İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DALGAKIRANLAR ÜZERİNDEKİ MAKSİMUM TIRMANMANIN BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ
Tarkan ERDİK

Anabilim Dalı : Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

Programı : Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

TEMMUZ 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DALGAKIRANLAR ÜZERİNDEKİ MAKSİMUM TIRMANMANIN BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Tarkan ERDİK
(517032008)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Mart 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Emin SAVCI (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İlhan AVCI (İTÜ)
Prof. Dr. Necati AĞIRALİOĞLU (İTÜ)
Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL (YTU)
Prof. Dr. Ahmet DEMİR (YTU)

HAZİRAN 2009

Çok sevdiğim aileme,

ÖNSÖZ

Dökmetaş 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. Bu yüzden, maksimum dalga tırmanmasının doğru tahmin edilmesi zaruridir. Aksi takdirde, koruma yapıları gereksiz veya yetersiz tasarlanmış olurlar. Bu durum, fazla maliyet veya riskli tasarım anlamına gelmektedir.

Bu çalışmada, dalgaların, dökmetaş korumalı kıyı yapıları üzerinde meydana getireceği tırmanma iki ana başlık altında incelenmiştir.

a) Düzensiz deniz koşullarının meydana getireceği tırmanma

b) Soliter dalgaların meydana getireceği tırmanma

Çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olduğunu hissettiğim, bana desteğini hiç eksik etmeyen, değerli vaktini bana veren, ve zorlandığım noktalarda yol göstericiliği, engin tecrübesi ve konuya hakimiyetiyle en hızlı şekilde sonuca ulaşmamı sağlayan saygıdeğer Emin SAVCI hocama en içten hürmet ve şükranlarımı sunarım.

Bu eserin ortaya çıkmasında katkılarını benden esirgemeyen, Prof. Dr. Necati Ağıralioğlu, Prof. Dr. Zekai Şen hocalarıma da teşekkür borçluyum.

Mart 2009

Tarkan Erdik

İnş. Yük. Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Literatür Özeti Ve Gerçekleştirilek Çalışmanın Önemi 1
1.2 Mevcut Literatürün Kritiği 6
2. DÜZENSİZ DENİZ KOŞULLARINDA DALGAKIRANLAR ÜZERİNDEKİ TIRMANMANIN TAKAGI-SUGENO BULANIK MODELİYLE BELİRLENMESİ **7**
2.1 Giriş 7
2.2 TS Bulanık Mantık Yöntemi 10
2.3 TS Bulanık Model Kurularak Düzensiz Deniz Koşulları Altında Tırmanmanın Belirlenmesi 12
2.4 Önerilen TS Bulanık Modelin Tahmin Yeteneğinin Değerlendirilmesi 17
3. DÜZENSİZ DALGALARIN TIRMANMASININ YAPAY SİNİR AĞLARI MODELİ İLE BELİRLENMESİ **21**
3.1 Giriş 21
3.2 YSA İle Dalgakıranlar Üzerindeki Maksimum Tırmanmanın Belirlenmesi 23
4.SOLİTER DALGALARIN OLUŞTURACAĞI MAKSİMUM TIRMANMANIN BELİRLENMESİ (KIRILMADAN ÖNCEKİ DURUM) **31**
4.1 Giriş 31
4.2 Deney Sisteminin Kurulması Ve Deneylerin Yapılışı 31
4.3 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 34
4.4 Soliter Dalgaların Belirlenmesi Hususunda Önerilen Denklem 38
5. SOLİTER DALGALARIN OLUŞTURACAĞI MAKSİMUM TIRMANMANIN BELİRLENMESİ (KIRILMADAN SONRAKİ DURUM) **47**
5.1 Giriş 47
5.2 Deney Düzeneğ 48
5.3 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 49
5.4 Önerilen YSA Modeli 52
5.5 Önerilen TS Bulanık Mantık Modeli 53
5.6 Önerilen Regresyon Modeli 55
5.7 Önerilen Modellerin Karşılaştırılması (YSA + TS Bulanık Model + Regresyon) 55
6. DEĞERLENDİRMELER **59**
6.1 Dökmetaş Korumalı Kıyı Yapılarının Kret Seviyesininin Belirlenmesi 59

6.2 Küp Blok Korumalı Kıyı Yapıları Üzerinde Soliter Dalgaların Oluşturacağı Maksimum Tırmanmanın Belirlenmesi (Kırılmadan Önce Ve Sonraki Durumlar) 60
7. SONUÇLAR 65
KAYNAKLAR..... Error! Bookmark not defined.
EKLER..... 71

KISALTMALAR

SSP : Kıyı Benzerlik Parametresi
TS : Takagi-Sugeno Yaklaşımı
YSA : Yapay Sinir Ağları
ANFIS : Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
SP : Permeabilite Katsayısı
GDBY : Geriye Doğru Beslemeli Yayılım
HKO : Hata Karelerinin Ortalaması
ORHY : Ortalama Rölatif Hata Yüzdesi
SSS : Statik Su Seviyesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Optimum TS bulanık mantık modeli kural tabanı..... 14
Çizelge 2.2 : Optimum TS bulanık mantık modelinde tetiklenen kurallar..... 16
Çizelge 2.3 : 161 test datası kullanılmak suretiyle model performansları..... 17
Çizelge 2.4 : Prototip dataları (13) kullanılarak model performansları..... 19
Çizelge 3.1 : YSA modellerinde kullanılan değişkenler ve değer aralıkları..... 24
Çizelge 3.2 : YSA modellerinin karşılaştırılmalı sonuçları..... 25
Çizelge 4.1 : Montajı gerçekleştirilen soliter dalga üreticinin teknik özellikleri..... 31
Çizelge 4.2 : Gerçekleştirilen deneyler..... 33
Çizelge 4.3 : Azaltma katsayıları..... 41
Çizelge 4.4 : Değiştirilen denklemlerin ORHY değerleri..... 42
Çizelge 4.5 : Önerilen regresyon modeli ile YSA modelinin karşılaştırılması..... 44
Çizelge 5.1 : "Plunging" tipi kırılan soliter dalgalar için gerçekleştirilen deneyler..... 49
Çizelge 5.2 : Model performansları (73 eğitim verisi)..... 56
Çizelge 5.3 : Model performansları (37 test verisi)..... 57
Çizelge A.1 : Kırılmamış Soliter Dalgalar için Tırmanma Deneyleri..... 71
Çizelge B.1 : Kırılmış Soliter Dalgalar için Tıranma Deneyleri..... 75

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 :Van der Meer ve Stam (1992) tarafından kullanılan deney kesitleri a) Geçirimli kesit b)Geçirimsiz kesit c) Homojen kesit…… 2

Şekil 1.2 :Synolakis (1986) tarafından kullanılan deney boy kesiti……..... 5

Şekil 2.1 :Kıyı benzerlik parametresinin eklenik frekans dağılımı……..... 9

Şekil 2.2 :Gelen dalgaların %2'sinin aştığı ($R_{u2\%}$) düşey mesafe……..... 10

Şekil 2.3 :ANFIS öğrenme algoritması……..... 12

Şekil 2.4 :Permeabilite katsayısı parametresinin üyelik fonksiyonları…… 13

Şekil 2.5 :Kıyı benzerlik parametresinin üyelik fonksiyonları……..... 14

Şekil 2.6 : SP=0.5 olması durumunda TS bulanık çıkarımı..... 15

Şekil 2.7 :SSP=1.964 olması durumunda TS bulanık çıkarımı..... 16

Şekil 2.8 :Geçirimsiz yüzeylerdeki TS Bulanık Mantık ile Van der Meer ve Stam (1992) performansları……..... 18

Şekil 2.9 :Geçirimli yüzeylerdeki TS Bulanık Mantık ile Van der Meer ve Stam (1992) performansları……..... 18

Şekil 2.10 :Homojen yüzeylerdeki TS Bulanık Mantık ile Van der Meer ve Stam (1992) performansları……..... 18

Şekil 3.1 :Üç katmanlı GDBY algoritmalı YSA modeli……..... 22

Şekil 3.2 :YSA modelinde ağırlıkların hata fonksiyonuna göre atanması..... 23

Şekil 3.3 :Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımının 100 eğitim verisi için gösterdiği performans……..... 26

Şekil 3.4 :Önerilen YSA modelinin 100 eğitim verisi için gösterdiği performans……..... 27

Şekil 3.5 :Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımının 161 test verisi için gösterdiği performans……..... 27

Şekil 3.6 :Önerilen YSA modelinin 161 test verisi için gösterdiği performans……..... 28

Şekil 4.1 :Laboratuarda üretilen soliter dalga üreticisi (a) Dalga üretici boy kesiti (b) Dalga üretici planı……..... 29

Şekil 4.2 :Tsunami dalga üretici sistemin palet kısmı……..... 30

Şekil 4.3 :Tsunami dalga üretici sistemin piston kısmı……..... 30

Şekil 4.4 :Dalga kanalına yerleştirilen kıyı yapısı modelinin boykesiti ve boyutları……..... 31

Şekil 4.5 :Düzgün ve arada hiç boşluk kalmayacak şekilde yerleşmiş küp bloklar……..... 34

Şekil 4.6 :Rastgele ve arada boşluk kalacak şekilde yerleşmiş küp bloklar……. 34
Şekil 4.7 :Yüksek yoğunluklu küp blokların gösterdiği tırmanma davranışı..... 35
Şekil 4.8 :Normal yoğunluklu küp blokların tek ve çift katman olması durumunda gösterdiği tırmanma davranışı……..... 36
Şekil 4.9 :Normal yoğunluklu ve tek katmanlı küp blokların gösterdiği tırmanma davranışı……..... 36
Şekil 4.10 :Normal yoğunluklu ve çift katmanlı küp blokların gösterdiği tırmanma davranışı……..... 37
Şekil 4.11 :n=0.30 poroziteli yüksek ve normal yoğunluklu küp blokların kıyaslanması……..... 38
Şekil 4.12 :Tahmin edilen tırmanma ile gözlemlenilen tırmanmanın karşılaştırılması……..... 39
Şekil 4.13 :Çeşitli araştırmacıların yaklaşımlarının belirlenen model ile karşılaştırılması……..... 40
Şekil 4.14 :Değiştirilen denklemlerin tahmin yeteneği……..... 41
Şekil 4.15 :Önerilen YSA modeli……..... 43
Şekil 4.16 :Önerilen regresyon ve yapay sinir ağları modellerinin eğitme verileri için karşılaştırmalı sonuçları……..... 44
Şekil 4.17 :Önerilen regresyon ve yapay sinir ağları modellerinin test verileri için karşılaştırmalı sonuçları……..... 45
Şekil 5.1 : Tayland'da 2004 yılında meydana gelen kırılan tsunamilerin fotoğrafı... 47
Şekil 5.2 : "Plunging" tipi soliter dalga kırılması……..... 49
Şekil 5.3 :Normal yoğunluklu küp blokların "plunging" tipi kırılan soliter dalgalar altında değişik porozitelerde gösterdiği tırmanma davranışı..... 50
Şekil 5.4 :Normal yoğunluklu ve çift katmanlı küp blokların "plunging" tipi kırılan soliter dalgalar altında değişik porozitelerde gösterdiği tırmanma davranış……..... 51
Şekil 5.5 :Normal yoğunluklu küp blokların "plunging" tipi kırılan soliter dalgalar altında değişik katman seviyesinde gösterdiği tırmanma davranışı..... 51
Şekil 5.6 :Aynı porozite altında (n=0.30), normal yoğunluklu tek katmanlı küp blokların, yüksek yoğunluklu çift katmanlı küp bloklara kıyasla davranışı……..... 52
Şekil 5.7 :Önerilen YSA modeli……..... 53
Şekil 5.8 :H/d girdi parametresinin üyelik dereceleri……..... 54
Şekil 5.9 :Bulanık mantıkta kullanılan "ANFIS" algoritması……..... 54
Şekil 5. 10 : 73 eğitim verisi ile üç modelin performansı……... 56
Şekil 5. 11 :37 test verisi ile üç modelin performansı……..... 56
Şekil 5. 12 :Kırılmış ve kırılmamamış soliter dalgaların karşılaştırılması…..... 58
Şekil 6. 1 :Kırılmış ve kırılmamamış soliter dalgaların karşılaştırılması…..... 62

SEMBOL LİSTESİ

Ru	:	Düzenli dalgaların meydana getireceği koruma yapısı üzerindeki maksimum düşey tırmanma yüksekliği
H	:	Düzenli ve soliter dalga yüksekliği
ξ	:	Düzenli deniz koşulları altındaki kıyı benzerlik parametresi
$R_{u2\%}$	:	Düzensiz denis koşulları altında, gelen dalgaların %2'sinin aştığı düşey tırmanma yüksekliği
H_s	:	Düzensiz deniz koşulları altında, gelen dalgaların belirgin dalga yüksekliği
ξ_{op}	:	Pik dalga peryoduna bağlı kıyı benzerlik parametresidir
ε_m	:	Ortalama dalga peryoduna bağlı kıyı benzerlik parametresi
R	:	Soliter dalgaların meydana getireceği maksimum düşey tırmanma
d	:	Dalgakıran topuğundaki su derinliği
α	:	Li ve Raichlen denklemindeki deneysel parametre
E_B/E_I	:	
A, B ve C	:	Li ve Raichlen denklemindeki parametreler
R_r	:	Bulanık model kuralları
x_j	:	Küme elemanlarını
$S_r^{(i)}$	:	Bulanık kümeleri
y_r	:	Sonuç fonksiyonunu
$f_r(.)$	:	Bulanık IF-THEN kurallarının sonucu
x ve y	:	Girdiler
$A_1, A_2\ B_1, B_2$	:	Üyelik fonksiyonları
$p_1, q_1, r_1, p_2,$ $q_2,\ r_2$	:	Sonuç parametreleri
r_r	:	Tetiklenen kuralların ağırlığı
$R_{u2\%} / H_s$	:	Düzensiz deniz koşulları altında boyutsuz tırmanma yüksekliği
x_i, y_j, z_k	:	Sırasıyla, girdi vektörü, gizli tabaka neronları ve sonuç vektörü
w_{ij}, w_{jk}	:	Ağırlık katsayıları
$b_j,\ b_k$	:	Eşik değerleri
s	:	Çıkış tabakasındaki neronların sayısını
P	:	İterasyon sayısını
z_k ve t_k	:	Sırasıyla sonuç ve hedef vektörü
$\cot\alpha$	:	Kıyı koruma yapısı şev açısı
SS	:	Spektral şekil parametresi

R^2	:	Korelasyon katsayısı
$\frac{R}{d}$	:	Boyutsuz soliter dalga tırmanması
$\frac{H}{d}$	:	Boyutsuz soliter dalga yüksekliği
n	:	Koruma tabakasının porozitesi
$N_{küp}$	:	Birim alandaki küp blokların sayısı
D	:	Küp blokların bir kenarının uzunluğu
H_{mo}	:	Spectrumdan elde edilen belirgin dalga yüksekliği

DALGAKIRANLAR ÜZERİNDEKİ MAKSİMUM TIRMANMANIN BELİRLENMESİ

ÖZET

Günümüzde, dökmetaş 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 yapıları 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 konu ile ilgili şartnameler ve proje kriterleri tarafından da önerilmektedir. Fakat, bu çalışmada gösterilmiştir ki Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımı içerisinde belirsizlikler barındırmaktadır. Bu çalışmada, TS bulanık mantık ve Yapay Sinir Ağları yöntemleri kurulmak suretiyle $R_{u2\%}$ parametresi tahmin edilmiştir. Gerek önerilen TS bulanık mantık gerekse de Yapay Sinir Ağları modelinin regresyon analizlerinin aksine hiçbir ön kabulü gerçekleştirmesi gerekmemektedir. Oysa, Van der Meer ve Stam (1992) modeli regresyon analizlerinin ön kabullerini sağlayamadığından taraflı ve hatalı sonuçlar vermektedir. Her iki yapay zeka modelinde, Van der Meer ve Stam (1992) modelinin aksine kıyı benzerlik parametresine bağlı bir geçiş bölgesi bulunmamaktadır. Grafik gösterimler ve nümerik hata kriterleri neticesinde, her iki yapay zeka modelinin Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımına göre daha gerçekçi sonuç verdiği görülmüştür. TS bulanık mantık modeli iki girdi ile maksimum tırmanmayı hesaplarken, Yapay Sinir Ağları modeli 4 girdi ile sonuç vermektedir.

Bu çalışmada ayrıca, kırılmamış ve kırılmış soliter dalgaların tırmanması hususunda fiziksel model deneyleri yapılmıştır. Küp bloklar konulmak suretiyle dalgakıran yüzeyi pürüzlü hale getirilmiştir. Bu durum, literatürde ilk olma özelliği taşımaktadır. Ayrıca, 1:20 batimetri kullanılarak dalgaların kararlı bir şekilde kırılması sağlanmıştır. Küp bloklar tek katman ve çift katman olarak döşenmiştir. Porozitenin ve küp blokların yoğunluğunun tırmanmaya etkisi ayrıca incelenmiştir. Tahmin yeteneği yüksek iki formül, kırılan ve kırılmayan soliter dalga tırmanması için önerilmiştir.

MAXIMUM WAVE RUNUP PREDICTION ON BREAKWATERS

SUMMARY

Runup level exceeded by 2% of the incident waves, $R_{u2\%}$, is a key parameter in rough rock armored slopes design. Since the relationships between wave runup and wave heigt are complex, vague and uncertain in nature, it is quite difficult to adequately examine wave runup by conventional regressional approaches. In practice, traditional regression-based empirical model, recommended by the ‘‘Coastal Engineering Manual”, “PWDM”, “British Standarts” as well as the ‘‘Manual on the use of rock in hydraulic engineering”, is widely used. However, use of this approach brings additional restrictive assumptions such as linearity, normality (Gaussian distributed variables), variance constancy (homoscedasticity) etc. It is showed in this research that Surf Similarity Parameter data of Van der Meer and Stam do not fit the normal probability plot. Hence, regression-based approach of them cannot be used in prediction. Here, an attempt is made to construct various TS fuzzy and Artificial Neural Network models for predicting the 2% wave runup on rock armored slopes. The developed TS 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 Artificial Neural Network model with four inputs, five hidden units in hidden layer and one output yields the best result out of all constructed Artificial Neural Network models for testing case.

Numerical examples and graphical comparisons demonstrate the capacity of the proposed TS fuzzy and Artificial Neural Network models, which provide coastal engineers with another effective tool. In addition, proposed TS fuzzy and Artificial Neural Network models neither contain any transition region, as in the empirical model depending on Surf Similarity Parameter, nor any mathematical relationship.

In addition, a series of physical model experiments are conducted under pre-breaking and post-breaking solitary wave conditions in order to determine maximum wave runup on rough (cube-armored) slopes with a 1:20 foreshore. Cube units are placed in an unconventional single top-layer or double top-layer. The influence of porosity of structure and density of cubes are also studied. A new formula with a high accuracy is suggested by fitting power function to measurement data both for pre-breaking and post-breaking tsunami-type solitary wave regimes.

1. GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti Ve Gerçekleşirilecek Çalışmanın Önemi

Dalgaların, pürüzlü yüzeyli dökmetaş korumalı kıyı yapıları üzerinde meydana getireceği tırmanmayı iki ana başlık altında incelemek gerekmektedir.

a) Düzensiz dalga koşullarının meydana getireceği tırmanma

b) Soliter dalgaların meydana getireceği tırmanma

Düzensiz dalga 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 laboratuar teknolojileri fazla gelişmemiş olduğundan model deneyleri düzenli deniz koşulları altında yapılmıştır. Önerdikleri üstel denklem;

$$\frac{Ru}{H} = A\left(1 - \exp\left(B\xi\right)\right) \qquad \textbf{(1.1)}$$

şeklindedir. Burada; $Ru =$ dalganın koruma yapısı üzerindeki maksimum tırmanma yüksekliği, $H =$ gelen dalga yüksekliği, $\xi =$ 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, dökmetaş 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.

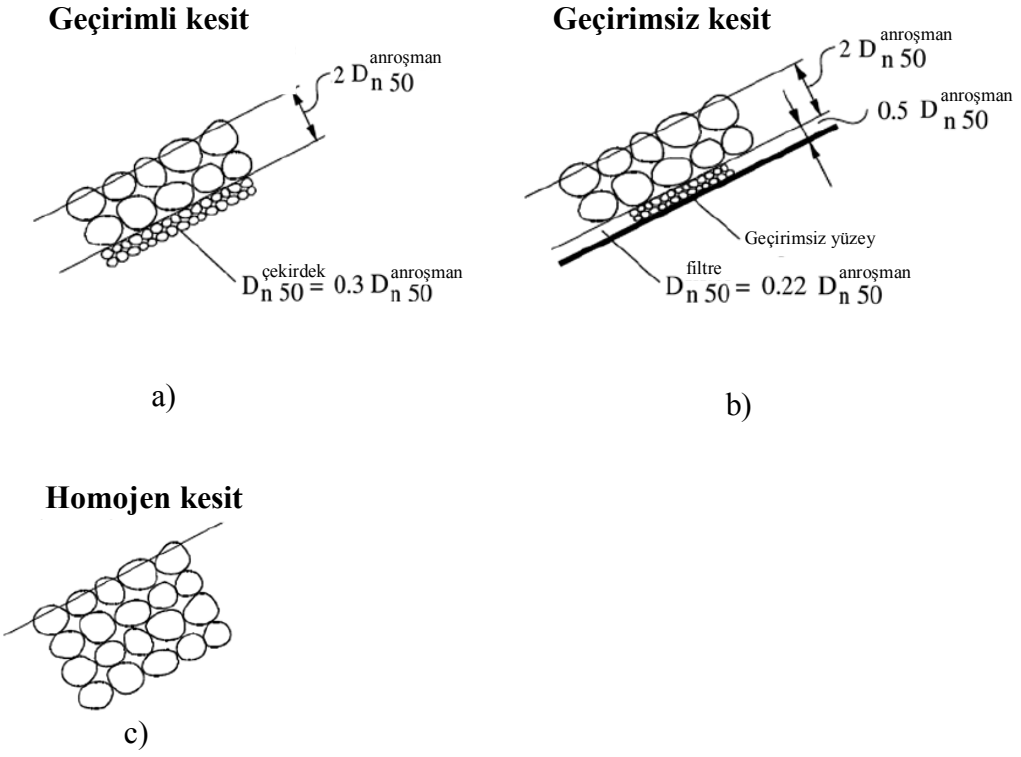
Düzensiz dalga koşulları altında, kıyı koruma yapıları üzerinde meydana gelecek maksimum tırmanmayı belirleyen ilk çalışmayı Allsop ve diğ. (1985) yapmıştır. Bu araştırmacılar, Losada ve Giménez-Curto (1981) denklemini izleyerek, düzensiz dalga koşulları altında beton koruma üniteleri üzerindeki maksimum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

$$\frac{R_{u2\%}}{H_s} = 1.94\left(1 - \exp\left(-0.3\xi_{op}\right)\right) \quad \textbf{(1.2)}$$

$$\frac{R_{u2\%}}{H_s} = 1.68\left(1 - \exp\left(-0.35\xi_{op}\right)\right) \quad \textbf{(1.3)}$$

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 peryoduna bağlı kıyı benzerlik parametresidir. Van der Meer ve Stam (1992) düzensiz dalga koşulları altında dökmetaş 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 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Van der Meer ve Stam (1992) tarafından kullanılan deney kesitleri a) Geçirimli kesit b)Geçirimsiz kesit c) Homojen kesit

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

$$\frac{R_{u2\%}}{H_S} = 0.96\xi_m \qquad \xi_m \le 1.5 \qquad \textbf{(1.4)}$$

$$\frac{R_{u2\%}}{H_S} = 1.17\xi_m^{0.46} \qquad \xi_m > 1.5 \qquad \textbf{(1.5)}$$

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

$$\frac{R_{u2\%}}{H_s} = 1.97 \qquad \textbf{(1.6)}$$

şeklindedir.

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

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 dalga koşulları altında prototipte meydana gelen tırmanmaların, model testleri neticesinde bulunan tırmanmalara göre %40 mertebesine kadar fazlalık gösterebildiğini işaret etmiştir.

Düzensiz dalga koşulları altında kıyı koruma yapılarında meydana gelen maksimum tırmanmalar 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'ın çalışması (1992) en önemli çalışma olup, birçok kıyı mühendisliği ile ilgili şartname ve proje kriterlerinde tavsiye edilmektedir.

Soliter dalgaların meydana getireceği tırmanma hususundaki çalışmalar (Hall ve Watts, 1953; Li ve Raichlen, 2001, 2003; Synolakis, 1986) incelendiğinde görülmüştür ki, mevcut çalışmaların birçoğu pürüzsüz bir kıyı yüzeyi üzerindeki

maksimum tırmanmanın bulunmasıyla ilgilidir. Dökmetaş korumalı kıyı yapıları üzerindeki tırmanmanın bulunmasına yönelik çalışmalara literatürde rastlanmamıştır. İncelenen çalışmaların birçoğunda Soliter dalgalar üretmek suretiyle elde edilmiştir. Çünkü, literatürde hakim olan görüş; tsunami-tipli dalgaların en iyi soliter dalgalar kullanılmak suretiyle elde edilmesidir (Synolakis,1986; Tadepalli ve Synolakis, 1994).

Bu konudaki mevcut çalışmalardan ilkini Hall ve Watts (1953) laboratuar ortamında gerçekleşmiştir. Gerçekleştirdikleri fiziksel model çalışmalarıyla, geçirimsiz ve pürüzsüz 45^0 lik bir yüzey üzerindeki kırılmamış soliter dalgaların neden olduğu maksimum tırmanmayı ölçmüşler ve aşağıdaki denklemi önermişlerdir.

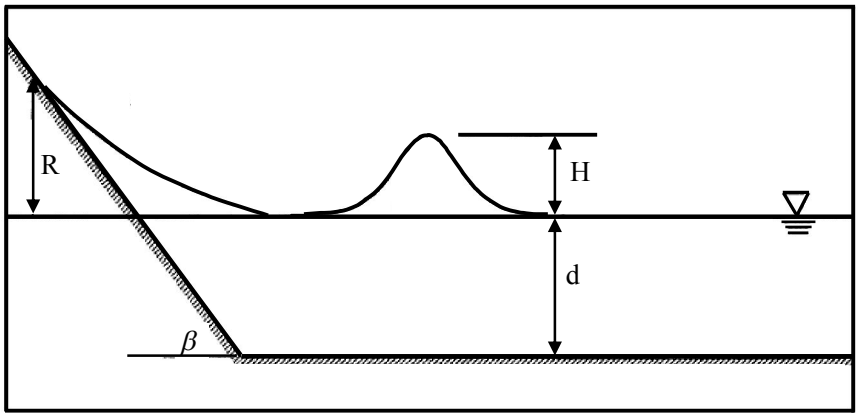
$$\frac{R}{d} = 3.1 \left(\frac{H}{d} \right)^{1.15} \qquad \textbf{(1.7)}$$

Burada, $R =$ pürüzsüz yüzey üzerindeki maksimum düşey tırmanma, $H =$ soliter dalga yüksekliği ve $d =$ sabit su derinliğidir. Synolakis (1986) kırılmayan ve kırılan soliter dalgaların, 1:19.85 eğimli pürüzsüz bir yüzey üzerinde meydana getireceği tırmanmayı teorik ve deneysel yönden incelemiştir. Kırılmayan ve kırılan soliter dalgaların meydana getireceği maksimum tırmanma sırasıyla,

$$\frac{R}{d} = 2.831\sqrt{\cot\beta}\left(H/d\right)^{5/4} \qquad \textbf{(1.8)}$$

$$\frac{R}{d} = 1.109\left(H/d\right)^{0.582} \qquad \textbf{(1.9)}$$

şeklinde verilmiştir. Burada, $R =$ pürüzsüz yüzey üzerindeki maksimum düşey tırmanma (Şekil 1.2), $\beta =$ su ile temasta olan pürüzsüz yüzeyin açısı, $d =$ sabit su derinliği, $H =$ soliter dalga yüksekliğidir.



Şekil 1.2 Synolakis (1986) tarafından kullanılan deney boy kesiti

Li ve Raichlen (2001) soliter dalgaların pürüzsüz kıyı yüzeylerinde meydana getirdiği tırmanmayı analitik olarak incelemiştir. Synolakis'in (1986) önerdiği denkleme bir düzeltme katsayı eklemek suretiyle katkıda bulunmuşlardır. Li ve Raichlen (2003) "plunging" tipi kırılan soliter dalgaların meydana getirdiği tırmanmayı, enerjinin korunumu prensibinden yola çıkarak araştırmış ve buldukları sonuçları gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalarla karşılaştırmıştır. Analitik çözümler neticesinde önerdikleri denklem;

$$\frac{R}{d} = \left\{\left[1 - \left(E_B / E_I\right)\right] / 1.5\alpha\right\}\left(H / d\right) \qquad \textbf{(1.10)}$$

şeklindedir. Burada $\alpha = 0.18$ olup, deneylerden elde edilmektedir.

$$E_B / E_I = C\left[A \ \ln\left(\cot\beta\right) + B\right] \qquad \textbf{(1.11)}$$

dir. E_B=Dalga kırılması nedeniyle kaybolan enerji, E_I = Gelen dalganın toplam enerjisi. A, B ve C parametreleri ise aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

$$A = -0.470 \times \left(H / d\right) + 0.534 \qquad \textbf{(1.12)}$$

$$B = 2.165 \times \left(H / d\right) - 1.154 \qquad \textbf{(1.13)}$$

$$C = 0.190 \times \ln(H / d) \ + 0.969 \qquad \textbf{(1.14)}$$

Yukarıda bahsedilen deneysel çalışmaların yanında, nümerik model çalışmaları da literatürde mevcuttur. Cho (1995) ve Liu ve diğ. (1995) iki boyutlu non-lineer denklemleri çözerek tırmanmayı incelemiştir. Maiti ve Sen (1999) Eulerian–Lagrangian methodu uygulamıştır. Lin ve diğ. (1999) ise kırılan ve kırılmayan soliter dalgaların oluşturacağı tırmanmayı araştırmışlardır.

1.2 Mevcut Literatürün Kritiği

Kapsamlı literatür incelemesinden görülmüştür ki, düzensiz dalga koşulları altında, dalgakıranların üzerinde meydana gelecek maksimum tırmanmayı veren en gerçekçi ve en çok kullanılan çalışmayı Van der Meer and Stam (1992) gerçekleştirmiştir. Üstelik, bu çalışma, CUR/CIRIA (1995), CEM (2002), PWDM (2003), British Standards (2000) ve DLH (2007) gibi kıyı mühendisliği ile ilgili şartname ve proje kriterlerinde de tavsiye edilmektedir. Fakat, ilerleyen bölümlerde ispat edileceği üzere, Van der Meer and Stam (1992) yaklaşımı regresyon analizi ile ortaya çıktığından gerçekleştirmesi gereken bazı istatistiki kabulleri sağlayamamaktadır. Bundan dolayı hatalı, taraflı ve içerisinde belirsizlikler ihtiva etmektedir. Bu çalışmanın hedeflerinden bir tanesi de, düzensiz dalga koşulları altında dökmetaş korumalı kıyı yapıları üzerindeki maksimum tırmanmayı hem bilimsel kabullerle çelişmeden hem de Van der Meer and Stam (1992) yaklaşımından daha gerçekçi tahmin etmektir.

Soliter dalgaların dökmetaş korumalı kıyı yapıları üzerinde meydana getireceği tırmanma ile ilgili kapsamlı literatür incelemesinden mevcut hiçbir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmaların büyük bir çoğunluğu, betondan yapılmış, pürüzsüz kıyı yüzeylerindeki tırmanmayı bulmayı hedeflemektedir. Üstelik bu çalışmaların hiçbirinde batimetri üzerinde bir kırılma söz konusu değildir. Bu çalışmada, gerçekleştirilen fiziksel modelleme deneyleriyle, batimetri etkisi altındaki soliter dalgaların küp blok korumalı pürüzlü kıyı yüzeyleri üzerindeki tırmanmasının incelenmesine çalışılmıştır. Soliter dalgalar iki tipte üretilerek (kırılmadan önce ve kırılmadan sonra) kapsamlı deneyler yapılmıştır. Konu itibariyle literatüre girmesi hedeflenen ilk çalışma olması düşünülmektedir.

2. DÜZENSİZ DENİZ KOŞULLARINDA DALGAKIRANLAR ÜZERİNDEKİ TIRMANMANIN TAKAGI-SUGENO BULANIK MODELİYLE BELİRLENMESİ

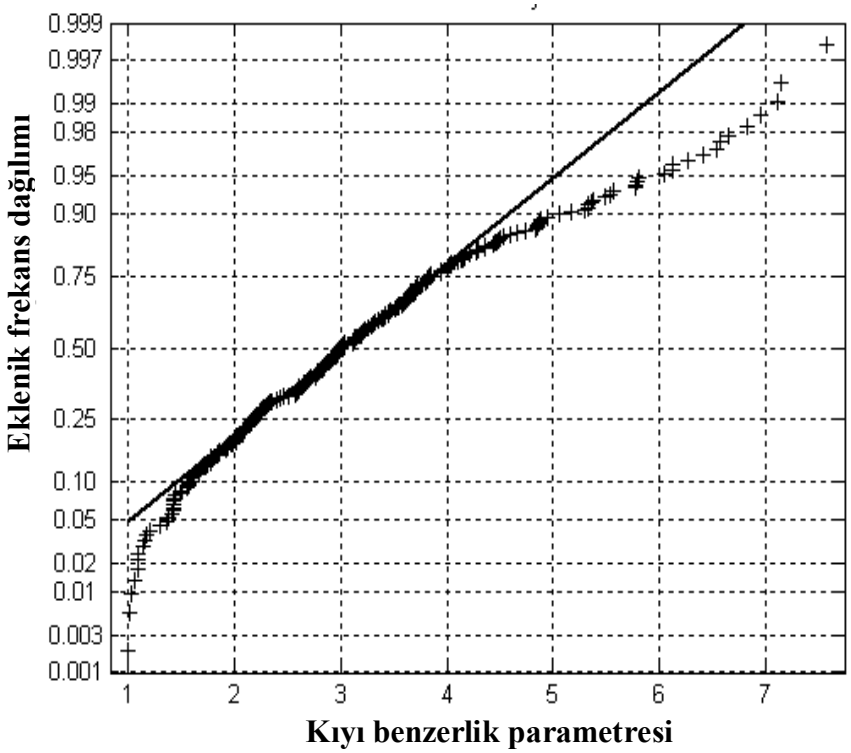
2.1 Giriş

Dökmetaş 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, dökmetaş korumalı kıyı yapılarının kret seviyesini hesaplamak için ilgili birçok şartnamede tavsiye edilmektedir (CEM, 2002; CUR/CIRIA, 1995; PWDM, 2003). Oysa, regresyon işleminin yapılmasından önce, eldeki verilerin analiz edilmesi ve birtakım regresyon kabullerini sağlayıp, sağlamadığının incelenmesi gerekmektedir. Bu kabullerden herhangi biri sağlanmıyorsa 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 ekseni boyunca değişmemelidir.
5. İç bağımlılık kabülü: 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.

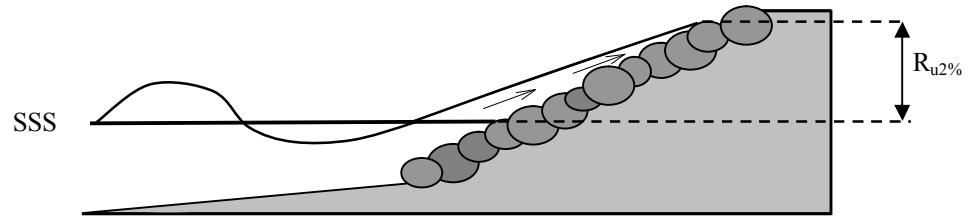
Van der Meer ve Stam (1992) tarafından elde edilen laboratuar verilerinin istatistiki analizleri yukarıda verilen 6 şart için yapılmıştır. Test sonuçları göstermiştir ki Van der Meer ve Stam (1992) denklemi, mevcut hali ile regresyon analizi yapılma şartlarını sağlayamamaktadır. Şekil 2.1' den görüldüğü üzere Van der Meer ve Stam verilerinden kıyı benzerlik parametresi (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. 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 çiğnemeyen bir modelin kurulmasıdır.



Şekil 2.1: Kıyı benzerlik parametresinin eklenik frekans dağılımı

Bu amaç doğrultusunda, regresyon analizlerinin aksine içerisinde hiçbir ön kabul içermeyen yapay zeka yöntemlerinden yararlanılmıştır. Bu yöntemler; Takagi-Sugeno (TS, 1985) bulanık model ve yapay sinir ağlarıdır (YSA). YSA ve TS bulanık model yöntemlerinin, kıyı mühendisliği alanında kullanımı oldukça yenidir. Bu yöntemlerden, özellikle TS bulanık model'in kullanımı yalnızca birkaç sene öncesine dayanmaktadır. Literatürde, dökmetaş 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 doktora tezi öncesine kadar hiçbir çalışma maksimum dalga tırmanmasını belirlemek için yapay zeka yöntemlerinden yararlanmamıştır. Bu durum itibariyle çalışma özgün bir değer taşımaktadır. Yapay zeka modellerinin kurulması için, Van der Meer ve Stam'ın (1992) Delft Hydraulics laboratuarında 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, 1992). Bu parametre, statik su seviyesi (SSS) ile gelen dalgaların %2'sinin aştığı düşey mesafe olarak



Şekil 2.2: Gelen dalgaların %2'sinin aştığı ($R_{u2\%}$) düşey mesafe

tanımlanmaktadır (Şekil 2.2). Bu çalışmada, her iki yapay zeka yöntemiyle kurulan modellerin hepsinde bu parametrenin tahmin edilmesi hedeflemektedir.

2.2 TS Bulanık Mantık Yöntemi

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

a) Mamdani Yaklaşımı

b) TS 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, eğitme algoritmaları neticesinde oluşan üyelik fonksiyonu ve kural tabanının bazı durumlarda Bulanık Mantık felsefe ve prensiblerinin önüne geçmesidir. Görüldüğü üzere, her iki yöntemin birbirine göre belirli üstünlük ve zayıflıkları vardır. Bu çalışmada, TS bulanık mantık yaklaşımı seçilmiştir. Fakat, bütün eğitme aşamasında Bulanık Mantık temel prensip ve felsefesinden ayrılmaya asla taviz verilmemiştir. Kurulan modellerin her aşaması dikkatle takip edilmiş ve eğitme 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.

$R_r : IF\ \ x_1 = S_r^{(1)}$ ve $x_2 = S_r^{(2)}$ ……..ve $x_p = S_r^{(p)}$ THEN

$y_r = f_r(x_1, x_2, ..., x_p)$,

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

1) Tetiklenen her R_r kuraldan sonra y_r sonuç fonksiyonu hesaplanır,
2) Herbir tetiklenen kuralın ağırlığı, "VE" operatörü ile bulanık kümelerin α kesimleri dikkate alınarak öncül kısımda hesaplanır,

$$z = \frac{\sum_{r=1}^{n} r_r y_r}{\sum_{r=1}^{n} r_r} \qquad \textbf{(2.1)}$$

Burada r_r, madde 2 de hesaplanılan tetiklenen kuralların ağırlığıdır.

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 anlatabilmek için, iki girdi ve bir çıktıdan oluşan bir yapı düşünelim. Bu yapının kural tabanının da aşağıdaki gibi verildiğini farzedelim.

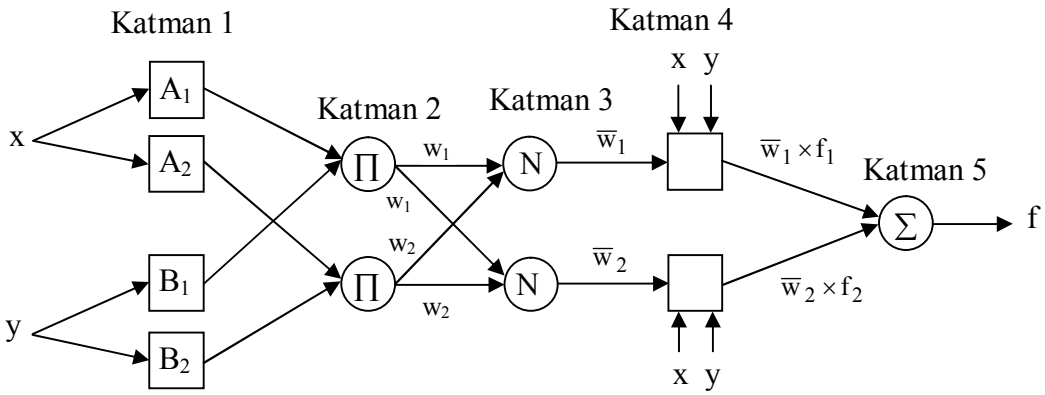
Kural 1: If (x is A_1) ve (y is B_1) THEN $\left(f_1 = p_1 \times x + q_1 \times y + r_1\right)$;

Kural 2: If (x is A_2) ve (y is B_2) THEN $\left(f_2 = p_2 \times x + q_2 \times y + r_2\right)$;

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.

$$\mu_{A_i}(x; a_i, b_i, c_i, d_i) = \max\left(\min\left(\frac{x - a_i}{b_i - a_i}, 1, \frac{d_i - x}{d_i - c_i}\right), 0\right) \qquad \textbf{(2.2)}$$

Burada, (a_i, b_i, c_i, d_i) öncül parametrelerdir. Şekil 2.3' de bir ANFIS öğrenme algoritmasının şeması verilmiştir.



Şekil 2.3: ANFIS öğrenme algoritması

Katman 1: Bu katmanın herbir noktası girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonunu taşımaktadır. Üyelik fonsiyonunun ayarlanması bu katmanda gerçekleşmektedir.

Katman 2: Herbir kural tabanının ağırlığı bu tabakada hesaplanır. Şekil 2.3 de görülen w_1 ve w_2 ağırlıkları, bulanık kümelerin α -kesimleri öncül kısımda birbiriyle çarpılmak suretiyle hesaplanmaktadır.

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

Katman 4: Bu katmanda linear fonksiyonun sonuç parametreleri hesaplanmaktadır.

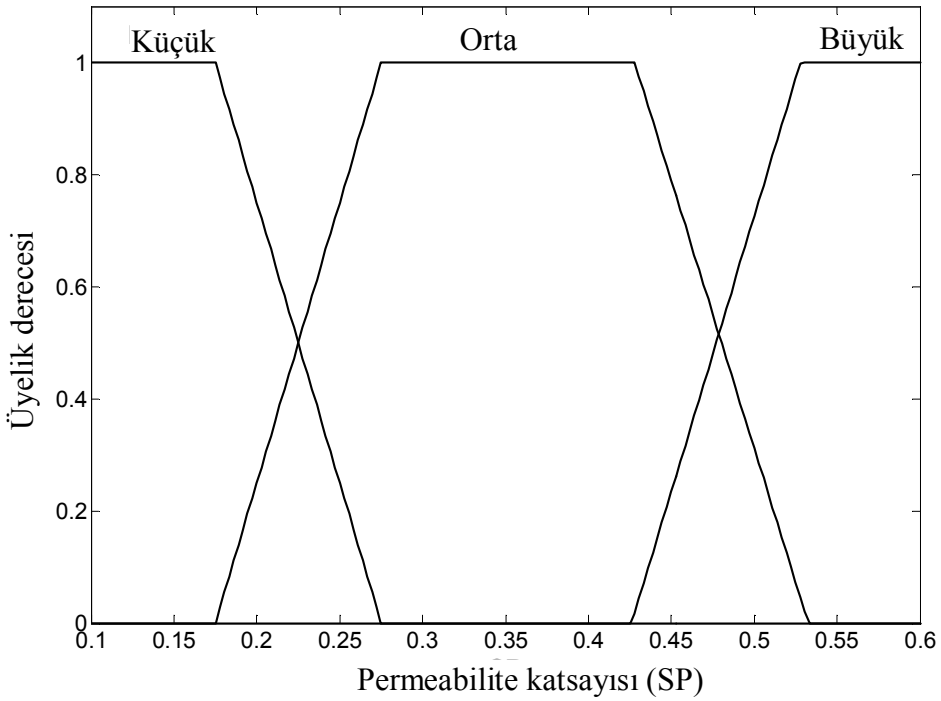
Katman 5: Sonucun verildiği tabakadır.

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). Görüldüğü üzere, her iterasyonun bir ileri ve bir geri olmak üzere iki adımı vardır.

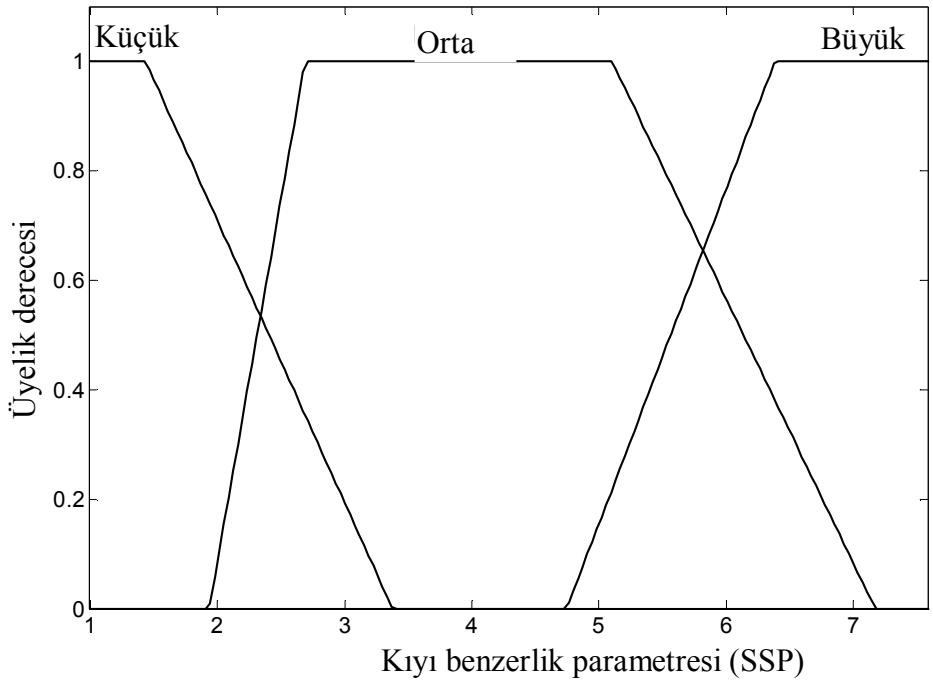
2.3 TS Bulanık Model Kurularak Düzensiz Deniz Koşulları Altında Tırmanmanın Belirlenmesi

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, Bölüm 2.2' de açıklanan ANFIS algoritması kullanılarak optimizasyon gerçekleştirilmektedir. 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 herbir 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 (SSP) ile permeabilite katsayısı (SP) dır. 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 SSP ile SP dalgakıranların üzerindeki tırmanmanın belirlenmesinde diğer parametrelere nazaran (spectrum tipi, dalgakıran açısı vs) daha iyi sonuç vermektedir. Şekil 2.4 ve 2.5' de optimum TS bulanık mantık modelinin üyelik fonksiyonları verilmiştir.



Şekil 2.4: Permeabilite katsayısı parametresinin üyelik fonksiyonları



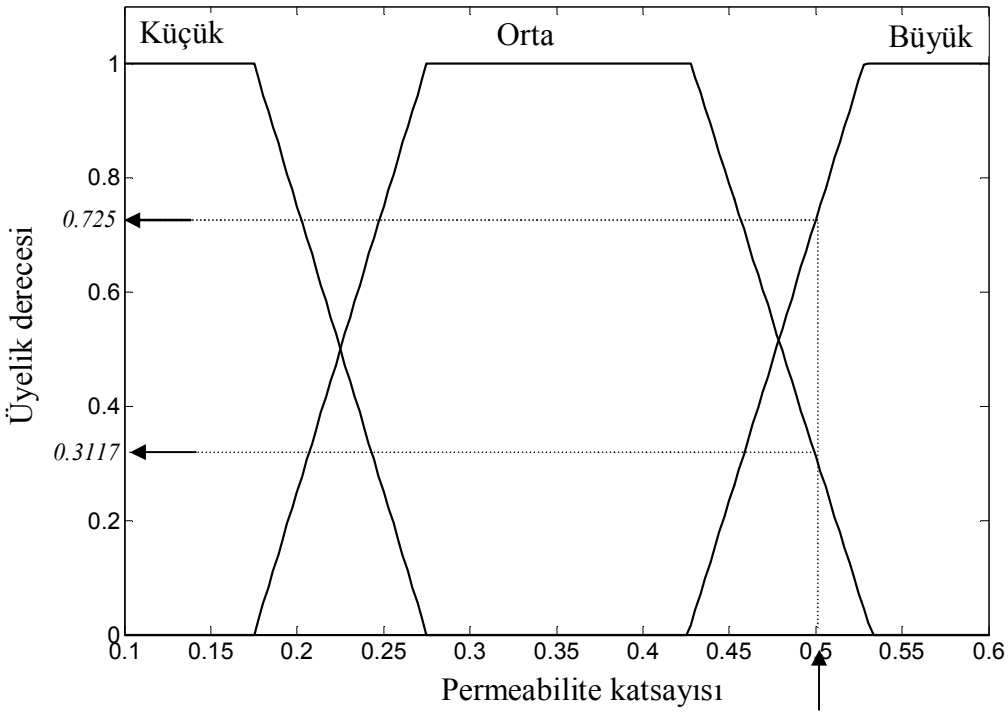
Şekil 2.5: Kıyı benzerlik parametresinin üyelik fonksiyonları

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 değişkenin 3'er adet üyelik fonksiyonu taşıması sebebiyle $3 \times 3 = 9$ adet kuraldan meydana gelmektedir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1: Optimum TS bulanık mantık modeli kural tabanı

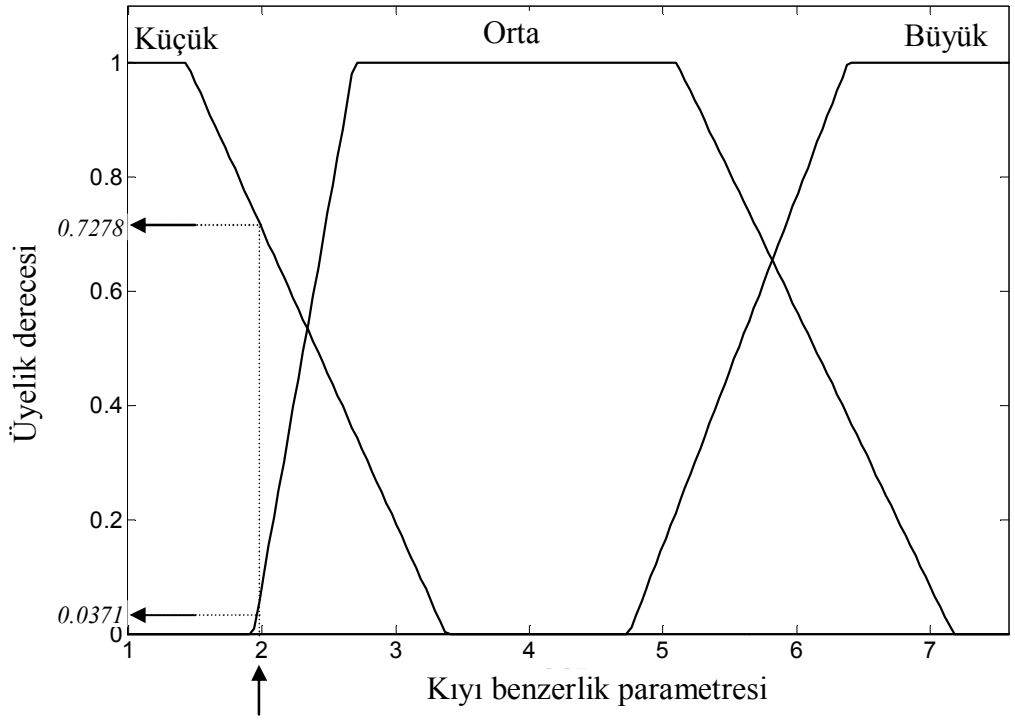
Kurallar	Kural tanımları
1	IF *SP* = "Küçük" ve *SSP* = "Küçük" THEN *Ru2%/Hs*=0,0539 ×SP + 0,4937×SSP + 0,539
2	IF *SP* = "Küçük" ve *SSP* = "Orta" THEN *Ru2%/Hs*=0,06525 ×SP + 0,4004×SSP + 0,6525
3	IF *SP* = "Küçük" ve *SSP* = "Büyük" THEN *Ru2%/Hs*=0,1809×SP + 0,1116×SSP + 1,809
4	IF *SP* = "Orta" ve *SSP* = "Küçük" THEN *Ru2%/Hs*=-1,65×SP + 2,937×SSP - 3,299
5	IF *SP* = "Orta" ve *SSP* = "Orta" THEN *Ru2%/Hs*=-0,5227 ×SP + 0,7091×SSP - 1,045
6	IF *SP* = "Orta" ve *SSP* = "Büyük" THEN *Ru2%/Hs*=0,7711×SP - 0,3505×SSP + 1,542
7	IF *SP* = "Büyük" ve *SSP* = "Küçük" THEN *Ru2%/Hs*=1,29 ×SP + 0,01248×SSP + 0,8718
8	IF *SP* = "Büyük" ve *SSP* = "Orta" THEN *Ru2%/Hs*=0,8669 ×SP + 0,1372×SSP + 1,04
9	IF *SP* = "Büyük" ve *SSP* = "Büyük" THEN *Ru2%/Hs*=-0,9713 ×SP + 0,6266×SSP - 1,021

Şekil 2.6 ve 2.7' de optimum model için bir çıkarım işlemi verilmiştir. Örnek vermek açısından, SP=0.5 ve SSP=1.964 olması durumunda boyutsuz tırmanma yüksekliğinin belirlenmesine çalışılacaktır.



Şekil 2.6: SP=0.5 olması durumunda TS bulanık çıkarımı

SP=0.5 değeri, Şekil 2.6 dan görüleceği üzere, "Orta" ve "Büyük" kümelerini sırasıyla 0.3117 ve 0.725 üyelik derecelerinde kesmektedir. Benzer şekilde, SSP=1.964 değeri Şekil 2.7' deki "Küçük" ve "Orta" üyelik fonksiyonlarını sırasıyla 0.0371 ve 0.7278 değerlerinde kesmektedir.



Şekil 2.7 SSP=1.964 olması durumunda TS bulanık çıkarımı

Bulanık çıkarım motoru, Çizelge 2.2 de verilen kuralların bütününü gözden geçirir ve girdi değerlerine bağlı olarak 4,5,7 ve 8'inci kuralları tetikler. Daha sonra Çizelge 2.2'nin 4. kolunda verildiği gibi, tetiklenen kuralların ağırlıkları, üyelik derecelerin birbiriyle çarpılması suretiyle hesaplanır. 5. kolonda ise, herbir tetiklenen kuralın sonucu hesaplanmaktadır.

Çizelge 2.2: Optimum TS bulanık mantık modelinde tetiklenen kurallar

Tetiklenen kurallar	Öncül Üyelik Dereceleri		r_r çarpımı	Çıkış, y_r
	SP	SSP		
4	0,3117	0,7278	$0,3117 \times 0,7278 = 0,227$	-1,65*0,5+2,937*1,964 -3,299=1,644
5	0,3117	0,0371	$0,3117 \times 0,0371 = 0,012$	-0,5227*0,5+0,7091 *1,964-1,045=0,086
7	0,725	0,7278	$0,725 \times 0,7278 = 0,528$	1,29*0,5+0,01248*1,964+ 0,8718=1,541
8	0,725	0,0371	$0,725 \times 0,0371 = 0,027$	0,8669*0,5+0,1372*1,964 +1,04=1,743

$$y = \frac{1.644 \times 0.227 + 0.086 \times 0.012 + 1.541 \times 0.528 + 1.743 \times 0.027}{0.227 + 0.012 + 0.528 + 0.027} = 1.56 \qquad \textbf{(2.3)}$$

2.4 Önerilen TS Bulanık Modelin Tahmin Yeteneğinin Değerlendirilmesi

Önerilen modelin tahmin yeteneğini değerlendirmek için, 161 adet eğitim aşamasında kullanılmayan test verilerinden yararlanılmıştır. Korelasyon katsayısı (R^2) ve hata karelerinin ortalaması (HKO) kullanılarak, önerilen TS bulanık mantık modelinin tahmin yeteneği hesaplanmıştır. R^2 ve HKO denklem 2.4 ve 2.5 de verilmiştir.

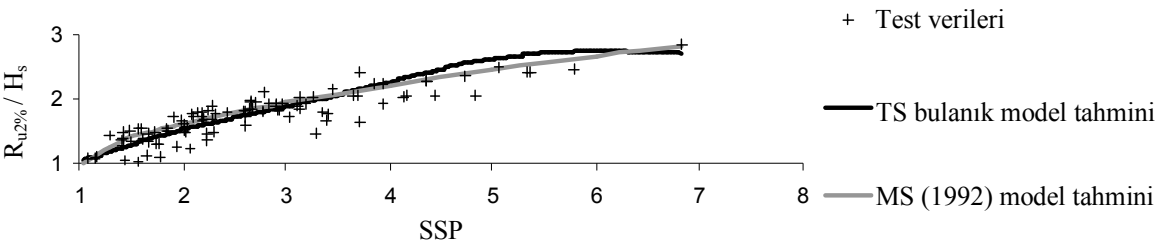
$$R^2 = \frac{\left[p\left(\sum_{i=1}^{p} (X_m)_i (X_P)_i \right) - \left(\sum_{i=1}^{p} (X_m)_i \right)\left(\sum_{i=1}^{p} (X_P)_i \right) \right]^2}{\left[p\left(\sum_{i=1}^{p} (X_m^2)_i \right) - \left(\sum_{i=1}^{p} X_m \right)^2 \right]\left[p\left(\sum_{i=1}^{p} (X_p^2)_i \right) - \left(\sum_{i=1}^{p} X_p \right)^2 \right]} \quad \textbf{(2.4)}$$

$$HKO = \frac{\sum_{i=1}^{p} \left[(X_m)_i - (X_p)_i \right]^2}{p} \quad \textbf{(2.5)}$$

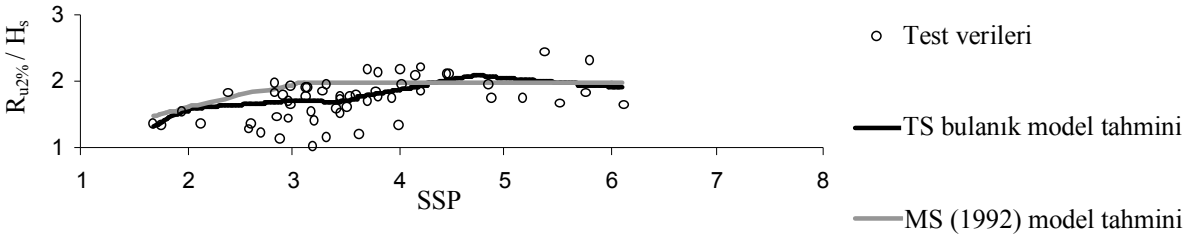
Burada, "m" ve "p" ölçülen ve tahmin edilen değerleri vermektedir. 161 test datası için önerilen TS bulanık model sonuçları Van der Meer ve Stam (MS, 1992) yaklaşımıyla karşılaştırmalı olarak Çizelge 2.3 de sunulmuştur. Buradan görüldüğü üzere, TS bulanık model yaklaşımının R^2 değeri 0.559 dan 0.621'e çıkmıştır. HKO değeri ise 0.071'den 0.053'e düşmüştür. 161 test datası kullanılarak geçirimsiz, geçirimli ve homojen yapılar için maksimum tırmanma SSP dikkate alınarak sırasıyla Şekil 2.8, 2.9 ve 2.10 da çizilmiştir.

Çizelge 2.3: 161 test datası kullanılmak suretiyle model performansları

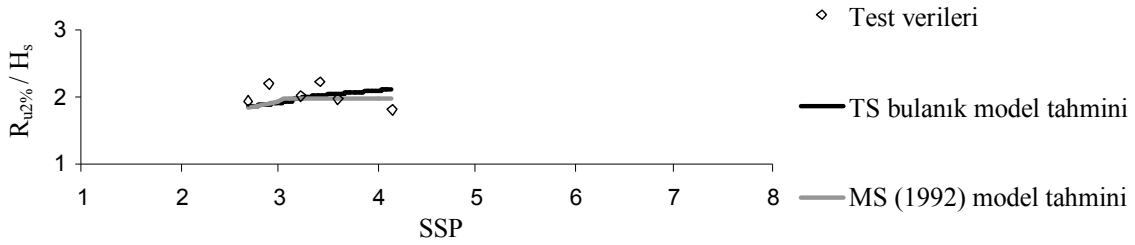
Karşılaştırmalı model sonuçları			
TS Bulanık Model sonucu		Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımı	
R^2	HKO	R^2	HKO
0,621	0,053	0,559	0,071



Şekil 2.8: Geçirimsiz yüzeylerdeki TS Bulanık Mantık ile Van der Meer ve Stam (1992) performansları



Şekil 2.9: Geçirimli yüzeylerdeki TS Bulanık Mantık ile Van der Meer ve Stam (1992) performansları



Şekil 2.10: Homojen yüzeylerdeki TS Bulanık Mantık ile Van der Meer ve Stam (1992) performansları

Bu şekillerden de görüldüğü üzere, önerilen TS bulanık modeli, Van der Meer ve Stam yaklaşımından çok daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. TS Bulanık modelinin tahmin yeteniği 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 hususunda literatürde eşsiz bir öneme sahiptir. Çizelge 2.4' de belirtildiği üzere, TS bulanık model yaklaşımı, Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımını prototip veriler için de geçmektedir. Çizelge 2.4' de 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, dökmetaş korumalı kıyı yapılarının maliyeti arttırmaktadır. Oysa, TS bulanık modeli, 13 fırtına değeri için çok daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Çizelge 2.4'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, 2008a).

Çizelge 2.4: Prototip verileri (13) kullanılarak model performansları

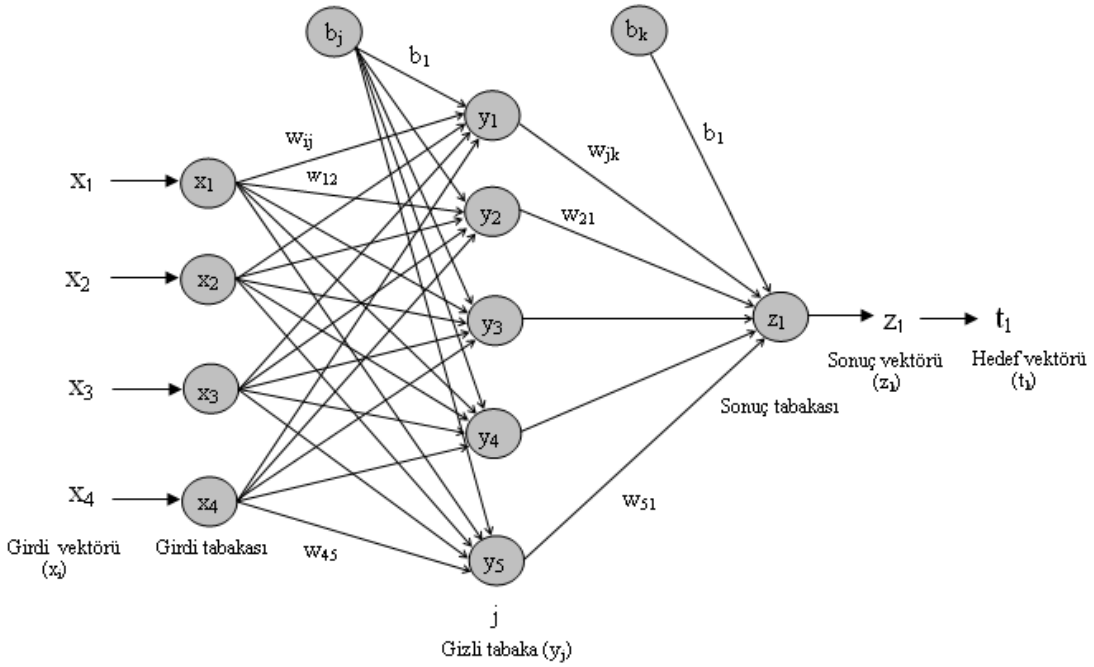
Ölçümler				Tahminler		Rölatif hata yüzdesi	
				Van der Meer ve Stam (1992)	TS Bulanık Mantık modeli		
Fırtına Sayısı	SP	ξ_{om}	$\frac{R_{u2\%}}{H_{mo}}$	$\frac{R_{u2\%}}{H_{mo}}$	$\frac{R_{u2\%}}{H_{mo}}$	Van der Meer ve Stam (1992)	Erdik ve Savcı (2008a)
1	0,5	3,58	1,56	1,97	1,74	26,3	11,5
2	0,5	3,7	1,54	1,97	1,78	27,9	15,6
3	0,5	3,77	1,75	1,97	1,80	12,6	2,9
4	0,5	3,67	1,79	1,97	1,77	10,1	1,1
5	0,5	3,57	1,71	1,97	1,74	15,2	1,8
6	0,5	3,79	1,82	1,97	1,81	8,2	0,5
7	0,5	3,57	1,69	1,97	1,74	16,6	3,0
8	0,5	3,47	1,9	1,97	1,71	3,7	10,0
9	0,5	3,81	1,81	1,97	1,82	8,8	0,6
10	0,5	3,46	1,68	1,97	1,71	17,3	1,8
11	0,5	3,51	1,8	1,97	1,72	9,4	4,4
12	0,5	3,62	1,74	1,97	1,76	13,2	1,1
13	0,5	3,83	1,63	1,97	1,82	20,9	11,7
				Ortalama rölatif hata yüzdesi		**14,6**	**5,1**

3. DÜZENSİZ DALGALARIN TIRMANMASININ YAPAY SİNİR AĞLARI MODELİ İLE BELİRLENMESİ

3.1 Giriş

Yapay Sinir Ağları (YSA) tekniği, beyin ve sinir sistemi ile ilgili çalışmalardan esinlenerek ortaya çıkmıştır. YSA'nın en önemli üstünlüğü, olayı etkiyen karmaşık matematik terimlerine ihtiyaç duymamasıdır. Bunun yerine, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki etkileşimi bir öğrenme algoritmasıyla belirlemektedir. Bu belirleme işlemi, uygun ağırlık katsayıları ve eşikleri atamak suretiyle gerçekleşmektedir. Bu özelliği, YSA'nın birçok mühendislik ve araştırma faliyetlerinde güvenilir bir şekilde kullanılmasına neden olmuştur (ASCE Task Committee, 2000).

Bu çalışmada, bütün YSA modelleri "Geriye Doğru Beslemeli Yayılım" (GDBY) öğrenme algoritması kullanılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Bu algoritma, YSA yönteminin literatürde en çok kullanılan algoritması olup, birçok uygulamada başarı ile kullanıldığı kanıtlanmıştır. Şekil 3.1' de üç katmanlı GDBY algoritmalı bir YSA modeli verilmiştir. Şekildeki, x_i, y_j, z_k sırasıyla girdi vektörünü, gizli tabaka neronlarını ve sonuç vektörünü göstermektedir. w_{ij}, w_{jk} ise sırasıyla girdi ve gizli tabaka ile gizli ve sonuç tabaka arasındaki ağırlık katsayılarını vermektedir. b_j ve b_k ise eşik değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.1: Üç katmanlı GDBY algoritmalı YSA modeli

GDBY algoritmasında, x_i girdi vektörü ilk önce girdi tabakasına yerleştirilmektedir. Herbir gizli tabaka neronları (y_j), x_i girdilerini w_{ij} ağırlık katsayıları ile çarpar ve üzerine eşik değerini ilave ederek toplar. Matematiksel ifade ile gizli tabaka neronları denklem 3.1 de verilen matematik işlemini yapmaktadır.

$$net_j = \sum x_i w_{ij} - b_j \qquad \textbf{(3.1)}$$

Denklem (3.1) de hesaplanan sonuç, tecrübeye dayalı olarak seçilecek bir transfer fonksiyonuna girdi olmaktadır. Literatürde birçok transfer fonksiyonu vardır. Genelde Tansig ve Logsig transfer fonksiyonları tercih edilmektedir. Tansig ve Logsig transfer fonksiyonları denklem (3.2) ve (3.3) de sırasıyla verilmiştir.

$$f(x) = \frac{2}{1+\exp(-2x)} - 1 \qquad \textbf{(3.2)}$$

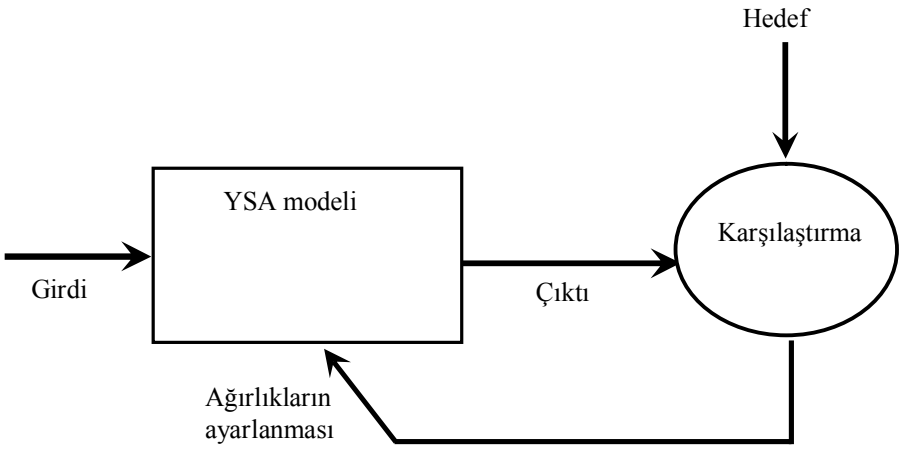
$$f(x) = \frac{1}{1+\exp(-x)} \qquad \textbf{(3.3)}$$

Kullanılan transfer fonksiyonu, gizli tabaka neronlarının sonucunu belirlemektedir. Gizli tabaka neronlarının transfer fonksiyonu ile bulunan sonuçları, sonuç tabakasında bulunan neronlar için girdi olmaktadır. Gizli tabaka neronları için anlatılan herşey, sonuç tabakasındaki neronlar içinde aynı şekilde uygulanmaktadır.

$$E = \sum_{P} \sum_{s} (z_k - t_k)^2 \qquad \textbf{(3.4)}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, $s =$ çıkış tabakasındaki neronların sayısını, $P =$ iterasyon sayısını vermektedir. z_k ve t_k ise sırasıyla sonuç ve hedef vektörünü göstermektedir.

Sonuç vektöründeki toplam hata hesaplandıktan sonra, bu hatayı mümkün olan en yüksek mertebede azaltmak için ağırlıkların ayarlanması gerekmektedir. Bunun için, GDBY algoritması "gradient descend metodu" kullanarak geriye doğru ağırlık katsayılarını yeniden hesaplamaktadır (Bakınız Şekil 3.2).



Şekil 3.2: YSA modelinde ağırlıkların hata fonksiyonuna göre atanması

Gizli tabaka sayısının seçimi günümüzde de belirsizliğini korumaktadır. Genelde karmaşık ve belirsiz prolemlerin çözümünde gizli tabaka sayısının artımı daha iyi netice vermektedir. Bununla birlikte, optimum sayıda gizli tabaka sayısı genelde deneme-yanılma ile belirlenmektedir (Bateni and Jeng, 2006).

3.2 YSA İle Dalgakıranlar Üzerindeki Maksimum Tırmanmanın Belirlenmesi

Dökmetaş korumalı kıyı yapıları üzerindeki maksimum tırmanmanın belirlenmesi için kurulan TS bulanık mantık modellerinin yanında, YSA modelleri de kurulmuş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. YSA modelleri, TS bulanık mantık yönteminde olduğu gibi çeşitli girdi değişkenleri için denenmiştir. YSA modellerinde kullanılan girdi değişkenleri; SP, SSP, dalgakıran açısı (Cot α) ve spektral şekil (SS) parametresidir. TS bulanık mantık modellerinde olduğu gibi, YSA modellerinde de

Van der Meer'in (1988) çalışması dikkate alınarak geçirimsiz, geçirimli ve homojen yapılara sırasıyla 0.1, 0.5 ve 0.6 değerleri atanmıştır. Spectral şeki parametresi ise dar-band, orta-band ve geniş-band olmak üzere sırasıyla 1.0, 0.5 ve 0.0 değerlerini almıştır. Kullanılan değişkenler ve bu değişkenlerin değer aralıkları Çizelge 3.1' de sunulmuştur.

Çizelge 3.1: YSA modellerinde kullanılan değişkenler ve değer aralıkları

	Değişken tipi	**Değer aralığı**
SP	Girdi	0,10–0,60
SSP	Girdi	0,99–7,58
Cot α	Girdi	1,50–4,00
Spectral Şekil	Girdi	0,00–1,00
$Ru_{2\%}$ / Hs	Çıktı	0,88–2,94

Giriş-gizli tabaka ve gizli-çıkış tabaka arasındaki transfer fonksiyonları ile gizli tabakadaki neron sayıları değiştirilmek suretiyle toplamda 72 model kurulmuştur. Kurulan modellerin birbiriyle karşılaştırılması R^2 istatistiki parametresi ile yapılmıştır. Kurulan bütün modeller, TS bulanık mantık modellerinde olduğu gibi aynı 100 eğitim verisiyle eğitilmiş ve aynı 161 test verisi kullanılmak suretiyle test edilmiştir. Kurulan model sonuçları Çizelge 3.2' de verilmiştir. Sonuç olarak; 4 girdili ve gizli tabakadaki neron sayısı 5 olan sistem en yüksek korelasyonu vermiş ve bu bölümde önerilmiştir.

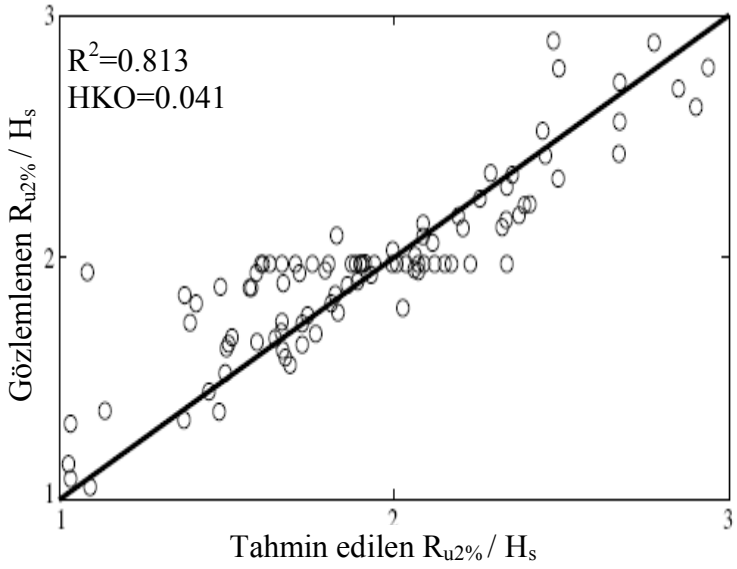
Çizelge 3.2: YSA modellerinin karşılaştırılmalı sonuçları

YSA yapısı	Kullanılan transfer fonksiyonları	Gizli tabakadaki neron sayısı	161 test verisi için R^2 değeri
İki girdi (SP, ε_m)	Logaritmik-lineer	1	0.339
		2	0.528
		3	0.588
		4	0.592
		5	0.497
		6	0.584
		7	0.601
		8	0.560
		9	0.582
		10	0.585
		11	0.578
		12	0.533
İki girdi (SP, ε_m)	Tanjant-lineer	1	0.339
		2	0.528
		3	0.588
		4	0.592
		5	0.497
		6	0.584
		7	0.601
		8	0.560
		9	0.582
		10	0.585
		11	0.578
		12	0.533
Üç girdi (SP, ε_m, $\cot\alpha$)	Logaritmik-lineer	1	0.520
		2	0.480
		3	0.607
		4	0.576
		5	0.522
		6	0.595
		7	0.316
		8	0.171
		9	0.394
		10	0.184
		11	0.589
		12	0.052
Üç girdi (SP, ε_m, $\cot\alpha$)	Tanjant-lineer	1	0.520
		2	0.556
		3	0.617
		4	0.515
		5	0.570
		6	0.589
		7	0.451
		8	0.433
		9	0.225
		10	0.010
		11	0.468
		12	0.484

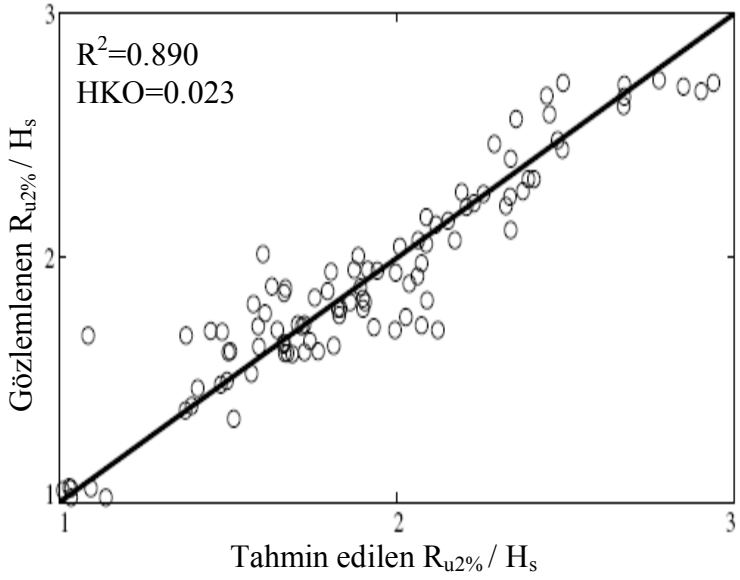
Çizelge 3.2: YSA modellerinin karşılaştırılmalı sonuçları (devam)

Dört girdi (SP, ε_m, $\cot\alpha$, SS)	Logaritmik- lineer		
		1	0,530
		2	0,594
		3	0,593
		4	0,506
		5	0,508
		6	0,536
		7	0,542
		8	0,263
		9	0,124
		10	0,489
		11	0,039
		12	0,540
Dört girdi (SP, ε_m, $\cot\alpha$, SS)	Tanjant-lineer		
		1	0,530
		2	0,624
		3	0,579
		4	0,618
		5	**0,630**
		6	0,532
		7	0,242
		8	0,419
		9	0,095
		10	0,323
		11	0,368
		12	0,035

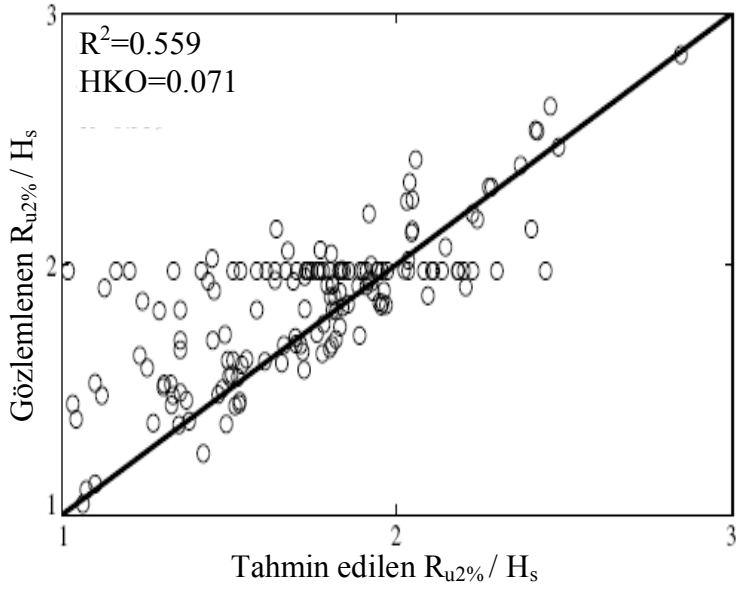
Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da, Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımının bu çalışmada önerilen optimum YSA modeliyle karşılaştırılması 100 eğitim ve 161 test verisi için ayrı ayrı gösterilmiştir. Karşılaştırma için hem R^2 hem de HKO istatistiki parametrelerinden faydalanılmıştır.



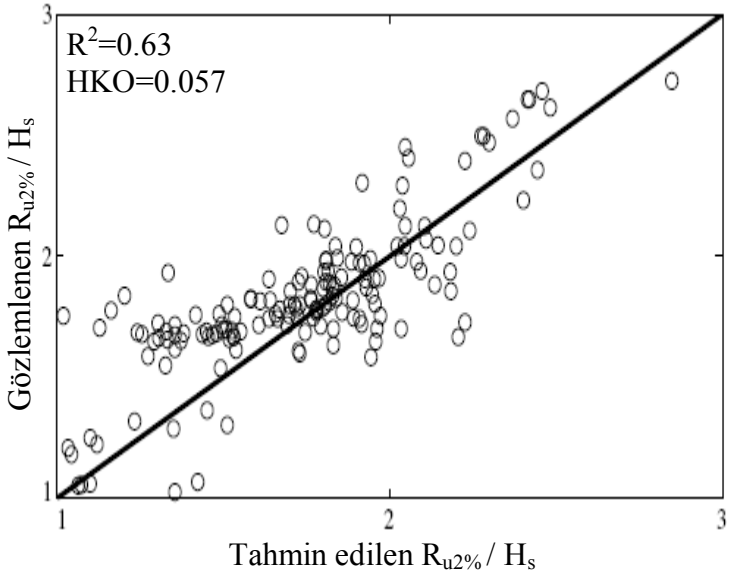
Şekil 3.3: Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımın 100 eğitim verisi için gösterdiği performans



Şekil 3.4: Önerilen YSA modelinin 100 eğitim verisi için gösterdiği performans



Şekil 3.5: Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımın 161 test verisi için gösterdiği performans



Şekil 3.6: Önerilen YSA modelinin 161 test verisi için gösterdiği performans

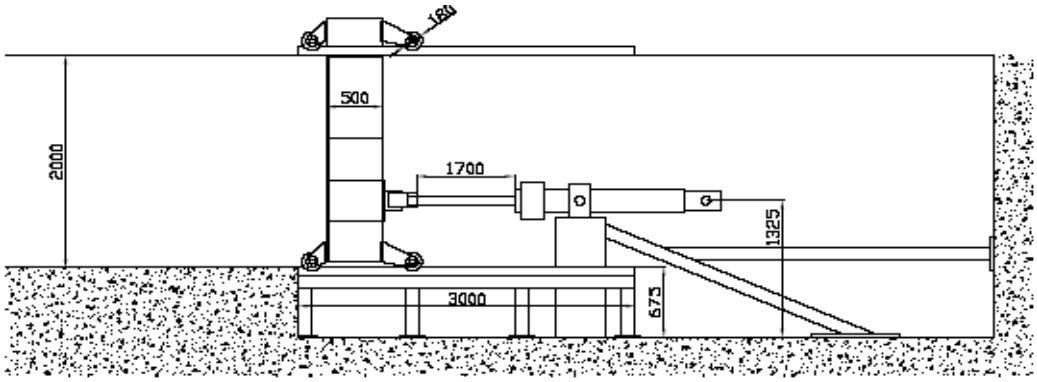
Şekil 3.3 ve Şekil 3.4' de, rastgele seçilmiş 100 eğitim verisi kullanılarak, Van der Meer ve Stam (1992) modeli ile önerilen YSA modelinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu şekillerden, önerilen YSA modelinin gösterdiği tahmin yeteneğinin büyük üstünlük sağladığı açıktır. R^2 istatistik parametresi dikkate alındığında, tahmin yeteneği 0.813'den 0.890'a çıkmıştır. Benzer şekilde, HKO parametresi 0.041'den 0.023'e düşmüştür. Şekil 3.3'de görüldüğü üzere, Van der Meer ve Stam (1992) modeli birçok koşulda sabit 1.97 değerini vermektedir ($R_{u2\%} / H_s = 1.97$). Oysa Şekil 3.4'de önerilen YSA modelinin dinamik olduğu açıkça belli olmaktadır.

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6' da rastgele seçilmiş 161 test verisi kullanılarak, Van der Meer ve Stam (1992) modeli ile önerilen YSA modelinin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu kısımda da YSA modelinin diğer alternatifine kıyasla üstünlüğü belli olmaktadır. YSA modelinin R^2 değeri 0.559'dan 0.630'e çıkmıştır. HKO değeri ise 0.071'den 0.057'ye düşmüştür. Van der Meer ve Stam (1992) modelinin bazı koşullar altında ezbere tahmin yaptığı bu şekillerden daha iyi görülmektedir. Bununla birlikte, önerilen YSA modelinde verilerin dağılımı, $R^2 = 1$ doğrusu üzerinde toplanmaktadır (Erdik ve diğ., 2008a).

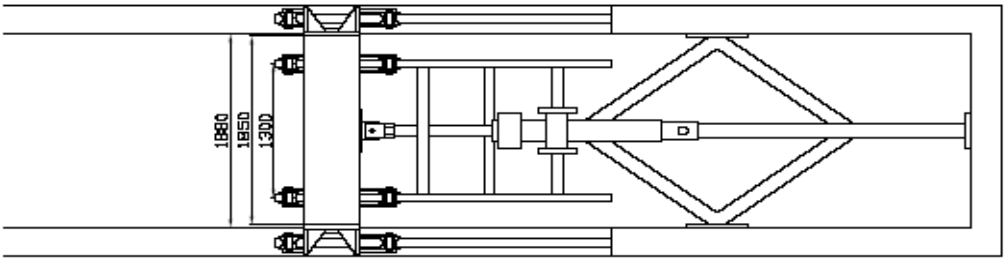
4. SOLİTER DALGALARIN OLUŞTURACAĞI MAKSİMUM TIRMANMANIN BELİRLENMESİ (KIRILMADAN ÖNCEKİ DURUM)

4.1 Giriş

Bu bölümde soliter dalgaların küp blok korumalı kıyı yapıları üzerinde oluşturacağı maksimum tırmanma fiziksel model çalışmaları ile incelenmiştir. Soliter dalgaların üretilmesi ile ilgili gerek literatür gerekse de uluslararası araştırmacılarla yapılan temaslar neticesinde, tsunami dalgalarını laboratuar ortamında en iyi benzeştirme yolunun, piston-tipli bir dalga üretici kullanmak olduğu anlaşılmıştır. Bu tespitten sonra bu konudaki çalışmalar taranarak bir soliter dalga üretici mekanizma projelendirilmiştir (Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3).

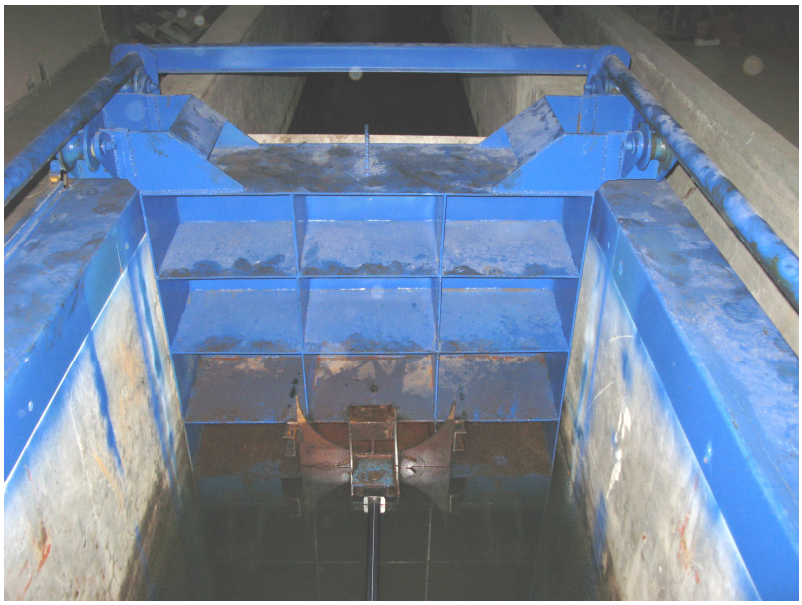


(a)



(b)

Şekil 4.1: Laboratuarda üretilen soliter dalga üreticisi (a) Dalga üretici boy kesiti (b) Dalga üretici planı



Şekil 4.2: Tsunami dalga üretici sistemin palet kısmı



Şekil 4.3: Tsunami dalga üretici sistemin piston kısmı

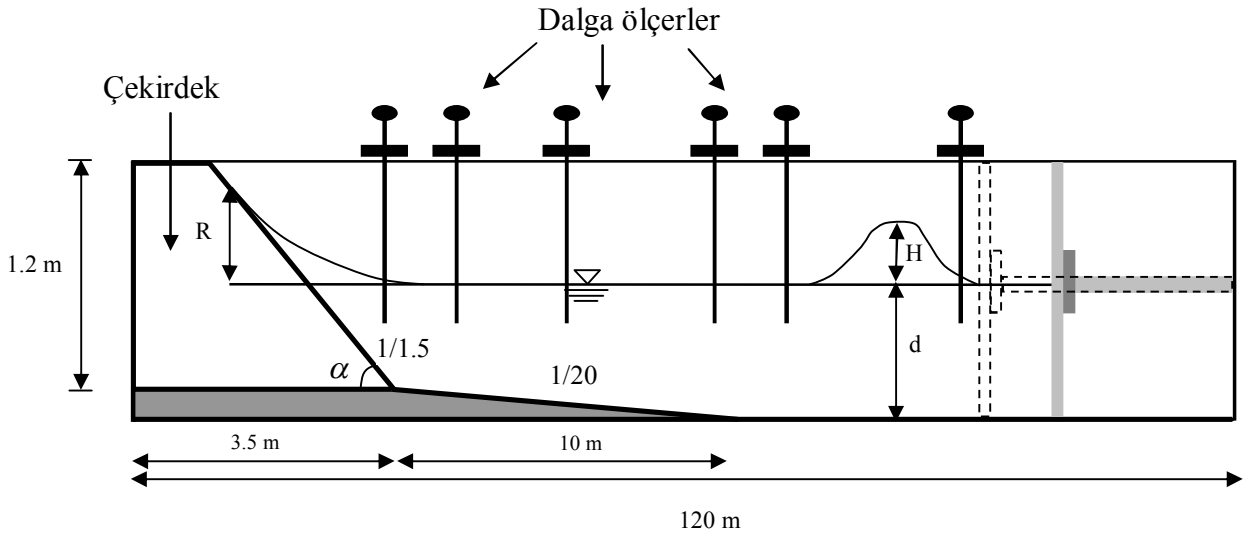
TÜBİTAK tarafından 105M261 nolu proje kapsamında sağlanan finansal destek altında montajı gerçekleştirilen tsunami dalga üreticisinden, soliter dalgalar sağlıklı bir şekilde üretilmiştir. Sonuç olarak, bu tez kapsamında projelendirilen hidrolik-pistonlu tsunami dalga üreticimiz kapalı ortamlarda gerçekleştirilen dünyadaki sayılı dalga üreticiden biri olmuştur. Montajı gerçekleştirilen tsunami üreticinin teknik özellikleri Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Montajı gerçekleştirilen soliter dalga üreticinin teknik özellikleri

1-	Max. deplasman	2 m
2-	Max. hız	1 m / s
3-	Üretilen max. dalga yüksekliği	0,5 m
4-	Hidrolik yağ depo	600 l
5-	Elektrik motoru gücü	18,5 Kw

4.2. Deney Sisteminin Kurulması Ve Deneylerin Yapılışı

Deneyler İ.T.Ü. Hidrolik Laboratuarında bulunan 120 m uzunluk, 2 m genişlik ve 2 m derinlikteki dalga kanalında, soliter dalgalar üretmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Deney kanalına yerleştirilen model şematik olarak Şekil 4.4' te gösterilmiştir. Dalgakıran yüzeyi küp bloklar yerleştirmek suretiyle korumalı hale getirilmiştir. Küp bloklar tek sıra halinde yerleştirildiklerinde, hemen hemen iki sıralı alternatifleri kadar yüksek dayanıma sahip olmaktadırlar. Böylece, maliyet yönünden büyük tasarruf sağlanmaktadır (Van Gent et. al., 1999, 2001). Bu çalışmada, her iki tabaka (tek katman ve çift katman) ayrı ayrı denenmiş ve bu tabakaların soliter dalgalara karşı gösterdikleri tırmanma davranışları incelenmiştir (Erdik ve diğ., 2008b, 2008c).



Şekil 4.4: Dalga kanalına yerleştirilen kıyı yapısı modelinin boykesiti ve boyutları

Kıyı yapısı modelinin çekirdek kısmı, kumdan meydana getirilmek suretiyle geçirimsiz hale getirilmiştir. Böylece, tırmanmanın daha yüksek olması hedeflenerek sonuçların emniyetli olması sağlanmıştır. İki tabakalı filtre malzemesi uniform çakıl taşı kullanmak suretiyle dökülmüştür. Ortalama çakıl çapı 1,5 cm dir. Koruma tabakası ise iki farklı küp blok kullanmak suretiyle modellenmiştir. Bu iki farklı tür şunlardır:

- Kenar uzunluğu 4 cm ve kütlesi 0,153 kg olan normal yoğunluklu küp bloklar,
- Kenar uzunluğu 7 cm ve kütlesi 1 kg olan yüksek yoğunluklu küp bloklar.

Yüksek yoğunluklu küp bloklar içerisine kurşun konulmak suretiyle ağırlaştırılmıştır. Kıyı koruma yapısının eğimi 1/1.5 olarak seçilmiştir. Çünkü, bu tip kıyı yapılarının literatürde bu eğimle inşa edildiği bilinmektedir (Van Gent et. al., 1999, 2001). Kıyı koruma yapısının önüne, soliter dalgaların kıyı tabanından etkileşimini sağlamak amacıyla betondan 1/20 eğiminde bir platform inşa edilmiştir. Deneyler en az iki defa tekrarlanıp, ortalaması alınmıştır. Eğer iki deney arasındaki fark büyükse üçüncü deney yapılmış ve en yakın iki sonucun ortalaması alınmıştır. Herbir deneyden sonra koruma tabakası bozulup, tekrar inşa edilmiştir. Böylece, küp blokların, dalgaların etkisiyle, sıkışmasının neden olacağı hatalı tırmanma ölçümlerinden kaçınılmıştır.

Resistanslı dalga ölçerler kullanılmak suretiyle soliter dalgaların yükseklikleri belirlenmiştir. Dalga ölçerlerin yerleşimi Şekil 4.4'de görülmektedir. Dalga ölçerlerin bir tanesi dalgakıranın topuğuna, iki tanesi batimetride, üç tanesi ise batimetriden uzağa yerleşmiştir. Korumalı kıyı yapısı üzerindeki soliter dalga tırmanması yüksek çözünürlüklü bir video kamera vasıtasıyla tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen test programı Çizelge 4.2' de sunulmuştur.

Çizelge 4.2 Gerçekleştirilen Deneyler

Seriler	Net test sayısı	H/d	Küp blokların yoğunluğu	Katman	Yerleşim
A	15	0.21-0.52	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	Düzgün yerleşmiş (n=0)
B	18	0.20-0.74	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	Düzgün yerleşmiş (n=0)
C	15	0.20-0.52	Normal yoğunluklu	Tek sıra	Rastgele yerleşmiş (n=0.39)
D	15	0.20-0.52	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	Rastgele yerleşmiş (n=0.30)
E	15	0.20-0.52	Normal yoğunluklu	Çift sıra	Rastgele yerleşmiş (n=0.39)
F	15	0.20-0.52	Normal yoğunluklu	Çift sıra	Rastgele yerleşmiş (n=0.46)
G	15	0.20-0.52	Normal yoğunluklu	Tek sıra	Rastgele yerleşmiş (n=0.30)

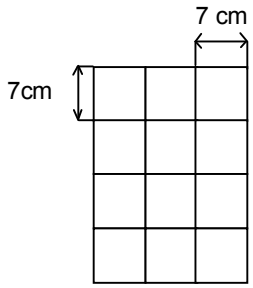
H: dalgakıranın topuğundaki soliter dalga yüksekliği, d:dalgakıranın topuğundaki su derinliği olmak üzere, üretilecek rölatif dalga yüksekliklerinin $\left(\frac{H}{d}\right)$ 0.20 ile 0.74 arasında olması literatürde ender rastlanılmaktadır. Literatürdeki çalışmalar genelde düşük $\left(\frac{H}{d}\right)$ değerlerindedir. $\left(\frac{H}{d}\right)$ oranının düşük olması batimetriden etkileşimin orantılı olarak azalması anlamına gelmektedir. Oysa, bu çalışmada yüksek $\left(\frac{H}{d}\right)$ değerlerinde çalışılarak batimetriden etkileşim sağlanmıştır. Bölüm 4.2 de açıklanan koruma tabakasının porozitesi,

$$n = 1 - D^2 \; N_{küp} \qquad \textbf{(4.1)}$$

şeklinde hesaplanmıştır (Van Gent et. al., 2001). Burada, $N_{küp}$ = Birim alandaki küp blokların sayısı, D ise küp blokların bir kenarının uzunluğudur. Burada dikkat edilmesi gereken husus, Denklem 4.1'in küp blokların rastgele dağılımından oluşacak porozite farkını dikkate almamasıdır.

Bu çalışmada, küp blokların düzgün yerleşmesi; arada hiç boşluk bırakmayacak şekilde düzgün ve muntazam olarak döşenmesini ifade etmektedir (Şekil 4.5). Bu çalışmada, düzgün ve muntazam döşenen üniteler pürüzsüz bir yüzey elde etmek için kullanılmıştır. Rastgele yerleştirilmiş küp bloklar ise porozite oluşturmak için

kullanılmıştır (Şekil 4.6). Soliter dalgaların dalgakıran üzerindeki tırmanma yüksekliği, yüksek çözünürlüklü bir video kamera vasıtasıyla ölçülmüştür.



Şekil 4.5: Düzgün ve arada hiç boşluk kalmayacak şekilde yerleşmiş küp bloklar

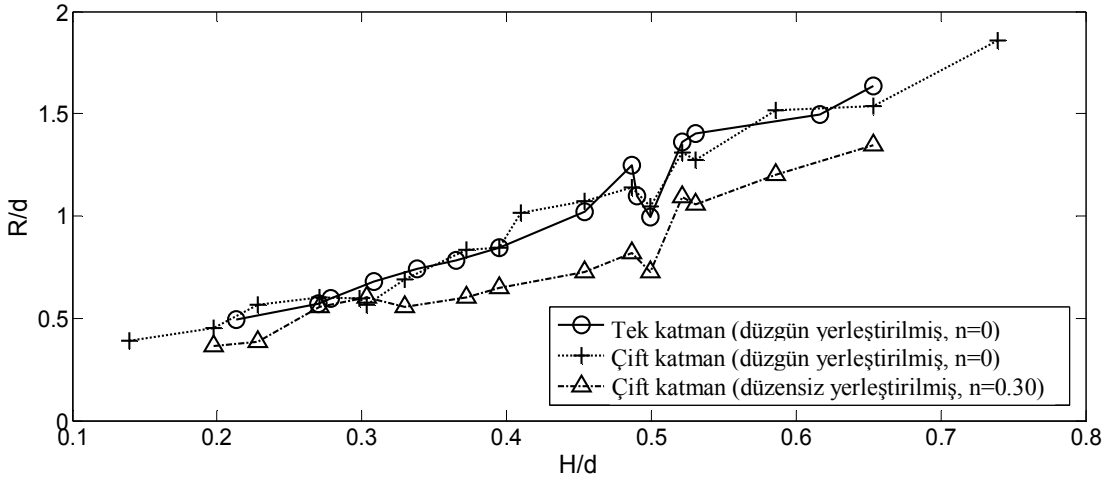


Şekil 4.6: Rastgele ve arada boşluk kalacak şekilde yerleşmiş küp bloklar

4.3 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

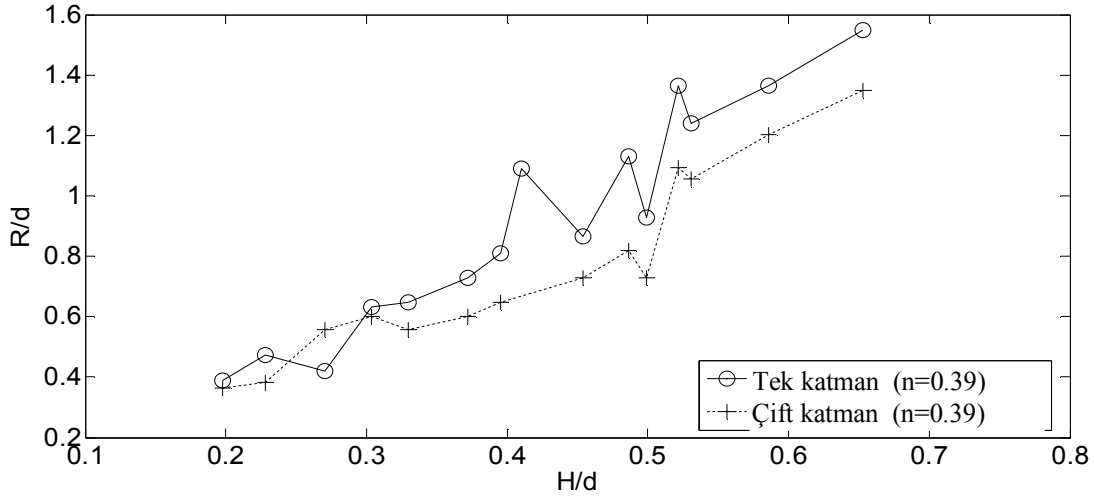
Deney sonuçlarının değerlendirilme aşamasında girdi (H) ve çıktı (R) değişkenleri kıyı yapısının topuğundaki su derinliğine (d) bölünmek suretiyle boyutsuzlaştırılmıştır. Burada; H: soliter dalga yüksekliği, R:dalgakıran üzerindeki maksimum tırmanma yüksekliğidir. Su derinliği ile boyutsuzlaştırma, soliter dalgaların tırmanması ile ilgili literatürdeki çalışmalarda yaygın olarak kullanılmış ve iyi sonuç verdiği görülmüştür. Benzer şekilde, gerçekleştirilen bu doktora çalışmasında da iyi sonuç verdiği görülmüştür. Soliter dalgaların küp blok korumalı kıyı yapısı üzerinde gösterdiği davranış boyutsuz büyüklükler şeklinde niteliksel olarak incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Şekil 4.7' de yüksek-yoğunklu küp blokların soliter dalgalara karşı tırmanma karakteristikleri verilmiştir. Bu şekilde, koruma tabakasının kalınlığının tırmanmaya herhangi bir etkisinin olmadığını açıkça görülmektedir. Tek katman ve çift katmanlı koruma yapıları aynı tırmanma değerleri vermektedir. Oysa, küp blokların porozitesi dalga tırmanmasını etkili bir şekilde azaltmaktadır. Bunun sebebinin ise, soliter dalgaların küp blokların içerisine girmesi ve sürtünme meydana getirmesidir. Ayrıca, $H/d = 0.3$ değerinden itibaren n=0 ve n=0.30 çizgileri arasındaki farkın arttığı görülmektedir. Bunun sebebi ise, dalga yüksekliğinin artmasıyla birlikte non-lineer'liğin artmasıdır. Şüphesiz, düzensiz yerleştirilmiş küp blokların da bu duruma bir etkisinin olduğu kaçınılmazdır.



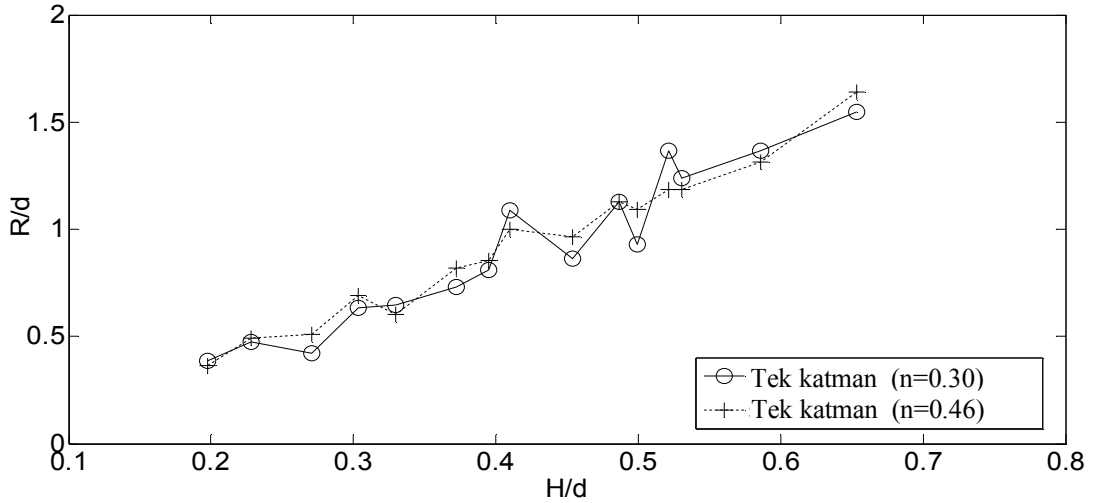
Şekil 4.7: Yüksek yoğunluklu küp blokların gösterdiği tırmanma davranışı

Şekil 4.8' de soliter dalgaların, n=0.39 poroziteli normal-yoğunluklu küp bloklar üzerinde meydana getireceği tırmanma davranışları görülmektedir. Çift katmanlı küp bloklar, aynı porozite altında tek katmanlı küp bloklara göre daha düşük tırmanma değeri vermektedir. Bu durum, literatürde, küp korumalı kıyı yüzeylerinin tasarımında yaygın olarak kullanılan ve yalnızca kıyı yüzeylerin alanlarını dikkate alan porozite formülünün yetersiz sonuç verdiğini ispatlamaktadır. Bu çalışmadan elde edilen bulgular, porozite hesabında Van Gent ve diğ.'nin (2001) önerdiği alansal poroziteyi dikkate alan formülünün aksine, derinliğin de önemli olduğunu, yani porozite hesabında yüzey alanı yerine hacimlerin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.8: Normal yoğunluklu küp blokların tek ve çift katman olması durumunda gösterdiği tırmanma davranışı

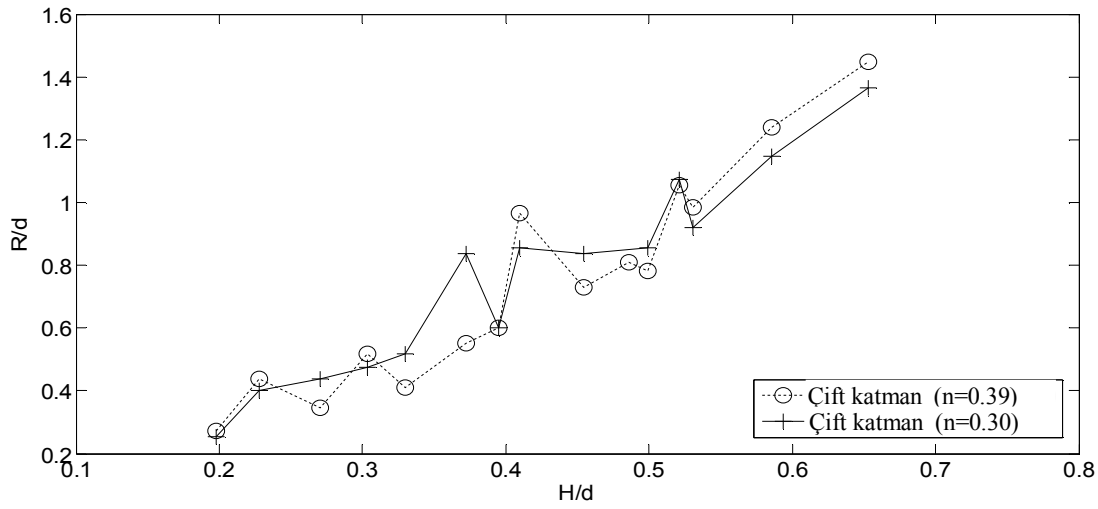
Şekil 4.9' da soliter dalgaların, tek katmanlı, normal yoğunluklu ve sırasıyla n=0.30 ve n=0.46 poroziteler altında gösterdiği tırmanma davranışı gösterilmiştir. Şekilden de açık bir şekilde görüldüğü üzere, her iki porozite altında soliter dalgaların tırmanma karakteristikleri arasında fazla bir fark bulunmamaktadır. Ortaya çıkan küçük farklılıklara ise her deneyde değişen ve düzensiz yerleştirilen küp blokların neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.9: Normal yoğunluklu ve tek katmanlı küp blokların gösterdiği tırmanma davranışı

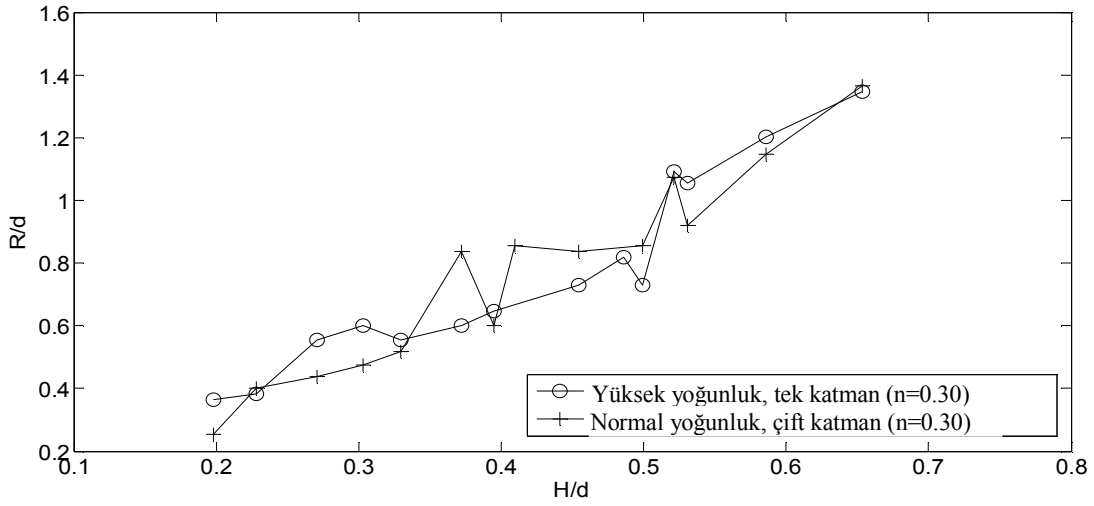
Şekil 4.10' da soliter dalgaların, çift katmanlı, normal yoğunluklu ve sırasıyla n=0.30 ve n=0.39 poroziteler altında gösterdiği tırmanma davranışı gösterilmiştir. Şekil 4.9' da bulunan sonuçlara benzer olarak, her iki porozite altında fazla bir fark olmadığı

açıktır. Meydana gelen fark ise, suyun boşluklara düşey yönde girmesinden ve her deneyde değişen düzensiz küp bloklardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.10: Normal yoğunluklu ve çift katmanlı küp blokların gösterdiği tırmanma davranışı

Şekil 4.11' de aynı porozite altında (n=0.30), tek katmanlı yüksek yoğunluklu küp bloklar ile çift katmanlı normal yoğunluklu küp blokların soliter dalgalara karşı gösterdiği davranışlar verilmiştir. Her iki koşulda, soliter dalgaların tırmanması benzerlikler göstermektedir. Tek katmanlı yüksek yoğunluklu küp bloklar, normal yoğunluklu çift katman alternatiflerine kıyasla önemli oranda maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Bu yüzden, yüksek yoğunluklu küp bloklar soliter dalgaların tırmanma etkisini azaltma konusunda bu araştırmada önerilmiştir. Ayrıca, Van Gent ve diğ. (2001), n=0.25 poroziteli, tek katman ve yüksek yoğunluklu küp blokların dalgakıranların stabilitesi hususunda optimum sonuç verdiğini belirtmiştir. Her iki sonuç dikkate alındığında, n=0.30 poroziteli, tek katmanlı ve yüksek yoğunluklu küp blokların hem tırmanma hem stabilite hem de maliyet açısından en iyi sonucu verdiği bu araştırmada belirtilmiştir.



Şekil 4.11: n=0.30 poroziteli yüksek ve normal yoğunluklu küp blokların kıyaslanması

4.4 Soliter Dalgaların Belirlenmesi Hususunda Önerilen Denklem

Küp blok korumalı kıyı yapıları üzerinde soliter dalgaların tırmanmasını belirlemek için eğri uydurma metodundan yararlanılmıştır. Kullanım kolaylığı ve basitlik açısından, ampirik model bir girdi $\left(\frac{H}{d}\right)$ ve bir çıktıya $\left(\frac{R}{d}\right)$ göre boyutlandırılmıştır.

Her iki değişken arasındaki ilişkiyi en iyi değerlendirmek için birçok eğri uydurma yöntemi denenmiştir (lineer, logaritmik, üstel, exponensiyel, polinom). Sonuç olarak, polinom eğri uydurma yöntemi en iyi sonucu vermiştir ve bu çalışmada önerilmiştir. Önerilen polinom denklemi aşağıda verilmiştir.

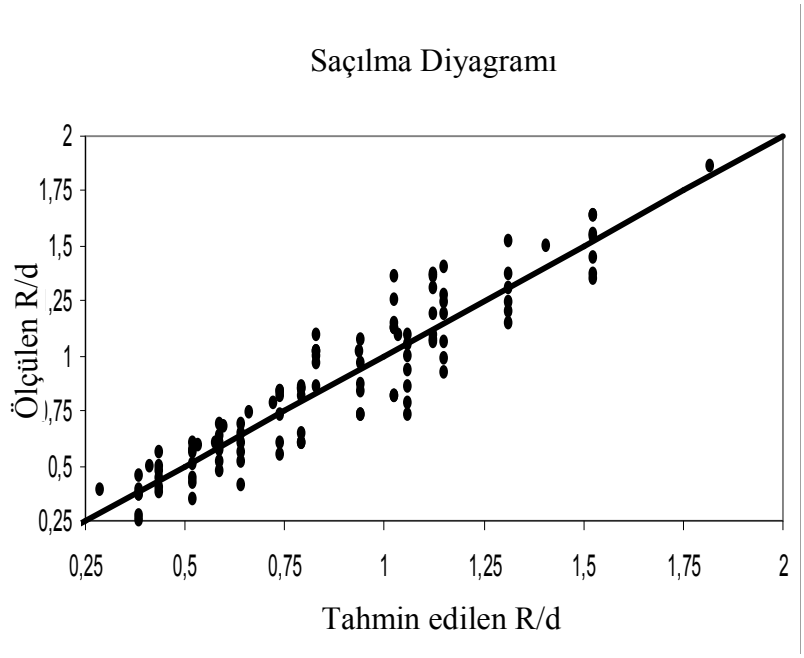
$$\frac{R}{d} = 1.677\left(\frac{H}{d}\right)^2 + 1.08\left(\frac{H}{d}\right) + 0.104 \qquad \textbf{(4.2)}$$

Önerilen denklem emniyetlidir. Çünkü, bütün deney koşulları geçirimsiz çekirdek üzerinde gerçekleştiğinden tırmanma yükseklikleri homojen ve geçirimli yüzeylere kıyasla yüksek çıkmaktadır.

Önerilen polinom denkleminin tahmin yeteneği $R^2 = 0.874$ olarak hesaplanmıştır (Bakınız Şekil 4. 12). Tahmin yeteneğinin yüksek olmasından dolayı çoklu regresyon uygulaması tercih edilmemiştir. Örneğin, Meer ve Stam (1992) denkleminin (ki bu denklem CEM (2002), British Standarts (2000), PWDM (2003) gibi gelişmiş ülkelerin proje kriterleri ve şartnameleri tarafından önerilmektedir) tahmin ve gözlem

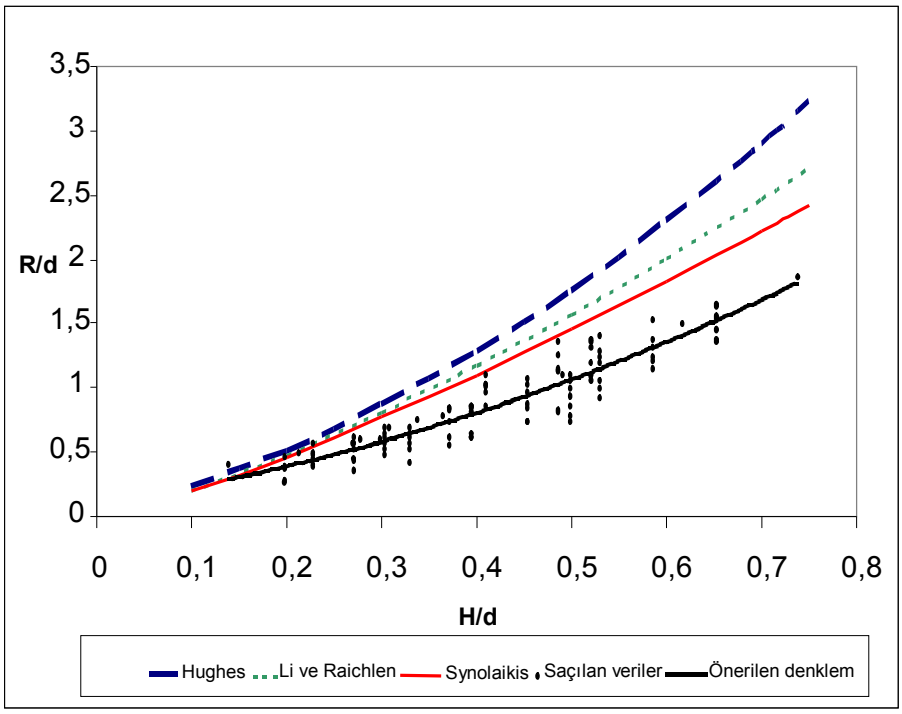
arasındaki R^2 değeri 0.687 olarak hesaplanmıştır. Bir diğer örnek ise, Avrupa Birliği Projesi olan Van de Walle'nin (2003) doktora çalışmasıdır. Van de Walle'nin (2003) önerdiği tırmanma denkleminin gözlem ile tahmin arasındaki R^2 değerinin 0.60' dan küçük olduğu görülmüştür.

Bu araştırma ile önerilen denklem tek bir girdi ile rölatif tırmanmayı tahmin edebildiğinden araştırmacı ve mühendisler için pratik ve kullanımı kolaydır.



Şekil 4.12: Tahmin edilen tırmanma ile gözlemlenilen tırmanmanın karşılaştırılması

İkinci safhada, önerilen ampirik denklem Synolakis (1986), Li ve Raichlen (2001) ve Hughes (2005) gibi araştırmacıların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Şekil 4.13' de deney sonuçları ile önerilen ampirik model ve çeşitli araştırmacıların yaklaşımlarının karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 4.13: Çeşitli araştırmacıların yaklaşımlarının belirlenen model ile karşılaştırılması

Şekil 4. 13 den de görüldüğü üzere, diğer araştırmacıların yaklaşımları ölçülen deney sonuçlarına göre oldukça yüksek tırmanma vermektedir. Bu beklenilen bir durumdur. Çünkü diğer araştırmacılar kırılmayan soliter dalgalar ile pürüzsüz yüzey üzerindeki tırmanmayı bulmayı hedeflemişlerdir. Oysa, bu çalışmada gerçekleştirilen fiziksel model çalışmaları, hem batimetri etkisindeki dalgaları hem de pürüzlü yüzey üzerindeki tırmanmayı dikkate aldığından çıkan sonuçlar diğer araştırmacılara göre düşük değer vermiştir.

Bu çalışma ile ayrıca diğer araştırmacıların önerdiği denklemlerin, gerçekleştirilen deney koşullarına göre dönüşümü de yapılmıştır. Diğer araştırmacıların önerdiği denklemlerin, gözlem ve tahmin arasında ki R^2 sayısını en yüksek verecek bir azaltma katsayısı (reduction factor, α) ile çarpılması hedeflenmiştir (Bakınız 4.3, 4.4 ve 4.5 denklemleri).

$$\frac{R}{d} = \alpha_1 \times 2.831\sqrt{\cot\beta}\left(\frac{H}{d}\right)^{5/4} \qquad \textbf{(4.3)}$$

$$\frac{R}{d} = \alpha_2 \times 2.831\sqrt{\cot\beta}\left(\frac{H}{d}\right)^{5/4} + \alpha_3 \times 0.293\left(\cot\beta\right)^{3/2}\left(\frac{H}{d}\right)^{9/4} \qquad \textbf{(4.4)}$$

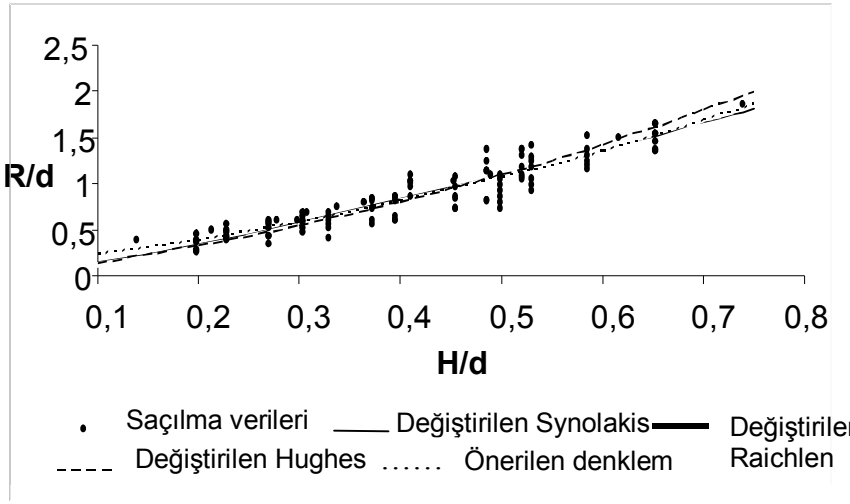
$$\frac{R}{d} = \alpha_4 \times 1.82 \ (\cot\beta)^{1/5} \left(\frac{M_F}{\rho g h^2} \right) \qquad \textbf{(4.5)}$$

Bu işlem için bir FORTRAN kodu yazılarak araştırmacıların denklemlerine sırasıyla uygulanmıştır. Fakat, yapılan inceleme neticesinde girdi ve çıktı verilerinin küçük değerler almasından ötürü R^2 istatistiki parametresinin efektif sonuç vermediği görülmüştür. Bu yüzden, başka bir istatistiki parametre olan ORHY' den yararlanılması düşünülmüştür. Gerçekleştirilen işlemler neticesinde bulunan azaltma katsayıları Çizelge 4.3' de verilmiştir. Çizelge 4.3'deki azaltma katsayıları ile daha önceden pürüzsüz bir yüzey üzerinde kırılmamış soliter dalgaların tırmanma yüksekliklerini bulmak için kullanılan denklemlerin pürüzlü yüzeyler üzerindeki tırmanma yüksekliklerinin hesabında nasıl kullanılabileceği gösterilmiştir.

Çizelge 4.3: Azaltma katsayıları

Synolakis (1987)	Li ve Raichlen (2001)	Hughes (2004)
$\alpha_1 = 0{,}75$	$\alpha_2 = 0{,}678$, $\alpha_3 = 0{,}818$	$\alpha_4 = 0{,}365$

Değiştirilmiş denklemlerin tahmin yeteneği, önerilen denklemin tahmin yeteneğine yakınlaştırılmıştır. Şekil 4.14' de bütün değiştirilen denklemlerin tahmin sonuçları ölçülen verilerle birlikte çizilmiştir.



Şekil 4. 14: Değiştirilen denklemlerin tahmin yeteneği

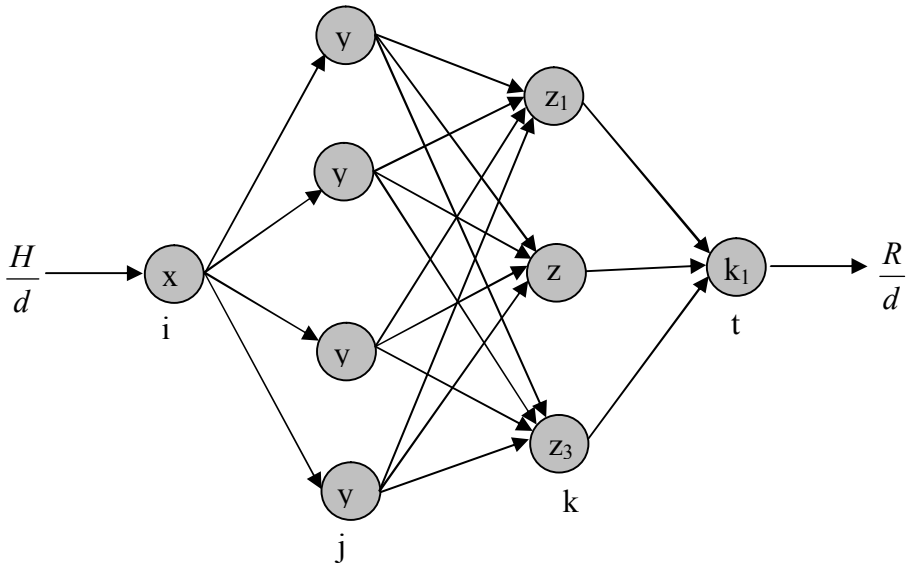
Ölçülen bütün veriler için, araştırmacıların değiştirilmiş denklemlerine göre hesaplanılan ORHY değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4: Değiştirilen denklemlerin ORHY değerleri

Önerilen denklem	Değiştirilen Synolakis	Değiştirilen Li ve Raichlen	Değiştirilen Hughes
ORHY=13.72	ORHY=14.00	ORHY=14.31	ORHY=14.89

Çizelge 4.4' den de görüldüğü üzere ORHY değerinin en küçük olduğu denklem bu araştırmada önerilen denklemdir. Synolakis'in değiştirilmiş denklemi ise önerilen denkleme en yakın değeri vermektedir.

Bu araştırmada, ayrıca birçok YSA modeli kurulmak suretiyle tsunami tipli dalgaların küp blok korumalı kıyı yapıları üzerinde meydana getireceği tırmanma incelenmiş ve en optimum model sunulmuştur. Önerilen YSA modeli, regresyon analizinde olduğu gibi tek girdi ve tek çıktılı bir sistemdir. Girdi $\left(\frac{H}{d}\right)$, çıktı ise $\left(\frac{R}{d}\right)$ dir. YSA modelinin kurulmasında uygulanması gereken en önemli kural; eğitme ve test datalarının ikiye ayrılmasıdır. Haykin (1999) verilerin 1/3 lük kısmının test işlemlerine ayrılması gerektiğini önermiştir. Bu araştırmada bu öneri benimsenmiştir. YSA modelinde bir diğer önemli husus ise "yetersiz eğitme" veya "fazla eğitme" gibi hususlara azami dikkat edilmesi gerektiğidir. Bu çalışmada, eğitme safhası 50 iterasyonluk parçalar halinde ilerletilmiş ve sürekli gözlem altında tutularak optimum iterasyon sayısı olan 60.000 de karar kılınmıştır. Önerilen YSA modeli 4 tabakalıdır (Bakınız Şekil 4.15). $\left(\frac{H}{d}\right)$ girdi, $\left(\frac{R}{d}\right)$ ise çıktıdır. YSA modelinde iki tane gizli tabaka konulmuştur. Bu gizli tabakalar sırasıyla "j" ve "k" dır. "j" katmanı 4 nerondan "k" katmanı ise 3 nerondan oluşturulmuştur. Girdi tabakası (i) ile ilk gizli tabaka (j) arasında tansig fonsiyonu, ilk gizli tabaka (j) ile ikinci gizli tabaka (k) arasında logsig fonksiyonu, ikinci gizli tabaka (k) ile sonuç tabakası (t) arasında yine logsig fonksiyonu kullanılmıştır.



Şekil 4.15: Önerilen YSA modeli

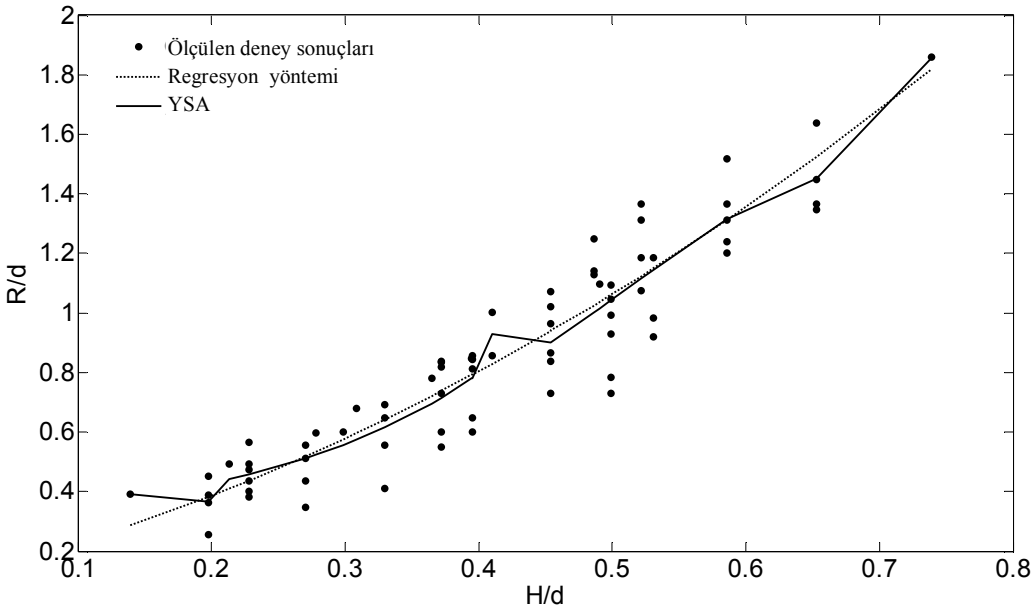
Tansig fonksiyonu ± 1 arasında değerler alırken, Logsig fonksiyonu $[0-1]$ arasında değerler almaktadır. Eğitim verisiyle YSA modelinin fiziksel olayı öğrenmesi sağlanmış, daha sonra eğitimde kullanılmayan test verileriyle YSA modelinin ne kadar iyi tahmin yapabildiği sınanmıştır. İlk aşamada, gerek eğitim verileri gerekse de test verileri hiçbir işleme tabi tutulmadan kullanılmıştır. Fakat, YSA modelinin tahmin yeteneğinin yeterli düzeyde olmadığı görülmüştür. Bu duruma, kullanılan verilerin ham olmasından dolayı, ağırlık katsayılarının yeterli düzeyde ayarlanamamış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sebepten, veriler maksimum değerine bölünmek suretiyle standartlaştırılmıştır. Yapılan incelemelerde görülmüştür ki, standartlaştırılmış veriler ham verilere göre daha iyi sonuç vermektedir.

Optimum YSA modeli, önerilen regresyon modeli ile de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada literatürde yaygın olarak kullanılan üç adet istatistiki parametreden yararlanılmıştır. Bunlar; R^2, HKO ve ORHY' dir. Önerilen regresyon modeli ile YSA modelinin karşılaştırılması Çizelge 4.5'de verilmiştir.

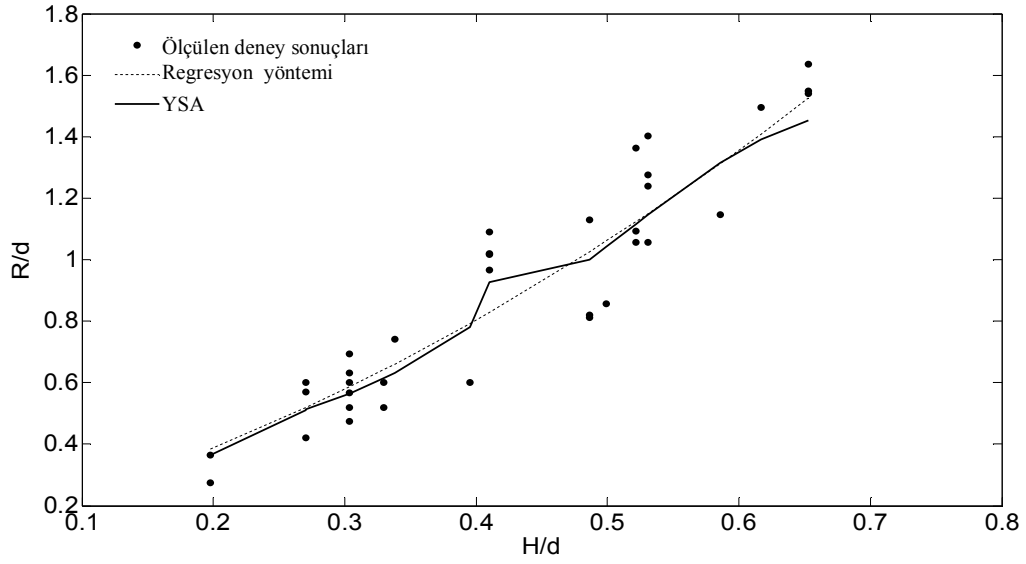
Çizelge 4.5: Önerilen regresyon modeli ile YSA modelinin karşılaştırılması

	R^2	HKO	ORHY
Regresyon modeli	0,8586	0,0205	14,2793
Yapay sinir ağları modeli	0,8812	0,0183	12,9070

Çizelge 4.5' den de görüldüğü üzere, YSA modelinde R^2 değeri 0.8586' dan 0,8812' ye yükselmiştir. Benzer şekilde, HKO ve ORHY değerleri, regresyon ve yapay sinir ağları modelleri için sırasıyla 0,0205'den 0,0183'e ve 14,2793'den 12,9070'e düşmüştür. Şekil 4.16 ve 4.17 de önerilen regresyon modeli ile önerilen YSA modelinin karşılaştırmalı sonucu verilmiştir (Erdik ve diğ., 2008c).



Şekil 4.16: Önerilen regresyon ve yapay sinir ağları modellerinin eğitme verileri için karşılaştırmalı sonuçları



Şekil 4.17: Önerilen regresyon ve yapay sinir ağları modellerinin test verileri için karşılaştırmalı sonuçları

Şekillerden görüldüğü üzere, geliştirilen her iki yöntemin tahmin yeteneğinin yüksek olduğu kabul edilebilir. Yapay sinir ağları yöntemi, regresyon modelinden bir miktar daha fazla gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir. Özellikle, H/d=0.43 mertebesinde gerek eğitim gerekse de test aşamasında modelin dinamikliği belirgindir.

Bu araştırma kapsamında, yapay sinir ağları yönteminin tahmin yeteneğinin geliştirilmesi üzerinde çok durulmuş ve birçok model kurulmuştur. Fakat, eldeki verilerin çarpıklığı ve düzensizliği dikkate alındığında elde edilen sonuçlardan tahmin yeteneği daha yüksek bir model kurmak mümkün görülmemektedir.

5. SOLİTER DALGALARIN OLUŞTURACAĞI MAKSİMUM TIRMANMANIN BELİRLENMESİ (KIRILMADAN SONRAKİ DURUM)

5.1 Giriş

Tsunamiler çoğunlukla yer hareketlerinden meydana gelen yıkıcı dalgalardır. Literatürde, genelde, kırılmamış tsunami dalgalarının meydana getireceği tırmanma incelenmiştir. Oysa, tsunami dalgaları, batimetrinin etkisiyle, kıyıya yaklaştıkça yükseklikleri artar, boyları azalır ve belirli bir zaman sonra kıyı yakınlarında kırılırlar ve kıyı koruma yapıları ile sahilleri yıkarak büyük can ve mal kaybına yol açarlar. 2004 yılında, Tayland'da meydana gelen yıkıcı tsunamiye şahit olmuş görgü tanıklarının ifadeleri göre tsunami dalgaları kıyıya tırmanma neticesinde kırılmaktadır (Şekil 5.1).



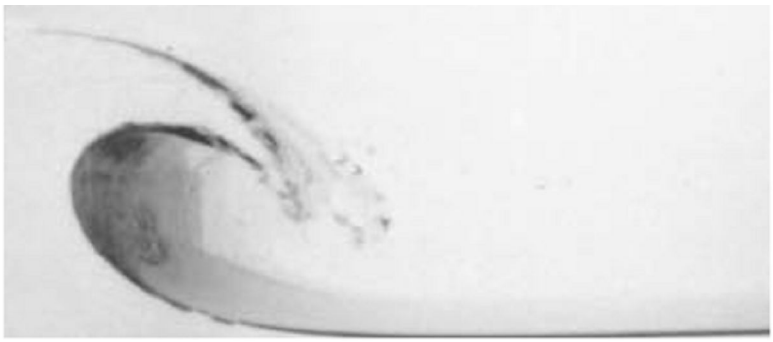
Şekil 5.1 Tayland'da 2004 yılında meydana gelen kırılan tsunamilerin fotoğrafı

1999 İzmit depreminin neticesinde Kuzey Anadolu Fay kırığının batıya doğru yönelmesi bu bölgelerde gerilimin artmasına neden olmuştur. 30 sene içerisinde Marmara Denizi'nde büyük ölçekli bir depremin meydana gelmesi beklenmektedir (Le Pichon ve diğ., 1999). Bu depremin neticesinde tsunami meydana gelme olasılığı da konu ile ilgili bilimadamlarının hem fikir olduğu bir neticedir. Marmara Denizi kıyılarında yoğun yerleşik nüfus dikkate alındığında, tsunami tehlikesi kaçınılmazdır.

Tsunami dalgalarının neden olduğu hasarlar, bu dalgaların tırmanmasıyla ilgilidir (Synolakis, 1986). Bu yüzden, bu dalgaların tırmanmasını doğru tahmin edebilmek tsunami felekati azaltma çalışmaları için zaruridir. Shuto (1997) belirtmiştir ki, kıyı yakınlarında meydana gelen tsunamilerin önemli bir çoğunluğu "plunging" tipinde kırılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, İ.T.Ü. Hidrolik laboratuarında "plunging" tipi kırılan tsunamilerin meydana getireceği tırmanmayı belirlemek için gereken deneyler bu tez konusu içerisinde yapılmıştır.

5.2 Deney Düzeneği

Deneyler bir önceki bölümde olduğu gibi İ.T.Ü. Hidrolik Laboratuarında bulunan 120 m uzunluk, 2 m genişlik ve 2 m derinlikteki büyük dalga kanalında, "plunging" tipi kırılan soliter dalgalar üretmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bütün deneyler, bir önceki bölümde açıklanan test matrisiyle aynıdır. Tek fark su derinliğinin 30.5 cm'den 10.5cm'ye düşürülmesidir. Böylece, hidrolik piston vasıtasıyla üretilen soliter dalgaların batimetri etkisiyle kırılması sağlanmıştır. Üretilen dalgaların çoğu "plunging" tipinde batimetri üzerinde kırılmıştır yani soliter dalgalar "plunging" şeklinde dalgakırana çarpmış ve tırmanmaya başlamışlardır. Bu tip dalgalar kıyı yapısına çarptıktan sonra kuvvetli bir sıçrama yaparak tırmanmaya geçtiklerinden yüksek çözünürlüklü bir video kamera ile tırmanma ölçümünün yapılması sırasında güçlük yaşanmıştır. Bu nevi bir dalga kırılması şekil 5.2' de gösterilmiştir.



Şekil 5.2: "Plunging" tipi soliter dalga kırılması

Deney kanalına yerleştirilen model şematik olarak Şekil 5.4' de gösterilen modelin aynısıdır. Tek fark soliter dalgaların "plunging" tipi kırılmasına imkan vermek için dalgakıranın topuğundaki su derinliğinin 10.5 cm yüksekliğine kadar azaltılmasıdır. Çizelge 5.1'de "plunging" tipi kırılan soliter dalgalar için gerçekleştirilen test matrisi verilmiştir.

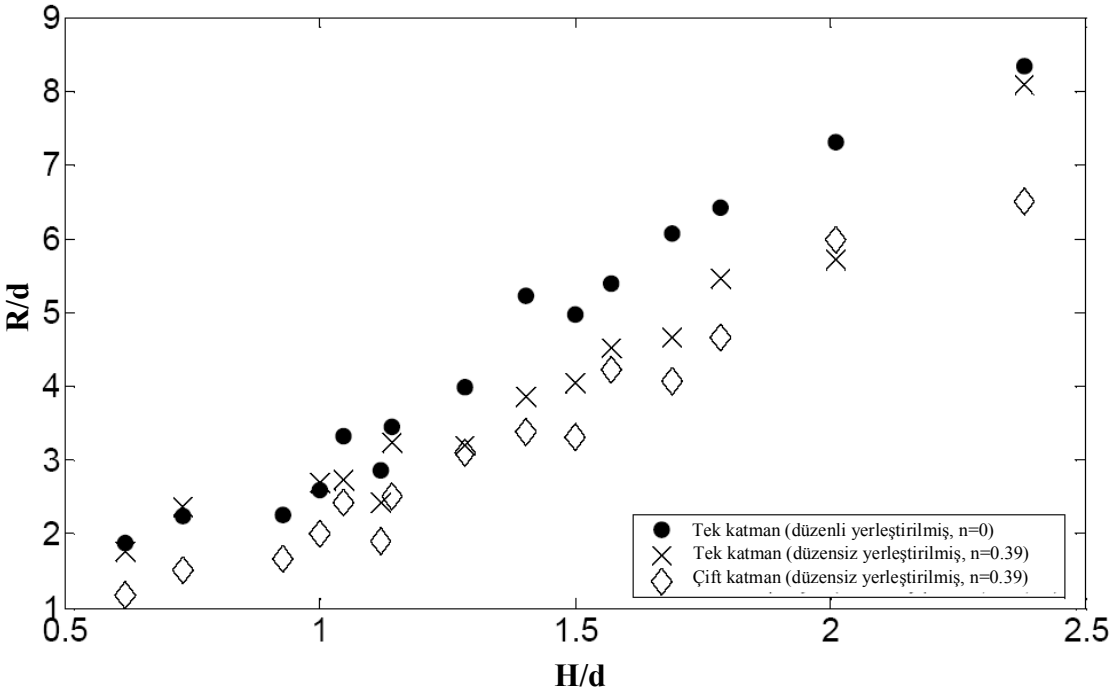
Çizelge 5.1: "Plunging" tipi kırılan soliter dalgalar için gerçekleştirilen deneyler

Seriler	Net test sayısı	H/d	Küp blokların yoğunluğu	Katman	Yerleşim
A	15	0,62-2,38	Yüksek yoğunluklu	Tek	Düzgün yerleşmiş (n=0)
B	14	0,62-2,38	Yüksek yoğunluklu	Çift	Düzgün yerleşmiş (n=0)
C	15	0,62-2,38	Normal yoğunluklu	Tek	Rastgele yerleşmiş (n=0,39)
D	14	0,62-2,38	Normal yoğunluklu	Çift	Rastgele yerleşmiş (n=0,39)
E	13	0,73-2,01	Yüksek yoğunluklu	Tek	Rastgele yerleşmiş (n=0,30)
F	13	0,73-2,01	Normal yoğunluklu	Çift	Rastgele yerleşmiş (n=0,30)
G	14	0,62-2,01	Normal yoğunluklu	Çift sıra	Rastgele yerleşmiş (n=0,46)
H	13	0,62-2,38	Normal yoğunluklu	Tek sıra	Rastgele yerleşmiş (n=0,46)

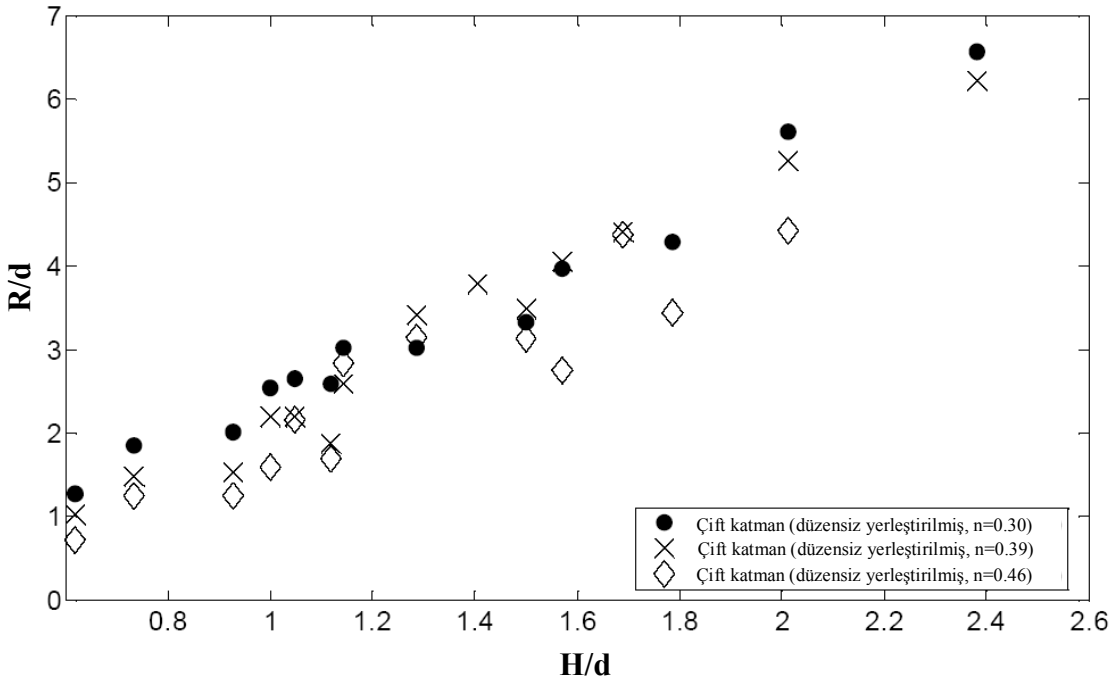
5.3 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu alt bölümde, "plunging" tipli kırılan soliter dalgaların küp blok korumalı kıyı yapısı üzerinde gösterdiği davranışlar niteliksel olarak incelenmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirmesi, bir önceki bölümde olduğu gibi, girdi (H) ve çıktı (R) değişkenleri arasında gerçekleştirilmiştir. Boyutsuzlaştırma işlemi, H ve R parametrelerini kıyı yapısının topuğundaki su derinliğine (d) bölmek suretiyle

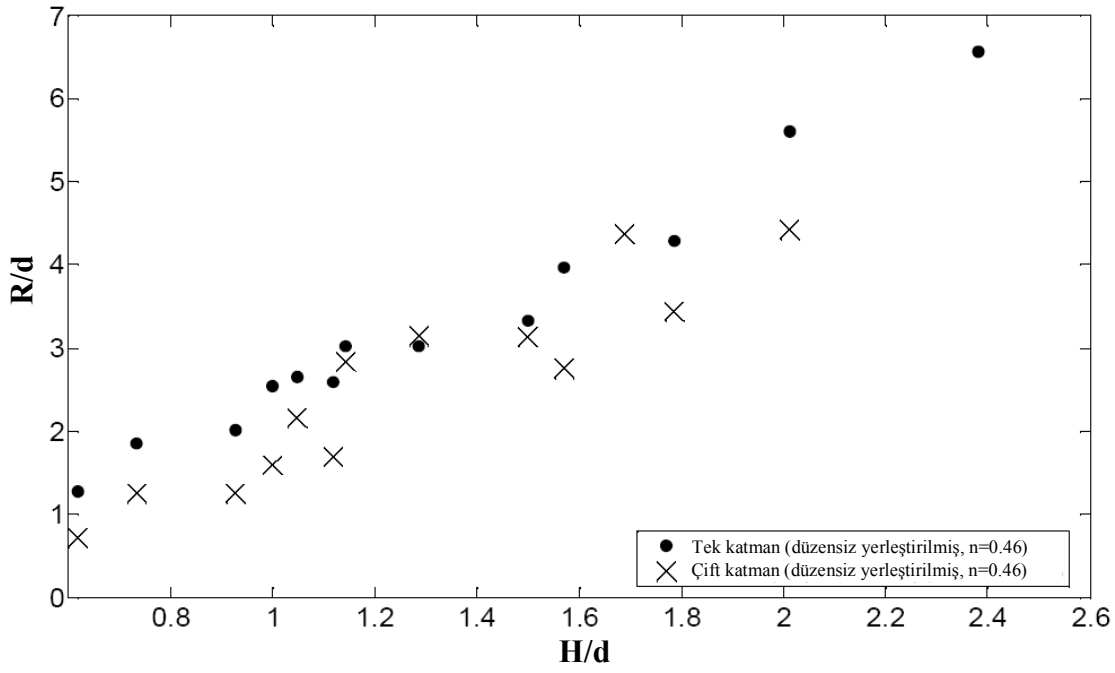
gerçekleştirilmiştir. “Plunging” tipli kırılan soliter dalgaların gösterdiği tırmanma davranışı, batimetri etkisindeki soliter dalgaların gösterdiği tırmanma davranışlarıyla uyumludur. Bu bölümde de bir önceki bölümde olduğu gibi porozitenin tırmanmayı azaltıcı yönde etkisinin olduğu görülmektedir (Şekil 5.3 ve 5.4). Ayrıca, çift katmanlı koruma yapısının, tek katmanlı koruma yapısına kıyasla daha az tırmanmaya sebep olduğu görülmektedir (Şekil 5.5). Bu bölümde bulunan en önemli sonuç ise, porozitenin n=0.30 olması durumunda (Şekil 5.6), tek katmanlı, yüksek yoğunluklu küp blokların, çift katmanlı, normal yoğunluklu küp bloklara benzer tırmanma yükseklikleri vermesidir. Bu durum batimetri etkisindeki kırılmayan soliter dalgalarda da geçerlidir.



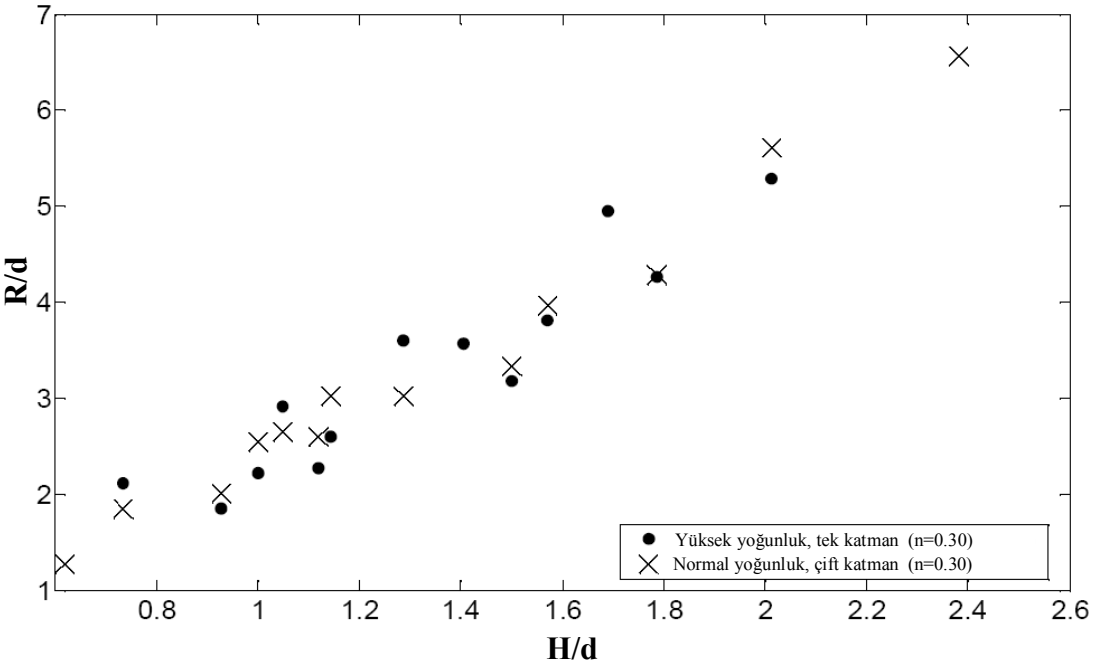
Şekil 5.3: Normal yoğunluklu küp blokların “plunging” tipi kırılan soliter dalgalar altında değişik porozitelerde gösterdiği tırmanma davranışı



Şekil 5.4: Normal yoğunluklu ve çift katmanlı küp blokların "plunging" tipi kırılan soliter dalgalar altında değişik porozitelerde gösterdiği tırmanma davranışı



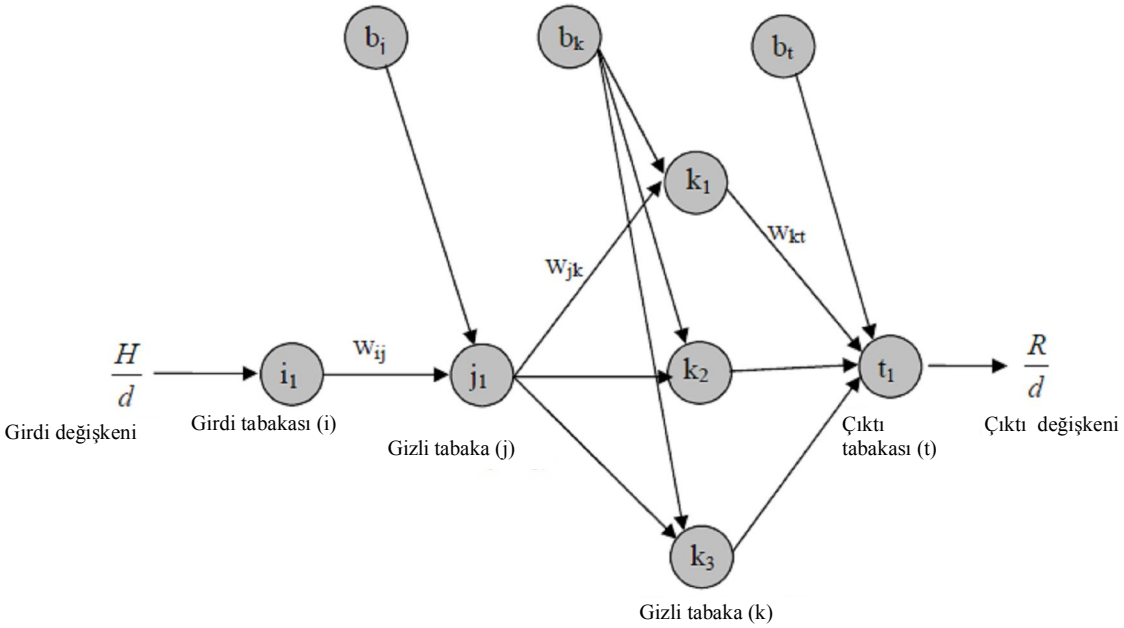
Şekil 5.5: Normal yoğunluklu küp blokların "plunging" tipi kırılan soliter dalgalar altında değişik katman seviyesinde gösterdiği tırmanma davranışı



Şekil 5.6: Aynı porozite altında (n=0.30), normal yoğunluklu tek katmanlı küp blokların, yüksek yoğunluklu çift katmanlı küp bloklara kıyasla davranışı

5.4 Önerilen YSA modeli

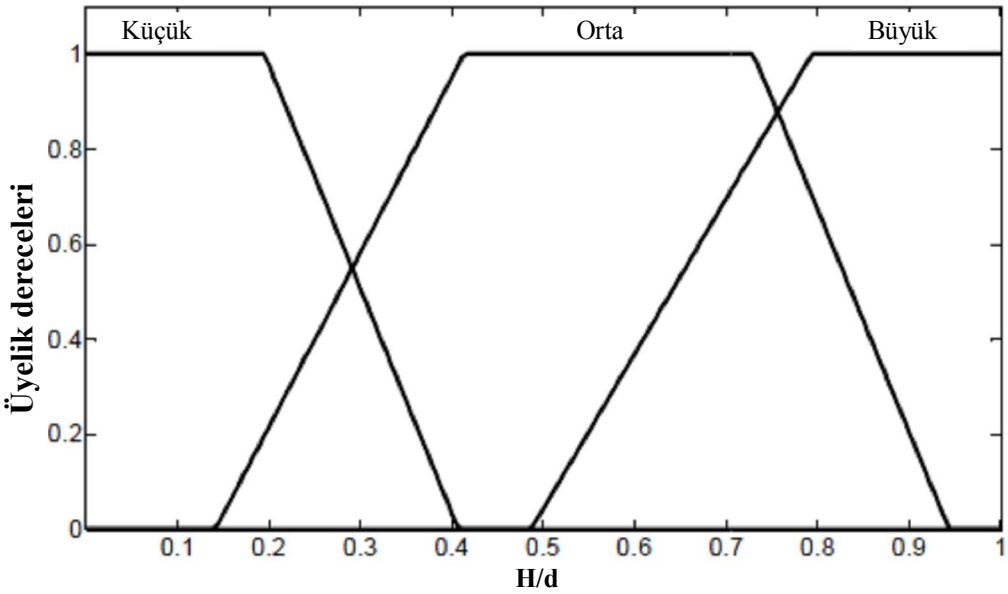
Bu bölümde de birçok YSA modeli kurulmuş ve en doğru sonuç veren model açıklanmıştır. Önerilen YSA modeli 4 tabakalıdır (Şekil 5.7). $\left(\frac{H}{d}\right)$ girdi, $\left(\frac{R}{d}\right)$ ise çıktıdır. YSA modelinde iki tane gizli tabaka konulmuştur. Bu gizli tabakalar sırasıyla "j" ve "k" dır. "j" katmanı 1 nerondan "k" katmanı ise 3 nerondan oluşturulmuştur. Girdi tabakası (i) ile ilk gizli tabaka arasında (j) logsig fonsiyonu, ilk gizli tabaka (j) ile ikinci gizli tabaka (k) arasında yine logsig fonksiyonu, ikinci gizli tabaka (k) ile sonuç tabakası (t) arasında lineer transfer fonksinundan yararlanılmıştır.



Şekil 5.7: Önerilen YSA modeli

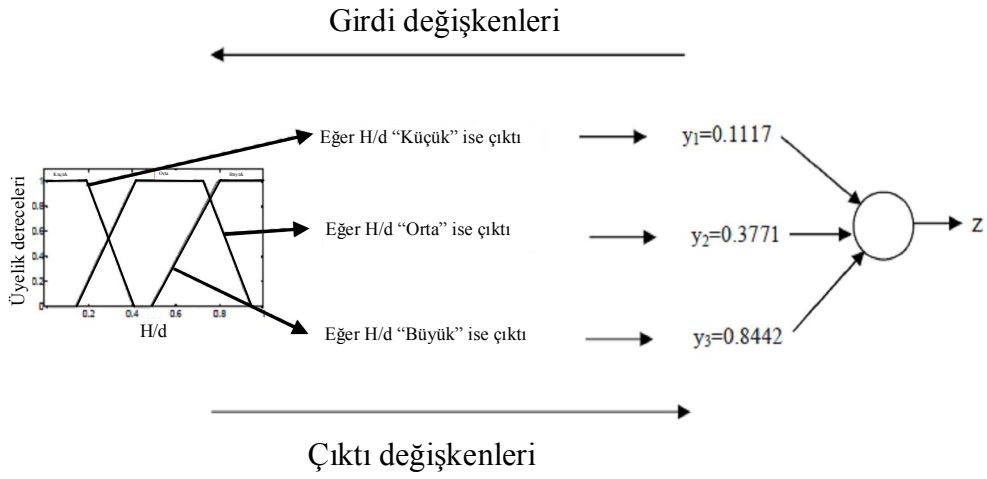
5.5 Önerilen TS Bulanık Mantık Modeli

Önerilen bulanık mantık modeli, regresyon ve YSA modellerinde olduğu gibi tek girdi ve tek çıktıdan oluşmaktadır. YSA modelinde olduğu gibi, Bulanık Mantık modelinde de birçok model kurulmuştur ve bu çalışmada en iyi model seçilip, açıklanmıştır. Önerilen model için girdi değişkenleri trapez üyelik fonksiyonu ile tanımlanmıştır (Şekil 5.8). Trapez üyelik fonksiyonları 3'e ayrılmıştır. Bunlar, "Küçük", "Orta" ve "Büyük" şeklindedir.



Şekil 5.8: H/d girdi parametresinin üyelik dereceleri

Bu çalışmada bulanık mantık modellemesinde "ANFIS" öğrenme algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma da sonuç parametreleri "en küçük kareler" yöntemiyle hesaplanırken, girdi parametreleri "hata azaltma metoduyla" belirlenir. Önerilen modelin algoritması Şekil 5. 9 da gösterilmiştir.



Şekil 5.9: Bulanık mantıkta kullanılan "ANFIS" algoritması

5.6 Önerilen Regresyon Modeli

Deneyler sırasında elde edilen bütün sonuçlar bir arada değerlendirilmiştir. Böylece, konu ile ilgili araştırmacı ve mühendislerin kırılmayan soliter dalgalar da olduğu gibi "plunging" tipi kırılan soliter dalgalar için de kolaylıkla kullanabilineceği bir ampirik model sunulmuştur. Deney sonuçlarına sırasıyla doğrusal, eksponensiyel, üstel, logaritmik ve polinom eğri uydurma yöntemleri ayrı ayrı uygulanmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma neticesinde denklem (5.1) de verilen polinom denkleminin diğer sonuçlara göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

$$\frac{R}{d} = a\left(\frac{H}{d}\right)^2 + b\left(\frac{H}{d}\right) + c \qquad \textbf{(5.1)}$$

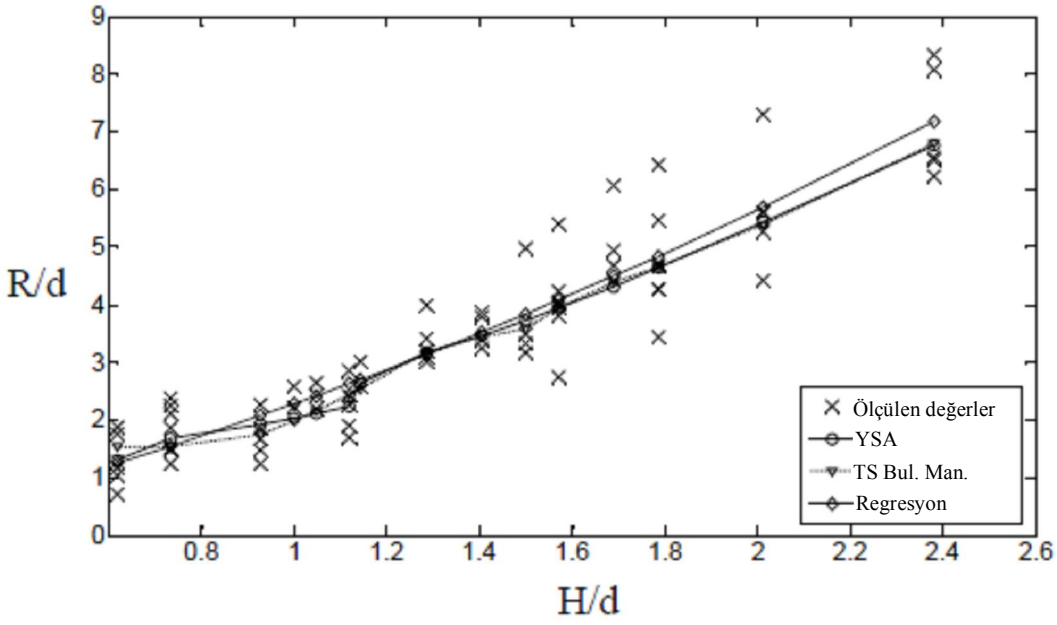
Eğri uydurma sonucunda bulunan a,b ve c değerleri sırasıyla;

- a=0.4825
- b=1.9125
- c=-0.1141

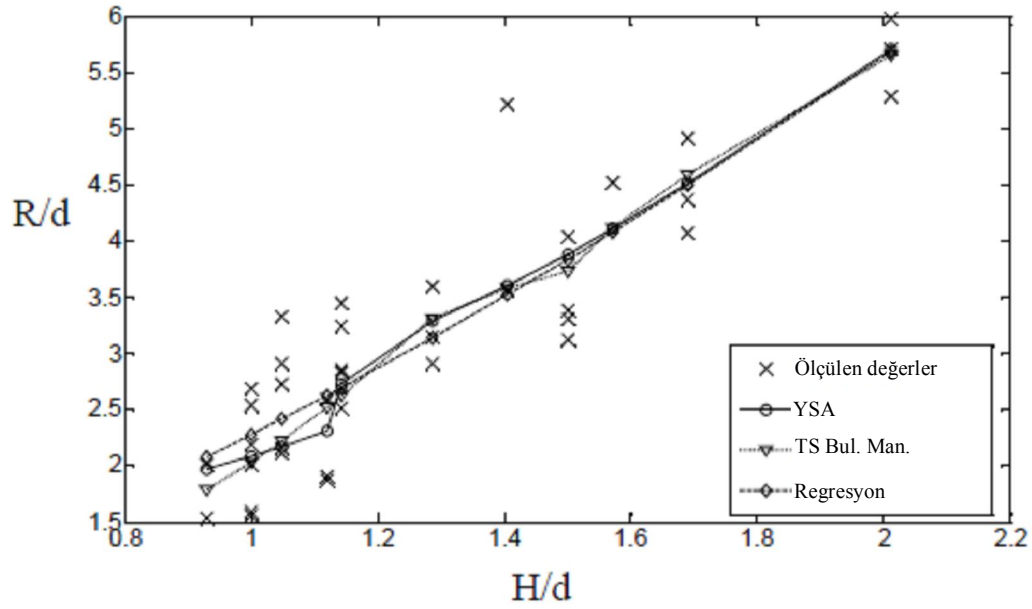
şeklindedir.

5.7 Önerilen Modellerin Karşılaştırılması (YSA + TS Bulanık Mantık + Regresyon)

Deney sonuçlarının önerilen denklem tarafından tahmin yeteneğinin belirlenmesi için R^2, HKO ve ORHY istatistiki parametrelerinden yararlanılmıştır. 73 eğitim verisi kullanılmak suretiyle her üç modelin verdiği performans Şekil 5.10 verilmiştir. Ayrıca Çizelge 5.2' de tahmin yetenekleri sunulmuştur. 37 test verisi kullanılmak suretiyle model performanları ise Şekil 5.11 ve Çizelge 5.3' de verilmiştir.



Şekil 5. 10: 73 eğitim verisi ile üç modelin performansı



Şekil 5. 11: 37 test verisi ile üç modelin performansı

Çizelge 5.2: Model performansları (73 eğitim verisi)

RM			YSA			ANFIS		
R^2	HKO	ORHY	R^2	HKO	ORHY	R^2	HKO	ORHY
0.868	0.403	15.86	0.874	0.414	15.16	0.872	0.419	15.55

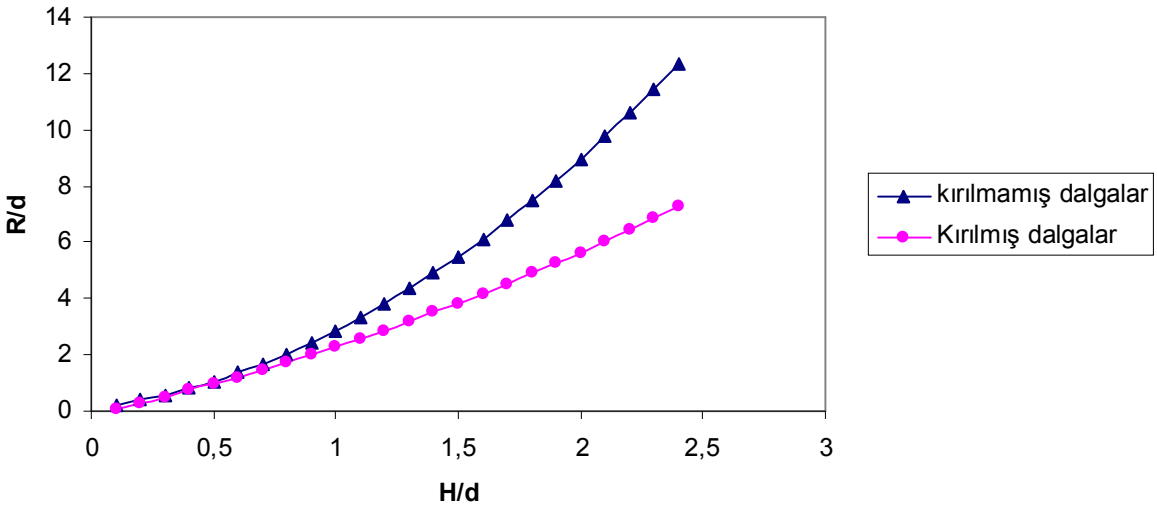
Çizelge 5.3: Model performansları (37 test verisi)

RM			YSA			ANFIS		
R^2	HKO	ORHY	R^2	HKO	ORHY	R^2	HKO	ORHY
0.801	0.270	14.74	0.814	0.261	13.50	0.814	0.264	13.80

R^2 değeri "-1" ile "+1" arasında değerler almaktadır ve "1" değerine yaklaştıkça modelin gerçeğe yakınsaklığı artmaktadır. HKO ve ORHY istatistiki parametrelerin ise mümkün olduğunca küçük olması tercih edilmektedir. 73 eğitim verisi dikkate alındığında, Regresyon, YSA ve ANFIS modelleri hemen hemen aynı sonucu vermektedir. Kullanılan üç hata parametresinde de sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. 37 test verisi içinde durum böyledir. Fakat, araştırmacıların kolaylıkla kullanabilmeleri için regresyon modeli önerilmiştir.

YSA ve ANFIS yöntemleri günümüzde hızla artan bir ivmeyle mühendis ve araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin olayı etkileyen karmaşık matematiksel denklemlere ihtiyaç duymaması en çok tercih edilme sebeplerinden biridir. Fakat, bu yöntemlerin yalnızca bilgisayar kodu yazmak yada kullanmak suretiyle uygulanması birtakım problemleri de beraberinde getirmektedir. Böyle kullanım sonucunda temel ve mantıksal bulanık ve yapay sinir ağları prensiplerinden uzaklaşmak kaçınılmazdır. Literatürde bu hususta yayınlanmış birçok eleştiri mevcuttur (Şen, 2007; Erdik, 2008a, 2008b, 2008c). Bu çalışmada bu konu özellikle dikkat edilmiş, temel mantık ve prensiblerin nümerik hata kriterlerinin üzerinde olmasına özen gösterilmiştir.

Kırılmamış ve kırılmış soliter dalgaların gösterdiği genel tırmanma davranışları Şekil 5.12' de gösterilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere kırılmamış soliter dalgalar kırılmış soliter dalgalara karşı daha yüksek tırmanma değeri vermektedirler. Bu duruma; soliter dalgaların yüksek H/d değerlerinde, batimetri ile etkileşimi neticesinde enerji kaybetmesinin neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.12: Kırılmış ve kırılmamamış soliter dalgaların tırmanma davranışlarının karşılaştırılması

6. DEĞERLENDİRMELER

6.1 Dökmetaş Korumalı Kıyı Yapılarının Kret Seviyesininin Belirlenmesi

Günümüzde, dökmetaş 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 yapıları 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 gösterilmiştir ki Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımı içerisinde belirsizlikler bulunmaktadır. Bu çalışmada, hiçbir ön kabul içermeyen yapay zeka modelleri kurulmak suretiyle (16 tane TS bulanık mantık modeli, 72 tane Yapay Sinir Ağları modeli) dalgakıranların düzensiz dalga şartları altındaki maksimum tırmanması belirlenmiş ve en optimum sonuç veren Yapay Sinir Ağları ve TS bulanık mantık modelleri önerilmiştir. Önerilen modellerin, Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımına kıyasla birtakım avantajları vardır. Bunlar;

1- Gerek önerilen Takagi-Sugeno (TS) bulanık mantık gerekse de Yapay Sinir Ağları modelinin regresyon analizlerinin aksine hiçbir ön kabulü gerçekleştirmesi 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 sağlayamamaktadır.

2- Her iki yapay zeka modelinde, Van der Meer ve Stam (1992) modelinin aksine kıyı benzerlik parametresine bağlı bir geçiş bölgesi bulunmamaktadır. Bundan dolayı, her iki modelin kullanımı kolay ve pratiktir.

3- Grafik gösterimler ve nümerik hata kriterleri neticesinde, her iki yapay zeka modelinin Van der Meer ve Stam (1992) yaklaşımına göre daha gerçekçi sonuç verdiği görülmektedir. TS bulanık mantık modeli iki girdi ile maksimum tırmanmayı hesaplarken, Yapay Sinir Ağları modeli 4 girdi ile sonuç vermektedir. Bu çalışmada, pratiklik ve kullanım kolaylığı açısından TS bulanık mantık modeli önerilmiştir. Özellikle, Zeebrugge dalgakıranında gerçekleştirilen prototip test verilerinde TS bulanık mantık modelinin üstünlüğü açık bir şekilde gösterilmiştir.

4- Bu araştırmanın en önemli katkısı, kıyı yapılarında kret seviyelerini belirlerken, belirsizliklerin meydana getireceği fazla yapım maliyetinin en aza indirilmesidir.

6.2 Küp Blok Korumalı Kıyı Yapıları Üzerinde Soliter Dalgaların Oluşturacağı Maksimum Tırmanmanın Belirlenmesi (Kırılmadan Önce Ve Sonraki Durumlar)

Bu çalışmada gerek kırılmamış gereksede kırılmış soliter dalgaların tırmanması hususunda yaklaşık 300 deney yapılmıştır. Bu deney sonuçlarının, özellikle incelenen boyutsuz dalga yükseklikleri açısından literatürdeki önemli bir eksikliği kapatacağı düşünülmektedir. İncelenen boyutsuz dalga yükseklikleri kırılmamış soliter dalgalar için $0.20 \leq \frac{H}{d} \leq 0.74$ iken, kırılmış soliter dalgalarda $0.62 \leq \frac{H}{d} \leq 2.38$ dir. Şu ana kadar yapılan kapsamlı literatür incelemelerinden bu oranların gerçekleştirilmediği görülmüştür. Ayrıca, bu çalışmada küp bloklar konulmak suretiyle yüzey pürüzlü hale getirilmiştir. Bu durum, literatürde ilk olma özelliği taşımaktadır. Ayrıca, batimetri kullanılarak dalgaların kararlı bir şekilde kırılması sağlanmıştır. Gerçekleştirilen fiziksel modelleme çalışmaları ile;

1- Kırılmamış soliter dalgalara karşı, n=0.30 poroziteli, yüksek yoğunluklu ve tek katmanlı koruma tabakası, n=0.30 poroziteli, normal yoğunluklu ve çift katmanlı koruma tabakasıyla aynı tırmanma sonucunu vermektedir. Bu sonuç, soliter dalgaların tırmanması hususunda önemli bir bulgudur. Bu sonucun, tsunami riski taşıyan bölgelerde, soliter dalgalara karşı dizayn edilen dalgakıranların yapım maliyetini oldukça düşürmesi beklenmektedir. Aynı zamanda, Van Gent ve diğ. (2001), n=0.25 porozite altında yüksek yoğunluklu ve tek katmanlı küp blokların, çift

katmanlı ve normal yoğunluklu alternatiflerine kıyasla stabilite açısından en iyi sonucu vermiş olduklarını belirtmişlerdir. Her iki sonuç birleştirildiğinde yüksek yoğunluklu ve tek katmanlı küp bloklar hem tırmanma hemde stabilite açısından en iyi sonucu vermektedir. Aynı sonuçlar "plunging" tipi kırılmış soliter dalgalar içinde geçerlidir.

2- Hem kırılmamış, hemde kırılmış soliter dalgalara karşı mühendis ve araştırmacıların kullanabileceği tahmin yeteneği yüksek bir formül regresyon analizleriyle çıkarılmıştır. Önerilen formül bir girdi $\left(\frac{H}{d}\right)$ ve bir çıktıdan $\left(\frac{R}{d}\right)$ oluşmaktadır. Kırılmamış ve kırılmış soliter dalgalar için önerilen tırmanma formülleri sırasıyla;

$$\frac{R}{d} = 1.677\left(\frac{H}{d}\right)^2 + 1.08\left(\frac{H}{d}\right) + 0.104 \qquad \textbf{(6.1)}$$

$$\frac{R}{d} = 0.4825\left(\frac{H}{d}\right)^2 + 1.9125\left(\frac{H}{d}\right) - 0.1141 \qquad \textbf{(6.2)}$$

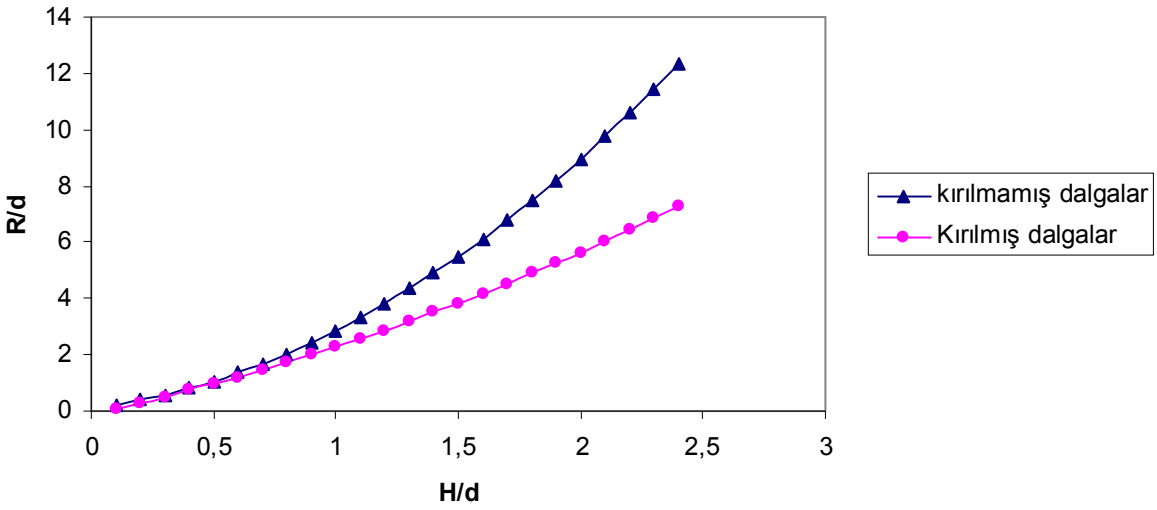
şeklindedir. Burada; H: soliter dalga yüksekliği, R: tırmanma yüksekliği; d: su derinliğidir.

3- Küp blok korumalı kıyı yapılarının, korumasız ve pürüzsüz yüzeylere kıyasla soliter dalgaların tırmanma özelliğini ortalama % 30 oranında azaltığı görülmüştür.

4- Literatürde yaygın olarak kullanılan ve yalnızca pürüzsüz yüzeyler üzerindeki, kırılmamış soliter dalgaların meydana getireceği tırmanmayı belirlemeyi hedefleyen Synolakis (1987), Li and Raichlen (2001) ve Hughes (2004) denklemleri, bu doktora çalışmasının test sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sınır koşullarına dönüştürülmüştür.

5- Kırılmamış soliter dalgaların küp blok korumalı kıyı yüzeyleri üzerinde meydana getireceği tırmanmayı belirlemeye yönelik birçok Yapay Sinir Ağları modeli kurulmuş ve en optimum model önerilmiştir. Önerilen Yapay Sinir Ağları modeli, önerilen regresyon tabanlı matematik modele kıyasla daha doğru sonuçlar vermektedir. Fakat, kullanım kolaylığı açısından regresyon tabanlı model tavsiye edilmiştir.

6- Kırılmamış ve kırılmış soliter dalgaların gösterdiği genel tırmanma davranışları Şekil 6.1 de gösterilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere, kırılmamış soliter dalgalar kırılmış soliter dalgalara karşı daha yüksek tırmanma değeri vermektedirler. Bu duruma; soliter dalgaların yüksek H/d değerlerinde, batimetri ile etkileşimi neticesinde enerji kaybetmesinin neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.1: Kırılmış ve kırılmamamış soliter dalgaların tırmanma özelliklerinin karşılaştırılması

7- Gerek kırılmamış tsunami tipli dalgalarda gerekse de kırılmış tsunami tipli dalgalarda iki katmanlı koruma yapılarının tek katmanlı koruma yapılarına kıyasla, soliter dalgaların meydana getireceği tırmanmayı daha fazla miktarda azalttığı görülmüştür. Fakat, bu azaltma miktarının ortaya çıkan maliyetle karşılaştırılması durumunda önemli olmadığı düşünülmüştür.

8- Kırılmış soliter dalgaların meydana getireceği tırmanma hususunda da birçok Yapay Sinir Ağları ve TS Bulanık modelleri kurulmuştur. Kurulan modellerden en iyileri bu çalışmada açıklanmıştır. Her ne kadar, önerilen Yapay Sinir Ağları ve TS Bulanık modeller regresyon analizi neticesinde bulunan denkleme göre daha iyi sonuç verse de; bu çalışmada konu ile ilgili mühendis ve araştırmacıların kullanım kolaylığı açısından regresyon denklemi önerilmiştir.

9- Kırılmış ve kırılmamış tsunami tipli soliter dalgalarda porozitenin tırmanmayı azaltıcı yönde bir etkisinin olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın konusu olmamakla birlikte, gerçekleştirilen deneyler sırasında porozitenin artmasıyla stabilitenin

azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sebebten, küp blok korumalı kıyı yapılarında en fazla n=0.30 porozite kullanılması tavsiye edilmektedir.

7. SONUÇLAR

1-Van der Meer ve Stam denkleminden tahmin yeteneği daha yüksek, bilimsel kabullerle çelişmeyen ve daha basit kullanımı olan TS Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları modeli önerilmiştir.

2- Kırılmamış ve kırılmış soliter dalgaların küp blok korumalı kıyı yapıları üzerinde meydana getireceği maksimum tırmanmayı belirleyen, tahmin yeteneği yüksek, regresyon tabanlı formüller üretilmiş ve konu ile ilgili araştırmacılara sunulmuştur. Kıyı mühendisliği ile ilgili şartnameler incelendiğinde, soliter dalgalara karşı, dalgakıranların kret seviyesinin belirlenmesinde önemli bir eksiklik olduğu açıktır. Bu çalışma ile bu eksikliğin kapatılmasına çalışılmış ve önerilen iki adet denklem ile kırılmamış ve kırılmış tipteki tsunami dalgalarının dalgakıranlar üzerinde meydana getireceği tırmanmanın bulunması hedeflenmiştir.

3- n=0.30 poroziteli, tek katmanlı ve yüksek yoğunluklu küp bloklar kırılmış ve kırılmamış soliter dalgalara karşı maksimum tırmanma açısından optimum sonuç vermektedir ve bu çalışmada kullanımı tavsiye edilmektedir.

4- Kırılmamış ve kırılmış soliter dalgaların küp blok korumalı kıyı yapıları üzerinde meydana getireceği maksimum tırmanmayı bulmayı hedefleyen birçok yapay zeka modeli kurulmuştur. Bu modellerin, temel ve bilimsel prensiplerle çelişmemesine özen gösterilmiştir. Her ne kadar yapay zeka yöntemleri, çıkarılan regresyon denklemlerine göre daha iyi sonuç verse de mühendis ve araştırmacıların kolay kullanımı için regresyon denklemlerinin kullanılması önerilmektedir.

5- Kırılmamış soliter dalgaların pürüzsüz yüzey üzerinde tırmanmasını belirleyen ve literatürde sıkça kullanılan çeşitli araştırmacılara ait denklemler bu çalışmanın sınır koşullarına göre revize edilmiştir.

6-Küp blok korumalı kıyı yapıları, pürüzsüz yüzeylere kıyasla dalgaların tırmanma özelliğini ortalama % 30 oranında azaltmaktadır.

7-Kırılmamış tsunami tipli dalgalar, kırılmış tsunami tipli dalgalara göre daha yüksek tırman ma meydana getirmektedir. Gerçekleştirilen deney koşulları dikkate alındığında bu oran ortalama % 35 mertebesindedir.

8- Kıyı Mühendisliği ile ilgili şartnameler dikkate alındığında (CEM, 2002; CUR/CIRIA 1995, PWDM, 2003 ve British Standarts, 2000), Dalgakıranlar üzerindeki maksimum tırmanma 1.5-2 H_s ' dir. Benzer durum soliter dalgalar için de geçerlidir. Gerçekleştirilen deney koşulları dikkate alındığında maksimum tırmanma 2.0 - 2.45 $H_{\max}$ ' dır.

KAYNAKLAR

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

ASCE Task Committee, 2000. Artificial neural networks in hydrology. I: Preliminary concepts. *Journal of Hydrologic Engineering*, **5**(2), 115–123.

Bateni, S. M., & Jeng, D. S., 2006. Estimation of pile group scour using adaptive neuro-fuzzy approach, *Ocean Engineering*, 34, 1344–1354.

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.

Cho, Y-S., 1995. Numerical simulations of tsunami propagation and runup, Ph.D. Thesis, Cornell University. NY. USA.

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., 2008a. Discussion on: Prediction of mechanical properties of recycled aggregate concretes containing silica fume using artificial neural networks and fuzzy logic, *Comput. Mater. Sci.*, doi:10.1016/j.commatsci.2008.06.004

Erdik, T., 2008b. Discussion on Prediction of compressive strength of concrete containing fly ash using artificial neural networks and fuzzy logic, *Comput. Mater. Sci.*, doi:10.1016/j.commatsci.2008.07.031.

Erdik, T., 2008c. Discussion on Hindcasting of wave parameters using different soft computing methods, *Applied Ocean Research*, doi:10.1016/j.apor.2008.07.003

Erdik, T., and Savci, M. E., 2008a. Takagı-Sugeno Fuzzy Approach In Rock Armored Slopes For 2% Wave runup estimation, *Coastal Engineering Journal*, **50**(2), 161 – 177.

Erdik, T., Savcı, M., 2008b. Solitary wave runup on cube-armored slopes under post-breaking regimes, under review.

Erdik, T. Savcı, M and Şen, Z., 2008a. Artificial Neural Networks for predicting maximum wave runup on rubble mound structures, *Expert Systems with Applications*, doi:10.1016/j.eswa.2008.07.049.

Erdik, T., Savcı, M.E, Ağıralioğlu, N., Karsavran, Y., Okçu, D., Mestanzade, N. 2008b. Solitary Wave Runup on Cube Armored Breakwaters, *Proceedings of the 8th International Congress on Advances in Civil Engineering*, Famagusta, North Cyprus, 15-17 September 2008. Famagusta, North Cyprus: Eastern Mediterranean University Press.

Erdik, T., Savcı, M.E, Karsavran, Y., Ağıralioğlu, N., Okçu, D., 2008c. Solitary wave runup on cube-armored slopes under pre-breaking regimes, under review.

Ergin, A., Yüksel, Y., 2006. A State of art approach to the design of coastal structures under seismic and Tsunamı loads: performance based design, *Journal of Engineering and Natural Sciences (Sigma)*, 2, 1-13.

Gedik, N, Irtem, E, Kabdasli, S., 2005. Laboratory investigation on tsunami run-up *Ocean Engineering*, **32**(5-6), April 2005, Pages 513-528.

Hall, J.V., Watts, J.W., 1953 Laboratory investigation of the vertical rise of solitary waveson impermeable slopes, Tech. Memo. 33, Beach Erosion Board, Office of the Chief of Engineers, U.S. Army Corps of Engineers.

Haykin, S., 1999. Neural Networks: A Comprehensive Foundation, Mcmillan College Publishing Company, New York.

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., Murphy J., 1996 Thematic report: Wave runup / rundown, MAST II project.

Le Pichon, X., Taymaz, T., Şengör, A.M.C., 1999 The Marmara Fault and the future Istanbul. earthquake, In: Karaca, M., Ural, D.N. (Eds.), *Proceedings of ITU-IAHS International Conference on the Kocaeli Earthquake*, Istanbul Technical University Press House, Istanbul, pp. 41-54.

Li, Y., Raichlen, F., 2001. Solitary wave runup on plane slopes, *Journal of Waterway, Port,Coastal, and Ocean Engineering,* **127**(1), 33–44.

Li, Y., Raichlen, F., 2003. Energy Balance Model for Breaking Solitary Wave Runup, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering,* **129** (2), 47–59.

Lin, P., Chang, K. A., Liu, P. L., 1999. "Runup and rundown of solitary waves on sloping beaches," *J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* **125**(5), 247-255.

Liu, P. L-F., Cho, Y-S., Briggs, M. J., Kanoglu, U., Synolakis, C.E., 1995, Runup of solitary wave on a circular island, *J. Fluid Mech* **302**, 259–285.

Losada, M.A., Gimenez-Curto, L.A., 1981 Flow characteristics on rough permeable slopes under wave action, *Coastal Engineering* 4. Elsevier Science Ltd.

Maiti, S., Sen, D., 1999 Computation of solitary waves during propagation and runup on a slope, Ocean Engineering **26**, 1063–1083.

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.

Shuto, N., 1997 A natural warning of tsunami arrival. Perspectives on tsunami hazard reduction, G. Hebenstreit, ed., Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, 157–173.

Silva R., Govaere G., Martin F., 1998 A statistical tool for breakwater design, Proceedings Coastal Engineering, Vol. 2, pp. 1920-1933.

Soysal, H., 1985. Tsunami (deniz taşması) ve Türkiye kıyılarını etkileyen tsunamiler. Istanb. Univ. Bull. Mar. Sci. Geogr. 2, 59-67.

Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y., 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (MO 2100- MS 1900), TUBITAK project Tbag 341. İstanbul.

Synolakis, C. E., 1986. The runup of long waves. W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources Division of Engineering and Applied Science, California Institute of Technology.

Şen, Z., 2002. İstatistik Veri İşleme Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları.

Şen, Z., 2007. Discussion "Takagi–Sugeno fuzzy inference system for modeling stage- discharge relationship''. *Journal of Hydrology.* 337, 242-243

Şen, Z., 2008. Kişisel Görüşme.

Tadepalli, S., and Synolakis, C. E. 1994 The runup of N-waves on sloping beaches. Proc., Royal Soc., London, A445, 99–112.

Takagi, T., 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., 1988. Rock slopes and gravel beaches under wave attack. PhD thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands

Van der Meer J.W., 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.

Van Gent, M.R.A., d'Angremond, K.E., Triemstra, R., 2001. Rubble mound breakwaters: Single armour layers and high-density concrete units, Proc. Coastlines, Structures and Breakwaters, ICE, London.

Van Gent, M.R.A., Plate, S.E., Berebdsen, E., Spaan, G.B.H., Van der Meer, J. W., d'Angremond, K., 1999. Single-layer rubble mound breakwaters, Int. Conf. Coastal Structures, Santander, Spain.

Yalciner, A. C., Alpar, B., Altinok, T., Ozbay, I., and Imamura, F., Tsunamis in the Sea of Marmara. Historical documents for the past, models for the future. *Marine Geology*, 2002, vol. 190, 445-463.

EK A

Kırılmamış Soliter Dalgalar için Tırmanma Deneyleri

Net deney	Küp-blokların yoğunluğu	Katman	Porozite	Su derinliği	H/d	R/d
1	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,21	0,49
2	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,27	0,57
3	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,28	0,60
4	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,31	0,68
5	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,34	0,74
6	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,39	0,85
7	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,36	0,78
8	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,49	1,10
9	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,45	1,02
10	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,53	1,40
11	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,50	0,99
12	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,62	1,49
13	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,49	1,25
14	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,65	1,63
15	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,52	1,36
16	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,20	0,45
17	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,27	0,60
18	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,14	0,39
19	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,23	0,56
20	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,30	0,60
21	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,30	0,57
22	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,33	0,69
23	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,37	0,83
24	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,40	0,84
25	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,41	1,02
26	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,45	1,07
27	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,53	1,28
28	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,50	1,05
29	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,59	1,52
30	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,49	1,14
31	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,65	1,54
32	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,52	1,31
33	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=30,5 cm	0,74	1,86
34	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,20	0,39
35	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,27	0,42
36	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,23	0,47
37	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,30	0,63
38	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,33	0,65
39	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,37	0,73
40	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,40	0,81
41	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,41	1,09
42	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,45	0,87
43	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,53	1,24
44	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,50	0,93
45	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,59	1,37
46	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,49	1,13

47	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,65	1,55
48	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,52	1,37
49	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,20	0,36
50	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,27	0,56
51	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,23	0,38
52	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,30	0,60
53	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,33	0,56
54	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,37	0,60
55	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,40	0,65
56	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,45	0,73
57	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,53	1,06
58	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,50	0,73
59	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,59	1,20
60	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,49	0,82
61	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,65	1,35
62	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,52	1,09
63	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,20	0,27
64	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,27	0,35
65	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,23	0,44
66	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,30	0,52
67	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,33	0,41
68	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,37	0,55
69	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,40	0,60
70	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,41	0,97
71	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,45	0,73
72	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,53	0,98
73	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,50	0,78
74	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,59	1,24
75	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,49	0,81
76	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,65	1,45
77	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,39	d=30,5 cm	0,52	1,06
78	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,20	0,36
79	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,27	0,51
80	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,23	0,49
81	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,30	0,69
82	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,33	0,60
83	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,37	0,82
84	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,40	0,86
85	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,41	1,00
86	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,45	0,97
87	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,53	1,18
88	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,50	1,09
89	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,59	1,31
90	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,49	1,13
91	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,65	1,64
92	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=30,5 cm	0,52	1,18
93	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,20	0,26
94	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,27	0,44
95	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,23	0,40
96	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,30	0,47
97	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,33	0,52
98	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,40	0,60
99	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,41	0,86
100	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,45	0,84

101	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,53	0,92
102	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,50	0,86
103	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,59	1,15
104	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,65	1,37
105	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,30	d=30,5 cm	0,52	1,07

EK B

Kırılmış Soliter Dalgalar için Tırmanma Deneyleri

Net deney	Küp-blokların yoğunluğu	Katman	Porozite	Su derinliği	H/d	R/d
1	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	0,62	1,88
2	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	0,73	2,25
3	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	0,93	2,26
4	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,12	2,86
5	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,00	2,59
6	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,14	3,45
7	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,05	3,33
8	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,40	5,22
9	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,29	3,99
10	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,69	6,07
11	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,50	4,97
12	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	2,01	7,30
13	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,57	5,40
14	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	2,38	8,33
15	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,79	6,42
16	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=10,5 cm	0,62	1,76
17	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=10,5 cm	0,73	2,38
18	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,12	2,42
19	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,00	2,69
20	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,14	3,25
21	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,05	2,73
22	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,40	3,86
23	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,29	3,20
24	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,69	4,67
25	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,50	4,04
26	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=10,5 cm	2,01	5,71
27	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,57	4,52
28	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=10,5 cm	2,38	8,08
29	Yüksek yoğunluklu	Çift sıra	n=0,0	d=10,5 cm	1,79	5,46
30	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	0,62	1,18
31	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	0,73	1,51
32	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	0,93	1,67
33	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,12	1,90
34	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,00	2,01
35	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,14	2,51
36	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,05	2,43
37	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,40	3,39
38	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,29	3,10
39	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,69	4,07
40	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,50	3,31
41	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	2,01	5,98
42	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,57	4,23
43	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	2,38	6,51
44	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,79	4,66
45	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.39	d=10,5 cm	0,62	1,03
46	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.39	d=10,5 cm	0,73	1,48

47	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.39	d=10,5 cm	0,93	1,53
48	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,12	1,88
49	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,00	2,20
50	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,14	2,59
51	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,05	2,20
52	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,40	3,78
53	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,29	3,41
54	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,69	4,41
55	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,50	3,49
56	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.39	d=10,5 cm	2,01	5,26
57	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.39	d=10,5 cm	1,57	4,05
58	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.39	d=10,5 cm	2,38	6,22
59	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0.30	d=10,5 cm	0,73	2,12
60	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0.30	d=10,5 cm	0,93	1,85
61	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,12	2,28
62	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,00	2,22
63	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,14	2,59
64	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,05	2,91
65	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,40	3,57
66	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,29	3,60
67	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,69	4,95
68	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,50	3,17
69	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0.30	d=10,5 cm	2,01	5,29
70	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,57	3,81
71	Yüksek yoğunluklu	Tek sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,79	4,26
72	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.30	d=10,5 cm	0,73	1,24
73	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.30	d=10,5 cm	0,93	1,48
74	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,12	1,90
75	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,00	1,56
76	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,14	2,86
77	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,05	2,12
78	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,40	3,25
79	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,29	2,91
80	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,69	4,92
81	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,50	3,39
82	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.30	d=10,5 cm	2,01	5,61
83	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,57	4,02
84	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0.30	d=10,5 cm	1,79	4,69
85	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,46	d=10,5 cm	0,62	0,71
86	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,46	d=10,5 cm	0,73	1,24
87	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,46	d=10,5 cm	0,93	1,24
88	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,12	1,69
89	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,00	1,59
90	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,14	2,83
91	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,05	2,16
92	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,29	3,15
93	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,69	4,38
94	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,50	3,13
95	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,46	d=10,5 cm	2,01	4,42
96	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,57	2,75
97	Normal yoğunluklu	Çift sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,79	3,44
98	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=10,5 cm	0,62	1,27
99	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=10,5 cm	0,73	1,85
100	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=10,5 cm	0,93	2,01

101	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,12	2,59
102	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,00	2,54
103	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,14	3,02
104	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,05	2,65
105	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,29	3,02
106	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,50	3,33
107	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=10,5 cm	2,01	5,61
108	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,57	3,97
109	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=10,5 cm	2,38	6,56
110	Normal yoğunluklu	Tek sıra	n=0,46	d=10,5 cm	1,79	4,29

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Tarkan Erdik

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 1978

Lisans Üniversite: Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans: İTÜ Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği

Yayın Listesi: