

Atf İçin: Usta, S. (2024). Doğrusal Olmayan Regresyon Yöntemi Kullanılarak Kütle Transferine Dayalı bir Referans Evapotranspirasyon Tahmin Modeli Geliştirilmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(4), 1461-1473.

To Cite: Usta, S. (2024). Developing a Mass Transfer-Based Reference Evapotranspiration Estimation Model Using Nonlinear Regression Method. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(4), 1461-1473.

Doğrusal Olmayan Regresyon Yöntemi Kullanılarak Kütle Transferine Dayalı bir Referans Evapotranspirasyon Tahmin Modeli Geliştirilmesi

Selçuk USTA^{1*}

Öne Çıkanlar:

- Buharlaşma
- Buhar basıncı açığı
- Hava sıcaklığı

Anahtar Kelimeler:

- Doğrusal olmayan regresyon
- Kütle transferi
- Penman & Monteith
- Referans evapotranspirasyon
- Tahmin modeli

ÖZET:

Referans evapotranspirasyon (ET_o), toprak yüzeyinden buharlaşma ve referans çim bitkisinden terleme yolu ile atmosfere transfer edilen toplam su buharı kütlesi olarak tanımlanmaktadır. Hidroloji bilimi kapsamındaki birçok çalışmada temel veri olarak kullanılan ET_o , atmosferik buhar basıncı açığına dayalı kütle transferi yolu ile gerçekleşmektedir. ET_o , lizimetre sistemleri ile doğrudan ölçülebilmektedir. Ancak, bu sistemler ile gerçekleştirilen ölçme işlemleri zor ve zaman alıcıdır. Bu nedenle, kütle transferine dayalı ampirik modeller kullanılarak ET_o miktarının tahmin edilmesi yaklaşımı pratikte daha fazla tercih edilmektedir. Bu çalışmada, Van ili mikroklima alanı iklim ve çevre koşulları ile uyumlu kütle transferine dayalı bir ampirik ET_o tahmin modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Tahmin modeli, 2012 ile 2022 yılları arasında ölçülen 11 yıllık günlük ortalama iklim verileri kullanılarak, Microsoft Excel programı çözücü eklentisi aracılığıyla oluşturulmuş ve aynı verilerle test edilmiştir. Bu model kullanılarak tahmin edilen günlük ET_o değerleri ile standart FAO-56 Penman & Monteith (PM) eşitliği kullanılarak tahmin edilen günlük ET_o değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan ortalama mutlak hata (MAE), ortalama mutlak yüzde hata (MAPE), karekök ortalama karesel hata (RMSE) ve regresyon katsayısı (R^2) katsayısı sırasıyla 0.27 mm/gün, %7.02, 0.32 mm/gün ve 0.98 olarak belirlenmiştir. Kütle transferine dayalı modelin Van ili koşullarında standart FAO-56 PM eşitliğinin alternatifi olarak kullanılabilirliği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, bu modelin yöre koşullarında hazırlanacak sulama programı ve kuraklık eylem planı çalışmalarında faydalı olacağı düşünülmektedir.

Developing a Mass Transfer-Based Reference Evapotranspiration Estimation Model Using Nonlinear Regression Method

Highlights:

- Evaporation
- Vapour pressure deficit
- Air temperature

Keywords:

- Nonlinear regression
- Mass transfer
- Penman & Monteith
- Reference evapotranspiration
- Estimation model

ABSTRACT:

Reference evapotranspiration (ET_o) is defined as the total mass of water vapour transferred to the atmosphere by evaporation from the soil surface and transpiration from the reference grass plant. ET_o occurs through mass transfer based on atmospheric vapour pressure deficit and is used as primary data in many studies within the scope of hydrology science. ET_o can be measured directly with lysimeter systems. However, measurement processes performed with these systems are difficult and time-consuming. For this reason, the approach of estimating the ET_o using mass transfer-based empirical models is more preferred in practice. This study aims to create a mass transfer-based ET_o estimation model compatible with Van province microclimate area climatic and environmental conditions. The estimation model was created via the Microsoft Excel program solver add-on using the 11-year daily average climate data measured between 2012 and 2022, and was tested with the same data. The mean absolute error (MAE), mean absolute percentage error (MAPE), root mean square error (RMSE) and determination coefficient (R^2) calculated as an indicator of the deviation between the daily ET_o values estimated using this model and the daily ET_o values estimated using the standard FAO-56 Penman & Monteith (PM) equation, were determined as 0.27 mm/day, 7.02%, 0.32 mm/day and 0.98, respectively. It is concluded that the mass transfer-based model can be used as an alternative to the standard FAO-56 PM equation in Van conditions. Additionally, it is believed that this model will be beneficial for preparing irrigation schedules and drought action plans under local conditions.

¹ Selçuk USTA ([Orcid ID: 0000-0001-8970-7333](https://orcid.org/0000-0001-8970-7333)), Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Van, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Selçuk USTA, e-mail: susta@yyu.edu.tr

GİRİŞ

Bitki su tüketimi olarak tanımlanan evapotranspirasyon (ET), toprak yüzeyinden buharlaşma (evaporasyon) ve bitki yaprak yüzeylerinden terleme (transpirasyon) yolu ile atmosfere transfer edilen toplam su buharı miktarıdır. Hidrolojik döngünün tahmin edilmesi en zor unsurlarından biri olan ET; sulama – drenaj sistemleri ile gölet ve barajların projelendirilmesi, inşa edilmesi ve işletilmesi, yağışın yeraltı suyuna sızan miktarının belirlenmesi, kuraklığın izlenmesi, havza yönetimi ve bitkilerin sulama suyu ihtiyacının belirlenerek, sulama programlarının hazırlanması gibi birçok çalışmada ihtiyaç duyulan en temel veridir (Aghelpour ve Norooz-Valashedi, 2022). ET, lizimetre sistemleri ile doğrudan ölçülebilmektedir. Ancak, bu sistemlerin kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek, ölçme işlemlerinin ise zor ve zaman alıcı olması kullanımlarını kısıtlamaktadır (Mehdizadeh, 2018). Bu nedenlerden dolayı, referans evapotranspirasyonun (ET_0) bitki katsayısı (K_c) ile düzeltilerek potansiyel evapotranspirasyonun (PET) tahmin edilmesi yaklaşımı pratikte daha fazla tercih edilmektedir. Bu yaklaşımda ET_0 , 12 cm yüksekliğindeki referans çim bitkisinden, albedonun 0.23 olduğu koşullarda gerçekleşen maksimum evapotranspirasyon miktarı olarak tanımlanmaktadır. K_c ise bitki türü ve gelişme dönemini ifade eden bir katsayı olup, gelişme dönemlerine bağlı olarak tek bir bitki için birden fazla K_c katsayısı kullanılabilir (Allen ve ark., 1998).

Günümüzde ET_0 tahminlerinde en fazla tercih edilen yöntemlerin başında Penman & Monteith gelmektedir. İlk defa Penman (1948) tarafından oluşturulan ve zaman içerisinde bazı sabitler eklenip geliştirilen bu yöntem, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından 1998 yılında çim bitkisine uyarlanarak, 56 sayılı Sulama ve Drenaj Yayını ile Penman & Monteith (PM) eşitliği FAO-56 modifikasyonu adı altında kullanıma sunulmuştur (Allen ve ark., 1998). FAO-56 PM yöntemi kombinasyon bazlı olup, yerel kalibrasyona ihtiyaç duymadan farklı iklim ve çevre koşullarında kullanılabilirdiği yapılan birçok çalışma ile doğrulanmıştır. Bu nedenle evrensel standart yöntem olarak kabul edilmiştir (Sentelhas ve ark., 2010; Berti ve ark., 2014). Bu yöntemde ET_0 , meteoroloji yer gözlem istasyonları tarafından ölçülen sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, solar radyasyon ve topraktaki ısı akısı değişimi parametrelerine bağlı olarak yüksek doğrulukla tahmin edilebilmektedir. Ancak, meteoroloji istasyonlarının tüm dünyada yeterince yaygın olmamaları ve çoğunlukla şehir merkezlerinde bulunmaları nedeniyle, kırsal kesimlerde bu parametrelerin birçoğu devamlı ve düzenli olarak ölçülememektedir. Veri temininde sorunlar yaşanabilmektedir. Ölçme işlemlerinde kullanılan cihazların maliyetlerinin yüksek, kalibrasyonlarının ise zor ve zaman alıcı olması da bir diğer önemli sorunu oluşturmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, kırsal kesimlerde daha az sayıda meteorolojik parametreye ihtiyaç duyan ampirik tahmin modellerinin kullanılması zorunlu hale gelmektedir.

Kütle transferine dayalı olarak ET_0 miktarının tahmin edilmesi yaklaşımı, toprak yüzeyinden ve bitki yapraklarından atmosfere transfer edilen toplam su buharı kütlesinin belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Bu doğrultuda, toprak yüzeyi ve bitki yaprakları ile bunları çevreleyen hava arasındaki atmosferik buhar basıncı açığına (VPD) dayalı olarak çok sayıda ampirik ET_0 tahmin modeli geliştirilmiştir (Dalton, 1802; Trabert, 1896; Meyer, 1926; Rohwer, 1931; Penman, 1948; Albrecht, 1950; Romanenko, 1961; Mahringer, 1970). Büyük bir çoğunluğu doğrusal regresyon tabanlı olan bu modellerin farklı iklim ve çevre koşullarındaki güvenilirlik ve kullanılabilirlik düzeylerini test etmek amacıyla birçok bölgede çok sayıda çalışma yapılmıştır. Singh ve Xu (1997), Kanada'nın dört farklı iklim koşulunda test ettikleri Meyer, Dalton ve Rohwer modelleri ile tahmin edilen ET_0 değerlerinin, gözlemlenen gerçek değerlerle makul düzeyde uyum içinde olduğunu ortaya koymuşlardır. Rim (2000), Amerika Birleşik Devletleri Arizona koşullarında Dalton modelinin Penman Modelinden daha iyi performans gösterdiğini, Muniandy ve ark. (2016) ise Malezya koşullarında en yüksek tahmin

performansına sahip modelin Penman olduğunu bildirmişlerdir. Tabari ve ark. (2011) tarafından İran koşullarında test edilen on adet kütle transferine dayalı tahmin modeli arasında en yüksek tahmin performansına sahip model Romanenko olmuştur. Benzer şekilde İran koşullarında yürütülen bir diğer çalışmada, Valipour ve ark. (2017) kütle transferine dayalı on bir adet tahmin modelinin İran koşullarındaki kullanılabilirlik düzeylerini belirleyerek, bunları farklı iklim özelliklerine sahip otuz bir şehir için kalibre etmişlerdir. Penman modelinin kalibrasyon öncesi on beş şehirde ve kalibrasyon sonrası yirmi bir şehirde diğer yöntemlere göre daha iyi performans gösterdiğini ifade etmişlerdir. Djaman ve ark. (2015), yerel iklim ve çevre özellikleri ile uyumlu olacak şekilde kalibre edilen Trabert, Mahringer ve Albrecht modellerinin yarı kurak Senegal Nehri vadisinde en iyi performansı gösteren modeller olduğunu ortaya koymuşlardır. Islam ve ark. (2020), Suudi Arabistan'ın yarı kurak Abha bölgesinde gerçekleştirdikleri çalışmada, bazı kütle transferine dayalı modeller ile tahmin edilen günlük ortalama ET_o değerlerini, standart FAO-56 PM yöntemi kullanılarak elde edilen ET_o değerleriyle karşılaştırmışlardır. En yüksek doğruluk düzeyine sahip ET_o değerlerinin Albrecht modeli ile tahmin edildiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmalar kapsamında kendi içerisinde değerlendirilen kütle transferine dayalı modellerin sıcaklık, rüzgâr hızı ve bağıl nem parametrelerindeki değişimlere karşı oldukça duyarlı oldukları görülmüştür. Ayrıca, bu modellerin hava sıcaklığı ve radyasyona dayalı modellerle karşılaştırıldıkları bazı çalışmalarda en kötü tahmin performansına sahip modeller oldukları ortaya koyulmuştur (Farzanpour ve ark., 2019; Proutsos ve ark., 2023).

Ampirik ET_o tahmin yöntemlerinin Van ili koşullarındaki kullanılabilirlik düzeylerinin test edilerek, kalibrasyonlarının yapılması amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda daha çok sıcaklık ve radyasyona dayalı yöntemlerin ele alındığı görülmüştür. Usta ve Gençoğlu (2019), hava sıcaklığı ve oransal nemin bağımsız değişkenler olarak kullanıldığı çoklu doğrusal regresyona dayalı ET_o tahmin modelleri oluşturmuşlardır. Standart FAO-56 PM yöntemi için gerekli olan verilerin tamamının ölçülememesi veya temin edilememesi durumunda bu yöntemlerin alternatif olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Usta ve ark. (2019) ile Uzunlar ve ark. (2022) tarafından yürütülen diğer çalışmalarda, sıcaklığa dayalı Blaney & Criddle (Blaney ve Criddle, 1950) ve radyasyona dayalı Hargreaves & Samani (Hargreaves ve Samani, 1985) yöntemlerinin orijinal eşitlikleri yöre koşullarında test edilerek, modifiye eşitlikleri oluşturulmuştur. Yöre koşulları ile uyumlu modifiye eşitliklerin orijinal eşitliklere göre daha iyi performans gösterdiği ortaya koyulmuştur. Karaca ve Sarğın (2022), sıcaklığa dayalı Thornthwaite (Thornthwaite, 1948) yöntemini kullanarak Van ili ve ilçelerinin PET miktarlarını belirlemişlerdir. Yıllık toplam 402.07 – 756.31 mm arasında değişen bu miktarların, bölgedeki su bütçesinin doğru hesaplanmasında ve kuraklık eylem planı çalışmalarında faydalı olacağını bildirmişlerdir. Saban Polu (2021), FAO-56 PM yöntemini kullanarak Van ilinin günlük, aylık ve yıllık toplam ET_o miktarlarını tahmin etmiştir. Uzun yıllar (1968 – 2013) ortalama iklim verilerinin kullanıldığı bu çalışmada, Van ilinin yıllık toplam ET_o miktarı 1067.30 mm olarak belirlenmiştir.

Doğu Anadolu Bölgesi kırsalında nüfusun çoğunluğunun geçim kaynağını tarım ve hayvancılık faaliyetleri oluşturmaktadır. Bölgede son yıllarda yaşanan kuraklıktan dolayı, tarımsal amaçlı bitkisel üretimde verim ve kalite kaybının yaşanmaması için sulamaya her zamankinden daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, tarım sektörü %70 oranla su tüketiminin en fazla olduğu sektör konumundadır. Bu oranın neredeyse tamamını sulama amaçlı kullanılan su oluşturmaktadır. Gerçek zamanlı bitki su tüketimine duyarlı sulama programları dahilinde sulama yapılarak, su kaynaklarının sürdürülebilir bir biçimde kullanılması sağlanabilmektedir. Bu programların hazırlanmasında ve bununla birlikte mevcut su kaynaklarının doğru yönetimi ve geleceğe dönük kullanımlarının önceliklendirilmesinde doğru ölçülen ya da tahmin edilen ET_o verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Hava sıcaklığı, oransal nem, solar radyasyon, rüzgâr hızı ve güneşlenme süresi gibi iklim parametreleri ile ET_0 arasında doğrusal olmayan ilişkilerin mevcut olması, ET_0 miktarının bu parametrelere dayalı doğrusal regresyon tabanlı modellerle tahmin edilmesini zorlaştırmaktadır (Izadifar ve Elshorbagy, 2010). Ayrıca, bu modellerin kullanılabilirlik ve güvenilirlik düzeyleri iklim ve çevre koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenlerden dolayı kullanılacakları yerel koşullarda test edilerek, kalibrasyonlarının yapılmasına ve ayrıca yerel koşullar ile uyumlu yeni modellerin oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Bogawski ve Bednorz, 2014). Doğrusal olmayan regresyon yöntemleri, ET_0 bağımlı değişkeni ile iklime dayalı bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri modellemek amacıyla birçok çalışmada başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Huang ve ark., 2019; Gocić ve Arab Amiri, 2021).

Buradan yola çıkılarak, kuraklık riski altında bulunan Van ili koşullarında gerçekleştirilen bu çalışmada, kütle transferine dayalı bir ampirik ET_0 tahmin modelinin oluşturulması ve günlük ortalama ET_0 tahminlerindeki kullanılabilirlik düzeyinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Van ili, karasal iklimin egemen olduğu Doğu Anadolu Bölgesi sınırları içerisinde yer almasına karşın, kıyısında bulunduğu Van Gölü iklimin karasallık derecesini önemli ölçüde azaltmaktadır. Van Gölü'nden kaynaklı bir mikroklima iklim yapısına sahip olması nedeniyle, il genelinde daha ılıman bir iklim özelliği hissedilmektedir. Van ili mikroklima alanı iklim ve çevre koşulları ile uyumlu olacak şekilde, doğrusal olmayan regresyona dayalı olarak oluşturulan ET_0 tahmin modelinin bu yönüyle literatüre katkı sağlayacağı ve bununla birlikte yöredeki sulama faaliyetleri kapsamında hazırlanacak sulama programları ile kuraklık eylem planı çalışmalarında faydalı olacağı düşünülmektedir.

MATERYAL VE METOT

Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Murat – Van Bölümü'ndeki Van Gölü kapalı havzası içerisinde yer alan Van ili, coğrafi konum olarak $37^{\circ} 43' - 39^{\circ} 26'$ kuzey enlemleri ile $42^{\circ} 40' - 44^{\circ} 30'$ doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin rakımı 1726 m olup, yıllık ortalama hava sıcaklığı ve nem oranı sırasıyla $9.50^{\circ}C$ ve %58.67 düzeyindedir. Yıllık ortalama 7.90 saat günlük güneşlenme süresi ve $15.32 MJ/m^2/gün$ solar radyasyon yoğunluğu ile Türkiye'nin en çok güneş alan şehirleri arasında yer almaktadır. İl genelinde yarı kurak – kurak iklim özellikleri hakim olmakla birlikte, Van Gölü'ne yakın kesimlerde yarı kurak – nemli iklim özellikleri hissedilmektedir. Yıllık toplam yağış miktarı $392.70 mm$ düzeyindedir. Aylık ortalama hava sıcaklığının sırasıyla $18.30^{\circ}C$, $22.30^{\circ}C$ ve $22.20^{\circ}C$ olarak gerçekleştiği Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında yağış iyice azalmaktadır. Günlük potansiyel evapotranspirasyonun yağıştan daha yüksek olduğu bu aylarda, $5.80 - 18.40 mm$ arasında değişen aylık toplam yağış miktarı bitki su tüketimini karşılamada yetersiz kalmakta ve bitkilerin kuraklıktan zarar görmemesi için sulama yapılması zorunlu hale gelmektedir (Karaca ve Sarğın, 2022).

Van ili mikroklima alanı iklim ve çevre koşulları ile uyumlu kütle transferine dayalı bir ET_0 tahmin modeli oluşturulması ve bu modelin yöre koşullarındaki kullanılabilirlik düzeyinin test edilmesi amacıyla, Van 14. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü 17172 numaralı Edremit yer gözlem istasyonu tarafından 2012 – 2022 yılları arasında ölçülen 11 yıllık günlük ortalama hava sıcaklığı (T), oransal nem (RH), rüzgâr hızı (U_2) ve solar radyasyon (R_s) verileri kullanılmıştır. Bu verilerin aylık ortalama değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Edremit yer gözlem istasyonunun rakımı 1669 m olup, $38^{\circ} 28'$ kuzey enlemi ile $43^{\circ} 20'$ doğu boylamında yer almaktadır. Çalışma, il genelinde ağırlıklı olarak yetiştiriciliği yapılan tarımsal ürünlerin ekim – dikim dönemleri ve gelişim dönemi uzunlukları dikkate alınarak Nisan – Ekim dönemi için yürütülmüştür (TAGEM, 2017).

Çizelge 1. Hava Sıcaklığı, Oransal Nem, Rüzgâr Hızı ve Solar Radyasyon Değerleri (2012 – 2022)

Aylar	T (°C)	RH (%)	U ₂ (m/s)	R _s (MJ/m ² /gün)
Nisan	9.10	61.76	2.94	13.65
Mayıs	14.12	57.01	2.79	17.04
Haziran	18.62	46.62	2.99	21.14
Temmuz	22.15	44.52	2.88	23.66
Ağustos	21.40	45.90	2.89	24.53
Eylül	17.96	45.79	2.55	22.55
Ekim	11.84	54.93	2.76	18.93

Çalışma kapsamında önerilen kütle transferine dayalı model Eşitlik (1) ile verilmiştir. Doğrusal olmayan regresyon yöntemi ile oluşturulan bu modelin bileşenleri sırasıyla Eşitlik (2 – 6) kullanılarak belirlenmiştir. Bu eşitliklerde; ET_o, referans evapotranspirasyon (mm/gün); U₂, zemin yüzeyinden 2 m yükseklikteki rüzgâr hızı (m/s); VPD, atmosferik buhar basıncı açığı (kPa); e_s, doymun buhar basıncı (kPa); e_a, gerçek buhar basıncı (kPa); e_{smax}, maksimum doymun buhar basıncı (kPa), e_{smin}, minimum doymun buhar basıncı (kPa); T_{max}, maksimum sıcaklık (°C); T_{min}, minimum sıcaklık (°C); RH_{max}, maksimum oransal nem (%) ve RH_{min}, minimum oransal nem (%) değerlerini ifade etmektedir.

$$ET_o = a_o (U_2)^{a_1} (VPD)^{a_2} \quad (1)$$

$$VPD = e_s - e_a \quad (2)$$

$$e_{smax} = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27 T_{max}}{T_{max} + 237.3}\right) \quad (3)$$

$$e_{smin} = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27 T_{min}}{T_{min} + 237.3}\right) \quad (4)$$

$$e_s = \frac{e_{smax} + e_{smin}}{2} \quad (5)$$

$$e_a = \frac{\left[\left(\frac{e_{smin} RH_{max}}{100}\right) + \left(\frac{e_{smax} RH_{min}}{100}\right)\right]}{2} \quad (6)$$

Microsoft Excel programına gerekli parametreler girilerek, formül tanımlamaları yapılmıştır. Bu doğrultuda, öncelikle modele a_o, a₁ ve a₂ katsayıları atanmıştır. Daha sonra Microsoft Excel programı çözücü eklentisi kullanılarak, bu katsayıların yerel koşullar ile uyumlu optimum değerleri belirlenmiştir. Çözücü, hedef hücreye yazılan modeldeki katsayıların optimum değerlerini belirlemek için, modelle ilişkili bir hücre grubundan faydalanmaktadır (Cobaner ve ark., 2015). Modeldeki a_o, a₁ ve a₂ katsayılarına başlangıçta “1” değeri atanarak günlük ortalama ET_o değerleri tahmin edilmiştir. Daha sonra çözücü aktif edilerek, tahmini ve gerçek ET_o değerleri arasındaki farkların karelerinin toplamını minimuma indiren a_o, a₁ ve a₂ katsayıları belirlenmiştir.

Önerilen modelin oluşturulması ve yöre koşullarındaki kullanılabilirlik düzeyinin test edilmesi aşamalarında, FAO-56 PM eşitliği ile tahmin edilen günlük ortalama ET_o değerleri gerçek değerler olarak kabul edilmiştir (Eşitlik 7). Bu eşitlikte; Δ, buhar basıncı eğrisinin eğimini (kPa/°C); R_n, net radyasyonu (MJ/m²/gün); γ, psikometrik sabiti (kPa/°C) ve G, topraktaki ısı akısını (MJ/m²/gün) ifade etmektedir. FAO-56 PM eşitliğinin diğer bileşenlerinin belirlenmesinde ise FAO tarafından hazırlanan 56 sayılı Sulama ve Drenaj yayınından faydalanılmıştır (Allen ve ark., 1998).

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273}\right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (7)$$

Önerilen kütle transferine dayalı model kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama ET_o değerleri FAO-56 PM eşitliği ile elde edilen gerçek günlük ortalama ET_o değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kriterleri olarak; ortalama mutlak hata (Eşitlik 8), ortalama mutlak yüzde hata (Eşitlik 9) ve karekök ortalama karesel hata (Eşitlik 10) değerleri dikkate alınmıştır. Kütle transferine dayalı model ile tahmin edilen günlük ET_o değerlerinin doğruluk düzeyleri, Lewis (1982) tarafından önerilen ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) yaklaşımı dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu yaklaşımda

doğruluk düzeyi; MAPE < %10 ise “çok iyi”, %10 ≤ MAPE < %20 ise “iyi”, %20 ≤ MAPE < %50 ise “kabul edilebilir”, MAPE ≥ %50 ise “uyumsuz” olarak ifade edilmiştir. Gerçek ve tahmini ET_o değerleri arasındaki istatistiksel ilişki düzeyini ortaya koymak amacıyla Microsoft Excel programı kullanılarak regresyon analizleri yapılmış (Eşitlik 11) ve sonuçlar yorumlanmıştır (Cobaner ve ark., 2015). Aşağıdaki eşitliklerde; MAE, ortalama mutlak hatayı (mm/gün); MAPE, ortalama mutlak yüzde hatayı (%); RMSE, karekök ortalama karesel hatayı (mm/gün); X_i ve Y_i, sırasıyla gerçek ve tahmini ET_o değerlerini (mm/gün); \hat{X} ve \hat{Y} , sırasıyla gerçek ve tahmini ET_o değerlerinin ortalamalarını (mm/gün); R², regresyon katsayısını ve n, gözlem sayısını (2354 gün) ifade etmektedir.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - Y_i| \quad (8)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i - Y_i}{X_i} \right| \times 100 \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (10)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X})(Y_i - \hat{Y})]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2} \quad (11)$$

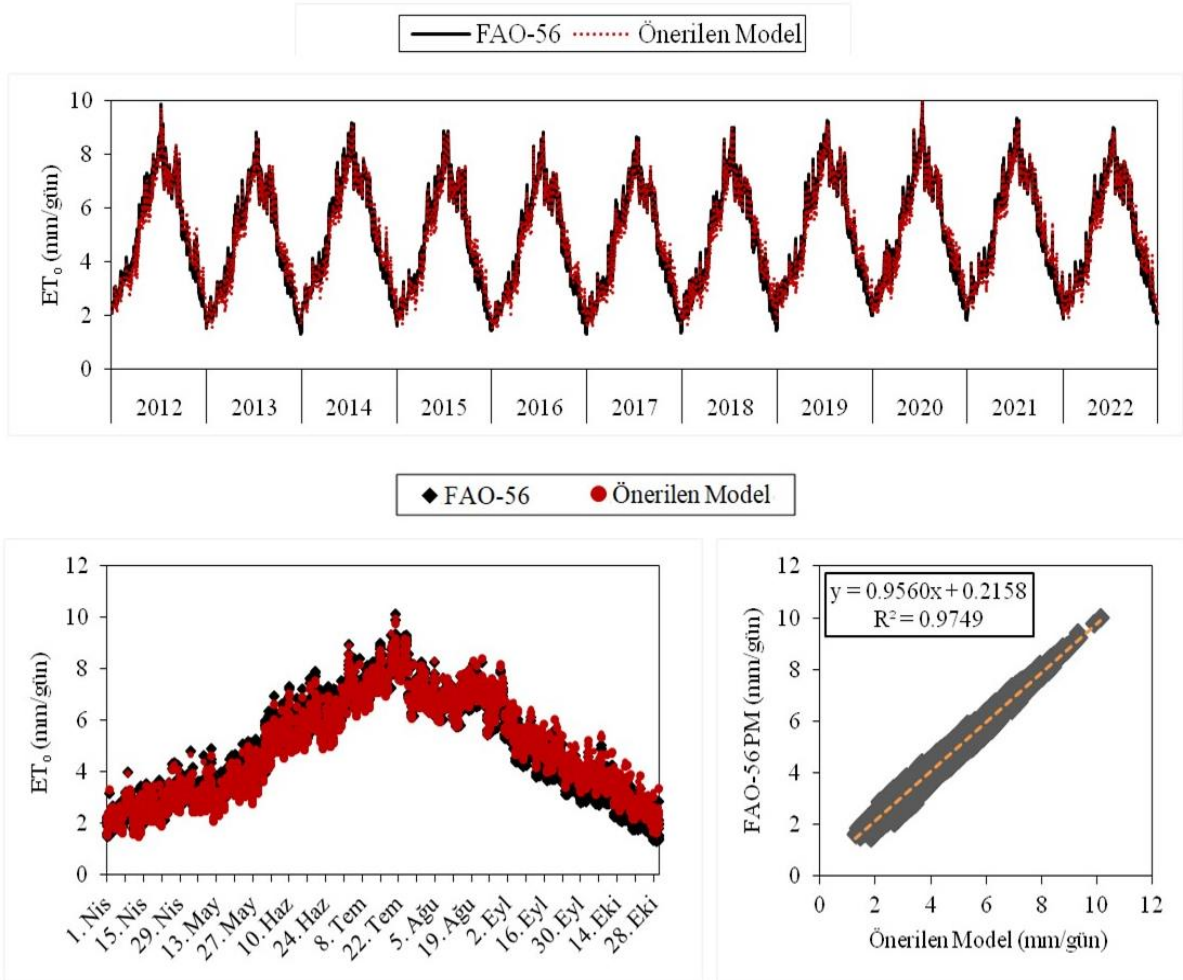
BULGULAR VE TARTIŞMA

Microsoft Excel programı çözücü eklentisi aracılığıyla a₀ (3.52), a₁ (0.25) ve a₂ (0.65) katsayılarının optimum değerleri belirlenerek, kütle transferine dayalı ET_o tahmin modeli oluşturulmuştur (Eşitlik 12). Van ili iklim alanı iklim ve çevre koşulları için önerilen bu model kullanılarak, yıl bazında tahmin edilen günlük ortalama ET_o miktarları ile FAO-56 PM eşitliği kullanılarak belirlenen gerçek günlük ortalama ET_o miktarları Şekil 1’de verilmiştir.

$$ET_o = 3.52 (U_2)^{0.25} (VPD)^{0.65} \quad (12)$$

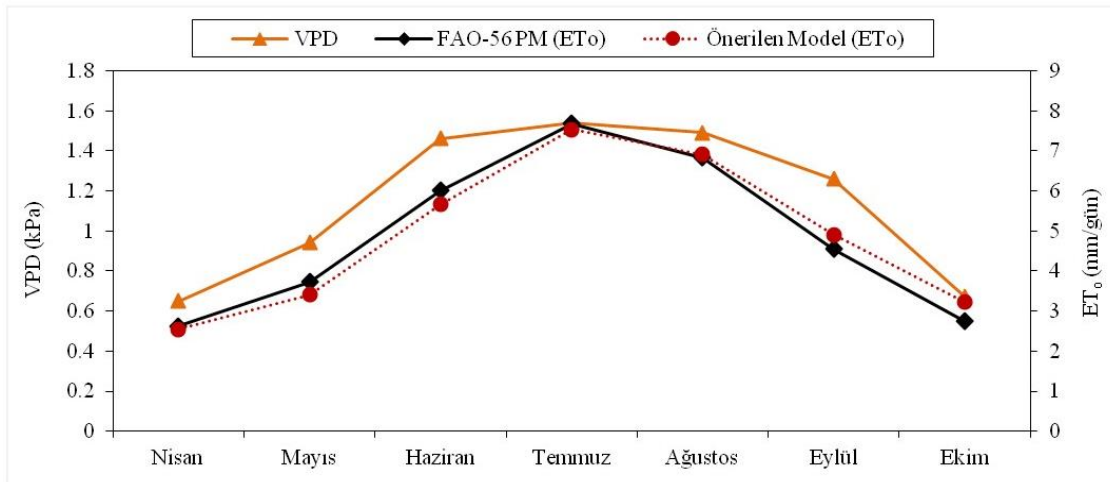
FAO-56 PM eşitliği ile belirlenen günlük ortalama ET_o değerleri, 2012 – 2022 yılları arasındaki süreç boyunca 1.66 – 9.06 mm/gün aralığında değerler almıştır. Hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve solar radyasyonun yüksek, oransal nemin ise düşük olduğu günlerde gerçekleşen ET_o değerlerinin diğer günlere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Temmuz ve Ağustos aylarında sırasıyla 6.55 – 9.06 mm/gün ve 5.98 – 7.64 mm/gün aralıklarında değişen değerler ile en yüksek seviyelere yükselen ET_o, Nisan ve Ekim aylarında azalarak sırasıyla 1.94 – 3.33 mm/gün ve 1.66 – 4.06 mm/gün aralıklarında değişen değerlere gerilemiştir. Haziran ve Eylül geçiş aylarında ise sırasıyla 5.15 – 6.85 mm/gün ve 3.18 – 5.94 mm/gün aralıklarında değişen günlük ortalama ET_o değerleri elde edilmiştir. Benzer şekilde, kütle transferine dayalı model kullanılarak Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim ayları için sırasıyla 1.93 – 3.21 mm/gün, 2.48 – 4.54 mm/gün, 4.67 – 6.67 mm/gün, 6.44 – 9.00 mm/gün, 5.89 – 7.54 mm/gün, 3.56 – 6.26 mm/gün ve 1.98 – 4.54 mm/gün aralıklarında değişen günlük ortalama ET_o değerleri tahmin edilmiştir (Şekil 1).

Yıllık ortalama ET_o, 2012 – 2018 yılları arasındaki süreç boyunca genel olarak sabit bir görünüm sergilemiştir. Bu süreçte yıllık ortalama 3.92 – 4.52 mm/gün aralığında değişen ET_o, 2019 yılında artarak 4.62 mm/gün düzeyine yükselmiştir. Bu yıldan itibaren genel olarak yükselme eğilimi gösteren ET_o, 2021 ve 2022 yıllarında yaşanan kuraklık nedeniyle artarak yıllık ortalama 4.67 mm/gün değeri ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Önerilen model kullanılarak tahmin edilen ET_o değerleri ile FAO-56 PM eşitliği kullanılarak belirlenen gerçek ET_o değerleri arasındaki korelasyonun bir ifadesi olarak regresyon katsayısı (R²) 0.98 olarak elde edilmiştir. Tahmin edilen ET_o değerlerinin gerçek ET_o değerlerindeki değişimi açıklayabilme oranı %98.00 (R² = 0.98) olarak belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Günlük Ortalama Referans Evapotranspirasyon Değerleri

Kütle transferine dayalı model günlük ortalama ET_0 değerlerini Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında olması gerekenden daha düşük tahmin etmiştir. Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında ise daha yüksek tahmin etmiştir. Hava sıcaklığının artarak maksimum seviyelere yükseldiği, buna karşın yağışın iyice azalarak minimum seviyelere gerilediği Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında atmosferdeki su buharı kütlesi en düşük düzeylere gerilemiştir. Atmosferik buhar basıncı açığının ($VPD = e_s - e_a$) maksimum düzeylere yükseldiği bu aylarda toprak yüzeyi ve bitki yapraklarından atmosfere transfer edilen toplam su buharı kütlesi, diğer bir ifadeyle ET_0 en yüksek düzeylere ulaşmıştır (Şekil 2). Uzun yıllar aylık ortalama VPD değerlerinin sırasıyla 1.46 kPa, 1.54 kPa ve 1.49 kPa olarak gerçekleştiği Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları için FAO-56 PM eşitliği kullanılarak belirlenen günlük ortalama ET_0 değerlerinin aylık ortalamaları sırasıyla 6.00 mm/gün, 7.67 mm/gün ve 6.83 mm/gün olarak elde edilmiştir. Kütle transferine dayalı model kullanılarak, aynı aylar için tahmin edilen günlük ortalama ET_0 değerlerinin aylık ortalamaları ise sırasıyla 5.66 mm/gün, 7.53 mm/gün ve 6.91 mm/gün belirlenmiştir. Aylık ortalama MAE hataları sırasıyla 0.34 mm/gün, 0.17 mm/gün ve 0.12 mm/gün olarak gerçekleşmiştir. Kütle transferine dayalı model kullanılarak Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları için sırasıyla %94.27 (MAPE= %5.73), %97.79 (MAPE= %2.21) ve %98.19 (MAPE= %1.81) doğruluk düzeylerine sahip günlük ortalama ET_0 değerleri tahmin edilmiştir. RMSE hataları ise sırasıyla 0.36 mm/gün, 0.20 mm/gün ve 0.16 mm/gün olarak belirlenmiştir (Çizelge 2).



Şekil 2. Aylık Ortalama Atmosferik Buhar Basıncı Açığı ve Referans Evapotranspirasyon Değerleri

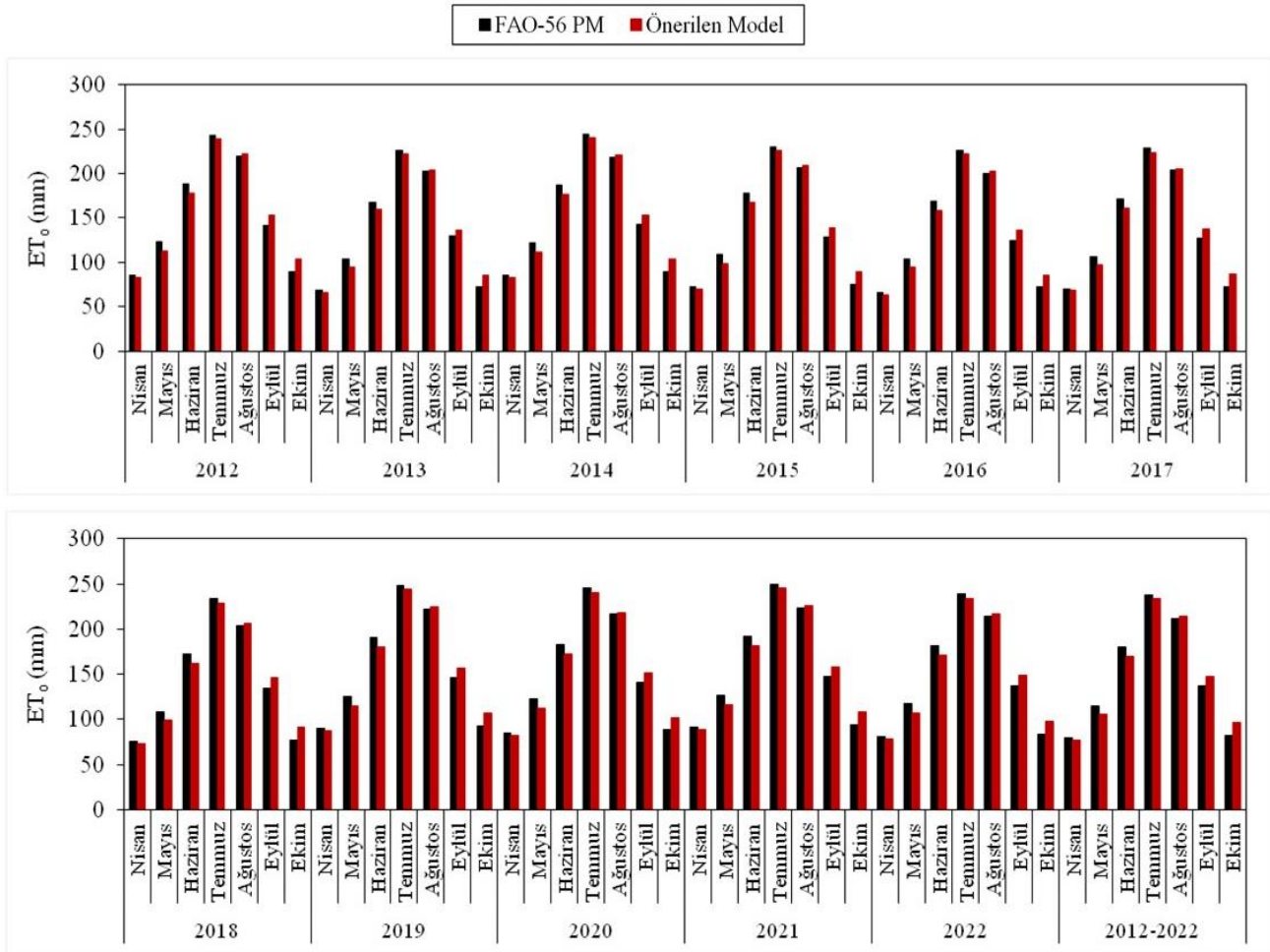
Hava sıcaklığının azalarak minimum seviyelere gerilediği, yağışın ise artarak maksimum seviyelere yükseldiği Nisan ve Ekim aylarında atmosferdeki su buharı kütlesi en yüksek düzeylere ulaşmıştır. VPD'nin minimum düzeylere gerilediği bu aylarda, atmosfere transfer edilen toplam su buharı kütlesinin bir ifadesi olarak ET_0 en düşük düzeylere gerilemiştir (Şekil 2). Uzun yıllar aylık ortalama VPD'nin sırasıyla 0.65 kPa ve 0.67 kPa olarak belirlendiği Nisan ve Ekim aylarında FAO-56 PM eşitliği ile tahmin edilen günlük ortalama ET_0 değerlerinin aylık ortalamaları sırasıyla 2.63 mm/gün ve 2.75 mm/gün olarak elde edilmiştir. Kütle transferine dayalı model kullanılarak, aynı aylar için tahmin edilen günlük ortalama ET_0 değerlerinin aylık ortalamaları ise sırasıyla 2.55 mm/gün ve 3.22 mm/gün olarak belirlenmiştir. Aylık ortalama MAE ve RMSE hataları sırasıyla 0.12 mm/gün, 0.47 mm/gün ve 0.14 mm/gün, 0.48 mm/gün olarak gerçekleşmiştir. Nisan ve Ekim ayları için sırasıyla %95.48 (MAPE= %4.52) ve %82.16 (MAPE= %17.84) doğruluk düzeylerine sahip günlük ortalama ET_0 değerleri tahmin edilmiştir. Aylık ortalama VPD'nin sırasıyla 0.94 kPa ve 1.26 kPa olarak hesaplandığı Mayıs ve Eylül ayları için, FAO-56 PM eşitliği ile tahmin edilen aylık ortalama ET_0 değerleri sırasıyla 3.72 mm/gün ve 4.55 mm/gün olarak elde edilmiştir. Kütle transferine dayalı model kullanılarak, aynı aylar için sırasıyla 3.41 mm/gün ve 4.90 mm/gün aylık ortalama ET_0 değerleri tahmin edilmiştir. Kütle transferine dayalı model ile "çok iyi" (MAPE< %10) düzeyde doğruluğa sahip günlük ortalama ET_0 değerlerinin tahmin edilebileceği ortaya koyulmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 2. Kütle Transferine Dayalı Model ile Tahmin Edilen Aylık Ortalama ET_0 Değerleri ve Hataları

Aylar	VPD (kPa)	ET_0 (mm/gün)		MAE (mm/gün)	MAPE (%)	RMSE (mm/gün)	Doğruluk düzeyi
		FAO-56 PM	Önerilen Model				
Nisan	0.65	2.63	2.55	0.12	4.52	0.14	Çok iyi
Mayıs	0.94	3.72	3.41	0.32	8.87	0.35	Çok iyi
Haziran	1.46	6.00	5.66	0.34	5.73	0.36	Çok iyi
Temmuz	1.54	7.67	7.53	0.17	2.21	0.20	Çok iyi
Ağustos	1.49	6.83	6.91	0.12	1.81	0.16	Çok iyi
Eylül	1.26	4.55	4.90	0.35	8.13	0.37	Çok iyi
Ekim	0.67	2.75	3.22	0.47	17.84	0.48	İyi
Ortalama	1.14	4.88	4.88	0.27	7.02	0.32	Çok iyi

FAO-56 PM eşitliği kullanılarak belirlenen aylık toplam ET_0 değerleri, 2012 – 2022 yılları arasındaki süreç boyunca 66.23 – 250.09 mm aralığında değerler almıştır. Temmuz ve Ağustos aylarında sırasıyla 225.93 – 250.09 mm ve 200.20 – 223.45 mm arasında değişen değerler ile en

yüksek seviyelere yükselen aylık toplam ET_0 , Nisan ve Ekim aylarında sırasıyla 66.23 – 91.19 mm ve 71.86 – 94.36 mm aralıklarında değişen değerlere gerilemiştir. Haziran ve Eylül aylarında ise sırasıyla 192.06 – 167.76 mm ve 124.80 – 147.30 mm aralıklarında değişen aylık toplam ET_0 değerleri elde edilmiştir. Benzer şekilde, kütle transferine dayalı model kullanılarak Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim ayları için sırasıyla 63.69 – 88.65 mm, 94.22 – 116.47 mm, 181.68 – 158.18 mm, 222.13 – 245.38 mm, 202.73 – 225.98 mm, 135.72 – 156.72 mm ve 85.45 – 108.61 mm aralıklarında değişen aylık toplam ET_0 değerleri tahmin edilmiştir. FAO-56 PM eşitliği kullanılarak Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim ayları için belirlenen uzun yıllar ortalama aylık toplam ET_0 değerleri sırasıyla 78.96 mm, 115.29 mm, 180.09 mm, 237.94 mm, 211.81 mm, 136.46 mm ve 82.53 mm olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde, kütle transferine dayalı model kullanılarak aynı aylar için sırasıyla 76.52 mm, 105.33 mm, 169.92 mm, 233.34 mm, 214.26 mm, 147.04 mm ve 96.65 mm değerleri tahmin edilmiştir (Şekil 3). Günlük ortalama ET_0 tahminlerinde olduğu gibi, tahmini aylık toplam ET_0 değerlerinin gerçek aylık toplam ET_0 değerlerindeki değişimi açıklayabilme oranı %98.00 ($R^2 = 0.98$) olarak belirlenmiştir. Tahmini ve gerçek aylık toplam ET_0 değerleri arasındaki farklar 2.44 – 14.12 mm aralığında değişmiştir. Genel olarak, bu farkların bir sulama aralığında uygulanan sulama suyu miktarından düşük olması, kütle transferine dayalı model ile tahmin edilen günlük ortalama ET_0 değerlerinin yüksek tutarlılığa sahip olduğunu ortaya koymuştur.



Şekil 3. Aylık Toplam Referans Evapotranspirasyon Değerleri

Van ili koşulları ile uyumlu kütle transferine dayalı model kullanılarak Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim ayları için tahmin edilen aylık ortalama ET_0 değerleri sırasıyla 2.55

mm/gün, 3.41 mm/gün, 5.66 mm/gün, 7.53 mm/gün, 6.91 mm/gün, 4.90 mm/gün ve 3.22 mm/gün olarak elde edilmiştir. FAO-56 PM eşitliği kullanılarak aynı aylar için tahmin edilen aylık ortalama ET_0 değerleri ise sırasıyla 2.63 mm/gün, 3.72 mm/gün, 6.00 mm/gün, 7.67 mm/gün, 6.83 mm/gün, 4.55 mm/gün ve 2.75 mm/gün olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, FAO-56 PM eşitliği kullanılarak Van ili koşulları için gerçekleştirilen bazı çalışmalar kapsamında, aynı aylar için sırasıyla 3.04 mm/gün, 4.41 mm/gün, 5.57 mm/gün, 6.20 mm/gün, 5.65 mm/gün, 4.09 mm/gün, 2.29 mm/gün (TAGEM, 2017); 2.91 mm/gün, 4.34 mm/gün, 5.67 mm/gün, 5.95 mm/gün, 5.63 mm/gün, 4.29 mm/gün, 2.60 mm/gün (Usta ve ark., 2019); 3.03 mm/gün, 4.19 mm/gün, 5.45 mm/gün, 5.54 mm/gün, 5.48 mm/gün, 4.78 mm/gün, 2.96 mm/gün (Saban Polu, 2021) değerleri tahmin edilmiştir. Genel olarak 2017 yılı öncesinde ölçülen iklim verilerinin kullanıldığı bu çalışmalardan elde edilen aylık ortalama ET_0 değerleri ile 2012 – 2022 yılları arasından ölçülen iklim verilerinin kullanıldığı bu çalışmadan elde edilen ET_0 değerleri arasında Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında belirgin farklılıklar oluşmuştur. Diğer aylarda ise ET_0 değerleri genel olarak benzerlik göstermiştir. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarındaki farklılıkların, Van ili ve çevresinde 2020 ile 2022 yılları arasında yaşanan kuraklıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Son yıllarda Van Gölü kapalı havzası genelinde yağışlarda azalma eğilimi görülürken, evapotranspirasyon artma eğilimi göstermektedir.

Van ili ile benzer iklim özelliklerine sahip İran koşullarında Tabari ve ark. (2011), U_2 ve VPD tabanlı doğrusal Romanenko, Dalton, Rohwer, Penman ve Mahringer modellerini kullanarak doğruluk düzeyi %68.82 – 88.01 (MAPE = %11.99 – 31.18) arasında değişen günlük ortalama ET_0 değerleri tahmin etmişlerdir. Benzer şekilde, Djaman ve ark. (2015) yarı kurak Senegal koşullarında Romanenko, Mahringer ve Penman modellerini kullanarak sırasıyla %94.54 (MAPE = %5.46), %80.69 (MAPE = 19.31) ve %78.82 (MAPE = %21.18) doğruluk düzeyine sahip günlük ortalama ET_0 değerleri elde etmişlerdir. Djaman ve ark. (2017), kurak iklimin etkili olduğu Tanzanya ve Kenya’da Romanenko, Mahringer, WMO, Rohwer ve Dalton modellerinin en iyi performans gösteren modeller olduğunu bildirmişlerdir (MAE= 0.79 – 1.44 mm/gün). Benzer şekilde, Proutsos ve ark. (2023) Yunanistan’ın yarı kurak Amoussion ve yarı nemli Heraklion şehirlerinde en iyi performans gösteren modellerin sırasıyla, WMO ve Mahringer olduğunu (MAE= 0.69 – 0.91 mm/gün) ortaya koymuşlardır. Rohwer ve Dalton modellerinin ise bu modellerden daha düşük performans gösterdiğini bildirmişlerdir (MAE= 1.14 – 1.97 mm/gün). İncelenen bu çalışmalar kapsamında test edilen kütle transferine dayalı doğrusal tahmin modellerinin aksine, Van ili koşulları için oluşturulan kütle transferine dayalı doğrusal olmayan ampirik model ile daha yüksek doğruluğa sahip günlük ortalama ET_0 değerleri tahmin edilmiştir (MAE = 0.27 mm/gün, MAPE = %7.02, RMSE = 0.32 mm/gün). Bununla birlikte, Irmak ve Haman (2003) hava sıcaklığına, radyasyona veya kütle transferine dayalı farklı ampirik yöntemler kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama ET_0 değerleri için, 0.50 mm/gün değerinden daha düşük RMSE hatalarının kabul edilebilir düzeyde olduğunu belirtmişlerdir (RMSE < 0.50 mm/gün). Van ili iklim ve çevre koşulları ile uyumlu olacak şekilde oluşturulan kütle transferine dayalı model kullanılarak, Nisan – Ekim dönemi için yapılan günlük ortalama ET_0 tahminlerinde 0.14 – 0.48 mm/gün arasında değişen RMSE hataları elde edilmiştir (RMSE < 0.50 mm/gün). Doğrusal olmayan regresyon yöntemi kullanılarak oluşturulan bu modelin, Van ili mikroklima alanı iklim ve çevre koşullarındaki günlük ortalama ET_0 tahminlerinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

SONUÇ

Bu çalışmada, Van ili mikroklima alanı iklim ve çevre koşulları ile uyumlu kütle transferine dayalı bir ampirik ET_0 tahmin modeli oluşturulmuştur. Meteoroloji yer gözlem istasyonu tarafından

2012 – 2022 yılları arasında ölçülen 11 yıllık günlük ortalama hava sıcaklığı, oransal nem, rüzgâr hızı ve solar radyasyon verileri kullanılarak Microsoft Excel programı çözücü eklentisi aracılığıyla oluşturulan bu model, aynı verileri ile test edilmiştir. Rüzgâr hızı ve atmosferik buhar basıncı açığına dayalı olarak doğrusal olmayan formda oluşturulan ampirik model ile çok iyi düzeyde doğruluğa sahip günlük ortalama ET_0 değerleri tahmin edilmiştir ($MAPE < \%10$). Bu model ve standart FAO-56 Penman & Monteith eşitliği kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama ET_0 değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan MAE, MAPE ve RMSE hataları ile R^2 katsayısı sırasıyla 0.27 mm/gün, %7.02, 0.32 mm/gün ve 0.98 olarak belirlenmiştir. FAO-56 Penman & Monteith eşitliği için gerekli olan verilerin tamamının ölçülemediği veya temin edilemediği durumlarda kütle transferine dayalı bu modelin iyi bir alternatif olacağı ve Van ili mikroklima alanı iklim ve çevre koşullarındaki günlük ortalama ET_0 tahminlerinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, modelin yöre koşullarındaki sulama faaliyetleri kapsamında hazırlanacak sulama programları ile kuraklık eylem planı çalışmalarında faydalı olacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Aghelpour, P., & Norooz-Valashedi, R. (2022). Predicting daily reference evapotranspiration rates in a humid region, comparison of seven various data-based predictor models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36, 4133-4155. doi:10.1007/s00477-022-02249-4
- Albrecht, F. (1950). Die methoden zur bestimmung verdunstung der natürlichen erdoberfläche. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 2, 1-38.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No: 56. URL: <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm> (erişim tarihi: Mart 18, 2022).
- Berti, A., Tardivo, G., Chiaudani, A., Rech, F., & Borin, M. (2014). Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy. *Agricultural Water Management*, 140, 20-25. doi:10.1016/j.agwat.2014.03.015
- Blaney, H. F., & Criddle, W. D. (1950). Determining water requirements in irrigated areas from climatological irrigation data. United States Soil Conservation Service Technical Paper No: 96. Washington, DC. URL: <https://ia600207.us.archive.org/1/items/determiningwater96blan/determiningwater96blan.pdf> (erişim tarihi: Ocak 12, 2022).
- Bogawski, P., & Bednorz, E. (2014). Comparison and validation of selected evapotranspiration models for conditions in Poland. *Water Resources Management*, 28, 5021-5038. doi:10.1007/s11269-014-0787-8
- Cobaner, M., Çıtakoğlu, H., Haktanır, T., & Yelkara, F. (2015). Akdeniz bölgesi için en uygun Hargreaves-samani eşitliğinin belirlenmesi. *Dicle üniversitesi Mühendislik Fakültesi dergisi*, 7(2), 181-189.
- Dalton, J. (1802). Experimental essays on the constitution of mixed gases: on the force of steam or vapour from water or other liquids in different temperatures, both in a Torricelli vacuum and in air; on evaporation; and on expansion of gases by heat. *Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester*, 5, 536-602.
- Djaman, K., Balde, A. B., Sow, A., Muller, B., Irmak, S., Ndiaye, M. K., Manneh, B., Moukoumbi, Y. D., Futakuchi, K., & Saito, K. (2015). Evaluation of sixteen reference evapotranspiration

- methods under Sahelian Conditions in the Senegal River Valley. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 139-159. doi:10.1016/j.ejrh.2015.02.002
- Djaman, K., Koudahe, K., Sall, M., Kabenge, I., Rudnick, D., & Irmak, S. (2017). Performance of twelve mass transfer based reference evapotranspiration models under humid Climate. *Journal of Water Resource and Protection*, 9, 1347-1363. doi:10.4236/jwarp.2017.912086
- Farzanpour, H., Shiri, J., Sadraddini, A. A., & Trajkovic, S. (2019). Global comparison of 20 reference evapotranspiration equations in a semi-arid region of Iran. *Hydrology Research*, 50(1), 282-300.
- Gocić, M., & Arab Amiri, M. (2021). Reference evapotranspiration prediction using neural networks and optimum time lags. *Water Resources Management*, 35(6), 1913-1926. doi:10.1007/s11269-021-02820-8
- Hargreaves, G. L., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99.
- Huang, G., Wu, L., Ma, X., Zhang, W., Fan, J., Yu, X., Zeng, W., & Zhou, H. (2019). Evaluation of CatBoost method for prediction of reference evapotranspiration in humid regions. *Journal of Hydrology*, 574, 1029-1041. doi:10.1016/j.jhydrol.2019.04.085
- Irmak, S., & Haman, D. Z. (2003). Evaluation of five methods for estimating class A pan evaporation in a humid climate. *HortTechnology*, 13(3), 500-508. doi:10.21273/HORTTECH.13.3.0500
- Islam, S., Abdullah, R. A. B., Tirth, V., Shahid, S., Algarni, S., & Hirol, H. (2020). Evaluation of mass transfer evapotranspiration models under semiarid conditions using MCDM approach. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(5), 6355-6375. doi:10.15666/aeer/1805_63556375
- Izadifar, Z., & Elshorbagy, A. (2010). Prediction of hourly actual evapotranspiration using neural networks, genetic programming, and statistical models. *Hydrological Processes*, 24(23), 3413-3425. doi: 10.1002/hyp.7771
- Karaca, S., & Sarçın, B. (2022). Determination of soil moisture and temperature regimes with the Newhall Simulation Model: Example of Van Province. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 32(2), 394-413. doi:10.29133/yyutbd.1053917
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and business forecasting methods: A practical guide to exponential smoothing and curve fitting*. London, UK: Butterworths Scientific.
- Mahringer, W. (1970). Verdunstungsstudien am Neusiedler See. [Evaporation studies at Lake Neusiedler]. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 18, 1-20.
- Mehdizadeh, S. (2018): Estimation of daily reference evapotranspiration (ET₀) using artificial Intelligence methods: offering a new approach for lagged ET₀ data-based modeling. *Journal of Hydrology*, 559, 794-812. doi:10.1016/j.jhydrol.2018.02.060
- Meyer, A. (1926). Uber einige zusammenhänge zwischen klima und boden in Europa [Some interrelations between climate and soil in Europe]. *Chemie der Erde*, 2, 209-347.
- Muniandy, J., Zulkifli, Y., & Muhamad, A. (2016). Evaluation of reference evapotranspiration models and determination of crop coefficient for Momordica charantia and Capsicum annum. *Agricultural Water Management*, 169, 77-89. doi:10.1016/j.agwat.2016.02.019
- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society A*, 193, 120-145.
- Proutsos, N., Tigkas, D., Tsevreni, I., Alexandris, S. G., Solomou, A. D., Bourletsikas, A., Stefanidis, S., & Nwokolo, S. C. (2023). A thorough evaluation of 127 potential evapotranspiration models in two Mediterranean urban green sites. *Remote Sensing*, 15, 3680. doi:10.3390/rs15143680

- Rim, C. S. (2000). A comparison of approaches for evapotranspiration estimation. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 4(1), 47-52. doi:10.1007/BF02829173
- Rohwer, C. (1931). Evaporation from free water surface. *USDA Tech Null*, 217, 1-96.
- Romanenko, V. A. (1961). Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area. *Ukrainian Hydrometeorological Research Institute*, 3, 12-25.
- Saban Polu, P. (2021). *Doğu Anadolu Bölgesi Referans Evapotranspirasyon Hesaplamalarında Güneş Radyasyon Verileri ve Referans Evapotranspirasyon Frekans Analizi* (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Sentelhas, P. C., Gillespie, T. J., & Santos, E. A. (2010). Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management*, 97, 635-644. doi:10.1016/j.agwat.2009.12.001
- Singh, V. P., & Xu, C. Y. (1997). Evaluation and generalization of 13 mass transfer equations for determining free water evaporation. *Hydrological Processes*, 11, 311-323.
- Tabari, H., Grismer, M., & Trajkovic, S. (2011). Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Science*, 31, 107-117. doi:10.1007/s00271-011-0295-z
- TAGEM, (2017). Türkiye’de sulanan bitkilerin bitki su tüketimleri. URL: <https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/Tu%CC%88rkiyede%20Sulanan%20Bitkilerin%20Bitki%20Su%20Tu%CC%88ketimleri.pdf> (erişim tarihi: Temmuz 26, 2020).
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94.
- Trabert, W. (1896). Neue neobachtungen über Verdampfungs Geschwindigkeiten [New observations on evaporation rates]. *Meteorologische Zeitschrift*, 13, 261-263.
- Usta, S., & Gençoğlan, S. (2019). Estimation of reference evapotranspiration using multiple linear regression models. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5(2), 5-19. doi:10.7176/JSTR/5-2-02
- Usta, S., Gençoğlan, S., Gençoğlan, C., & Uçak, A. B. (2019). Van ili koşullarına uygun Hargreaves-Samani eşitliği kalibrasyon modellerinin geliştirilmesi. In: Proceedings Book. M. Kaliber (Ed.), *1st Erciyes Agriculture, Animal & Food Sciences Conference*, (s. 433-439). Kayseri, Türkiye.
- Uzunlar, A., Öz, A., & Diş, M. Ö. (2022). Modifiye yaklaşımların evapotranspirasyon tahminlerine etkisi: Van örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(4), 973-988. doi:10.21605/cukurovaumfd.1230919
- Valipour, M., Gholami Sefidkouhi, M. A., & Raeini Sarjaz, M. (2017). Selecting the best model to estimate potential evapotranspiration with respect to climate change and magnitudes of extreme events. *Agricultural Water Management*, 180(3), 50-60. doi:10.1016/j.agwat.2016.08.025