

Adana İli Referans Evapotranspirasyon Miktarının Bulanık SMRGT, ANFİS ve Çoklu Doğrusal Regresyon Kullanılarak Tahmini

Serkan DEMİREL¹, Bestami TAŞAR², Yunus Ziya KAYA³, Fatih ÜNEŞ⁴, Mustafa DEMİRCİ⁵

^{1,2,4,5}İskenderun Teknik Üniversitesi, Müh. ve Doğa Bil. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 31200, Hatay

³Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Müh. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0003-2329-6476>

²<https://orcid.org/0000-0003-4842-3937>

³<https://orcid.org/0000-0002-4357-9177>

⁴<https://orcid.org/0000-0001-5751-6970>

⁵<https://orcid.org/0000-0002-3249-2586>

*Sorumlu yazar: serkandemirel.mfbe20@iste.edu.tr

Araştırma Makalesi

Tarihçe:

Geliş tarihi: 25.02.2022

Kabul tarihi: 16.07.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Bulanık mantık
Basit üyelik fonksiyonları
Bulanık kural oluşturma tekniği
Adaptif sinirsel bulanık çıkarım
Çoklu doğrusal regresyon
Referans evapotranspirasyon
tahmini

ÖZ

Hidrolik tasarım süreci ve tarımsal sulama yönetiminde evapotranspirasyonun tahmini oldukça önemlidir. Bu çalışmada günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini için ortalama sıcaklık (S), bağıl nem (N), rüzgâr hızı (R), solar radyasyon (SR) parametreleri kullanılmıştır. Penman-Monteith, FAO (Food and Agriculture Organization) tarafından önerilen standart bir metottur. Bu metoda göre günlük evapotranspirasyon tahmini yapılmış (ET₀), referans olarak da Penman Monteith yöntemi kabul edilmiştir. Günlük evapotranspirasyon miktarının tahmini için Basit Üyelik Fonksiyonları ve Bulanık Kural Oluşturma Tekniği (Bulanık SMRGT) ve Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım sistemi (ANFİS) yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen değerler klasik bir yöntem olan Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Modellerin tahmin sonuçları referans evapotranspirasyon değerleri ile kıyaslanmış ve her iki modelin de kararlı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Estimation of Reference Evapotranspiration Amount Using Fuzzy SMRGT, ANFIS and Multiple Linear Regression

Research Article

History:

Received: 25.02.2022

Accepted: 16.07.2022

Available online: 10.03.2023

Keywords:

Fuzzy logic
Simple membership functions
Fuzzy rules generation technique
Adaptive neural fuzzy inference
Multiple linear regression
Reference evapotranspiration
estimation

ABSTRACT

Estimation of evapotranspiration is very important in hydraulic design process and agricultural irrigation management. In this study, average temperature (S), relative humidity (N), wind speed (R), solar radiation (SR) parameters were used to estimate the daily evapotranspiration amount. Penman Monteith method is a standard method recommended by the FAO (Food and Agriculture Organization). According to this method, daily evapotranspiration was estimated (ET₀) and Penman Monteith was accepted as the reference. Fuzzy SMRGT (Simple Membership Functions and Fuzzy Rules Generation Technique method) and Adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) were used to estimate the daily evapotranspiration amount. The obtained values were improved with the results of Multiple Linear Regression (MLR), which is a classical method. The prediction results of the models were compared with the reference evapotranspiration values and it was determined that both models gave stable results.

To Cite: Demirel S., Taşar B., Kaya YZ., Üneş F., Demirci M. Adana İli Referans Evapotranspirasyon Miktarının Bulanık Smrgt, Anfis ve Çoklu Doğrusal Regresyon Kullanılarak Tahmini. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 106-120.

1. Giriş

Evapotranspirasyon (ET), bir yüzey alanından atmosfere suyun buharlaşması ve bitkilerdeki terlemenin toplamı olarak tanımlanır. Su kaynaklarını geliştirmek, kontrol etmek ve yönetebilmek için evapotranspirasyon tahmininin doğru yapılması oldukça önemlidir. Bununla birlikte, buharlaşma süreci, doğada birçok değişkeni içeren doğrusal olmayan fiziksel bir süreçtir. Birçok araştırmacı, hidrolojik modelleme çalışmalarında doğru buharlaşma tahminlerine ihtiyaç duyulduğunu vurgulamıştır (Sudheer ve ark., 2002; Demirci, 2019). Son yıllarda araştırmacılar, buharlaşma gibi doğrusal olmayan hidrolojik sorunlarla ilgili olarak bazı yapay zekateknikleri kullanmışlardır. Chen (2012) günlük referans evapotranspirasyonu tahmin etmek için destek vektör makinelerini kullanmış ve Penman-Monteith denklemi ve yapay sinir ağı modelleri ile karşılaştırmıştır. Kaya ve ark., (2016) M5T yöntemi ve Turc ampirik formülü kullanarak evapotranspirasyon tahmini yapmışlardır. Çalışmalarında 1543 günlük güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızı meteorolojik veri okumaları kullanmışlardır. ET tahmini için geliştirilen yöntemlerin ve ampirik denklemlerin, hidrolojik bölgelerin farklı özelliklerine sahip değişken çıktılara sahip olabileceğini belirtmişlerdir. Kaya ve ark., (2016) bir nöro-bulanık çıkarım sistemi ve Hargreaves-Samani ampirik denklemini kullanmışlardır. Hargreaves-Samani formülü için korelasyon katsayısını 0.874 ve uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi için 0.912 olarak hesaplamışlardır. Kılınç, (2004) İstanbul'a su temin etmek üzere planlanmış olan Yeşilçay Sistemi'ne ait barajlar olan Sungurlu, İsaköy ve Kabakoz barajları için klasik yöntemlerle yapılmış olan hazne işletme çalışmaları ile yapay sinir ağlarını kullanarak elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. Doğan ve ark., (2007) çalışmalarında; YSA modellerini kullanarak Sapanca Gölü için günlük buharlaşma miktarının tahminini yapmışlardır. Traore ve ark., (2010) Sudano-Sahelian bölgesinde referans ET'yi modellemek için yapay sinir ağı kullanmışlardır. Shiri ve Kisi (2011) bulanık mantık (BM) yöntemiyle kısa süreli operasyonel su seviyesi tahmininde bulunmuşlardır. Gümüş ve ark., (2016) yaptıkları çalışmada; Gen Ekspresyon Programlama (GEP), Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Yapay Sinir Ağı (YSA) yöntemlerini kullanarak, Adana istasyonundaki aylık ortalama buharlaşmayı tahmin etmişlerdir. Her üç yöntemle farklı girdi parametre kombinasyonları oluşturularak elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Taşar ve ark., (2018) Massachusetts, U.S.A Cambridge Hazne ve havzasındaki verilerinden yararlanarak, buharlaşma miktarını tahmini için Yapay sinir ağları (YSA) yöntemi kullanmışlardır. Arslan ve ark., (2020) Çoklu Doğrusal Regresyon ve Bulanık Mantık yöntemlerini kullanarak Keban Baraj gölünün günlük su seviyesi tahmini için elde ettikleri sonuçları gerçek gözlem verileriyle değerlendirmişlerdir. Ayrıca, hidrolojik problemleri çözmek için birçok araştırmacı farklı yapay zeka teknikleri kullanmışlardır. (Kumar ve ark., 2002; Zanetti ve ark., 2007; Gocić ve ark., 2015; Demirci ve ark., 2018; Gavili ve ark., 2018; Yihdego ve Webb, 2018; Bakır ve ark., 2019; MirásAvalos ve ark., 2019; Üneş ve ark., 2019; Chen ve ark., 2020; Turhan, 2021)

Bu çalışmada, evapotranspirasyon tahmininde yapay zeka yöntemlerinden olan Basit Üyelik Fonksiyonları ve Bulanık Kural Oluşturma Tekniği (SMRGT) ve Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım

sistemi (ANFİS) ve klasik yöntemlerden olan Çoklu Doğrusal Regresyonun (ÇDR) uygulanabilirliği ve geçerliliği araştırılmıştır. Ayrıca çalışmada Penman-Monteith FAO 56 denklemi referans denklem olarak kabul edilmiş ve diğer SMRGT, ANFİS ve ÇDR sonuçları PM FAO 56 denklemi ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada, rakımı 23 m olan 37,0041 Kuzey paralelleri ve 35,3443 Doğu meridyeni üzerinde yer alan, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilmekte olan 17351-Adana istasyonuna ait 2015-2021 yılları arası meteorolojik veriler kullanılmıştır. İstasyondan elde edilen 1966 verinin %75'i eğitim amacıyla, kalan %25'i ise test için kullanılmıştır. Tipik bir Akdeniz iklimine sahip olan Adana'da; kışlar ılık ve yağışlı, yazlar ise sıcak ve kuraktır. Adana bölgesi; tarıma elverişli, geniş ve düz arazilere sahiptir. Bu bölgede buharlaşma; su kaynaklarının yönetim ve planlamasında rehber oluşturması, su kaynaklarının serbest su seviyesinin kontrolü, belirlenmesi ve işletilmesi açısından önemlidir. Bu istasyona ait aylık ortalama sıcaklık (S), bağıl nem (N), rüzgâr hızı (R) ve solar radyasyon (SR) değerleri farklı kombinasyonlar ile girdi parametresi olarak düzenlenmiş, bu istasyona ait günlük ortalama evapotranspirasyon değerleri farklı yöntemler ile tahmin edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

3. Metod

3.1. FAO Penman-Monteith metodu

Jensen ve ark., (1990) tarafından belirtildiği üzere FAO Penman-Monteith denklemi aşağıdaki gibidir.

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

Bu denklemde;

ET0; Referans evapotranspirasyonu [$mm\ gün^{-1}$],

Rn; Bitki yüzeyinde net radyasyonu [$MJ\ m^{-2}\ gün^{-1}$],

G; Toprak ısı akısı yoğunluğunu [$MJ\ m^{-2}\ gün^{-1}$],

T; 2m yükseklikteki ortalama günlük hava sıcaklığını [$^{\circ}C$],

u_2 ; 2m yükseklikteki rüzgâr hızını [$m\ s^{-1}$],

e_s ; Doygun buhar basıncını [kPa], e_a ; Mevcut buhar basıncını [kPa],

$e_s - e_a$; Doygun buhar basıncı açığı [kPa],

Δ ; Buhar basıncı eğrisi eğimini [$kPa\ ^{\circ}C^{-1}$],

γ : Psikrometrik sabiti [$kPa\ ^{\circ}C^{-1}$] ifade etmektedir.

3.2. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR)

Doğada karşılaşılan olaylarda, olayı etkileyen birçok değişken mevcuttur. Bu değişkenler olayın var oluş şekline göre bağımlı ve bağımsız değişkenler olarak sınıflandırılmaktadır. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) yöntemiyle bu değişkenler arasındaki ilişkisi belirlenmeye çalışılarak tahminler yapılmıştır. (Turhan ve Çağatay, 2016) Tahmin sonuçlarının iyi olması değişkenler arasındaki ilişkinin lineer olduğunu göstermektedir. Aşağıda bu ilişkiyi kurmak için oluşturulan denklem verilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \dots + \beta_j X_j + \varepsilon \quad (2)$$

Burada, X_1, X_2, \dots, X_j bağımsız değişkenleri, Y bağımlı değişkeni, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j$ bilinmeyen regresyon katsayısı ve ε hata terimi olarak tanımlanmaktadır.

β_j Regresyon katsayısı denklemde görüldüğü gibi her bir X_j değerine bağlı olarak Y'deki birim değişikliğe karşılık gelmektedir.

3.3. Bulanık Mantık

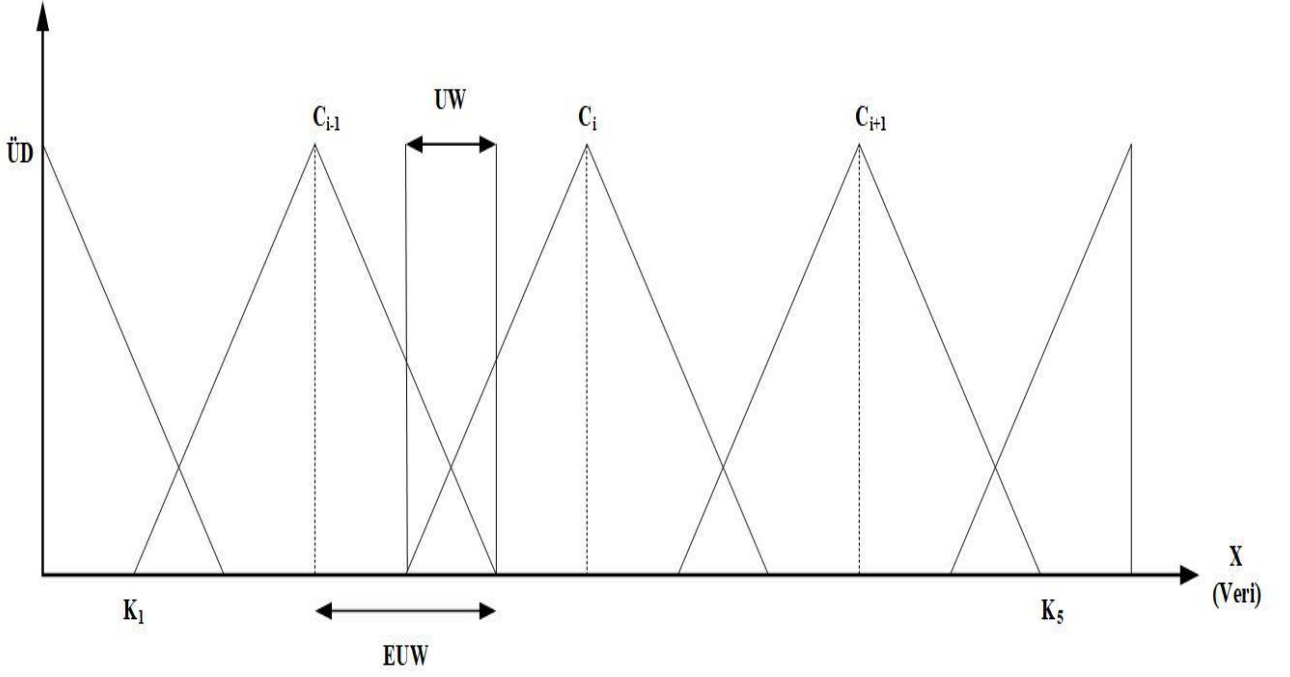
Gerçek hayatta çok karmaşık olayların belirli bir matematiksel ifadesi pek mümkün değildir. Bütün kuram ve denklemler gerçek hayatta yaklaşık olarak ifade edilmektedir. İncelenen olayların veya konuların tam ve kesin olarak bilinmemesi, bu belirsizliklerin sözel olarak daha anlaşılabilir hale gelmesi için geliştirilen mantığa Bulanık Mantık denilmektedir. Bulanık mantık sistemi; giriş, veri

tabanı, bulanıklaştırma birimi, bulanık çıkarım mekanizması, kural tabanı, durulaştırma birimi ve çıkış bölümlerinden meydana gelmektedir.

3.3.1 Basit Üyelik Fonksiyonları ve Bulanık Kural Oluşturma Tekniği (SMRGT)

SMRGT yöntemi Toprak, (2009) tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem, diğer yöntemlerden farklı olarak bulanıklaştırılmış girdi parametrelerinin üyelik fonksiyonlarını ve bulanık kural tabanını belirli bir teknik ile yapmaktadır. Kullanılan teknik sayesinde fonksiyon aralıkları daha kolay belirlenebilmekte, işlem hacmi azalmakta ve model daha iyi sonuçlar verebilmektedir. (Üneş ve ark., 2020; Dayan ve ark., 2021) Bu yöntem oluşturma şekli ise aşağıdaki gibidir.

- Bağımsız (girdi) ve bağımlı (çıkıtı) değişkenleri belirlenir. Her bir değişkenin belirli bir aralıkta olması gerekir. Bu aralık probleme ve uzman görüşüne dayalı olarak değişiklik gösterebilir. Dolayısıyla aralığın belirlenebilmesi için değişkenlerin maksimum ve minimum değerlerinin bilinmesi gerekir.
- Bağımsız değişkenlerin her biri için üyelik fonksiyonları tayin edilir. Daha önceki yapılan çalışmalar neticesinde başta ve sondaki üyelik fonksiyonunun dik trapez veya dik üçgen, ortadaki üyelik fonksiyonlarının ise ikizkenar üçgen seçilmesinin daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.
- SMRGT çalışma yöntemi olarak baştaki ve sondaki üyelik fonksiyonlarının ağırlık merkezleri arasında modellenmektedir. Bu yüzden ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak yapılan durulaştırmalarda hata oranını düşürmek için veri aralıklarının biraz daha genişletilmesi gerekebilmektedir.
- Tüm değişkenlerin üyelik fonksiyonları için birim genişliği (UW), genişletilmiş taban genişlikleri (EUW), kesişen iki komşu üyelik fonksiyonunun değeri (O) ve dik üçgen sayısı (n_U) hesaplanmalıdır. Bu değerlerin hesabı için de değişim aralığının (X_R) bilinmesi gerekir (Tablo 2).



Şekil 2. Üyelik Fonksiyon için çekirdek değer, anahtar değer ve birim genişliğin gösterimi

$$X_R = X_{\max} - X_{\min} \quad (3)$$

$$UW = \frac{X_R}{n_U} \quad (4)$$

$$O = \frac{UW}{2} \quad (5)$$

$$EUW = \frac{X_R}{n_U} + O \quad (6)$$

Bu denklemlerde X her bir bağımsız değişkeni temsil etmekte ve her biri için ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

Hesaplanan bu değerlerin kullanımıyla ise üyelik fonksiyonu için anahtar değerleri (K_n) ve çekirdek değeri (C_i) hesaplanır.

$$K_1 = X_{\min} + \frac{EUW}{3} \quad (7)$$

$$K_2 = \max - \frac{EUW}{3} \quad (8)$$

$$C_i = \frac{X_R}{2} + X_{\min} \quad (9)$$

$$C_{i-1} = \frac{C_i - X_{min}}{2} + X_{min} \quad (10)$$

$$C_{i+1} = X_{max} - \left(\frac{X_{max} - C_i}{2} \right) \quad (11)$$

- Yukarıdaki anahtar değerler ise oluşturulacak modelin girdi değerleridir.
- Hesaplamalar sonucu oluşturulan bulanık girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki tüm kombinasyonlar düşünülerek bulanık kural tabanı oluşturulur.
- Deneme-yanılma metodu nerdeyse hiç kullanılmayarak hazırlanan bu model, bilgisayar ortamında paket programlara aktarılarak tasarımı gerçekleştirilir.

Bulanık-SMRGT yöntemi ile yapılan bu çalışmada ise girdi olarak; ortalama sıcaklık (S), bağıl nem (N), rüzgâr hızı (R), solar radyasyon (SR) kullanılmıştır. Çıktı olarak ise evapotranspirasyon miktarı (ET) tahmin edilmeye çalışılmıştır.

3.3.2 Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım sistemi: (ANFİS)

İlk olarak Zadeh (1965) bulanık mantık modellerinde, girişler ve çıkışlar arasındaki bağlantılar bulanık kurallar kullanılarak sağlanır. Literatürde Takagi-Sugeno olarak adlandırılan ANFIS (bulanık mantık) yöntemi çıktı üyelik fonksiyonlarını bulanık kümeler olarak alır. Her çıkış için bir bulanık küme oluşur. Kesin sonuçlar elde etmek için “Eğer” ve “İse” şeklinde önermeler oluşturulur.

Jang, (1993) tarafından geliştirilen ANFİS modeli, Hibrit öğrenme algoritması kullanmaktadır. Yapay sinir ağları ve bulanık çıkarım sistemi birleşiminden oluşur. ANFİS, evrensel bir yaklaşım metodolojisidir ve herhangi bir doğruluk derecesine göre kompakt bir sette sürekli fonksiyonu tahmin edebilir.

4. Model Sonuçları ve Değerlendirmeler

Bu çalışmada, Bulanık SMRGT, ANFİS ile ÇDR yöntemleri kullanılarak günlük evapotranspirasyon miktarının tahmini yapılmış ve elde edilen sonuçların performansları karşılaştırılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından işletilmekte olan 17351-Adana istasyonuna ait 2015-2021 yılları arası meteorolojik veriler kullanılmıştır. İstasyondan elde edilen 1966 verinin %75’i eğitim amacıyla, kalan %25’i ise test için kullanılmıştır. Eğitim için 1476 günlük veri, test için 490 günlük ölçüm verisi kullanılmıştır. Model karşılaştırma sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Her bir model için ortalama mutlak hata (OMH), ortalama hata karelerinin kökü (KOKH) ve korelasyon katsayıları (R) hesaplanmış ve bu değerlendirme kriterleri modellerin performans karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

Tablo 1. Modellerin Performans Sonuçları

MODEL İSİMLERİ	MODEL GİRDİLERİ	OMH	KOKH	R
ÇDR	S,N,R,SR	0,153	0,206	0,994
BULANIK SMRGT	S,N,R,SR	0,304	0,383	0,981
ANFIS	S,N,R,SR	0,083	0,115	0,999

S: Ortalama sıcaklık, N: bağıl nem, R: rüzgâr hızı, SR: solar radyasyon

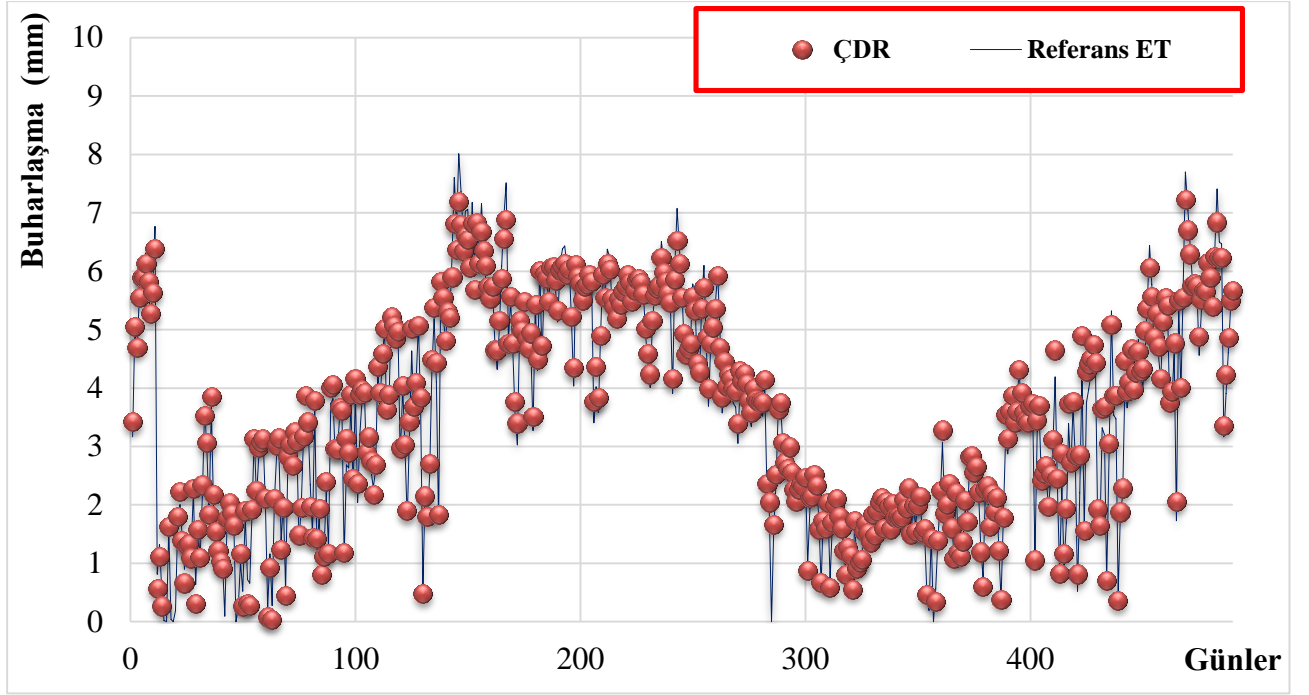
Evapotranspirasyon miktarını tahmin etmek için kullanılan modellerin başarısını belirlemek amacıyla denklem (12) ve (13)' de sırasıyla verilen ortalama mutlak hata (OMH), ortalama hata karelerinin kökü (KOKH) ve korelasyon katsayısı (R) kullanılmıştır. (Turhan ve ark., 2016; Özel ve Büyükyıldız, 2019; Gümüş ve ark., 2021) Burada N veri sayısını ve ET evapotranspirasyon miktarı değeri olmak üzere;

$$KOKH = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N (ET_{ölçüm} - ET_{tahmin})^2} \quad (12)$$

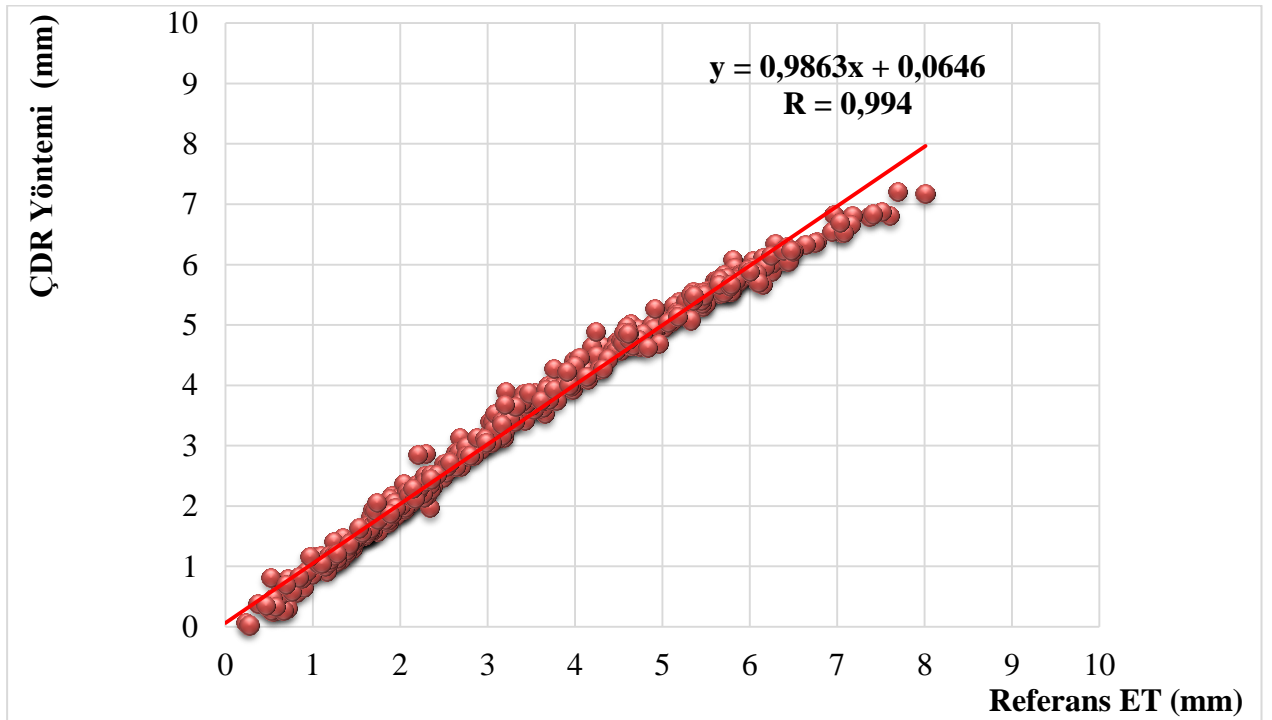
$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |ET_{ölçüm} - ET_{tahmin}| \quad (13)$$

4.1. Çoklu Lineer Regresyon Model Sonuçları

Bu çalışmada Çoklu Lineer Regresyon model uygulamalarında MGM'den elde edilen ve düzenlenen ortalama günlük, sıcaklık, rüzgar hızı, solar radyasyon ve bağıl nem verileri günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini için kullanılmıştır. ÇDR modelinin dağılım grafiği Şekil 3 ve saçılım grafiği Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi, ÇDR modelin test verileri için uygulandığında model sonuçlarının gerçek değerlere yakın olduğu ve korelasyon katsayısının 0.994 olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini verileri için Referans ET ve ÇDR dağılım grafiği

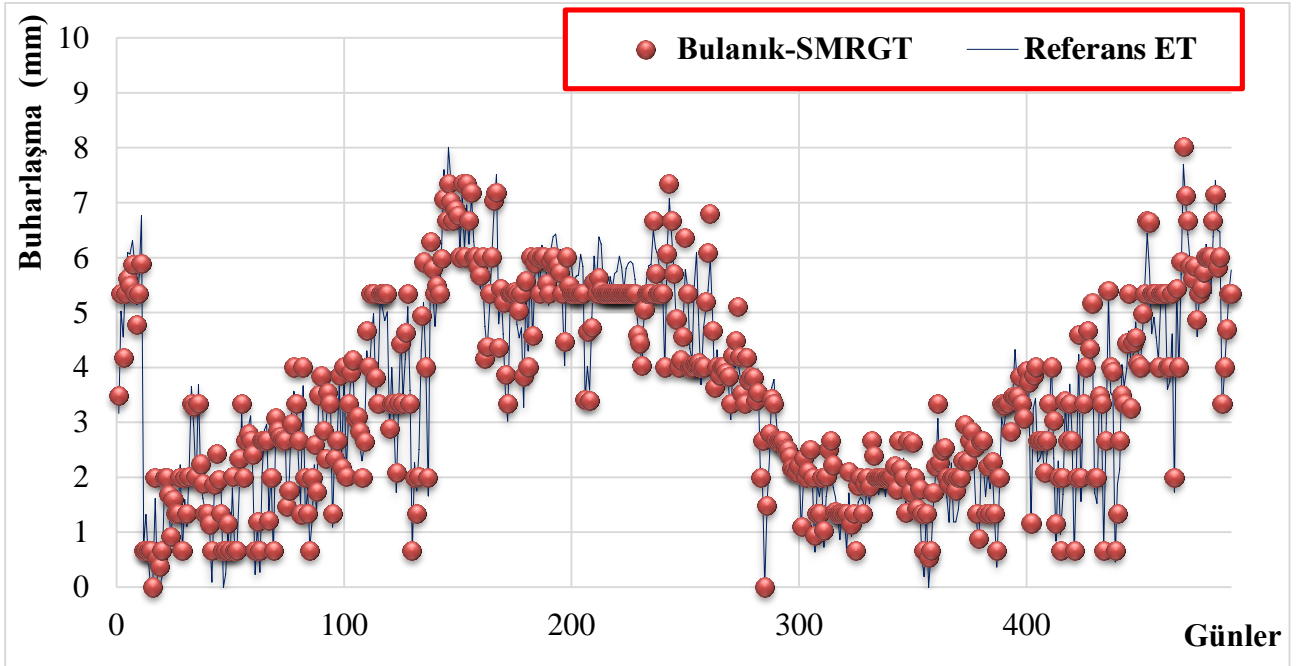


Şekil 4. Günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini verileri için Referans ET ve ÇDR saçılım grafiği

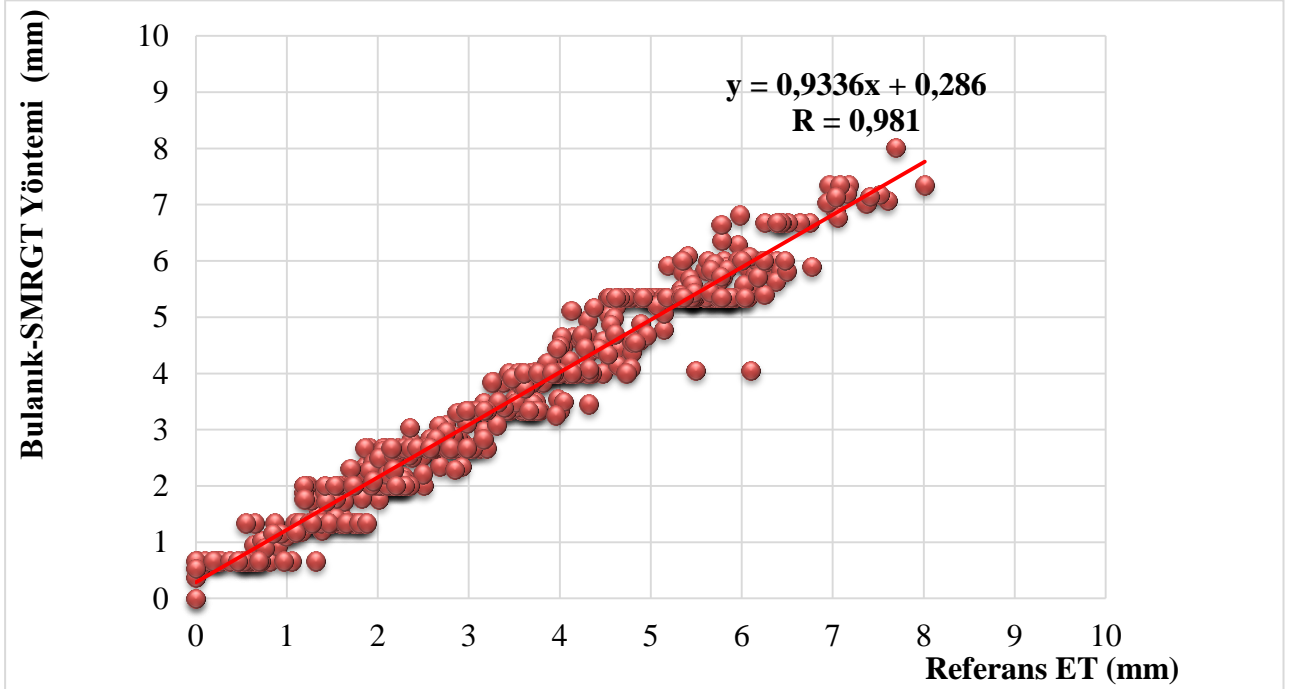
4.2. Bulanık SMRGT Model Sonuçları

Bu çalışmada Bulanık SMRGT model uygulamalarında MGM'den elde edilen ve düzenlenen ortalama günlük evapotranspirasyon miktarı, sıcaklık, rüzgar hızı, solar radyasyon ve bağıl nem verileri günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini için kullanılmıştır. SMRGT modelinin dağılım grafiği Şekil 5 ve

saçılım grafiği Şekil 6 gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi, SMRGT modeli test verileri için uygulandığında model sonuçlarının korelasyon katsayısının 0.981 olduğu görülmektedir.



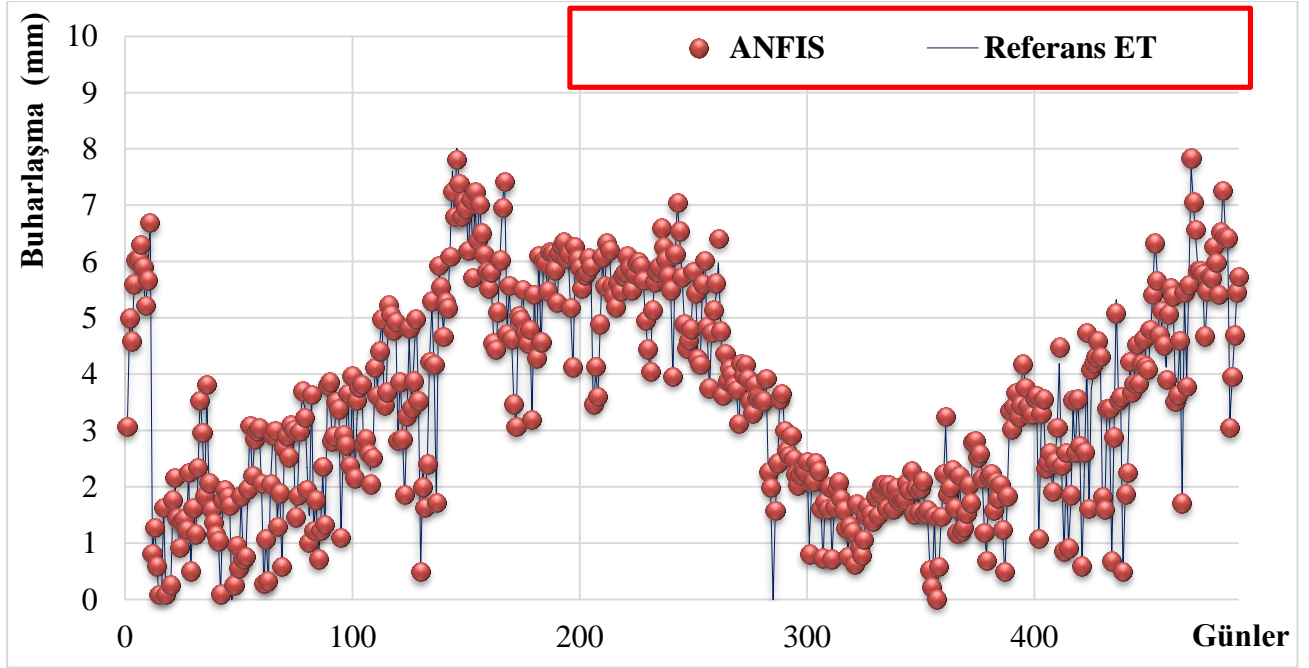
Şekil 5. Günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini verileri için Referans ET ve Bulanık SMRGT dağılım grafiği



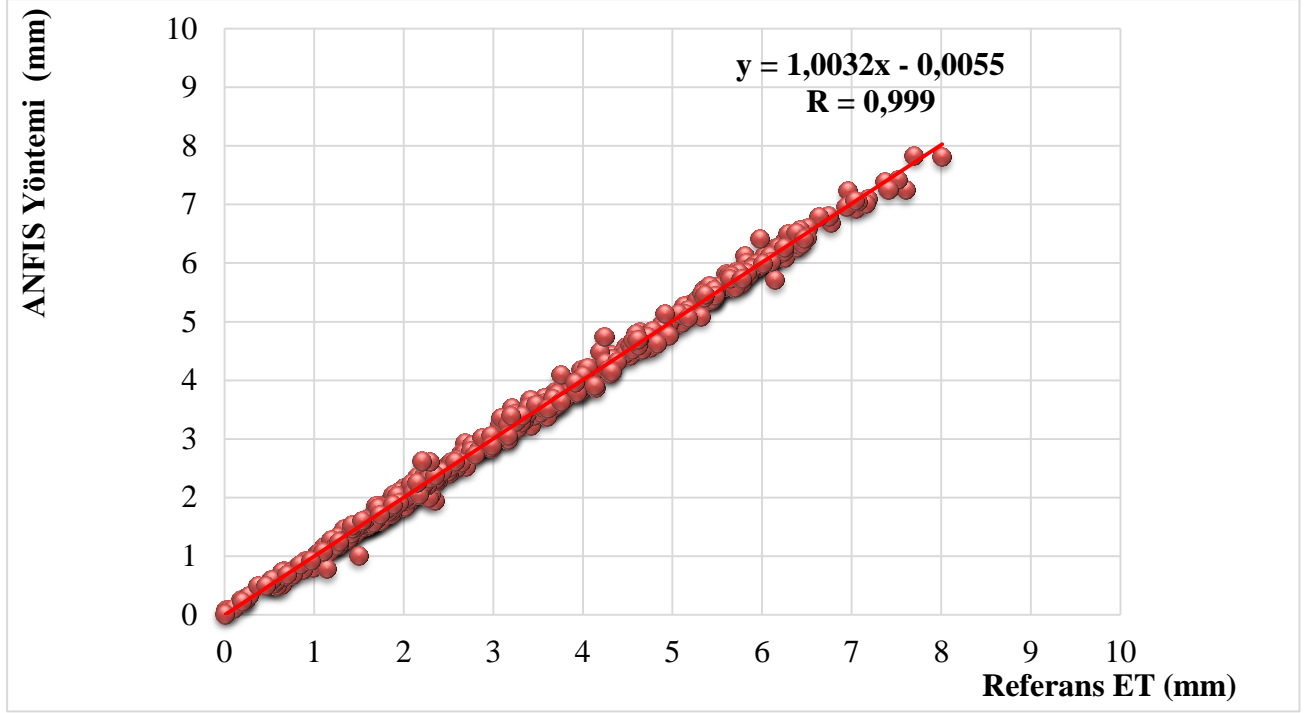
Şekil 6. Günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini verileri için Referans ET ve SMRGT saçılım grafiği

4.3. ANFIS Model Sonuçları

Bu çalışmada ANFİS model uygulamalarında MGM'den elde edilen ve düzenlenen ortalama günlük evapotranspirasyon miktarı, sıcaklık, rüzgar hızı, solar radyasyon ve bağıl nem verileri günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini için kullanılmıştır. ANFIS modelinin dağılım grafiği Şekil 7 ve saçılım grafiği Şekil 8 gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi, ANFIS modeli test verileri için uygulandığında model sonuçlarının korelasyon katsayısının 0.999 olduğu görülmektedir. ANFİS Metodu, Çoklu Doğrusal Regresyon ve SMRGT modellerine göre daha iyi sonuç vermiştir.



Şekil 7. Günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini verileri için Referans ET ve ANFIS dağılım grafiği



Şekil 8. Günlük evapotranspirasyon miktarı tahmini verileri için Referans ET ve ANFIS saçılım grafiği

5. Sonuç

Bu çalışmada veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yönetilmekte olan 17351-Adana istasyonundan alınarak 2015-2021 yılları arası günlük evapotranspirasyon miktarı tahmin edilmiştir. Penman Monteith FAO denklemi referans olarak kabul edilmiştir. Evapotranspirasyon miktarı tahmini için Bulanık SMRGT, ANFİS ve Çoklu Doğrusal Regresyon modelleri kullanılmış ve modeller birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bulanık SMRGT, ANFİS ve ÇDR modellerinde toplam 1966 verinin 1476 verisi eğitim için 490 verisi de test için uygulanmıştır. Model ile elde edilen sonuçlar referans Penman Monteith FAO denklemi ile karşılaştırılmıştır.

Tüm modellerde korelasyon katsayısı ve hata oranlarına bakarak ANFİS modeli, SMRGT ve ÇDR modellerine göre evapotranspirasyon tahmininde daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. ANFİS modelin daha iyi sonuç verdiği; daha yüksek korelasyon katsayısı (0.999) ve daha düşük hata oranı (OMH:0.083, KOKH:0.115) değerlerinden görülmüştür. SMRGT ve ÇDR modellerine ait grafikler incelendiğinde; ÇDR modelin SMRGT modele göre korelasyon katsayısının daha yüksek olması ve hata oranı değerlerinin daha düşük olmasından dolayı ÇDR modelinin SMRGT modele göre daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun sebebinin, bağımlı değişken olan evapotranspirasyonun, bağımsız değişkenlerle (sıcaklık, rüzgâr hızı, solar radyasyon ve bağıl nem) arasında lineer bir ilişkiye sahip olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

ANFİS yönteminin hidroloji bilimi için klasik yöntemlere bir alternatif olarak birçok tahmin çalışmasında kullanılabileceği görülmüştür. Doğal olaylar klasik yöntemlere her zaman rahat modelleme imkan vermediğinden belirsizlik ve kesin olmayan durumlarda daha uygun olarak

kullanılabilecek başka yöntemler olduğu görülmüştür. ANFIS modelin probleme kolay uyum sağlayabilmesi, çıkış değerlerinin çok daha kısa sürede elde edilmesi gibi birçok avantajı olduğundan buharlaşma çalışmalarında ANFIS yöntemine de başvurulabilir. Modellemenin farklı iklim şartlarına sahip bölgeler için yapılması, modelleme başarısının geliştirilebilmesi açısından önem arz etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından ölçülen hidrolojik veriler kullanılmıştır. Yazarlar, hidrolojik verilerin ölçülmesi ve aktarılmasında rol alan MGM teknik ekibine teşekkür etmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Arslan H., Tasar B., Unes F., Demirci M., Yılmaz A. Keban Baraj Gölü seviye değişiminin anfis ve destek vektör makineleri ile tahmini. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2020; 3(2): 71-77.
- Bakir M., Dalgac S., Unal E., Karadağ F., Demirci M., Koksal AS., Karaaslan M. High sensitive metamaterial sensor for water treatment centres. *Water, Air, & Soil Pollution* 2019; 230(12): 1-9.
- Chen D. Daily reference evapotranspiration estimation based on least squares support vector machines. *IFIP Advances in Information and Communication Technology* 2012; 369: 54-63.
- Chen Z., Zhu Z., Jiang H., Sun S., Estimating daily reference evapotranspiration based on limited meteorological data using deep learning and classical machine learning methods. *Journal of Hydrology* 2020; 591: 125286.
- Dayan F., Demirci M., Unes F., Tasar B. Nehirlerdeki katı madde miktarının bulanık smrgt yöntemi ile tahmini. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2021; 24(4): 294-307.
- Demirci M., Unes F., Kaya YZ., Tasar B., Varcin H. Modeling of dam reservoir volume using adaptive neuro fuzzymethod. *aerul si apa. Componente ale Mediului* 2018; 145-152.
- Demirci M. Destek vektör makineleri ve m5 karar ağacı yöntemleri kullanılarak yağış akış ilişkisinin tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 2019; 10(3): 1113-1124.

- Doğan E., Sabahattin I., Sandalcı M. Günlük buharlaşmanın yapay sinir ağları kullanarak tahmin edilmesi. *Teknik Dergi* 2007; 18(87): 4119-4131.
- Gavili S., Sanikhani H., Kisi O., Mahmoudi MH. Evaluation of several soft computing methods in monthly evapotranspiration modelling. *Meteorol. Appl.* 2018; 25: 128-138.
- Gocić M., Motamedi S., Shamshirband S., Petković D., Ch S., Hashim R., Arif M. Soft computing approaches for forecasting reference evapotranspiration. *Computers and Electronics in Agriculture* 2015; 113: 164-173.
- Gumus V., Simsek O., Soydan NG., Akoz M. S., Yenigun K. Adana istasyonunda buharlaşmanın farklı yapay zeka yöntemleri ile tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 2016; 7(2): 309-318.
- Gümüş V., Yesiltas Y., Simsek O. Yapay zekâ yöntemleri ile Adıyaman ve Diyarbakır İstasyonlarının aylık tava buharlaşmalarının tahmin edilmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi* 2021; 10(2): 112-122.
- Jang JS. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzyinference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 1993; 23(3): 665-685.
- Jensen ME., Burman RD., Allen RG. *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*, American Society of Civil Engineers New York 1990.
- Kaya YZ., Mamak M., Unes F. Evapotranspiration prediction using M5T data mining method. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)* 2016; 12(3): 225-229.
- Kaya YZ., Unes F., Mamak M. Estimating evapotranspiration using adaptive neuro fuzzy inference system and HargreavesSamani method. In: *Book of abstracts of the International Conference on Engineering* 2016.
- Kılınç I., İstanbul'daki baraj haznelerinin işletilmesinde yapay sinir ağları kullanılması. İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü) 2004.
- Kumar M., Raghuwanshi NS., Singh R., Wallender WW., Pruitt WO. Estimating evapotranspiration using artificial neural network. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 2002; 128(4): 224-233.
- Mirás-Avalos JM., Rubio-Asensio JS., Ramírez Cuesta JM., MaestreValero JF., Intrigliolo DS. Irrigation-advisor-a decision support system for irrigation of vegetable crops. *Water* 2019; 11(11): 2245.
- Ozel A., Büyükyıldız M. Aylık buharlaşma tahmininde yapay zeka yöntemlerinin kullanılabilirliği. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2019; 8(1): 244-254.
- Shiri J., Kisi O. Comparison of genetic programming with neuro-fuzzy systems for predicting short-term water table depth fluctuations, *Computers & Geosciences* 2011; 37(10): 1692-1701.
- Sudheer KP., Gosain AK., Mohana Rangan D., Saheb SM. Modelling evaporation using an artificial neural network algorithm. *Hydrological Processes* 2002; 16(16): 3189-3202.

- Traore S., Wang YM., Kerh T. Artificial neural network for modeling reference evapotranspiration complex process in Sudano Sahelian zone. *Agricultural Water Management* 2010; 97: 707-714.
- Tasar B., Unes F., Demirci M., Kaya YZ. Yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak buharlaşma miktarı tahmini. *DÜMF Mühendislik Dergisi* 2018; 9(1): 543-551.
- Toprak ZF. Flow discharge modeling in open canals using a new fuzzy modeling technique (SMRGT). *CLEAN – Soil, Air, Water* 2009; 37(9): 742-752.
- Turhan E., Cagatay HO. Eksik akım verilerinin tahmin modelinin oluşturulmasında yapay sinir ağlarının kullanımı: Asi Nehri-Demirköprü akım gözlem istasyonu örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2016; 31(1): 93-106.
- Turhan E., Cagatay, HO., Cetin A. Yapay sinir ağı yöntemleri ile Aşağı Seyhan Ovası Alt Havzası yağış-akış ilişkisinin modellenmesi ve yağışlı-kurak dönemler açısından irdelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2016; 31(2): 227-242.
- Turhan E. A comparative evaluation of the use of artificial neural networks for modeling the rainfall-runoff relationship in water resources management. *Journal of Ecological Engineering* 2021; 22(5): 166-178.
- Unes F., Demirci M., Tasar B., Kaya YZ., Varcin H. Estimating dam reservoir level fluctuations using data-driven techniques. *Polish Journal of Environmental Studies* 2019; 28(5): 3451-3462.
- Unes, F., Demirci M., Zelenakova M., Calisici M., Tasar B., Vranay F., Kaya YZ. River flow estimation using artificial intelligence and fuzzy techniques. *Water* 2020; 12(9): 2427.
- Yihdego Y., Webb JA. Comparison of evaporation rate on open water bodies: energy balance estimate versus measured pan. *Journal of Water and Climate Change* 2018; 9(1): 101–111.
- Zadeh LA. Fuzzy sets. *Information and Control* 1965; 8(3): 338-353.
- Zanetti SS., Sousa EF., Oliveira VPS., Almeida FT., Bernardo S. Estimating evapotranspiration using artificial neural network and minimum climatological data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 2007; 133(2): 83-89.