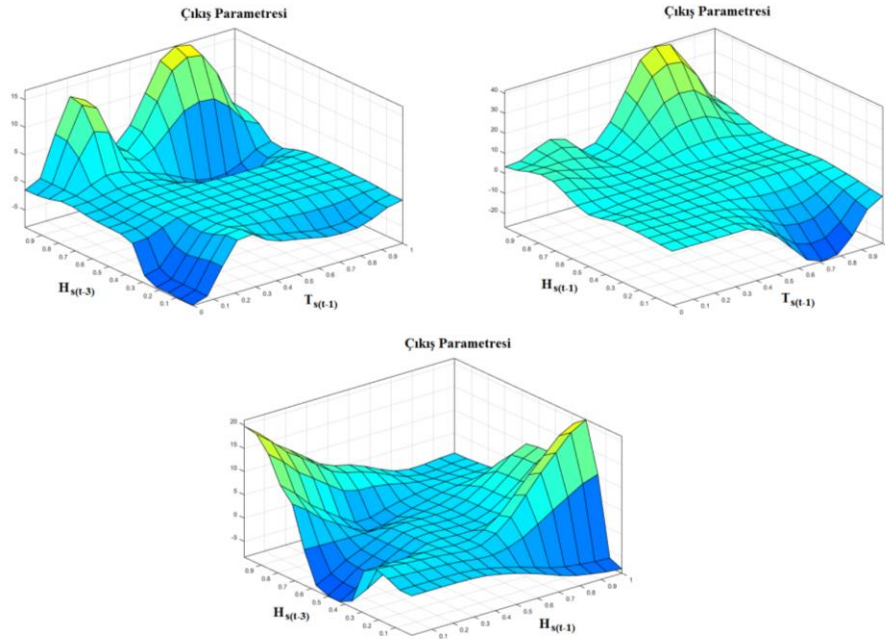
## Belirgin Dalga Yüksekliğinin (Significant Wave Height= $H_s$ ) Bulanık Sinir Ağları (ANFIS) ile Tahmini



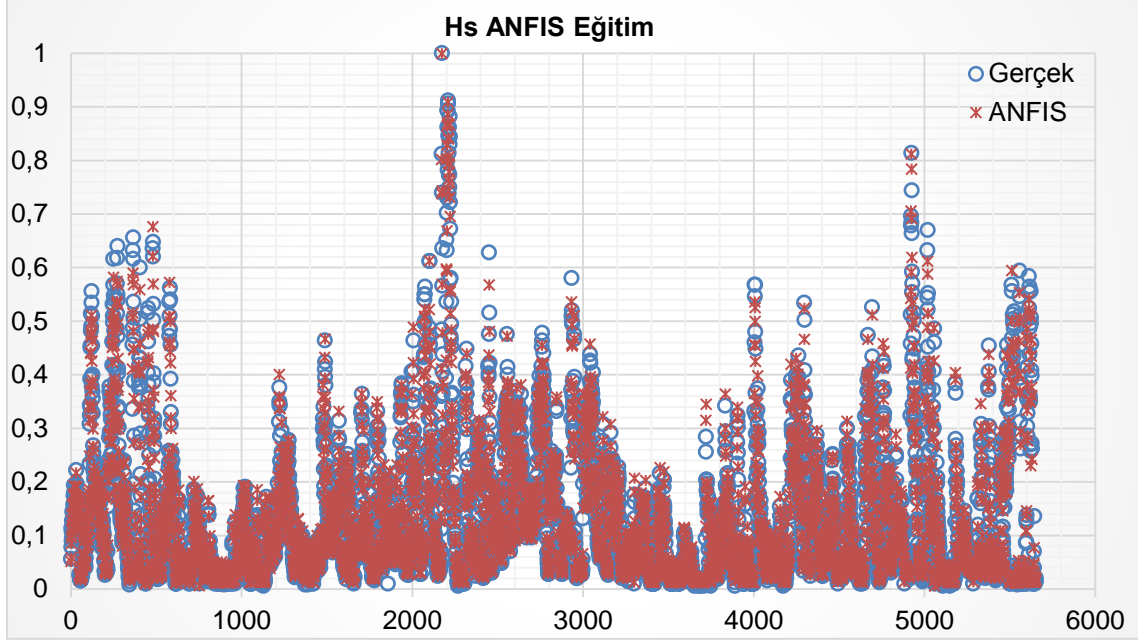
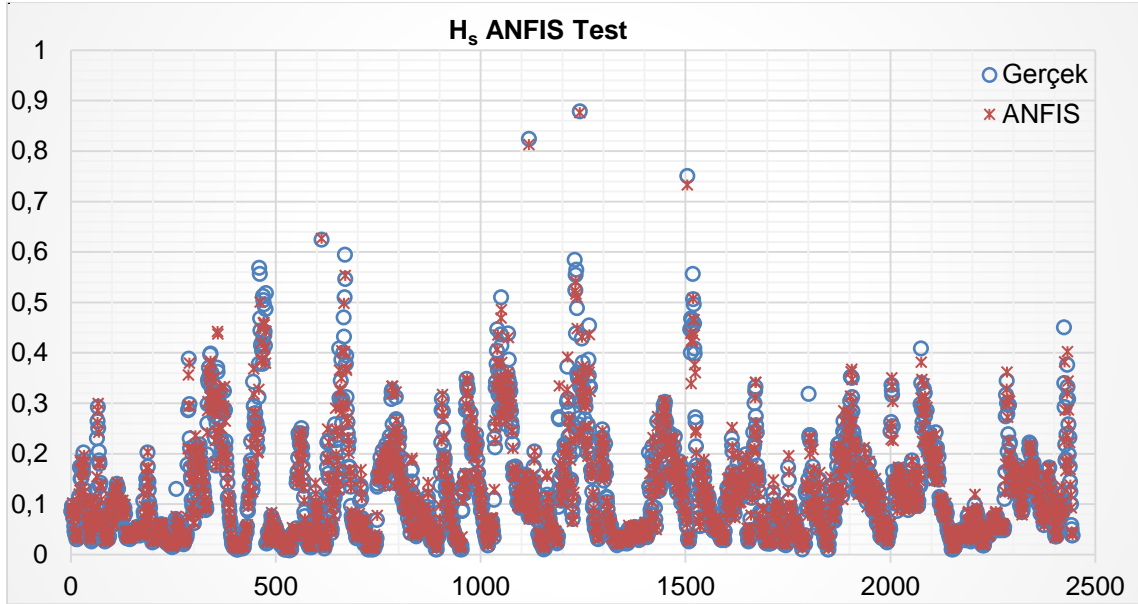
Şekil 2.  $H_s$  parametresi ANFIS analiz sistemi mimari yapısı

Şekil 3'te gösterilen Filyos Bölgesi belirgin dalga yüksekliği için oluşturulan üç boyutlu sistem analizi sonuçları görülmektedir.

Şekil 4'te  $H_s$  için Model-6'da eğitim ve test veri setlerinden (Şekil 5) elde edilen tahmin ve gerçek dalga yüksekliği değerlerinin normalize edilmiş hali görülmektedir.

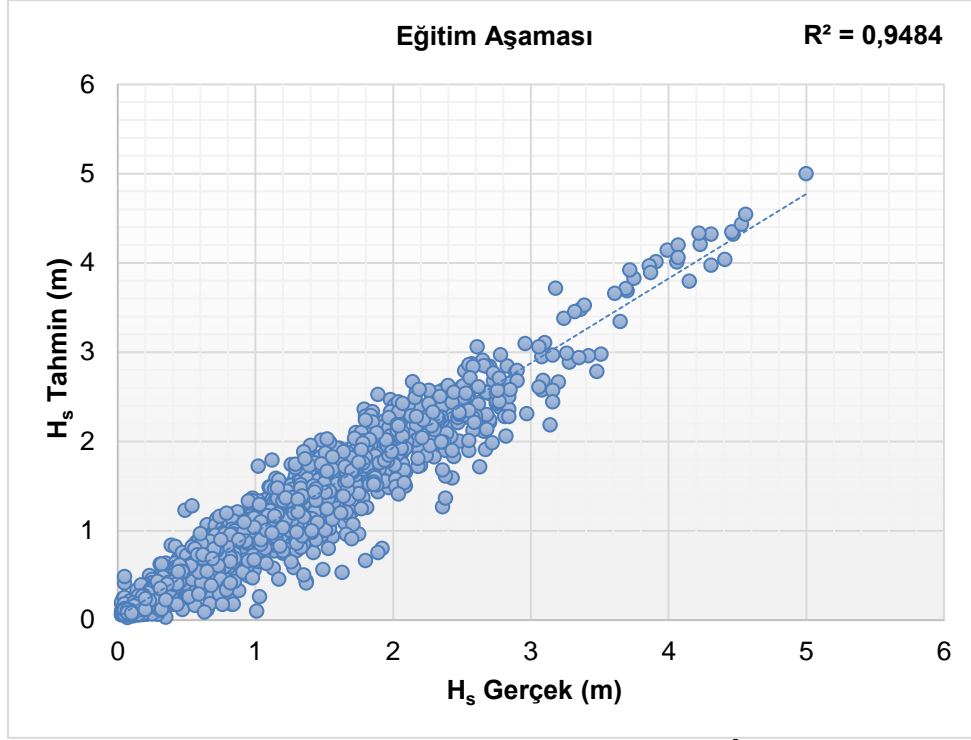


Şekil 3.  $H_s$  parametresi ANFIS 3D sistem analizi

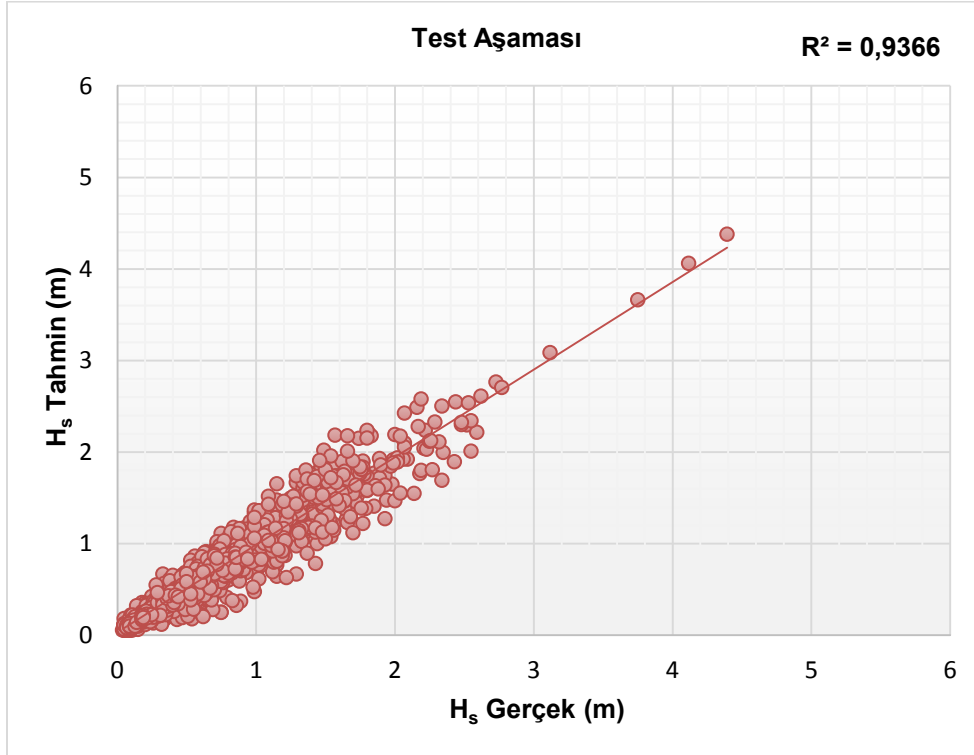
Şekil 4. Model-6  $H_s$  parametresi eğitim sonuçlarıŞekil 5. Model-6  $H_s$  parametresi test sonuçları

Şekil 6 ve 7'de Model-6'nın eğitim ve test veri setlerinin saçılma diyagramları görülmektedir. Model-6, eğitim veri setinde yaklaşık % 95, test veri setinde ise yaklaşık

%94 korelasyon değerine sahiptir. Elde edilen yüksek korelasyon değerleri modelin tahmin tutarlılığının gerçek değerlere çok yakın olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.  $H_s$  parametresi saçılma diyagramı ve  $R^2$  değeri



Şekil 7.  $H_s$  parametresi saçılma diyagramı ve  $R^2$  değeri

Tablo 2.  $H_s$  eğitim ve test hata parametreleri

Model	Hata Parametresi			
	MAE		RMSE	
$H_3T_1$	Eğitim	Test	Eğitim	Test
		% 1.79	% 1.80	% 3.15

Tablo 2’de istatistiksel hata parametrelerinin eğitim ve test veri grubu için değerleri görülmektedir. Literatürde yer alan diğer yöntemler ile kıyaslandığında hata değerlerinin her iki veri grubu içinde düşük oranlardadır. Eğitim veri grubunda daha fazla veri kullanılmış olması modelin test veri grubuna göre daha doğru sonuçlar vermesini sağlamıştır.

## SONUÇLAR

Yapı maliyeti yüksek ve ekonomik yaşam ömürleri uzun kıyı yapılarının projelendirilmesinde en önemli adımlardan birisi belirgin dalga yüksekliği  $H_s$ ’in doğru belirlenmesidir. Kıyı yapılarını gerek statik, gerekse dinamik açıdan zorlayan bu parametre birçok durumda ya yetersiz ya da eksik olarak veri setleri ile belirlenmektedir.

Özellikle  $H_s$  ve  $T_s$  verilerindeki eksiklikler projelendirme aşamasında hatalara sebep olmaktadır.  $H_s$ ’in doğru olarak belirlenebilmesi yüksek maliyetli kıyı yapılarının tasarım, yatırım ve onarım maliyetlerini düşürmektedir.

Çalışma, kıyı yapılarının projelendirilmesi aşamasında bu denli önemli bir parametrenin doğru olarak belirlenmesi aşamasında etkili olmakta, özellikle eksik veri seti ile  $H_s$ ’in değerlendirilmesi gereken durumlarda yüksek doğrulukta ve yüksek korelasyon değerlerine sahip sonuçlar vermektedir.  $H_s$  ve  $T_s$ ’in birlikte kullanıldığı modellerin gerçeğe daha yakın tahmin sonuçları oluşturduğu gözlenirken, sadece  $H_s$ ’e bağlı modellerin tahmin sonuçlarının düşük korelasyona sahip ve gerçek değerlerden daha uzak oldukları belirlenmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya konu olan Filyos bölgesindeki ölçümleri yapan mülga Demiryollar, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü çalışanlarına değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

Balas, C.E., Koc, L., Balas, L. (2004). Prediction of missing wave data by recurrent neuronets. *Journal Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering (ASCE)*, 125: 256-265.

- Balas, C.E., Koc, M.L., Tur, R. (2010). Artificial neural networks based on principal component analysis, fuzzy systems and fuzzy neural networks for preliminary design of rubble mound breakwaters. *Applied Ocean Research*, 32: 425-433.
- Balas, C.E., Tur, R. (2006). Litter categorization of beaches in Wales, UK by multi-layer neural networks. *WSEAS International Conferences on Applied Mathematics (MATH '06)*, May 27-29, Istanbul, Turkey, 7-14p.
- Balmat, J.F., Lafont, F., Maifret, R., Pessel, N. (2009). MARitime RiSk Assessment (MARISA), a fuzzy approach to define an individual ship risk factor. *Ocean Engineering*, 36(15–16): 1278–1286.
- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H. (1999). A third generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104: 7649-7666.
- Bretschneider, L.D. (1970). Revisions in wave forecasting, *Look Laboratory Report*, University of Hawaii.
- Coastal Engineering Manual (CEM)*. (2003). Meteorology and wave climate. Engineer Manual 2003; 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- Deo, M.C., Kumar, N.K. (2000). Interpolation of wave heights. *Ocean Engineering*, 27(9): 907–919.
- Deo, M.C., Naidu, C.S. (1999). Real time wave forecasting using neural networks. *Ocean Engineering*, 16: 191-203.
- Goda, Y. (2003). Revisiting Wilson’s formulas for simplified wind-wave prediction. *Journal Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering (ASCE)*, 125 (93): 93-95.
- Hasselmann, D.E., Dunckel, M., Ewing, J.A. (1973). Directional wave spectra observed during JONSWAP 1973. *Journal of Physical Oceanography*, 10: 1264-1280.
- Kim, D.H., Park, W.S. (2005). Neural network for design and reliability analysis of rubble mound breakwaters. *Ocean Engineering*, 32(11–12): 1332–1349.
- Mahjoobi, J., Etemad-Shahidi, A., Kazeminezhad, M.H. (2008). Hindcasting of wave parameters using different soft computing methods. *Applied Ocean Research*, 30: 28-36.
- Mandal, S., Rao, S., Manjunatha, Y.R., Kim, D.H. (2007). Stability analysis of rubble mound breakwaters using ANN. *In: Fourth Indian national conference on harbour and ocean engineering*. Dec 12-14, NITK, Surathkal.
- Mase, H., Sakamoto, M., Sakai, T. (1995). Neural network for stability analysis of rubble-mound breakwaters. *Journal Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering (ASCE)*, 121 (6): 294-299.
- Nayak, P.C., Sudheer, K.P. (2008). Fuzzy model identification based on cluster estimation for reservoir inflow forecasting. *Hydrological Processes*, 22: 827-841.
- Özçalık, H.R., Uygur, A.F. (2003). Dinamik sistemlerin uyumlu sinirsel-bulanık ağ yapısına dayalı etkin modellenmesi. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (1): 36-46.



- Rao, S., Mandal, S. (2005). Hindcasting of storm waves using neural networks. *Ocean Engineering*, 32: 667-684.
- Shore Protection Manual (SPM)*. (1984). Wave and water level predictions. Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- Sylaios, G., Bouchette, F., Tsihrintzis, V.A., Denamiel, C. (2009). A fuzzy inference system for wind-wave modeling. *Ocean Engineering*, 36(17-18):1358-1365.
- Tsai, C.P., Lee, T.L. (1999). Back-propagation neural network in tidal-level forecasting. *Journal Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering (ASCE)*, 125 (4): 195-202.
- Tsai, C.P., Shen, J.N., Kerh T. (1999). Wave forecasting using neural network model. In: *Artificial intelligence applications in civil and structural engineering*. Civil-Comp. Press, 123-130.
- Tsai, C.T., Tsai, C.H. (2009). Wave measurements by pressure transducers using artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 36 (15-16): 1149-57.
- Tsoukalas, L.H., Uhrig, R.E. (1996). Fuzzy and Neural Approaches in Engineering. John Wiley & Sons Ltd., New York, A.B.D..
- WAMDI group. (1998). The WAM model-a third generation ocean wave prediction model. *Journal of Physical Oceanography*, 18: 1775-1810.
- Wilson, B.W. (1965). Numerical prediction of ocean waves in the North Atlantic for December 1959, *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, 18(3): 114-130.
- Yasseri, S.F., Bahai, H., Bazargan, H., Aminzadeh, A. (2010). Prediction of safe sea-state using finite element method and artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 37(2-3): 200-207.
-