



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Yarı Kurak-Kurak İklim Koşullarında Bazı Ampirik Modeller Kullanılarak A Sınıfı Buharlaşma Kabından Gerçekleşen Günlük Buharlaşmanın Tahmin Edilmesi

Selçuk USTA*

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 65080, Van, Türkiye
Selçuk USTA, ORCID No: 0000-0001-8970-7333

*Sorumlu yazar e-posta : susta@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 01.03.2024
Kabul: 20.05.2024
Online Ağustos 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1445512

Anahtar Kelimeler

A sınıfı buharlaşma kabı,
Buharlaşma,
Kalibrasyon,
Tahmin modeli

Öz: A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen buharlaşma (E_{pan}), hidroloji bilimi kapsamındaki birçok çalışmada temel veri olarak kullanılmaktadır. Bu kaptaki suyun aşırı yağışlarda taşması ve soğuk havalarda donması gibi nedenlerden dolayı ölçülemeyen E_{pan} verilerinin ampirik modellerle tahmin edilmesine ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu çalışmada Linacre, Priestley & Taylor ve Kohler & Nordensen modellerinin Van ili koşullarındaki kullanılabilirlik düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Öncelikle 2012 ve 2020 yılları arasında ölçülen günlük iklim verileri ile E_{pan} değerlerinin dokuz yıllık ortalamaları kullanılarak, Microsoft Excel programı çözücü eklentisi aracılığıyla modellerin yöre koşulları ile uyumlu modifiye eşitlikleri oluşturulmuştur. Daha sonra aynı veriler kullanılarak modellerin orijinal ve modifiye eşitlikleriyle yapılan tahminlerde en iyi performans gösteren modelin Linacre olduğu belirlenmiştir. Bu modelin orijinal eşitliği ile %87.24 doğruluk oranına sahip E_{pan} değerleri elde edilirken, modifiye eşitliği ile yapılan tahminlerde bu oran %90.40 düzeyine yükselmiştir. Linacre modeli ile tahmin edilen E_{pan} değerlerinin A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen E_{pan} değerleri yerine kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır ($P > 0.05$).

Estimating Daily Evaporation from Class-A Pan Evaporimeter Using Some Empirical Models in Semi-Arid-Arid Climatic Conditions

Article Info

Received: 01.03.2024
Accepted: 20.05.2024
Online August 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1445512

Keywords

Calibration,
Class-A pan evaporimeter,
Estimation model,
Evaporation

Abstract: Evaporation (E_{pan}) measured from a class-A pan evaporimeter is used as the primary data in many studies within the scope of hydrology science. Due to various reasons such as the water in this evaporimeter overflowing during heavy rains and freezing in cold weather, it may be necessary to estimate the unmeasured E_{pan} data with empirical models. This study aims to determine the usability levels of Linacre, Priestley & Taylor and Kohler & Nordensen models in Van conditions. Firstly, using the nine-year averages of the climate data and E_{pan} values measured between 2012 and 2020, modified equations of the models compatible with the local conditions were created via the Microsoft Excel program solver add-on. Then, using the same data, Linacre was the model with the best performance in the estimations made with the original and modified equations of the models. While the original equation of this model estimated E_{pan} values with an accuracy of 87.24%, the accuracy rate increased to 90.40% with the modified equation. It was concluded that the E_{pan} values estimated by the Linacre model can be used instead of the actual E_{pan} values measured from the class-A pan evaporimeter ($P > 0.05$).

1. Giriş

Toprak – su yüzeylerinden buharlaşma (E) ve bitkilerden terleme (T) yolu ile gerçekleşen kayıpların toplamı olarak ifade edilen evapotranspirasyon (ET); bitkilerin sulama suyu ihtiyaçlarının belirlenerek sulama programlarının hazırlanması, sulama – drenaj sistemleri ile gölet – barajların projelendirilmesi, yapımı ve işletilmesi, yağışın yüzey akışa geçen ve yer altı suyuna sızan miktarlarının belirlenmesi, havza yönetimi ve kuraklığın izlenmesi gibi birçok çalışmanın en önemli verisini oluşturmaktadır (Abudu ve ark., 2011; Jing ve ark., 2019).

ET, lizimetre sistemleri ile doğrudan ve en güvenilir şekilde ölçülebilmektedir. Ancak bu sistemlerin kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek, ölçme süreçlerinin ise zor ve zaman alıcı olması kullanımlarını kısıtlamaktadır (Abdulkareem ve ark., 2015). Bununla birlikte referans evapotranspirasyona (ET_0) dayalı olarak geliştirilen çok sayıda ampirik tahmin modeli kullanılarak, ET yüksek doğrulukla tahmin edilebilmektedir. Ancak bu modellerde giriş değişkenleri olarak ihtiyaç duyulan hava sıcaklığı, oransal nem, rüzgâr hızı ve solar radyasyon gibi bazı iklim parametrelerinin ölçüldüğü meteoroloji yer gözlem istasyonları tüm dünya üzerinde yeterince yaygın olmamakla birlikte daha çok şehir merkezlerinde bulunmaktadır. Bu nedenle, tarımsal üretim faaliyetlerinin ağırlıklı olarak yürütüldüğü kırsal bölgelerde bu parametreler devamlı ve düzenli olarak ölçülememekte ve dolayısıyla veri temininde sorunlar yaşanabilmektedir. Ölçme işlemlerinde kullanılan cihazların yüksek maliyeti de bir diğer sorunu oluşturmaktadır (Şarlak & Bağçacı, 2020). Bu yöntemlerden farklı olarak A sınıfı buharlaşma kabı (Class-A pan) yöntemi kullanılarak, bu kap içerisindeki su yüzeyinden belirli bir dönem boyunca gerçekleşen buharlaşmanın (E_{pan}) kap çevresindeki üniform yüzey uzunluğu ile oransal nem ve rüzgâr hızının bir fonksiyonu olan kap katsayısı (k_{pan}) ile düzeltilmesi sonucunda hem ET_0 ve hem de ET sadece bir parametreye (E_{pan}) bağlı olarak tahmin edilebilmektedir (Allen ve ark., 1998). Bu yöntem, kullanılan tekniğin basitliği, düşük masraf ve uygulama kolaylığından dolayı dünya genelindeki ET_0 ve dolayısıyla ET tahminlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca bu yöntemin göl, gölet ve baraj gibi su kütlelerinden gerçekleşen buharlaşma miktarlarının tahmin edilmesinde de başarılı bir şekilde kullanılabildiği yapılan çalışmalar ile ortaya koyulmuştur (Terzi, 2011; Benzaghta ve ark., 2012; Kaya ve ark., 2016).

A sınıfı buharlaşma kabı içerisindeki suyun aşırı ve şiddetli yağışlarda taşması, soğuk havalarda donması ve otomatik ölçüm cihazlarının bozulması gibi nedenlerden dolayı bazen E_{pan} ölçümleri yapılamamaktadır. Bununla birlikte E_{pan} miktarları hatalı ölçülebilmekte ve çok çeşitli nedenlerden dolayı ölçülen veriler kaybolabilmektedir. Veri setinin bütünlüğünü sağlamak amacıyla ölçülemeyen, hatalı ölçülen veya kaybolan E_{pan} verilerinin tamamlanmasına ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu doğrultuda E_{pan} miktarının tahmin edilebilmesi amacıyla; Penman, Kohler & Nordensen, Christiansen, Priestley & Taylor ve Linacre gibi çok sayıda ampirik model geliştirilmiştir (Penman, 1948; Kohler ve ark., 1955; Christiansen, 1968; Priestley & Taylor, 1972; Linacre, 1977). Ancak, bu modeller geliştirilmiş oldukları bölgenin koşulları ile uyumlu olduklarından dolayı, farklı iklim ve çevre koşullarına sahip bölgelerde kullanılmaları durumunda güvenilirliklerinin test edilmesi ve gerekiyorsa yöre koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda farklı iklim ve çevre özelliklerine sahip birçok bölgede çok sayıda çalışma yapılmıştır.

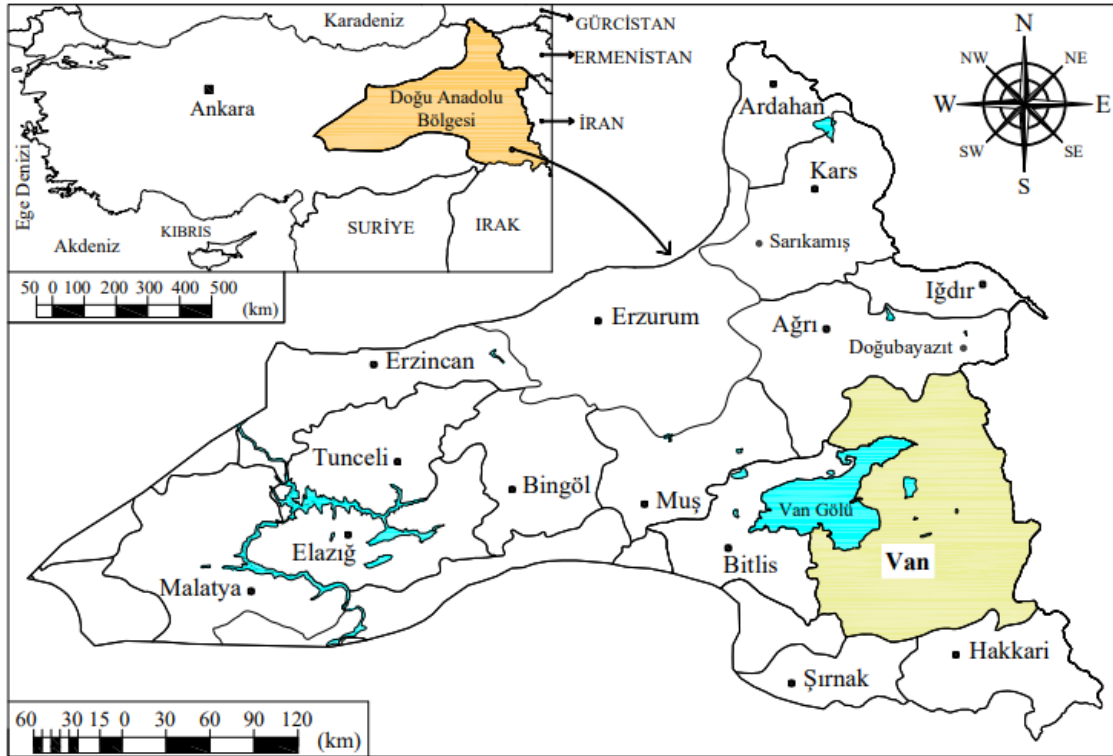
Cabrera ve ark. (2016), tropikal iklimin egemen olduğu Brezilya São Paulo koşullarında Linacre modelinin Priestley & Taylor ve Kohler & Nordenson modellerinden daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde Brezilya koşullarında gerçekleştirilen bir diğer çalışmada Althoff ve ark. (2019), tropik yağmur ormanları ile kuru çöller arasındaki savan bölgesi koşullarında karşılaştırdıkları on dört tahmin modeli arasında en iyi performans gösteren modellerin Linacre ve Kohler & Nordenson olduğunu bildirmişlerdir. Nemli iklim özelliklerinin etkili olduğu Samsun ilinde gerçekleştirilen çalışmalarda Sezer & Öztekin (2016) Penman ve Linacre, Sezer ve ark. (2018) ise Penman ve Priestley & Taylor modellerinin günlük E_{pan} tahminlerindeki performanslarını karşılaştırmışlardır. Bu çalışmaların her ikisinde de en iyi tahmin performansına sahip model Penman olmuştur. Bu modele en yakın performansı ise Priestley & Taylor göstermiştir. Bu çalışmalardan farklı olarak yarı kurak – kurak iklimin egemen olduğu Iğdır Ovası koşullarında gerçekleştirilen bir çalışmada Kaya ve ark. (2016), 2003 – 2008 yılları arasında ölçülen altı yıllık veri setini kullanarak Penman, Kohler & Nordensen, Christiansen ve Linacre modelleri ile tahmin edilen E_{pan} değerlerini buharlaşma kabından ölçülen E_{pan} değerleri ile karşılaştırmışlardır. Modellerin performanslarına göre iyiden kötüye doğru Kohler & Nordensen, Christiansen, Linacre ve Penman şeklinde sıralandığını ve

en yüksek doğruluk oranına sahip E_{pan} değerlerinin Kohler & Nordensen ile tahmin edildiğini bildirmişlerdir. Benzer iklim özelliklerinin etkili olduğu Siirt ili koşullarında yürütülen bir diğer çalışmada ise Aydın (2019), günlük E_{pan} tahminlerinde Penman modelinin Kohler & Nordenson modelinden çok daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmalardan farklı olarak, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon yöntemleri ile yapay sinir ağları (ANN) ve bulanık mantık (ANFIS) yöntemleri kullanılarak, farklı iklim ve çevre özelliklerine sahip birçok bölge için çok sayıda ampirik E_{pan} tahmin modeli geliştirilmiştir (Al-Mukhtar, 2021; Üçler & Kutlu, 2021; Kumar ve ark., 2022; Adnan ve ark., 2023). Hava sıcaklığı, oransal nem, rüzgâr hızı ve solar radyasyon ile doygun ve gerçek buhar basıncı parametrelerinin bağımsız değişkenler olarak kullanıldığı bu modellerde, bağımsız değişken sayısı arttıkça E_{pan} değerlerinin doğruluğunun arttığı görülmüştür.

Doğu Anadolu Bölgesi kırsalında nüfusun çoğunluğunun geçim kaynağını tarım ve hayvancılık oluşturmaktadır. Bölgede son yıllarda yaşanan kuraklıktan dolayı, tarımsal üretimde verim ve kalite kaybının yaşanmaması için sulamaya her zamankinden daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Çağın en büyük sorunlarından biri olarak görülen kuraklık problemi nedeniyle tarımsal üretimde verim ve kalitenin azalacağı ve buna bağlı olarak gıda temininde ve ekonomide sorunlar yaşanacağı öngörülmektedir (Arslan & Ergül, 2014; Uzunlar & Diş, 2022). Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporlarına göre; Akdeniz, Ege, Doğu ve İç Anadolu Bölgelerinde ciddi anlamda iklim değişikliği etkilerinin görüldüğü ifade edilmiştir (IPCC, 2013). Bu nedenle, çalışma alanı olarak IPCC raporlarına göre kuraklık riski altında olan Doğu Anadolu bölgesi sınırları içerisindeki Van ili seçilmiştir. Van ili koşullarında gerçekleştirilen bu çalışmada Kohler & Nordensen (KN), Priestley & Taylor (PT) ve Linacre (LN) modellerinin günlük E_{pan} tahminlerindeki kullanılabilirlik düzeylerinin belirlenmesi ve yöre iklim – çevre koşulları ile uyumlu kalibrasyonlarının yapılması amaçlanmıştır.

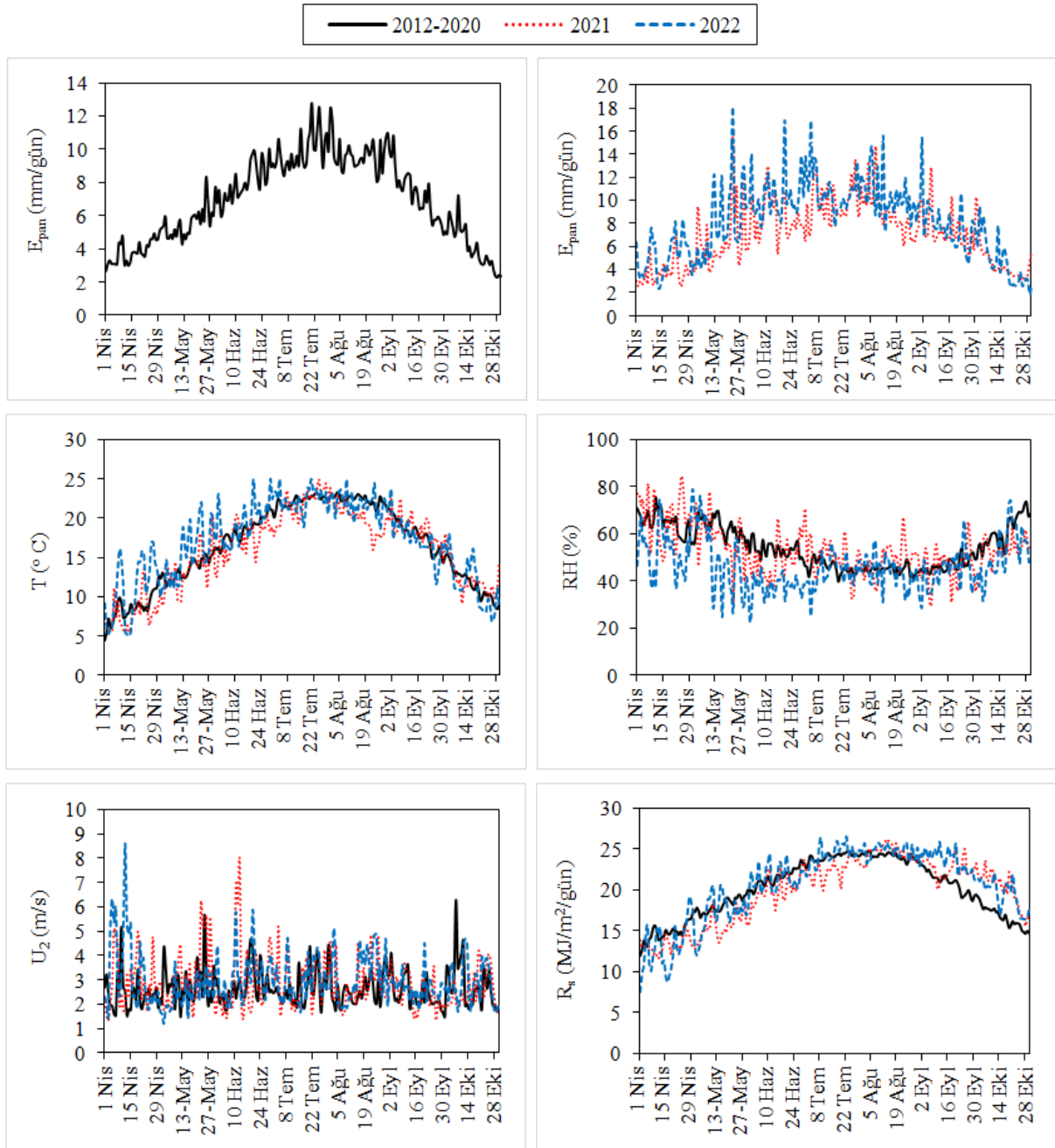
2. Materyal ve Yöntem

Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Murat – Van Bölümü'ndeki Van Gölü kapalı havzası içerisinde bulunan Van ili, $37^{\circ} 43' - 39^{\circ} 26'$ kuzey enlemleri ile $42^{\circ} 40' - 44^{\circ} 30'$ doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). İlin rakımı 1726 m olup, yıllık ortalama hava sıcaklığı $9.50^{\circ}C$ ve nem oranı %58.67 düzeyindedir. Yıllık ortalama 7.90 saat/gün güneşlenme süresi ve $15.32 MJ/m^2/gün$ solar radyasyon yoğunluğu ile Türkiye'nin en fazla güneş alan şehirleri arasındadır (DMİ, 2023).



Şekil 1. Van ilinin Türkiye haritası üzerindeki coğrafi konumu.

Van ili, karasal iklimin egemen olduğu Doğu Anadolu Bölgesi sınırları içerisinde yer almasına karşın, Van Gölü'nden kaynaklı bir mikroklima iklim yapısına sahip olması nedeniyle, il genelinde daha ılıman bir iklim özelliği hissedilmektedir. KN, PT ve LN modellerinin Van ili mikroklima alanı koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibrasyonlarını yapmak amacıyla, 2012 – 2020 yılları arasında ölçülen hava sıcaklığı (T), oransal nem (RH), rüzgâr hızı (U_2), solar radyasyon (R_s) ve E_{pan} verilerinin dokuz yıllık ortalama değerleri kullanılmıştır. Bu modellerin orijinal eşitlikleri ve kalibrasyon işlemleri sonucunda oluşturulan modifiye eşitlikleri hem uzun yıllar ortalama günlük iklim verileri (2012 – 2020) ve hem de 2021 ve 2022 yılı güncel günlük iklim verileri ile test edilmiştir. Bu doğrultuda Van 14. Meteoroloji Bölge Müdürlüğü 17172 numaralı Edremit yer gözlem istasyonundan temin edilen günlük E_{pan} , T, RH, U_2 ve R_s verileri Şekil 2'de verilmiştir (DMİ, 2023). 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.



Şekil 2. Günlük buharlaşma, hava sıcaklığı, oransal nem, rüzgâr hızı ve solar radyasyon değerleri.

KN, PT ve LN tahmin modellerinin orijinal eşitlikleri sırasıyla Eşitlik (1 – 3)'de verilmiştir (Kohler ve ark., 1955; Priestley & Taylor, 1972; Linacre, 1977). Bu modellerin bileşenlerinden çiğlenme noktası sıcaklığı (T_{dew}), aerodinamik fonksiyon (E_a) ve buharlaşma kabı üst yüzeyinden 15.20 cm yukarıda ölçülen rüzgâr hızı (U_p) sırasıyla Eşitlik (4 – 6) ile hesaplanmıştır. Modellerin diğer alt bileşenlerinin belirlenmesinde ise Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından hazırlanan 56 sayılı Sulama – Drenaj yayınından faydalanılmıştır (Allen ve ark., 1998).

$$E_{pan} = \frac{\Delta R_n + \gamma_p E_a}{\Delta + \gamma_p} \quad (1)$$

$$E_{pan} = \alpha \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma_p} \right) (R_n - G) \quad (2)$$

$$E_{pan} = \frac{\frac{700(T + 0.006Z)}{100-L} + 15(T - T_{dew})}{80 - T} \quad (3)$$

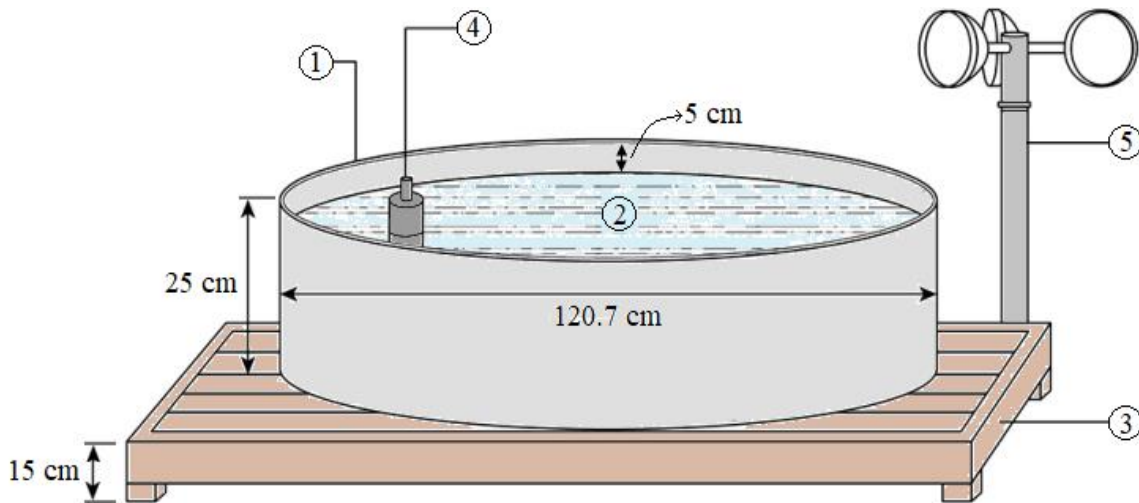
$$T_{dew} = \frac{116.91 + 237.3 \ln(e_a)}{16.78 - \ln(e_a)} \quad (4)$$

$$E_a = 25.4[0.296(e_s - e_a)^{0.88}(0.37 + 0.00255 U_p)] \quad (5)$$

$$U_2 = U_p \left(\frac{4.87}{\ln(67.8 h - 5.42)} \right) \quad (6)$$

Bu eşitliklerde; E_{pan} , buharlaşma kabından gerçekleşen buharlaşma miktarı (mm/gün); α , Priestley & Taylor katsayısı (1.26 alınmıştır); Δ , doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa/°C); γ_p , psikometrik sabite (kPa/°C); R_n , net radyasyon (MJ/m²/gün); G , topraktaki ısı akısı (MJ/m²/gün); Z , rakım (m); T , hava sıcaklığı (°C); RH , oransal nem (%); E_a , aerodinamik fonksiyon (mm/gün); L , enlem (°); T_{dew} , ortalama çiğlenme noktası sıcaklığı (°C); e_s , doymuş buhar basıncı (kPa); e_a , gerçek buhar basıncı (kPa); U_2 , zemin yüzeyinden 2 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı (m/s); U_p , buharlaşma kabı üst yüzeyinden 15.20 cm yukarıda ölçülen rüzgâr hızı (m/s) ve h , buharlaşma kabında dikkate alınan rüzgâr hızının ölçüldüğü yüksekliği (m) ifade etmektedir.

Açık su yüzeylerinden belirli dönemler (gün, hafta, ay) boyunca gerçekleşen toplam buharlaşma miktarlarının ölçülmesinde kullanılan A sınıfı buharlaşma kabının (Class – A Pan) genel görünümü ve boyutsal özellikleri Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. A sınıfı buharlaşma kabı (Class – A Pan).

Galvanizli çelik saç kullanılarak 120.70 cm çapında ve 25.00 cm yüksekliğinde imal edilen buharlaşma kabının (1) içerisine doldurulan suyun (2) seviyesi kap üst yüzeyinden 5 cm daha aşağıdadır. Buharlaşma kabı zemin yüzeyinden ortalama 10 cm yükseklikte olacak şekilde bir ahşap platform üzerine yerleştirilmektedir (3). Buharlaşmanın ölçülmesinde çoğunlukla mikrometreli derinlikölçer (4) kullanılmaktadır. Buharlaşma kabı üzerindeki rüzgâr hızını (U_p) ölçmek amacıyla ahşap platforma bir anemometre (5) monte edilmektedir (Şekil 3). KN modelinin giriş değişkenlerinden biri olan U_p , kap üst yüzeyinden 15.20 cm yukarıda ölçülen rüzgâr hızını ifade etmektedir. U_p 'nin ölçüldüğü düzlemin zemin yüzeyinden uzaklığı (h); sırasıyla ahşap platformun yüksekliği (15 cm), buharlaşma kabının yüksekliği (25 cm) ve rüzgâr ölçüldüğü yükseklik (15.20 cm) toplanıp 55.20 cm olarak belirlenmiştir (Allen ve ark., 1998; Alsumaiei, 2020).

KN, PT ve LN modellerinin Van ili mikroklima alanı iklim ve çevre koşulları ile uyumlu kalibrasyonlarının yapılabilmesi amacıyla, bu modellerin orijinal eşitliklerine (Eşitlik 1 – 3) kalibrasyon katsayıları (a , b) atanarak modifiye eşitlikler (Eşitlik 7 – 9) oluşturulmuştur. Microsoft Excel programı çözücü eklentisi kullanılarak, bu katsayılarının optimum değerleri elde edilmiştir. Microsoft Excel programı benzetim çözümlene araçları komut takımının bir parçası olan Excel çözücü hedef hücredeki formülle ilişkili diğer hücreleri kullanarak en uygun “a” ve “b” kalibrasyon katsayılarını belirlemektedir. Excel çözücünün model içinde kullanılabileceği değerler için kısıtlamalar getirilebilmekte ve bu kısıtlamalar, hedef hücre formülünü etkileyen başka hücrelere de uygulanabilmektedir (Cobaner ve ark., 2015).

$$E_{pan} = a \left[\frac{\Delta R_n + \gamma_p E_a}{\Delta + \gamma_p} \right] + b \quad (7)$$

$$E_{pan} = a \left[\alpha \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma_p} \right) (R_n - G) \right] + b \quad (8)$$

$$E_{pan} = a \left[\frac{\frac{700(T + 0.006Z)}{100 - L} + 15(T - T_{dew})}{80 - T} \right] + b \quad (9)$$

T, RH, U_2 ve R_s verileri ile E_{pan} değerlerinin uzun yıllar ortalama (2012 – 2020) günlük değerleri kullanılarak yapılan kalibrasyon işlemleri kapsamında, modifiye eşitliklerdeki “a” ve “b” katsayılarına başlangıçta “1” değeri girilmiş ve günlük E_{pan} değerleri tahmin edilmiştir. Günlük ölçülen ve tahmin edilen E_{pan} değerleri arasındaki farkların kareleri toplamı hesaplanarak, Excel çözücünün hedef hücresine atanmıştır. Çözücü aktif edilerek hedef hücredeki bu toplam değeri minimum yapan “a” ve “b” katsayıları belirlenmiş ve modifiye eşitlikler elde edilmiştir.

KN, PT ve LN modellerinin orijinal ve modifiye eşitlikleri kullanılarak tahmin edilen E_{pan} değerleri Meteoroloji Bölge Müdürlüğü tarafından ölçülen gerçek E_{pan} değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kriterleri olarak; ortalama mutlak hata (Eşitlik 10), ortalama mutlak göreceli hata oranı (Eşitlik 11) ve karekök ortalama karesel hata (Eşitlik 12) değerleri kullanılmıştır. Modellerle tahmin edilen E_{pan} değerlerinin doğruluk düzeyleri; $MAPE < \%10$ ise “çok iyi”, $\%10 \leq MAPE < \%20$ ise “iyi”, $\%20 \leq MAPE < \%50$ ise “kabul edilebilir”, $MAPE \geq \%50$ ise “uyumsuz” olarak değerlendirilmiştir (De Myttenaere ve ark., 2016; Maiseli, 2019). A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen ve modeller kullanılarak tahmin edilen günlük E_{pan} değerleri arasındaki ilişki düzeyini ortaya koymak amacıyla Microsoft Excel programı kullanılarak bağımsız örneklem T testi ve regresyon analizleri yapılmış (Eşitlik 13) ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır (Nakagawa ve ark., 2017).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i:1}^n (|X_i - Y_i|) \quad (10)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i:1}^n \left(\frac{|X_i - Y_i|}{X_i} 100 \right) \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i:1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (12)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i:1}^n (X_i - \hat{X})(Y_i - \hat{Y})]^2}{\sum_{i:1}^n (X_i - \hat{X})^2 \sum_{i:1}^n (Y_i - \hat{Y})^2} \quad (13)$$

Bu eşitliklerde; *MAE*, ortalama mutlak hata (mm/gün); *MAPE*, ortalama mutlak göreceli hata oranı (%); *RMSE*, karekök ortalama karesel hata (mm/gün); X_i , A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen gerçek E_{pan} değerleri (mm/gün); Y_i , modeller kullanılarak tahmin edilen E_{pan} değerleri (mm/gün); \hat{X} , A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen E_{pan} değerlerinin ortalaması (mm/gün); \hat{Y} , modeller kullanılarak tahmin edilen E_{pan} değerlerinin ortalaması (mm/gün); R^2 , regresyon katsayısı ve n , gözlem sayısını (214 gün) ifade etmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Öncelikle meteoroloji yer gözlem istasyonu tarafından 2012 – 2020 yılları arasında ölçülen günlük T, RH, U_2 ve R_s verilerinin dokuz yıllık ortalamaları kullanılarak PT, LN ve KN modellerinin girdi değişkenleri (e_s , e_a , Δ , γ_p , R_n , G, E_a , U_p , T_{dew}) belirlenmiştir. Bu değişkenlerle birlikte 2012 – 2020 yılları arasında ölçülen günlük gerçek E_{pan} verilerinin dokuz yıllık ortalama değerleri ile Z ve L parametreleri Microsoft Excel programına girilerek PT, LN ve KN modellerinin formül tanımlamaları yapılmıştır. Bu modellerin modifiye eşitliklerindeki a ve b kalibrasyon katsayıları Excel çözücünün “değişen hücreler” bölümüne atanarak, bu katsayıları başlangıçta “1” değeri girilmiştir. Kalibrasyon katsayılarına “1” değeri girilerek tahmin edilen E_{pan} değerleri ile 2012 – 2020 yılları arasında ölçülen gerçek E_{pan} değerleri arasındaki farkların kareleri toplamı hesaplanarak, çözücüdeki hedef hücreye atanmıştır. Çözücü çalıştırılarak hedef hücredeki toplamı en küçük yapan a ve b katsayıları belirlenmiş ve PT, LN, KN modellerinin Van ili iklim – çevre koşulları ile uyumlu modifiye eşitlikleri oluşturulmuştur. Her bir model için ayrı ayrı yapılan bu işlemleri temsilen, KN modeli modifiye eşitliğini oluşturmak amacıyla Microsoft Excel programı çözücü eklentisi ile yapılan kalibrasyon işlemleri Şekil 4’de gösterilmiştir. Kalibrasyon işlemleri sonucunda belirlenen a ve b katsayıları sırasıyla PT için 0.82 ve -0.87, LN için 1.18 ve -1.54, KN için 0.98 ve -1.20 olarak elde edilmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Tarih	U_2	$e_s - e_a$	Δ	γ	R_n	U_p	E_a	E_{pan} (ölçülen)	E_{pan} (tahmin)	Fark	(Fark) ²			
2	1.Nis	2,69	0,25	0,06	0,06	7,22	1,78	0,82	2,68	=a*((D2*F2)+(E2*H2))/(D2+E2)+b	Katsayı	Katsayı değeri			
3	2.Nis	3,22	0,29	0,07	0,06	7,56	2,13	0,93	3,13	5,6428	2,5128	6,31416	a		1
4	3.Nis	2,42	0,34	0,07	0,06	8,04	1,6	1,08	3,33	5,9776	2,6476	7,00979	b		1
5	4.Nis	1,97	0,35	0,07	0,06	7,71	1,31	1,1	3,13	5,8016					
6	5.Nis	1,93	0,34	0,07	0,06	7,86	1,28	1,08	3,12	5,8768					
7	6.Nis	1,61	0,34	0,08	0,06	8,21	1,07	1,08	3,11	6,305185185					
8	7.Nis	1,52	0,33	0,08	0,06	8,41	1,01	1,04	3,09	6,407407407					
9	8.Nis	3,36	0,44	0,08	0,06	8,83	2,22	1,35	4,42	6,782592593					
10	9.Nis	2,64	0,46	0,09	0,06	9	1,75	1,42	4,31	7,124827586					
11	10.Nis	5,19	0,4	0,08	0,06	8,83	3,44	1,25	4,79	6,741851852					
208															
209															
210															
211	27.Eki	2,46	0,35	0,08	0,06	5,52	1,63	1,12	2,74	4,727407407	1,98741	3,94979			
212	28.Eki	1,93	0,31	0,08	0,06	5,45	1,28	1	2,38	4,637037037	2,25704	5,09422			
213	29.Eki	1,97	0,3	0,08	0,06	5,34	1,31	0,96	2,3	4,555555556	2,25556	5,08753	Katsayı	Katsayı değeri	
214	30.Eki	1,7	0,38	0,08	0,06	5,18	1,13	1,18	2,45	4,55037037	2,10037	4,41156	a		0,98
215										TOPLAM		1470	b		-1,2

Çözücü Parametreleri

Hedef Hücre: \$L\$215

Epittir: En Büyük En Küçük Değer: 0

Değişen Hücreler: \$N\$3:\$N\$4

Kısıtlamalar:

Çöz

Kapat

Tahmin

Seçenekler

Ekle

Değiştir

Tümünü Sifir

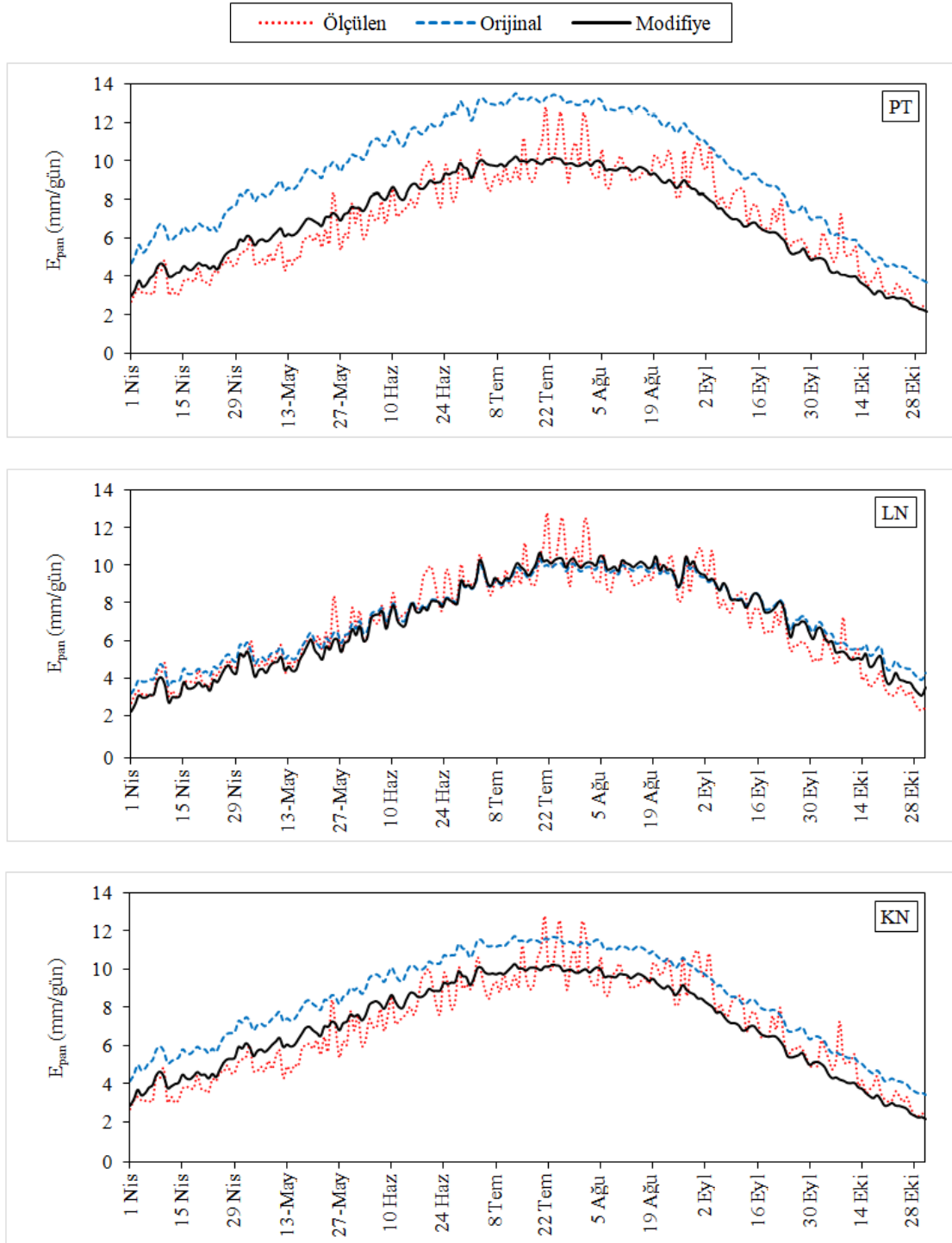
Sil

Yardım

$$E_{pan} = a \left[\frac{\Delta R_n + \gamma_p E_a}{\Delta + \gamma_p} \right] + b$$

Şekil 4. Kohler & Nordensen (KN) modeli modifiye eşitliğinin oluşturulması.

Uzun yıllar ortalama günlük iklim verileri kullanılarak PT, LN ve KN modellerinin orijinal ve modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen günlük E_{pan} değerleri Şekil 5’de verilmiştir. Genel olarak hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve solar radyasyonun yüksek, oransal nemin ise düşük olduğu günlerde gerçekleşen E_{pan} değerlerinin diğer günlere göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Ölçülen ve tahmin edilen günlük E_{pan} değerleri (2012 – 2020).

Meteoroloji yer gözlem istasyonu tarafından ölçülen gerçek günlük E_{pan} değerleri 2.29 – 12.77 mm/gün arasında değerler almıştır. Nisan – Ekim dönemi ortalama değer ise 6.98 mm/gün olarak gerçekleşmiştir. Orijinal eşitlikler ile elde edilen E_{pan} değerleri PT için 3.69 – 13.54 mm/gün, LN için 3.19 – 10.32 mm/gün ve KN için 3.40 – 11.74 mm/gün arasında değişmiştir. Dönemlik ortalama

değerler ise sırasıyla 9.58 mm/gün, 7.20 mm/gün ve 8.38 mm/gün olarak gerçekleşmiştir. Modifiye eşitlikler ile belirlenen E_{pan} değerleri PT için 2.15 – 10.22 mm/gün, LN için 2.23 – 10.67 mm/gün ve KN için 2.12 – 10.25 mm/gün arasında değerler almıştır. Nisan – Ekim dönemi ortalama değerler ise tüm modeller için 6.98 mm/gün olarak gerçekleşmiştir. Ölçülen E_{pan} değerleri ile en yüksek ve en düşük istatistikî ilişki düzeyine sahip tahmin değerleri sırasıyla LN ($R^2= 0.91$) ve PT ($R^2= 0.85$) modelleri ile elde edilmiştir. KN modeli için R^2 katsayısı 0.88 olarak belirlenmiştir (Şekil 5). PT, KN ve LN modellerinin orijinal ve modifiye eşitlikleri kullanılarak tahmin edilen günlük E_{pan} değerleri ile ölçülen gerçek günlük E_{pan} değerlerin aylık ortalamaları Çizelge 1’de verilmiştir. A sınıfı buharlaşma kabından gerçekleşen buharlaşma miktarı hava sıcaklığı ve solar radyasyonun maksimum, oransal nemin ise minimum düzeylere gerilediği Temmuz ve Ağustos aylarında en yüksek seviyelere ulaşmıştır. Nisan ve Ekim aylarında ise en düşük seviyelere gerilemiştir. Orijinal eşitliklerle tahmin edilen aylık ortalama E_{pan} değerlerinin ölçülen gerçek değerlerden daha yüksek, modifiye eşitliklerle tahmin edilen değerlerin ise ölçülen değerlere çok yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 1. Ölçülen ve tahmin edilen aylık ortalama E_{pan} değerleri (2012 – 2020)

Aylar	Ölçülen (mm/gün)	PT (mm/gün)		KN (mm/gün)		LN (mm/gün)	
		Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye
Nisan	3.85	6.43	4.40	5.62	4.28	4.32	3.58
Mayıs	5.67	9.09	6.58	7.83	6.44	5.72	5.23
Haziran	8.11	11.60	8.64	10.03	8.58	7.74	7.61
Temmuz	10.02	13.13	9.89	11.40	9.92	9.58	9.80
Ağustos	9.67	12.41	9.30	10.85	9.38	9.71	9.94
Eylül	7.36	9.04	6.54	8.08	6.69	7.97	7.89
Ekim	4.12	5.28	3.46	4.81	3.49	5.29	4.72
Ortalama	6.98	9.58	6.98	8.38	6.98	7.20	6.98

PT, KN ve LN modellerinin orijinal ve modifiye eşitlikleri kullanılarak tahmin edilen günlük E_{pan} değerleri ile ölçülen gerçek E_{pan} değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan MAE, MAPE ve RMSE hatalarının aylık ortalamaları Çizelge 2’de verilmiştir. Orijinal eşitlikler kullanılarak yapılan tahminlerde en iyi ve en kötü tahmin performanslarına sahip modeller sırasıyla LN ve PT olmuştur. LN için MAE 0.37 – 1.26 mm/gün, MAPE %6.22 – 35.88 ve RMSE 0.52 – 1.36 mm/gün arasında değişmiş, dönemlik ortalamaları ise sırasıyla 0.70 mm/gün, %12.76 ve 0.90 mm/gün olarak belirlenmiştir. Aynı değerler PT modeli için sırasıyla 1.24 – 3.50 mm/gün, %24.58 – 69.40 ve 1.30 – 3.57 mm/gün arasında değerler almış, dönemlik ortalamaları ise sırasıyla 2.61 mm/gün, %42.48 ve 2.83 mm/gün olarak elde edilmiştir. LN orijinal eşitliği ile tahmin edilen E_{pan} değerlerinin “iyi” (MAPE= %10 – 20) düzeyde doğruluğa sahip olduğu görülmüştür. PT modeli orijinal eşitliği için ise doğruluk düzeyi “kabul edilebilir” (MAPE= %20 – 50) düzeyde kalmıştır. PT modeline göre daha iyi performans gösteren KN için MAE 0.82 – 2.16 mm/gün, MAPE %12.94 – 48.27 ve RMSE 0.92 – 2.23 mm/gün arasında değişmiştir. Dönemlik ortalamaları ise sırasıyla 1.49 mm/gün, %25.71 ve 1.67 mm/gün olarak belirlenmiştir. KN modeli orijinal eşitliği kullanılarak tahmin edilen günlük E_{pan} değerlerinin doğruluk düzeyi “kabul edilebilir” (MAPE= %20 – 50) olarak belirlenmiştir.

Orijinal eşitliklerde olduğu gibi modifiye eşitliklerde de en iyi ve en kötü tahmin performanslarına sahip modeller sırasıyla LN ve PT olmuştur. Doğruluk düzeyi en yüksek E_{pan} değerlerinin tahmin edildiği modifiye LN için MAE 0.28 – 0.80 mm/gün, MAPE %6.28 – 19.84 ve RMSE 0.36 – 0.95 mm/gün arasında değişmiş, dönemlik ortalamaları ise sırasıyla 0.60 mm/gün, %9.60 ve 0.79 mm/gün olarak belirlenmiştir. Aynı değerler doğruluk düzeyi en düşük E_{pan} değerlerinin tahmin edildiği modifiye PT modeli için sırasıyla 0.58 – 0.98 mm/gün, %7.78 – 18.43 ve 0.65 – 1.12 mm/gün arasında değerler almış, dönemlik ortalamaları ise sırasıyla 0.79 mm/gün, %12.23 ve 0.98 mm/gün olarak elde edilmiştir. PT modeline yakın performans gösteren KN modeli modifiye eşitliği için MAE 0.48 – 0.87 mm/gün, MAPE %7.56 – 13.82 ve RMSE 0.30 – 1.19 mm/gün arasında değişmiştir. Dönemlik ortalama değerler ise sırasıyla 0.72 mm/gün, %11.03 ve 0.82 mm/gün olarak elde edilmiştir. Modifiye eşitlikler ile tahmin edilen günlük E_{pan} değerlerinin doğruluk düzeyleri LN için “çok iyi” (MAPE < %10), PT ve KN için ise “iyi” (MAPE= %10 – 20) olarak belirlenmiştir. Hem

orijinal ve hem de modifiye eşitlikler tahmin performanslarına göre iyiden kötüye doğru LN, KN ve PT şeklinde sıralanmıştır. Bu modellerin orijinal eşitlikleri ile sırasıyla %87.24 (MAPE= %12.76) %74.29 (MAPE= %25.71) ve %57.52 (MAPE= %42.48) doğruluk oranlarına sahip günlük E_{pan} değerleri tahmin edilirken, modifiye eşitlikleri kullanılarak sırasıyla %90.40 (MAPE= %9.60), %88.97 (MAPE= %11.03) ve %87.77 (MAPE= %12.23) doğruluk oranlarına sahip günlük E_{pan} değerleri tahmin edilmiştir. PT, KN ve LN modellerinin modifiye eşitlikleri kullanılarak doğruluk oranları orijinal eşitliklere göre sırasıyla %52.59, %19.76 ve %3.59 daha fazla olan günlük E_{pan} değerleri elde edilmiştir. Van ili iklim ve çevre koşulları ile en uyumlu modelin LN olduğu tespit edilmiştir.

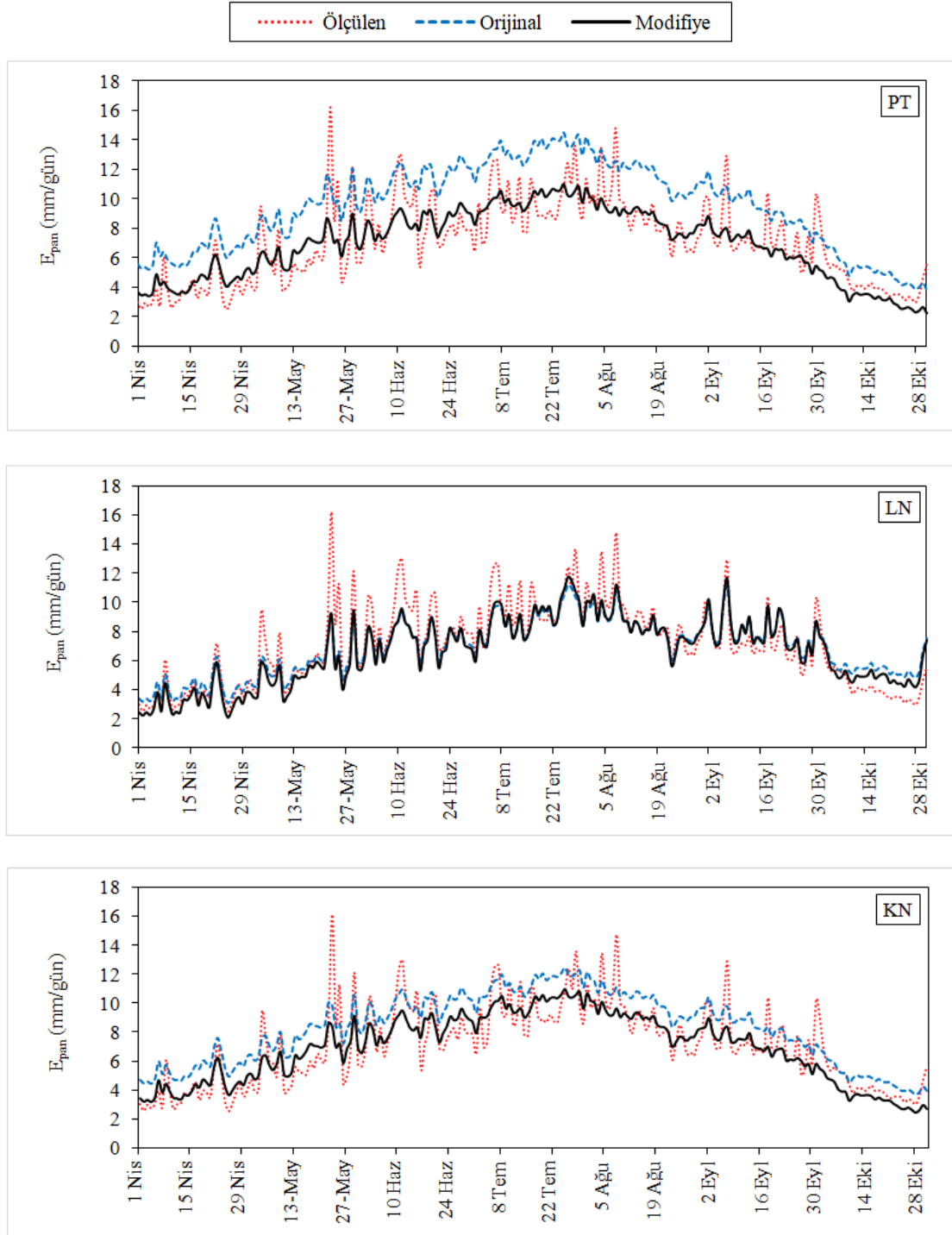
Çizelge 2. Modeller ile tahmin edilen E_{pan} değerlerinin hata miktarları (2012 – 2020)

PT	MAE (mm/gün)		MAPE (%)		RMSE (mm/gün)		Doğruluk düzeyi	
	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye
Nisan	2.59	0.58	69.70	16.06	2.62	0.65	Uyumsuz	İyi
Mayıs	3.42	0.98	62.61	18.43	3.46	1.07	Uyumsuz	İyi
Haziran	3.50	0.79	44.74	10.37	3.57	0.91	Kabul edilebilir	İyi
Temmuz	3.11	0.89	32.56	8.58	3.30	1.12	Kabul edilebilir	Çok iyi
Ağustos	2.74	0.78	29.19	7.78	2.91	1.01	Kabul edilebilir	Çok iyi
Eylül	1.69	0.82	24.58	10.23	1.79	1.07	Kabul edilebilir	İyi
Ekim	1.24	0.67	34.32	14.18	1.30	0.92	Kabul edilebilir	İyi
Ortalama	2.61	0.79	42.48	12.23	2.83	0.98	Kabul edilebilir	İyi
KN	MAE (mm/gün)		MAPE (%)		RMSE (mm/gün)		Doğruluk düzeyi	
	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye
Nisan	1.78	0.48	48.27	12.99	1.81	0.30	Kabul edilebilir	İyi
Mayıs	2.16	0.86	40.08	16.12	2.23	0.88	Kabul edilebilir	İyi
Haziran	1.92	0.76	25.08	9.83	2.05	0.75	Kabul edilebilir	Çok iyi
Temmuz	1.59	0.87	16.73	8.38	1.76	1.19	İyi	Çok iyi
Ağustos	1.31	0.75	14.12	7.56	1.49	0.92	İyi	Çok iyi
Eylül	0.87	0.69	12.94	8.47	0.98	0.91	İyi	Çok iyi
Ekim	0.82	0.64	23.07	13.82	0.92	0.77	Kabul edilebilir	İyi
Ortalama	1.49	0.72	25.71	11.03	1.67	0.82	Kabul edilebilir	İyi
LN	MAE (mm/gün)		MAPE (%)		RMSE (mm/gün)		Doğruluk düzeyi	
	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye
Nisan	0.52	0.28	14.44	7.18	0.55	0.36	İyi	Çok iyi
Mayıs	0.37	0.47	6.44	7.68	0.52	0.65	İyi	Çok iyi
Haziran	0.55	0.57	6.27	6.40	0.78	0.82	İyi	Çok iyi
Temmuz	0.72	0.68	6.64	6.28	1.04	0.95	İyi	Çok iyi
Ağustos	0.60	0.66	6.22	6.99	0.75	0.80	İyi	Çok iyi
Eylül	0.89	0.80	13.31	11.77	1.00	0.89	İyi	İyi
Ekim	1.26	0.76	35.88	19.84	1.36	0.89	Kabul edilebilir	İyi
Ortalama	0.70	0.60	12.76	9.60	0.90	0.79	İyi	Çok iyi

Modellerin orijinal ve modifiye eşitlikleri 2021 ve 2022 yılı iklim verileri ile test edilmiştir. Her iki yıl için ölçülen tahmin edilen günlük E_{pan} değerleri Şekil 6 ve 7’de verilmiştir. Ölçülen E_{pan} değerleri birinci ve ikinci yıl sırasıyla 2.52 – 16.17 mm/gün ve 1.88 – 18.09 mm/gün arasında değişmiştir. Dönemlik ortalama değerler ise 7.08 mm/gün ve 8.28 mm/gün olarak gerçekleşmiştir.

Birinci yıl PT, KN ve LN modellerinin orijinal eşitlikleri ile tahmin edilen günlük E_{pan} değerleri sırasıyla 3.74 – 14.46 mm/gün, 3.70 – 12.49 mm/gün ve 3.06 – 11.21 mm/gün arasında değerler almıştır. Dönemlik ortalama değerler 9.47 mm/gün, 8.31 mm/gün ve 6.91 mm/gün olarak belirlenmiştir. Modifiye eşitlikler ile tahmin edilen E_{pan} değerleri ise sırasıyla 2.19 – 10.98 mm/gün, 2.41 – 10.98 mm/gün ve 2.08 – 11.72 mm/gün arasında değişmiştir. Dönemlik ortalama değerler

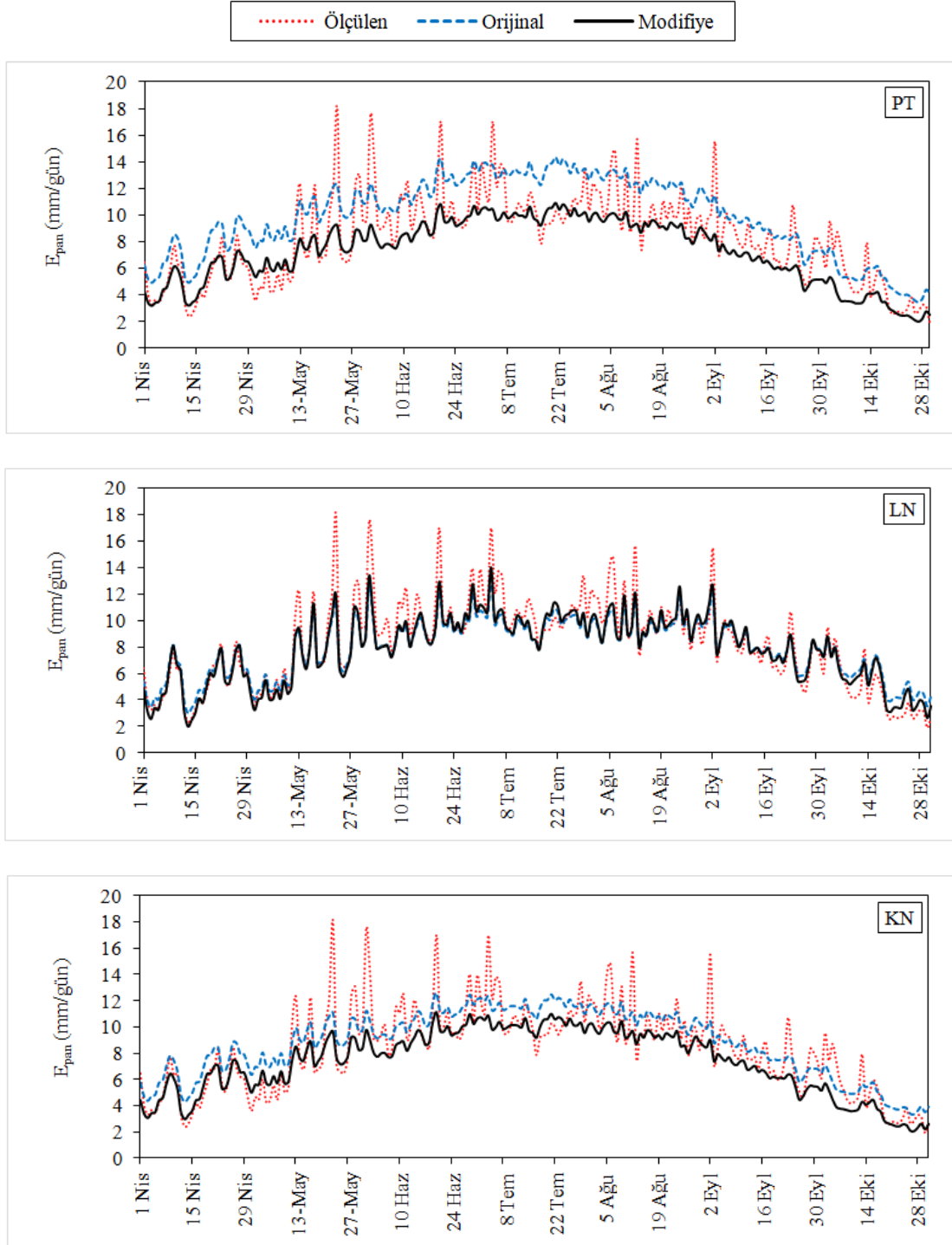
sırasıyla 6.89 mm/gün, 6.90 mm/gün ve 6.63 mm/gün olarak elde edilmiştir. Meteoroloji yer gözlem istasyonu tarafından ölçülen E_{pan} değerleri ile en yüksek ve en düşük istatistikî ilişki düzeyine sahip değerler sırasıyla LN ($R^2= 0.82$) ve PT ($R^2= 0.70$) modelleri ile tahmin edilmiştir. KN modeli için R^2 katsayısı 0.74 olarak belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Ölçülen ve tahmin edilen günlük E_{pan} değerleri (2021).

İkinci yıl PT, KN ve LN modellerinin orijinal eşitlikleri ile sırasıyla 3.45 – 14.39 mm/gün, 3.32 – 12.58 mm/gün ve 2.99 – 13.16 mm/gün arasında değişen günlük E_{pan} değerleri tahmin edilmiştir. Dönemlik ortalama değerler 9.87 mm/gün, 8.74 mm/gün ve 7.97 mm/gün olarak gerçekleşmiştir. Modifiye eşitlikler ile tahmin edilen E_{pan} değerleri ise sırasıyla 1.96 – 10.92 mm/gün,

2.04 – 11.07 mm/gün ve 2.00 – 14.03 mm/gün arasında değerler almıştır. Dönemlik ortalama değerler 7.22 mm/gün, 7.32 mm/gün ve 7.89 mm/gün olarak belirlenmiştir. Ölçülen E_{pan} değerleri ile en yüksek ve en düşük istatistikî ilişki düzeyine sahip değerler sırasıyla LN ($R^2= 0.89$) ve PT ($R^2= 0.71$) modelleri ile tahmin edilmiştir. KN modeli için R^2 katsayısı 0.75 olarak belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Ölçülen ve tahmin edilen günlük E_{pan} değerleri (2022).

Birinci ve ikinci yıl PT, KN ve LN modellerinin orijinal ve modifiye eşitlikleri kullanılarak tahmin edilen günlük E_{pan} değerleri ile ölçülen gerçek E_{pan} değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan MAE ve MAPE hatalarının Nisan – Ekim dönemi ortalamaları Çizelge 3’de verilmiştir. Hem orijinal ve hem de modifiye eşitlikler uzun yıllar ortalama iklim verileri ile yapılan

testlerde olduğu gibi tahmin performanslarına göre iyiden kötüye doğru LN, KN ve PT şeklinde sıralanmıştır. Her iki yılda da en iyi tahmin performansına sahip olan LN modelinin orijinal eşitliği ile tahmin edilen günlük E_{pan} değerlerinin Nisan – Ekim dönemi ortalama MAE hataları birinci yıl 0.93 mm/gün ve ikinci yıl 1.03 mm/gün olarak belirlenmiştir. Aynı modelin modifiye eşitliği için elde edilen hatalar ise birinci yıl 0.93 mm/gün ve ikinci yıl 0.89 mm/gün olarak gerçekleşmiştir. LN modeli orijinal eşitliği ile birinci yıl %86.05 (MAPE= %13.95) ve ikinci yıl %86.17 (MAPE= %13.83) doğruluk oranına sahip E_{pan} değerleri tahmin edilmiştir. Modifiye eşitliği ile yapılan tahminlerde ise doğruluk oranı birinci yıl %86.68 (MAPE= %13.32) ve ikinci yıl %89.26 (MAPE= %10.74) düzeyine yükselmiştir. Bu modelin orijinal ve modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen günlük E_{pan} değerlerinin her iki yılda da “iyi” (MAPE= %10 – 20) düzeyde doğruluğa sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 3. Modeller ile tahmin edilen E_{pan} değerlerinin hata miktarları (2021 – 2022)

2021	MAE (mm/gün)		MAPE (%)		Doğruluk düzeyi	
	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye
PT	2.58	1.15	42.45	16.98	Kabul edilebilir	İyi
KN	1.62	1.05	27.10	15.02	Kabul edilebilir	İyi
LN	0.93	0.93	13.95	13.32	İyi	İyi
2022	MAE (mm/gün)		MAPE (%)		Doğruluk düzeyi	
	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye	Orijinal	Modifiye
PT	2.07	1.42	30.18	16.17	Kabul edilebilir	İyi
KN	1.38	1.30	19.57	14.55	İyi	İyi
LN	1.03	0.89	13.83	10.74	İyi	İyi

LN modeline en yakın performansı gösteren KN modelinin orijinal eşitliği ile 2021 ve 2022 yıllarının Nisan – Ekim dönemleri için tahmin edilen günlük E_{pan} değerlerinin doğruluk oranları sırasıyla %72.90 (MAPE= %27.10) ve %80.43 (MAPE= %19.57) olarak belirlenmiştir. Aynı modelin modifiye eşitliği ile doğruluk oranı birinci yıl %84.98 (MAPE= %15.02) ve ikinci yıl %85.45 (MAPE= %14.55) düzeyine ulaşan günlük E_{pan} değerleri tahmin edilmiştir. Bu modelin orijinal ve modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen günlük E_{pan} değerleri genel olarak “iyi” (MAPE= %10 – 20) düzeyde doğruluğa sahip olmuşlardır. Ele alınan üç model arasında en kötü performansa sahip olan PT modelinin orijinal ve modifiye eşitlikleri ile elde edilen günlük E_{pan} değerlerinin doğruluk oranları sırasıyla birinci yıl %57.55 (MAPE= %42.45) ve %83.02 (MAPE= %16.98), ikinci yıl ise %69.82 (MAPE= %30.18) ve %83.83 (MAPE= %16.17) olarak belirlenmiştir. Bu modelin orijinal eşitliği ile “kabul edilebilir” (MAPE= %20 – 50) düzeyde doğruluğa sahip günlük E_{pan} değerleri tahmin edilirken, modifiye eşitliği ile “iyi” (MAPE= %10 – 20) düzeyde doğruluğa sahip E_{pan} değerleri tahmin edilmiştir. Her ne kadar modifiye eşitlikler birbirlerine yakın performanslar göstermiş olsalar da LN modelinin sadece hava sıcaklığı verilerine ihtiyaç duyması kullanılabilirliğini ve tercih edilebilirliğini artırmaktadır. PT ve KN modellerinin ise hava sıcaklığı ile birlikte rüzgâr hızı, solar radyasyon ve oransal nem verilerine ihtiyaç duymaları kullanılabilirliklerini kısıtlamaktadır.

Genel olarak LN modeli orijinal ve modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen E_{pan} değerlerinin A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen gerçek E_{pan} değerlerinden daha düşük, PT ve KN modelleri ile tahmin edilen E_{pan} değerlerinin ise daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde [Anyadike \(1987\)](#) yarı kurak – kurak Libya, [Cabrera ve ark. \(2016\)](#) ile [Althoff ve ark. \(2019\)](#) ise tropikal iklim özelliklerinin etkili olduğu Brezilya koşullarında doğruluk oranı en yüksek günlük E_{pan} değerlerinin LN modeli ile tahmin edildiğini ve bu modelin buharlaşmayı olması gerekenden daha düşük tahmin ettiğini ifade etmişlerdir. [Irmak & Haman \(2003\)](#), ampirik E_{pan} tahmin modelleri için kabul edilebilir RMSE hata sınırını 0.50 mm/gün olarak önermişlerdir. Van ili koşullarında en yüksek doğruluk oranına sahip günlük E_{pan} değerlerinin tahmin edildiği LN modeli modifiye eşitliği için elde edilen RMSE değeri (0.79 mm/gün) bu sınırın biraz üstünde olmasına rağmen, KN (RMSE= 0.82 mm/gün) ve PT (RMSE= 0.98 mm/gün) modellerine göre daha düşük seviyede kalmıştır. [Al-Mukhtar \(2021\)](#), [Üçler & Kutlu \(2021\)](#), [Kumar ve ark. \(2022\)](#), [Adnan ve ark. \(2023\)](#) hava sıcaklığı, oransal nem, rüzgâr hızı, solar radyasyon, doymuş ve gerçek buhar basınçları ile topraktaki ısı akısına dayalı olarak geliştirdikleri E_{pan} tahmin modelleri arasında en yüksek doğruluğa sahip E_{pan} değerlerinin en fazla

bağımsız değişken kullanılan modeller ile tahmin edildiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmaların aksine, sadece hava sıcaklığı verilerine ihtiyaç duyan LN modeli orijinal ve modifiye eşitlikleri ile Van ili mikroklima alanı iklim ve çevre koşullarında en yüksek doğruluğa sahip günlük E_{pan} değerleri tahmin edilmiştir. Bu modelin yöre koşullarındaki sulama faaliyetleri kapsamında hazırlanacak sulama programları ile kuraklık eylem planı çalışmalarında faydalı olacağı düşünülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, öncelikle PT, KN ve LN buharlaşma tahmin modellerine ait orijinal eşitliklerin Van ili mikroklima alanı koşullarında gerçekleştirilen günlük E_{pan} tahminlerindeki kullanılabilirlik düzeyleri belirlenmiştir. Daha sonra, bu eşitlikler Microsoft Excel programı çözücü eklentisi kullanılarak yöre koşulları ile uyumlu olacak şekilde modifiye edilmiştir.

KN, PT ve LN modellerinin kalibrasyonlarının yapılarak modifiye eşitliklerinin oluşturulması amacıyla, 2012 – 2020 yılları arasında ölçülen günlük T, RH, U_2 , R_s ve E_{pan} verilerinin dokuz yıllık ortalama değerleri kullanılmıştır. Bu modellerin orijinal ve modifiye eşitlikleri hem uzun yıllar ortalama veriler ve hem de 2021 ve 2022 yılı güncel iklim verileri ile test edilmiştir.

Uzun yıllar ortalama veriler (2012 – 2020) kullanılarak PT, KN ve LN modellerinin orijinal eşitlikleri ile sırasıyla %57.52, %74.29 ve %87.24 doğruluk oranlarına sahip günlük E_{pan} değerleri tahmin edilmiştir. Aynı modellerin modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen günlük E_{pan} değerlerinin doğruluk oranları ise sırasıyla %87.77, %88.97 ve %90.40 olarak belirlenmiştir.

PT, KN ve LN modellerinin orijinal eşitlikleri kullanılarak 2021 ve 2022 yılı güncel verileri ile yapılan testlerde sırasıyla birinci yıl %57.55, %72.90, %86.05 ve ikinci yıl %69.82, %80.43, %86.17 doğruluk oranlarına sahip günlük E_{pan} değerleri elde edilmiştir. Aynı modellerin modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen E_{pan} değerlerinin doğruluk oranları ise sırasıyla birinci yıl %83.02, %84.98, %86.68 ve ikinci yıl %83.82, %85.45, %89.26 olarak belirlenmiştir.

PT, KN ve LN modellerinin orijinal ve modifiye eşitlikleri tahmin performanslarına göre iyiden kötüye doğru LN, KN ve PT şeklinde sıralanmıştır. Modifiye eşitliklerin orijinal eşitliklere göre çok daha yüksek tahmin performanslarına sahip olduğu görülmüştür.

LN modeli orijinal ve modifiye eşitlikleri kullanılarak tahmin edilen günlük E_{pan} değerleri ile A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen günlük gerçek E_{pan} değerlerinin oluşturduğu veri gruplarının ortalamaları arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($P > 0.05$, $n = 214$). Van ili mikroklima alanı iklim ve çevre koşullarında LN modeli orijinal ve modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen E_{pan} değerlerinin ölçülen gerçek E_{pan} değerleri yerine kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Teşekkür

Çalışmanın istatistiksel analizlerindeki katkılarından dolayı Doç. Dr. Yıldırım DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Kaynakça

- Abdulkareem, J. H., Abdulkadir, A., & Abdu, N. (2015). A review of different types of lysimeter used in solute transport studies. *International Journal of Plant & Soil Science*, 8(3), 1-14. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2015/18098>
- Abudu, S., Cui, C., King, J. P., Moreno, J., & Bawazir, A. S. (2011). Modeling of daily pan evaporation using partial least squares regression. *Science China Technological Sciences*, 54(1), 163-174. <https://doi.org/10.1007/s11431-010-4205-z>
- Adnan, R. M., Mostafa, R. R., Dai, H. L., Heddami, S., Kuriqi, A., & Kisi, O. (2023). Pan evaporation estimation by relevance vector machine tuned with new metaheuristic algorithms using limited climatic data. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 17(1), 1-27. <https://doi.org/10.1080/19942060.2023.2192258>
- 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. Erişim tarihi: 06.04.2021. <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>

- Al-Mukhtar, M. (2021). Modeling of pan evaporation based on the development of machine learning methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 146, 961-979. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03760-4>
- Alsumaiei, A. A. (2020). Utility of artificial neural networks in modeling pan evaporation in hyper-arid climates. *Water*, 12, 1508. <https://doi.org/10.3390/w12051508>
- Althoff, D., Rodrigues, L. N., & da Silva, D. D. (2019). Evaluating evaporation methods for estimating small reservoir water surface evaporation in the Brazilian Savannah. *Water*, 11(9), 1942. <https://doi.org/10.3390/w11091942>
- Anyadike, R. N. C. (1987). The linacre evaporation formula tested and compared to others in various climates over West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 39(2-3), 111-119. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(87\)90030-X](https://doi.org/10.1016/0168-1923(87)90030-X)
- Arslan, F., & Ergül, M. (2014). Çayören barajı sulama havzası ve çevresinde tarımsal faaliyetler. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(1), 171-190. <http://doi.org/10.16992/ASOS.63>
- Aydın, Y. (2019). Yarı kurak iklim koşullarında A sınıfı Kap'tan olan buharlaşmanın Penman ve Kohler-Nordenson-Fox (KNF) modelleri ile tahmini. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 6(3), 319-327. <https://doi.org/10.19159/tutad.617167>
- Benzaghta, M. A., Mohammed, T. A., Ghazali, A. H., & Som, M. A. M. (2012). Prediction of evaporation in tropical climate using artificial neural network and climate based models. *Scientific Research and Essays*, 7(36), 3133-3148. <https://doi.org/10.5897/SRE11.1311>
- Cabrera, M. C. M., Anache, J. A. A., Youlton, C., & Wendland, E. (2016). Performance of evaporation estimation methods compared with standard 20 m² tank. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(10), 874-879. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n10p874-879>
- Christiansen, J. E. (1968). Pan evaporation and evapotranspiration from climatic data. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 94(2), 243-266. <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0000568>
- 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.
- De Myttenaere, A., Golden, B., Le Grand, B., & Rossi, F. (2016). Mean absolute percentage error for regression models. *Neurocomputing*, 192(1), 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.12.114>
- DMİ. (2023). *Van ili iklim verileri*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Erişim Tarihi: 08.05.2024. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIAR5_SummaryVolume_FINAL.pdf
- 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. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.13.3.0500>
- Jing, W., Yaseen, Z. M., Shahid, S., Saggi, M. K., Tao, H., Kisi, O., ... & Chau, K. W. (2019). Implementation of evolutionary computing models for reference evapotranspiration modeling: short review, assessment and possible future research directions. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 13(1), 811-823. <https://doi.org/10.1080/19942060.2019.1645045>
- Kaya, S., Evren, S., & Daşcı, E. (2016). Yarı-kurak iklim koşullarında A sınıfı kap buharlaşmasını tahmin için çeşitli eşitliklerin karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(2), 1-9.
- Kohler, M. A., Nordenson, T. J., & Fox, W. E. (1955). *Evaporation from pans and lakes*. U.S. Department of Commerce Research Paper No. 38. Erişim Tarihi: 06.04.2021. https://library.oarcloud.noaa.gov/noaa_documents.lib/NOAA_historic_documents/WB/Research_papers/WB_Research_Paper_38.pdf
- Kumar, G. M., Babu, B. M., Dashavant, P. B., & Reddy, G. V. (2022). Pan Evaporation Estimation Using Artificial Neural Network (ANN) and Fuzzy Logic Models for Raichur Region, Karnataka: A Case Study. *International Journal of Environment and Climate Change*, 12(11), 3725-3735. <https://doi.org/10.9734/ijec/2022/v12i111423>

- Linacre, E. T. (1977). A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. *Agricultural Meteorology*, 18(6), 409-424. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(77\)90007-3](https://doi.org/10.1016/0002-1571(77)90007-3)
- Maiseli, B. J. (2019). Optimum design of chamfer masks using symmetric mean absolute percentage error. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 74, 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13640-019-0475-y>
- Nakagawa, S., Johnson, P. C., & Schielzeth, H. (2017). The coefficient of determination R^2 and intra-class correlation coefficient from generalized linear mixed-effects models revisited and expanded. *Journal of the Royal Society Interface*, 14(134), 1-11. <https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0213>
- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of The Royal Society A, Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 193(1032), 120-145. <https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>
- Priestley, C. H. B., & Taylor, R. J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2), 81-92. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100%3C0081:OTAOSH%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100%3C0081:OTAOSH%3E2.3.CO;2)
- Sezer, Ç. Ö., & Öztekin, T. (2016). A-sınıfı buharlaşma kabından olan günlük buharlaşmanın Penman ve Linacre modelleri ile tahmini. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(3), 137- 147. <https://doi.org/10.13002/jafag.1055>
- Sezer, Ç. Ö., Öztekin, T., & Kutlu Sezer, E. (2018). A-sınıfı buharlaşma kabından olan buharlaşma miktarının Penman ve Priestley Taylor (PT) modelleri ile tahmini. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 55 (4), 379-388. <http://doi.org/10.20289/zfdergi.414100>
- Şarlak, N., & Bağçacı, S. Ç. (2020). Ampirik potansiyel evapotranspirasyon tahmin yöntemlerinin değerlendirilmesi: uygulama Konya kapalı havzası. *Teknik Dergi*, 31(1), 9755-9772. <https://doi.org/10.18400/tekderg.408019>
- Terzi, Ö. (2011, June). *Modeling of daily pan evaporation of Lake Eğirdir using data-driven techniques*. International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, İstanbul, 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. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1230919>
- Üçler, N., & Kutlu, F. (2021). Estimating daily pan evaporation data using adaptive neuro fuzzy inference system: case study within Van local station-Turkey. *Politeknik Dergisi*, 24(1), 195-204. <https://doi.org/10.2339/politeknik.635466>