



Karadeniz Bölgesi İklim Koşullarına Uygun Jensen Haise Yöntemi Referans Evapotranspirasyon Tahmin Eşitliklerinin Geliştirilmesi

Selçuk Usta^{1*}

^{1*} Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Van, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8970-7333), susta@yyu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 14 Haziran 2022 ve Kabul Tarihi 10 Ağustos 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1130701)

ATIF/REFERENCE: Usta, S. (2022). Karadeniz Bölgesi İklim Koşullarına Uygun Jensen Haise Yöntemi Referans Evapotranspirasyon Tahmin Eşitliklerinin Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 415-427.

Öz

Bu çalışmada Jensen Haise yöntemi orijinal eşitliğinin (JH_orijinal) Karadeniz Bölgesi koşullarındaki aylık ortalama referans evapotranspirasyon (ET_o) tahminlerinde kullanılabilirlik düzeyinin belirlenmesi ve yöre iklim koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibrasyonunun yapılması amaçlanmıştır. Öncelikle De Martonne kuraklık indeksi yöntemine göre bölgenin iklim sınıflandırması yapılmıştır. Daha sonra Microsoft Excel programı çözücü eklentisi kullanılarak, her bir iklim sınıfı için modifiye Jensen Haise (JH_modifiye) eşitlikleri geliştirilmiştir. ET_o hesaplamalarında bölge şehirlerine ait aylık ortalama sıcaklık, oransal nem, rüzgâr hızı ve güneşlenme süresi verileri kullanılmıştır (1927 – 2020). JH_orijinal ve JH_modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen ET_o değerleri FAO-56 Penman Monteith (PM) eşitliği kullanılarak belirlenen değerler ile karşılaştırılmıştır. Bölgenin doğusu çok nemli iklim sınıfında yer alırken, kıyı şeridi boyunca batıya doğru iklim nemli ve yarı nemliye dönüşmüştür. Kıyı kesimine oranla daha az yağış alan iç kesimlerde yarı kurak – nemli iklimin egemen olduğu görülmüştür. Çok nemli, nemli, yarı nemli ve yarı kurak – nemli iklim koşulları için FAO-56 PM ile elde edilen yıllık ortalama ET_o değerleri sırasıyla 1.779 mm gün⁻¹, 2.349 mm gün⁻¹, 2.280 mm gün⁻¹ ve 2.631 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir. Aynı iklim sınıfları için JH_orijinal ile tahmin edilen değerler 2.146 mm gün⁻¹, 2.697 mm gün⁻¹, 2.566 mm gün⁻¹ ve 2.562 mm gün⁻¹ olarak elde edilmiştir. JH_modifiye ile tahmin edilen değerler ise sırasıyla 1.775 mm gün⁻¹, 2.319 mm gün⁻¹, 2.238 mm gün⁻¹ ve 2.629 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir. Şehir bazında JH_orijinal ile tahmin edilen ET_o değerleri için ortalama mutlak göreceli hata oranı (MAPE) %19.357 – 45.561 aralığında değişmiştir. ET_o değerlerinin doğruluğu “kabul edilebilir” (MAPE= %20 – 50) düzeyde olsa da JH_orijinal tüm iklim sınıfı koşullarında kötü performans göstermiştir. Bu eşitlik için iklim sınıfı bazında 0.428 – 0.596 mm gün⁻¹ aralığında değişen ortalama mutlak hata (MAE) kalibrasyondan sonra %62.14 – 92.76 oranında azalarak, JH_modifiye için 0.031 – 0.205 mm gün⁻¹ aralığına gerilemiştir. JH_modifiye en iyi ve en kötü performanslarını sırasıyla çok nemli (MAPE= %2.298) ve yarı nemli (MAPE= %13.631) koşullarda göstermiştir. Nemli ve yarı kurak – nemli koşullardaki performansı ise birbirine yakın olmuştur (MAPE= %8.937 – 9.012). Bu eşitlik kullanılarak tahmin edilen ET_o değerlerinin doğruluk düzeyi yarı nemli koşullarda “iyi” (MAPE= %10 – 20), diğer iklim sınıfı koşullarında ise “çok iyi” (MAPE ≤ %10) olarak belirlenmiştir. FAO-56 PM için yeterli veri olmaması durumunda JH_modifiye eşitliğinin iyi bir alternatif olduğu ve nemli koşullardaki ET_o tahminlerinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kalibrasyon, Kuraklık İndeksi, Referans Evapotranspirasyon, Tahmin Modeli.

Development of Jensen Haise Method Reference Evapotranspiration Estimation Equations Suitable for Black Sea Region Climatic Conditions

Abstract

In this study, it is aimed to determine the usability level of the original equation (JH_original) of the Jensen Haise method in the monthly average reference evapotranspiration (ET_o) estimations in the Black Sea Region conditions and to calibrate it in accordance with the local climatic conditions. First of all, the climate classification of the region was made according to the De Martonne aridity

* Sorumlu Yazar: susta@yyu.edu.tr

index method. Then modified Jensen Haise (JH_modified) equations were developed for each climate class, using the Microsoft Excel program solver add-on. ET_o calculations were made using monthly average temperature, relative humidity, wind speed and sunshine duration data (1927 – 2020) of the cities in the region. The ET_o values estimated by the JH_original and JH_modified equations were compared with the values determined using the FAO-56 Penman Monteith (PM) equation. While the eastern part of the region is in the very humid climate class, the climate has changed to humid and semi humid towards the west along the coastline. It has been observed that the semi arid – humid climate is dominant in the interior parts, which receive less precipitation compared to the coastal part in region. The annual average ET_o values obtained with FAO-56 PM for very humid, humid, semi humid and semi arid – humid conditions were determined as 1.779 mm day⁻¹, 2.349 mm day⁻¹, 2.280 mm day⁻¹ and 2.631 mm day⁻¹, respectively. For the same climate classes, the values estimated with JH_original were obtained as 2.146 mm day⁻¹, 2.697 mm day⁻¹, 2.566 mm day⁻¹ and 2.562 mm day⁻¹. The values estimated using JH_modified were determined as 1.775 mm day⁻¹, 2.319 mm day⁻¹, 2.238 mm day⁻¹ and 2.629 mm day⁻¹, respectively. The mean absolute percentage error (MAPE) for the ET_o values estimated using JH_original varied between %19.357 – 45.561 on the basis of city. Although the accuracy of ET_o values is “acceptable” (MAPE= 20 – 50%), JH_original performed poorly in all climate class conditions. For this equation, the mean absolute error (MAE) changed between 0.428 – 0.596 mm day⁻¹ on the basis of climate class, decreased by 62.14 – 92.76% after calibration and regressed to 0.031 – 0.205 mm day⁻¹ range for JH_modified. JH_modified equation showed the best and worst performances in very humid (MAPE= 2.298%) and semi humid (MAPE= 13.631%) conditions, respectively. Its performance in humid and semi arid – humid conditions was close to each other (MAPE= 8.937 – 9.012). The accuracy of the ET_o values estimated using this equation was determined as “good” (MAPE= 10 – 20%) in semi humid conditions and “very good” (MAPE ≤ 10%) in other climate class conditions. It was concluded that the JH_modified equation is a good alternative and can be used to estimate ET_o in humid conditions in the absence of sufficient data for FAO-56 PM.

Keywords: Calibration, Aridity Index, Reference Evapotranspiration, Estimation Model.

1. Giriş

Bitki – toprak sistemine yağış ile giren su sırasıyla yüzey akış, sızma, toprak ve su yüzeylerinden gerçekleşen buharlaşma (evaporasyon, E) ve bitki yaprak yüzeylerinden gerçekleşen terleme (transpirasyon, T) ile kayıplara uğramaktadır. Bu kayıpların toplamı bitki su tüketimi (evapotranspirasyon, ET) olarak tanımlanmaktadır (Güngör & Erözel, 2004). Karasal alana düşen yağış miktarının yaklaşık olarak %62’sinin ET ile atmosfere geri döndüğü tahmin edilmektedir (Dingman, 2008). Bitki türü, gelişim evresi, vejetasyon periyodu gibi bitkiye has özellikler; nem içeriği, tuzluluk oranı, drenaj durumu, verim ve toprak yönetimi gibi toprağa has özellikler; hava sıcaklığı, solar radyasyon, rüzgâr hızı, güneşlenme süresi ve oransal nem gibi iklimsel faktörler ET miktarını belirleyen en önemli parametrelerdir (Canlı, 2014). Birçok parametreye bağlı olarak gerçekleşen ET; bitkilerin sulama suyu ihtiyaçlarının belirlenerek sulama programlarının hazırlanmasında, sulama ve drenaj sistemlerinin keşif ve fizibilite çalışmaları ile yapımı işletilmesi ve bakımında, gölet ve barajların projelendirilmesi ve işletilmesinde, yağışın yer altı suyu karışan miktarının belirlenmesinde, kuraklığın izlenmesinde, yer altı suyu havzalarının emniyetli veriminin tahmin edilmesinde, taşkın kontrolünde ve bununla birlikte hidroloji, meteoroloji ve toprak bilimleri kapsamında yapılan birçok çalışmada en temel veri olarak kullanılmaktadır (Kodal, 1982; Güngör & Erözel, 2004).

ET miktarının belirlenmesinde kullanılan yöntemler doğrudan ölçme yöntemleri ve iklim verilerinden kestirme yöntemleri olmak üzere iki ayrı gruba ayrılmaktadır. Doğrudan ölçme yöntemleri; tank ve lizimetreler, tarla deneme parselleri, nem azalmasının denetimi, havzaya giren ve çıkan akışın ölçülmesi yöntemleridir. İklim verilerinden kestirme yöntemleri ise mikrometeorolojik yöntemler (Bowen oranı enerji dengesi, Eddy-Kovaryans, Aerodinamik-kütle transferi) ve referans evapotranspirasyona (ET_o) dayalı ampirik yöntemlerdir.

ET’nin yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyona hareket eden türbülanslı bir ortamdaki gaz moleküllü, rüzgâr hızı ve hava sıcaklığının düşey doğrultudaki değişimlerine bağlı olarak belirlendiği mikrometeorolojik yöntemler pahalı olmaları

ve ölçme işlemlerinin zor ve zaman alıcı olması nedeniyle çok fazla tercih edilmemektedir (Şarlak & Bağçacı, 2020). Lizimetre sistemleri kullanılarak ET miktarının belirlenmesi en güvenilir ve en doğru sonucu veren doğrudan ölçme yöntemi olarak kabul edilmektedir. Ancak lizimetre sistemlerinin kurulum, işletme ve bakım giderlerinin yüksek, ölçme işlemlerinin zor ve zaman alıcı olması nedeniyle daha çok ET miktarının tahmin edilmesi yolu tercih edilmektedir (Karaca vd., 2017).

ET miktarının tahmin edilmesi amacıyla, önce referans bir bitki için su tüketiminin (ET_o) belirlenmesi ve daha sonra bu değerin bitki katsayısı (k_c) ile düzeltilerek ET miktarının elde edilmesi yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır (Aydişakir vd., 2003). Bu yaklaşımda ET_o , egemen iklimsel koşullarda yetişen ve yeterli düzeyde sulanan, sağlıklı büyüyen, toprağı tamamen gölgeleyen ve 70 s m⁻¹ sabit yüzey direncine sahip olan 12 cm yüksekliğindeki çim bitkisinden yansıma değerinin 0.23 olduğu şartlarda gerçekleşen maksimum evapotranspiration miktarı olarak tanımlanmaktadır. k_c katsayısı ise bitki türüne ve taç yapısına bağlı olarak belirlenen, bitkinin fizyolojisini, örtü derecesini ve yetiştirildiği yöreyi yansıtan bir katsayıyı ifade etmektedir (Allen vd., 1998). Günümüzde ET_o tahminlerinde en çok tercih edilen yöntem Penman Monteith yöntemidir (Çetin vd., 2014). Temelleri 1948 yılında atılan ve zaman içerisinde bazı sabitler eklenerek geliştirilen bu yöntem, 1998 yılında referans çim bitkisine uyarlanmış ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından 56 sayılı Sulama ve Drenaj Yayını ile Penman Monteith (PM) eşitliği FAO-56 modifikasyonu adı altında kullanıma sunulmuştur (Allen vd., 1998). Bu yöntem kullanılarak gerçeğe en yakın ET_o değerleri tahmin edilebildiği yapılan birçok çalışma ile ortaya konulmuştur (Orta vd., 2000; Beyazgül vd., 2000; Lage vd., 2003; Jacobs vd., 2004; Trajković & Gocić, 2010).

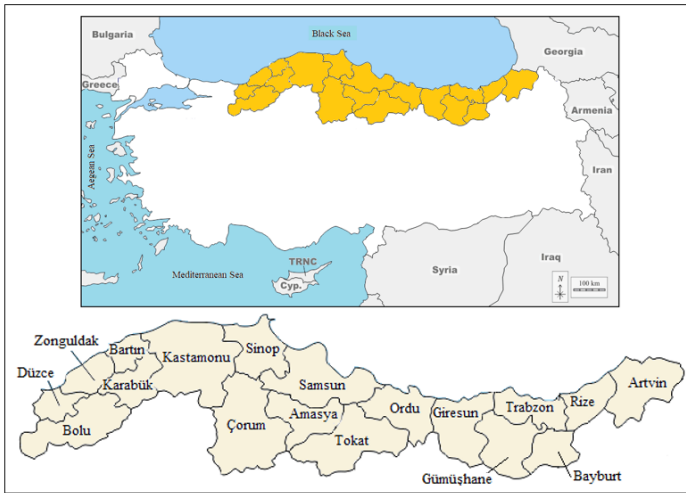
FAO-56 PM yönteminde, meteorolojik yer gözlem istasyonlarından ölçülen sıcaklık, oransal nem, solar radyasyon, rüzgâr hızı ve topraktaki ısı akışı değişimine dayalı olarak ET_o tahmin edilebilmektedir. Bu istasyonların tüm dünya üzerinde yeterince yaygın olmaması ve daha çok şehir merkezlerinde bulunması nedeniyle, kırsal bölgelerde bu parametrelerin birçoğu devamlı ve düzenli olarak ölçülememektedir. Ölçme işlemlerinde kullanılan cihazların maliyetlerinin yüksek, bakım,

onarım ve kalibrasyonlarının zor olması da bir diğer sorunu oluşturmaktadır. Dolayısıyla kırsal bölgelerde FAO-56 PM yöntemine göre daha az sayıda meteorolojik parametre kullanımı gerektiren tahmin yöntemleri tercih edilmektedir. Bu doğrultuda sıcaklığa (Thorntwaite, 1948; Blaney & Criddle, 1950; Hamon, 1961; Romanenko, 1961; Hargreaves, 1975), radyasyona (Makkink, 1957; Jensen & Haise, 1963; Priestly & Taylor, 1972; Doorenbos & Pruitt, 1977; Abtew, 1996), hem sıcaklığa ve hem de radyasyona (Turc, 1961; Hargreaves & Samani, 1985) dayalı çok sayıda tahmin yöntemi geliştirilmiştir.

Tahmin yöntemlerin kullanılabilirlik düzeyleri iklim ve coğrafik koşullara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. İhtiyaç duydukları meteorolojik parametrelerin farklı olması nedeniyle aynı bölge için uygulandıklarında dahi farklı sonuçlar verebilmektedirler. Dolayısıyla yöre koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibrasyonlarının yapılması gereklidir (Grismer vd. 2002). Birçok bölgede çoğunlukla FAO-56 PM yöntemi referans alınarak çok sayıda kalibrasyon çalışması yapılmıştır (Sousa vd., 2010; Tabari vd., 2013; Samaras vd., 2014; Naorem & Devi, 2014; Tellen, 2017; Şarlak & Bağçacı, 2020; Wang vd., 2019; Okkan & Kıymaz, 2020; Zakeri vd., 2022). Bu çalışmalar kapsamında geliştirilen kalibrasyon eşitlikleri yöre koşullarında ölçülen güncel meteorolojik veriler ile test edilmiş ve doğruluk oranı yüksek ET_o değerlerinin tahmin edilebildiği ortaya konulmuştur. Benzer şekilde, bu çalışma kapsamında solar radyasyona dayalı Jensen Haise yöntemi orijinal eşitliğinin nemli Karadeniz Bölgesi iklim ve coğrafik koşullarında gerçekleştirilecek aylık ortalama ET_o tahminlerindeki kullanılabilirlik düzeyinin belirlenmesi ve bölge koşullarına uygun kalibrasyon eşitliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Türkiye'nin kuzeyinde yer alan Karadeniz Bölgesi doğuda Gürcistan sınırından başlayarak, batıda Sakarya Ovası ile Bilecik'in doğusuna kadar uzanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Karadeniz Bölgesi (Figure 1. Black Sea Region)

Karadeniz Bölgesi 131.218 km² yüzey alanı ile Türkiye yüzölçümünün %17'sini oluşturmaktadır. Coğrafi konum olarak 40 – 42° kuzey enlemleri ile 30 – 42.50° doğu boylamları arasında yer alan bu bölgedeki şehirlerin enlem, boylam ve rakım değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Şehirlerin Enlem, Boylam ve Rakım Değerleri

(Table 1. Latitude, Longitude and Altitude Values of Cities)

Şehir	Enlem (°N)	Boylam (°E)	Rakım (m)
Rize	41.03	40.50	4
Giresun	40.91	38.40	38
Zonguldak	41.45	31.80	136
Bartın	41.58	32.46	14
Ordu	40.98	37.86	4
Düzce	40.91	31.20	120
Trabzon	41.00	39.71	30
Artvin	41.16	41.81	345
Samsun	41.28	36.33	4
Sinop	42.03	35.16	32
Kastamonu	41.36	33.76	799
Bolu	40.73	31.60	742
Bayburt	40.26	40.25	1550
Karabük	41.21	32.62	265
Gümüşhane	40.46	39.47	1180
Çorum	40.55	34.96	837
Amasya	40.65	35.84	398
Tokat	40.30	36.56	608

Karadeniz Bölgesinin kıyı kesiminde yazlar nispeten serin, kışlar ise kıyı kesiminde ılık yüksek kesimlerde karlı ve soğuk geçmektedir. Karadeniz ikliminin egemen olduğu kıyı kesiminde en fazla yağış sonbaharda, en az yağış ise yaz mevsiminde gerçekleşmektedir. Doğu Karadeniz bölümünün kıyı kesimleri (Giresun, Trabzon, Rize, Artvin) Kuzey Anadolu Dağlarının Karadeniz'e paralel olacak şekilde kıyıdan itibaren hemen yükselmesi ve kuzeye bakan yüzeylerinin yağış getiren rüzgârlara dönük olması nedeniyle Türkiye'nin en çok yağış alan yerleridir. Bu bölümde Artvin ve Rize sırasıyla yıllık toplam 689.80 mm ve 2301.50 mm ile en az ve en çok yağış alan şehirlerdir. Orta (Ordu, Samsun) ve Batı (Sinop, Kastamonu, Bartın, Zonguldak, Düzce) Karadeniz bölümlerinin kıyı kesimlerinde ise dağların kıyıdan uzaklaşarak yükseltilerinin azalması nedeniyle yağış azalmaktadır. Bu bölümlerde Kastamonu ve Zonguldak sırasıyla yıllık toplam 482.30 mm ve 1216.10 mm ile en az ve en çok yağış alan şehirlerdir. Bitki örtüsü kıyı kesimlerde geniş yapraklı nemli ormanlardan, yüksek kesimlerde iğne yapraklı ormanlardan oluşmaktadır. Türkiye ormanlarının %25'i bu kesimlerde bulunmaktadır. Ormanlık alanların sona erdiği yüksek rakımlarda ise bitki örtüsü Alpin çayırlarına dönüşmektedir. Dağların güneye bakan kesimlerinde (Bayburt, Gümüşhane, Çorum, Amasya, Tokat, Bolu, Karabük) deniz etkisinin azalması nedeniyle yağış ve sıcaklık azalmakta, bitki örtüsü bozkıra dönüşmektedir. Karasal iklimin egemen olduğu bu iç kesimlerde Çorum yıllık toplam 430.70 mm ile en az yağış alan şehirdir. Bölge genelinde yıllık ortalama sıcaklık 13 – 15 °C, Ocak ve Temmuz ayları ortalama sıcaklıkları ise sırasıyla 6 – 7 °C ve 21 – 23 °C aralıklarında değişmektedir. Yıllık ortalama nem oranı %71 düzeyindedir (MGM, 2022).

Çalışma kapsamında öncelikle De Martonne kuraklık indeksi yöntemi referans alınarak, Karadeniz Bölgesinde bulunan tüm şehirlerin iklim sınıflandırması yapılmıştır. Sırasıyla Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 ile belirlenen aylık ve yıllık

kuraklık indeksi değerlerine göre, Tablo 2 kullanılarak şehirlerin iklim sınıfları belirlenmiştir (De Martonne, 1942).

$$IM = \frac{12.P'}{T+10} \quad (1)$$

$$IDMG = \frac{1}{2} \left(\frac{P}{T_y+10} + \frac{12.P_d}{T_d+10} \right) \quad (2)$$

Eşitliklerde; IM, aylık kuraklık indeksi; P', aylık toplam yağış (mm); T, aylık ortalama sıcaklık (°C); IDMG, yıllık kuraklık indeksi; P, yıllık toplam yağış (mm); T_y, yıllık ortalama sıcaklık (°C); P_d, en yüksek kuraklık indeksine sahip ay için toplam yağış (mm) ve T_d, en yüksek kuraklık indeksine sahip ay için ortalama sıcaklık (°C) değerini ifade etmektedir.

Tablo 2. De Martonne Kuraklık İndeksi İklim Sınıfları

(Table 2. De Martonne Aridity Index Climate Classes)

Kuraklık İndeksi	İklim Sınıfı
IDMG <5	Kurak
5 ≤ IDMG < 10	Yarı kurak
10 ≤ IDMG < 20	Yarı kurak – nemli
20 ≤ IDMG < 30	Yarı nemli
30 ≤ IDMG < 60	Nemli
IDMG >60	Çok nemli

Karadeniz Bölgesinde bulunan şehirlerin aylık ve yıllık toplam yağış miktarları Tablo 3'te verilmiştir. Aylık ortalama hava sıcaklığının uzun yıllar ortalaması (1927 – 2020) değerleri ise Tablo 4'te verilmiştir (MGM, 2022).

İklim sınıflandırması yapıldıktan sonra, Eşitlik 3 ile verilen Orijinal Jensen Haise (JH_oryijinal) eşitliğindeki 0.025 ve 0.08 değerlerine sırasıyla a ve b katsayıları atanarak, Eşitlik 4 ile

Tablo 3. Karadeniz Bölgesi Şehirlerinin Aylık ve Yıllık Toplam Yağış Miktarları (1927 – 2020)

(Table 3. Monthly and Annual Total Precipitation Amounts of Black Sea Region Cities (1927 – 2020))

Aylar Şehir	P' (mm)												P (mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Rize	232.6	187.2	159.4	96.0	96.3	134.7	151.6	196.9	254.8	292.3	255.2	244.5	2301.5
Giresun	128.9	100.9	97.6	75.7	68.1	77.9	79.3	89.4	128.0	162.7	152.5	127.8	1288.8
Zonguldak	137.5	98.2	96.7	64.5	54.8	72.0	69.3	82.9	103.1	144.4	140.0	152.7	1216.1
Bartın	117.5	86.2	77.2	57.9	54.7	70.7	61.6	77.2	85.5	109.8	113.7	131.8	1043.8
Ordu	103.4	83.9	80.2	67.6	56.5	71.5	63.4	69.1	82.6	131.0	122.4	114.8	1046.4
Düzce	89.3	70.3	73.1	58.9	63.0	67.8	43.9	51.9	52.0	79.7	77.6	102.3	829.8
Trabzon	83.1	64.4	59.2	57.0	52.7	52.0	35.4	48.6	78.5	115.8	98.7	84.6	830.0
Artvin	84.1	71.3	59.2	53.3	53.1	49.1	30.6	29.4	37.7	61.1	74.7	86.2	689.8
Samsun	72.0	58.4	66.6	56.9	48.4	45.4	34.9	37.3	53.3	78.4	83.8	81.3	716.7
Sinop	72.8	51.6	52.3	38.0	34.9	35.2	33.1	40.9	66.5	86.8	83.1	90.7	685.9
Kastamonu	29.7	27.4	35.0	51.1	75.3	73.1	32.3	31.3	30.1	34.9	28.6	33.5	482.3
Bolu	57.4	48.7	50.2	50.2	60.3	57.5	27.8	24.4	28.4	41.0	45.3	58.6	549.8
Bayburt	27.0	28.0	40.7	62.5	73.2	51.6	21.3	15.5	21.8	43.1	33.0	29.4	447.1
Karabük	44.1	41.8	42.9	38.1	66.3	82.0	22.6	18.0	31.4	50.7	34.9	49.3	522.1
Gümüşhane	35.9	31.5	43.8	58.4	69.1	47.4	12.5	13.5	21.1	43.3	42.5	41.7	460.7
Çorum	39.1	29.6	38.4	46.6	62.2	53.8	19.9	15.2	21.9	27.0	33.2	43.8	430.7
Amasya	49.6	37.4	47.6	54.2	54.0	38.5	16.5	10.2	19.7	34.8	42.9	55.4	460.8
Tokat	42.8	34.5	42.5	53.5	59.1	40.2	11.5	8.7	19.3	36.3	41.7	45.1	435.2

verilen modifiye Jensen Haise (JH_modifiye) eşitliği oluşturulmuştur (Jensen & Haise, 1963). Microsoft Excel programı çözücü eklentisi kullanılarak a ve b katsayılarının her bir şehir ve iklim sınıfı için en uygun değerleri belirlenmiştir. Benzetim çözümlene araçları komut takımının bir parçası olan Excel çözücü, hedef hücredeki formülün en uygun değerini bulmak için kullanılmaktadır. Çözücü formülle doğrudan veya dolaylı olarak ilişkisi bulunan bir hücre grubuyla birlikte çalışmaktadır. Çözücünün modelde kullanılabileceği değerler için kısıtlamalar getirilebilmektedir (Çobaner vd., 2015).

$$ET_o = \frac{C_T(T-T_x)R_s}{\lambda} \quad ET_o = \frac{(0.025T + 0.08)R_s}{\lambda} \quad (3)$$

$$ET_o = \frac{(a.T + b)R_s}{\lambda} \quad (4)$$

Eşitliklerde; ET_o, günlük referans evapotranspirasyon miktarı (mm gün⁻¹); C_T, sıcaklık sabiti (0.025); T, günlük ortalama hava sıcaklığı (°C); T_x, -3 °C; R_s, günlük ortalama solar radyasyon (MJ m⁻² gün⁻¹); λ, buharlaşma gizli ısısı (MJ kg⁻¹) ve a, b, kalibrasyon katsayılarını ifade etmektedir.

FAO-56 PM eşitliği (Eşitlik 5) ile tahmin edilen aylık ortalama ET_o değerleri gerçek değerler olarak kabul edilmiştir. Bu eşitliğinin bileşenleri Eşitlik 6 – 25 ile belirlenmiştir (Allen vd., 1998). JH_oryijinal ve JH_modifiye eşitlikleri ile elde edilen ET_o değerleri FAO-56 PM eşitliği ile tahmin edilen ET_o değerleriyle karşılaştırılmıştır. Kalibrasyon çalışmalarında a ve b katsayılarına öncelikle "1" değeri atanmış ve ET_o değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu ET_o değerleri ile FAO-56 PM kullanılarak belirlenen ET_o değerleri arasındaki farkların kareleri toplamı belirlenmiştir. Excel çözücü çalıştırılarak bu toplamı minimum yapan en uygun a ve b katsayıları belirlenmiştir.

Tablo 4. Karadeniz Bölgesi Şehirlerinin Aylık ve Yıllık Ortalama Hava Sıcaklığı Değerleri (1927 – 2020)

(Table 4. Monthly and Annual Average Air Temperature Values of Black Sea Region Cities (1927 – 2020))

Aylar Şehir	T (°C)												T _y (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Rize	6.8	6.8	8.1	11.6	16.0	20.3	22.9	23.2	20.3	16.4	12.3	8.8	14.5
Giresun	7.5	7.7	8.5	11.9	15.8	20.1	22.7	22.9	20.2	16.3	13.2	9.9	14.7
Zonguldak	6.2	6.3	7.5	11.2	15.4	19.6	21.8	22.0	18.9	15.3	11.8	8.5	13.7
Bartın	4.0	4.8	7.3	11.4	15.8	19.8	22.0	21.8	18.0	13.8	9.2	5.8	12.8
Ordu	6.9	7.0	8.2	11.4	15.7	20.4	23.1	23.4	20.2	16.2	12.2	9.0	14.5
Düzce	3.6	5.1	7.7	12.1	16.5	20.3	22.4	22.2	18.6	14.1	9.3	5.6	13.1
Trabzon	7.4	7.3	8.4	11.7	15.9	20.2	23.0	23.4	20.4	16.7	13.0	9.6	14.7
Artvin	2.6	3.8	7.0	11.8	16.0	18.9	20.9	21.1	18.3	14.2	9.0	4.4	12.3
Samsun	7.1	7.1	8.1	11.3	15.6	20.2	23.2	23.6	20.3	16.5	12.7	9.4	14.6
Sinop	7.0	6.7	7.5	10.6	14.9	19.8	22.9	23.3	20.1	16.3	12.6	9.3	14.3
Kastamonu	-1.0	0.8	4.4	9.5	14.1	17.5	20.1	19.9	15.8	10.9	5.2	0.9	9.8
Bolu	0.5	1.8	4.7	9.6	14.1	17.4	19.8	19.9	16.2	11.8	6.9	2.7	10.5
Bayburt	-6.3	-5.0	0.4	6.9	11.6	15.2	18.8	18.7	14.8	9.3	2.7	-3.2	7.0
Karabük	2.3	5.8	8.8	12.2	16.8	20.5	23.3	23.9	20.2	14.6	8.1	3.9	13.4
Gümüşhane	-1.9	-0.6	3.7	9.3	13.6	17.0	20.0	20.2	16.4	11.2	4.9	0.4	9.5
Çorum	-0.4	1.1	5.0	10.4	15.0	18.5	21.3	21.3	17.3	12.2	6.3	1.8	10.8
Amasya	2.5	4.5	8.3	13.3	17.6	21.3	23.8	23.8	20.0	14.7	8.4	4.5	13.6
Tokat	1.9	3.5	7.4	12.4	16.4	19.6	22.0	22.3	18.8	13.8	7.9	3.7	12.5

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (5)$$

$$\lambda = 2.501 - (2.361 T \cdot 10^{-3}) \quad (6)$$

$$e_{s_{max}} = 0.6108 \exp \left(\frac{17.27 T_{max}}{T_{max} + 237.3} \right) \quad (7)$$

$$e_{s_{min}} = 0.6108 \exp \left(\frac{17.27 T_{min}}{T_{min} + 237.3} \right) \quad (8)$$

$$e_s = \frac{e_{s_{max}} + e_{s_{min}}}{2} \quad (9)$$

$$e_a = e_s \frac{RH}{100} \quad (10)$$

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp \left(\frac{17.27 T}{T + 237.3} \right) \right]}{(T + 237.3)^2} \quad (11)$$

$$P_a = 101.3 \left[\frac{293 - 0.0065 Z}{293} \right]^{5.26} \quad (12)$$

$$\gamma = 0.665 \cdot 10^{-3} P_a \quad (13)$$

$$j = (30.40 M) - 15 \quad (14)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \left(\frac{2 \pi j}{365} \right) \quad (15)$$

$$\delta = 0.409 \sin \left[\left(\frac{2 \pi j}{365} \right) - 1.39 \right] \quad (16)$$

$$\emptyset = L \left(\frac{\pi}{180} \right) \quad (17)$$

$$w_s = \arccos (-\tan \emptyset \tan \delta) \quad (18)$$

$$R_a = 24 \left(\frac{60}{\pi} \right) G_{sc} d_r [(w_s \sin \emptyset \sin \delta) + (\cos \emptyset \cos \delta \sin w_s)] \quad (19)$$

$$N = \left(\frac{24}{\pi} \right) w_s \quad (20)$$

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a \quad R_{so} = \left(0.25 + 0.50 \frac{n}{N} \right) R_a \quad (21)$$

$$R_{so} = (0.75 + 2.10^{-5} Z) R_a \quad (22)$$

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{(T_{max} + 273.16)^4 + (T_{min} + 273.16)^4}{2} \right] (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \quad (23)$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad R_{ns} = (1 - 0.23) R_s \quad R_{ns} = 0.77 R_s \quad (24)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (25)$$

Eşitliklerde; R_n, bitki yüzeyine etki eden net radyasyon miktarı (MJ m⁻² gün⁻¹); G, topraktaki ısı akısı (MJ m⁻² gün⁻¹); γ, psikometrik sabite (kPa °C⁻¹); e_s, e_a, doymuş ve gerçek buhar basıncı değerleri (kPa); Δ, doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa °C⁻¹); U₂, 2 m yükseklikten ölçülen rüzgâr hızı (m s⁻¹); T_{max}, T_{min}, günlük maksimum ve minimum hava sıcaklıkları (°C); e_{smax}, e_{smin}, maksimum ve minimum doymuş buhar basınçları (kPa); RH, oransal nem (%); P_a, atmosferik basınç (kPa); Z, rakım (m); j, Julian tarihi; M, Julian tarihine dönüştürülen ayın numarası (1-12); d_r, Dünya-Güneş ters oransal uzaklığı; δ, solar diklik (Radyan); L, enlem (derece); Ø, enlem (radyan); w_s, Güneş batım saatindeki açı (Radyan); G_{sc}, solar sabite (0.0820 MJ m⁻² dakika⁻¹); R_a, extraterrestrial radyasyon (MJ m⁻² gün⁻¹); n, günlük güneşlenme süresi (saat); N, günlük olası maksimum güneşlenme süresi (saat); a_s, b_s, Angström eşitliği regresyon katsayıları; R_{so}, Açık (bulutsuz) gökyüzü radyasyonu (MJ m⁻² gün⁻¹); R_{nl}, dünyadan giden net uzun dalga boyulu radyasyon (MJ m⁻² gün⁻¹); R_{ns}, net kısa dalga boyulu radyasyon (MJ m⁻² gün⁻¹); α, yansımaya katsayısı (referans çim bitkisi için 0.23 olarak alınmaktadır) ve σ, Stefan – Boltzmann katsayısı (4.903 10⁻⁹ MJ K⁻⁴ m⁻² gün⁻¹) değerini ifade etmektedir.

ET_o değerlerinin belirlenmesinde Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen aylık ortalama T_{max}, T_{min}, T, RH, U₂ ve n verilerinin 1927 – 2020 yılları arasındaki ortalama değerleri kullanılmıştır (MGM, 2022). Aylık ortalama R_s verileri Angström – Prescott eşitliği ile tahmin edilmiştir (Eşitlik 21). Bu eşitlikteki a_s ve b_s katsayıları sırasıyla 0.25 ve 0.50 alınmıştır. R_a ise enleme bağlı olarak Eşitlik 14 – 19 ile tahmin edilmiştir (Angström, 1924; Prescott, 1940). JH_rijinal ve JH_modifiye eşitlikleri kullanılarak tahmin edilen aylık ortalama ET_o değerleri ile FAO-56 PM eşitliği kullanılarak elde edilen ET_o değerlerinin karşılaştırılmasında MAE, MAPE ve RMSE hataları dikkate alınmıştır. Bu hataların belirlenmesinde sırasıyla Eşitlik 26 – 28 kullanılmıştır. JH_rijinal ve JH_modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen ET_o değerlerinin doğruluk düzeyini ortaya koymak amacıyla MAPE dikkate alınmıştır. Bu eşitlikler ile tahmin edilen ET_o değerleri ile FAO-56 PM eşitliği kullanılarak elde edilen gerçek ET_o değerleri arasındaki uyum düzeyi; MAPE %10'un altında ise "çok iyi", %10-20 arasında ise "iyi", %20-50 arasında ise "kabul edilebilir", %50'nin üzerinde ise "uyumsuz" olarak değerlendirilmiştir (Lewis, 1982).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (|Y_i - \hat{Y}_i|) \quad (26)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \right) 100 \quad (27)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (28)$$

Eşitliklerde; MAE, ortalama mutlak hata (mm gün⁻¹); MAPE, ortalama mutlak göreceli hata oranı (%); RMSE, karekök ortalama karesel hata (mm gün⁻¹); Y_i, \hat{Y}_i , sırasıyla gerçek ve tahmini aylık ortalama ET_o miktarları (mm gün⁻¹); ve n, gözlem sayısını ifade etmektedir.

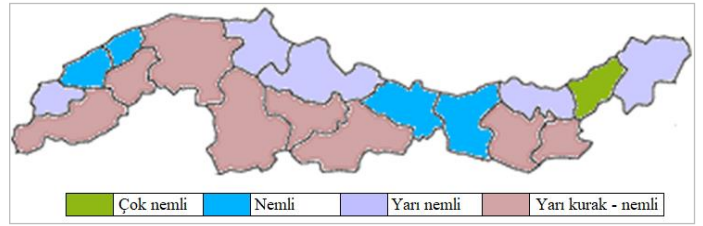
Tablo 5. Karadeniz Bölgesi Şehirlerinin Kuraklık İndeksleri, İklim Sınıfları ve Jensen Haise Eşitliği Kalibrasyon Katsayıları

(Table 5. Aridity Index, Climate Classes and Jensen Haise Equation Calibration Coefficients of Black Sea Region Cities)

Şehir	IDMG	a	b	Ortalama		İklim Sınıfı
				a	b	
Rize	69.193	0.0114	0.2182	0.0114	0.2182	Çok nemli
Giresun	40.666	0.0101	0.2297	0.0086	0.2806	Nemli
Zonguldak	38.601	0.0000	0.4549			
Bartın	34.440	0.0106	0.2414			
Ordu	32.848	0.0107	0.2480			
Düzce	26.091	0.0113	0.1953	0.0078	0.2947	Yarı nemli
Trabzon	23.238	0.0070	0.3157			
Artvin	21.138	0.0119	0.2332			
Samsun	20.874	0.0047	0.3780			
Sinop	20.150	0.0000	0.4566	0.0119	0.2795	Yarı kurak – nemli
Kastamonu	18.460	0.0108	0.2557			
Bolu	18.306	0.0093	0.2954			
Bayburt	16.390	0.0135	0.2713			
Karabük	14.342	0.0113	0.2484			
Gümüşhane	14.313	0.0117	0.3038			
Çorum	13.267	0.0160	0.2326			
Amasya	11.573	0.0099	0.3510			
Tokat	11.287	0.0105	0.3130			

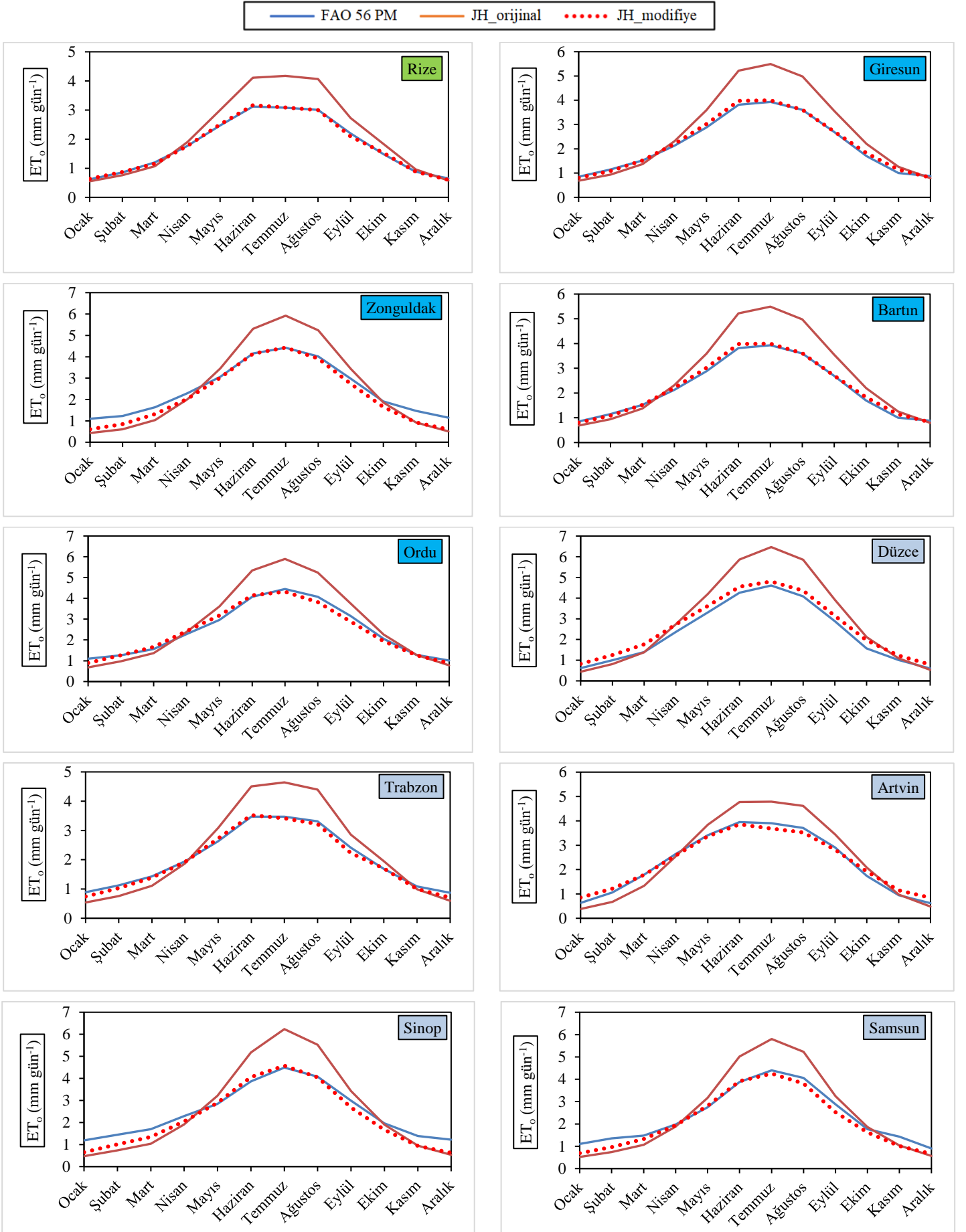
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Karadeniz Bölgesi şehirlerinin iklim sınıfları ve kuraklık indeksleri belirlenerek sırasıyla Şekil 2 ve Tablo 5'te verilmiştir. Bölgenin en doğusunda yer alan Rize çok nemli iklim sınıfında yer alırken, batıya doğru gidildikçe azalan yağışa paralel olarak iklim sınıfı nemli ve yarı nemliye dönüşmüştür. Kuraklık indeksi bölgenin en çok yağış alan şehri konumundaki Rize için 69.193 değerini alırken, nemli iklimin egemen olduğu Giresun, Ordu, Zonguldak ve Bartın'da 32.848 – 40.666, yarı nemli iklimin egemen olduğu Artvin, Trabzon, Samsun, Sinop ve Düzce'de ise 20.150 – 26.091 aralığında değişmiştir. Kıyı kesimine oranla daha az yağış alan Kastamonu, Bolu, Bayburt, Gümüşhane, Çorum, Amasya ve Tokat'ta kuraklık indeksi 11.287 – 18.460 aralığında değerler almıştır. Bu şehirlerde yarı kurak – nemli iklimin egemen olduğu görülmüştür. Kuraklık indeksi bölgenin en az yağış alan şehri Çorum için 13.267 olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. İklim sınıfları (Figure 2. Climate Classes)

Kalibrasyon çalışmalarının sonucunda Tablo 5'te verilen a ve b katsayıları elde edilmiştir. Ortalama katsayılar dikkate alınarak her bir iklim sınıfı için JH_modifiye eşitlikleri oluşturulmuştur. FAO-56 PM, JH_rijinal ve JH_modifiye eşitlikleri kullanılarak her bir şehir için belirlenen aylık ortalama ET_o değerleri Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.

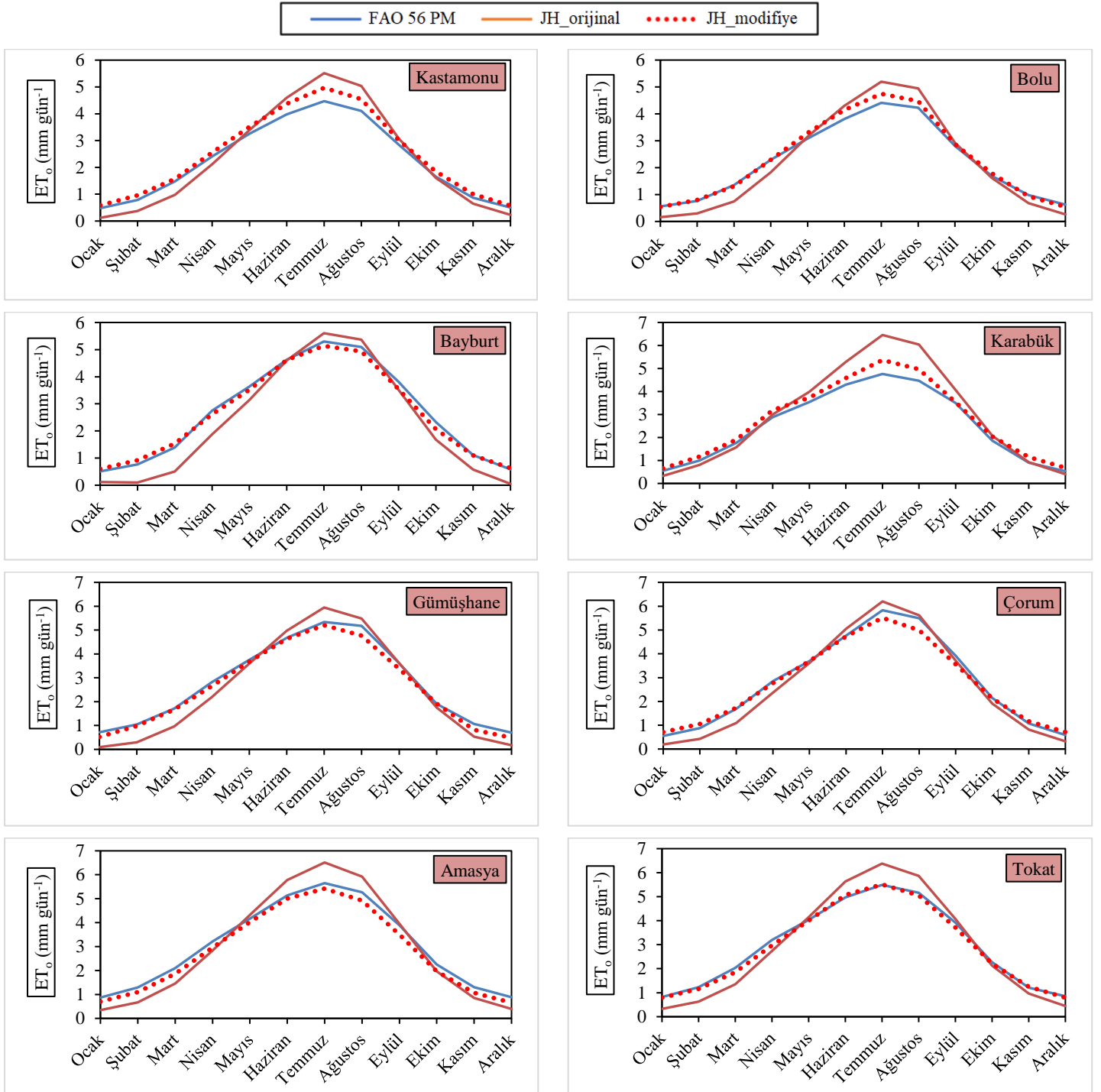


Şekil 3. Çok Nemli, Nemli ve Yarı Nemli İklim Sınıflarında Bulunan Şehirler İçin Aylık Ortalama ET_0 Değerleri

(Figure 3. Monthly Average ET_0 Values for Cities in Very Humid, Humid and Semi-Humid Climate Classes)

Çok nemli iklim sınıfında bulunan Rize için FAO-56 PM eşitliği ile elde edilen aylık ortalama ET_o değerleri $0.620 - 3.120 \text{ mm gün}^{-1}$ aralığında değişmiş ve yıllık ortalama $1.779 \text{ mm gün}^{-1}$ düzeyinde gerçekleşmiştir. Aynı şehir için JH_orijinal ve JH_modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen ET_o değerleri sırasıyla $0.552 - 4.173 \text{ mm gün}^{-1}$ ve $0.601 - 3.164 \text{ mm gün}^{-1}$ aralıklarında değerler almış, yıllık ortalama değerler ise sırasıyla $2.146 \text{ mm gün}^{-1}$ ve $1.775 \text{ mm gün}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Nemli iklim sınıfında yer alan Giresun, Zonguldak, Bartın ve Ordu şehirleri için FAO-56 PM eşitliği kullanılarak elde edilen aylık ortalama ET_o değerleri sırasıyla $0.850 - 3.930 \text{ mm gün}^{-1}$, $1.100 - 4.420$

mm gün^{-1} , $0.600 - 4.580 \text{ mm gün}^{-1}$ ve $1.010 - 4.450 \text{ mm gün}^{-1}$ aralıklarında değerler almıştır. JH_orijinal eşitliği ile tahmin edilen değerler sırasıyla $0.686 - 5.492 \text{ mm gün}^{-1}$, $0.432 - 5.923 \text{ mm gün}^{-1}$, $0.426 - 6.084 \text{ mm gün}^{-1}$ ve $0.680 - 5.897 \text{ mm gün}^{-1}$ aralıklarında değişmiştir. JH_modifiye eşitliği ile tahmin edilen değerler ise sırasıyla $0.885 - 4.059 \text{ mm gün}^{-1}$, $0.600 - 4.477 \text{ mm gün}^{-1}$, $0.665 - 4.534 \text{ mm gün}^{-1}$ ve $0.889 - 4.316 \text{ mm gün}^{-1}$ aralıklarında değerler almıştır. JH_orijinal ve FAO-56 PM eşitlikleri kullanılarak elde edilen aylık ortalama ET_o değerleri arasındaki sapmaların kalibrasyon işleminden sonra minimum düzeye gerilediği Şekil 3'teki grafiklerde açıkça görülmektedir.

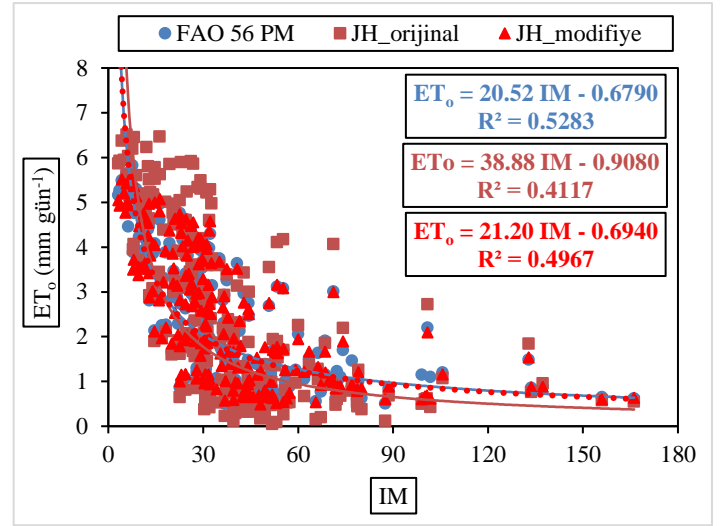


Şekil 4. Yarı Kurak – Nemli İklim Sınıfında Bulunan Şehirler İçin Aylık Ortalama ET_o Değerleri

(Figure 4. Monthly Average ET_o Values for Cities in Semi Arid – Humid Climate Class)

Yarı kurak – nemli iklim sınıfında bulunan Kastamonu, Bolu, Bayburt, Karabük, Gümüşhane, Çorum, Amasya ve Tokat şehirleri için FAO-56 PM kullanılarak belirlenen aylık ortalama ET_o değerleri sırasıyla 0.480 – 4.470 mm gün⁻¹, 0.560 – 4.410 mm gün⁻¹, 0.510 – 5.300 mm gün⁻¹, 0.530 – 4.760 mm gün⁻¹, 0.700 – 5.340 mm gün⁻¹, 0.550 – 5.830 mm gün⁻¹, 0.870 – 5.650 mm gün⁻¹ ve 0.820 – 4.490 mm gün⁻¹ aralıklarında değişmiştir. Aylık ortalama ET_o Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında maksimum seviyelere ulaşmıştır. Aralık, Ocak ve Şubat aylarında ise minimum düzeylere gerilemiştir. Bu durum Şekil 4’te verilen grafiklere aynen yansımıştır. En yüksek ve en düşük yıllık ortalama ET_o değerlerine sahip şehirler sırasıyla Amasya (3.002 mm gün⁻¹) ve Bolu (2.217 mm gün⁻¹) olmuştur. Kastamonu, Bolu, Bayburt, Karabük, Gümüşhane, Çorum, Amasya ve Tokat şehirleri için JH_orijinal ile tahmin edilen aylık ortalama ET_o değerleri sırasıyla 0.121 – 5.514 mm gün⁻¹, 0.158 – 5.196 mm gün⁻¹, 0.050 – 5.607 mm gün⁻¹, 0.327 – 6.454 mm gün⁻¹, 0.093 – 5.948 mm gün⁻¹, 0.192 – 6.200 mm gün⁻¹, 0.345 – 6.513 mm gün⁻¹ ve 0.327 – 6.378 mm gün⁻¹ aralıklarında değerler almıştır. JH_modifiye ile tahmin edilen ET_o değerleri ise sırasıyla 0.573 – 4.967 mm gün⁻¹, 0.539 – 4.745 mm gün⁻¹, 0.601 – 5.137 mm gün⁻¹, 0.650 – 5.365 mm gün⁻¹, 0.487 – 5.206 mm gün⁻¹, 0.709 – 5.511 mm gün⁻¹, 0.655 – 5.423 mm gün⁻¹ ve 0.792 – 5.511 mm gün⁻¹ aralıklarında değişmiştir.

Aylık kuraklık indeksindeki (IM) değişimin FAO-56 PM kullanılarak tahmin edilen ET_o değerleri ile açıklanabilme oranı %52.83 ($R^2=0.5283$) olarak belirlenmiştir. Bu oran JH_orijinal ve JH_modifiye için ise sırasıyla %41.17 ($R^2=0.4117$) ve 49.67 ($R^2=0.4967$) olarak elde edilmiştir. Yarı kurak – nemli iklimden çok nemli iklime doğru gidildikçe kuraklık indeksinin arttığı, ET_o değerlerinin ise azaldığı Şekil 5’te açıkça görülmektedir.



Şekil 5. Kuraklık İndeksi ve ET_o Arasındaki İlişki

(Figure 5. The Relationship Between Aridity Index and ET_o)

JH_orijinal ve FAO-56 PM eşitlikleri ile tahmin edilen aylık ortalama ET_o değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan MAE, MAPE ve RMSE hata miktarları Tablo 6’da verilmiştir. JH_orijinal eşitliği ile doğruluk düzeyi en yüksek ET_o değerleri çok nemli iklim sınıfındaki Rize için elde edilmiştir (MAPE %19.357). Bu eşitlik ile nemli iklim sınıfındaki şehirler için yapılan tahminlerde MAE 0.537 – 0.677 mm gün⁻¹, MAPE %20.356 – 31.288 ve RMSE 0.720 – 0.817 mm gün⁻¹ aralığında değişmiştir. Eşitliğin bu iklim sınıfında en iyi ve en kötü performanslarını gösterdiği şehirler sırasıyla Ordu (MAPE= %20.356) ve Zonguldak (MAPE= %31.288) olmuştur.

Tablo 6. JH_orijinal Eşitliği ile Şehir Bazında Tahmin Edilen ET_o Değerlerinin Yıllık Ortalamaları ve Hataları miktarları

(Table 6. Annual Averages and Errors amounts of ET_o Values Estimated on The Basis of City with JH_orijinal Equation)

Şehir	FAO-56 PM (mm gün ⁻¹)	JH_orijinal (mm gün ⁻¹)	MAE (mm gün ⁻¹)	MAPE (%)	RMSE (mm gün ⁻¹)	Doğruluk Düzeyi
Rize	1.779	2.146	0.428	19.357	0.580	İyi
Giresun	2.179	2.701	0.623	24.393	0.817	Kabul edilebilir
Zonguldak	2.453	2.562	0.677	31.288	0.785	Kabul edilebilir
Bartın	2.327	2.727	0.537	20.446	0.741	Kabul edilebilir
Ordu	2.439	2.797	0.547	20.356	0.720	Kabul edilebilir
Düzce	2.309	2.952	0.716	25.099	0.980	Kabul edilebilir
Trabzon	2.027	2.275	0.493	23.792	0.614	Kabul edilebilir
Artvin	2.276	2.494	0.438	20.685	0.524	Kabul edilebilir
Samsun	2.331	2.512	0.585	26.560	0.713	Kabul edilebilir
Sinop	2.455	2.594	0.747	32.641	0.889	Kabul edilebilir
Kastamonu	2.238	2.309	0.421	27.398	0.514	Kabul edilebilir
Bolu	2.217	2.176	0.405	28.724	0.464	Kabul edilebilir
Bayburt	2.662	2.219	0.539	45.561	0.599	Kabul edilebilir
Karabük	2.503	2.910	0.529	19.542	0.766	İyi
Gümüşhane	2.710	2.467	0.445	32.226	0.506	Kabul edilebilir
Çorum	2.788	2.609	0.310	22.656	0.342	Kabul edilebilir
Amasya	3.002	2.918	0.480	24.861	0.528	Kabul edilebilir
Tokat	2.933	2.889	0.463	23.442	0.524	Kabul edilebilir

Yarı nemli iklim sınıfındaki şehirler için JH_ orijinal eşitliği ile yapılan tahminlerde sırasıyla 0.438 – 0.747 mm gün⁻¹, %20.685 – 32.641 ve 0.524 – 0.980 mm gün⁻¹ aralıklarında değişen MAE, MAPE ve RMSE değerleri elde edilmiştir. Bu iklim sınıfında Artvin %20.685 MAPE ile eşitliğin en iyi performans gösterdiği şehir olmuştur. Eşitliğin en kötü performans gösterdiği şehir ise %32.641 MAPE ile Sinop olmuştur. Yarı kurak – nemli iklim sınıfındaki şehirler için JH_ orijinal eşitliği yapılan tahminlerde MAE 0.310 – 0.539 mm gün⁻¹, MAPE %19.542 – 45.561 ve RMSE 0.342 – 0.766 mm gün⁻¹ aralığında değişmiştir. Bu iklim sınıfında eşitliğin en iyi ve

en kötü performans gösterdiği şehirler sırasıyla Karabük (MAPE= %19.542) ve Bayburt (MAPE= %45.561) olmuştur. JH_ orijinal ile yapılan tahminlerde her bir iklim sınıfı için elde edilen yıllık ortalama ET_o değerleri ve hata miktarları Tablo 7’de verilmiştir. Eşitliğin en iyi ve en kötü performanslarını gösterdiği iklim sınıfları sırasıyla çok nemli (MAPE= %19.357) ve yarı kurak – nemli (MAPE= %28.051) olmuştur. Nemli ve yarı nemli koşullardaki performansları ise birbirine yakın olmuştur. Bu eşitlik ile tahmin edilen ET_o değerlerinin doğruluk düzeyi çok nemli koşullarda “iyi” (MAPE= %10 – 20), diğer koşullarda ise “kabul edilebilir” (MAPE= %20 – 50) olarak belirlenmiştir.

Tablo 7. JH_ orijinal Eşitliği ile İklim Sınıfı Bazında Tahmin Edilen ET_o Değerlerinin Yıllık Ortalamaları ve Hataları miktarları

(Table 7. Annual Averages and Errors amounts of ET_o Values Estimated on The Basis of Climate Class with JH_ original Equation)

İklim Sınıfı	FAO-56 PM (mm gün ⁻¹)	JH_ orijinal (mm gün ⁻¹)	MAE (mm gün ⁻¹)	MAPE (%)	RMSE (mm gün ⁻¹)	Doğruluk Düzeyi
Çok nemli	1.779	2.146	0.428	19.357	0.580	İyi
Nemli	2.349	2.697	0.596	24.121	0.767	Kabul edilebilir
Yarı nemli	2.280	2.566	0.596	25.576	0.763	Kabul edilebilir
Yarı kurak – nemli	2.631	2.562	0.449	28.051	0.542	Kabul edilebilir

JH_ modifiye ve FAO-56 PM eşitlikleri ile tahmin edilen aylık ortalama ET_o değerleri arasındaki sapmanın bir göstergesi olarak hesaplanan MAE, MAPE ve RMSE hata miktarları Tablo 8’de verilmiştir. JH_ orijinal eşitliğinde olduğu gibi JH_ modifiye eşitliği ile de doğruluk düzeyi en yüksek ET_o değerleri çok nemli iklim sınıfındaki Rize için elde edilmiştir (MAPE %2.298). Nemli iklim sınıfında bulunan şehirler için yapılan tahminlerde MAE 0.060 – 0.259 mm gün⁻¹, MAPE %4.639 – 17.667 ve RMSE 0.066 – 0.321 mm gün⁻¹ aralığında değişmiştir. JH_ modifiye eşitliğinin bu iklim sınıfında en iyi performans

gösterdiği şehir %4.639 MAPE ile Bartın, en kötü performans gösterdiği şehir ise %17.667 MAPE Zonguldak olmuştur. JH_ modifiye eşitliği kullanılarak yarı nemli iklim sınıfı için yapılan tahminlerde MAE 0.086 – 0.300 mm gün⁻¹, MAPE %6.081 – 18.655 ve RMSE 0.101 – 0.349 mm gün⁻¹ aralıklarında değerler almıştır. Bu iklim sınıfında eşitliğin en iyi ve en kötü performanslarını gösterdiği şehirler sırasıyla %6.081 ve %18.655 MAPE değerleri ile Trabzon ve Sinop olmuştur.

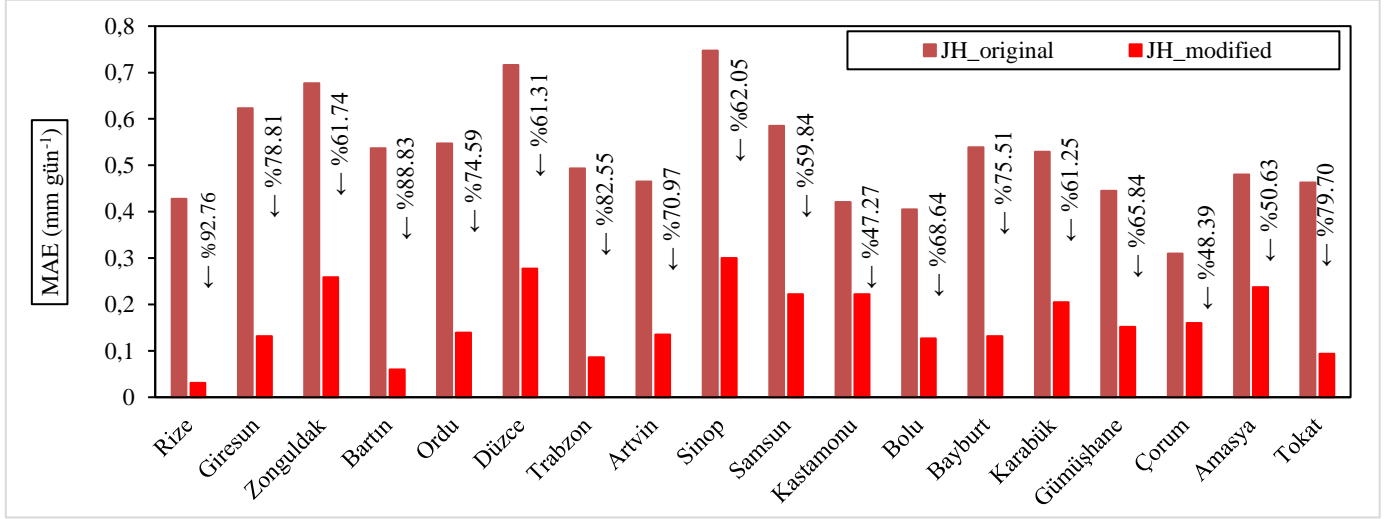
Tablo 8. JH_ modifiye Eşitliği ile Şehir Bazında Tahmin Edilen ET_o Değerlerinin Yıllık Ortalamaları ve Hataları miktarları

(Table 8. Annual Averages and Errors amounts of ET_o Values Estimated on The Basis of City with JH_ modified Equation)

Şehir	FAO-56 PM (mm gün ⁻¹)	JH_ modifiye (mm gün ⁻¹)	MAE (mm gün ⁻¹)	MAPE (%)	RMSE (mm gün ⁻¹)	Doğruluk Düzeyi
Rize	1.779	1.775	0.031	2.298	0.043	Çok iyi
Giresun	2.179	2.311	0.132	6.941	0.159	Çok iyi
Zonguldak	2.453	2.208	0.259	17.667	0.321	İyi
Bartın	2.327	2.367	0.060	4.639	0.066	Çok iyi
Ordu	2.439	2.390	0.139	6.502	0.162	Çok iyi
Düzce	2.309	2.586	0.277	17.803	0.285	İyi
Trabzon	2.027	1.967	0.086	6.081	0.101	Çok iyi
Artvin	2.276	2.299	0.142	11.553	0.524	İyi
Samsun	2.331	2.127	0.222	14.063	0.261	İyi
Sinop	2.455	2.212	0.300	18.655	0.349	İyi
Kastamonu	2.238	2.459	0.222	11.925	0.260	İyi
Bolu	2.217	2.311	0.127	5.637	0.172	Çok iyi
Bayburt	2.662	2.601	0.132	7.458	0.155	Çok iyi
Karabük	2.503	2.744	0.205	12.908	0.288	İyi
Gümüşhane	2.710	2.560	0.152	9.645	0.189	Çok iyi
Çorum	2.788	2.729	0.160	9.117	0.219	Çok iyi
Amasya	3.002	2.765	0.237	11.371	0.247	İyi
Tokat	2.933	2.865	0.094	4.032	0.117	Çok iyi

JH_modifiye eşitliği ile yarı kurak – nemli iklim sınıfı için yapılan tahminlerde MAE 0.094 – 0.5237 mm gün⁻¹, MAPE %4.032 – 12.908 ve RMSE 0.117 – 0.288 mm gün⁻¹ aralığında değişmiştir. Eşitliğin bu iklim sınıfı koşullarında en iyi ve en kötü performanslarını gösterdiği şehirler sırasıyla Tokat (MAPE= %4.032) ve Karabük (MAPE= %12.908) olmuştur.

JH_original eşitliği için belirlenen MAE değerleri bu eşitliğin Karadeniz Bölgesi koşullarına uygun kalibrasyonunun yapılması sonucunda şehir bazında %47.27 – 92.76 aralığında değişen oranlarda azalma göstermiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Kalibrasyondan Sonra Şehir Bazında MAE Değerlerinde Gerçekleşen Azalma Oranları

Figure 6. Decrease Rates in MAE Values After Calibration on The Basis of City

JH_modifiye ile yapılan tahminlerde her bir iklim sınıfı için elde edilen yıllık ortalama ET_o değerleri ve hata miktarları Tablo 9’da verilmiştir. JH_orijinal eşitliğinde olduğu gibi JH_modifiye eşitliği de en iyi performansını çok nemli (MAPE= %2.298) iklim sınıfında göstermiştir. En kötü performansını gösterdiği iklim sınıfı ise yarı nemli (MAPE= %13.631) olmuştur. Nemli ve yarı kurak – nemli iklim sınıflarında birbirine yakın

performanslar göstermiştir. JH_modifiye eşitliği ile tahmin edilen ET_o değerlerinin doğruluk düzeyi, bu eşitliğin en kötü performansını gösterdiği yarı nemli iklim sınıfı için “iyi” (MAPE= %10 – 20), diğer iklim sınıfları için ise “çok iyi” (MAPE ≤ %10) olarak belirlenmiştir.

Tablo 9. JH_modifiye Eşitliği ile İklim Sınıfı Bazında Tahmin Edilen ET_o Değerlerinin Yıllık Ortalamaları ve Hataları miktarları

(Table 9. Annual Averages and Errors amounts of ET_o Values Estimated on The Basis of Climate Class with JH_modifiye Equation)

İklim Sınıfı	FAO-56 PM (mm gün ⁻¹)	JH_modifiye (mm gün ⁻¹)	MAE (mm gün ⁻¹)	MAPE (%)	RMSE (mm gün ⁻¹)	Doğruluk Düzeyi
Çok nemli	1.779	1.775	0.031	2.298	0.043	Çok iyi
Nemli	2.349	2.319	0.147	8.937	0.199	Çok iyi
Yarı nemli	2.280	2.238	0.205	13.631	0.248	İyi
Yarı kurak – nemli	2.631	2.629	0.170	9.012	0.213	Çok iyi

İklim sınıfı bazında JH_orijinal eşitliği için belirlenen MAE değerleri kalibrasyon işleminden sonra çok nemli, nemli ve yarı kurak – nemli iklim sınıfları için sırasıyla %92.76, %75.34, %65.60 ve %62.14 oranlarında azalma göstermiştir.

Genel olarak JH_orijinal eşitliği ile tahmin edilen aylık ortalama ET_o değerlerinin çok nemli, nemli ve yarı nemli koşullarda FAO-56 PM eşitliği ile elde edilen değerlerden daha yüksek, yarı kurak – nemli koşullarda ise daha düşük olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Oudin vd. (2005); Tabari vd. (2013); Poyen & Ghosh (2016) JH_orijinal eşitliği ile tahmin edilen ET_o değerlerinin nemli koşullarda gerçek değerlerden daha yüksek, kurak koşullarda ise daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bu durumun JH_orijinal eşitliği için bir dezavantaj olduğunu, fakat kalibrasyon işleminden sonra

oluşturulan JH_modifiye eşitliğinin nemli ve kurak koşullarda iyi performans gösterdiğini ifade etmişlerdir. Karadeniz Bölgesinin iç kesimleri ile benzer iklim özellikleri gösteren Brezilya’nın yarı kurak – nemli bölgeleri için Sousa vd. (2010) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada FAO-56 PM yöntemine en yakın ET_o değerlerinin sırasıyla Jensen Haise, Priestley Taylor ve Hargreaves yöntemleriyle elde edildiği bildirilmiştir. Benzer şekilde Samaras vd. (2014) Yunanistan koşullarında Makkink yönteminden sonra en iyi performans gösteren yöntemin Jensen Haise olduğunu ve bu yöntemin nemli bölgelerde tercih edilebileceğini ifade etmişlerdir. FAO-56 PM eşitliğinin karşılaştırma kriteri olarak dikkate alındığı bu çalışma kapsamında geliştirilen JH_modifiye eşitliklerinin a ve b kalibrasyon katsayıları nemli iklimin hakim olduğu bölgeler için 0.005 – 0.015 ve 0.248 – 0.338 aralıklarında değerler almıştır.

Aynı katsayılar yarı nemli bölgeler için 0.019 ve 0.218, yarı kurak bölgeler için ise 0.016 ve 0.246 olarak belirlenmiştir. JH_modifiye eşitliği ile nemli bölgelerde elde edilen aylık ortalama ET_0 değerleri için 0.153 – 0.583 mm gün⁻¹ aralığında değişen MAE ve %5.600 – 16.900 aralığında değişen MAPE değerleri elde edilmiştir. Aynı değerler yarı nemli bölgeler için 0.224 mm gün⁻¹ ve %6.800, yarı kurak bölgeler için ise 0.204 mm gün⁻¹ ve %6.000 olarak belirlenmiştir. Zakeri vd. (2022) İran'ın kuzeyindeki nemli Mazandaran ve kurak Semnan şehirlerinde en iyi performansı gösteren tahmin yönteminin Jensen Haise olduğunu ifade etmişlerdir. Bu yöntem kullanılarak Mazandaran koşullarında tahmin edilen aylık ortalama ET_0 değerleri için MAE ve RMSE değerleri sırasıyla 1.299 mm gün⁻¹ ve 1.758 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir. Aynı değerler Semnan şehri için sırasıyla 0.876 mm gün⁻¹ ve 1.165 mm gün⁻¹ olarak elde edilmiştir. Stephens & Stevart (1963) JH_orijinal eşitliğini aylık ortalama ET_0 tahminlerinde kullanılabilecek şekilde modifiye ederek, JH_orijinal ile aynı formda olan yeni bir eşitlik geliştirmişlerdir. Bu yeni JH_modifiye eşitliği Tellen (2017) tarafından Kamerun'un kurak – nemli koşullarında bazı tahmin yöntemleri ile birlikte test edilmiş ve FAO-56 PM yöntemine en yakın ET_0 değerlerinin bu yöntem ile tahmin edildiğini bildirilmiştir. Bu yöntem için RMSE değeri 0.072 mm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir. İncelenen bu çalışmalar kapsamında elde edilen a ve b katsayıları ile MAE, MAPE ve RMSE hata miktarları genel olarak Karadeniz Bölgesi için belirlenen değerler ile benzerlik göstermiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada öncelikle JH_orijinal eşitliğinin Karadeniz Bölgesi koşullarındaki aylık ortalama ET_0 tahminlerinde kullanılabilirlik düzeyi belirlenmiştir. Daha sonra bu eşitliğin yöre iklim koşulları ile uyumlu olacak şekilde kalibrasyonu yapılarak, JH_modifiye eşitlikleri geliştirilmiştir. De Martonne kuraklık indeksine göre, bölgenin doğusu çok nemli iklim sınıfında yer alırken, kıyı şeridi boyunca batıya doğru gidildikçe iklim nemli ve yarı nemliye dönüşmüştür. Kıyı kesimine oranla daha az yağış alan iç kesimlerde yarı kurak – nemli iklimin egemen olduğu görülmüştür. JH_orijinal ve JH_modifiye eşitlikleri ile tahmin edilen ET_0 değerleri FAO-56 PM eşitliği kullanılarak belirlenen ET_0 değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şehir bazında JH_orijinal eşitliği ile tahmin edilen ET_0 değerleri için %19.357 – 45.561 aralığında değişen MAPE değerleri elde edilmiştir. ET_0 değerlerinin doğruluğu “kabul edilebilir” (MAPE= %20 – 50) düzeyde olsa da genel olarak JH_orijinal eşitliği tüm iklim koşullarında kötü performans göstermiştir. JH_modifiye eşitliğinin a ve b kalibrasyon katsayıları çok nemli, nemli, yarı nemli ve yarı kurak – nemli iklim sınıfı koşulları için sırasıyla 0.0114 – 0.2182, 0.0086 – 0.2806, 0.0078 – 0.2947 ve 0.0119 – 0.2795 olarak elde edilmiştir. Bu katsayıların kullanıldığı JH_modifiye eşitliği en iyi performansını çok nemli (MAPE= %2.298), en kötü performansını ise yarı nemli (MAPE= %13.631) koşullarda göstermiştir. Eşitliğin nemli ve yarı kurak – nemli koşullardaki performansları ise birbirine yakın olmuştur (MAPE= %8.937 – %9.012). Bu eşitlik ile tahmin edilen ET_0 değerlerinin doğruluk düzeyi yarı nemli koşullarda “iyi” (MAPE= %10 – 20), diğer iklim sınıfı koşullarında ise “çok iyi” (MAPE ≤ %10) olarak belirlenmiştir. Karadeniz Bölgesi iklim koşulları ile uyumlu JH_modifiye eşitlikleri kullanılarak, doğruluk oranı yüksek aylık ortalama ET_0 değerleri tahmin edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Kaynakça

- Abtew, W. (1996). Evapotranspiration measurements and modeling for three wetland systems in South Florida. *Journal of the American Water Resources Association*, 32, 465-473. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1996.tb04044.x>
- 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 adresi: <http://www.fao.org/3/X0490E/X0490E00.htm>. (Erişim tarihi: 06.04.2021)
- Angström, A. (1924). Solar terrestrial radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 50, 121-126. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/qj.49705021008>
- Aydınşakir, K., Baştuğ, R. & Büyüktaş, D. (2003). Antalya yöresinde çim kıyas bitki su tüketimini veren bazı ampirik eşitliklerin tarla ve lizimetre koşullarında kalibrasyonu. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1), 107-119.
- Beyazgül, M., Kayam, Y. & Engelsman, F. (2000). Estimation methods for crop water requirements in the Gediz Basin of Western Turkey. *Hydrology*, 229(1-2), 19-26. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00196-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00196-1)
- Blaney, H. F. & Criddle, W. D. (1950). *Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological and Irrigation Data* Technical Paper 96. Washington: USA Soil Conservation Service Department of Agriculture.
- Canlı, Ş. (2014). *Menemen Ovasında Tarımsal Su Gereksinimi ve Sulama Sularının Bitki, Toprak ve Sulama Sistemleri Açısından Olası Etkileri*. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- 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.
- Çetin, Ö., Köksal, E. S., Yıldırım, Y. E. & Özyayın, K. A. (2014). Türkiye’de su tüketim rehberi çalışmaları kapsamında bitki su tüketimi ve bitki katsayılarının elde edilmesi. XII. Kültürteknik Sempozyumu, Tekirdağ, Türkiye, 40-45.
- De Martonne, E. (1942). Nouvelle carte mondiale de l’indice d’aridité. *Annales de Géographie*, 51, 242-250. (in French)
- Dingman, S. L. (2008). *Physical Hydrology*. Long Grove, Illinois, USA: Waveland Press Inc.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W. O. (1977). *Crop Water Requirements*. FAO, Irrigation and Drainage Paper No:24. Erişim adresi: <https://www.fao.org/3/s8376e/s8376e.pdf>. (Erişim tarihi: 06.04.2021)
- Grismer, M. E., Orang, M., Snyder, R. & Matyac, R. (2002). Pan evaporation to reference evapotranspiration conversion methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128(3), 180-184.
- Güngör, Y. & Erözel, A. Z. (2004). *Sulama*. Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Hamon, W. R. (1961). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 87, 107-120. doi: <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0008673>
- Hargreaves, G. H. (1975). Moisture availability and crop production. *Transactions of the ASAE*, 18(5), 980-984. doi: <https://doi.org/10.13031/2013.36722>

- Hargreaves, G. L. & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1, 96-99. doi: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.26773>
- Jacobs, J. M., Anderson, M. C., Friess, L. C. & Diak, G. R. (2004). Solar radiation long wave radiation and emergent wetland evapotranspiration estimates from satellite data in Florida. *Hydrological Sciences*, 49(3), 461-476. doi: <http://dx.doi.org/10.1623/hysj.49.3.461.54352>
- Jensen, M. E. & Haise, H. R. (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, 89, 15-41. doi: <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0000287>
- Karaca, C., Tekelioğlu, B., Büyüktaş, D. & Baştuğ, R. (2017). Kıyas bitki su tüketiminde kullanılan eşitliklerin değerlendirilmesi. *Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, özel sayı, 144-161.
- Kodal, S. (1982). İç Anadolu'da Bitki Su Tüketiminin Saptanması için Uygun Yöntemin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi, Ankara.
- Lage, M., Bamouh, A., Karrou, M. & El Mourid, M. (2003). Estimation of rice evapotranspiration using a microlysimeter technique and comparison with FAO Penman-Monteith and Pan evaporation methods under Moroccan conditions. *Agronomie*, 23(7), 625-631. doi: <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2003040>
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and Business Forecasting Methods: A Practical Guide to Exponential Smoothing and Curve Fitting*. London-England: Butterworths Scientific.
- Makkink, G. F. (1957). Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Journal of the Institution of Water Engineers*, 11, 277-288.
- MGM, (2022). Van Meteoroloji Bölge Müdürlüğü kayıtları, Van.
- Naorem, N. & Devi, T. K. (2014). Estimation of potential evapotranspiration using empirical models for Imphal. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 4(7), 119-123.
- Okkan, U. & Kıymaz, H. (2020). Questioning of empirically-derived and locally calibrated potential evapotranspiration equations for a lumped water balance model. *Water Supply*, 20(3), 1141-1156. doi: <https://doi.org/10.2166/wcc.2019>
- Orta, A. H., Yüksel, A. N., Akçay, M. E., Erdem, T. & Balcı, B. (2001). Elma ağaçlarının farklı sulama yöntemi ve programları altındaki üretim özelliklerinin belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15, 99-106.
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andreassian, V., Anctil, F. & Loumagne, C. (2005). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *Journal of Hydrology*, 303(1), 290-306. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.026>
- Poyen, E. F. B., Ghosh, A. K. & Kundu, P. (2016). Review on different evapotranspiration empirical equations. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 2(3), 17-24.
- Prescott, J. A. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 64, 114-18.
- 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, 81-92.
- 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.
- Samaras, D., Reif, A. & Theodoropoulos, K. (2014). Evaluation of radiation-based reference evapotranspiration models under different Mediterranean climates in central Greece. *Water Resources Management*, 28(1), 207-225. doi: [10.1007/s11269-013-0480-3](https://doi.org/10.1007/s11269-013-0480-3)
- Sousa, I. F., Silva, V. P. R., Sabino, F. G., Aguiar Netto, A. O., Silva, B. K. N. & Azevedo, P. V. (2010). Reference evapotranspiration in the irrigated perimeters of the state of Sergipe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14, 633-644. doi: [10.1590/S1415-4366201000600010](https://doi.org/10.1590/S1415-4366201000600010)
- Stephens, J. C. & Stewart, E. H. (1963). *A Comparison of Procedures for Computing Evaporation and Evapotranspiration*, Publication 62, International Association of Scientific Hydrology. International Union of Geodesy and Geophysics, California, USA
- Şarlak, N. & Bağcı, S. Ç. (2020). Ampirik potansiyel evapotranspirasyon tahmin yöntemlerinin değerlendirilmesi: Konya havzası. *Teknik Dergi*, 31(1), 9755-9772. doi: <https://doi.org/10.18400/TEKDERG.408019>
- Tabari, H., Grismer, M. E. & Trajkovic, S. (2013). Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Science*, 31, 107-117. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00271-011-0295-z>
- Tellen, V. A. (2017). A comparative analysis of reference evapotranspiration from the surface of rainfed grass in Yaounde, calculated by six empirical methods against the penmanmonteith formula. *Earth Perspectives*, 4(1), 1-8. doi: <https://doi.org/10.1186/s40322-017-0039-1>
- Thorntwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94. doi: <https://doi.org/10.2307/210739>
- Trajković, S. & Gocić, M. (2010). Comparison of some empirical equations for estimating daily reference evapotranspiration. *Facta Universitatis – Series Architecture and Civil Engineering*, 8(2), 163-168. doi: <http://dx.doi.org/10.2298/FUACE1002163T>
- Turc, L. (1961). Water requirements assessment of irrigation, potential evapotranspiration: Simplified and updated climatic formula. *Annuaire Agronomie*, 12, 13-49.
- Wang, B., Ma, Y., Ma, W., Su, B. & Dong, X. (2019). Evaluation of ten methods for estimating evaporation in a small high-elevation lake on the Tibetan Plateau. *Theoretical and Applied Climatology*, 136, 1033-1045. doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2539-9>
- Zakeri, M. S., Mousavi, S. F., Farzin, S. & Sanikhani, H. (2022). Modeling of reference crop evapotranspiration in wet and dry climates using data-mining methods and empirical equations. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 6(1), 1-28. doi: <https://doi.org/10.22115/scce.2022.298173.1347>