Araştırma Makalesi https://doi.org/10.46810/tdfd.893630 Research Article

Türk Doğa ve Fen Dergisi
Turkish Journal of Nature and Science
www.dergipark.gov.tr/tdfd

Yapay Zekâ Yöntemleri ile Adıyaman ve Diyarbakır İstasyonlarının Aylık Tava Buharlaşmalarının Tahmin Edilmesi

Veysel GÜMÜŞ[1*], Yunus YEŞİLTAŞ[1], Oğuz ŞİMŞEK[1]

[1] Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye
Veysel GÜMÜŞ ORCID No: 0000-0003-2321-9526
Yunus YEŞİLTAŞ ORCID No: 0000-0002-2301-2712
Oğuz ŞİMŞEK ORCID No: 0000-0001-6324-0229

**Sorumlu yazar: gumus@harran.edu.tr*

(Alınış: 09.03.2021, Kabul: 07.09.2021, Online Yayınlanma: 31.12.2021)

Anahtar Kelimeler
Adıyaman, Diyarbakır, Buharlaşma tahmini, GEP, YSA, ANFİS

Öz: Buharlaşma, hidrolojik çevrimin en önemli elemanlarından biridir. Buharlaşmanın doğru bilinmesi sulama sistemi tasarımı, hidrolojik modelleme, nehir akışı tahmini ve sulama planlaması da dâhil olmak birçok alanda temel bir parametre olarak kullanılmaktadır. Tahmini için farklı ampirik yaklaşım bulunmasına rağmen, son zamanlarda yapay zekâ yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Güney Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan Adıyaman ve Diyarbakır meteoroloji gözlem istasyonlarında ölçülen aylık tava buharlaşması; sıcaklık, rüzgâr hızı, nisbi nem, basınç, güneşlenme şiddeti ve aylık açık gün sayısı parametreleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Buharlaşmanın tahmininde farklı girdi kombinasyonlarıyla, Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Gen Ekspresyon Programlama (GEP) yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerin buharlaşmayı tahmin etmedeki başarı sıralaması R^2, Ortalama Karesel Hata (OKH) ve Ortalama Mutlak Hata (OMH) kriterleri kullanılarak belirlenmiştir. Ölçülen ve bu yöntemlerle tahmin edilen değerlerin karşılaştırılmasından, GEP yönteminin kullanılan diğer iki yönteme göre daha başarılı olduğu ve bu yöntemle test sürecinde hesaplanan en yüksek R^2 değerleri, Adıyaman istasyonu için 0.923, Diyarbakır istasyonu için ise 0.963 olmuştur.

Estimation of Monthly Pan Evaporation of Adıyaman and Diyarbakır Stations with Artificial Intelligence Methods

Keywords
Adıyaman, Diyarbakır, Evaporation forecast, GEP, ANN, ANFIS

Abstract: Evaporation, one of the most important elements of the hydrological cycle. In addition, accurate estimation of evaporation is used as a fundamental parameter in many areas including design of irrigation system, hydrological modeling, river flow estimation and irrigation planning. Although there are different empirical approaches to prediction of evaporation, artificial intelligence methods have also been used. In this study, monthly pan evaporation measured at Adıyaman and Diyarbakır stations in the Southeastern Anatolia Region are estimated using the different climatic parameters such as temperature, wind speed, relative humidity, pressure, solar radiation and monthly open days. Artificial Neural Networks (ANN), Adaptive Network Based Fuzzy Logic Inference System (ANFIS) and Gene Expression Programming (GEP) methods are used to predict pan evaporation with different input combinations. To determine performance of these methods to prediction of pan evaporation, R^2, Mean Square Error (MSE) and Mean Absolute Error (MAE) criteria are used. The GEP method is more successful than the other two methods used and the highest R^2 values calculated with this method during the test process are 0.923 for Adıyaman station and 0.963 for Diyarbakır station.

1. GİRİŞ

Hidrolojik çevrimin önemli parametrelerinden biri olan buharlaşma, su kaynaklarının yönetilmesinde sıklıkla kullanılır. Özellikle, baraj gölleri ya da sulama amaçlı tasarlanan göletlerde buharlaşma, bu yapıların tasarımında ana faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Buharlaşma bütün su kaynakları çalışmaları için göz ardı edilemez bir parametre olduğundan, bitkilerin su tüketim miktarını, havzalardaki verimi, haznelerin kapasitelerini ve pompa istasyonlarının büyüklüğünü etkilemektedir.

Buharlaşma atmosferik basınç, sıcaklık, rüzgâr hızı, bağıl nem, güneşlenme süresi ve güneşlenme şiddeti gibi birçok iklim parametresinden etkilenir. Buharlaşmanın birçok parametreye bağlı olması nedeniyle, hesaplanması

ve doğru tahmin edilmesi oldukça zordur. Buharlaşma miktarını belirli bir zaman aralığında belirlemek için genellikle buharlaşma tavası kullanılmaktadır. Bunun yanında, buharlaşma tavası kullanılmadan, geleneksel yöntemlerle de meteorolojik veriler girdi olarak kullanılarak buharlaşma tahmin edilebilmektedir [1-5]. Bunun yanında, hidro-meteorolojik verilerin analiz edildiği çalışmalarda, yapay zekâ yöntemlerinin önemi ve kullanım faaliyetleri gün geçtikçe çoğalmaktadır. Özellikle, doğrusal olmayan sistemlerin davranışlarını modellemede yapay zekâ yöntemleri (Yapay Sinir Ağları-YSA, Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi-ANFIS, Gen Expression Programlama-GEP, Genetik Programlama-GP vb.) sıklıkla kullanılmaktadır. Uygulama kolaylığı açısından, fazla girdiye ihtiyaç duymamasından ötürü bu yöntemler oldukça kullanışlıdır. Örneğin, Rahimikhoob [6], İran'ın güneybatısı Khuzestan Ovası'nda bulunan Safiabad Tarımsal Araştırma Merkezi (SARC)'ndeki tava buharlaşmasını, YSA yöntemiyle tahmin etmiş ve bu yöntemin sonuçlarını ampirik Hargreaves denklemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır. Buharlaşmayı tahmin etmede, SARC hava istasyonunda 1996-2001 yılları arasını kapsayan günlük minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık ve güneşlenme şiddeti verileri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, YSA yönteminin buharlaşmayı tahmin etmede Hargreaves yönteminden daha iyi olduğunu bildirmiştir. Shiri et al. [7], günlük iklim parametrelerini kullanarak günlük buharlaşma modellemesi için ANFIS ve YSA yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada, ABD'nin Illinois eyaletindeki üç farklı meteoroloji istasyonuna ait 2005-2008 arasını kapsayan günlük hava sıcaklığı, güneşlenme şiddeti, rüzgâr hızı, bağıl nem, yüzey toprak sıcaklığı ve yağış parametreleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, özellikle sınırlı iklim parametreleri kullanıldığında ANFIS yönteminin buharlaşmanın modellemesinde daha başarılı olduğunu göstermiştir. Kisi ve ark. [8], çalışmalarında günlük buharlaşma tahmini için GP'nin yeteneklerini araştırmışlardır. Buharlaşmanın tahmininde hava sıcaklığı, güneşlenme süresi, rüzgâr hızı ve bağıl nemi kullanarak çeşitli kombinasyonlarını içeren farklı GP modelleri geliştirmişlerdir. GP'nin yeteneklerini değerlendirmek için aynı veri setini kullanarak farklı ANFIS ve YSA modelleri kurulmuş ve GP'nin ANFIS ve YSA yaklaşımlarına üstünlüğü belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, GP modelinin mevcut iklim verileri ile buharlaşmanın tahmin edilmesinde oldukça başarılı olduğunu bildirmişlerdir. Terzi [9], hidrolojik ve meteorolojik araştırmalarda önemli bir parametre olan günlük tava buharlaşmasını tahmin etmek için GEP ve ANFIS yöntemlerini ele alımıştır. Girdi parametresi olarak 1998-2005 yılları arasındaki Kovada Gölü ve Karacaören Baraj Gölüne ait buharlaşma değerleri ile Eğirdir Gölünün 1, 2 ve 3 gün önceki buharlaşma değerleri kullanılmıştır. Çeşitli girdi kombinasyonları denenerek yapılan tahminlerde, GEP yönteminin ANFIS yöntemine göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Gümüş ve ark. [10], Adana istasyonuna ait aylık ortalama buharlaşmayı tahmin etmek amacıyla YSA, ANFIS ve GEP yöntemlerini kullanmışlardır. Bağıl nem, atmosfer basıncı, güneşlenme şiddeti, aylık ortalama sıcaklık, rüzgâr hızı ve güneşlenme süresi parametreleri kullanılarak buharlaşma değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, ele alınan tüm yöntemlerin buharlaşma tahmininde kullanılabilir olduğu ve ANFIS yönteminde 6 girdili kombinasyonun, oluşturulan diğer tüm modellemelerin içinde buharlaşmayı tahmin etmede en başarılı sonucu verdiği bildirilmiştir. Rashid Niaghi et. al. [11], Kızıl Nehir Vadisi'nde bulunan nemli iklime sahip altı meteoroloji istasyonunda elde edilen buharlaşmayı tahmin etmek için Gen İfade Programlama (GEP), Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine-SVM), Çoklu maksimum ve üç giriş kombinasyonu ile Doğrusal Regresyon (Multiple Linear Regression-MLR) ve Rasgele Orman (Random Forest-RF) yöntemlerini kullanmışlardır. Buharlaşmayı tahmin etmek için 17 yıl boyunca günlük olarak kaydedilen minimum hava sıcaklığına dayalı (T_{max}, T_{min}), kütle transferine dayalı (T_{max}, T_{min}, U: rüzgâr hızı) ve radyasyona dayalı (R_s: güneş radyasyonu, T_{max}, T_{min}) değerleri kullanılmıştır. Farklı girdi kombinasyonlarında kullanılan yöntemlerin buharlaşmayı tahmin etme başarılarının karşılaştırılmasından, RF modelinin diğer yöntemlerden daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmaların sonucunda, Dünyanın çok farklı bölgelerinde buharlaşmanın tahmin edilmesinde çeşitli girdi parametreleri kullanılarak farklı yapay zekâ yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Türkiye sınırları içerisinde yapılan buharlaşma tahmini çalışmalarının oldukça kısıtlı olması ve su kaynaklarının planlaması açısından oldukça önemli parametrenin tahmin modelinin oluşturulması önemli bir konu eksikliği olarak belirlenmiştir. Ayrıca, Güney Doğu Anadolu Projesi'nin yürütüldüğü bölgede su yapılarının oldukça fazla olması ve bu proje kapsamında sulama faaliyetlerinin önemli olduğu ve yoğunluk kazanmasından bölgenin buharlaşma tahmininin yapılması gerekliliği bulunmakta ve planlamacılara önemli bilgiler sunacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada, GAP bölgesindeki Adıyaman ve Diyarbakır illeri için aylık tava buharlaşma değerlerini yapay zekâ yöntemleri olan YSA, ANFIS ve GEP yöntemleri ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu istasyonlar için aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama rüzgâr hızı, aylık ortalama nisbi nem, aylık ortalama aktüel basınç, aylık açık günler sayısı ve günlük toplam güneşlenme şiddeti aylık ortalaması meteorolojik değişkenlerini içeren, çeşitli girdi kombinasyonları denenerek yapılan bu çalışmada, aylık tava buharlaşması tahminleri yapılmış ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

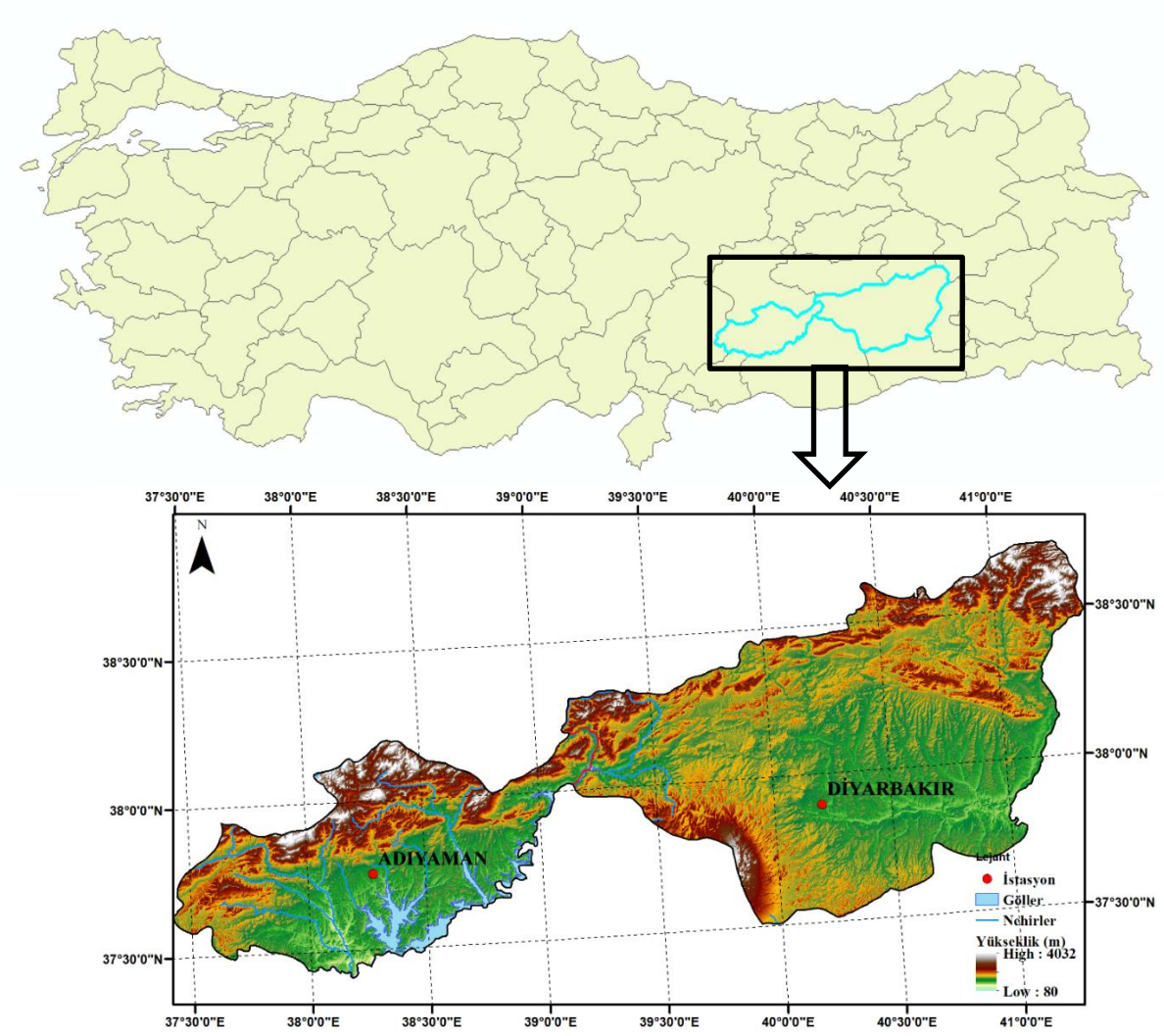
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Güney Doğu Anadolu Bölgesi, ülkemizin yüzölçümü bakımından en küçük bölgesidir. Kısmen Fırat ve Dicle havzalarının içinde yer aldığı bu bölgede, önemli su ve toprak kaynakları bulunur. Bunun yanında, yaz sıcaklığının ve buharlaşmanın en fazla olduğu bir bölgemizdir. Güneydoğu Anadolu Bölge'sini kalkındırma amaçlı 1989 yılında master planı yapılan Güney Doğu Anadolu Projesi (GAP), ülkemizde şimdiye

kadar planlanmış en detaylı ve maliyetli projedir. Etkileşimli bölgesel kalkınma yaklaşımı ve sürdürülebilir insani gelişme felsefesi ile GAP, dünya çapında adından söz ettirmiş ve marka değeri olan bir projedir. Proje alanı Fırat-Dicle Havzası ile yukarı Mezopotamya ovalarında yer alan 9 ili (Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Siirt, Şanlıurfa, Şırnak) kapsamaktadır [12].

Bu çalışmada, Türkiye için su kaynakları ve tarımsal açıdan stratejik bir öneme sahip olan Güney Doğu Anadolu Bölge'sinde yer alan 17265-Adıyaman ve 17280-Diyarbakır illeri ele alınmıştır (Şekil 1). Adıyaman istasyonu 37,7553K- 38,2775D, Diyarbakır istasyonu ise 37,8973K- 40,2027D koordinatlarında bulunmakta ve yükseklikleri sırasıyla 672 ve 674m'dir.



Şekil 1. Çalışma alanı

Tablo 1'de, çalışma kapsamında ele alınan Adıyaman ve Diyarbakır istasyonlarının buharlaşmasını tahmin etmede kullanılan meteorolojik değerlerinin istatistiksel parametreleri verilmiştir. Tabloda bulunan istatiksel parametreler aritmetik ortalama (X_{ort}), minimum değer (X_{min}), maksimum değer (X_{mak}), standart sapma (S_x) ve çarpıklık katsayısı (C_{sx}) şeklindedir. Kullanılan meteorolojik veriler, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, her iki istasyonda elde edilen sıcaklık, rüzgâr hızı, nispi nem, aktüel basınç ve açık gün sayısı değerlerin maksimum, minimum, ortalama, standart sapma değerlerinin ve çarpıklık katsayısının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Diyarbakır istasyonuna ait buharlaşma miktarının ortalamasının ve maksimum değerlerinin Adıyaman istasyonundan daha büyük olduğu görülürken, güneşlenme şiddetinde ise bu durumun tam tersi söz konusudur. Adıyaman istasyonunda 1966-2016, Diyarbakır istasyonunda ise 1963-2016 yılları arasında ölçülmüş tava buharlaşma değerleri kullanılmıştır. MGM'den temin edilen tava buharlaşma verileri, iki istasyon içinde çoğunlukla Nisan-Kasım aylarında ölçüldüğünden, buharlaşmanın tahmini için kullanılan diğer meteorolojik parametrelerde de bu aylara karşılık gelen değerler kullanılmıştır. Meteorolojik parametrelerde ölçümü bulunmayan veriler, komşu istasyonlardan regresyon yöntemi ile belirlenmiştir.

Tablo 1. Adıyaman ve Diyarbakır istasyonların meteorolojik değerleri için istatistiksel parametreler

İstasyon	Parametre	Birim	X_{ort}	X_{mak}	X_{min}	S_x	C_{sx}
Adıyaman	Sıcaklık	°C	20.7	33.5	3.1	7.88	-0.258
	Rüzgâr Hızı	m/s	2.1	4	0.7	0.56	0.515
	Nispi Nem	%	44.9	80.6	13.8	15.19	0.319
	Aktüel Basınç	hPa	934.6	944	920.5	4.34	-0.041
	Açık Günler Sayısı		17.9	31	2	8.59	-0.021
	Güneşlenme Şiddeti	Cal/cm^2	366.5	637.5	94.2	124.31	-0.374
	Buharlaşma (PE)	mm	164.1	467.2	1.4	99.95	0.280
Diyarbakır	Sıcaklık	°C	21.2	33.3	3.3	7.57	-0.282
	Rüzgâr Hızı	m/s	2.6	5.2	0.9	0.73	0.328
	Nispi Nem	%	46.1	83.2	15.1	17.13	0.227
	Aktüel Basınç	hPa	934.0	943.8	925.2	4.57	0.124
	Açık Günler Sayısı		18.0	31.0	1.0	8.68	-0.161
	Güneşlenme Şiddeti	Cal/cm^2	469.8	730.6	114.2	146.59	-0.471
	Buharlaşma (PE)	mm	226.6	625.8	0.9	133.70	0.256

2.2. Yöntem

2.1.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağı, belirli bir ağ mimarisine göre birbirine bağlanan birçok yapay nörondan meydana gelir. Oluşturulan bu ağın temel amacı, girdileri anlamlı çıktılara dönüştürmektir. 2000'li yıllar sonrasında kullanımı yoğunlaşan YSA ile, yağış-akış modellemesi, yeraltı suyu, yağış ve su kalitesi gibi farklı hidrolojik parametrelerin tahmin edilmesinde popüler bir kullanım alanına sahip olmuştur [13, 14]. Hidroloji uygulamalarında kullanılan en popüler YSA modeli, çok katmanlı algılayıcıdır.

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

Jang [15] tarafından önerilen uyarlamalı ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems -ANFIS) yöntemi yapay sinir ağları ile bulanık mantık sistemlerini birleştirmektedir. Bu yöntem, Sugeno tipi bulanık sistem bir ağ modelini yapay sinir ağları yöntemi ile eğitmektedir. Böylece, giriş ve çıkış verileri arasındaki ilişkiyi kurmak ve üyelik fonksiyonunu belirlemek için yapay sinir ağının algoritmaları kullanılmaktadır [16].

2.2.3. Gen Ekspresyon Programlama (Gene-Expression Programing-GEP)

GEP yöntemi, karmaşık doğrusal olmayan problemleri çözmek için genetik algoritmanın (GA) uzun doğrusal sembol kodlamasını ve genetik programlamayı (GP) birleştirerek, Ferreira [17] tarafından önerilmiştir. GEP yöntemi çözüm için, birincil bir ırkla başlar ve önceden belirlenmiş bir hedefe doğru evrimleşmek için seçim, kopyalama, çiftleşme, mutasyon, adaptasyon, tersine çevirme ve dönüşüm dahil olmak üzere sürekli bir evrim sürecinden geçer. Bu yöntem, GA'da bulunan erken yakınsama eksikliklerini iyileştirmesi ve evrimleşme hızının GA ve GP'den 100 kat daha yüksek olması nedeniyle ayrıca kullanışlıdır [18]. Ayrıca bu yöntem yapısı gereği bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi açık formüllerle verebilme kabiliyetine sahiptir.

Bu çalışma kapsamında GEP yönteminde tahmin modeli tasarlanırken uygunluk fonksiyonu olarak karekök ortalama karesel hata (KOKH) parametresi seçilmiştir. Tava buharlaşma değerini tahmin etmek için üç alt fonksiyon kullanılmıştır. Yöntem ile elde edilen her bir alt fonksiyonun toplanması ile buharlaşma tahmini için kullanılacak fonksiyon elde edilmiş olur (Denklem 1).

$$PE = SubET_1 + SubET_2 + SubET_3 \quad (1)$$

2.2.4. Performans Kriterleri

Adıyaman ve Diyarbakır istasyonlarına ait aylık ortalama buharlaşmayı tahmin etmek amacıyla kullanılan modellerin başarısını belirlemek için başarı kriteri olarak belirlilik katsayısı (R^2), ortalama karesel hata (OKH) ve ortalama mutlak hata (OMH) hesaplanmıştır. R^2, OKH ve OMH değerlerinin hesaplanması sırasıyla Denklem 2, 3 ve 4'te verilmiştir.

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

$$OKH = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(PE_{hesap} - PE_{tah\min})^2 \quad (3)$$

$$OMH = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\left|PE_{hesap} - PE_{tah\min}\right| \quad (4)$$

Denklemlerde bulunan N toplam veri sayısını, PE_{hesap} hesaplanan tava buharlaşma değerini, $PE_{ortalama}$ hesaplanan tava buharlaşma değerlerinin ortalamasını, PE_{tahmin} ise model sonucunda elde edilen tava buharlaşma değerini ifade etmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında, GAP bölgesinde bulunan 17265-Adıyaman ve 17280-Diyarbakır istasyonlarına ait aylık tava buharlaşma değerleri aynı istasyona ait meteorolojik veriler kullanılarak YSA, ANFIS ve GEP yöntemleri ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Buharlaşmayı tahmin etmek için oluşturulan 3 farklı girdi kombinasyonu Tablo 2'de verilmiştir. DM01 kombinasyonu için girdi parametresi olarak aylık ortalama sıcaklık (T) ve aylık ortalama rüzgâr hızı (W), DM02 için aylık ortalama sıcaklık (T), aylık ortalama rüzgâr hızı (W), aylık ortalama nisbi nem (H) ve aylık ortalama basınç (P) değerleri kullanılmıştır. DM03 için aylık ortalama sıcaklık (T), aylık ortalama rüzgâr hızı (W), aylık ortalama nisbi nem (H), aylık ortalama aktüel basınç (P), aylık toplam açık gün sayısı (OD) ve günlük toplam global güneşlenme şiddeti aylık ortalaması (SR) değerleri kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında analizler YSA ve ANFIS için Matlab programında hazırlanan kodlar ile yapılmış, GEP yöntemi ise Genexprotools yazılımı ile yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen değerlerin negatif değer olması durumu için hazırlanan kodlarda bu değerlerin 0 olarak alınması programlanmıştır.

Tablo 2. Tahmin çalışması için kombinasyonlar ve girdi parametreleri

Kombinasyon Adı	Girdi Parametreleri
DM01	T, W
DM02	T, W, H, P
DM03	T, W, H, P, OD, SR

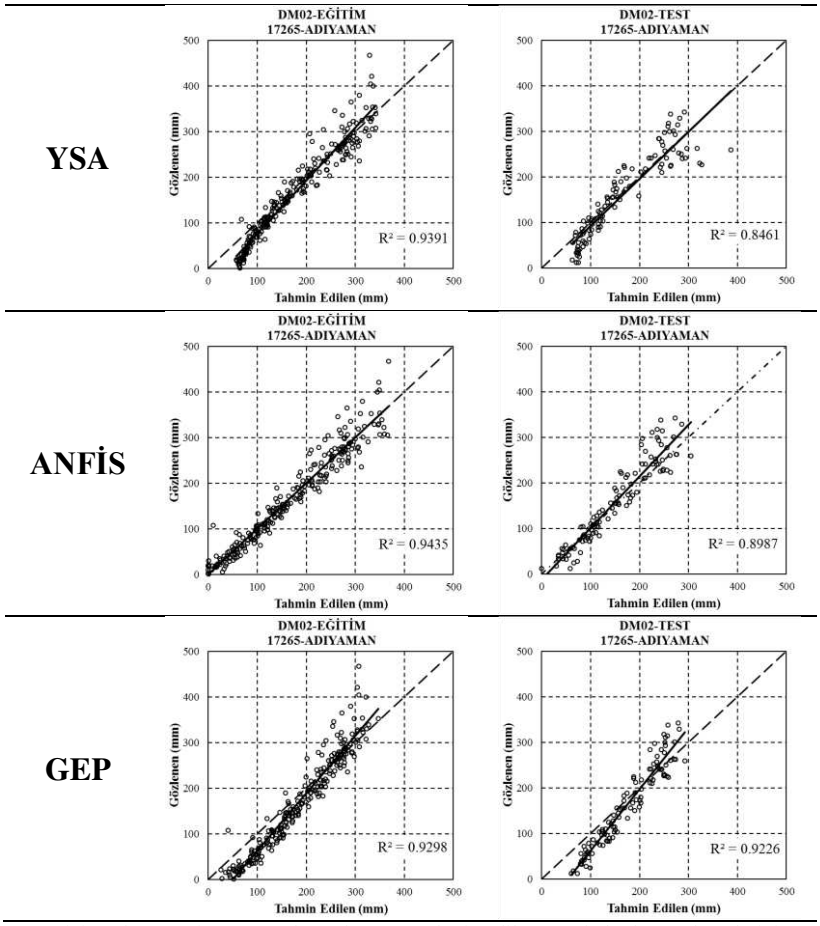
3.1. Adıyaman İstasyonu Buharlaşma Tahmini

Adıyaman istasyonu için yapılan tahmin çalışmasından elde edilen sonuçlar, tüm girdi kombinasyonları ve kullanılan tüm modeller için Tablo 3'te verilmiştir. Burada, karşılaştırma kriteri olarak verilen R^2, OKH ve OMH değerleri hem eğitim hem de test verileri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. En başarılı model sonuçları kalın olarak verilmiş ve böylelikle kolay ayırt edilmesi sağlanmıştır. Buna göre, DM01 kombinasyonu için ele alınan üç karşılaştırma kriterinde de test sürecinde en başarılı sonucu veren yöntem GEP olarak belirlenmiştir. Burada, R^2 değeri eğitim sürecinde 0.939, test sürecinde ise 0.918 olarak hesaplanmıştır. DM02 kombinasyonunda ise test sürecinde 0.923 ile en yüksek R^2 değerini GEP yöntemi vermiştir. DM03 kombinasyonunda ise test sürecinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde GEP yöntemi en büyük R^2 değerine sahiptir. Özellikle, DM02 ve DM03 kombinasyonlarının OKH ve OMH değerleri bakımından yeni eklenen açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerlerinin sonuçları iyileştirmediği görülmüştür.

Tablo 3. Adıyaman istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları

		DM01			DM02			DM03		
		R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH
YSA	**Eğitim**	0.931	1016.76	24.72	0.939	968.99	23.83	0.940	974.28	23.38
	Test	0.900	937.60	24.53	0.846	1252.35	27.87	0.873	1184.75	29.46
ANFIS	**Eğitim**	0.940	646.53	17.83	0.943	610.96	17.38	0.946	579.27	16.45
	Test	0.896	1386.33	27.61	0.899	**976.22**	**22.36**	0.899	**958.65**	**23.78**
GEP	**Eğitim**	0.939	660.98	17.82	0.930	1419.20	30.90	0.937	686.18	18.23
	Test	**0.918**	**823.48**	**23.28**	**0.923**	1273.25	30.58	**0.910**	1159.12	24.24

Farklı girdi kombinasyonlarının test sürecinde elde edilen sonuçlarının karşılaştırılmasından, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve basınç değerlerini kullanarak tava buharlaşma değerlerini tahmin etmek için oluşturulan DM02 kombinasyonun en başarılı model girdi kombinasyonu olduğu görülmekte ve bu girdi kombinasyonuna ait saçılım grafikleri Şekil 2'de verilmiştir. Burada, DM02 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde, YSA ve GEP yöntemleri ile yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 kombinasyonuna benzer bir şekilde yaklaşık 400 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise YSA yönteminde eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu, DM02 için verilen saçılım grafiklerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca, test sürecinde en iyi R^2 değerine sahip GEP yöntemi ile tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafiği incelendiğinde, 200 mm altındaki değerlerin ölçülmüş değerlerinden daha büyük, 200 mm üstündeki değerlerin ise ölçülmüş değerlerden daha küçük olacak şekilde tahmin edildiği görülmektedir.



Şekil 2. Farklı yöntemlerle DM02 için Adıyaman istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri

Şekil 3'te, Adıyaman istasyonu için en iyi tahmin sonucunu veren DM02 için GEP ile elde edilen buharlaşma değerleri ile gözlenen değerlerin zamansal dağılımları verilmiştir. Burada da saçılım grafiklerine benzer bir şekilde eğitim sürecinde yaklaşık 300 mm üzerindeki değerlerin tahmininde GEP modelinin başarılı olmadığı, ancak 300 mm'den daha küçük değerler için başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Test sürecinde DM02 100-250 mm arasındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

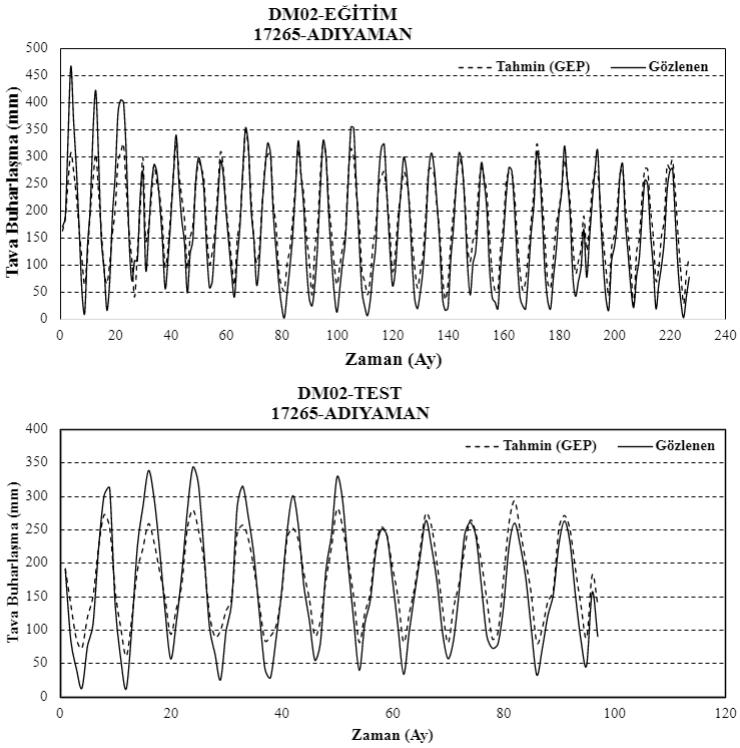
Şekil 4'te, Adıyaman ili için DM01 modeline göre girdi verisi olarak sıcaklık ve rüzgâr hızı değerlerinin yanında, nisbi nem ile basınç değerlerinin de eklendiği DM02 modeli incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun tamamında toplam 6 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 5 sefer kullanılmıştır. Ayrıca nemi temsil eden d2 değeri alt fonksiyonlardan sadece birinde 2 defa kullanılmış olup, basıncı temsil eden d3 değeri ise hiçbir alt fonksiyonda kullanılmamıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM02 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde sıcaklığın tava buharlaşmasının hesaplanmasında rüzgâr hızına, neme ve basınca nazaran daha etkin bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır. Bunun yanında rüzgâr hızının azımsanmayacak bir öneme sahip olduğu görülmektedir.

GEP yöntemi ile DM02 için elde edilen açık formüllerin ifade ağacı Şekil 4'te ve bu model için elde edilen formülün açık ve sadeleştirilmiş hali Denklem 5'te verilmiştir. İfade ağacında ve denklemde kullanılan kısaltmalar Tablo 4'te görülmektedir.

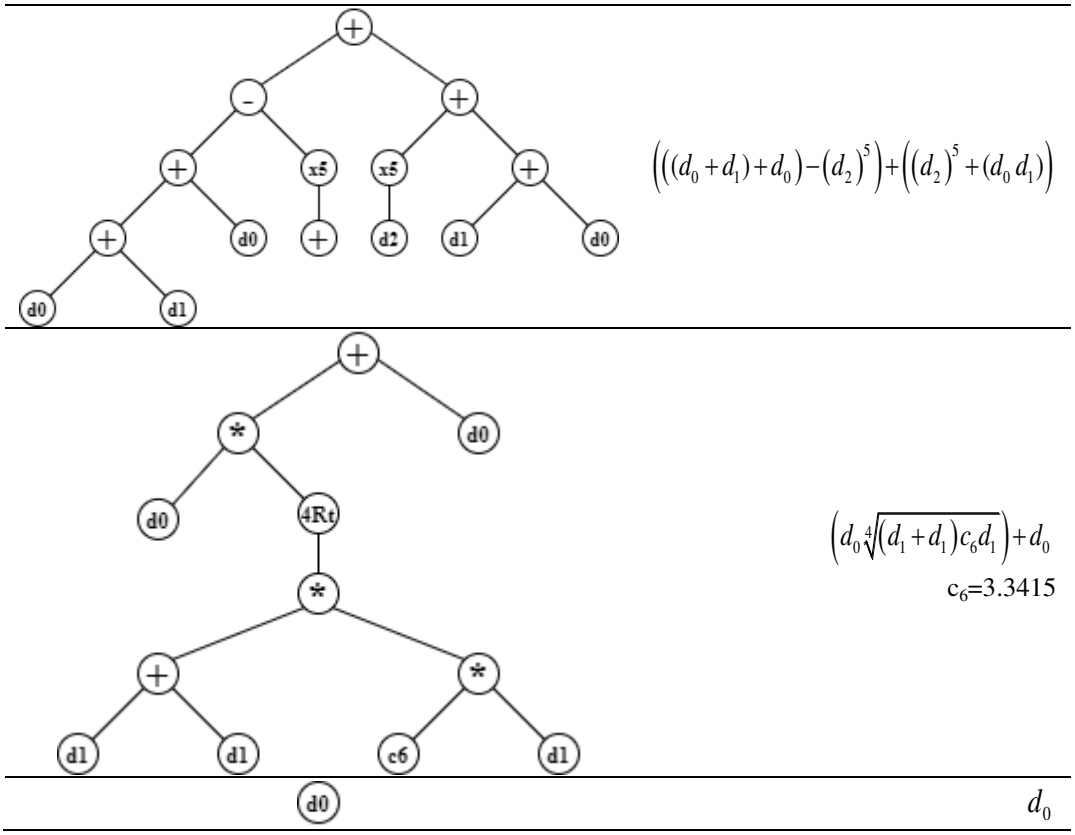
$$PE = T^2 + TW(2 + 1.608T^{1/4}W^{-3/4}) + 2T \qquad (5)$$

Tablo 4. GEP yönteminde kullanılan kısaltmalar

Simge	Kısaltma	Açıklama
d0	T	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)
d1	W	Aylık Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)
d2	H	Aylık Ortalama Nispi Nem (%)
d3	P	Aylık Ortalama Aktüel Basınç (hPa)
d4	OD	Aylık Açık Günler Sayısı
d5	SR	Günlük Toplam Global Güneşlenme Şiddeti Aylık Ortalaması (cal/cm²)



Şekil 3. Adıyaman istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı



Şekil 4. Adıyaman istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM02 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

3.2. Diyarbakır İstasyonu Buharlaşma Tahmini

Diyarbakır istasyonu için yapılan tahmin çalışmasından elde edilen sonuçlar, tüm girdi kombinasyonları ve kullanılan tüm modeller için Tablo 5'te verilmiştir. Buna göre, DM01 kombinasyonu için ele alınan üç karşılaştırma kriterinde de test sürecinde en başarılı sonucu veren yöntem GEP olarak belirlenmiştir. Burada, R^2 değeri eğitim sürecinde 0.866, test sürecinde ise 0.961 olarak hesaplanmıştır. DM02 kombinasyonunda ise test sürecinde 0.963 ile en yüksek R^2 değerini GEP yöntemi vermiş olsa da diğer karşılaştırma parametreleri olan OKH ve OMH değerleri bakımından en uygun değerleri ANFIS yönteminin verdiği, ayrıca test sürecinde ANFIS

yöntemi ile elde edilen R^2 değerinin de 0.951 olduğu görülmektedir. DM03 kombinasyonunda ise test sürecinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde R^2 değerinin 0.963, OKH değerinin 1898.75 ve OMH değerinin ise 33.06 olduğu GEP yönteminin en başarılı yöntem olduğu söylenebilir.

Tablo 5. Diyarbakır istasyonu için buharlaşmanın tahmininde kullanılan model sonuçları

		DM01			DM02			DM03		
		R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH	R^2	OKH	OMH
YSA	Eğitim	0.870	2284.57	31.20	0.893	1985.58	32.09	0.888	2030.75	31.73
	Test	0.927	5020.52	54.63	0.906	3931.39	48.49	0.927	2930.40	41.91
ANFIS	Eğitim	0.871	2007.90	25.59	0.888	1736.50	26.63	0.917	1296.22	23.62
	Test	0.948	5088.86	58.35	0.951	**2940.69**	**42.47**	0.923	1961.42	31.99
GEP	Eğitim	0.866	2094.65	25.65	0.863	2198.09	27.97	0.882	1845.65	24.88
	Test	**0.961**	**4473.74**	**55.14**	**0.962**	5682.85	61.27	**0.963**	**1898.75**	**33.06**

Çalışma kapsamında ele alınan tüm yöntemler ile DM03 kombinasyonu için tahmin edilen buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri Şekil 5'te verilmiştir. Burada DM03 için saçılım grafikleri incelendiğinde kullanılan tüm yöntemlerin eğitim sürecinde nispeten başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Eğitim sürecinde DM02 kombinasyonu ile benzer bir şekilde YSA yönteminin yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülen değerden daha büyük bir değer tahmin ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller eğitim sürecinde DM01 ve DM02 kombinasyonlarına benzer bir şekilde yaklaşık 400 mm üzerindeki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarılı olmadığı ve ölçülmüş değerden daha küçük bir değer belirlediği görülmüştür. Test sürecinde ise YSA yönteminde eğitim sürecine benzer bir şekilde yaklaşık 80 mm altındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarısız olduğu görülmektedir. Diyarbakır istasyonuna ait DM03 kombinasyonu için buharlaşmayı tahmin etmede test sürecinde GEP yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

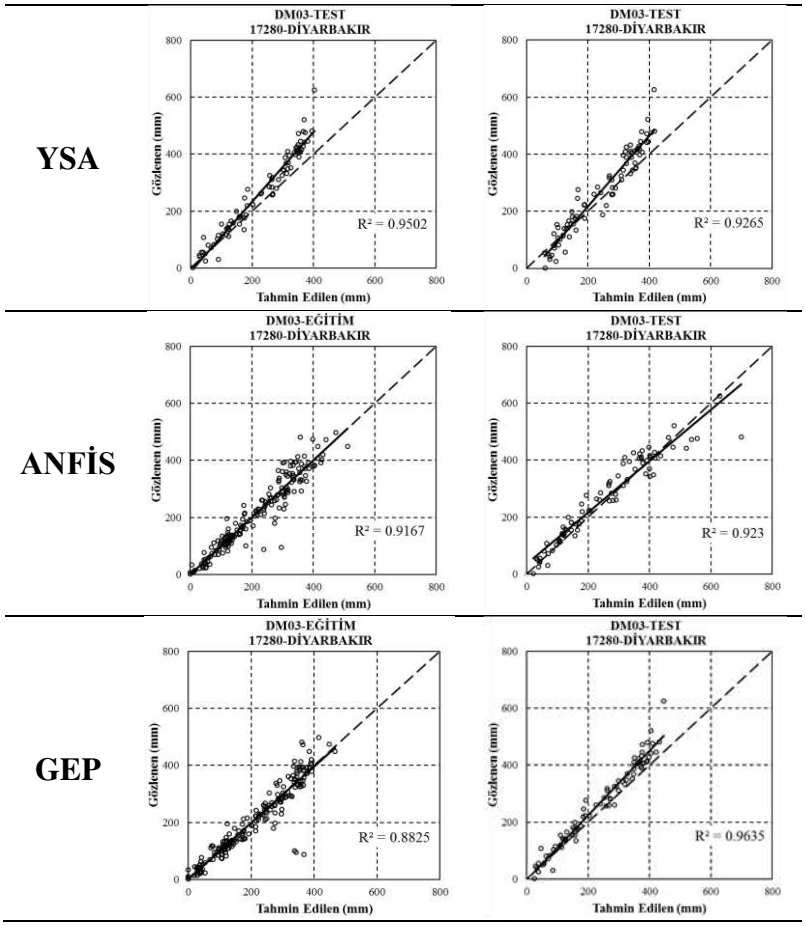
DM01, DM02 ve DM03 kombinasyonları ile elde edilen tüm sonuçlar beraber ele alındığında, sadece sıcaklık ve rüzgâr hızı değerlerinin girdi parametresi olarak ele alındığı DM01 için GEP yöntemi daha başarılı sonuçlar vermiştir. Nem ve basınç parametrelerinin de eklenmesi ile oluşturulan DM02 kombinasyonunda YSA ve GEP yöntemi de başarılı sonuç elde etse de ANFIS yöntemi daha başarılı olmuştur. DM03 kombinasyonu buharlaşmayı tahmin etmede DM02 ile benzer bir R^2 değeri bulmasına rağmen, OKH ve OMH değerleri bakımından ele alınan tüm kombinasyonlar içerisinde en başarılı girdi kombinasyonunun GEP olduğu görülmüştür.

Şekil 6'da, Diyarbakır istasyonu için en iyi tahmin sonucunu veren DM01 ve DM03 için GEP, DM02 için ise ANFIS ile elde edilen buharlaşma değerleri ile gözlenen değerlerin zamansal dağılımları verilmiştir. Burada da saçılım grafiklerine benzer bir şekilde eğitim sürecinde yaklaşık 400 mm üzerindeki değerlerin tahmininde modellerin başarılı olmadığı, ancak geri kalan değerler için başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Test sürecinde ise DM01, DM02 ve DM03'ün de nispeten başarılı sonuçlar verdiği, ayrıca DM02 ve DM03'ün 100-350 mm arasındaki buharlaşma değerlerini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

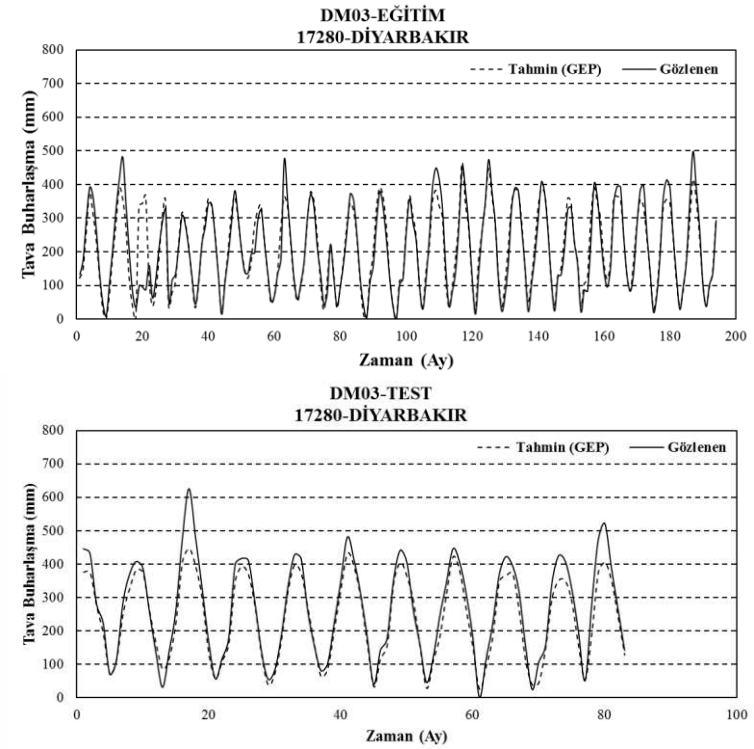
Diyarbakır ilinin DM03 modeline ait ifade ağacı Şekil 7'de ve formülün açık ve seda hali ise Denklem 6'da verilmiştir. DM03 modelinde tava buharlaşma değerinin hesaplanması için girdi verisi olarak, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem, basınç, açık gün sayısı ve güneşlenme şiddeti değerleri kullanılmıştır. Bu formüller incelendiğinde sıcaklığı temsil eden d0 değeri üç alt fonksiyonun ikisinde toplam 3 sefer kullanıldığı görülmüştür. Rüzgâr hızını temsil eden d1 değeri ise üç alt fonksiyonun birinde toplam 1 sefer kullanılmıştır. Ayrıca nemi temsil eden d2 değeri alt fonksiyonlardan tamamında toplam 3 defa kullanılmış olup, basıncı temsil eden d3 değeri alt fonksiyonlardan hiçbirinde kullanılmamıştır. Açık gün sayısı değerini temsil eden d4 değeri alt fonksiyonların ikisinde toplam 3 sefer ve güneşlenme şiddeti değerini temsil eden d5 değeri üç alt fonksiyonun birinde sadece 2 sefer kullanılmıştır. Bu kullanılan değerler incelendiğinde DM03 modeline göre GEP yöntemi ile hesaplanan formülde diğer iki modele göre farklı bir sonuç ortaya çıkarak tava buharlaşma değerinin hesaplanmasında sıcaklık, nem ve açık gün sayısının birinci etken, güneşlenme şiddetinin ise ikinci ana etken olduğu görülmektedir.

$$PE = \left(-0.184T\right)\left(H - OD\right)^{1/3} + OD + W^3 + 8.976H^{1/4} + T\left(2SR - OD - T\right)^{1/3} - H \quad (6)$$

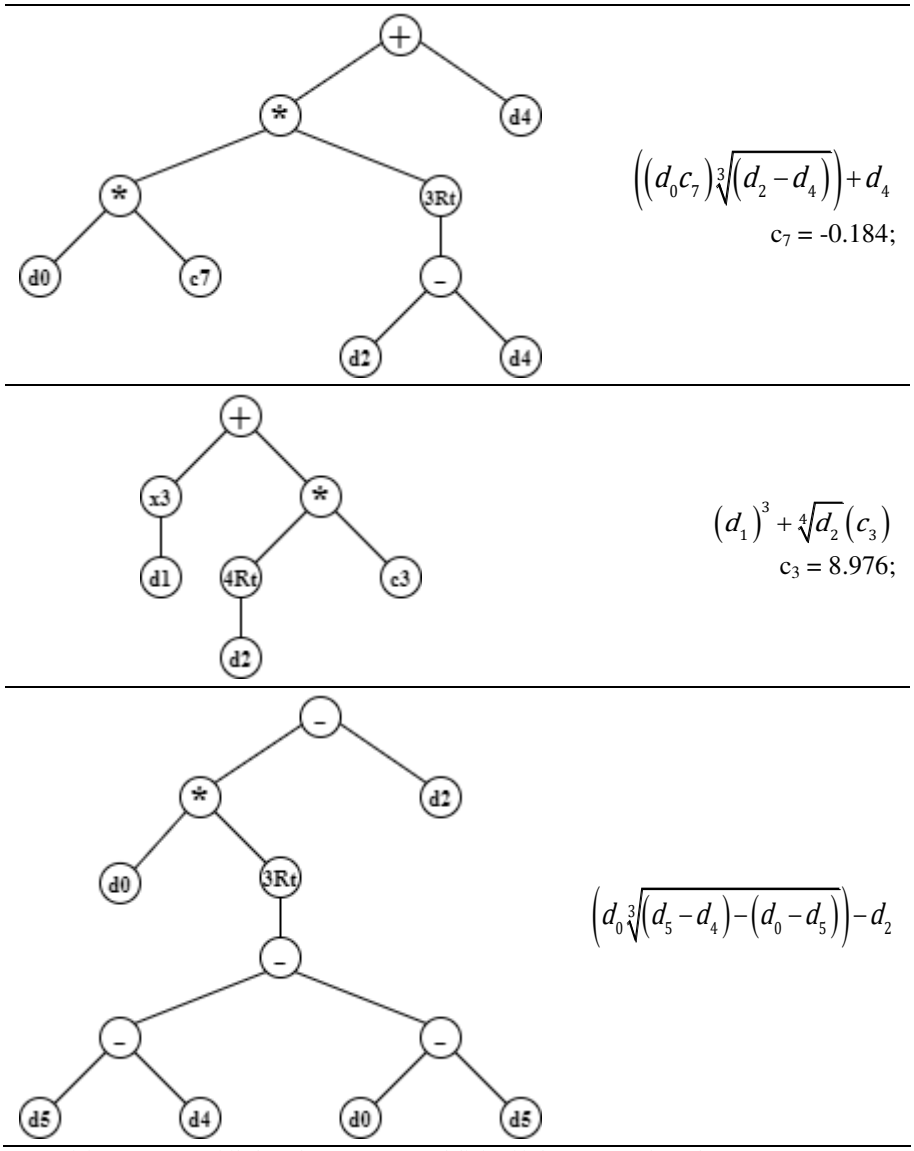
Terzi [9], Eğirdir gölüne ait ölçülmüş günlük tava buharlaşması değerlerini ANFIS ve GEP yöntemlerini kullanarak tahmin etmeye çalışmıştır. Çalışma sonucunda, GEP yönteminin ANFIS yöntemine nazaran daha başarılı sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Mattar [19], Mısır'da bulunan 32 meteoroloji gözlem istasyonuna ait referans buharlaşma değerlerini belirlemede ampirik yaklaşımlar ile GEP yöntemini karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, GEP yönteminin buharlaşmayı tahmin etmede ampirik yaklaşımlara göre daha başarılı sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Bu çalışmada da elde edilen sonuçlar, GEP yönteminin tava buharlaşma değerlerini tahmin etmede başarıyla kullanılabileceğini göstermiştir.



Şekil 5. Farklı yöntemlerle DM03 için Diyarbakır istasyonunda gözlenen ve tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin saçılım grafikleri



Şekil 6. Diyarbakır istasyonunda gözlenen ve en iyi tahmin edilen tava buharlaşma değerlerinin zamansal dağılımı



Şekil 7. Diyarbakır istasyonu için GEP yöntemi ile hazırlanan DM03 modelinin "ifade ağacı" ve formülü

4. SONUÇLAR

Adıyaman ve Diyarbakır il merkezlerinde bulunan meteorolojik istasyonlardan ölçülmüş tava buharlaşma değerlerinin tahmin edilmesi için, aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama rüzgâr hızı, aylık ortalama nisbi nem, aylık ortalama aktüel basınç, aylık açık günler sayısı ve günlük toplam güneşlenme şiddetinin aylık ortalaması parametrelerini içeren üç farklı girdi kombinasyonu (DM01, DM02 ve DM03) kullanılmıştır. Yapay Sinir Ağları (YSA), Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Gen Ekspresyon Programlama (GEP) yöntemleri kullanılarak aylık tava buharlaşması tahminleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İstasyonlara ait verilerin %70'i eğitim sürecinde, %30'u test sürecinde kullanılmıştır. Buna göre;

Adıyaman istasyonunda tava buharlaşma değerini tahmin etmede en başarılı yöntemin R^2 karşılaştırma kriterine göre DM01, DM02 ve DM03 için GEP yönteminin kullanılan diğer yöntemlere kıyasla daha başarılı olduğu yöntem olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, üç kombinasyon için de 400 mm üzeri buharlaşma tahmininde ele alınan yöntemlerin başarılı olmadığı görülmüştür.

Diyarbakır istasyonunda DM01, DM02 ve DM03 için tava buharlaşma değerini tahmin etmede en başarılı yöntemin sırasıyla GEP, ANFIS ve YSA yöntemleri olduğu belirlenmiştir. Özellikle DM02'de GEP yönteminin R^2 değeri ANFIS yöntemi ile elde edilen R^2 değerinden yüksek olmasına rağmen OKH ve OMH kriterlerine göre en başarılı yöntem ANFIS olarak belirlenmiştir. Bu modeller ile Diyarbakır istasyonunda 100-350 mm arasındaki tava buharlaşma değerlerinin oldukça başarılı bir şekilde tahmin edildiği görülmüştür.

Tüm istasyonlar için farklı yöntemlerle yapılan tava buharlaşma tahminleri incelendiğinde, GEP yönteminin genel olarak başarılı sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Açık formül vermesi nedeniyle GEP yönteminin uygulayıcılar açısından daha kullanışlı olacağı değerlendirilmektedir.

Ayrıca, sadece sıcaklık ve rüzgâr hızı parametrelerinin girdi olarak ele alındığı DM01 kombinasyonun az girdi verisine ihtiyaç duymasına rağmen oldukça başarılı

sonuçlar verdiği ve uygulamada başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışma Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (HÜBAP) tarafından desteklenmiştir (Proje No:18013).

KAYNAKLAR

[1] Shirsath PB, Singh AK. A comparative study of daily pan evaporation estimation using ANN, regression and climate based models. Water Resources Management 2010; 24(8): 1571-1581.

[2] Doğan E, Işık S, Sandalcı M. Günlük buharlaşmanın yapay sinir ağları kullanarak tahmin edilmesi. Teknik Dergi 2007; 18(87): 4119-4131.

[3] Ariapour A, Nassaji Zavareh M. Estimation of daily evaporation using of artificial neural networks (Case study; Borujerd meteorological station). Journal of Rangeland Science 2011; 1(2): 125-132.

[4] Sanikhani H, Kisi O, Nikpour MR, Dinpashoh Y. Estimation of daily pan evaporation using two different adaptive neuro-fuzzy computing techniques. Water Resources Management 2012; 26(15): 4347-4365.

[5] Goyal MK, Bharti B, Quilty J, Adamowski J, Pandey A. Modeling of daily pan evaporation in sub tropical climates using ANN, LS-SVR, Fuzzy Logic, and ANFIS. Expert systems with applications 2014; 41(11): 5267-5276.

[6] Rahimikhoob A. Estimating daily pan evaporation using artificial neural network in a semi-arid environment. Theoretical and applied climatology 2009; 98(1): 101-105.

[7] Shiri J, Dierickx W, Pour-Ali Baba A, Neamati S, Ghorbani M. Estimating daily pan evaporation from climatic data of the State of Illinois, USA using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and artificial neural network (ANN). Hydrology Research 2011; 42(6): 491-502.

[8] Kisi O, Shiri J, Nikoofar B. Forecasting daily lake levels using artificial intelligence approaches. Computers & Geosciences 2012; 41: 169-180.

[9] Terzi Ö. Daily pan evaporation estimation using gene expression programming and adaptive neural-based fuzzy inference system. Neural Computing and Applications 2013; 23(3): 1035-1044.

[10] Gümüş V, Şimşek O, Soydan NG, Aköz MS, Yenigün K. Adana istasyonunda buharlaşmanın farklı yapay zeka yöntemleri ile tahmini. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi 2016; 7(2): 309-318.

[11] Rashid Niaghi A, Hassanijalilian O, Shiri J. Estimation of reference evapotranspiration using spatial and temporal machine learning approaches. Hydrology 2021; 8(1): 25.

[12] Apaydin H, Sonmez FK, Yildirim YE. Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. Climate Research 2004; 28(1): 31-40.

[13] Gümüş V, Soydan N. G., Şimşek O, Aköz MS, Kırkgöz MS. Yağış-akış ilişkisinin belirlenmesinde farklı yapay sinir ağı yöntemlerinin karşılaştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2013; 28(1): 37-50.

[14] Saplıoğlu K. Çimen M. Yapay sinir ağlarını kullanarak günlük yağış miktarının tahmini. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 2010; 1(1): 14-21.

[15] Jang JSR. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics 1993; 23(3): 665-685.

[16] Wu JD, Hsu CC, Chen HC. An expert system of price forecasting for used cars using adaptive neuro-fuzzy inference. Expert Systems with Applications 2009; 36(4): 7809-7817.

[17] Ferreira C. Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems. arXiv preprint cs/0102027, 2001.

[18] Ferreira C. Gene expression programming in problem solving, in Soft computing and industry. 2002: 635-653.

[19] Mattar MA. Using gene expression programming in monthly reference evapotranspiration modeling: A case study in Egypt. Agricultural Water Management 2018; 198: 28-38.