T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BATMIŞ HİDROLİK SIÇRAMADA GERİ DÖNÜŞ BÖLGESİ UZUNLUĞUNUN YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİYLE TAHMİNİ

İbrahim Mahmut YOLUK

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2021

Doç. Dr. Veysel GÜMÜŞ danışmanlığında, İbrahim Mahmut YOLUK' un hazırladığı **"Batmış Hidrolik Sıçramada Geri Dönüş Bölgesi Uzunluğunun Yapay Zekâ Yöntemleriyle Tahmini"** konulu bu çalışma 12/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

……...

……

……..…..

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Doç. Dr. İsmail Hilali
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 18195

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3
3. MATERYAL ve YÖNTEM 7
3.1. Deneyler 7
3.2. Yöntem 10
3.2.1. Genexpresyon Programlama (GEP) 10
3.2.2. Yapay Sinir Ağları (YSA) 11
3.2.3. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) 12
3.2.4. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) 12
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 14
4.1. GEP Yöntemi İle Sıçrama Uzunluğunun Tahmin Edilmesi 15
4.2. YSA Yöntemi İle Sıçrama Uzunluğunun Tahmin Edilmesi 39
4.3. ANFIS Yöntemi İle Sıçrama Uzunluğunun Tahmin Edilmesi 42
4.4. ÇDR Yöntemi İle Sıçrama Uzunluğunun Tahmin Edilmesi 45
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 49
KAYNAKLAR 51
ÖZGEÇMİŞ 53
EKLER 54

ÖZET

YÜKSEKLİSANS TEZİ

BATMIŞ HİDROLİK SIÇRAMADA GERİ DÖNÜŞ BÖLGESİ UZUNLUĞUNUN YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİYLE TAHMİNİ

İbrahim Mahmut YOLUK

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Veysel GÜMÜŞ
Yıl: 2021, Sayfa:75

Bu tez çalışmasında, içerisinde kayar kapak bulunan bir laboratuvar kanal mansabında meydana gelmiş batmış hidrolik sıçramanın uzunluğu deneysel olarak belirlenmiştir. Deneysel olarak kapak açıklığı, mansap su yüksekliği, froude sayıları kullanılarak yapay zekâ yöntemleri ve Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) yöntemi ile batık hidrolik sıçramada geri dönüş bölgesinin uzunluğu tahmin edilmiştir. Yapay zekâ yöntemleri olarak Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Genexpresyon Programlama (GEP) yöntemleri tercih edilmiştir. Yöntemlerin başarı performanslarını belirlemek için belirlilik katsayısı (R^2), Ortalama Karesel Hata (OKH) ve Ortalama Mutlak Göreceli Hata (OMGH) parametreleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, kapak açıklığı, mansap su yüksekliği ve froude sayısını girdi parametresi olarak kullanan YSA ve ANFIS yöntemlerinin sıçrama geri dönüş bölgesinin uzunluğunu belirlemede oldukça başarılı olduğu belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Batmış hidrolik sıçrama, sıçrama uzunluğu, açık kanal akımı, yapay zekâ yöntemleri

ABSTRACT

MSC THESIS

ESTIMATION OF THE ROLLER LENGTH OF SUBMERGED HYDRAULIC JUMPS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

İbrahim Mahmut YOLUK

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Veysel GÜMÜŞ
Year: 2021, Page:75

In this thesis, the roller length of the submerged hydraulic jump that occurred in a laboratory canal downstream with a sluice gate was experimentally determined. Experimentally, the roller length of the submerged hydraulic jump was estimated by using artificial intelligence methods and Multiple Linear Regression (MLR) method using the gate opening height, tail water height and froude numbers. Artificial Neural Networks (ANN), Adaptive Network Based Fuzzy Inference System (ANFIS) and Genexpression Programming (GEP) methods have been preferred as artificial intelligence methods. The coefficient of determination (R2), Mean Square Error (MSE) and Mean Absolute Relative Error (MARE) parameters were used to determine the performance of the methods. As a result of the study, it was determined that ANN and ANFIS methods, which use gate opening height, tail water height and froude number as input parameters, are quite successful in determining the roller length of the submerged hydraulic jump.

KEYWORDS: Submerged hydraulic jump, jump length, open channel flow, artificial intelligence methods

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmama başladığım günden bu yana hazırlanmasında ve sürdürülmesinde deneyim ve tecrübelerinden yararlandığım, çalışmamın son gününe kadar desteğini bir an olsun esirgemeyen kıymetli hocam Sn. Doç. Dr. Veysel Gümüş' e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında deneyim ve görüşlerinden yararlandığım saygıdeğer Dr. Öğr. Üyesi Oğuz ŞİMŞEK' e teşekkür ederim.

Hayatımın her anında olduğu gibi tez çalışmalarım sırasında da maddi manevi desteklerini esirgemeyen başta kıymetli annem olmak üzere tüm aileme teşekkürü bir borç bilirim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Kritik-üstü akımdan kritik-altı akıma geçiş (hidrolik sıçrama) (Kırkgöz, 2013) 2
Şekil 1.2. Batmış ve serbest hidrolik sıçramanın geometrisi (Gümüş ve ark. 2013)..... 3
Şekil 3.1. Dikdörtgen kesitli açık kanal modeli 7
Şekil 3.2. Santrifüj pompa..... 8
Şekil 3.3. Elektromanyetik debimetre 8
Şekil 3.4. Dijital limnimetre..... 9
Şekil 3.5. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü 10
Şekil 3.6. GEP yönteminde elde edilen örnek bir alt fonksiyon..... 11
Şekil 3.7. Üç tabakalı yapay sinir ağı modeli..... 12
Şekil 4.1. Model 1 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP yöntemi) 17
Şekil 4.2. Model 1' e ait ifade ağacı ve formülü 18
Şekil 4.3. Model 2 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP yöntemi) 19
Şekil 4.4. Model 2' ye ait ifade ağacı ve formülü 20
Şekil 4.5. Model 3 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi) 21
Şekil 4.6. Model 3' e ait ifade ağacı ve formülü 22
Şekil 4.7. Model 4 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi) 23
Şekil 4.8. Model 4' e ait ifade ağacı ve formülü 24
Şekil 4.9. Model 5 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi) 25
Şekil 4.10. Model 5' e ait ifade ağacı ve formülü 26
Şekil 4.11. Model 6 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi) 27
Şekil 4.12. Model 6' ya ait ifade ağacı ve formülü 28
Şekil 4.13. Model 7 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi) 29
Şekil 4.14. Model 7' ye ait ifade ağacı ve formülü 30
Şekil 4.15. Model 8 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi) 31
Şekil 4.16. Model 8' e ait ifade ağacı ve formülü 32
Şekil 4.17. Model 9 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi) 33
Şekil 4.18. Model 9' a ait ifade ağacı ve formülü 34
Şekil 4.19. Model 10 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi) 35
Şekil 4.20. Model 10' a ait ifade ağacı ve formülü 36
Şekil 4.21. Model 11 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi) 36
Şekil 4.22. Model 11' e ait ifade ağacı ve formülü 37
Şekil 4.23. Model 12 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi) 38
Şekil 4.24. Model 12' ye ait ifade ağacı ve formülü 39
Şekil 4.25. Model 1 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (YSA Yöntemi)..... 40
Şekil 4.26. Model 2 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (YSA Yöntemi)..... 41
Şekil 4.27. Model 3 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (YSA Yöntemi)..... 42
Şekil 4.28. Model 1 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (ANFIS Yöntemi) 43
Şekil 4.29. Model 2 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (ANFIS Yöntemi) 44
Şekil 4.30. Model 3 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (ANFIS Yöntemi) 45
Şekil 4.31. Model 1 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (ÇDR Yöntemi)..... 46
Şekil 4.32. Model 2 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (ÇDR Yöntemi)..... 47
Şekil 4.33. Model 3 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (ÇDR Yöntemi)..... 48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 4.1. GEP yöntemi ile elde edilen sonuçlar 16
Çizelge 4.2. YSA yöntemi ile elde edilen sonuçlar 39
Çizelge 4.3. ANFIS yöntemi ile elde edilen sonuçlar 43
Çizelge 4.4. ÇDR yöntemi ile elde edilen sonuçlar 45

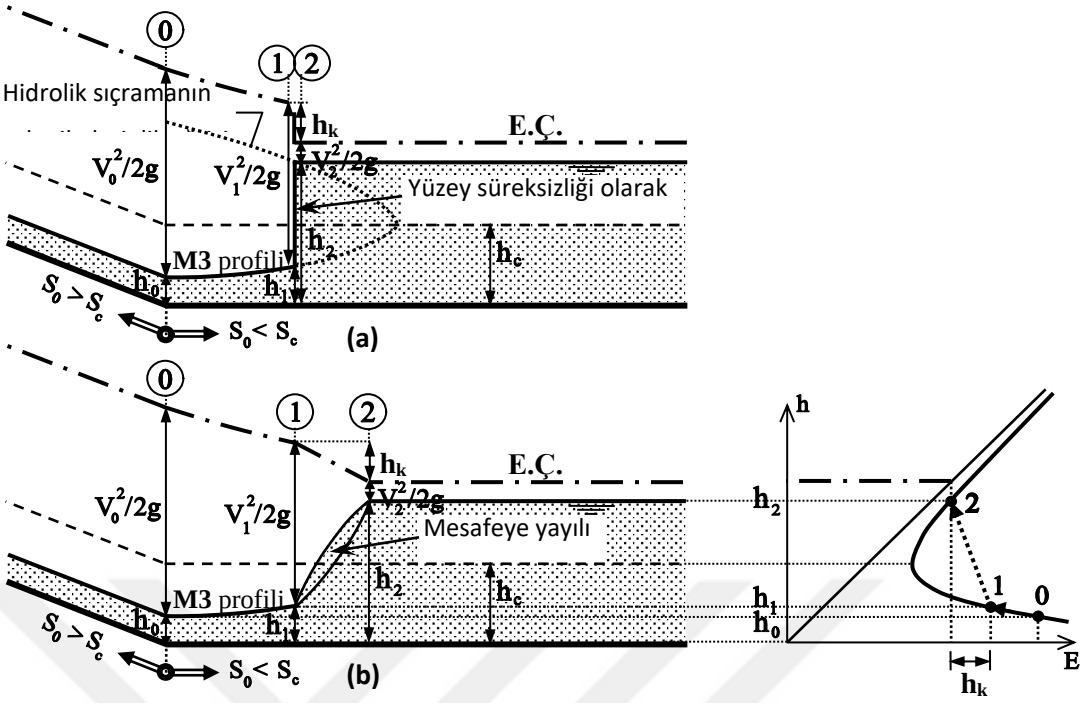
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ANFIS	Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi
ÇDR	Çoklu Doğrusal Regreyon
Fr	Kapak altında çıkan akımın Froude sayısı
GEP	Genexpresyon Programlama
KOKH	Karesel Ortalama Karesel Hata
Lrj	Sıçrama uzunluğu
OKH	Ortalama Karesel Hata
OMGH	Ortalama Mutlak Göreceli Hata
OMH	Ortalama Mutlak Hata
R^2	Belirlilik Katsayısı
y_1	Kapak altı su yüksekliği
y_4	Mansap bölgesinde ölçülen su yüksekliği
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Akım ıslak kesitinin tümüyle katı sınırla çevrelenmediği ve atmosfer basıncına maruz kalan akımlar açık kanal akımı olarak tanımlanır. Serbest yüzeyli akım olarak da adlandırılan bu akımlar; sulama kanaletleri, menfezler, kanalizasyon sistemleri ve yapay açık kanallar gibi doğal olmayan akımlar ile akarsu ve deniz akımları gibi doğal akımları kapsamaktadır. Açık kanal akımlarının zamana bağlı değişim göstermesi değişken, zamandan bağımsız olması ise düzenli akım olarak sınıflandırılır. Bunun yanında, akımın hızının yerden bağımsız olması üniform, yere bağlı olarak değişim göstermesi ise üniform olmayan akım olarak sınıflandırılır. (Kırkgöz, 2013)

Şekil 1.1'de, üniform akımın, $S_0>S_c$ taban eğimindeki kritik-üstü rejimden $S_0<S_c$ eğimli kanaldaki kritik-altı rejime geçiş sürecindeki davranışı verilmiştir. $S_0>S_c$ tabanındaki üniform akım özgül enerji eğrisinde 0 noktasında olursa, $S_0<S_c$ tabanında ise 2 noktası ile gösterilen üniform akım durumunda olacaktır. Akım $S_0<S_c$ tabanına geldiğinde sürtünme kuvveti>ağırlık bileşeni olarak kuvvet dengesi sürtünme lehine bozulduğundan akımın hızı azalır, buna bağlı olarak bir süre derinliği artar ve yumuşak eğimli kanalın 0 ile 1 kesitleri arasında kritik-üstü, yavaş değişen üniform-olmayan M3 akım profili meydana gelir. Bu süreçte, özgül enerji eğrisinin alt kısmında, 0'dan itibaren kritik derinliğe doğru bir ilerleme ve buna bağlı olarak özgül enerjide azalma olacaktır. Yani $S_0<S_c$ taban eğiminde ilerleyen akım, kritik-altı rejimde özgül enerji eğrisinin üst kısmındaki bulunması gereken 2 noktasına doğru hareket etmektedir. Diğer bir deyişle, akım özgül enerji eğrisinin alt kısmından üst kısmına geçerek rejim değiştirmek durumundadır. Bu geçiş sürecinde akımın kritik derinlikten (E_{min} noktasından) geçmesi mümkün olamaz, çünkü böyle bir durumda kaybedilen özgül enerjinin (taban eğimi de değişmediğinden) yeniden kazanılarak 2 konumuna gelinmesi mümkün değildir. Bu nedenle $S_0<S_c$ tabanındaki akım, özgül enerji eğrisinde kritik akım durumundan geçmek yerine daha öncesindeki 1 noktası ile belirlenen bir konumdan 2 konumuna sıçrayarak geçiş yapar. Bu oluşum bir çeşit enerjinin korunması sürecidir.



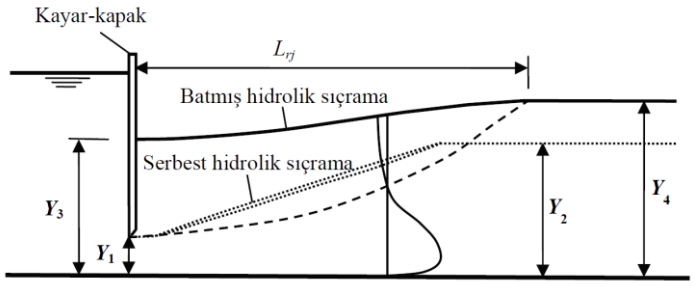
Şekil 1.1. Kritik-üstü akımdan kritik-altı akıma geçiş (hidrolik sıçrama) (Kırkgöz, 2013)

Teorik bağlamda, ani bir yüzey süreksizliği şeklinde ortaya çıkan ve Şekil 1.1a'da görüldüğü gibi kritik-üstü rejimden kritik-altı rejime geçişi sağlayan bu ilginç sürece hidrolik sıçrama denir. Ancak, suyun hareket halinde olması nedeniyle, doğal ortamında bu sıçramanın, düşey bir yüzey süreksizliği yerine Şekil 1.1b'deki gibi kanal boyunca belirli bir uzunluğa yayıldığı görülür. Hidrolik sıçramanın iki tarafındaki h_1 ve h_2 derinliklerine eşlenik derinlikler denir. Aralarındaki ilişki aşağıda verilen eşlenik derinliklerin, nasıl etkileşim halinde oldukları Şekil 1.1a'da hidrolik sıçramanın eşlenik derinlik eğrisi ile gösterilmiştir. Su derinliğindeki bu ani yerel değişim sırasında akımda oluşan kuvvetli çalkantılar nedeniyle önemli ölçüde (% 80-85'e varan oranlarda) enerji kaybı söz konusu olur (Kırkgöz, 2013).

Hidrolik sıçrama akımda önemli miktarda enerji kaybına neden olmaktadır. En bilinen haliyle barajlarda dolu savaklardan bırakılan yüksek enerjiye sahip suyun güvenli bir şekilde hidrolik yapılara zarar vermeden mansaba iletilmesinde ve enerji kırıcı yapıların projelendirilmesinde etkin rol oynamaktadır. Ayrıca hidrolik sıçrama ile yüksek enerjiye sahip akımın yapıya ve çevreye vereceği zararlar minimuma indirilir, akımın sahip olduğu enerji kontrol edilir ve suyun arıtılması sürecinde

kullanılan kimyasal maddelerin entegre edilmesi süreci rahatlatılır. Meydana gelen hidrolik sıçramanın uzunluğunun bilinmesi özellikle hidrolik yapıların tasarımı açısından önemli bir faktördür (Günay, 2005).

Açık kanal akımlarının kontrolünde kayar kapaklar sıklıkla kullanılır. Yumuşak eğimli kanalda, kritik-üstü rejim ile kapak altından çıkan su akımı, kısa mesafeli bir daralma sonrasında M3 yavaş değişen akım profili göstererek serbest hidrolik sıçramayı takiben kritik-altı, üniform bir akıma dönüşür. Ancak, sıçrama sonrasındaki su derinliğinin, M3 profilindeki derinlik aralığının eşlenik değerlerinden daha büyük olması durumunda serbest hidrolik sıçrama meydana gelemeyerek, kapağın önünde batmış olacaktır. Bu durumda, serbest sıçramanın memba derinliği kapak açıklığını aşacak ve hidrolik sıçrama kapak ile etkileşim haline gelerek farklı batmışlık durumlarında su yüzü profili değişecektir (Şekil 1.2). Serbest hidrolik sıçramanın, bir uzunluktaki akımı etkileyen yüzeysel çevrilerden meydana gelen türbülanslı yapısı ve enerji kayıpları da batmış hidrolik sıçramada da olur (Gümüş ve ark. 2013).



Şekil 1.2. Batmış ve serbest hidrolik sıçramanın geometrisi (Gümüş ve ark. 2013)

Meydana gelen sıçramanın uzunluğu inşa edilecek su yapılarının tasarımı için önemli bir parametre olup, bu tez çalışması kapsamında batmış hidrolik sıçramaya ait akım karakteristikleri deneysel olarak ölçülmüştür ve deneysel veriler kullanılarak farklı yapay zekâ yöntemleri kullanılarak sıçrama uzunluğunun kısıtlı girdi parametreleri ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde serbest ve batık hidrolik sıçramanın tahmin edilmesi ile ilgili farklı çalışmalar bulunmaktadır. Husain D. ve ark. (1994) çalışmalarında, serbest hidrolik sıçrama profilini eğimli dikdörtgen bir açık kanalda deneysel olarak ölçmüşlerdir. Üç farklı kanal eğimi (% 2.5 , 5 ve7) ve farklı Froude sayılarında toplamda 440 adet deney yapmışlardır. Regresyon analizi yardımıyla deneysel olarak ölçülmüş sıçrama uzunlukları ile kuyruk suyu yüksekliklerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak sıçrama uzunluğu ve derinliği ile ilgili yeni denklemler önermişlerdir.

Negm ve ark. (2002) çalışmalarında, yapay olarak pürüzlendirilmiş dikdörtgen dinlendirme havuzunda hidrolik sıçrama karakteristiklerini deneysel olarak ölçmüşlerdir. Deneysel ölçüm değerlerini kullanarak batmış hidrolik sıçramanın karakteristiklerini yapay sinir ağları (YSA) kullanarak modellemeye çalışmışlardır. Veri seti, eğitim ve test verisi olmak üzere ikiye ayrılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, YSA modelinin batmış hidrolik sıçramanın karakteristiklerinin tahmin edilmesinde güçlü ve etkili bir yöntem olduğu bildirilmiştir.

Negm ve ark. (2009) çalışmalarında, dinlendirme havuzunda meydana gelen serbest ve batmış hidrolik sıçrama uzunluklarını tahmin etmek için bir YSA modeli geliştirmişlerdir. YSA modelinde kullanılan veriler laboratuvar kanalında gerçekleştirilen deneylerden toplanmıştır. Deneylerle elde edilen bu sonuçlar, Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) ve YSA modelleri ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Değerlendirmeler neticesinde, serbest ve batmış hidrolik sıçramanın karakteristiklerini belirlemede YSA modelinin ÇDR modeline göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Naseri ve ark. (2012) çalışmalarında, yatay dikdörtgen bir kesite sahip açık kanal akımında hidrolik sıçramanın uzunluğunu belirlemek için bir YSA modeli geliştirmişlerdir. Sıçrama karakteristiklerini belirlemek için kurmuş oldukları YSA modelinde iki farklı algoritma kullanmışlardır. Ele alınan YSA modeliyle elde edilen

sonuçlarla bir ampirik denklem olan Silvester denklemi kullanılarak elde edilen sonuçları karşılaştırmışlar ve YSA modelinin sıçrama karakteristiklerini belirlemede ampirik denklemine kıyasla daha uygun sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Houichi ve ark. (2013) çalışmalarında, U şeklinde bir kanalda geniş başlıklı eşiklerde hidrolik sıçramayı teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Bunu yaparken ÇDR yöntemini kullanmışlardır. Ayrıca, sıçrama uzunluklarını belirleyebilmek için iki farklı YSA modeli kurmuşlardır. Çalışmaları sonucunda, deneysel sonuçlara yakınsamada YSA yönteminin ÇDR yönteminden daha başarılı olduğunu bildirmişlerdir.

Abbaspour ve ark. (2013) çalışmalarında, hidrolik sıçrama özelliklerini belirleyebilmek için YSA ve Genetik Programlama (GP) yöntemlerini kullanmışlardır. Deneysel olarak elde edilen sıçrama özelliklerinin, YSA ve GP yöntemleri ile elde edilen sonuçlarla uyum içinde olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca, YSA yönteminin GP yöntemine nazaran daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Gümüş ve ark. (2013) çalışmalarında, farklı türbülans modelleri kullanarak kayar kapak sonrası meydana gelen batık hidrolik sıçramanın geometrisini modellemişlerdir. Serbest su yüzünün modellenmesinde VOF yöntemini, türbülans modellemesinde ise RNG k-e, SKE ve RKE k-e türbülans kapatma modellerini kullanmışlardır. Çalışmaları neticesinde, serbest su yüzü ile sıçrama geometrisinin modellenmesinde diğer modellere göre RNG k-e modelinin daha etkili sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, deneysel olarak ölçülmüş sıçrama uzunluğunun sayısal modelleme sonucunda elde edilen sıçrama uzunluğu ile uyumlu olduğu ve sayısal modellemenin ampirik yaklaşımlardan daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

Banhatti ve Hinge (2014), çalışmalarında, dikdörtgen bir dinlendirme havuzunda belirli bir büyüklüğe sahip savak kullanarak hidrolik sıçramanın konumunu deneysel olarak belirlemişlerdir. Deneylerle elde edilen verilerin modellenmesi için YSA yöntemini tercih etmişlerdir. YSA ile çeşitli parametrelerin ara değerlerini tahmin

etmeye çalışmışlardır. Çalışma sonucunda YSA yönteminin kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Karbasi ve ark. (2015) çalışmalarında, engebeli bir yatakta hidrolik sıçrama özelliklerini tahmin etmek için Genexpresyon Programlama (GEP) yöntemini kullanmışlar ve elde edilen sonuçlar YSA yöntemi ile karşılaştırılmışlardır. Bunu yaparken literatürde daha önce yayınlanmış olan verileri kullanmışlardır. Sonuç olarak YSA yönteminin GEP yöntemine göre daha doğru sonuçlar verdiğini ancak pratik amaçlar için açık denklemler türetilmesi noktasında GEP yönteminin daha kullanışlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Azimi ve ark. (2016) çalışmalarında, pürüzlü bir yatak üzerindeki meydana gelen hidrolik sıçramanın geri dönüş uzunluğunu hibrit ateşböceği algoritması ve uyarlamalı ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS-FA) kullanarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Bunu yaparken dikkate aldıkları parametreler Froude sayısı, ardışık derinlikler ve pürüzlülük olmuştur. Çalışma sonucunda, ANFIS-FA yönteminin sıçrama geri dönüş bölgesi uzunluğunu belirlemede oldukça başarılı olduğu sonucuna varmışlardır.

Mahtabi ve ark. (2016) çalışmalarında, literatürde bulunan deneysel hidrolik sıçrama özelliklerini kullanarak ardışık derinlik oranlarını belirlemede ampirik yaklaşım ve YSA yöntemini sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada, kurulan YSA modelinin ardışık derinlik oranını tahmin etmede diğer yaklaşımlara kıyasla daha güvenilir sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

Roushangar ve ark. (2019) çalışmalarında, önceki güvenilir çalışmalardan elde ettikleri deney verilerini kullanarak Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine-SVM) yardımıyla bir tahmin modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelin sonuçları, yarı ampirik denklemler ile karşılaştırmış ve her bir girdi parametresinin çıktı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak, SVM yöntemi ile elde edilen modelin ampirik denklemlere kıyasla daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Kumar ve ark. (2019) çalışmalarında, YSA modelini kullanarak pürüzlülüğün ve eğimin hidrolik sıçrama üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Burada pürüzlülük farklı özelliklere sahip agregalar ile gerçekleştirilmiş ve bu agregalar ile üç farklı pürüzlülük elde edilmiştir. Ayrıca bu işlemler esnasında iki farklı yatak eğimi kullanmışlardır. Sonuç olarak, hidrolik sıçramanın ardışık derinliklerinin tahmininde YSA modelinin oldukça kullanışlı olduğu kanısına varmışlardır.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, sıçramanın farklı özelliklerini tahmin etmek için ampirik ya da yapay zekâ yöntemleri ile yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Ancak sıçramanın geri dönüş bölgesinin uzunluğunun tahmin edilmesi ile ilgili çalışmaların ise sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bu tez çalışması, batık hidrolik sıçramanın geri dönüş bölgesinin uzunluğunun tahmin edilmesi ile ilgili detaylı bir yaklaşım sunmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deneyler

Çalışmalar, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler için laboratuvarda bulunan ve Şekil 3.1'de görülen 400x35x35 cm boyutlarında tabanı ve yan duvarları camdan imal edilmiş dikdörtgen kesitli açık kanal modeli kullanılmıştır. Kanaldaki suyun sirkülasyonu bir santrifüj pompa ile sağlanmış (Şekil 3.2), debi ölçümü Altıgen marka elektromanyetik debi metre ile gerçekleştirilmiş (Şekil 3.3) ve su seviyesinin stabil olduğu bölgelerde su derinliği ölçümleri ise cihaz üzerine önceden yerleştirilen dijital limnimetre yardımıyla elde edilmiştir (Şekil 3.4).



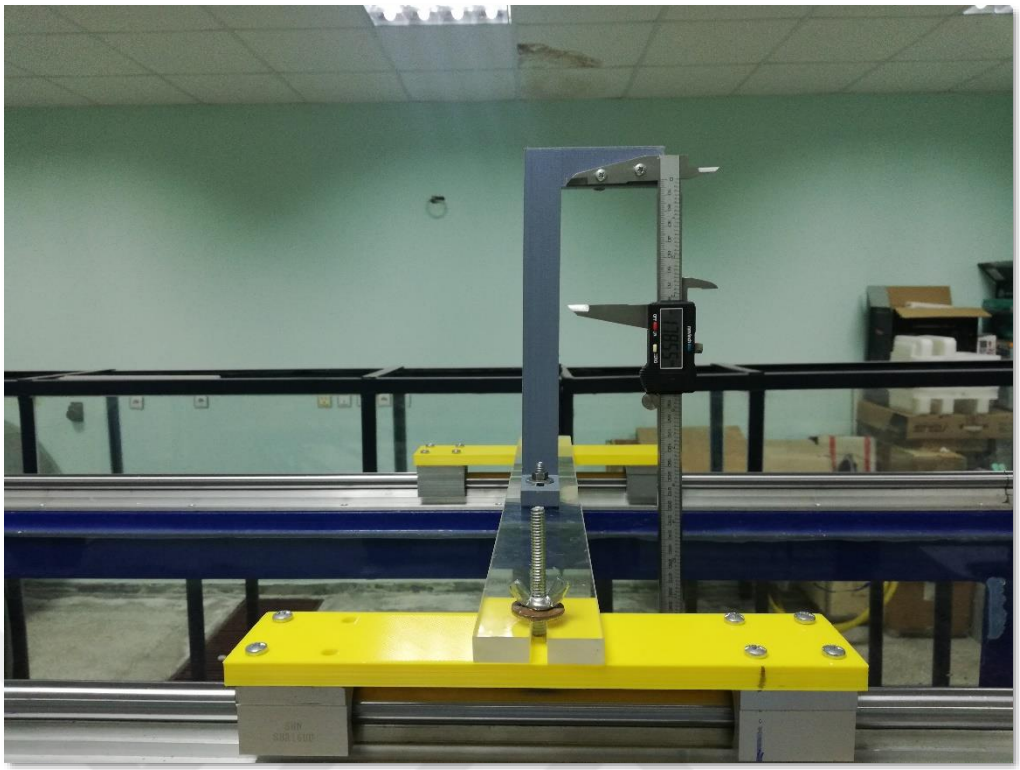
Şekil 3.1. Dikdörtgen kesitli açık kanal modeli



Şekil 3.2. Santrifüj pompa

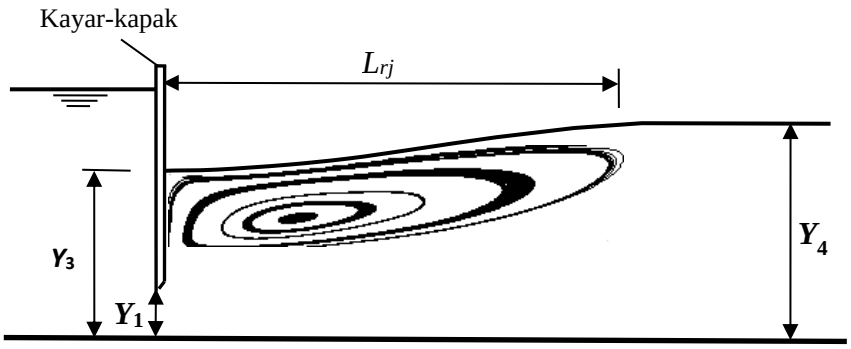


Şekil 3.3. Elektromanyetik debimetre



Şekil 3.4. Dijital limnimetre

Şekil 3.5'te açık kanal akımında meydana gelen batmış hidrolik sıçramanın şematik görüntüsü verilmiştir. Deney modeli oluşturulurken kanal başlangıç noktasından 115 cm uzaklığa ve kanal sonuna birer kayar kapak yerleştirilmiştir. 0,01 m ile 0,029 m arasında değişen 9 farklı kapak altı su yüksekliği (y_1), 0,09 m ile 0,125 m arasında değişen 3 farklı arka kapak su yüksekliği, her kurulan deney düzeneği ile eş zamanlı değiştirilen farklı debi değerleri ve 1,06 ile 4,07 arasında değişen değerler alan Froude sayıları ile toplam 98 adet deney gerçekleştirilmiştir. Her bir deneyde batmış hidrolik sıçramanın geri dönüş bölgesinin uzunlukları (Roller length- L_{rj}) boya deneyi yardımıyla belirlenmiş ve mansap bölgesindeki su derinliğinin stabil olduğu durumdaki su yükseklikleri de (y_4) limnimetre yardımıyla ölçülmüştür. Tezde bundan sonraki kısımlarda hidrolik sıçrama uzunluğu olarak bahsedilen kısım, sıçramanın geri dönüş bölgesinin uzunluğu olarak değerlendirilecektir.



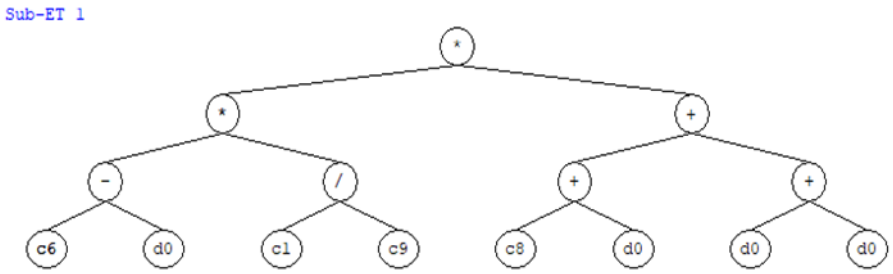
Şekil 3.5. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü

3.2. Yöntem

3.2.1. Genexpresyon Programlama (GEP)

Genexpresyon programlama (GEP), genetik bireylerin popülasyonunu kullanarak onları uygunluklarına göre seçen, genetik çeşitliliği bir ya da birden çok genetik operatör ile tanıtan, genetik algoritma ile genetik programlamaya benzeyen bir yöntemdir. GEP' i diğer iki yöntemden ayıran temel fark; girdilerin başlangıçta sabit uzunlukta değerlendirilmesi, daha sonra şekil ve boyutların doğrusal olmayacak şekilde tanımlanmasıdır (Ferreira, 2001). GEP yönteminin YSA ve ANFIS gibi verileri baz alan yöntemlere kıyasla en kuvvetli yönü ise fiziksel ilişkiler arasında açık formüller üretebilmesidir (Kişi ve ark., 2012). GEP yönteminde öncelikle tahmin için uygunluk fonksiyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Uygunluk fonksiyonu için bağıl hata, mutlak hata ya da belirlilik katsayısı seçilebilir.

Tez çalışması kapsamında GEP yönteminde tahmin modeli tasarlanırken uygunluk fonksiyonu olarak karekök ortalama karesel hata (KOKH) parametresi seçilmiştir. Oluşturulmuş olan 12 model içerisinde dokuz modelde üç alt fonksiyon, üç modelde ise bir alt fonksiyon kullanılmıştır. Yöntem ile elde edilen her bir alt fonksiyonun toplanması ile sıçrama uzunluğunu tahmini için kullanılacak fonksiyon elde edilmiştir. Şekil 3.6.'da GEP yönteminde elde edilen örnek bir alt fonksiyon verilmiştir.

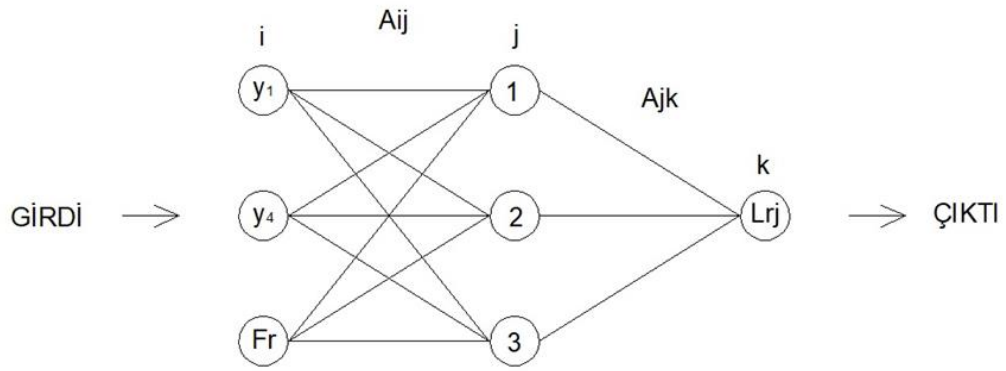


Şekil 3.6. GEP yönteminde elde edilen örnek bir alt fonksiyon

3.2.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay Sinir Ağları; insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş, birden çok sinir hücresinin birbirine bağlanması ile oluşan bilgi işleme yapılarıdır. Bu yöntemin en mühim özelliği tecrübelerden yararlanarak öğrenebilmesidir. Öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetme, oluşturma ve keşfedebilme gibi yetenekleri otomatik olarak bir yardım almadan gerçekleştirebilme özelliğine sahip olmakla beraber, bilgiler arasında ilişkiler de meydana getirebilir. Bir sinir ağı hücresi; girdilerden, ağırlıklardan, toplama fonksiyonu ve çıktıdan meydana gelmektedir. Eğitim ve test olarak iki kategoriye ayrılan verilerden eğitim verilerinin oluşturulması ile birlikte sinir ağı, test için ayrılan verilerin sonucunu tahmin edebilmek için kullanılır (Uğur ve Kınacı, 2006).

Üç tabakalı bir yapay sinir ağı modeli Şekil 3.7' de verilmiştir. Şekilde görülen sinir ağı modelinde; i girdi katmanını, j gizli katmanı ve k çıktı katmanını ifade etmektedir.. A_{ij} ve A_{jk} ise tabakalar arasındaki bağlantı ağırlıklarını temsil etmektedir. Bağlantı ağırlık değerleri hataları en aza düşürecek şekilde başlangıçta rastgele tanımlanır ve gerçek çıktı değerleri ile karşılaştırılarak hataları en aza indirgeyecek şekilde sürekli değiştirilir. Bu çalışma kapsamında ağırlıkların ayarlanması amacıyla Levenberg-Marquardt yöntemi kullanılmıştır (Marquardt, 1963).



Şekil 3.7. Üç tabakalı yapay sinir ağı modeli

3.2.3. Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System-ANFIS), yapay sinir ağları ile bulanık mantık sistemlerini birleştirme prensibi ile Jang (1993) tarafından geliştirilmiştir. Temelde ANFIS, Sugeno tipi bulanık sistemlerin yapay sinir ağları ile öğrenme yapmasıyla meydana gelen bir ağ modelidir. Girdi ve çıktı verileri arasındaki ilişkiyi elde etmek ve üyelik fonksiyonunu (Membership function) belirlemek için eğitim sürecinde yapay sinir ağları kullanılır (Wu ve ark., 2009). Bu çalışmada, farklı üyelik fonksiyonları kullanılarak sıçrama uzunlukları tahmin edilmeye çalışılmıştır. ANFIS hakkında daha fazla bilgi Jang (1993)'de bulunabilir.

3.2.4. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR)

Veri setinde bulunan bağımsız değişkenler yardımıyla bağımlı değişkeni tahmin etmek ve hangi bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni etkilediğini bulmak için çoklu doğrusal regresyon (ÇDR) klasik bir yöntem olarak kullanılmaktadır.

ÇDR'de bağımlı değişken y, bağımsız değişkenler x_1, x_2,..,x_p olarak ifade edilirse,

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + ... + b_j x_j + ... + b_p x_p + e \qquad (3.1)$$

olarak yazılabilir. Burada $b_0, b_1, b_2, ..., b_j, ..., b_p$ regresyon katsayılarını ifade etmektedir. Herhangi bir b_j katsayısı, diğer değişkenlerin etkisi ortadan kaldırıldığında, yani diğer değişkenler sabit tutulduğunda, x_j değişkeninde ortaya çıkan bir birimlik değişime karşılık *y* değişkenindeki beklenen değişiklik miktarını verir. Bu nedenle, b_j (*j*=1, 2, …, *p*) parametreleri kısmi regresyon katsayıları olarak adlandırılmaktadır. Denklem (3.1) içerisinde ifade edilen b_0 kesim noktası e ise hata terimini temsil etmektedir (Partal, 2003; Yeşiltaş, 2018).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Laboratuvarda farklı akım özelliklerine sahip toplam 98 batmış hidrolik sıçramaya ait y_1, y_4, Fr ve Lrj değerleri deneysel olarak ölçülmüştür. Daha sonra deneysel olarak elde edilen Lrj değerleri 3. Bölümde bahsedilen yöntemler ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Tez çalışması kapsamında kullanılan yöntem ve modellerin başarısını belirlemek için niceliksel karşılaştırma kriteri olarak belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hata (OKH) ve ortalama mutlak hata (OMH) parametreleri kullanılmıştır. OKH ve OMH değerlerinin 0'a, R^2 değerinin ise 1'e yakın olması tahmin edilen değerin, ölçülen değere yakın olduğunu ifade etmektedir. Çalışma kapsamında karşılaştırma kriteri olarak kullanılan R^2, OKH ve OMH değerlerinin hesaplanması Denklem 4.1, Denklem 4.2 ve Denklem 4.3'te sırasıyla verilmiştir. Bu terimler,

$$R^2 = \frac{\sum_{n=1}^{N}(Lrj_{hesap} - Lrj_{ortalama})^2 - \sum_{n=1}^{N}(Lrj_{hesap} - Lrj_{tah\min})^2}{\sum_{n=1}^{N}(Lrj_{hesap} - Lrj_{ortalama})^2} \quad (4.1)$$

$$OKH = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(Lrj_{hesap} - Lrj_{tah\min})^2 \quad (4.2)$$

$$OMH = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\left|Lrj_{hesap} - Lrj_{tah\min}\right| \quad (4.3)$$

şeklinde tanımlanırlar. Burada N toplam veri sayısını, Lrj_{hesap} hesaplanan sıçrama uzunluğu değerini, $Lrj_{ortalama}$ hesaplanan sıçrama uzunluğu değerlerinin ortalaması, Lrj_{tahmin} ise model sonucunda elde edilen sıçrama uzunluğu değerini ifade etmektedir. Çalışma kapsamında analizler YSA, ÇDR ve ANFIS için Matlab programında hazırlanan kodlar ile yapılmış, GEP yönteminin uygulaması ise Genexprotools yazılımı ile yapılmıştır. Deneysel verilerin tahmin edilmesi için kurulan modellerde öncelikli olarak veri setinde bulunan 98 deney seti rastgele bir seriye dönüştürülmüş, sonrasında ise bu verilerin yaklaşık %70'ine karşılık gelen 69 veri seti modellerin eğitim sürecinde, geri kalan %30 yani 29 veri ise kurulan modelin başarısını görmek

açısından test sürecinde kullanılmıştır. Böylece, eğitim sürecine hiç dahil edilmemiş veri setleri ile model performansının değerlendirilmesi mümkün olmuştur.

4.1. GEP Yöntemi ile Sıçrama Uzunluğunun Tahmin Edilmesi

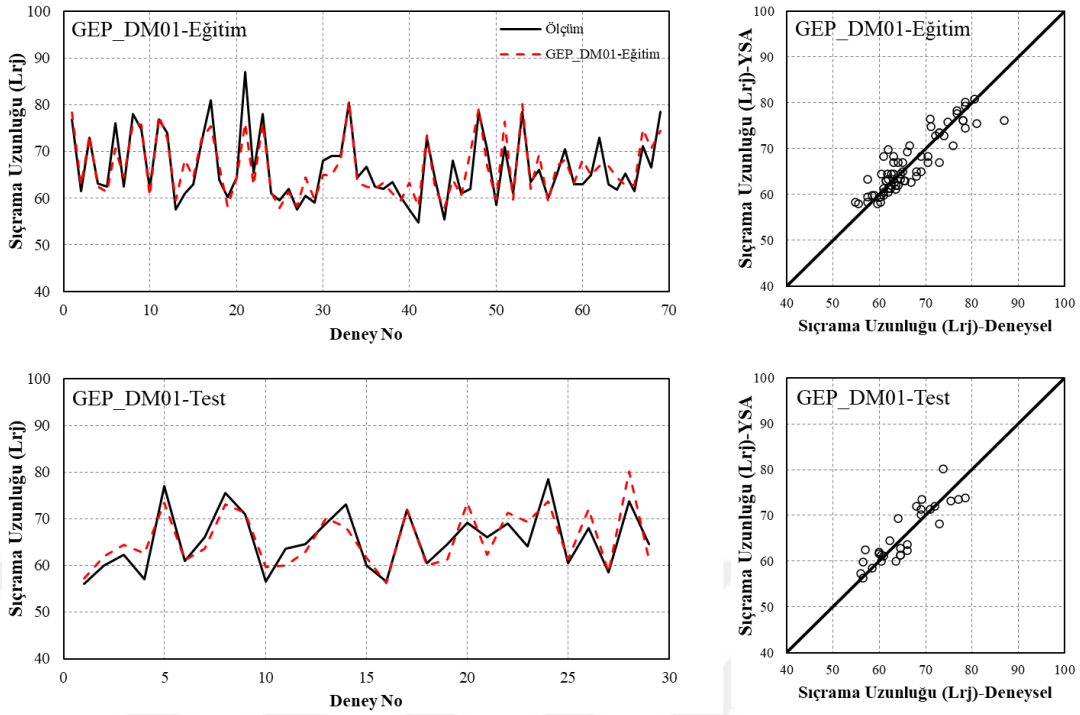
GEP yöntemi ile sıçrama uzunluğunun belirlenmesi için üç farklı girdi parametresine sahip ancak farklı operatörler kullanılarak toplam 12 model oluşturulmuştur. Çizelge 4.1'de verilmiş olan modellerde y_1 kapak açıklığını, y_4 sıçrama sonrası gelen su yüksekliğini ve Fr ise kapak altı bölgesinde hesaplanan Froude sayısını ifade etmektedir. Buna göre, Model 1, 4, 7 ve 10'da sadece y_4 (ifade ağacındaki karşılığı d_0), Model 2, 5, 8 ve 11'de y_1 (ifade ağacındaki karşılığı d_0) ve y_4 (ifade ağacındaki karşılığı d_1), Model 3, 6, 9 ve12' de ise y_1 (ifade ağacındaki karşılığı d_0), y_4 (ifade ağacındaki karşılığı d_1) ve Fr (ifade ağacındaki karşılığı d_2) parametreleri girdi olarak verilmiş, çıktı olarak da sıçrama uzunluğu (L_{rj}) tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4.1' e göre, performans kriterleri olan R^2, OKH ve OMGH parametrelerine göre, test verileri dikkate alındığında, Model 1 ve 3' ün birbirlerine oldukça yakın sonuçlar verdiği ve yaklaşık olarak %3.9' luk bir hata oranı ile sıçrama uzunluğunu tahmin ettikleri görülmüştür. Kullanılan operatör sayısının arttırıldığı Model 4, 5 ve 6' da ise, operatör sayısının arttırılmasıyla model başarısının artmadığı belirlenmiştir. En yüksek işlem operatörü sayısının kullanıldığı Model 7, 8 ve 9' da ise performans kriterleri açısından anlamlı bir değişim görülmemiş, %4 civarında hata oranı ve 0.70-0.75 bandında bir belirlilik belirlenmiştir. Sadece toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemlerinin kullanıldığı ve en basit formülü bulmayı amaçlayan Model 10, 11 ve 12' de ise hata oranının %4.11 ile girdi parametresi olarak sadece y_1 ve y_4'ü kullanan Model 11' de belirlenmiştir. GEP yönteminin sıçrama uzunluğunu belirlemedeki genel yaklaşımı incelendiğinde, alt fonksiyon sayısı ya da işlem operatör sayısının artmasının deneysel verilere yaklaşmada model performansını çok fazla etkilemediği görülmüştür. Her bir model ile elde edilen sonuçlar ayrıca değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.1. GEP yöntemi ile elde edilen sonuçlar

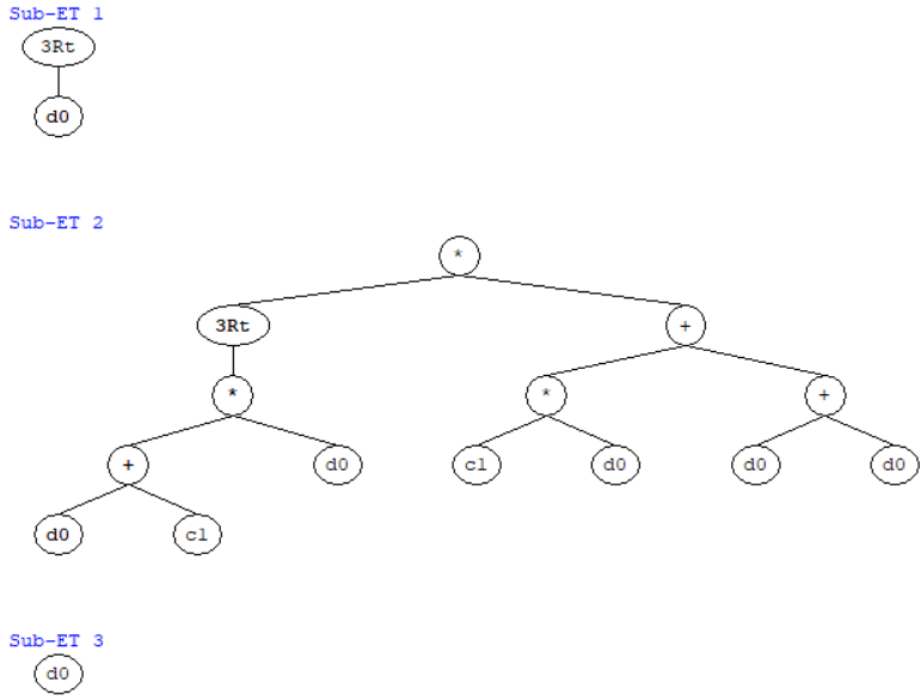
	Eğitim			Test			Kullanılan Fonksiyonlar
	R^2	OKH (cm^2)	OMGH (%)	R^2	OKH (cm^2)	OMGH (%)	
Model 1 (y_4)	0.7982	10.10	3.60	0.7669	9.78	3.87	+,-,*,/,exp(x),x^2,$x^{1/3}$
Model 2 (y_1, y_4)	0.8068	9.72	3.50	0.7378	11.13	4.07	
Model 3 (y_1, y_4, Fr)	0.8146	9.34	3.62	0.7571	10.42	3.86	
Model 4 (y_4)	0.8063	9.70	3.56	0.7608	9.85	3.93	+,-,*,/,exp(x),ln(x),1/x x^2,x^3,x^4,x^5,$x^{1/3}$,sin(x) arctan(x),tanh(x)
Model 5 (y_1, y_4)	0.7954	10.28	3.57	0.7370	10.72	3.97	
Model 6 (y_1, y_4, Fr)	0.8287	8.80	3.48	0.7067	11.86	3.94	
Model 7 (y_4)	0.7949	10.27	3.68	0.7315	1.11	4.12	(x+y),(x-y),(x*y),(x/y) pow(x,y),sqrt(x),exp(x) pow(10,x),ln(x),abs(x), 1/x, x^2,x^3,x^4,x^5,$x^{1/3}$,$x^{1/4}$,$x^{1/5}$,Pi(x),E(x), sin(x),cos(x),tan(x),arcsin(x),arccos(x),arctan(x), sinh(x),cosh(x),tanh(x)
Model 8 (y_1, y_4)	0.8030	9.86	3.52	0.7428	10.62	3.96	
Model 9 (y_1, y_4, Fr)	0.8375	8.13	3.33	0.7210	11.64	3.91	
Model 10 (y_4)	0.7949	10.91	3.91	0.7344	12.68	4.55	+,-,*,/
Model 11 (y_1, y_4)	0.7942	10.35	3.63	0.7368	10.79	4.11	
Model 12 (y_1, y_4, Fr)	0.8007	10.24	3.77	0.7447	11.49	4.23	

Model 1 kullanılarak GEP yöntemi ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.1' de verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile uyumlu oldukları sadece yüksek olan birkaç değerde gerçek değerden uzaklaştığı görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir şekilde bazı yüksek değerleri tahmin etme başarısının sınırlı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.1. Model 1 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP yöntemi)

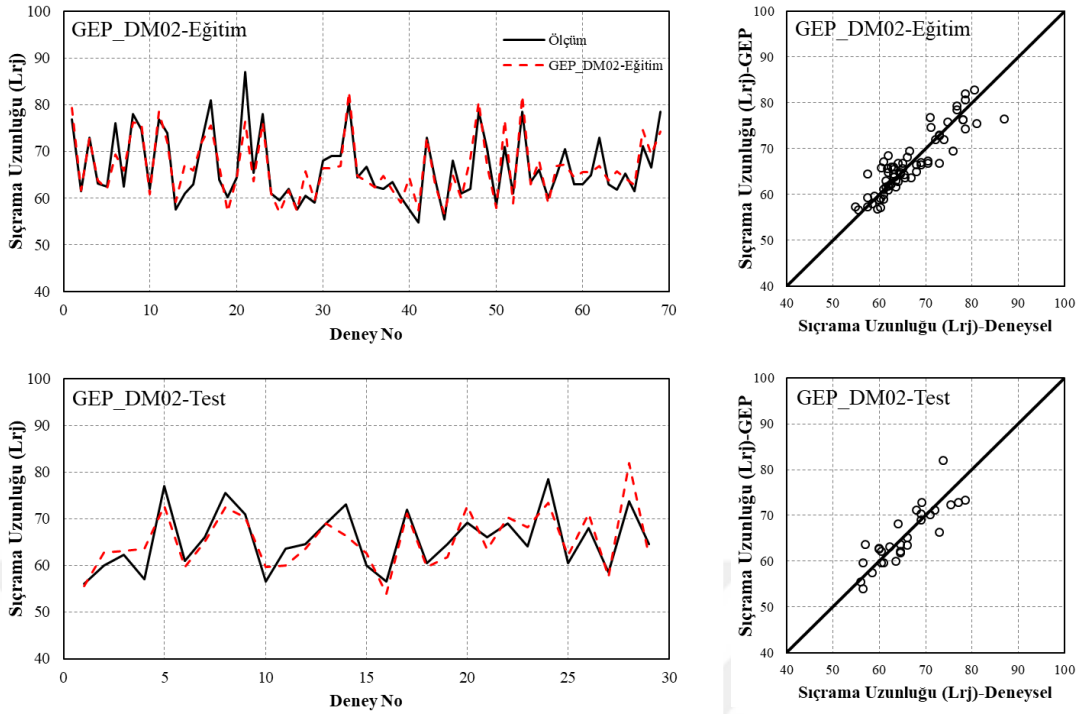
Şekil 4. 2' de Model 1' e ait ifade ağacı ve formülü verilmiştir. Modelde sıçrama uzunluğunun hesaplanması için girdi verisi olarak yalnızca y_4 parametresi kullanılmıştır. Modele ait formül incelendiğinde y_4 parametresinin alt fonksiyon içerisinde toplam 7 defa kullanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla Model 1' e göre GEP yöntemiyle oluşturulan formülde sıçrama uzunluğunun hesaplanmasında y_4 parametresinin tek etkin parametre olduğu anlaşılmaktadır. Model 1' de elde edilmiş fonksiyonlar EK-1' de verilmiştir.



$$Lrj_{Model1} = \sqrt[3]{y_4} + \left(\left(\sqrt[3]{(c_1 + y_4)\, y_4}\right)\left(c_1 y_4 + 2\, y_4\right)\right) + y_4$$

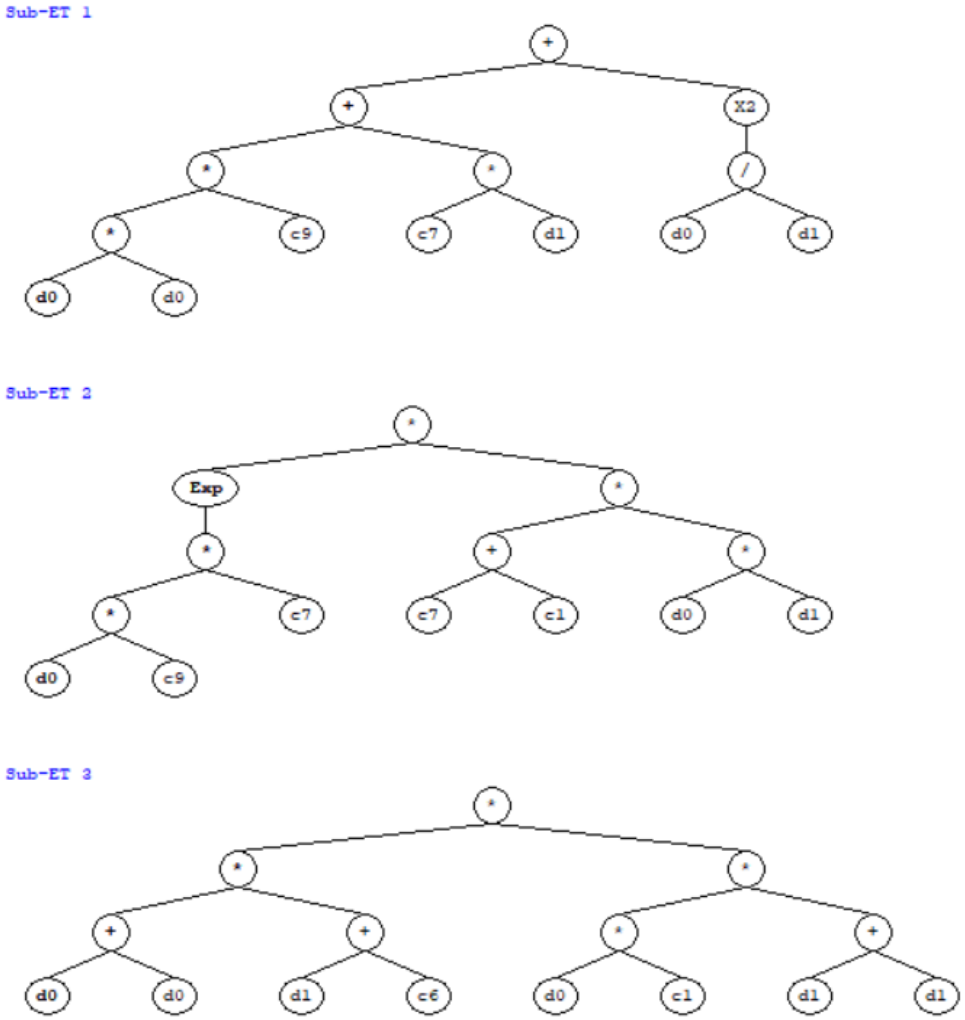
Şekil 4.2. Model 1' e ait ifade ağacı ve formülü

Model 2 kullanılarak GEP yöntemi ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.3' te verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile uyumlu oldukları ancak bazı orta değerleri tahmin etmede gerçek değerden uzaklaştığı görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, bazı orta ve yüksek değerlerde gerçek değerden uzaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.3. Model 2 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP yöntemi)

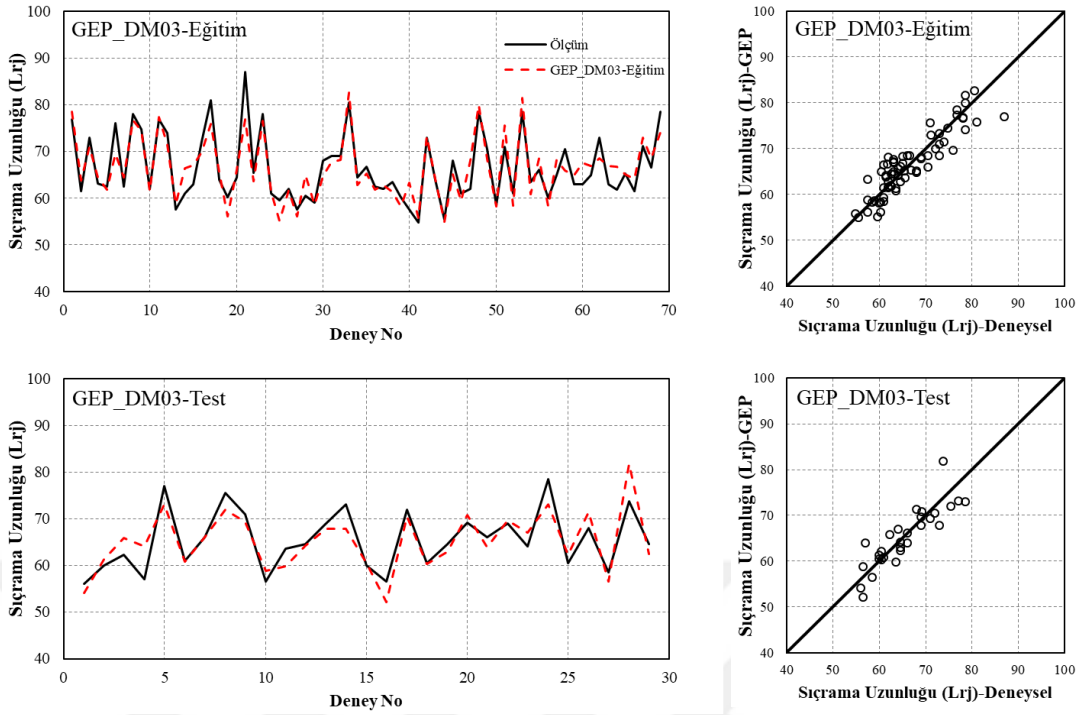
Şekil 4. 4' te Model 2' ye ait ifade ağacı ve formülü verilmiştir. Modelde sıçrama uzunluğunun hesaplanması için girdi verisi olarak y_1 ve y_4 parametreleri kullanılmıştır. Modele ait formül incelendiğinde alt fonksiyon içerisinde; y_1 parametresinin 8 defa, y_4 parametresinin ise 6 defa kullanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla, Model 2' ye göre GEP yöntemiyle oluşturulan formülde sıçrama uzunluğunun hesaplanmasında y_1 parametresinin daha etkin bir parametre olduğu anlaşılmaktadır. Model 2' de elde edilmiş fonksiyonlar EK-2' de verilmiştir.



$$Lrj_{Model2} = c_9 y_1^2 + c_7 y_4 + \left(y_1 / y_4\right)^2 + e^{c_9 y_1 c_7}\left(c_7 + c_1\right) y_1 y_4 + 2\, y_1 \left(c_6 + y_4\right) c_1 y_1\, 2\, y_4$$

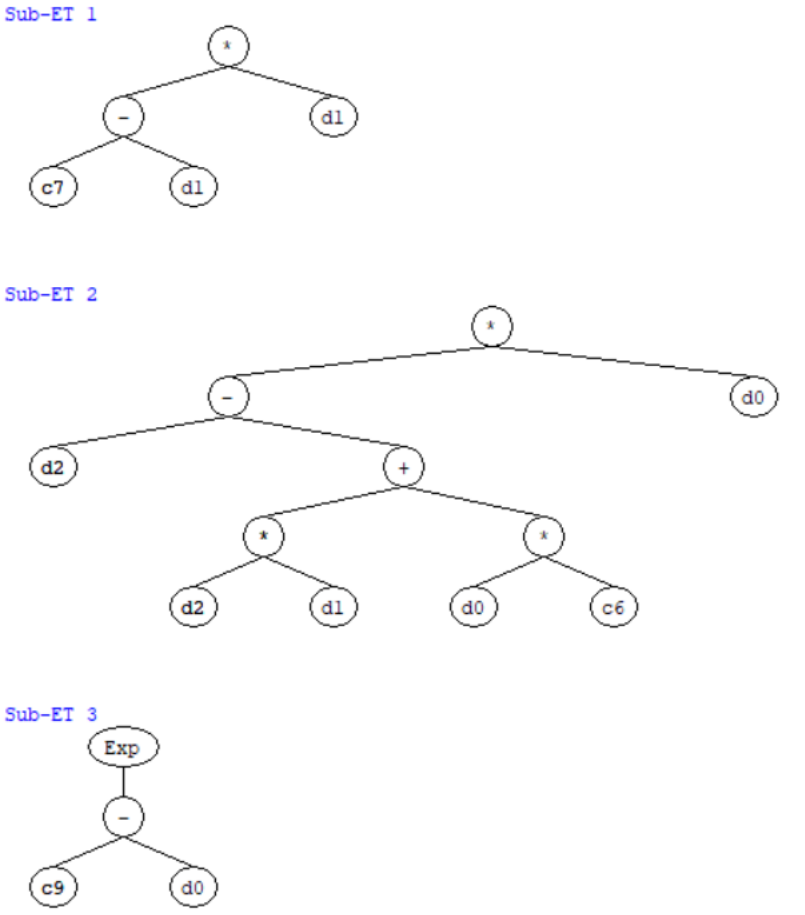
Şekil 4.4. Model 2' ye ait ifade ağacı ve formülü

Model 3 kullanılarak GEP yöntemi ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.5' te verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile uyumlu oldukları, düşük değerlere göre yüksek değerleri tahmin etmede daha başarılı olduğu görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer şekilde yüksek değerleri tahmin etmede daha başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. Model 3 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi)

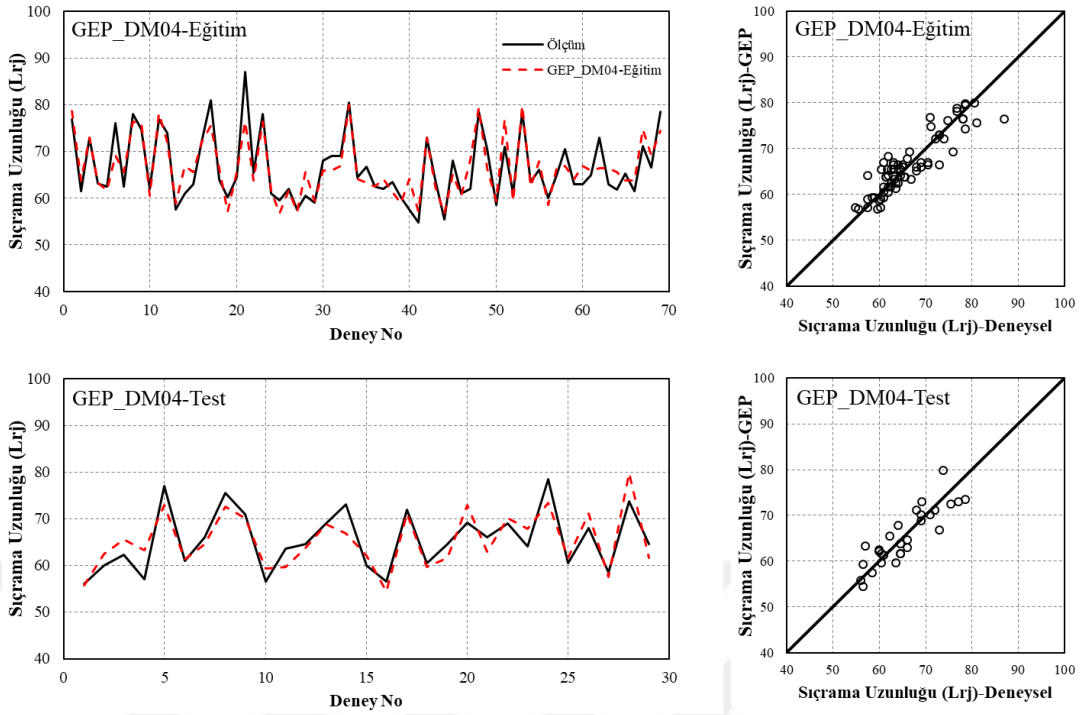
Şekil 4. 6' da Model 3' e ait ifade ağacı ve formülü verilmiştir. Modelde sıçrama uzunluğunun hesaplanması için girdi verisi olarak y_1, y_4 ve Fr parametreleri kullanılmıştır. Modele ait formül incelendiğinde alt fonksiyon içerisinde; y_1 ve y_4 parametrelerinin 3' er defa, Fr parametresinin ise toplamda 2 defa kullanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla Model 3' e göre GEP yöntemiyle oluşturulan formülde sıçrama uzunluğunun hesaplanmasında y_1 ve y_4 parametrelerinin eşdeğer düzeyde etkin oldukları ve Fr sayısının ise diğer parametrelere göre nispeten daha az etkin olduğu anlaşılmaktadır. Model 3' te elde edilmiş fonksiyonlar EK-3' te verilmiştir.



$$Lrj_{Model3} = y_4\left(c_7 - y_4\right) + y_1\left(Fr - y_4 Fr + c_6 y_1\right) + e^{c_9 - y_1}$$

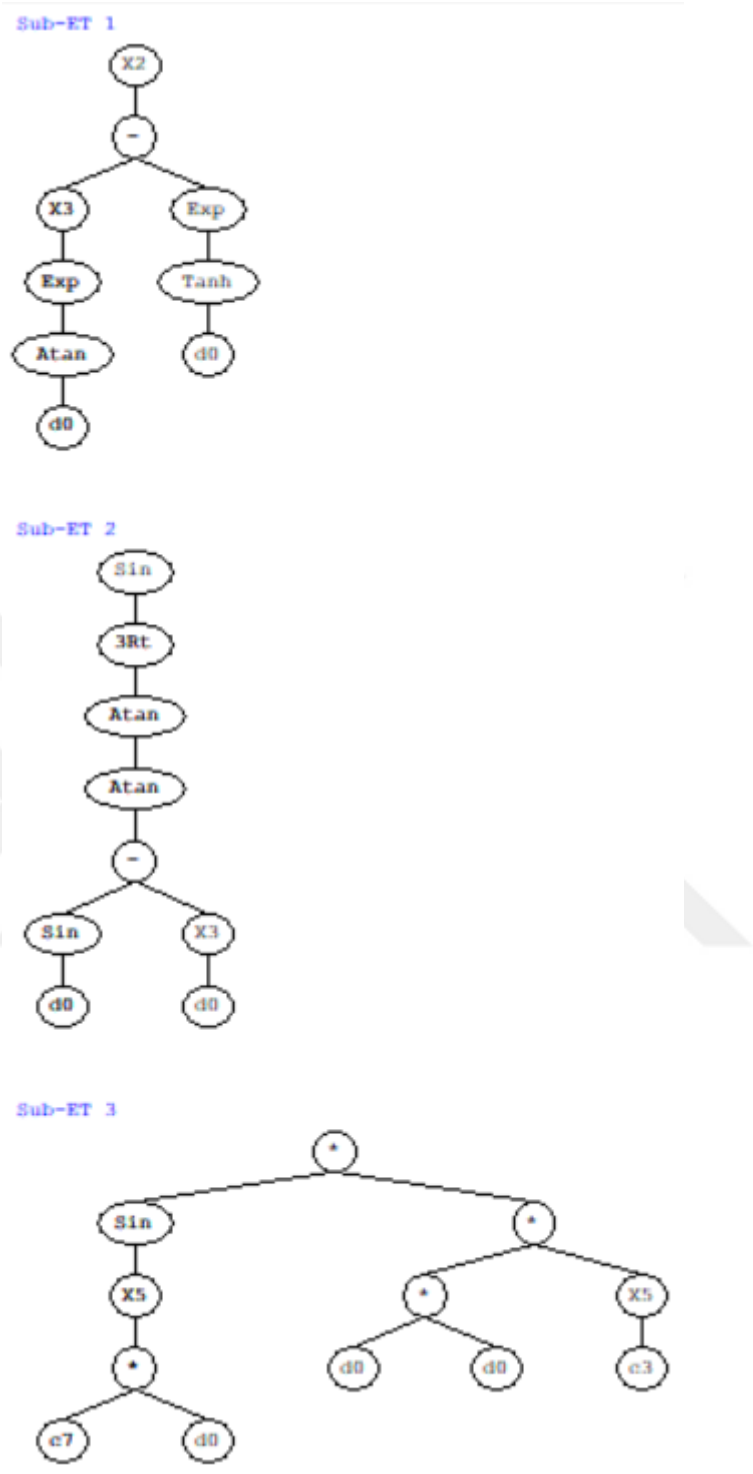
Şekil 4.6. Model 3' e ait ifade ağacı ve formülü

Model 4 kullanılarak GEP yöntemi ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.7' de verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile uyumlu oldukları sadece birkaç orta değerde gerçek değerden uzaklaştığı görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir şekilde bazı orta değerleri tahmin etme başarısının sınırlı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. Model 4 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi)

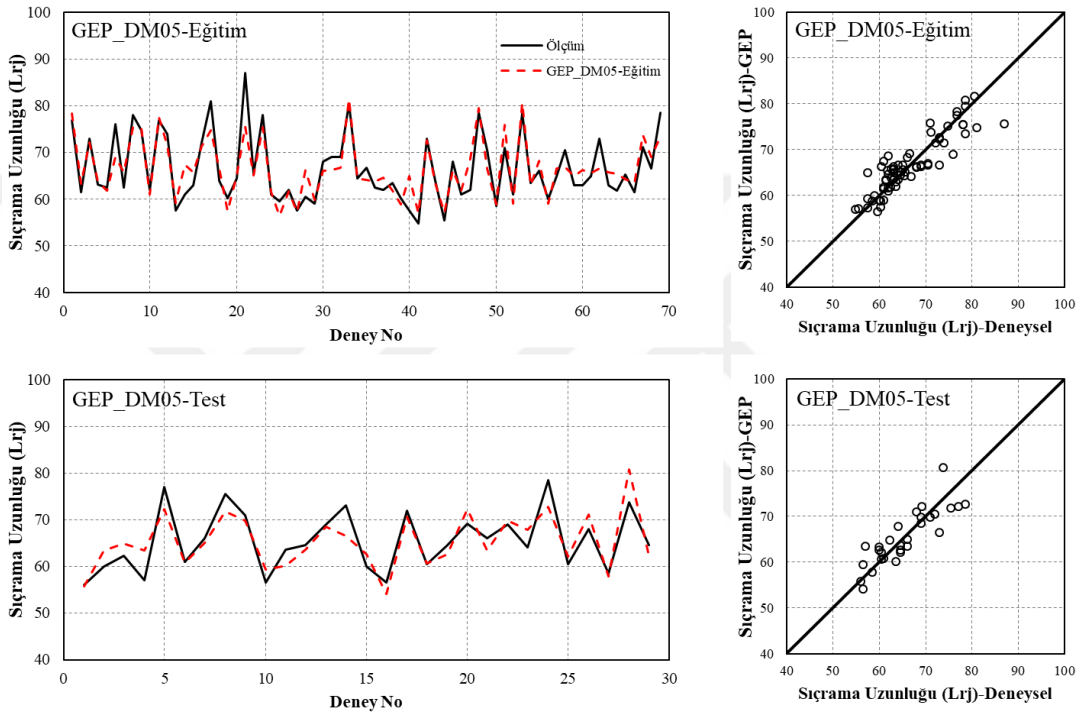
Şekil 4. 8' de Model 4' e ait ifade ağacı ve formülü verilmiştir. Modelde sıçrama uzunluğunun hesaplanması için girdi verisi olarak yalnızca y_4 parametresi kullanılmıştır. Modele ait formül incelendiğinde y_4 parametresinin alt fonksiyon içerisinde toplam 7 defa kullanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla, Model 4' e göre GEP yöntemiyle oluşturulan formülde sıçrama uzunluğunun hesaplanmasında y_4 parametresinin tek etkin parametre olduğu anlaşılmaktadır. Model 4' te elde edilmiş fonksiyonlar EK-4' te verilmiştir.



$$Lrj_{Model4} = \left(\left(e^{\arctan(y_4)}\right)^3 - e^{\tanh(y_4)}\right)^2 + \sin\left(\sqrt[3]{\arctan\left(\arctan\left(\sin\left(y_4\right) - y_4^3\right)\right)}\right) + \sin\left(\left(c_7 y_4\right)^5\right) y_4^2 c_3^5$$

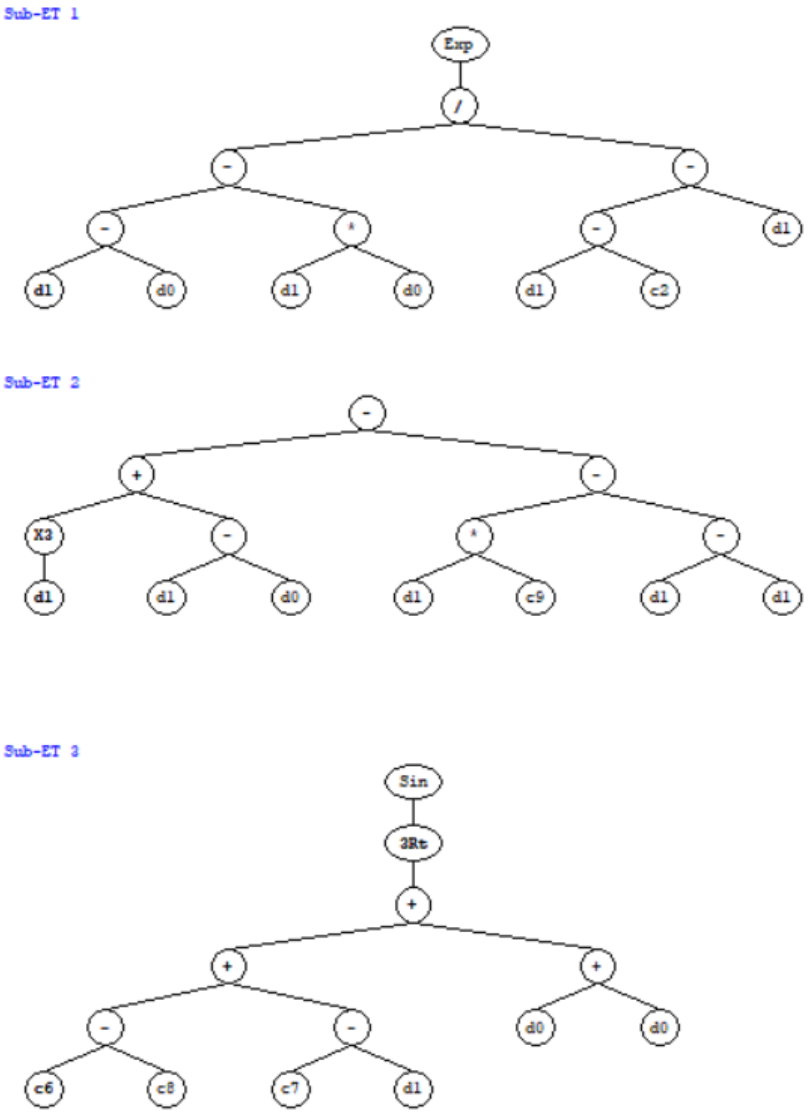
Şekil 4.8. Model 4' e ait ifade ağacı ve formülü

Model 5 kullanılarak GEP yöntemi ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.9' da verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile uyumlu oldukları, yüksek ve düşük değerlerin bazılarında tahmin değerinin gerçek değerden uzaklaştığı görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir durumun meydana geldiği gözlenmiştir.



Şekil 4.9. Model 5 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi)

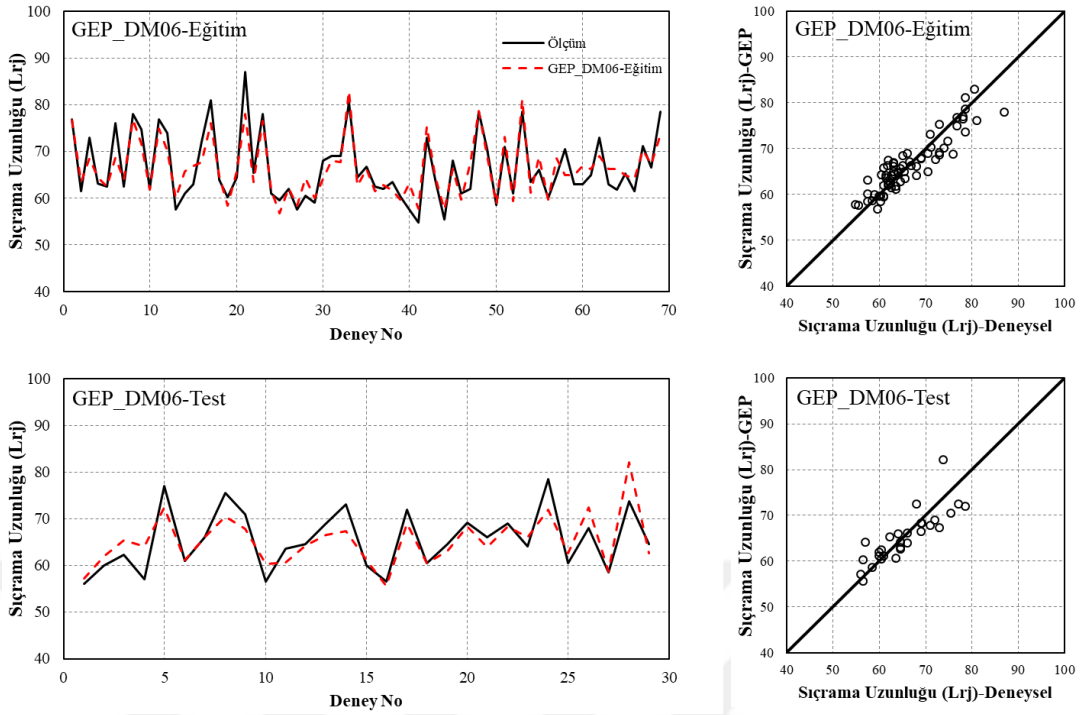
Şekil 4. 10' da Model 5' e ait ifade ağacı ve formülü verilmiştir. Modelde sıçrama uzunluğunun hesaplanması için girdi verisi olarak y_1 ve y_4 parametreleri kullanılmıştır. Modele ait formül incelendiğinde alt fonksiyon içerisinde; y_1 parametresinin 5 defa, y_4 parametresinin ise toplamda 10 defa kullanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla, Model 5' e göre GEP yöntemiyle oluşturulan formülde sıçrama uzunluğunun hesaplanmasında y_4 parametresinin daha etkin bir parametre olduğu anlaşılmaktadır. Model 5' te elde edilmiş fonksiyonlar EK-5' te verilmiştir.



$$Lrj_{Model5} = e^{-(y_4 - y_1 - y_1 y_4)/c_2} + y_4^3 + y_4 - y_1 - c_9 y_4 + \sin\left(\sqrt[3]{c_6 - c_8 + c_7 - y_4 + 2y_1}\right)$$

Şekil 4.10. Model 5' e ait ifade ağacı ve formülü

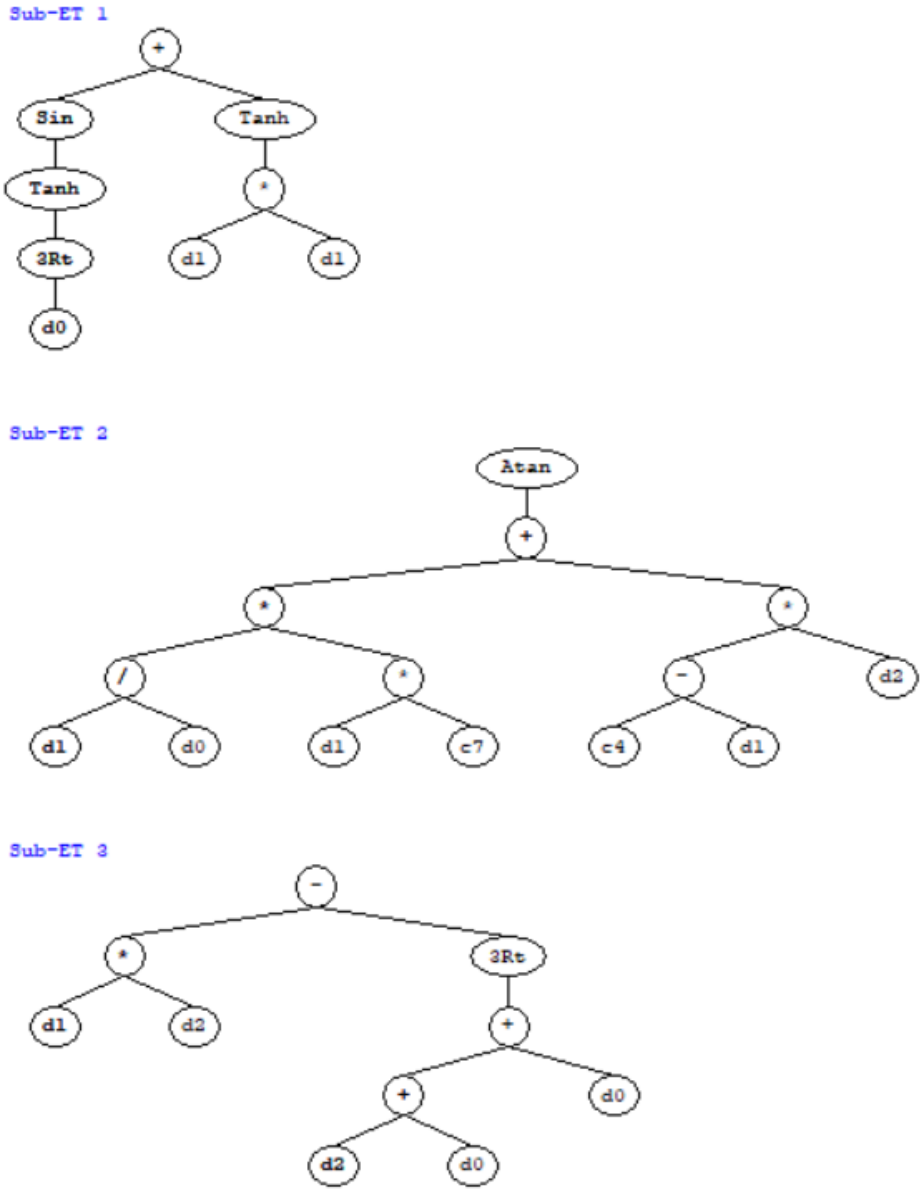
Model 6 kullanılarak GEP yöntemi ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.11' de verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin genel olarak birbirleri ile uyumlu oldukları, sadece bazı orta değerlerde tahmin değerinin gerçek değerlerden uzaklaştığı görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir şekilde bazı orta değerleri tahmin etme başarısının sınırlı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.11. Model 6 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi)

Şekil 4.12' de Model 6' ya ait ifade ağacı ve formülü verilmiştir. Modelde sıçrama uzunluğunun hesaplanması için girdi verisi olarak y_1, y_4 ve Fr parametreleri kullanılmıştır. Modele ait formül incelendiğinde alt fonksiyon içerisinde; y_1 parametresinin 4 defa, y_4 parametresinin 6 defa ve Fr parametresinin ise toplamda 3 defa kullanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla, Model 6' ya göre GEP yöntemiyle oluşturulan formülde sıçrama uzunluğunun hesaplanmasında y_4 parametresinin diğer iki girdi parametresine göre daha etkin bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.

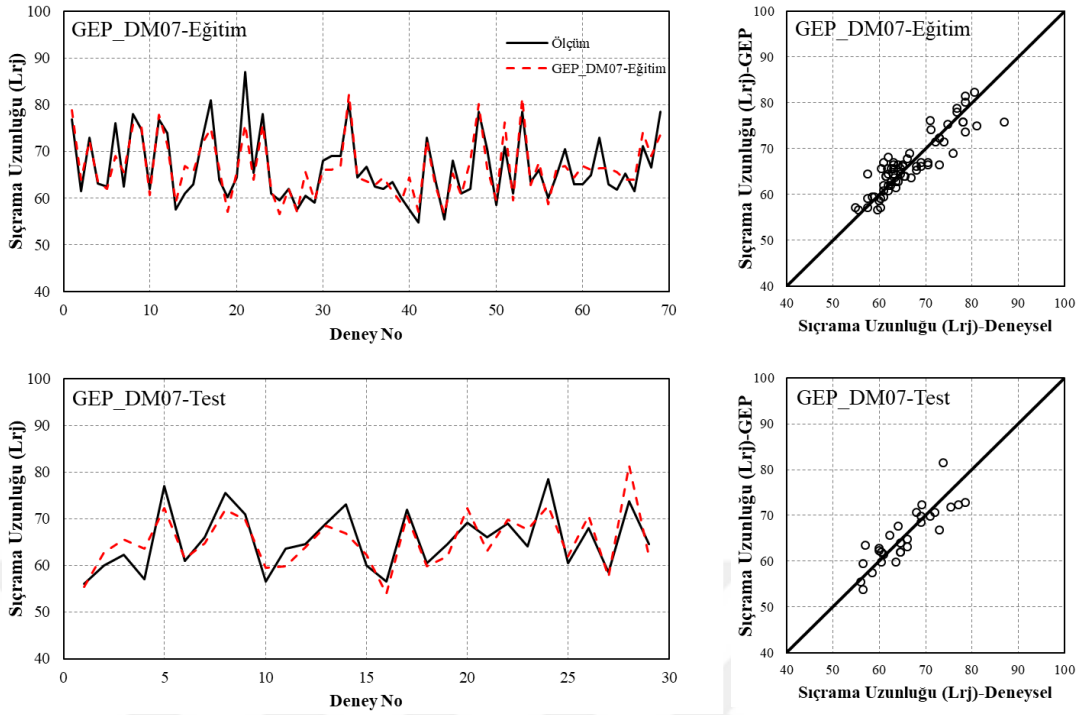
Model 6' da elde edilmiş fonksiyonlar EK-6' da verilmiştir.



$$Lrj_{Model6} = \sin\left(\tanh\left(\sqrt[3]{y_1}\right)\right) + \tanh\left(y_4^2\right) + \arctan\left(c_7 y_4^2 / y_1 + Fr\left(c_4 - y_4\right)\right) + y_4 Fr - \sqrt[3]{Fr + 2y_1}$$

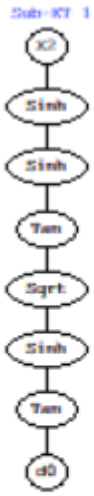
Şekil 4.12. Model 6' ya ait ifade ağacı ve formülü

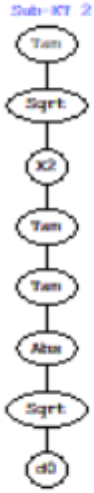
Model 7 kullanılarak GEP yöntemi ile elde edilen Eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.13' te verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin genel olarak birbirleri ile uyumlu oldukları, sıçrama uzunluğunun 60 ile 70 değerleri arasında kalan kısmındaki bazı tahmin değerlerinin başarısız olduğu görülmüştür. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir şekilde bazı orta değerleri tahmin etmede daha az başarılı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.13. Model 7 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi)

Şekil 4.14' te Model 7' ye ait ifade ağacı ve formülü verilmiştir. Modelde sıçrama uzunluğunun hesaplanması için girdi verisi olarak yalnızca y_4 parametresi kullanılmıştır. Modele ait formül incelendiğinde y_4 parametresinin alt fonksiyon içerisinde toplam 3 defa kullanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla, Model 1' e göre GEP yöntemiyle oluşturulan formülde sıçrama uzunluğunun hesaplanmasında y_4 parametresinin tek etkin parametre olduğu anlaşılmaktadır. Model 7' de elde edilmiş fonksiyonlar EK-7' de verilmiştir.



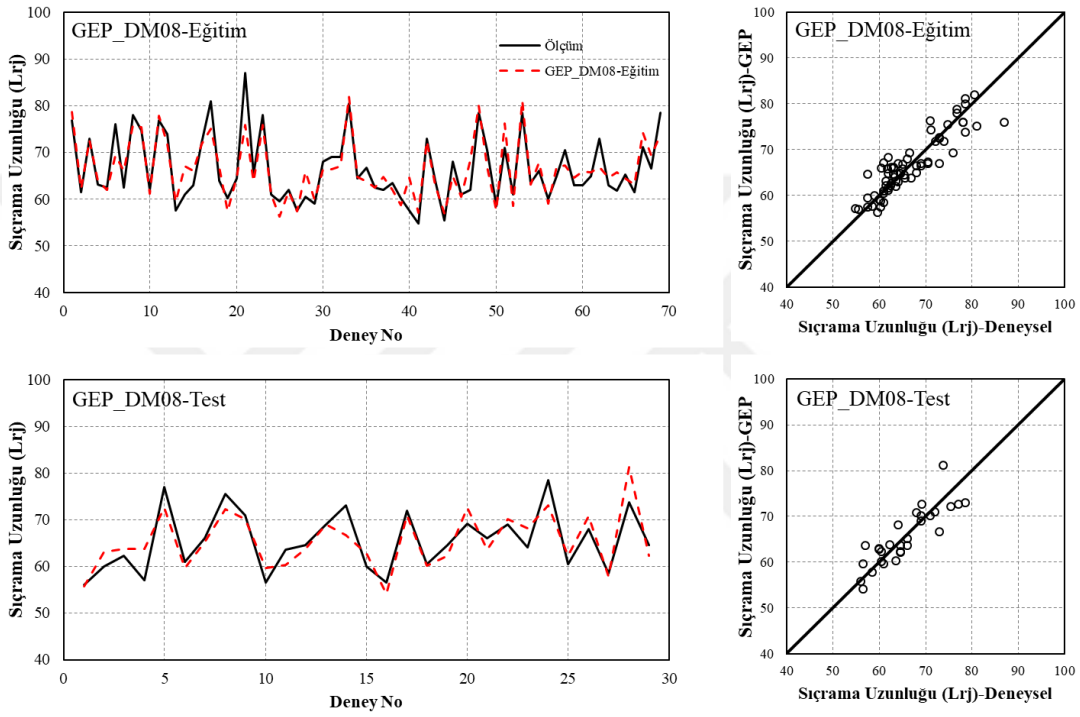




$$Lrj_{Model7} = \left(\sinh\left(\sinh\left(\tan\left(\sqrt{\sinh\left(\tan\left(y_4 \right) \right)} \right) \right) \right) \right)^2 + \tan\left(\tan\left(\tan\left(\sqrt{y_4} \right) \right) \right) + \left(\sqrt[4]{\arcsin\left(y_4 c_3 \right)} - \tan\left(\sin\left(c_0 \right) \right) \right)^2$$

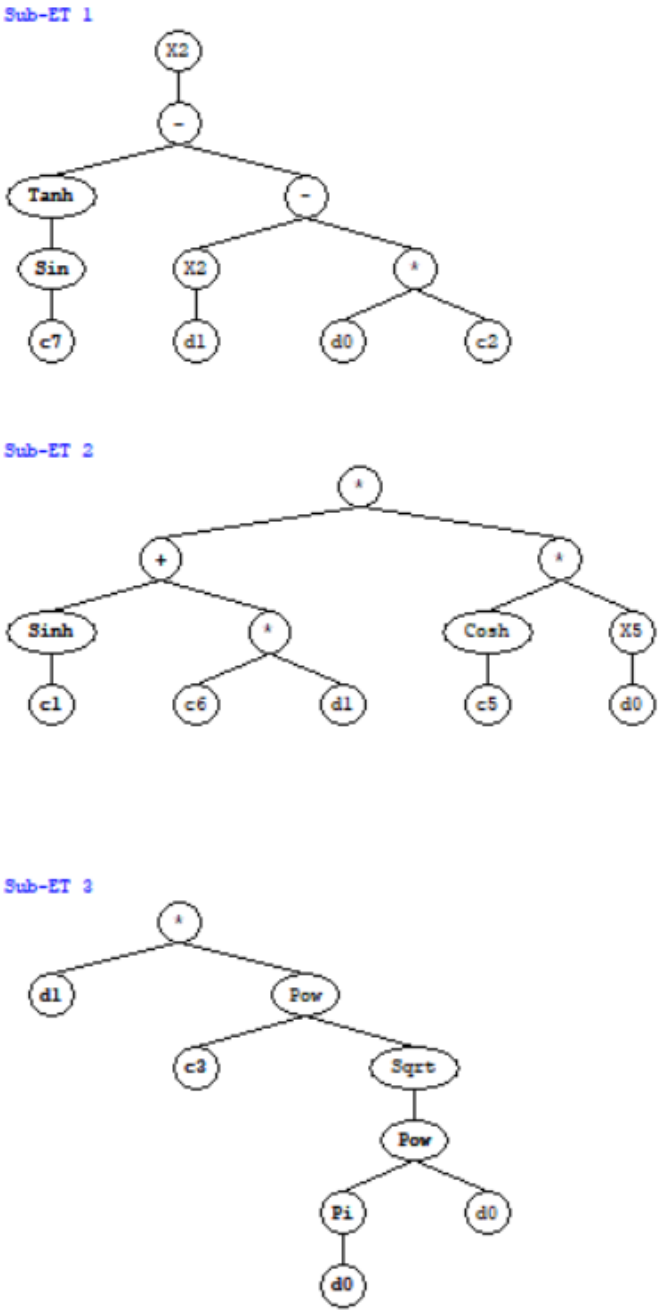
Şekil 4.14. Model 7' ye ait ifade ağacı ve formülü

Model 8 kullanılarak GEP yöntemi ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.15' te verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin genel olarak birbirleri ile uyumlu oldukları, sadece bazı değerlerde tahmin değerinin gerçek değerlerden uzaklaştığı görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir şekilde elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.15. Model 8 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi)

Şekil 4. 16' da Model 8' e ait ifade ağacı ve formülü verilmiştir. Modelde sıçrama uzunluğunun hesaplanması için girdi verisi olarak y_1 ve y_4 parametreleri kullanılmıştır. Modele ait formül incelendiğinde alt fonksiyon içerisinde; y_1 parametresinin 4 defa, y_4 parametresinin ise 3 defa kullanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla Model 8' e göre GEP yöntemiyle oluşturulan formülde sıçrama uzunluğunun hesaplanmasında y_1 parametresinin y_4 parametresine göre daha etkin bir parametre olduğu anlaşılmaktadır. Model 8' de elde edilmiş fonksiyonlar EK-8' de verilmiştir.

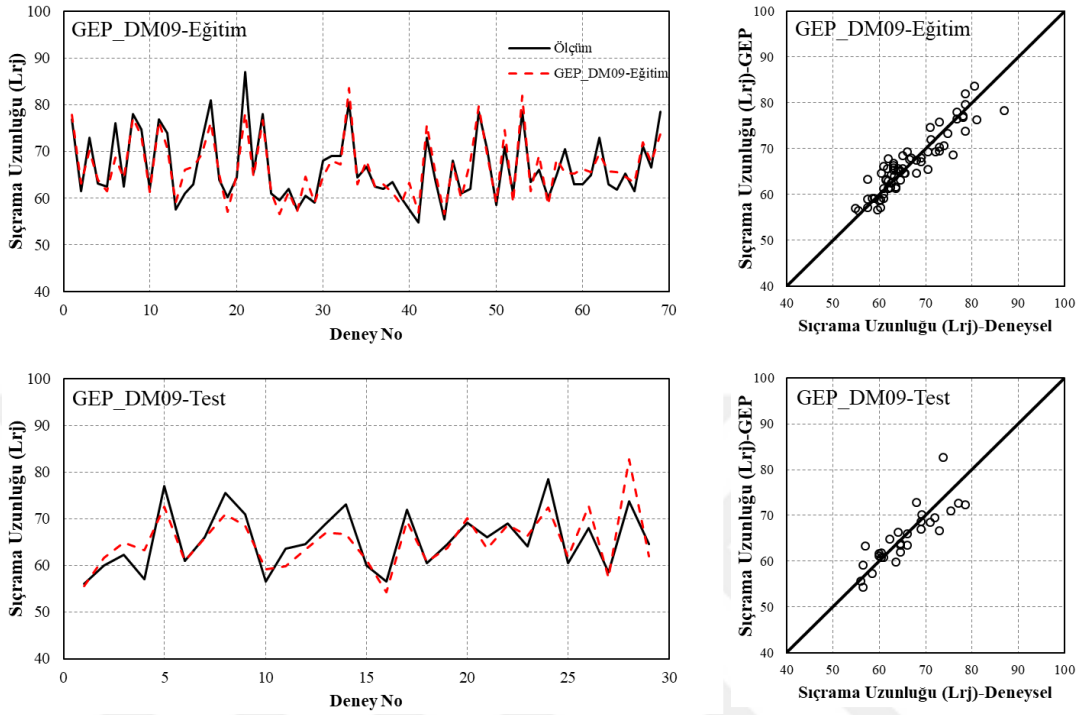


$$Lrj_{Model8} = \tanh(\sin(c_7)) - y_4^2 + y_1 c_2 + \left(\sinh(c_1) + c_6 y_4\right)\cosh(c_5)\, y_1^5 + y_4\, c_2^{pi^{y_1}}$$

Şekil 4.16. Model 8' e ait ifade ağacı ve formülü

Model 9 kullanılarak GEP yöntemi ile elde edilen Eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.17' de verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile uyumlu oldukları, orta değerlerin bir kısmında tahmin değerinin gerçek değerden çok küçük

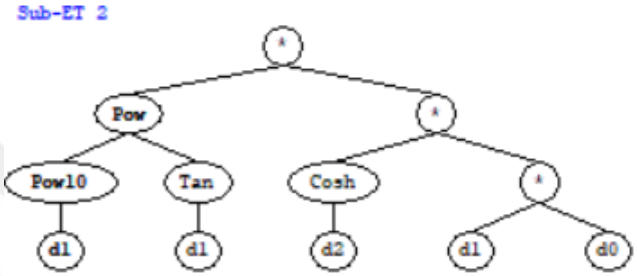
farklarla uzaklaştığı görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise eğitim verilerine benzer bir sonuç çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.17. Model 9 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi)

Şekil 4.18' de Model 9' a ait ifade ağacı ve formülü verilmiştir. Modelde sıçrama uzunluğunun hesaplanması için girdi verisi olarak y_1,y_4 ve Fr parametreleri kullanılmıştır. Modele ait formül incelendiğinde alt fonksiyon içerisinde; y_1 parametresinin 1 defa, y_4 parametresinin 8 defa ve Fr parametresinin ise toplamda 1 defa kullanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla Model 9' a göre GEP yöntemiyle oluşturulan formülde sıçrama uzunluğunun hesaplanmasında y_4 parametresinin kullanılan diğer parametrelere göre daha etkin olduğu anlaşılmaktadır. Model 9' da elde edilmiş fonksiyonlar EK-9' da verilmiştir.





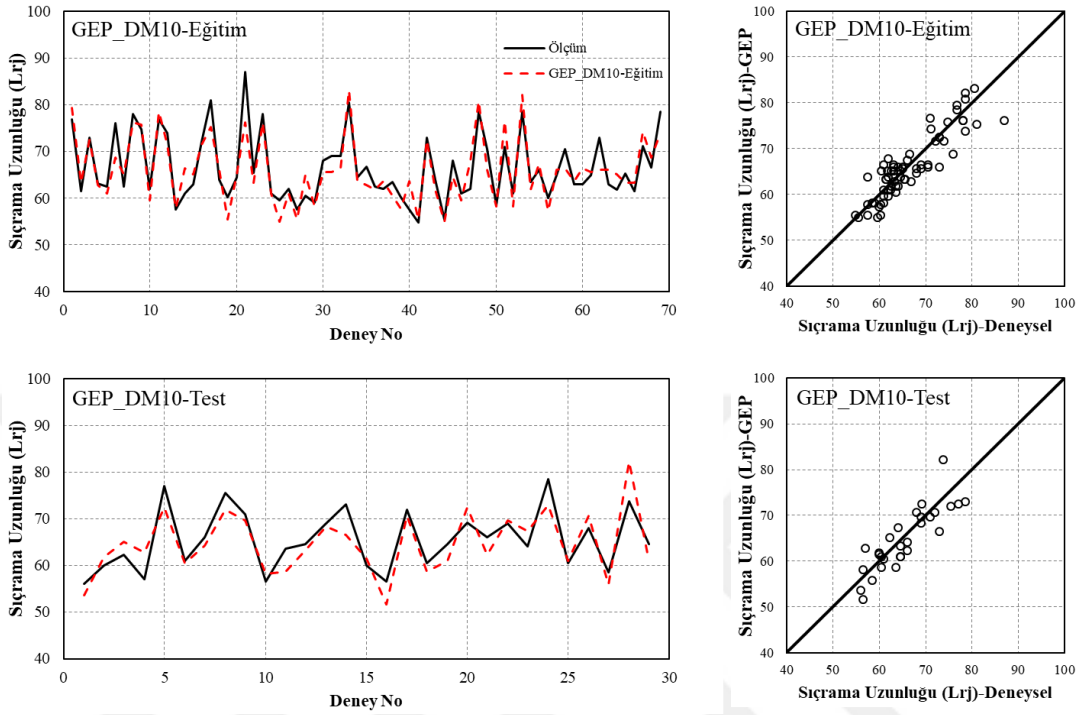


$$Lrj_{Model9} = \tan\left(\left(\left(\arctan(c_3) - \arctan(y_4)\right) y_4^2\right)^5\right) + \tanh\left(c_9^4 y_4^2 \sqrt{c_5 y_4}\right) + \cosh\left(Fr\right) y_4 y_1 y_4^{10\tan(y_4)}$$

Şekil 4.18. Model 9' a ait ifade ağacı ve formülü

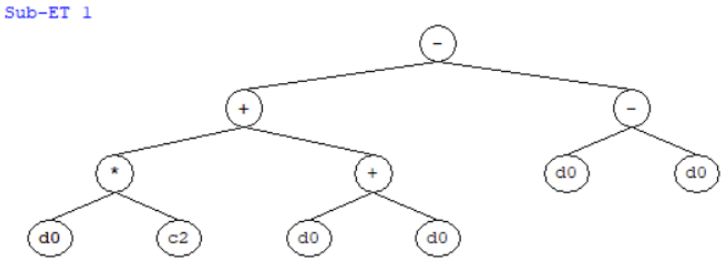
Model 10 kullanılarak GEP yöntemi ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.19' da verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile uyumlu olmadıkları görülmüştür. Her ne kadar orta değerlerde tahmin değerleri gerçek değerlere yaklaşmış olsa da, modelin yüksek ve düşük değerlerde gerçek değerlerden

oldukça uzaklaştığı görülmektedir. Modelin sıçrama uzunluğunu tahmin etmede başarısız olduğu görülmüştür.



Şekil 4.19. Model 10 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi)

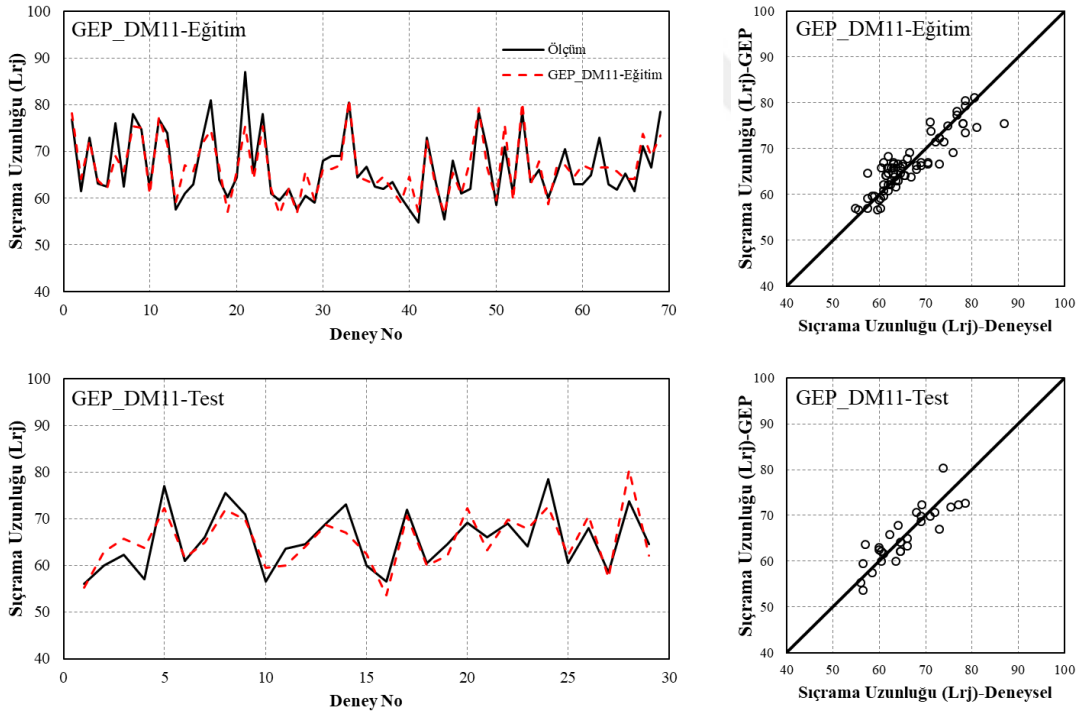
Şekil 4. 20’ de Model 10’ a ait ifade ağacı ve formülü verilmiştir. Modelde sıçrama uzunluğunun hesaplanması için girdi verisi olarak yalnızca y_4 parametresi kullanılmıştır. Modele ait formül incelendiğinde y_4 parametresinin alt fonksiyon içerisinde toplam 5 defa kullanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla, Model 10’ a göre GEP yöntemiyle oluşturulan formülde sıçrama uzunluğunun hesaplanmasında y_4 parametresinin tek etkin parametre olduğu anlaşılmaktadır. Model 10’ da elde edilmiş fonksiyonlar EK-10’ da verilmiştir.



$$Lrj_{Model10} = y_4 c_2 + 2 y_4$$

Şekil 4.20. Model 10' a ait ifade ağacı ve formülü

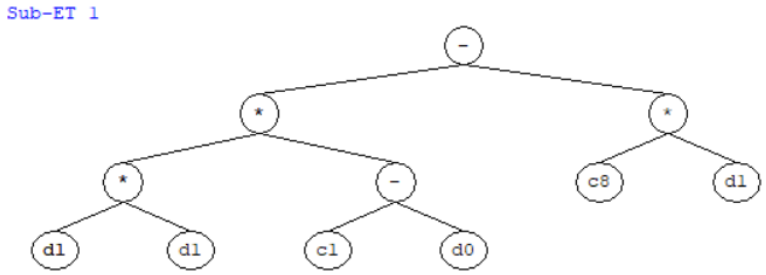
Model 11 kullanılarak GEP yöntemi ile elde edilen Eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.21' de verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile uyumlu oldukları görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir durumun ortaya çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.21. Model 11 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi)

Şekil 4. 22'de Model 11' e ait ifade ağacı ve formülü verilmiştir. Modelde sıçrama uzunluğunun hesaplanması için girdi verisi olarak y_1 ve y_4 parametreleri

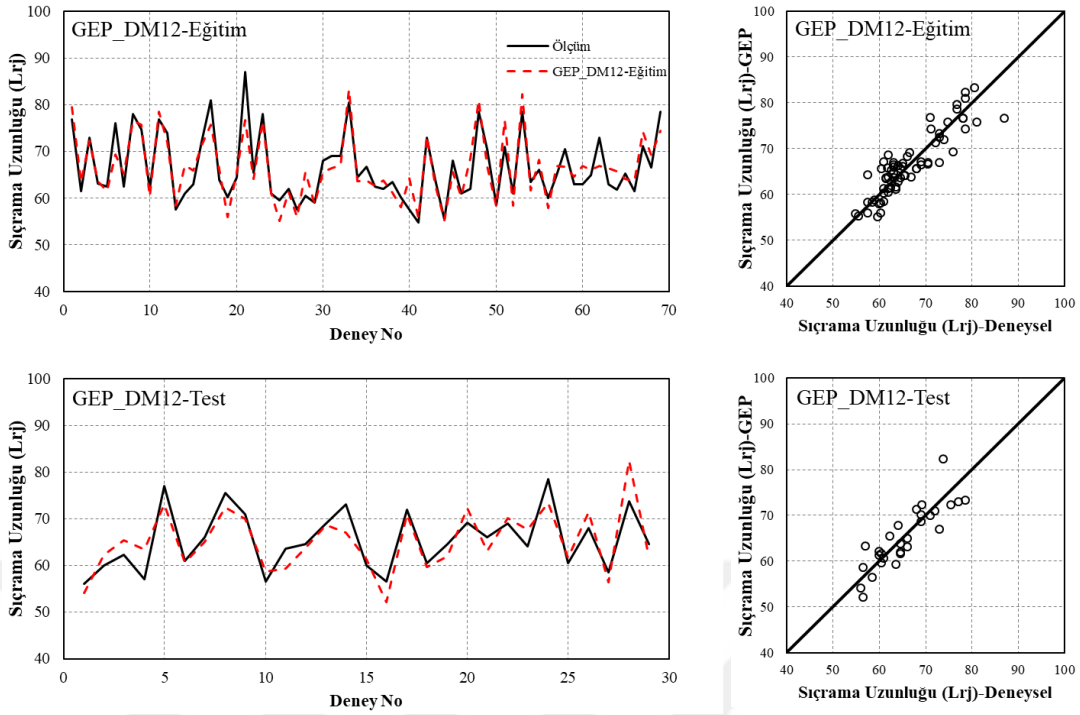
kullanılmıştır. Modele ait formül incelendiğinde alt fonksiyon içerisinde; y_1 parametresinin 1 defa, y_4 parametresinin ise 3 defa kullanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla Model 11' e göre GEP yöntemiyle oluşturulan formülde sıçrama uzunluğunun hesaplanmasında y_4 parametresinin y_1 parametresine göre daha etkin bir parametre olduğu anlaşılmaktadır. Model 11' de elde edilmiş fonksiyonlar EK-11' de verilmiştir.



$$Lrj_{Model11} = y_4^{\,2}\left(c_1 - y_1\right) - c_8 y_4$$

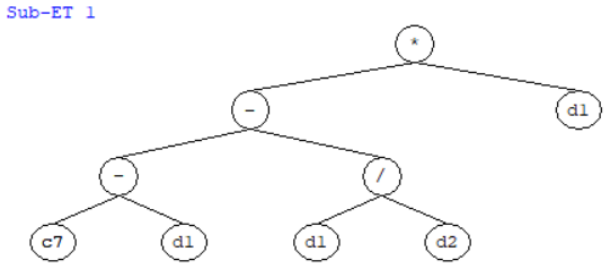
Şekil 4.22. Model 11' e ait ifade ağacı ve formülü

Model 12 kullanılarak GEP yöntemi ile elde edilen Eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.23' te verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile kısmen uyumlu oldukları, özellikle yüksek olan değerlerde tahmin değerinin gerçek değerden uzaklaştığı görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir şekilde yüksek değerleri tahmin etme başarısının sınırlı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.23. Model 12 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (GEP Yöntemi)

Şekil 4.24' te Model 12' ye ait ifade ağacı ve formülü verilmiştir. Modelde sıçrama uzunluğunun hesaplanması için girdi verisi olarak y_1,y_4 ve Fr parametreleri kullanılmıştır. Modele ait formül incelendiğinde alt fonksiyon içerisinde; y_4 parametresinin 3 defa kullanıldığı, Fr parametresinin 1 defa kullanıldığı ancak y_1 parametresinin ise hiç kullanılmadığı görülmektedir. Dolayısıyla Model 12' ye göre GEP yöntemiyle oluşturulan formülde sıçrama uzunluğunun hesaplanmasında y_4 parametresinin kullanılan en etkin parametre olduğu ve y_1 parametresinin ise etkinliğinin olmadığı anlaşılmaktadır. Model 12' de elde edilmiş fonksiyonlar EK-12' de verilmiştir.



$$Lrj_{Model12} = \left[\left(c_7 - y_4\right) - y_4 Fr\right] y_4$$

Şekil 4.24. Model 12' ye ait ifade ağacı ve formülü

4.2. YSA Yöntemi ile Sıçrama Uzunluğunun Tahmin Edilmesi

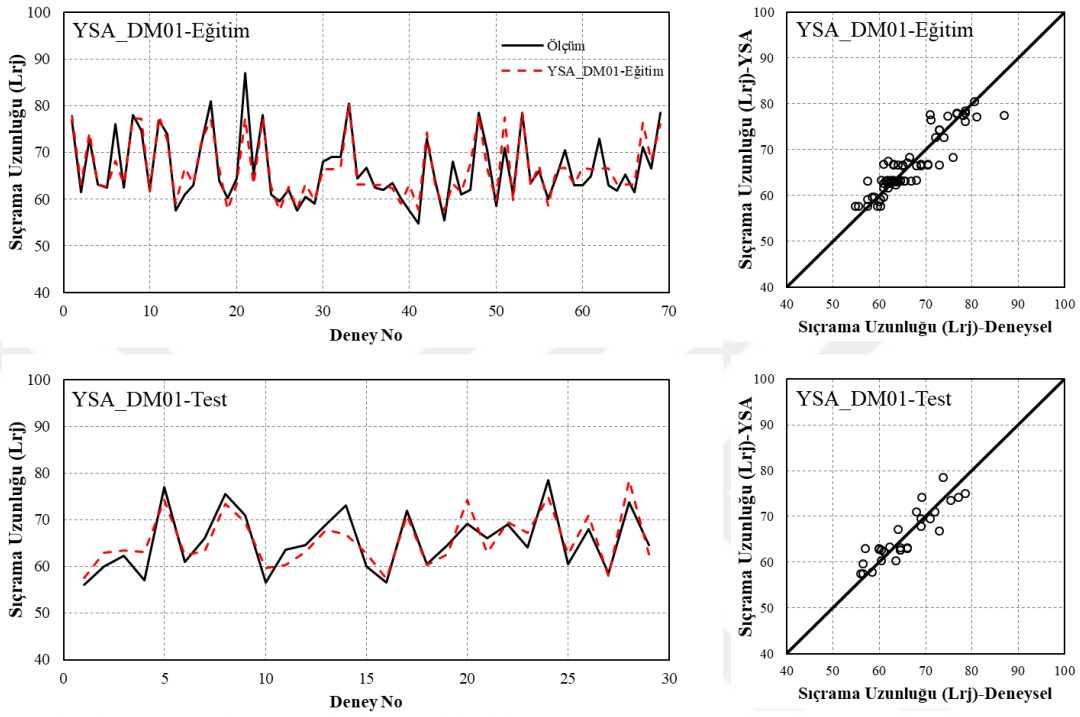
YSA yöntemi ile sıçrama uzunluğunun belirlenmesi için üç farklı girdi parametresine sahip üç model oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2' de verilmiştir. Kullanılan üç model olan Model 1, 2 ve 3' te ara katman sayısı sırasıyla 4, 4 ve 7 olarak belirlenmiştir. Ara katman sayısının belirlenmesi için Matlab yazılımı yardımıyla bir optimizasyon yapılmış ve test verileri içerisinde en düşük OKH değerini veren ara katman sayısı modelde kullanılmıştır. Buna göre, eğitim sürecinde R^2 değerleri 0.8299 ile 0.9847 aralığında, test sürecinde ise 0.7911 ile 0.8872 aralığında değiştiği, OMGH değerlerinin de test sürecinde %4' ün altında olduğu görülmektedir. Her bir model ile elde edilen sonuçlar ayrıca değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.2. YSA yöntemi ile elde edilen sonuçlar

	Eğitim			**Test**		
	R^2	**OKH (cm^2)**	**OMGH (%)**	**R^2**	**OKH (cm^2)**	**OMGH (%)**
Model 1 (4) (y_4)	0.8299	20.26	7.65	0.7911	8.44	3.76
Model 2 (4) (y_1, y_4)	0.8956	12.44	6.46	0.7997	8.22	3.51
Model 3 (7) (y_1, y_4, Fr)	0.9847	1.82	2.55	0.8872	4.84	3.16

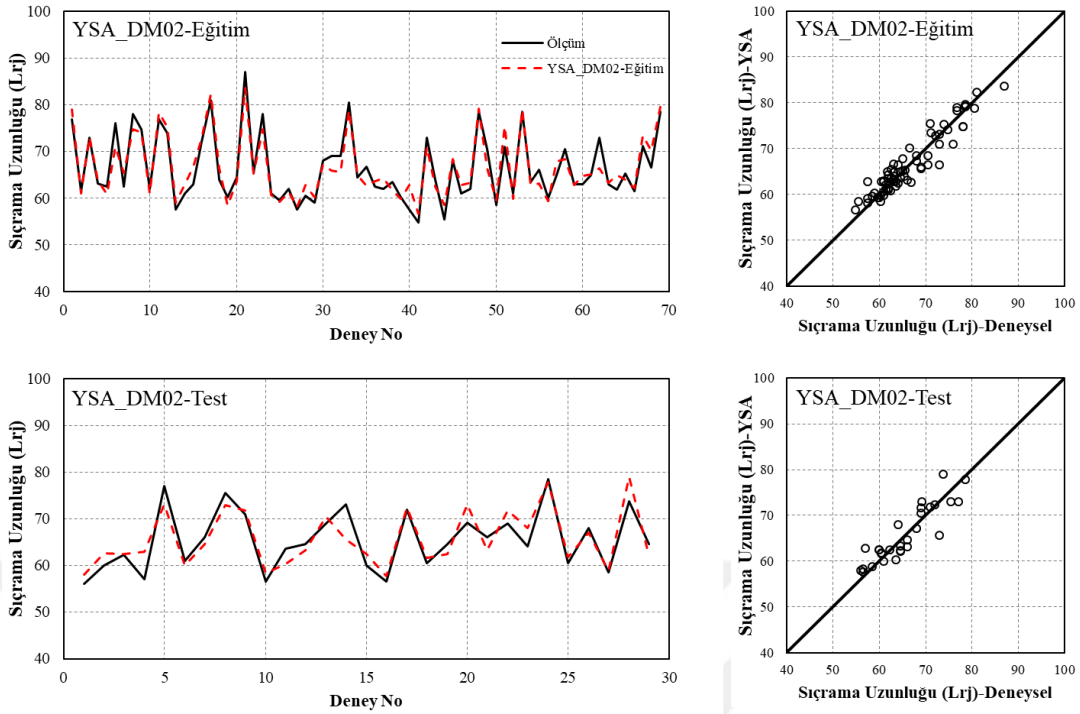
Model 1 kullanılarak YSA yöntemi ile elde edilen eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.25' te verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile uyumlu oldukları, ancak sıçrama uzunluğunun 80 cm' in üzerindeki değerlerde tahminde

başarısız olduğu görülmüştür. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir şekilde bazı yüksek değerleri tahmin etme başarısının sınırlı olduğu görülmüştür. Model 1' de elde edilmiş fonksiyonlar EK-13' te verilmiştir.



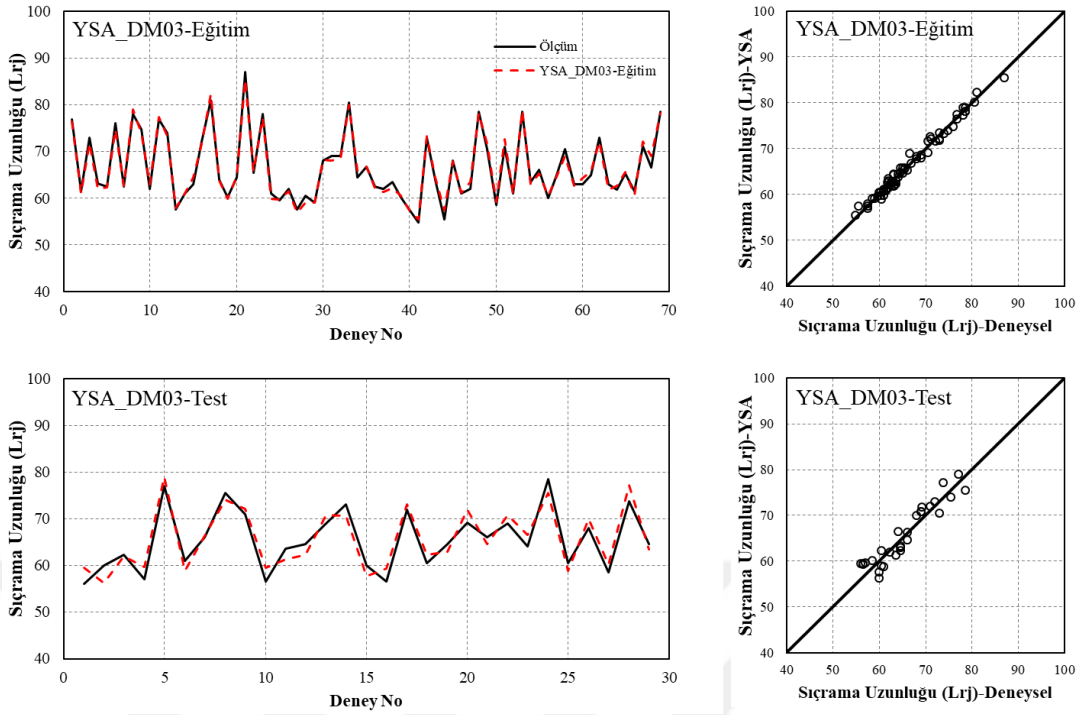
Şekil 4.25. Model 1 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (YSA Yöntemi)

Model 2 kullanılarak YSA yöntemi ile elde edilen Eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.26' da verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile uyumlu oldukları görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir şekilde olduğu görülmüştür. Model 2' de elde edilmiş fonksiyonlar EK-14' te verilmiştir.



Şekil 4.26. Model 2 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (YSA Yöntemi)

Model 3 kullanılarak YSA yöntemi ile elde edilen Eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.27' de verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile oldukça uyumlu oldukları, tahmin değerlerinin gerçek değerlerle neredeyse aynı değeri buldukları görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir şekilde oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Model 3' te elde edilmiş fonksiyonlar EK-15' te verilmiştir.



Şekil 4.27. Model 3 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (YSA Yöntemi)

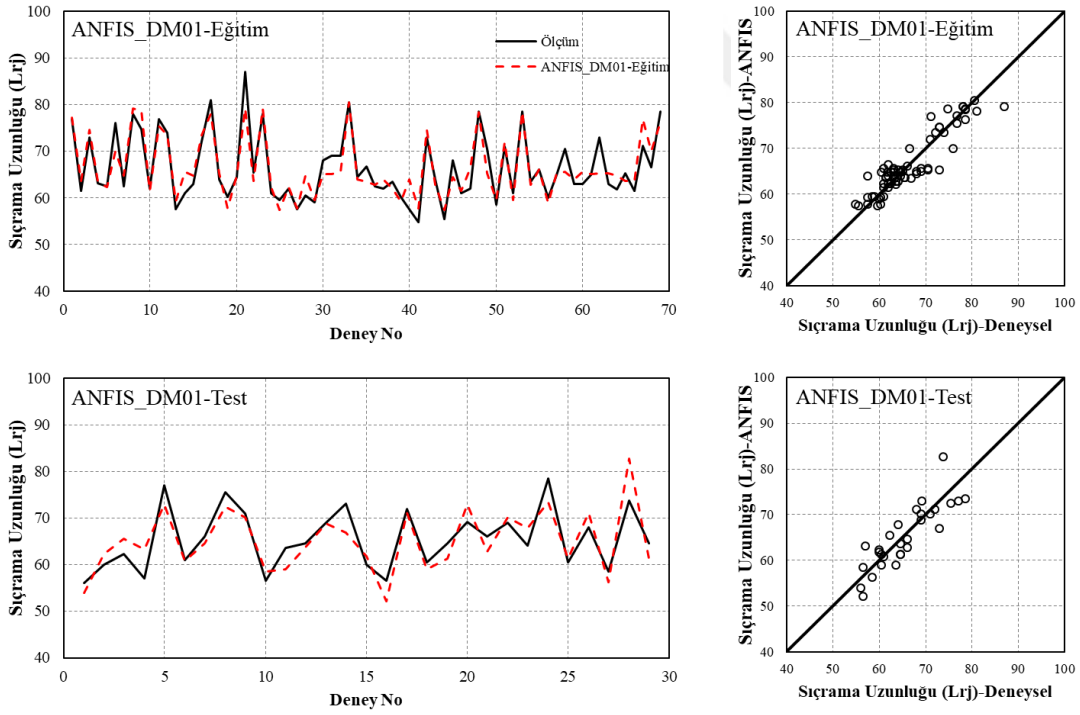
4.3. ANFIS Yöntemi İle Sıçrama Uzunluğunun Tahmin Edilmesi

ANFIS yöntemi ile sıçrama uzunluğunun belirlenmesi için YSA yöntemine benzer bir şekilde yine üç farklı girdi parametresine sahip üç model oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3' te verilmiştir. ANFIS yönteminde üye fonksiyonu sayısının belirlenmesi için Matlab yazılımı yardımıyla bir optimizasyon yapılmış ve test verileri içerisinde en düşük OKH değerini veren üyelik fonksiyon sayısı modelde kullanılmıştır. Kullanılan üyelik fonksiyonu sayıları Model isimlerinin yanında parantez içerisinde verilmiştir. ANFIS ile elde edilen test sonuçları değerlendirildiğinde, ele alınan tüm yöntemler içerisinde en düşük OMGH değerinin (% 2.89) Model 3' te olduğu görülmüştür. Her bir model ile elde edilen sonuçlar ayrıca değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.3. ANFIS yöntemi ile elde edilen sonuçlar

	Eğitim			Test		
	R^2	OKH (cm^2)	OMGH (%)	R^2	OKH (cm^2)	OMGH (%)
Model 1 (4) (y_4)	0.8428	7.87	3.14	0.7816	9.14	3.70
Model 2 (2) (y_1, y_4)	0.8899	5.51	2.74	0.8202	7.67	3.43
Model 3 (2) (y_1, y_4, Fr)	0.9729	1.36	1.43	0.8638	6.18	2.89

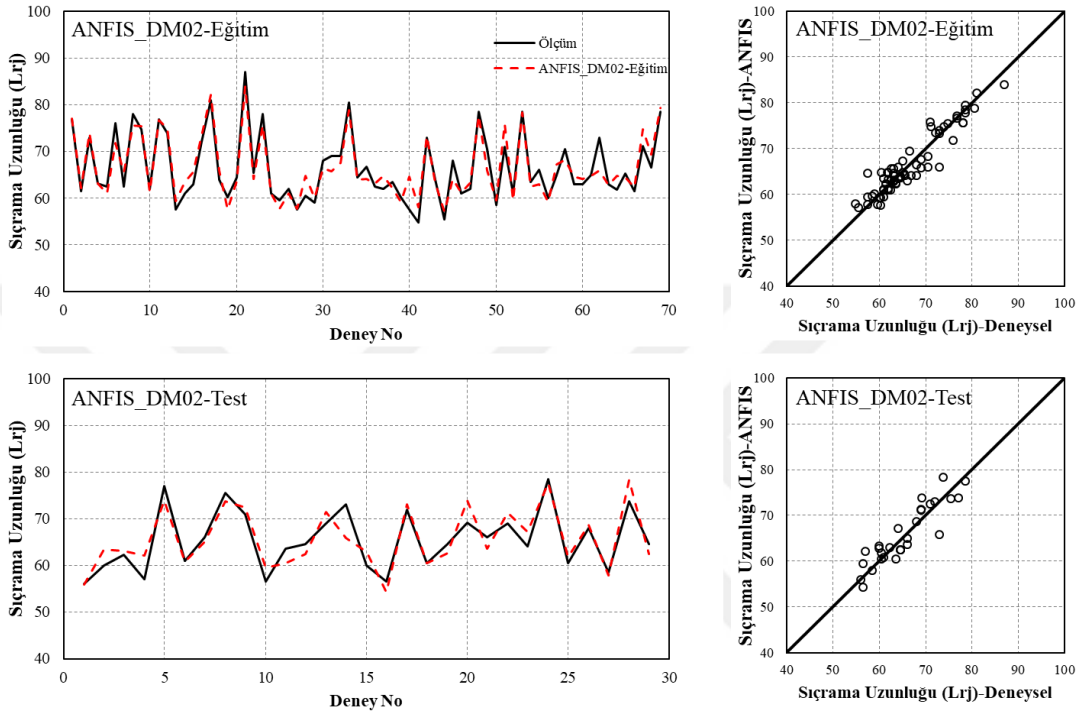
Model 1 kullanılarak ANFIS yöntemi ile elde edilen Eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.28' de verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile uyumlu oldukları sadece birkaç orta değerde gerçek değerden uzaklaştığı görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir şekilde bazı orta değerleri tahmin etme başarısının sınırlı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.28. Model 1 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (ANFIS Yöntemi)

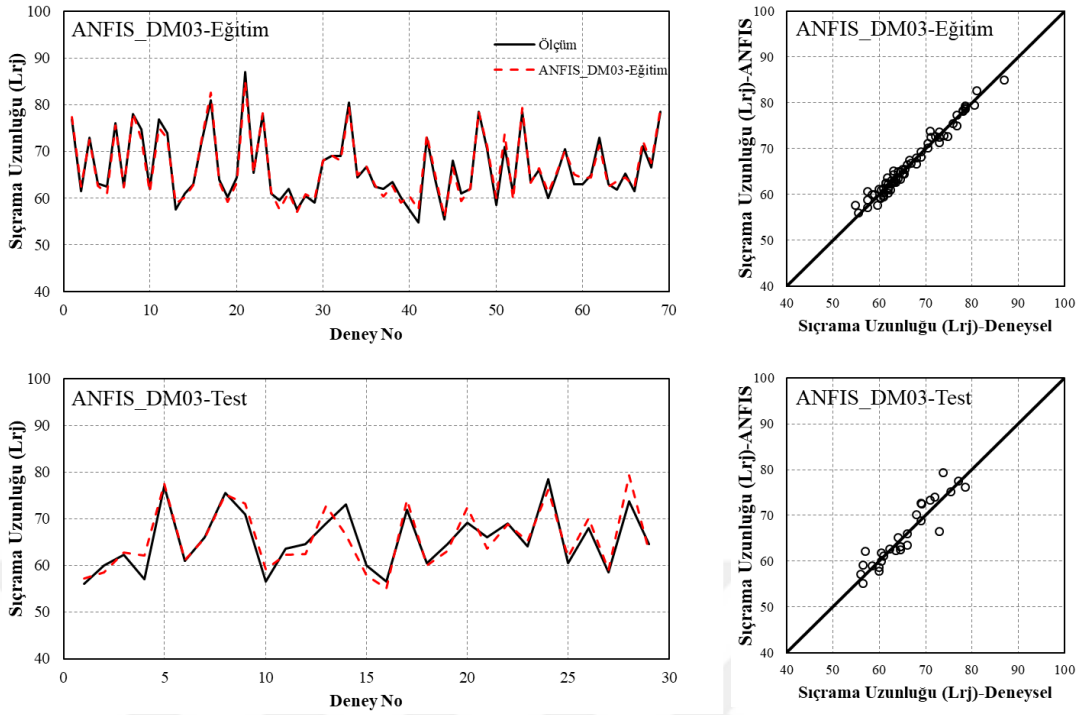
Model 2 kullanılarak ANFIS yöntemi ile elde edilen Eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil

4.29’ da verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile uyumlu oldukları, fakat sıçrama uzunluğunun 60 cm’ e yakın değerlerinde tahmin başarısının sınırlı olduğu görülmüştür. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir şekilde bazı orta değerleri tahmin etme başarısının sınırlı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.29. Model 2 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (ANFIS Yöntemi)

Model 3 kullanılarak ANFIS yöntemi ile elde edilen Eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.30’ da verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile oldukça uyumlu oldukları, tahmin değerlerinin gerçek değerlerle neredeyse aynı değeri buldukları görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir şekilde oldukça başarılı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.30. Model 3 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (ANFIS Yöntemi)

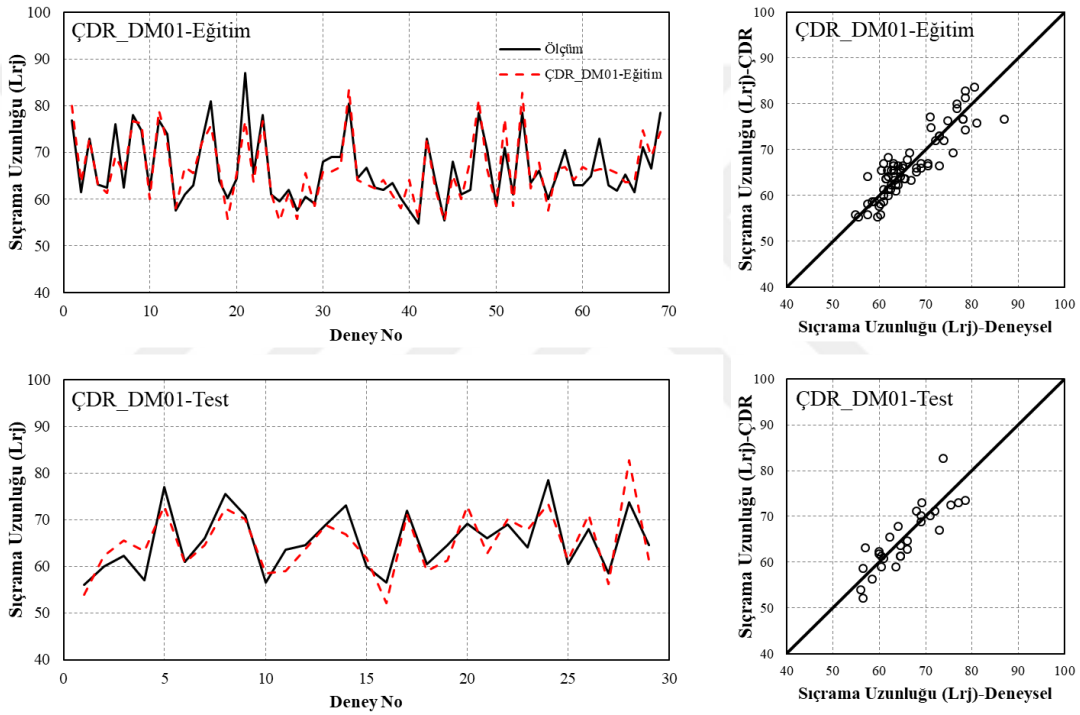
4.4. ÇDR Yöntemi İle Sıçrama Uzunluğunun Tahmin Edilmesi

ÇDR yöntemi ile sıçrama uzunluğunun belirlenmesi için yine üç farklı girdi parametresine sahip üç model oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4' te verilmiştir. Klasik bir yöntem olan ÇDR yönteminin sonuçlarının birbirine yakın olduğu ve R^2 değerinin eğitim sürecinde 0.79-0.81 aralığında, test sürecinde ise 0.73-0.75 aralığında olduğu görülmüştür. OMGH değerleri de %4-%5 aralığında olmuştur. Her bir model ile elde edilen sonuçlar ayrıca değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.4. ÇDR yöntemi ile elde edilen sonuçlar

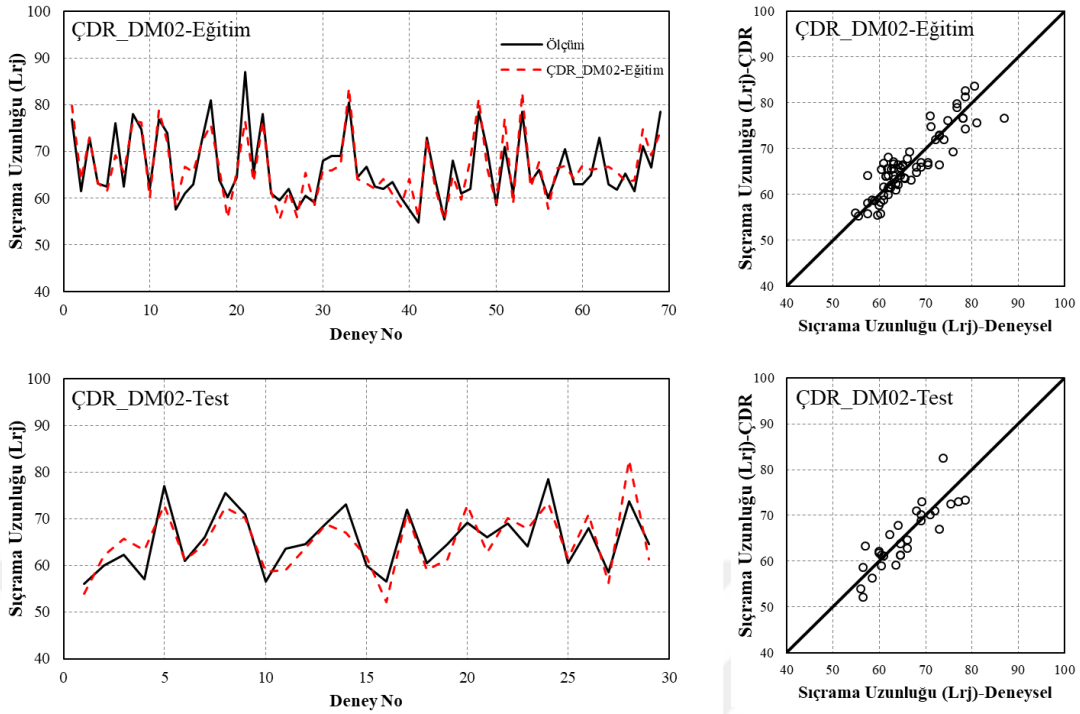
	Eğitim			Test			Formül
	R^2	OKH (cm^2)	OMGH (%)	R^2	OKH (cm^2)	OMGH (%)	
Model 1 (y_4)	0.7949	25.49	9.16	0.7344	12.31	4.42	$Lrj = 4.6466y_4$
Model 2 (y_1, y_4)	0.7938	25.46	9.21	0.7331	12.25	4.41	$Lrj = 0.2428y_1 + 4.6134y_4$
Model 3 (y_1, y_4, Fr)	0.8159	22.47	8.85	0.7487	11.44	4.01	$Lrj = 1.8205y_1 + 4.0919y_4 + 0.0181Fr$

Model 1 kullanılarak ÇDR yöntemi ile elde edilen Eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.31' de verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile oldukça uyumlu oldukları, ancak gerçek sıçrama uzunluğu değerlerinin özellikle 60 ile 70 cm arasında kalan kısımlarında ilgili modelin tahminde yetersiz kaldığı görülmüştür. Bunun yanında yüksek değerleri tahmin etmede ise orta değerlere göre daha başarılı olduğu da anlaşılmaktadır. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir durumun var olduğu görülmüştür.



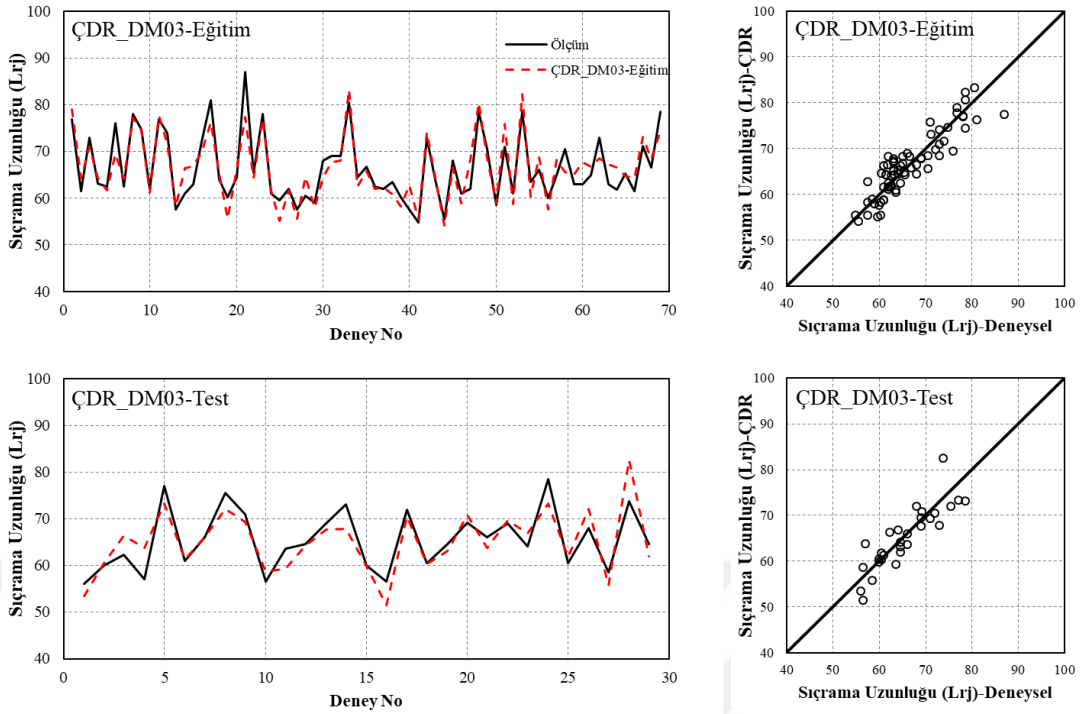
Şekil 4.31. Model 1 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (ÇDR Yöntemi)

Model 2 kullanılarak ÇDR yöntemi ile elde edilen Eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.32' de verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile uyumlu oldukları, deneysel sıçrama uzunluğunun Model 1'e benzer şekilde 60 ile 70 cm arasında kalan bölgelerinde ilgili modelin tahminde diğer kısımlara nispeten daha az başarılı olduğu görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir şekilde bazı yüksek ve bazı düşük değerleri tahmin etme başarısının sınırlı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.32. Model 2 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (ÇDR Yöntemi)

Model 3 kullanılarak ÇDR yöntemi ile elde edilen Eğitim ve test sonuçlarının deneysel verileri ile uyumunun görülebilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri Şekil 4.33' te verilmiştir. Buna göre, eğitim sürecinde verilerin birbirleri ile oldukça uyumlu oldukları, tahmin değerlerinin gerçek değerlere çok yaklaştığı görülmektedir. Test sonuçları incelendiğinde ise, eğitim verilerine benzer bir şekilde oldukça başarılı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.33. Model 3 eğitim ve test sonuçlarının dağılım grafikleri (ÇDR Yöntemi)

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında farklı akım özelliklerine sahip kayar kapak sonrası meydana gelen batmış hidrolik sıçramaya ait geri çevrim bölgesinin uzunlukları deneysel olarak belirlenmiştir. Toplam 98 adet deney için farklı girdi parametreleri kullanılarak son yıllarda değişik alanlarda da kullanılan yapay zekâ yöntemlerinden Genexpresyon Programlama (GEP), Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System-ANFIS) ve klasik bir yöntem olan Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) sıçrama uzunluğu tahmin edilmiştir. Yapay zekâ yöntemleri ve ÇDR ile kurulan modellerde veri setinin % 70' i eğitim sürecinde, % 30' u ise test sürecinde kullanılmıştır. Çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

GEP yöntemi ile oluşturulan 12 modelde test sonuçlarına göre en başarılı tahmini girdi parametresi olarak sadece y_4' ü ve toplam 7 tane matematiksel operatörü kullanan Model 1 olmuştur. Ayrıca, GEP yönteminde matematiksel operatörlerin arttırılmasının model başarısını gözle görülür düzeyde arttırmadığı belirlenmiştir.

YSA yöntemine göre ise ele alınan tüm performans kriterlerine göre en başarılı model y_1, y_4 ve Fr parametrelerinin girdi olarak kullanıldığı Model 3 olmuştur. Elde edilen R^2, OKH ve OMGH değerleri bakımında deneysel sonuçlarla oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

ANFIS yöntemi ile elde edilen sonuçların da kullanılabilir olduğu, ancak YSA modeline göre deneysel sonuçlar ile uyumunun nispeten az olduğu belirlenmiştir. ANFIS modelinde de en başarılı sonucu y_1, y_4 ve Fr parametrelerinin girdi olarak kullanıldığı Model 3 olmuştur.

Klasik bir yöntem olan ÇDR'nin ise ele alınan yöntemler içerisinde deneysel sonuçlara yaklaşmada kısmen yetersiz kaldığı görülmüş, bu yöntemde de en başarılı

sonucu y_1, y_4 ve Fr parametrelerinin girdi olarak kullanan Model 3 olduğu görülmüştür.

Tez çalışması sonucunda, özellikle sıçrama bölgesi geri dönüş uzunluğunun belirlenmesi amacıyla kullanılan GEP yönteminin sadece sıçrama sonrası derinliğin bir fonksiyonu olan yaklaşımların kullanılabilir olduğu, fakat kapak açıklığı ve Fr sayısı gibi diğer akım özelliklerinin eklenmesi ile oluşturulan modellerde ise ANFIS ve YSA yöntemlerinin çok iyi sonuçlar verdiği ve girdi parametre sayısının arttırılması ile deneysel sonuçlara uyumum arttığı belirlenmiştir. Bu tezin eklerinde verilmiş olan GEP ile elde edilen sıçrama uzunluğu formüllerinin ve YSA fonksiyonlarının uygulayıcılara rehber olacağı değerlendirilmektedir.

Bundan sonraki aşamada, laboratuvar ortamında deney sayısının kısıtlı olması nedeniyle veri setinin güçlendirilmesi adına, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yardımı ile sayısal deneyler yapılmak suretiyle deney sayısının arttırılması ve bu tezde önerilen yaklaşımların geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

ABBASPOUR, A., FARSADIZADEH, D., and GHORBANI, M. A. (2013). Estimation of hydraulic jump on corrugated bed using artificial neural networks and genetic programming. Water Science and Engineering, 6(2), 189-198.

AZIMI, H., BONAKDARI, H., EBTEHAJ, I., and MICHELSON, D. G. (2018). A combined adaptive neuro-fuzzy inference system–firefly algorithm model for predicting the roller length of a hydraulic jump on a rough channel bed. Neural Computing and Applications, 29(6), 249-258.

BANHATTI, A. G., and HINGE, G. A. Artificial Neural Network Model for Control of Hydraulic Jump.

FERREIRA, C. (2001). Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems. arXiv preprint cs/0102027.

GÜMÜŞ, V., AKÖZ, M. S., ve KIRKGÖZ, M. S. (2013). Kapak mansabında batmış hidrolik sıçramanın deneysel ve sayısal modellenmesi. İMO Teknik Dergi, 24(2), 6379-6397.

GÜNAY, A. K., (2005). Hidrolik Sıçrama Etkisiyle Pürüzlü Tabanda Oluşan Basınç Çalkantıları. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

HOUICHI, L., DECHEMI, N., HEDDAM, S., and ACHOUR, B. (2013). An evaluation of ANN methods for estimating the lengths of hydraulic jumps in U-shaped channel. Journal of Hydroinformatics, 15(1), 147-154.

HUSAIN, D., ALHAMID, A. A., and NEGM, A. A. M. (1994). Length and depth of hydraulic jump in sloping channels. Journal of Hydraulic Research, 32(6), 899-910.

JANG, J.S., 1993. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. Systems Man And Cybernetics IEEE Transactions On, 23(3): 665-685.

KARBASI, M., and AZAMATHULLA, H. M. (2016). GEP to predict characteristics of a hydraulic jump over a rough bed. KSCE Journal of Civil Engineering, 20(7), 3006-3011.

KIRKGÖZ, M.S., 2013. Akışkanlar Mekaniği. Üçüncü Baskı, Birsen Yayınevi., İstanbul, Türkiye,

KISI, O., SHIRI, J. ve NIKOOFAR, B., 2012. Forecasting Daily Lake Levels Using Artificial Intelligence Approaches. Computers & Geosciences, 41: 169-180.

KUMAR, M., KUMAR, S., and BIDHU, S. (2019). Determination of sequent depth of hydraulic jump over sloping floor with rounded and crushed aggregates using experimental and ANN model. Water Supply, 19(8), 2240-2247.

MAHTABI, G., and SATARI, M. T. (2016). Investigation of hydraulic jump characteristics in rough beds using M5 model tree. Jordan J. Agric. Sci, 12, 631-648.

MARQUARDT, D., 1963. An Algorithm for Least Squares Estimation of Non-Linear Parameters. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, 11(2): 431-441

NASERI, M., and OTHMAN, F. (2012). Determination of the length of hydraulic jumps using artificial neural networks. Advances in Engineering Software, 48,

27-31.
NEGM, A. M., and SHOUMAN, M. A. (2002, April). Artificial Neural Network model for submerged hydraulic jump over roughened floor. In Proc. 2 nd Int. Conf. For Advanced Trends in Engineering (MICATE'2002), April (pp. 7-9).
NEGM, A. M. MODELING OF HYDRAULIC JUMPS FORMED AT DROPS USING ANNs.
PARTAL, R., 2003. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlere Giriş - 1, Nobel Yayın Evi. Ankara.
ROUSHANGAR, K., and HOMAYOUNFAR, F. (2019). Prediction characteristics of free and submerged hydraulic jumps on horizontal and sloping beds using SVM method. KSCE Journal of Civil Engineering, 23(11), 4696-4709.
UĞUR, A., ve KINACI, A. C. (2006). Yapay zeka teknikleri ve yapay sinir ağları kullanılarak web sayfalarının sınıflandırılması. XI. Türkiye'de İnternet Konferansı (inet-tr'06), Ankara, 1-4.
WU, J.D., HSU, C.C. ve CHEN, H.C., 2009. An Expert System Of Price Forecasting For Used Cars Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference. Expert Systems with Applications, 36(4): 7809-7817.
YEŞİLTAŞ, Y. (2018). Yapay zeka yöntemleri ile GAP bölgesindeki aylık tava buharlaşma değerlerinin tahmin edilmesi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER



Adı Soyadı
Uyruğu
Doğum Yeri ve Tarihi
Telefon
e-mail

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe/İl	Bitirme Yılı
Lise	Şanlıurfa ÇEAŞ Anadolu Lisesi	Şanlıurfa	2013
Önlisans	İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğtim Fakültesi Adalet Açıköğretim Önlisans Programı	İstanbul	Devam Ediyor
Lisans	Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	Şanlıurfa	2017
Lisans	Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü	Şanlıurfa	Devam Ediyor
Yüksek Lisans	Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	Şanlıurfa	2021

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017	Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü	Uzman Yardımcısı
2018-2019	Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi	Kurumsal Ruhsat ve Denetim Şefi
2019-Devam Ediyor	Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi	Satınalma Personeli

UZMANLIK ALANI

Açık Kanal Akımları, Yapay Zekâ Yöntemlerinin hidrolik uygulamaları

PROJELER

HÜBAK PROJE NO: 18195

EKLER

EK-1 Model 1' e ait fonksiyon (GEP Yöntemi)

```
% Training Records:  69
% Validation Records:   29
% Fitness Function:  RMSE
% Training Fitness:  969.197760035347
% Training R-square: 0.798249978971704
% Validation Fitness:   969.681338965157
% Validation R-square:  0.766931894260679
%-------------------------------------------------
--------------------

function result = gepModel(d)

G2C1 = -0.142988677632984;

y = 0.0;

y = gep3Rt(d(1));
y = y +
(gep3Rt(((d(1)+G2C1)*d(1)))*((G2C1*d(1))+(d(1)+d(1))
));
y = y + d(1);

result = y;

function result = gep3Rt(x)
if (x < 0.0),
    result = -((-x)^(1.0/3.0));
else
    result = x^(1.0/3.0);
end
```

EK-2 Model 2' ye ait fonksiyon (GEP Yöntemi)

```
% Training Records:  69
% Validation Records:   29
% Fitness Function:  RMSE
% Training Fitness:  969.768155945969
% Training R-square: 0.806798621836521
% Validation Fitness:   967.716408537799
% Validation R-square:  0.737756908350775
%-------------------------------------------------
--------------------

function result = gepModel(d)

G1C9 = 5.07126071962645;
G1C7 = 4.60964257482352;
G2C7 = 10.5353950403374;
G2C1 = -11.1299284999782;
G2C9 = 11.3677373818171;
G3C6 = 5.48338246833337;
G3C1 = 4.67195449690237;

y = 0.0;

y =
((((d(1)*d(1))*G1C9)+(G1C7*d(2)))+((d(1)/d(2))^2));
y = y +
(exp(((d(1)*G2C9)*G2C7))*((G2C7+G2C1)*(d(1)*d(2))));
y = y +
(((d(1)+d(1))*(d(2)+G3C6))*((d(1)*G3C1)*(d(2)+d(2)))
);

result = y;
```

EK-3 Model 3' e ait fonksiyon (GEP Yöntemi)

```
% Training Records:  69
% Validation Records:   29
% Fitness Function:  RMSE
% Training Fitness:  970.345218704036
% Training R-square: 0.814602947170931
% Validation Fitness:   968.727087251904
% Validation R-square:  0.757146758760916
%-------------------------------------------------
--------------------

function result = gepModel(d)

G1C7 = 4.24667226172674;
G2C6 = 8.48872341074862;
G3C9 = -3.14483626819666;

y = 0.0;

y = ((G1C7-d(2))*d(2));
y = y + ((d(3)-((d(3)*d(2))+(d(1)*G2C6)))*d(1));
y = y + exp((G3C9-d(1)));

result = y;
```

EK-4 Model 4' e ait fonksiyon (GEP Yöntemi)

```
% Training Records:  69
% Validation Records:   29
% Fitness Function:  RMSE
% Training Fitness:  969.796056908899
% Training R-square: 0.806254603654012
% Validation Fitness:   969.565612159878
% Validation R-square:  0.760800020148066
%-------------------------------------------------
--------------------

function result = gepModel(d)

G3C3 = -1.10636607975529;
G3C7 = -6.87423279509691;

y = 0.0;

y = (((exp(atan(d(1)))^3)-exp(tanh(d(1))))^2);
y = y + sin(gep3Rt(atan(atan((sin(d(1))-
(d(1)^3))))));
y = y +
(sin(((G3C7*d(1))^5))*((d(1)*d(1))*(G3C3^5)));

result = y;

function result = gep3Rt(x)
if (x < 0.0),
    result = -((-x)^(1.0/3.0));
else
    result = x^(1.0/3.0);
end
```

EK-5 Model 5' e ait fonksiyon (GEP Yöntemi)

```
% Training Records:  69
% Validation Records:   29
% Fitness Function:  RMSE
% Training Fitness:  968.932870977909
% Training R-square: 0.79544669565879
% Validation Fitness:   968.300397888768
% Validation R-square:  0.736982870976696
%-------------------------------------------------
--------------------

function result = gepModel(d)

G1C2 = 9.40122684408093;
G2C9 = -3.04300057985168;
G3C6 = -6.44825586718345;
G3C8 = -2.61024811548204;
G3C7 = -4.7911008026368;

y = 0.0;

y = exp((((d(2)-d(1))-(d(2)*d(1)))/((d(2)-G1C2)-
d(2))));
y = y + (((d(2)^3)+(d(2)-d(1)))-((d(2)*G2C9)-(d(2)-
d(2))));
y = y + sin(gep3Rt((((G3C6-G3C8)+(G3C7-
d(2)))+(d(1)+d(1)))));

result = y;

function result = gep3Rt(x)
if (x < 0.0),
    result = -((-x)^(1.0/3.0));
else
    result = x^(1.0/3.0);
end
```

EK-6 Model 6' ya ait fonksiyon (GEP Yöntemi)

```
% Training Records:  69
% Validation Records:   29
% Fitness Function:  RMSE
% Training Fitness:  971.193504953093
% Training R-square: 0.828676561686878
% Validation Fitness:   966.701379892137
% Validation R-square:  0.706729129855394
%-------------------------------------------------
--------------------

function result = gepModel(d)

G2C7 = 0.983941331125828;
G2C4 = 1.89229857792376;

y = 0.0;

y = (sin(tanh(gep3Rt(d(1))))+tanh((d(2)*d(2))));
y = y + atan((((d(2)/d(1))*(d(2)*G2C7))+((G2C4-
d(2))*d(3))));
y = y + ((d(2)*d(3))-gep3Rt(((d(3)+d(1))+d(1))));

result = y;

function result = gep3Rt(x)
if (x < 0.0),
    result = -((-x)^(1.0/3.0));
else
    result = x^(1.0/3.0);
end
```

EK-7 Model 7' ye ait fonksiyon (GEP Yöntemi)

```
% Training Records:  69
% Validation Records:   29
% Fitness Function:  RMSE
% Training Fitness:  968.951233118659
% Training R-square: 0.794908694235479
% Validation Fitness:   967.736028310947
% Validation R-square:  0.73148561464539
%-------------------------------------------------
--------------------

function result = gepModel(d)

G3C0 = 9.02218695638905;
G3C3 = 0.991545381328776;

y = 0.0;

y = (sinh(sinh(tan(realsqrt(sinh(tan(d(1)))))))^2);
y = y +
tan(realsqrt((tan(tan(abs(realsqrt(d(1)))))^2)));
y = y + (((realpow(asin((d(1)*G3C3)),(1.0/4.0)))-
tan(sin(G3C0)))^2);

result = y;
```

EK-8 Model 8' e ait fonksiyon (GEP Yöntemi)

```
% Training Records:  69
% Validation Records:   29
% Fitness Function:  RMSE
% Training Fitness:  969.547553186683
% Training R-square: 0.802958880321287
% Validation Fitness:   968.44215744401
% Validation R-square:  0.742819330231588
%-------------------------------------------------
--------------------

function result = gepModel(d)

G1C7 = 9.16912442396313;
G1C2 = 1.47528339487899;
G2C1 = -9.4002773211098;
G2C6 = 4.78255561998352;
G2C5 = 6.47822419454969;
G3C3 = 4.18857169759242;

y = 0.0;

y = ((tanh(sin(G1C7))-((d(2)^2)-(d(1)*G1C2)))^2);
y = y +
((sinh(G2C1)+(G2C6*d(2)))*(cosh(G2C5)*(d(1)^5)));
y = y +
(d(2)*realpow(G3C3,realsqrt(realpow((4.0*atan(1.0)),
d(1)))));

result = y;
```

EK-9 Model 9' a ait fonksiyon (GEP Yöntemi)

```
% Training Records:  69
% Validation Records:   29
% Fitness Function:  RMSE
% Training Fitness:  972.26877440133
% Training R-square: 0.83752323567357
% Validation Fitness:   967.002885964479
% Validation R-square:  0.721018570847517
%-------------------------------------------------
--------------------

function result = gepModel(d)

G1C3 = 63.3926590602127;
G3C5 = 5.93250810971923;
G3C9 = -1.5408478194525;

y = 0.0;

y = tan(gep5Rt(((atan(G1C3)-atan(d(2)))*(d(2)^2))));
y = y +
(realpow((10^d(2)),tan(d(2)))*(cosh(d(3))*(d(2)*d(1)
)));
y = y +
tanh((realsqrt((G3C5*d(2)))*((G3C9^4)*(d(2)*d(2)))))
;

result = y;

function result = gep5Rt(x)
if (x < 0.0),
    result = -((-x)^(1.0/5.0));
else
    result = x^(1.0/5.0);
end
```

EK-10 Model 10' a ait fonksiyon (GEP Yöntemi)

```
% Training Records:  69
% Validation Records:   29
% Fitness Function:  RMSE
% Training Fitness:  968.021875853464
% Training R-square: 0.794870494071732
% Validation Fitness:   965.61143204477
% Validation R-square:  0.734411370497976
%-------------------------------------------------
---------------------

function result = gepModel(d)

G1C2 = 2.61568222104251;

y = 0.0;

y = (((d(1)*G1C2)+(d(1)+d(1)))-(d(1)-d(1)));

result = y;
```

EK-11 Model 11' e ait fonksiyon (GEP Yöntemi)

```
% Training Records:  69
% Validation Records:   29
% Fitness Function:  RMSE
% Training Fitness:  968.827681328471
% Training R-square: 0.794195291176718
% Validation Fitness:   968.192121292715
% Validation R-square:  0.736759015748162
%-------------------------------------------------
--------------------

function result = gepModel(d)

G1C8 = -5.22626376863918;
G1C1 = -3.95703909421064;

y = 0.0;

y = (((d(2)*d(2))*(G1C1-d(1)))-(G1C8*d(2)));

result = y;
```

EK-12 Model 12' ye ait fonksiyon (GEP Yöntemi)

```
% Training Records:  69
% Validation Records:   29
% Fitness Function:  RMSE
% Training Fitness:  968.991259559546
% Training R-square: 0.800718842975144
% Validation Fitness:   967.216016378451
% Validation R-square:  0.74468134318887
%-------------------------------------------------
--------------------

function result = gepModel(d)

G1C7 = 4.85892850249846;

y = 0.0;

y = (((G1C7-d(2))-(d(2)/d(3)))*d(2));

result = y;
```

EK-13 Model 1' e ait fonksiyon (YSA Yöntemi)

```
function [Y,Xf,Af] = neural_function(X,~,~)
%NEURAL_FUNCTION neural network simulation function.
%
% Auto-generated by MATLAB, 31-Dec-2020 12:09:34.
%
% [Y] = neural_function(X,~,~) takes these
arguments:
%
%   X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
%   Each X{1,ts} = 1xQ matrix, input #1 at timestep
ts.
%
% and returns:
%   Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
%   Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep
ts.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is
the number of timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1.xoffset = 0.11;
x1_step1.gain = 28.5714285714286;
x1_step1.ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [-
6.9657045670951864835;0.89260073209766055413];
IW1_1 = [9.4939578593439701848;-
0.38893705361371444518];

% Layer 2
b2 = 4.206405813370693636;
LW2_1 = [-0.45406670629854112287 -
6.9445065880057290642];

% Output 1
y1_step1.ymin = -1;
y1_step1.gain = 6.34920634920635;
y1_step1.xoffset = 0.555;
```

```
% ===== SIMULATION ========

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX
  X = {X};
end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
  Q = size(X{1},2); % samples/series
else
  Q = 0;
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Input 1
    Xp1 = mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1);

    % Layer 1
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*Xp1);

    % Layer 2
    a2 = tansig_apply(repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1);

    % Output 1
    Y{1,ts} = mapminmax_reverse(a2,y1_step1);
end

% Final Delay States
Xf = cell(1,0);
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX
  Y = cell2mat(Y);
end
end
```

```
% ===== MODULE FUNCTIONS ========

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y = mapminmax_apply(x,settings)
  y = bsxfun(@minus,x,settings.xoffset);
  y = bsxfun(@times,y,settings.gain);
  y = bsxfun(@plus,y,settings.ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n,~)
  a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing
Function
function x = mapminmax_reverse(y,settings)
  x = bsxfun(@minus,y,settings.ymin);
  x = bsxfun(@rdivide,x,settings.gain);
  x = bsxfun(@plus,x,settings.xoffset);
end
```

EK-14 Model 2' ye ait fonksiyon (YSA Yöntemi)

```
function [Y,Xf,Af] = neural_function(X,~,~)
%NEURAL_FUNCTION neural network simulation function.
%
% Auto-generated by MATLAB, 31-Dec-2020 12:15:51.
%
% [Y] = neural_function(X,~,~) takes these
arguments:
%
%   X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
%   Each X{1,ts} = 2xQ matrix, input #1 at timestep
ts.
%
% and returns:
%   Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
%   Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep
ts.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is
the number of timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1.xoffset = [0.01;0.112];
x1_step1.gain = [105.263157894737;30.3030303030303];
x1_step1.ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [-
0.037603591311413782361;38.469100186962165822];
IW1_1 = [-0.024830643895873808631
1.3512084476628658525;42.112452854429228921 -
12.969409399597896737];

% Layer 2
b2 = -0.091294727298771180535;
LW2_1 = [0.958777545600324798691 -
0.122761139811309635821];

% Output 1
```

```
y1_step1.ymin = -1;
y1_step1.gain = 6.2111801242236;
y1_step1.xoffset = 0.548;

% ===== SIMULATION ========

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX
  X = {X};
end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
  Q = size(X{1},2); % samples/series
else
  Q = 0;
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Input 1
    Xp1 = mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1);

    % Layer 1
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*Xp1);

    % Layer 2
    a2 = tansig_apply(repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1);

    % Output 1
    Y{1,ts} = mapminmax_reverse(a2,y1_step1);
end

% Final Delay States
Xf = cell(1,0);
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX
  Y = cell2mat(Y);
```

```
end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS ========

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y = mapminmax_apply(x,settings)
  y = bsxfun(@minus,x,settings.xoffset);
  y = bsxfun(@times,y,settings.gain);
  y = bsxfun(@plus,y,settings.ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n,~)
  a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing
Function
function x = mapminmax_reverse(y,settings)
  x = bsxfun(@minus,y,settings.ymin);
  x = bsxfun(@rdivide,x,settings.gain);
  x = bsxfun(@plus,x,settings.xoffset);
end
```

EK-15 Model 3' e ait fonksiyon (YSA Yöntemi)

```
function [Y,Xf,Af] = neural_function(X,~,~)
%NEURAL_FUNCTION neural network simulation function.
%
% Auto-generated by MATLAB, 31-Dec-2020 12:16:28.
%
% [Y] = neural_function(X,~,~) takes these
arguments:
%
%   X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
%   Each X{1,ts} = 3xQ matrix, input #1 at timestep
ts.
%
% and returns:
%   Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
%   Each Y{1,ts} = 1xQ matrix, output #1 at timestep
ts.
%
% where Q is number of samples (or series) and TS is
the number of timesteps.

%#ok<*RPMT0>

% ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====

% Input 1
x1_step1.xoffset = [0.01;0.112;1.062];
x1_step1.gain =
[105.263157894737;29.4117647058824;0.664893617021277
];
x1_step1.ymin = -1;

% Layer 1
b1 = [-
1.3207121226747833287;0.21220700418349588978;-
1.8121249278198661159;1.94422159142618933328];
IW1_1 = [1.7931079232054567552 2.5604377852195372434
-0.898327384283511998222;-0.35519915577714872297 -
0.78374367953710177837 0.153925483395896456344;-
6.2860944109259495605 -0.35901576582860217357
0.046105360206840903525;7.6114969451541956147 -
0.12915763745736177914 0.323607739672116700999];
```

```
% Layer 2
b2 = 0.42506233015337357983;
LW2_1 = [-1.2538583228675093117 -
4.2016035199153822788 13.693670731287069131
12.85633210839388596];

% Output 1
y1_step1.ymin = -1;
y1_step1.gain = 6.2111801242236;
y1_step1.xoffset = 0.548;

% ===== SIMULATION ========

% Format Input Arguments
isCellX = iscell(X);
if ~isCellX
  X = {X};
end

% Dimensions
TS = size(X,2); % timesteps
if ~isempty(X)
  Q = size(X{1},2); % samples/series
else
  Q = 0;
end

% Allocate Outputs
Y = cell(1,TS);

% Time loop
for ts=1:TS

    % Input 1
    Xp1 = mapminmax_apply(X{1,ts},x1_step1);

    % Layer 1
    a1 = tansig_apply(repmat(b1,1,Q) + IW1_1*Xp1);

    % Layer 2
    a2 = tansig_apply(repmat(b2,1,Q) + LW2_1*a1);

    % Output 1
    Y{1,ts} = mapminmax_reverse(a2,y1_step1);
end
```

```
% Final Delay States
Xf = cell(1,0);
Af = cell(2,0);

% Format Output Arguments
if ~isCellX
  Y = cell2mat(Y);
end
end

% ===== MODULE FUNCTIONS ========

% Map Minimum and Maximum Input Processing Function
function y = mapminmax_apply(x,settings)
  y = bsxfun(@minus,x,settings.xoffset);
  y = bsxfun(@times,y,settings.gain);
  y = bsxfun(@plus,y,settings.ymin);
end

% Sigmoid Symmetric Transfer Function
function a = tansig_apply(n,~)
  a = 2 ./ (1 + exp(-2*n)) - 1;
end

% Map Minimum and Maximum Output Reverse-Processing
Function
function x = mapminmax_reverse(y,settings)
  x = bsxfun(@minus,y,settings.ymin);
  x = bsxfun(@rdivide,x,settings.gain);
  x = bsxfun(@plus,x,settings.xoffset);
end
```