

Bulanık mantık yöntemiyle dalgakıranlar üzerindeki maksimum tırmanmanın belirlenmesi

Tarkan ERDİK*, M. Emin SAVCI

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Dökme-taş korumalı kıyı yapıları, arkasındaki alanı şiddetli dalga ve akıntılara karşı koruyan yüksek maliyetli yapılardır. Bu tür yapılarda, maksimum dalga tırmanması, tepe yüksekliğini belirleyen önemli bir parametredir. Kapsamlı literatür incelemesinden görülmüştür ki, regresyon analizleri neticesinde bulunan Van der Meer ve Stam yaklaşımı, dökme-taş korumalı kıyı yapılarının kret seviyesini hesaplamak için ilgili birçok şartnamede tavsiye edilmektedir. Oysa regresyon analizi neticesinde bulunan bu denklemin sağlaması gereken birtakım önkabuller vardır. Bu kabullerden herhangi biri sağlanmıyorsa regresyon analizi neticesinde elde etmiş olduğumuz denklem taraflı sonuç verir ve hatalıdır. Bu kabuller sırasıyla doğrusallık, normallik, şartlı dağılımın ortalamasının sıfır olması, eşit varyans, iç bağımlılık ve ölçülerin hatasız olmasıdır. Van der Meer ve Stam tarafından elde edilen laboratuvar verilerinin istatistiksel analizleri yukarıda verilen 6 şart için yapıldığında test sonuçları göstermiştir ki Van der Meer ve Stam denklemi, mevcut hali ile regresyon analizi yapılma şartlarını sağlayamamaktadır. Bu yüzden bu denklem taraflı ve hatalı sonuç vermektedir. Bu çalışmada içerisinde hiçbir önkabul barındırmayan Bulanık Mantık yönteminden yararlanılmıştır. Nümerik hata kriterleri ve grafik gösterimler, Bulanık Mantık yönteminin, Van der Meer ve Stam yaklaşımından daha gerçekçi ve daha pratik sonuçlar verdiğini göstermektedir. Ayrıca, Bulanık Mantık yönteminin kıyı benzerlik parametresine bağlı bir geçiş bölgesi bulunmamaktadır. Bundan dolayı, geliştirilen Bulanık Mantık modelin kullanımı kolay ve pratiktir. Bu yüzden, bu çalışmada önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Bulanık mantık, regresyon analizi, kret seviyesi.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Tarkan ERDİK. erdik@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 37 20.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Dalgakıranlardaki maksimum tırmanmanın belirlenmesi" isimli doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 29.06.2009 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 04.08.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Erdik, T., Savcı, M.E., (2010) 'Bulanık mantık yöntemiyle dalgakıranlar üzerindeki maksimum tırmanmanın belirlenmesi', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 9: 6, 95-104" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

Fuzzy logic approach for maximum wave runup estimation on rock armored slopes

Abstract

Extensive researches have been conducted about wave runup on smooth sloped breakwaters all over the world for a long time. Runup behavior on rough rock armored slopes are significantly different even under the same wave conditions. However, investigations on rock armored slopes are very limited. Rock armored slopes such as breakwaters and revetments are high-cost structures that defend the area behind them against severe wave attacks and strong currents. Wave runup is a crucial factor dictating the crest level of these structures. Van der Meer conducted extensive series of physical model tests under random sea states for investigating stability of rock armored slopes at Delft Hydraulics Laboratory, during which runup values are measured simultaneously. After qualitative review of various parameter influences concerning wave runup on impermeable, permeable and homogenous rock structures, Van der Meer and Stam proposed the most widely used formulae for the forecast of dimensionless 2% wave runup elevation as function of surf similarity parameter by using regression analysis, which is also recommended by the U.S. Army Corps of Engineers, British standards. The regression model consists of two parts, namely linear and power functions. Hence, it is necessary to consider a transition region which depends on the variable surf similarity parameter. Rock armored slopes are often designed according to the runup level exceeded by 2% of the incident waves, $R_{u2\%}/H_s$, on the front face of the coastal structure by using Van der Meer and Stam formulae. This parameter is defined as the vertical distance between the still-water level and the elevation exceeded by 2% percent of the runup values in the distribution. This means that, for every 100 waves running up a slope, two waves would have a runup elevation exceeding the level estimated by R . From the literature survey, it is seen that the two most important factors influencing runup phenomena on rock armored slopes are structure permeability and surf similarity parameter. Since the relationships between wave runup and these parameters are complex, vague and uncertain in nature, it is quite difficult to adequately examine wave runup by conventional regression approaches. Here, an attempt is made to construct various Takagi-Sugeno (TS, 1985) fuzzy models for predict-

ing the 2% wave runup on rock armored slopes. The key task in developing a satisfactory forecasting model in the TS approach is the selection of appropriate input variables and numerical counts and types of Membership Functions of these variables, which determines the architecture of the model. Subsequently, the premise and consequent parameters are optimized by using ANFIS learning procedure. ANFIS, free of restrictive assumptions, optimizes premise and consequent parameters by gradient descent and least-squares methods, respectively, in order to best learn information about the dynamic system and does not contain any transition regions, as in the Meer and Stam equation depending on surf similarity parameter. In this study, many ANFIS models with different architectures are trained with the same 100 training data of Van der Meer and Stam. The training performance of each model is accomplished within a short time. They are compared with conventional empirical model of Van der Meer and Stam and with one another by using the 161 test data. As a result, the system with two inputs, namely structure permeability and surf similarity parameter, and each of which is assigned three trapezium MFs provides a smaller error compared to the empirical and other constructed ANFIS models and therefore is selected. In the constructed model, structure permeability and surf similarity parameter variables are initially assigned three trapezium MFs with equal base widths. Then each parameter in the membership functions in the premise part of fuzzy IF-THEN rules that changes the shapes of the membership function is set to an appropriate value to match the output data of the training data by using the back propagation algorithm. This leads Structure Permeability and Surf similarity parameter variables to different trapezium shapes. The developed fuzzy model with two inputs namely structure permeability and surf similarity parameter yielded the best result out of all constructed models and is proposed in this study. The presented model is validated by comparison with widely used empirical model of Meer and Stam recommended by the U.S. Army Corps of Engineers, using the experimental data-sets of Van der Meer and Stam. The verification process is obtained through scatter diagrams and two numerical error criterias. It was found that the Fuzzy Logic model produce better accuracy in performance than the Van der Meer and Stam's empirical model.

Keywords: Fuzzy logic; regression analysis, crest level.

Giriş

Düzensiz deniz koşulları altında meydana gelecek maksimum tırmanma, literatürde fazla incelenmemiş bir konudur.

Bu konu ile ilgili ilk çalışmayı, Losada ve Giménez-Curto (1981) gerçekleştirmiştir. O zamanki laboratuvar teknolojileri fazla gelişmemiş olduğundan model deneyleri düzenli deniz koşulları altında yapılmıştır. Önerdikleri eksponensiyel denklem;

$$\frac{R_u}{H} = A(1 - \exp(B\xi)) \quad (1)$$

şeklinde. Burada; R_u =dalga'nın koruma yapısı üzerindeki maksimum tırmanma yüksekliği, H =gelen dalga yüksekliği, ξ = düzenli deniz koşulları altındaki kıyı benzerlik parametresidir ($\xi = \tan \alpha / \sqrt{H/L}$).

Losada ve Giménez-Curto (1981), formülasyondaki A ve B parametrelerini, çeşitli araştırmacıların çeşitli koruma tabakalarına göre elde ettikleri verileri regresyon analizi kullanmak suretiyle hesaplamışlardır. Bu parametreler sırasıyla, dökme-taş için 1.3698 ve -0.5964; Tetrapod için 0.9341 ve -0.7502; Dolos için 1.2158 ve -0.5675 ve Quadripod için 1.5382 ve -0.2483 dür.

Düzensiz deniz koşulları altında, kıyı koruma yapıları üzerinde meydana gelecek maksimum tırmanmayı belirleyen ilk çalışmayı Allsop ve diğerleri (1985) yapmıştır. Bu araştırmacılar, Losada ve Giménez-Curto (1981) denklemini izleyerek, düzensiz deniz koşulları altında beton koruma üniteleri üzerindeki maksimum tırmanmayı bulmayı hedeflemişlerdir. Tetrapod ve Antifer koruma üniteleri için geliştirdikleri denklemler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

$$\frac{R_{u2\%}}{H_s} = 1.94(1 - \exp(-0.3\xi_{op})) \quad (2)$$

$$\frac{R_{u2\%}}{H_s} = 1.68(1 - \exp(-0.35\xi_{op})) \quad (3)$$

Burada; $R_{u2\%}$ = gelen dalgaların %2'sinin aştığı düşey tırmanma yüksekliği, H_s = gelen dalgaların belirgin dalga yüksekliği, $\xi_{op} = \tan \alpha / \sqrt{H_s / L_{op}}$ pik dalga periyoduna bağlı kıyı benzerlik parametresidir. Van der Meer ve Stam (1992) düzensiz deniz koşulları altında dökme-taş korumalı kıyı yapıları üzerindeki tırmanmayı belirleyen günümüze kadarki en önemli çalışmayı gerçekleştirmiştir. Bu çalışma neticesinde önerdikleri denklemler, birçok kıyı mühendisliği ile ilgili şartnamede tavsiye edilmektedir (CUR/CIRIA, 1995; CEM, 2002; PWDM, 2003).

Van der Meer ve Stam (1992) üç tip kıyı yapısı için deneyler yapmıştır. Bunlar sırasıyla, geçirimsiz, geçirimli ve homojen yapılardır. Bu yapı kesitleri, Şekil 1 (a-c)'de gösterilmiştir.

Geçirimsiz, geçirimli ve homojen kesitler için maksimum tırmanma aşağıdaki denklemlerle belirlenmektedir.

$$\frac{R_{u2\%}}{H_s} = 0.96\xi_m \quad \xi_m \leq 1.5 \quad (4)$$

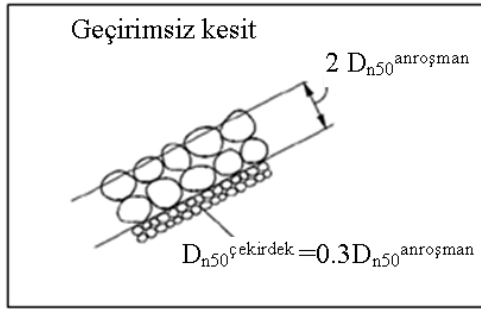
$$\frac{R_{u2\%}}{H_s} = 1.17\xi_m^{0.46} \quad \xi_m > 1.5 \quad (5)$$

Burada; $\xi_m = \tan \alpha / \sqrt{H_s / L_m}$ ortalama dalga periyoduna bağlı kıyı benzerlik parametresidir. Önerdikleri denklemlerin, yalnızca geçirimli ve homojen kesitlerde geçerli olmak üzere bir limiti vardır. Bu limit,

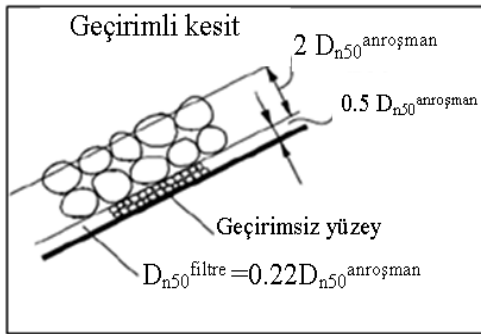
$$\frac{R_{u2\%}}{H_s} = 1.97 \quad (6)$$

şeklinde.

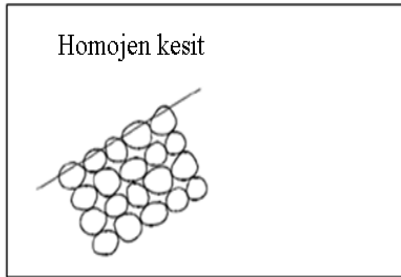
Ayrıca, Silva ve diğerleri (1998) ile Kingston ve Murphy (1996) düzensiz deniz koşulları altında tırmanmayı incelemişlerdir ama Van der Meer ve Stam (1992) kadar literatürde kabul görmemişlerdir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1. Üç tip kıyı yapısı (Van der Meer ve Stam, 1992)

Van de Walle (2003) düzensiz dalgaların meydana getirdiği maksimum tırmanmayı prototip ve model deneyleri gerçekleştirmek suretiyle incelemiş ve karşılaştırmıştır. Zeebrugge dalgakıranında (Belçika) gerçekleştirdiği prototip deneyler neticesinde, düzensiz deniz koşulları altında prototipte meydana gelen tırmanmaların, model testleri neticesinde bulunan tırmanmalara göre %40 mertebesine kadar fazlalık gösterebildiğini işaret etmiştir.

Düzensiz deniz koşulları altında kıyı koruma yapılarında meydana gelen maksimum tırman-

malar dikkate alındığında, literatürde yeterli miktarda çalışma olmadığı açıktır. Bu çalışmaların tamamı, gerçekleştirilen deney verilerine regresyon analizi uygulanmak suretiyle elde edilmiştir. Bu çalışmalardan, Van der Meer ve Stam (1992)'ın çalışması en önemli çalışma olup, birçok kıyı mühendisliği ile ilgili şartname ve proje kriterlerinde tavsiye edilmektedir.

Dökme-taş korumalı kıyı yapıları, arkasındaki alanı şiddetli dalga ve akıntılara karşı koruyan yüksek maliyetli yapılardır. Bu tür yapılarda, maksimum dalga tırmanması, tepe yüksekliğini belirleyen önemli bir parametredir (CEM, 2002; Van der Meer ve Stam, 1992; Hughes, 2005). Kapsamlı literatür incelemesinden görülmüştür ki, regresyon analizleri neticesinde bulunan Van der Meer ve Stam (1992) denklemi, dökme-taş korumalı kıyı yapılarının kret seviyesini hesaplamak için ilgili birçok şartnamede tavsiye edilmektedir (CEM, 2002; CUR/CIRIA, 1995; PWDM, 2003). Oysa regresyon işleminden önce, elde edilen verilerin analiz edilmesi ve birtakım regresyon kabullerini sağlayıp, sağlamadığının incelenmesi gerekmektedir. Bu kabullerden herhangi biri çiğnenmişse regresyon analizi neticesinde elde etmiş olduğumuz denklem taraflı sonuç verir ve hatalıdır. Bu durumdan kurtulmak için ise mutlak suretle bazı dönüşümlerle veriler kabullere uygun hale getirilmelidir. Bu kabuller sırasıyla (Şen, 2002);

- 1-Doğrusallık kabulü: Genel gidişin bir doğru şeklinde olması gerekmektedir. Bunun için, saçılma diyagramlarına görsel olarak bakılır ve genel gidişatın bir doğru şeklinde olması istenir. Aksi bir durumun oluşması durumunda değişkenlerin biri, diğeri veya her ikisini logaritmik dönüşüme tabi tutmak gerekmektedir.
- 2-Normallik kabulü: Regresyon çözümlerinin geçerliliği için değişkenlerin normal dağılıma uyması gerekmektedir. En azından sıklık fonksiyonunun simetrik veya normale yakın olması istenir. Eğer veriler normal dağılıma uymayacak olursa logaritmik, karekök, küpkök dönüşümlerden yararlanmak suretiyle verilerin normal dağılıma uyması sağlanmalıdır.

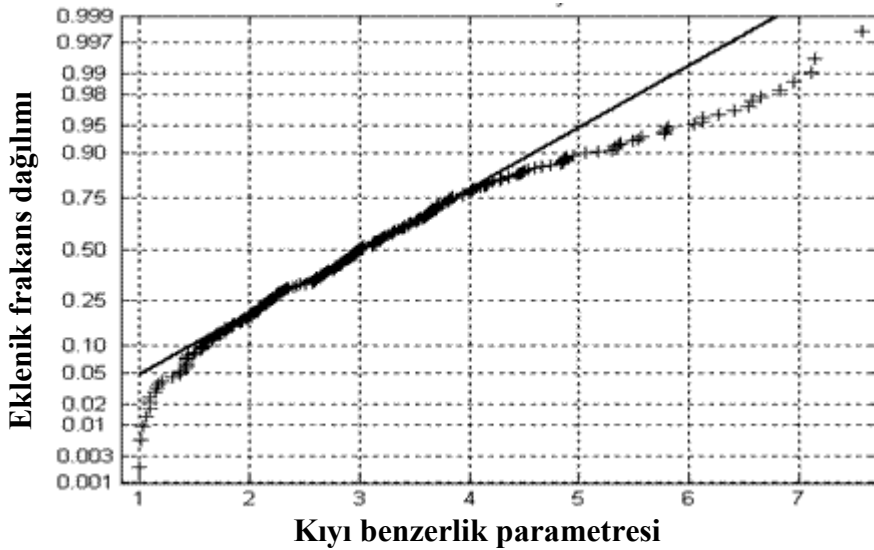
- 3-Şartlı dağılımın ortalamasının sıfır olması gerekliliği: Verilerin herbir değeri için hesaplanan hataların aritmetik ortalaması mutlaka sıfıra eşit olmalıdır. Aksi takdirde hesaplanan regresyon katsayıları taraflı olur.
- 4-Eşit varyans: Artık terimlerin dağılım fonksiyonlarının varyansları x eksenini boyunca değişmemelidir.
- 5-İç bağımlılık kabulü: Bağımsız değişkenin herbir ölçümünün, o değişkenin diğer zamanlardaki veri ölçümlerinden bağımsız olması gerekmektedir.
- 6-Ölçülerin hatasız olması kabulü: Regresyon doğrusu aranırken ölçüm değerlerinin hata ihtiva etmemeleri istenmektedir.

Van der Meer ve Stam (1992) tarafından elde edilen laboratuvar verilerinin istatistiksel analizleri yukarıda verilen 6 şart için yapılmıştır. Test sonuçları göstermiştir ki Van der Meer ve Stam (1992) denklemi, mevcut hali ile regresyon analizi uygulama şartlarını sağlayamamaktadır. Şekil 2'den görüldüğü üzere Van der Meer ve Stam verilerinden kıyı benzerlik parametresi (Surf Similarity Parameter (SSP)) çarpık bir dağılım vermektedir. Bu sonuç, Van der Meer ve Stam verilerine regresyon analizinin uygulanmaması gerektiğini, aksi takdirde önerilen denklemin içerisinde belirsizlikler barındıracağını göstermektedir. Her ne kadar Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımı kıyı mühendisliği ile ilgili birçok şartnamede tavsiye edildiyse de, te-

mel bilimsel kabullerden yoksun olduğu açıktır ve kullanılmamalıdır. Bu çalışmanın hedeflerinden bir tanesi de kıyı mühendisleri ve araştırmacılarının güvenerek kullanabileceği, içerisinde mümkün olduğu kadar az belirsizlikler içeren, daha gerçekçi tahmin yapabilen ve bilimsel ön kabulleri çığnemeyen bir modelin kurulmasıdır.

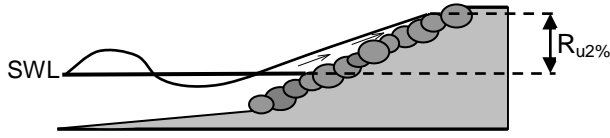
Bu amaç doğrultusunda, regresyon analizlerinin aksine içerisinde hiçbir ön kabul içermeyen yapay zeka yöntemlerinden TS (Takagi-Sugeno, 1985) bulanık model yönteminden yararlanılmıştır. TS bulanık model yönteminin, kıyı mühendisliği alanında kullanımı oldukça yenidir. Literatürde, dökme-taş korumalı kıyı yapılarının üzerindeki maksimum tırmanmayı bulmaya yönelik çalışmalarda yapay zeka yöntemlerinin kullanılması hususunda önemli bir eksiklik vardır. Kapsamlı literatür incelemesinden görülmüştür ki, gerçekleştirilen bu çalışma öncesine kadar hiçbir çalışma maksimum dalga tırmanmasını belirlemek için yapay zeka yöntemlerinden yararlanmamıştır. Bu durum itibarıyla çalışma özgün bir değer taşımaktadır. Yapay zeka modellerinin kurulması için, Van der Meer ve Stam'ın (1992) Delft Hydraulics laboratuvarında gerçekleştirdiği konu ile ilgili veriler kendileriyle temas kurulmak suretiyle alınmıştır.

Düzensiz dalgaların meydana getirdiği maksimum tırmanma, literatürde $R_{u2\%}$ parametresiyle ifade edilmektedir. (Van der Meer ve Stam,



Şekil 2. Kıyı benzerlik parametresinin eklenik frekans dağılımı

1992). Bu parametre, su seviyesi ile gelen dalgaların %2'sinin aştığı düşey mesafe olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3). Bu çalışmada, kurulan modellerin hepsinde bu parametrenin tahmin edilmesi hedeflemektedir.



Şekil 3. Gelen dalgaların %2'sinin aştığı düşey mesafe

Bulanık mantık yöntemi

Bulanık mantık metodu, mühendislik ve araştırma alanlarında iki şekilde kullanılmaktadır. Bunlar;

- Mamdani Yaklaşımı
- Takagi-Sugeno Yaklaşımı'dır.

Mamdani yaklaşımı, yoğun belirsizliklerin hakim olduğu olaylarda iyi sonuç vermektedir. Mamdani yaklaşımın kullanımın yarattığı en önemli sorun ise, uygun üyelik fonksiyonlarının seçiminin ve optimizasyonun kullanıcı tarafından belirlenmesidir. Yani, uzman görüşü esastır. Diğer yandan, TS yaklaşımı üyelik fonksiyonları ve kurallar dizisini belirli algoritmalara göre atamaktadır. TS yaklaşımda karşılaşılabilecek en önemli sorun ise, eğitime algoritmaları neticesinde oluşan üyelik fonksiyonu ve kural tabanının bazı durumlarda Bulanık Mantık felsefe ve prensiplerinin önüne geçmesidir. Görüldüğü üzere, her iki yöntemin birbirine göre belirli üstünlük ve zayıflıkları vardır. Bu çalışmada, TS bulanık mantık yaklaşımı seçilmiştir. Fakat, bütün eğitime aşamasında Bulanık Mantık temel prensip ve felsefesinden ayrılmaya asla taviz verilmemiştir. Kurulan modellerin her aşaması dikkatle takip edilmiş ve eğitime algoritmasının mekanik olarak kullanılmasından kaçınılmıştır. Kurulan modellerden bazıları, nümerik test kriterlerine göre oldukça iyi sonuç vermesine rağmen bu husus dikkate alınarak elenmiştir.

TS (1985) bulanık modelin IF-THEN kontrol kurallarını aşağıdaki formda vermiştir:

$$R_r : IF \ x_1 = S_r^{(1)} \text{ ve } x_2 = S_r^{(2)} \dots \dots \dots \text{ve } x_p = S_r^{(p)} \text{ THEN } y_r = f_r(x_1, x_2, \dots, x_p),$$

Burada, R_r = Bulanık model kurallarını, x_j = küme elemanlarını, $S_r^{(i)}$ = bulanık kümeleri; y_r = sonuç fonksiyonunu ve $f_r(\cdot)$ = her bir bulanık IF-THEN kurallarının sonucunu vermektedir. TS yaklaşımında her bir kuralın sonucu (y_r), küme elemanlarının doğrusal kombinezonu ile sabit bir terimin toplanması şeklinde bulunmaktadır. TS (1985) bulanık çıkarımı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

- Tetiklenen her R_r kuraldan sonra y_r sonuç fonksiyonu hesaplanır,
- Her bir tetiklenen kuralın ağırlığı, "VE" operatörü ile bulanık kümelerin α kesimleri dikkate alınarak öncül kısımda hesaplanır,
- Nihai sonuç ise, her bir tetiklenen kuralın ağırlık ortalaması bulunarak elde edilir.

Bu çalışmada, TS bulanık çıkarım metodu için, bulanık kümelerin ve sonuç fonksiyonların optimizasyonunda ANFIS algoritmasından yararlanılmıştır. ANFIS eğitim algoritması 5 katmandan meydana gelmektedir. Konuyu daha iyi bir şekilde anlayabilmek için, iki girdi ve bir çıktıdan oluşan bir yapı düşünelim. Bu yapının kural tabanının da aşağıdaki gibi verildiğini farzedelim.

- Rule 1: If (x is A_1) ve (y is B_1) THEN ($f_1 = p_1 \times x + q_1 \times y + r_1$);
- Rule 2: If (x is A_2) ve (y is B_2) THEN ($f_2 = p_2 \times x + q_2 \times y + r_2$);

Burada; x ve y girdileri; A_1, A_2, B_1, B_2 üyelik fonksiyonlarını ve $p_1, q_1, r_1, p_2, q_2, r_2$ sonuç parametrelerini bildirmektedir. Üyelik fonksiyonları, üçgen, trapez, dikdörtgen ve gauss dağılımlı olabilir. Örnek olarak, trapez üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\mu_{A_i}(x; a_i, b_i, c_i, d_i) = \max\left(\min\left(\frac{x - a_i}{b_i - a_i}, 1, \frac{d_i - x}{d_i - c_i}\right), 0\right) \quad (7)$$

Burada, (a_i, b_i, c_i, d_i) öncül parametrelerdir. Şekil 4'te bir ANFIS eğitim algoritmasının şeması verilmiştir. Burada;

Katman 1: Bu katmanın her bir noktası girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonunu taşımaktadır. Üyelik fonksiyonunun ayarlanması bu katmanda gerçekleşmektedir.

Katman 2: Her bir kural tabanının ağırlığı bu tabakada hesaplanır.

Katman 3: Bu katmanın görevi, her kuralın ağırlığını, diğer kuralların ağırlıkları toplamına bölmek suretiyle oranlamaktır.

Katman 4: Bu katmanda lineer fonksiyonun sonuç parametreleri hesaplanmaktadır.

Katman 5: Sonucun verildiği tabakadır. ANFIS algoritmasının iki önemli hesap adımı vardır. Bunlardan ilki; optimum üyelik fonksiyonlarını oluştururken sonuç parametrelerini sabit tutmaktır (geriye yayılım algoritma). İkincisi ise, sonuç parametrelerini optimize ederken üyelik fonksiyonlarının parametrelerini sabit tutmaktır (en küçük kareler yöntemi).

TS bulanık model kurularak düzensiz deniz koşulları altında tırmanmanın belirlenmesi

TS Bulanık Mantık modelinde en önemli görev; uygun girdi değişkenlerinin seçilip, bu girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarının tip ve sayısına model kurulum aşamasında karar verilmesidir. Daha sonra, ANFIS algoritması kullanılarak optimizasyon gerçekleşmektedir.

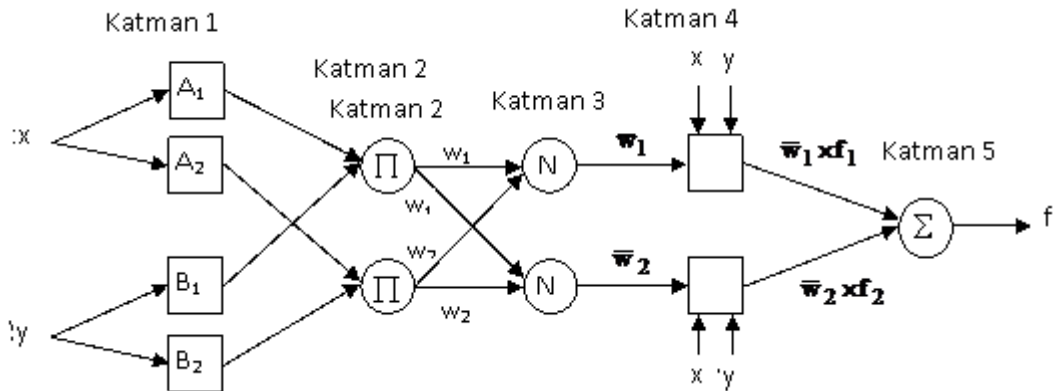
Bu çalışmada birbirinden farklı girdi değişkenlerinin, farklı üyelik fonksiyonu tip ve adedine bağlı 16 adet model, rastgele seçilen 100 veri

kullanılmak suretiyle eğitilmiştir. Eğitilen her model birbirleriyle ve Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımıyla karşılaştırılmak suretiyle optimum modelin bulunmasına çalışılmıştır. Sonuç olarak, iki girdi ile her bir girdi için üç adet trapez üyelik fonksiyonundan meydana gelen sistem en iyi sonucu vermiş ve bu çalışmada açıklanmıştır. Optimum modeldeki girdi değişkenleri, kıyı benzerlik parametresi (surf similarity parameter) ile permeabilite katsayısı (SP)'dir. Çıkış değişkeni ise boyutsuz tırmanma yüksekliğidir ($R_{u2\%} / H_s$). Bu sonuç hiç de sürpriz değildir. Çünkü, Van der Meer ve Stam (1992) belirtmiştir ki surf similarity parameter ile SP dalgakıranların üzerindeki tırmanmanın belirlenmesinde diğer parametrelere nazaran (spektrum tipi, dalgakıran açısı vs) daha iyi sonuç vermektedir. Şekil 5 ve 6'da optimum TS bulanık mantık modelinin üyelik fonksiyonları verilmiştir.

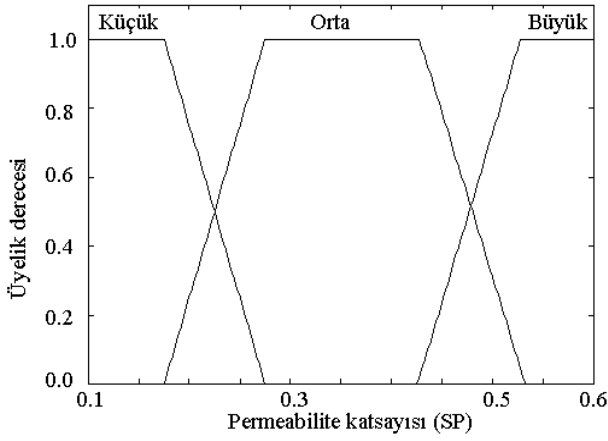
Şekillerden de görüldüğü üzere, her iki girdi üç farklı üyelik fonksiyonundan oluşmaktadır. Üyelik fonksiyonları "Küçük", "Orta" ve "Büyük" olmak üzere üç'e ayrılmıştır. Optimum TS bulanık modeli, 2 girdi değişkeninin 3'er adet üyelik fonksiyonu taşıması sebebiyle $3 \times 3 = 9$ adet kuraldan meydana gelmektedir (Tablo 1).

Önerilen TS bulanık modelin tahmin yeteneğinin değerlendirilmesi

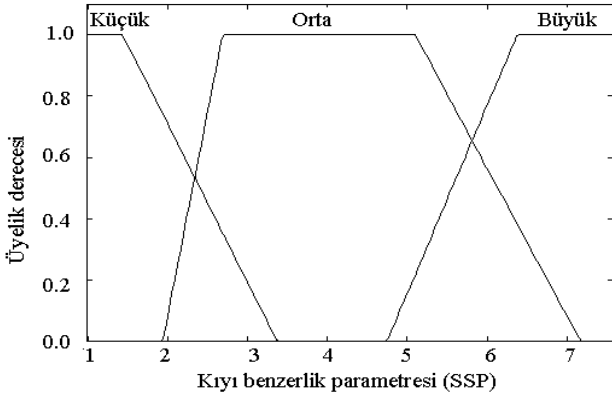
Önerilen modelin tahmin yeteneğini değerlendirmek için, 161 adet eğitim aşamasında kullanılmayan test verilerinden yararlanılmıştır.



Şekil 4. ANFIS eğitim algoritması



Şekil 5. Permeabilite katsayısının üyelik fonksiyonları



Şekil 6. Kıyı benzerlik parametresinin üyelik fonksiyonları

Korelasyon katsayısı (R^2) ve Hata Karelerinin Ortalaması (HKO) kullanılarak, önerilen TS bulanık mantık modelinin tahmin yeteneği hesaplanmıştır. R^2 ve HKO denklem 8 ve 9’da verilmiştir.

$$R^2 = \frac{\left[p \left(\sum_{i=1}^p (X_m)_i (X_p)_i \right) - \left(\sum_{i=1}^p (X_m)_i \right) \left(\sum_{i=1}^p (X_p)_i \right) \right]^2}{\left[p \left(\sum_{i=1}^p (X_m)_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^p (X_m)_i \right)^2 \right] \left[p \left(\sum_{i=1}^p (X_p)_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^p (X_p)_i \right)^2 \right]} \quad (8)$$

$$HKO = \frac{\sum_{i=1}^p [(X_m)_i - (X_p)_i]^2}{p} \quad (9)$$

Burada, “m” ve “p” ölçülen ve tahmin edilen değerleri vermektedir. 161 test datası için öneri-

len TS bulanık model sonuçları MS (Van der Meer ve Stam, 1992) yaklaşımıyla karşılaştırılmalı olarak Tablo 2’de sunulmuştur. Buradan görüldüğü üzere, TS bulanık model yaklaşımının R^2 değeri 0.559 dan 0.621’e çıkmıştır. HKO değeri ise 0.071’den 0.053’e düşmüştür.

Tablo 1. Optimum TS bulanık mantık modeli kural tabanı

Kurallar	Kural tanımları
	IF $SP = \text{“Küçük”}$ ve $SSP = \text{“Küçük”}$ THEN $R_{u2\%/Hs} = 0.0539 \times SP +$
1	$0.4937 \times SSP + 0.539$ IF $SP = \text{“Küçük”}$ ve $SSP = \text{“Orta”}$ THEN $R_{u2\%/Hs} = 0.06525$
2	$\times SP + 0.4004 \times SSP + 0.6525$ IF $SP = \text{“Küçük”}$ ve $SSP = \text{“Büyük”}$ THEN $R_{u2\%/Hs} = 0.1809 \times SP +$
3	$0.1116 \times SSP + 1.809$ IF $SP = \text{“Orta”}$ ve $SSP = \text{“Küçük”}$ THEN $R_{u2\%/Hs} = -1.65 \times SP + 2.937 \times SSP - 3.299$
4	IF $SP = \text{“Orta”}$ ve $SSP = \text{“Orta”}$ THEN $R_{u2\%/Hs} = -0.5227 \times SP + 0.7091 \times SSP -$
5	1.045 IF $SP = \text{“Orta”}$ ve $SSP = \text{“Büyük”}$ THEN $R_{u2\%/Hs} = 0.7711 \times SP - 0.3505 \times SSP + 1.542$
6	IF $SP = \text{“Büyük”}$ ve $SSP = \text{“Küçük”}$ THEN $R_{u2\%/Hs} = 1.29 \times SP +$
7	$0.01248 \times SSP + 0.8718$ IF $SP = \text{“Büyük”}$ ve $SSP = \text{“Orta”}$ THEN $R_{u2\%/Hs} = 0.8669 \times SP +$
8	$0.1372 \times SSP + 1.04$ IF $SP = \text{“Büyük”}$ ve $SSP = \text{“Büyük”}$ THEN $R_{u2\%/Hs} = -0.9713 \times SP + 0.6266 \times SSP -$
9	1.021

Tablo 2. Optimum TS bulanık mantık modelinin performansı

Karşılaştırmalı model sonuçları			
TS Bulanık Model sonucu		Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımı	
R^2	HKO	R^2	HKO
0.621	0.053	0.559	0.071

TS Bulanık modelinin tahmin yeteneği ayrıca Van de Walle’nin (2003) 13 prototip verisi kullanılmak suretiyle de incelenmiştir. Bu prototip verileri, gerek elde etme özelliği gerekse de kurulan bir modelin geçerliliğinin sağlanması hu-

susunda literatürde eşsiz bir öneme sahiptir. Tablo 3’ de belirtildiği üzere, TS bulanık model yaklaşımı, Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımını prototip veriler için de geçmektedir. Tablo 3’te kullanılan H_{mo} değeri belirgin dalga yüksekliği olup, spektral analiz neticesinde hesaplanmaktadır. Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımı, prototipte ölçülen 13 fırtına için sabit 1.97 değerini vermekte ve bu değer de koruma yapılarında oluşacak maksimum tırmanmayı olması gerekenden daha yüksek değere çıkartmaktadır. Bu durumda, dökme-taş korumalı kıyı yapılarının maliyeti arttırmaktadır. Oysa, TS bulanık modeli, 13 fırtına değeri için çok daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Tablo 3’den de görüldüğü üzere, Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımı ortalama 14.6’ lık bir ortalama rölatif hata yüzdesi (ORHY) verirken, TS bulanık mantık modelinin ORHY’si 5.1 dir. (Erdik ve Savcı, 2008).

Tablo 3. Prototip dataları kullanılarak model performansları

Fırtına sayısı	Ölçüm değeri	Van der Meer ve Stam (1992)	Erdik ve Savcı (2008)
	$R_{u2\%}$ H_{mo}	$R_{u2\%}$ H_{mo}	$R_{u2\%}$ H_{mo}
1	1.56	1.97	1.74
2	1.54	1.97	1.78
3	1.75	1.97	1.80
4	1.79	1.97	1.77
5	1.71	1.97	1.74
6	1.82	1.97	1.81
7	1.69	1.97	1.74
8	1.9	1.97	1.71
9	1.81	1.97	1.82
10	1.68	1.97	1.71
11	1.8	1.97	1.72
12	1.74	1.97	1.76
13	1.63	1.97	1.82

Sonuçlar

Günümüzde, dökme-taş korumalı kıyı yapılarının kret seviyesinin belirlenmesinde $R_{u2\%}$ dalga parametresinin (dalgaların, dalgakıran üzerinde %2’sinin aştığı düşey mesafe) doğru tahmin edilmesi zorunludur. Aksi takdirde, koruma ya-

paları gereksiz veya yetersiz tasarlanmış olurlar. Bu durum, fazla maliyet veya riskli tasarım anlamına gelmektedir. Pratikte, Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımı kıyı mühendisleri ve araştırmacıları tarafından çokça kullanılmaktadır. Üstelik, bu yöntem CEM (2002), CUR/CIRIA (1995), PWDM (2003), British Standarts (2000) ve DLH (2007) gibi konu ile ilgili şartnameler ve proje kriterleri tarafından da önerilmektedir. Fakat, bu çalışmada ispatlanmıştır ki Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımı içerisinde belirsizlikler barındırmaktadır. Bu çalışmada, hiçbir ön kabul içermeyen yapay zeka modelleri kurulmak suretiyle (16 tane TS bulanık mantık modeli) dalgakıranların düzensiz dalga şartları altındaki maksimum tırmanması belirlenmiş ve en optimum sonuç veren TS bulanık mantık modeli önerilmiştir. Önerilen modelin, Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımına kıyasla birtakım avantajları vardır. Bunlar;

- 1- Önerilen TS bulanık mantık modelinin hiçbir ön kabulü gerçekleştirilmesi gerekmemektedir. Oysa, Van der Meer ve Stam (1992) modeli regresyon analizleri ile gerçekleştirildiğinden birtakım ön kabulleri sağlaması gerekmektedir. Bu çalışmada gösterilmiştir ki, Van der Meer ve Stam (1992) modeli regresyon analizlerinin ön kabullerini sağlayamadığından taraflı ve hatalı sonuçlar vermektedir.
- 2- Önerilen TS bulanık mantık modelinde, Van der Meer ve Stam (1992) modelinin aksine kıyı benzerlik parametresine bağlı bir geçiş bölgesi bulunmamaktadır. Bundan dolayı, TS modelinin kullanımı kolay ve pratiktir.
- 3- Nümerik hata kriterleri neticesinde, TS modelinin, Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımına göre daha gerçekçi sonuç verdiği görülmektedir.
- 4- Bu araştırmanın en önemli katkısı, kıyı yapılarının kret seviyesi belirlenirken, belirsizliklerin meydana getireceği fazla yapı maliyetinin en aza indirilmesidir.

Kaynaklar

Allsop, N.W.H., Hawkes, P.J., Jackson, F.A. ve Franco, L., (1985). Wave runup on steep slopes model tests under random waves, Hydraulic Research Wallingford, Report SR2.

- British Standards, (2000). Maritime structures. Code of practice for general criteria, BS 6349, London, England.
- CEM, (2002). Coastal engineering manual. Engineer manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (in 6 volumes).
- CUR/CIRIA, (1995). Manual on the use of rock in hydraulic engineering, CUR/RWS Report 169.
- DLH, (2007). Kıyı Yapıları ve Limanlar Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryollar, Limanlar, Hava meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Erdik, T. ve Savcı, M.E., (2008) Takagi-Sugeno fuzzy approach in rock armored slopes for 2% wave runup estimation, *Coastal Engineering Journal*, **50**, 2, 161-177.
- Hughes, S.A., (2005) Estimating irregular wave runup on rough, impermeable slopes, ERDC/CHL CHETN-III-70, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Kingston, K. ve Murphy, J., (1996) Thematic report: Wave runup / rundown, MAST II project.
- Losada, M.A. ve Gimenez-Curto, L.A., (1981) Flow characteristics on rough permeable slopes under wave action, *Coastal Engineering*, **4**, 3, 187-206.
- PWDM, (2003). Port works design manual: Part 4 - Guide to design of seawalls and breakwaters, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. Report.
- Silva, R., Govaere, G. ve Martin, F., (1998) A statistical tool for breakwater design, *Proceedings Coastal Engineering*, **2**, 1920-1933.
- Şen, Z., (2002). *İstatistik veri işleme yöntemleri*, Su Vakfı Yayınları.
- Takagi, T. ve Sugeno, M., (1985). Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **15**, 116-132.
- Van de Walle, B., (2003) Wave runup on rubble mound breakwaters, *PhD thesis*, University of Gent.
- Van der Meer J.W. ve Stam C.J., (1992). Wave runup on smooth and rock slopes of coastal structures, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, **118**, 5, September/ October.