

Karaman İli Potansiyel Evapotranspirasyon Tahmini

Soner Çağatay BAĞÇACI^{1,*} 

Nermin ŞARLAK¹ 

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karaman

Sorumlu yazar e-posta (Corresponding author e-mail): scbagcaci@kmu.edu.tr

Geliş tarihi (Received): 11.10.2017

Kabul tarihi (Accepted): 11.07.2019

DOI: 10.21657/topraksu.654742

Öz

Dünyada tarım arazilerinin sulama planlamaları, terleme yoluyla bitki su tüketimleri ve buharlaşma miktarlarını göz önünde bulunduran su bütçesi hesaplamalarıyla yapılmaktadır. Bitki kaplı alanlarda meydana gelen söz konusu buharlaşma ve terleme olaylarının toplamı, hidrolojik çevrimin ölçülmesi en zor bileşeni olan evapotranspirasyonu meydana getirmektedir. Evapotranspirasyonun, belli referans bitki örtüleri, su alma ve büyüme koşulları varsayımlarındaki potansiyel değerleri, pek çok araştırmacı tarafından geliştirilen ampirik yöntemler ile tahmin edilebilmektedir. Bunların en başında gelen FAO56 Penman-Monteith (FAO56 PM), güçlü teorik alt yapısı ve tahminlerinin güvenilirliği bakımından, tüm dünyada en yaygın olarak kullanılan referans potansiyel evapotranspirasyon (PET) tahmin yöntemi haline gelmiştir. Güvenilir tahminlerine karşın, FAO56 PM'nin, PET tahminlerinde çok fazla meteorolojik gözlem verisine ihtiyaç duyması ve karmaşık hesaplama adımları, daha az gözlem verisi gerektiren tahmin yöntemlerini kullanmamızı zaruri kılabilmektedir. Bu çalışmada, Konya Kapalı Havzası'nda yer alan ve önemli tarımsal faaliyetler gerçekleştiren Karaman ili potansiyel evapotranspirasyon miktarları FAO56 PM ile günlük, Turc (TC), Makkink (MK), Priestley Taylor (PT), Jensen Haise (JH), Hargreaves Samani (HS), Blaney Criddle (BC), Thornthwaite (TH) gibi FAO56 PM'ye kıyasla daha az ölçülmüş veri ihtiyacı olan ve kullanımı nispeten daha basit yedi farklı ampirik yöntemle ise aylık zaman adımlarında hesaplanmıştır. FAO56 PM günlük tahminlerinin toplanmasıyla elde edilen aylık PET değerleri, diğer PET tahmin yöntemleriyle elde edilen aylık değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, çalışmaya dâhil edilen yedi PET tahmin yönteminden, Turc, FAO56 PM ile 0.97'lik korelasyon (R²) ve 16.94 mm'lik (aylık) ortalama hata karelerinin karekökü (RMSE) değerleri ile en uyumlu sonucu vermiştir. Turc metodu uygun bir kalibrasyon yapılması durumunda Karaman ili özelinde önerilebilir bulunmuş ve geri kalan yöntemlerin uygulanabilirliği tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidrolojik çevrim, FAO56 Penman Monteith, Karaman, potansiyel evapotranspirasyon

Estimation of Potential Evapotranspiration in the Karaman Province

Abstract

Irrigation scheduling is performed with the water budget calculations considering the plant water consumption by transpiration and evaporation, at the farmlands around the world. Sum of these transpiration and evaporation events which takes place at the plant covered areas, composes evapotranspiration which is the hardest components of the hydrological cycle to measure. The potential values of evapotranspiration, under assumptions as certain reference plant cover, watering and growing conditions, can be estimated with empirical methods developed by many researches. At the top of them, FAO56 Penman-Monteith (FAO56 PM) is widely used reference potential evapotranspiration

estimation (PET) method worldwide through its strong theoretical background and reliability of estimation. Despite of its reliable estimation, complicated calculation steps and requirement of various observed meteorological data impel us to use more practical PET estimation methods which require more easily findable meteorological data. In this study, the potential amounts of evapotranspiration, occurring in the Karaman province located in the Konya Closed Basin where advanced agricultural activities are carried out, were calculated by FAO56 PM method with daily time steps and by Turc (TC), Makkink (MK), Priestley Taylor (PT), Jensen Haise (JH), Hargreaves Samani (HS), Blaney Criddle (BC), Thornthwaite (TH) methods with monthly time steps. The monthly PET values were obtained by summing of daily estimations of FAO56 PM and then compared with the monthly PET values estimated by other empirical methods. As a conclusion, among seven PET estimation methods, Turc yielded most compatible results in comparison with FAO56 PM by 0.97 correlation coefficient value (R^2) and 16.97 mm (monthly) root mean square error (RMSE) value. Turc was recommended with convenient calibration and remained methods were discussed.

Keywords: FAO56 Penman Monteith, hydrological cycle, Karaman, potential evapotranspiration

GİRİŞ

Tarım arazilerinin doğru sulama programlarının belirlenebilmesi için söz konusu bitkinin ne zaman ve ne kadar suya ihtiyacı olduğunun bilinmesi gerekir. Bitkinin tarla koşullarında ihtiyaç duyduğu su, bitki su tüketimi olarak ifade edilmektedir ve evapotranspirasyon miktarına eşit olduğu varsayılmaktadır. Hidrolojik çevrim parametrelerinden belirlenmesi en zor olan evapotranspirasyon, bitki örtüsü bulunan bir alandan kaybolan toplam su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Evapotranspirasyonun geniş alanlarda ölçülmesi maddi olarak çok büyük yük teşkil etmekle birlikte, küçük ölçeklerde ölçüm yapmak mümkündür. Arazi ölçeğinde evapotranspirasyon miktarları, su dengesi prensibine dayanan lizimetre düzenekleri, ortamdaki su buharının türbülanslı rüzgârlar ile tahliyesinin sensörler yardımıyla takip edilmesi esasına dayanarak geliştirilmiş eddy-kovaryans yöntemi, bowen oranı enerji dengesi ve buharlaşma tavaları kullanılarak ölçülebilmektedir (Dingman, 2008; Akpolat, 2011; Abdulkareem vd., 2015). Son zamanlarda ayrıca gelişen uydu teknolojisiyle birlikte, uzaktan algılama yöntemleriyle de havza bazında evapotranspirasyon miktarlarının tahmini üzerine çalışmalar bulunmaktadır (Zang vd., 2010; Lingling vd., 2013; Aksu ve Arkan, 2017). Bu yöntemlerin yanı sıra özellikle son 60-70 yıl içinde maliyetinde ve uygulanmasında herhangi bir yük olmayan ve meteorolojik gözlem verilerinin fiziksel bazlı birtakım denklemlerde kullanılarak, PET tahmin edilmesine dayanan ampirik yöntemler geliştirilmiştir (Alexandris vd., 2008). Bu amaçla geliştirilen yaklaşık 50 PET tahmin yöntemi bulunmasına rağmen, bu yöntemlerin farklı iklim koşullarına

daha fazla uygunluk göstermesi ve ihtiyaç duyduğu meteorolojik gözlem verilerinin farklı olması gibi sebeplerle aynı bölge için uygulandıklarında dahi farklı sonuçlar verebilmektedirler (Grismer vd., 2002). Söz konusu ampirik tahmin yöntemlerinden BC sadece tek bir meteorolojik gözlem verisine ihtiyaç duyarken, FAO56 PM gibi kombinasyon yöntemleri çok daha karmaşıktır ve PET tahmininde çok daha fazla meteorolojik değişkenin kullanılmasını gerektirmektedir.

Evapotranspirasyon konusunda geçmişten günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, son yıllarda deneysel çalışmalardan gözlemledikleri veya FAO56 PM (Allen vd., 1998) ampirik yöntemi ile diğer ampirik yöntemleri kıyaslayarak, çalışma alanları için en iyi tahmin yapan ama aynı zamanda daha az değişkene ihtiyaç duyan tahmin yöntemini önerme kaygısı taşıyan çalışmaların bazılarını yer verilmiştir. Lu vd. (2005), Amerika Birleşik Devletleri'nin güneydoğusunda yer alan sıcak ve nemli iklim koşullarına sahip 36 ormanla kaplı havza için yaptıkları çalışmada, ampirik yöntemlerle hesapladıkları PET değerlerini, su dengesi yöntemiyle hesapladıkları gerçek evapotranspirasyon değerleri ile karşılaştırmışlardır. PT, TC ve Hamon (1961) ampirik yöntemlerini, daha az gözlem verisi gerektirdiği ve gerçek evapotranspirasyon değerleriyle daha uygun korelasyon sağladığı için önerilebilir bulmuşlardır. Ölçülmüş global güneş radyasyonunun mevcut olduğu durumlarda ise PT yönteminin en iyi PET tahmini yapan yöntem olduğunu ifade etmişlerdir. Alexandris vd. (2008), Sırbistan'ın merkezinde yer alan yağmur suyuyla beslenen çimle kaplı deney

sahası için yaptıkları çalışmada, FAO56 PM ile MK, TC, PT, HS, Copais (2006), Alexandris vd., (2006) ve modifiye Hargreaves Trajkovic, 2007 ampirik yöntemlerini karşılaştırmalı olarak incelemişler ve günlük verilerle FAO56 PM yöntemine en yakın sonuçların PT ve Copais yöntemleri tarafından verildiğini tespit etmişlerdir. Tabari (2010), FAO56 PM ile tahmin ettiği PET değerlerini referans olarak kabul ettiği çalışmada, İran'da farklı iklim özelliklerine sahip bölgelerde yer alan on iki meteorolojik gözlem istasyonundan aldığı verileri kullanmıştır. Buna göre soğuk nemli ve kurak bölgelerde en uyumlu sonuçları TC, sıcak nemli ve yarı kurak bölgelerde en uyumlu sonuçları HS'nin verdiğini, kıyaslama yaptığı diğer MK ve PT yöntemlerinin ise genel olarak düşük performans gösterdiğini ifade etmiştir. Tukimat vd. (2012), Malezya'nın Kedah eyaletinde, ortalama sıcaklığın 27-32 °C, rölatif nemliliğin ise %54-94 arasında değişen sulama alanları için yaptıkları PET tahmini çalışmada, FAO56 PM ile TC, MK, PT, TH, BC ve HS yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Genel olarak bölge için radyasyon bazlı olan MK, TC ve PT yöntemlerinin, sıcaklık bazlı olan TH, BC ve HS yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini, korelasyon katsayıları ve rölatif hatalar birlikte göz önüne alındığında ise MK en iyi, BC ise en kötü performansı göstermiştir. Fisher ve Pringle III (2013), Amerika'nın nemli iklim koşullarına sahip Mississippi bölgesinde yaptıkları PET tahmin çalışmada, FAO56 PM ile ölçülmüş veri ihtiyacı sadece hava sıcaklığına indirgenmiş FAO56 azaltılmış set, TC ve Hargreaves yöntemlerini karşılaştırmışlar ve bölge için en uygun yöntemin TC olduğunu iddia etmişlerdir. Efthimiou vd. (2013), Yunanistan'ın Batı Makedonya bölgesinde yer alan nemli iklim koşullarına sahip Krania ve Kozane meteorolojik gözlem istasyonlarından aldıkları uzun yıllara ait verilerle, FAO56 PM ile tahmin ettikleri PET değerlerini FAO-24 Penman, MK, TC, Penman, PT, Linacre, Kimberly Penman, HS, Copais yöntemleriyle elde ettikleri PET değerleriyle karşılaştırmışlardır. Global güneş radyasyonunu tüm yöntemler için ampirik denklemlerle elde ederek yaptıkları PET tahminlerinde, Krania gözlem istasyonunda FAO56 PM ile en iyi korelasyonu PT, Kozane gözlem istasyonunda ise TC olduğunu saptamışlardır. Literatürde, Türkiye'de PET tahmin yöntemlerinin bölgeler özelinde karşılaştırmalı olarak tahmin edildiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, Konya Kapalı Havzası'nda yer alan ve önemli tarımsal faaliyetler gerçekleştiren

Karaman ili PET miktarları FAO56 PM ile günlük, TH, MK, BC, TC, JH, PT, HS gibi FAO56 PM'ye kıyasla daha az ölçülmüş veri ihtiyacı olan ve kullanımı nispeten daha basit yedi farklı ampirik yöntemle ise aylık zaman adımlarında hesaplanmıştır. FAO56 PM günlük tahminlerinin toplanmasıyla elde edilen aylık PET değerleri diğer ampirik PET tahmin yöntemleriyle elde edilen aylık değerlerle karşılaştırılarak bölge özelinde yedi ampirik PET tahmin yöntemlerinin kullanılabilirliği tartışılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Karaman ili kuzey, doğu ve batısında Konya, güneyinde Mersin ve güneybatısında Antalya illeri ile çevrilidir ve karasal iklim özellikleri gösterir. Çalışma periyodu olan 2000-2015 yılları Mart-Kasım dönemi için Karaman ilinin toplam yağış ortalaması 202 mm olup, yaz aylarında ortalama sıcaklıklar 22 ila 25°C arasında değişmektedir. Yine aynı dönemde Karaman ilinde aylık maksimum sıcaklık, 40.4°C ile 2000 yılının temmuz ve 2010 yılının ağustos ayında, aylık minimum sıcaklık ise -21.2°C ile 2001 yılının kasım ayında ölçülmüştür. Çalışma periyodu olan 2000-2015 yılları Mart-Kasım dönemi PET tahmin yöntemlerinde kullanılacak günlük minimum, maksimum ve ortalama sıcaklıklar (°C), günlük toplam global güneş radyasyonu (cal/cm²), günlük ortalama rüzgâr hızı (m/s), günlük ortalama nispi nem (%), aylık minimum, ortalama ve maksimum sıcaklıklar (°C), aylık toplam global güneş radyasyonu (cal/cm²) gözlem verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 17246 numaralı Karaman Meteorolojik Gözlem İstasyonundan (37° 12' K, 33° 13' D, 1039 m) alınmıştır. Söz konusu dönemde günlük ortalama rüzgâr hızlarında 2012, 2013, 2014, 2015 yıllarında görülen eksik veriler sırasıyla %15.6, %21, %17.4, %38.9 oranlarında olduğu için bu yıllar çalışmaya dahil edilmemiştir. Kullanılan ampirik PET tahmin yöntemleri hakkında özet bilgi aşağıda sunulmuştur.

Thornthwaite (TH)

Bir bölgenin enleminin ve aylık ortalama hava sıcaklığının bilinmesi halinde rahatlıkla uygulanabilen bir PET tahmin yöntemi olup aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilmiştir (Thornthwaite, 1948):

$$PET=1.6 L_d (10 T^{-1})^{\alpha} \quad (1)$$

$$\alpha=6.75 \chi 10^{-7} I^3 - 7.71 \chi 10^{-5} I^2 + 0.01791 I + 0.49239 \quad (1a)$$

$$I = \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{T_j}{5} \right)^{1.514} \quad 1b$$

Eşitlikte; PET (cm ay⁻¹); T aylık ortalama sıcaklık (°C), I aylara göre ortalama sıcaklığa bağlı olan ısı indeksi, Ld saat olarak ortalama gündüz uzunluğudur.

Blaney Criddle (BC)

Potansiyel evapotranspirasyon tahminlerinde sadece ölçülmüş olarak ortalama sıcaklık verilerine ihtiyaç duyar. Kullanımı basit olmakla birlikte, çalışmalar ekstrem hava koşullarında hesaplanan evapotranspirasyon tahminlerinin kuşkulu olduğunu vurgulamaktadır. Rüzgârlı, kuru ve güneşli havalarda %60'a kadar normalden aşağı; soğuk, nemli ve bulutlu havalarda ise %40 oranında normalden yukarı tahminler yapabilen Blaney Criddle yönteminin en genel hali aşağıda Eşitlik 2. ile ifade edilmiştir (Blaney ve Criddle, 1950; <http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e07.htm>)

$$PET = p (0.46 T + 8) \quad (2)$$

Eşitlikte; PET (mm gün⁻¹); T günlük ortalama hava sıcaklığı (°C) ve p enleme bağlı günlük gün ışığı saatlerinin yıllık değere oranıdır.

Makkink (MK)

1957'de Hollanda'da, Penman yöntemi ile tahmin edilen evapotranspirasyon miktarlarının lizimetre ölçümleri ile kalibre edilmesiyle elde edilen Penman yönteminin uyarlanmış halidir ve Eşitlik 3. ile ifade edilmiştir (Makkink, 1957; Allen, 1998; Xu ve Singh, 2000; Tabari, 2010; Zhai vd., 2010):

$$PET = 0.61 \Delta (\Delta + \gamma)^{-1} R_s \lambda^{-1} - 0.012 \quad (3)$$

Eşitlikte; PET (mm gün⁻¹); R_s kısa dalga boyu radyasyon (MJ m⁻²gün⁻¹); Δ doymun buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa °C⁻¹); γ psikometre sabiti (kPa °C⁻¹); γ buharlaşma gizli ısıdır (MJ kg⁻¹).

Turc (TC)

Batı Avrupa'nın genel iklim koşullarında geliştirilmiş olup, evapotranspirasyon tahminlerinde ölçülmüş olarak rölatif nemlilik, ortalama sıcaklık ve global güneş radyasyonu verilerine ihtiyaç duyar (Turc, 1961; Xu ve Singh, 2000; Zhai vd., 2010; Tabari, 2010).

$$\text{Eğer } RH > 50 \text{ ise } PET = 0.013 T (T + 15)^{-1} (R_s + 50) \quad (4a)$$

$$\text{Eğer } RH \leq 50 \text{ ise } PET = 0.013 T (T + 15)^{-1} (R_s + 50) (1 + (50 - RH) 70^{-1}) \quad (4b)$$

Eşitliklerde; PET (mm gün⁻¹); T ortalama günlük hava sıcaklığı (°C); R_s kısa dalga boyu radyasyon (MJ m⁻² gün⁻¹) ve RH rölatif nemliliği (%).

Jensen Haise (JH)

Jensen ve Haise evapotranspirasyon tahminini, 35 yıllık çalışma periyodunda gözlemledikleri 3000 toprak numunesi üzerinden yaptıkları ölçümlerle elde ettikleri aşağıdaki eşitlik ile yapmışlardır (Jensen ve Haise, 1963; Lingling vd., 2013):

$$PET = C_t (T - T_x) R_s \lambda^{-1}; C_t = 0.025; T_x = -3 \quad (5)$$

Eşitlikte; PET (mm gün⁻¹); C_t sıcaklık sabitidir.

Priestley Taylor (PT)

Orijinal Penman (1948) yönteminin kısaltılmış halidir ve evapotranspirasyon tahminlerinde adveksiyon etkisinin oldukça küçük olduğu varsayımı üzerine bina edilmiştir. Priestley ve Taylor, Eşitlik 6. da görüldüğü gibi rüzgar hızını içeren aerodinamik etkiyi 1.26 katsayısına indirgemişlerdir (Priestley ve Taylor, 1972; Zhai vd., 2010; Tabari, 2010; Efthimiou vd., 2013):

$$PET = \alpha \Delta (\Delta + \gamma)^{-1} (R_n - G) \lambda^{-1}; \alpha = 1.26 \quad (6)$$

Eşitlikte; PET (mm gün⁻¹); R_n net radyasyon (MJ m⁻² gün⁻¹) ve G toprak ısı akışıdır (MJ m⁻² gün⁻¹) (günlük ve daha büyük periyotlarda G=0 kabul edilebiliyor).

Hargreaves Samani (HS)

Hargreaves'ın (1975) orijinal evapotranspirasyon tahmin yöntemindeki solar radyasyon verileri yerine Hargreaves ve Samani (1982), ampirik denklemlerle bulunabilen uzay radyasyonu verilerini kullanarak ölçülmüş veri ihtiyacını sadece sıcaklığa indirgeyen bir PET tahmin yöntemi geliştirmişlerdir (Hargreaves ve Samani, 1985; Lu vd., 2005).

$$PET = 0.0023 R_a (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} (T_{\text{ort}} + 17.8) \lambda^{-1} \quad (7)$$

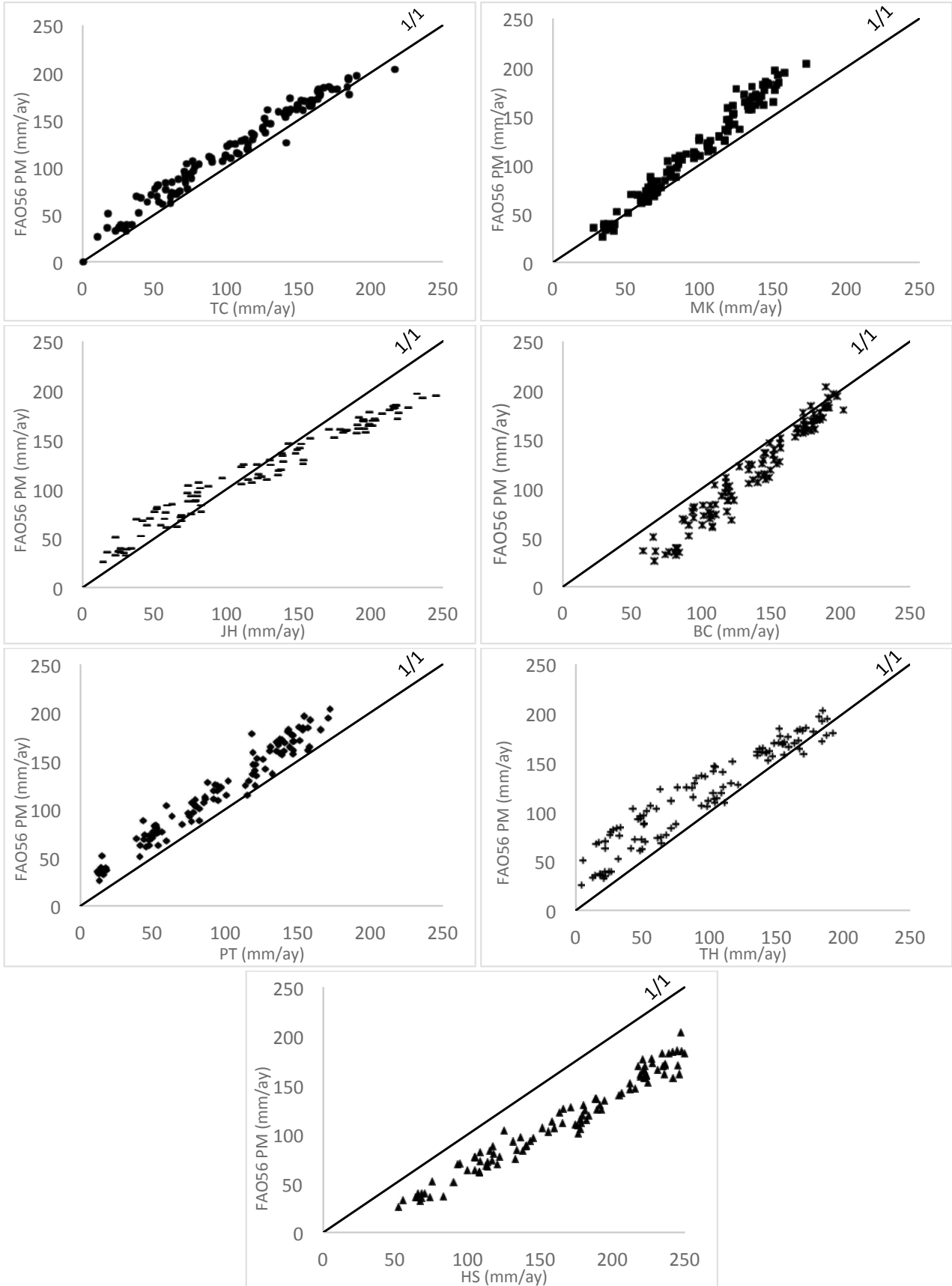
Eşitlikte; PET (mm gün⁻¹); R_a uzay radyasyonu (MJ m⁻² gün⁻¹); T_{max} maksimum günlük hava sıcaklığı (°C); T_{min} minimum günlük hava sıcaklığı (°C); T_{ort} ortalama günlük hava sıcaklığıdır (°C).

FAO56 Penman Monteith (PM)

PET tahmin yöntemleri içinde dünyada kullanımı en yaygın olanıdır ve ölçülmüş olarak günlük minimum, ortalama ve maksimum hava sıcaklığı, global güneş radyasyonu, ortalama rüzgâr hızı ve nispi nem verilerine ihtiyaç duyar (Allen vd., 1998). Bu yöntem; sıcaklık, radyasyon ve aerodinamik bileşenleri bünyesinde barındırdığı için karma yapıda bir PET tahmin yöntemidir ve Eşitlik 8. ile ifade edilmiştir:

$$PET = \frac{(0.408(R_n - G) + 900 \lambda (T + 273)^{-1} (U_2 (e_s - e_a))}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (8)$$

BULGULAR VE TARTIŞMA



Şekil 1. Karaman ilinde FAO56 PM ve alternatif yöntemlerin aylık PET tahminleri
Figure 1. Estimation of monthly PET by FAO56 PM and alternative methods in Karaman province

2000-2011 yılları Mart-Kasım dönemi günlük meteorolojik verileri öncelikle homojenlik testine tabi tutulmuştur. İstasyon yerlerindeki veya ölçüm tekniklerindeki değişiklikler gibi veya istasyonun çevresindeki şehirleşme ve bina yüksekliklerinin artması vb. doğal olmayan nedenlerden dolayı ölçüm verilerinin homojenliği bozulabilmektedir. Homojen olmayan veriler sonuç üzerinde yanıltıcı etki oluşturabileceğinden tespit edilmesi gerekmektedir. Standart normal (SNHT), Buishand sıra ve Pettitt homojenlik testleri ile günlük maksimum, minimum ve ortalama sıcaklıklar ve toplam global güneş radyasyon verilerinin %5 anlam seviyesinde homojen oldukları, rüzgâr ve rölatif nem verilerinin homojen olmadıkları tespit edilmiştir. Söz konusu testler, homojenliği bozan veri setleri ve setlerin ortalama seviyeleri hakkında bilgi verdiklerinden, setlerin ortalama seviye oranları kullanılarak veriler homojen hale getirilmeye çalışılmıştır (Tuomenvirta, 2001).

2000-2011 yılları Mart-Kasım dönemlerine ait günlük meteorolojik gözlem verileri kullanılarak FAO56 PM yöntemi ile PET tahminleri yapılmış ve sonuçlar referans olarak kullanılmıştır. FAO56 PM ile tahmin edilen aylık PET miktarları, günlük tahminlerin toplamı şeklinde hesaplanmış ve daha sonra aylık meteorolojik gözlem verileri kullanılarak diğer yedi ampirik yöntem ile tahmin edilen PET miktarları ile karşılaştırılmıştır. PET tahminleri, Thornthwaite hariç diğer yöntemlerde günlük meteorolojik gözlem verileri kullanılarak geliştirilmişlerdir. Ancak bölge için kullanımı daha basit, daha az meteorolojik gözlem verisine ihtiyaç duyan ve daha uzun zaman adımlı (aylık) PET tahminlerinde kullanılabilir bir yöntemi Karaman ili için önermek maksadıyla hesaplamalar alternatif yöntemlerin hepsinde aylık meteorolojik gözlem verileri kullanılarak yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan hesaplamalara ait sonuçlar Şekil 1'de görsel olarak sunulmuştur. Görsel olarak bakıldığında TC, MK, PT ve TH yöntemleri PET tahminleri çoğunlukla FAO56 PM tahminlerinden daha düşük, bunların aksine HS tahminleri daha yüksek olmuştur. BC 150 mm'ye kadar FAO56 PM'den yüksek tahminler verirken, 150 mm'den sonra yaz aylarına denk gelen PET tahminleri ise FAO56 PM ile yakındır. JH yönteminin ise yaklaşık 120 mm'ye kadar olan PET tahminleri FAO56 PM'den düşük, 120 mm'den sonraki PET tahminleri ise FAO56 PM'den yüksek kalmıştır.

Yöntemler arasındaki istatistiksel karşılaştırma

ortalama mutlak hata (MAE), ortalama hata karelerinin karekökü (RMSE) ve lineer model ile açıklanabilen yüzde (R²) ile yapılmış ve Çizelge

Çizelge 1. FAO56 PM ve diğer ampirik PET tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması

Table 1. Comparison of FAO56 PM and the other empirical PET estimation methods

Yöntemler	MAE	RMSE	R ²
FAO56 PM-TC	15.22	16.94	0.97
FAO56 PM-MK	18.54	22.37	0.97
FAO56 PM-JH	19.28	23.02	0.97
FAO56 PM-PT	20.57	24.30	0.95
FAO56 PM-BC	24.03	25.91	0.96
FAO56 PM-TH	24.83	29.51	0.91
FAO56 PM-HS	51.79	54.02	0.97

1'de özetlenmiştir.

Uygun bir kalibrasyonla Turc metodunun vermiş olduğu 16.94 mm RMSE değerinin düşürülebileceği açıktır. MK yöntemi, TC'nin ardından FAO56 PM ile en yakın tahminleri yapan ikinci yöntem olmuştur. TC tahminleri gibi MK çalışma döneminde çoğunlukla FAO56 PM'in altında tahmin vermiştir. JH üçüncü yöntem olurken, TH tüm dünyada olduğu gibi Karaman ilinde de FAO56 PM'nin oldukça gerisinde PET tahminleri verdiği için beşinci sırada yer almıştır. HS ise Karaman ili için FAO56 PM'e en uzak tahmin veren yöntem olmuştur. 54.02 mm'lik ortalama hata karelerinin karekökü değeri diğer yöntemlerden elde edilen değerlerin iki katından fazladır. Bu çıkan sonuç aslında anlamlıdır, çünkü HS diğer yöntemlerin aksine net veya kısa dalga boyu radyasyon yerine uzay radyasyon verisini kullanmaktadır. Bunun anlamı atmosferin geçirgenliğini dikkate almadan maksimum olası radyasyon verileri ile PET tahmini yapılmaktadır. Ayrıca günlük meteorolojik gözlem verileriyle kullanıldığında HS'nin, California Davis bölgesi için oldukça makul PET tahminleri yaptığı ortaya konulmasına karşın, bu çalışmada da olduğu gibi aylık meteorolojik gözlem verileriyle kullanıldığında yüksek hatalar vermesinin bir diğer sebebi olarak, günlük ve aylık maksimum, minimum sıcaklık ölçüm farklılığı gösterilebilir. HS metoduna karekökü çarpan olarak etkileyen maksimum ve minimum sıcaklıklar arasındaki farklar günlük verilerle kullanıldığında kullanılan gün için ölçülen maksimum ve minimum

sıcaklıkların farkı olarak PET tahminlerinde hesaba katılmaktadır. Aylık gözlem verileriyle kullanıldığında ise söz konusu aydaki maksimum ve minimum sıcaklıkların yaşandığı günler çalışılan aydaki tüm günlerde geçerliymiş gibi PET tahminlerinde hesaplamalara katılmaktadır. Bu da aylık meteorolojik gözlem verileriyle HS metodunun kullanılması durumunda dikkatli olunmasını, ayrıca bu yöntemin günlük veriler için türetildiği gerçeğinin hatırlanması gerektiğine işaret etmektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, dünyanın birçok bölgesinde yaygın bir şekilde kullanılan ve güvenilir PET tahminleri yapan FAO56 PM metoduna Karaman ili özelinde daha az gözlem verisi gerektiren ve kullanımı daha basit alternatif PET tahmin yöntemlerinin neler olabileceği araştırılmıştır. Bu bağlamda önce FAO56 PM ile elde edilen günlük PET tahminleri aylığa çevrilmiş daha sonra bu değerler referans olarak kullanılarak TC, MK, JH, PT, BC, TH ve HS yöntemlerinden elde edilen aylık PET değerleriyle karşılaştırılmıştır. TC, FAO56 PM'ye en uyumlu tahmini yapan yöntem olmuştur. HS metodu ise, Karaman ili aylık meteorolojik gözlem verileri kullanıldığında oldukça yüksek tahminler vermiştir. FAO56 PM ile HS yöntemleri arasında hesaplanan 54.02 mm'lik RMSE değeri bu kanıyı doğrulamaktadır. Buna göre karasal iklim özelliklerine sahip Karaman ili için yapılan aylık PET tahminlerinde, elde yeteri kadar ölçülmüş günlük meteorolojik gözlem verisinin olmaması durumunda TC gerektirdiği aylık ortalama nem, aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam global güneş radyasyonu verileriyle FAO56 PM'ye alternatif olarak ön plana çıkmaktadır. Turc metoduna yapılacak uygun bir kalibrasyonla, RMSE değerlerinin daha makul seviyelere düşürülebileceği açıktır. Bu durumun, Konya Kapalı Havzası'nda yer alan ve önemli tarımsal faaliyetlere ev sahipliği yapan Karaman ilinde aylık zaman adımlarında yapılacak tarımsal sulama planlamaları, su bütçesi, kuraklık ve iklim değişikliği çalışmalarında yapılacak PET tahminleri için önemli bir kolaylık sağlayacağı inancı taşınmaktadır.

KAYNAKLAR

Abdulkareem JH, 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.

Akpolat A (2011). Mikrometeorolojik ve lizimetre yöntemleriyle belirlenen buğday bitki su tüketimlerinin karşılaştırılması. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Aksu H, Arıkan A (2017). Satellite-based estimation of actual evapotranspiration in the Büyük Menderes Basin, Turkey. *Hydrology Research*, 48(2): 559-570.

Alexandris S, Kerkides P, Liakatas A (2006). Daily reference evapotranspiration estimates by the "Copais" approach. *Agricultural Water Management*, 82(3), 371-386.

Alexandris S, Stricevic R, Petkovic S (2008). Comparative analysis of reference evapotranspiration from the surface of rainfed grass in central Serbia, calculated by six empirical methods against the Penman – Monteith formula. *European Water*, 21/22: 17-28.

Allen RG, Periera LS, Raes D, Smith M (1998). Crop evapotranspiration: guideline for computing crop water requirement. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56*, p. 300.

Blaney HF, Criddle WD (1950). Determining water requirements in irrigated areas from climatological irrigation data. Technical Paper No. 96, US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, D.C., p. 48.

Dingman SL (2008). *Physical hydrology*. Waveland Press, Inc., United States of America, p. 646.

Efthimiou N, Alexandris S, Karavitis C, Mamassis N (2013). Comparative analysis of reference evapotranspiration estimation between various methods and the FAO56 Penman-Monteith procedure. *European Water*, 42: 19-34.

FAO (Irrigation Water Management: Irrigation water needs, Chapter 3: Crop water needs). Available: <http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e07.htm>.

Fisher DK, Pringle III HC (2013). Evaluation of alternative methods for estimating reference evapotranspiration. *Agricultural Sciences*, 4(8A): 51-60.

Grismer ME, Orang M, Snyder R, Matyac R (2002). Pan evaporation to reference evapotranspiration conversion methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128(3): 180-184.

Hamon WR (1961). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Hydraulics Division-ASCE*, 87(HY3): 107-120.

Jensen ME, Haise HR (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division-ASCE*, 89(IR3):15-41.

Hargreaves GH (1975). Moisture availability and crop production. *TRANSACTION of the ASAE*: 18, 980-984.

Hargreaves GH, Samani ZA (1982). Estimation of potential evapotranspiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division-ASCE*, 108: 223-230.

Hargreaves GH., Samani ZA (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2): 96-99.

Lingling Z, Jun X, Chong-Yu X, Zhonggen W, Leszek S (2013). Evapotranspiration estimation methods in hydrological models. *Journal of Geographical Sciences*, 23 (2): 359-369.

Lu J, Sun G, McNulty SG, Amatya DM (2005). A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern United States. *Journal of the American Water Resources Association*, 41(3): 621-633.

Makkink GF (1957). Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Journal Institute of Water Engineering*, 11(3): 277-288.

Penman HL (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 193(1032), 120-145.

Priestley CHB, Taylor RJ (1972). On the assessment of the surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100: 81-92.

Tabari H (2010). Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates. *Water Resources Management*, 24: 2311-2337.

Tukimat NNA, Harun S, Shadid S (2012). Comparison of different methods in estimating potential evapotranspiration at Muda Irrigation Scheme of Malaysia. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 113(1): 77-85.

Thornthwaite CW (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38: 55-94.

Trajkovic S (2007). Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 133.1: 38-42.

Tuomenvirta H (2001). Homogeneity adjustments of temperature and precipitation series- Finnish and Nordic data. *International Journal of Climatology*, 21: 495-506.

Turc L (1961). Water requirements assessment of irrigation, potential evapotranspiration: simplified and updated climatic formula. *Annales Agronomiques*, 12: 13-49.

Xu CY, Singh VP (2000). Evaluation and generalization of radiation-based methods for calculating evaporation. *Hydrological Processes*, 14: 339-349.

Zhai L, Feng Q, Li Q, Xu C (2010). Comparison and modification of equations for calculating evapotranspiration (ET) with data from Gansu Province, Northwest China. *Irrigation and Drainage*, 59 (4): 477-490.

Zhang K, Kimball JS, Nemani RR, Running SW (2010). A continuous satellite-derived global record of land surface evapotranspiration from 1983 to 2006. *Water Resources Research*, 46, W09522.