

Yarı Kurak İklim Koşullarında A Sınıfı Kap'tan olan Buharlaşmanın Penman ve Kohler-Nordenson-Fox (KNF) Modelleri ile Tahmini

Yusuf AYDIN*

Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Siirt, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 09.09.2019

Kabul Tarihi/Accepted: 04.11.2019

ORCID ID

orcid.org/0000-0002-6185-9359

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: yusufaydin@siirt.edu.tr

Öz: Buharlaşmanın tahmin edilmesinde gereksinim duyulan iklim parametreleri pekçok bölgede çeşitli nedenlerle kolaylıkla elde edilememektedir. Güvenilir verilerin elde edilmesiyle, sulama planlaması ve su kaynaklarının korunması için buharlaşma tahmini daha az veri ile ve kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu çalışmada, A sınıfı buharlaşma kaplarından olan buharlaşmanın tahmininde kullanılan ve bu amaçla geliştirilen Penman (PM) ve Kohler-Nordenson-Fox (KNF) eşitlikleri yoluyla buharlaşmanın tahmin edilerek, meteoroloji istasyonlarında ölçülen değerlerle, yarı kurak iklim koşullarında performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla; Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Siirt ili Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan iklim verileri, modellerin çözümlenmesinde girdi olarak kullanılmıştır. Elde olunan çıktılar istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve karekök ortalama hatası (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), hata yüzdesi (PE), ortalama oran (MR) ve determinasyon katsayısı (R^2) parametreleri istatistiksel değerlendirme ölçütü olarak alınmıştır. Çalışma sonunda, günlük düzeyde yapılan karşılaştırmada en iyi R^2 değeri 0.8783 ve 0.8062 ile 2015 ve 2016 yılında $E_{PM}-E_{pan}$ karşılaştırmasından elde edilirken, bu yıldaki RMSE değerleri 1.35 ve 1.32 olarak hesaplanmıştır. Aylık düzeydeki karşılaştırmada ise, aynı eşitlik en iyi performansı göstermiştir. Bu sonuçları göre, günlük ve aylık düzeyde A sınıfı buharlaşma kabından olan buharlaşmayı tahmin etmek için, yarı kurak iklim koşullarında daha düşük RMSE değerleri vermesi nedeniyle çalışmada kullanılan Penman eşitliği önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Buharlaşma kabı, model, yarı kurak, Siirt, kıyas bitki su tüketimi

Estimation of Evaporation from Class A Pan in Semi-Arid Climatic Conditions by Penman and Kohler-Nordenson-Fox (KNF) Models

Abstract: The climatic parameters needed to estimate evaporation are not easily obtained in many regions for various reasons. By obtaining reliable data, estimation of evaporation for irrigation planning and protection of water resources can be made with less data and easily. In this study, the evaporation from the Class A evaporation vessels, which are used for the estimation of evaporation and developed for this purpose, are estimated by comparing the values measured in meteorological stations and the evaporation through Penman (PM) and Kohler-Nordenson-Fox (KNF) equations, and their performance in semi-arid climatic conditions is evaluated comparatively. For this purpose, climate data received from the Meteorological Station in Siirt province, located in the Southeastern Anatolia Region of Turkey, was used as input in the analysis of the models. Outputs obtained from models were statistically evaluated and the root mean squared error (RMSE), mean absolute error (MAE), percentage of error (PE), mean ratio (MR) and determination coefficient (R^2) parameters were taken as statistical evaluation criteria. At the end of the study, the best R^2 value in the daily comparison was obtained from the $E_{PM}-E_{pan}$ comparison in 2015 and 2016 with 0.8783 and 0.8062, and the RMSE values in this year were calculated as 1.35 and 1.32. In the monthly comparison, the same equation showed the best performance. According to these results, Penman equation used in this study is recommended because it gives lower RMSE values in semi-arid climate conditions in order to estimate evaporation from class A evaporation vessel at daily and monthly levels.

Keyword: Evaporation vessel, model, semiarid, Siirt, reference plant water consumption

1. Giriş

Bir sulama terimi olarak buharlaşma, kısaca suyun faz değiştirerek sıvı halden gaz haline geçmesi olarak tanımlanmaktadır (Kanber, 2006). Diğer bir ifadeyle, buharlaşmanın olabilmesi için ıslak yüzey veya sıvı yüzeyi ile atmosfer arasında ısı akısının oluşması sonucu, su moleküllerinin kinetik enerjilerinin artması ve bunun sonucu olarak moleküllerin ıslak yüzey ile atmosfer arasındaki bir hareketidir. Islak yüzeyden atmosfere doğru hareket eden su moleküllerinin fazla olması, anılan ortamda buharlaşmanın fazlalığını gösterir. Ancak, su moleküllerinin kinetik enerjilerinin artması güneş radyasyonuna bağlıdır. Bu nedenle, buharlaşma ortamlarında meydana gelecek buharlaşma miktarı, ıslak alanın büyüklüğüne ve güneş enerjisine bağlı olduğundan, buharlaşma üzerinde iklim elemanların çok büyük etkisi vardır.

Buharlaşmanın, iklim parametreleri kullanılarak tahmin edilebileceği Terzi (2011) tarafından belirtilmektedir. Bu amaçla; radyasyon, sıcaklık, rüzgar hızı, oransal nem gibi iklim verilerine dayalı ampirik eşitlikler geliştirilmiş olup, buharlaşma tahmininde kullanılmaktadır. İklim parametrelerini kullanarak buharlaşmanın tahminine yönelik pek çok çalışma yürütülmüştür. Morton (1979) tarafından modifiye edilen ve yıllık buharlaşmanın tahmin edilmesinde aylık sıcaklık, oransal nem ve güneşlenme süresini esas alan model, su bütçesi yöntemi ile göl yüzeyinden oluşan buharlaşma miktarı ile karşılaştırılmış sonuçların birbirine uyumlu olduğu görülmüştür. Benzer olarak, açık su yüzeyinden olan günlük buharlaşmanın tahminine yönelik Terzi (2011) tarafından Eğirdir Gölü'nde bir çalışma yürütülmüş; buharlaşmanın tahminine yönelik olarak, radyasyona dayalı 8 model (Xu ve Singh, 2000) ve sıcaklığa dayalı 7 buharlaşma tahmin modeli (Xu ve Singh, 2001) üzerinde çalışılmış; Sabziparvar ve ark. (2010) tarafından A sınıfı buharlaşma kabı katsayılarını veren K_p modelleri kullanılarak kıyas bitki su tüketimi belirlenmiş; Shahidian ve ark. (2012) tarafından sıcaklık ve radyasyona dayalı 7 adet evapotranspirasyon tahmin modelinin karşılaştırılması yapılmış; Aschonitis ve ark. (2012) tarafından Akdeniz Bölgesi yarı kurak iklim koşullarında standart Penman Monteith metodunu, Fisher ve Pringle III (2013) kıyas bitki su tüketiminin belirlenmesinde farklı alternatif modellerin kullanılabilirliğini, Tabari ve ark. (2013) nemli iklim koşullarında 31 adet kıyas bitki su tüketim modelinin karşılaştırmasını araştırmışlar; Diouf ve ark. (2016) kısıntılı iklim verileri kullanarak, Djaman ve ark. (2017) yarı kurak iklim

koşullarında 11 buharlaşma tahmin modeli ile karşılaştırmalı olarak buharlaşmanın tahmin edilmesine yönelik çalışmalar yürütmüşlerdir. Ancak, buharlaşma tahmininde kullanılan formüllerin uygulanabilirliğindeki belirsizlik, A sınıfı buharlaşma kabının kullanılarak dolaylı ölçülmesine olanak sağlamıştır. A sınıfı buharlaşma kabı, standartları Allen ve ark. (1998) tarafından belirtilen ve genellikle bir gün olarak kabul edilen zaman aralığında eksilen suyun ölçüldüğü araçlardır (Terzi, 2011). Buharlaşma yüzeylerini oluşturan göl, rezervuar ve ıslak yüzeylerden oluşan buharlaşmanın tahmini, doğal dengenin korunması, tarımsal üretim ile gıda talebine olan artışın karşılanması, sulama planlaması, yaşamın devamlılığı ve sürdürülebilirliği bakımından oldukça büyük önem arz etmektedir. Serbest su yüzeyinden oluşan buharlaşma tahminlerinde kullanılan yöntemlerin çoğu, Penman'ın kombinasyon yaklaşımına (Penman, 1948) dayanmaktadır. Penman (1948) eşitliği, sıcaklık, radyasyon, oransal nem ve rüzgâr hızı gibi iklim verilerine gereksinim duyar. Doğrudan ölçüm yöntemi olarak A sınıfı buharlaşma kapları, güneşlenme, rüzgâr, oransal nem ve sıcaklık gibi birçok iklim parametrelerinin birleşik etkisi ile işletildiğinden (Ertek, 2011), hem referans bitki su tüketiminin belirlenmesinde ve hem de açık su yüzeyinden oluşan buharlaşmanın tahmininde etkin ve yaygın olarak kullanılmaktadır. A sınıfı buharlaşma kabından olan buharlaşmanın tahmini konusunda birçok araştırmacı tarafından, farklı coğrafik bölgelerde ve farklı iklim koşullarında araştırmalar yapılmıştır (Irmak ve Haman, 2003; Kaya ve ark., 2016; Sezer ve ark., 2017, 2018). Farklı amaçlarla geliştirilen ampirik eşitlikler, daha çok geliştirildikleri çevre koşullarında daha güvenilir ve tutarlı sonuçlar vermektedir. Ancak bu eşitlikler, farklı iklim koşullarında ve coğrafik bölgelerde kullanılması gerektiğinde, sonuçların tutarlılığı ve güvenilirliği test edilmesi gerekmektedir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi yarı kurak iklim koşullarında A sınıfı buharlaşma kabından oluşan buharlaşmanın (E_{pan}) tahmin edilmesine yönelik yeterince bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışmada, A sınıfı buharlaşma kabından oluşabilecek buharlaşmanın tahmininde kullanılan eşitliklerin performansları irdelenmiştir. Böylece, buharlaşma ölçümünün yapılamadığı ya da verilerin çeşitli nedenlerle toplanamadığı koşullarda, buharlaşmanın tahmin edilmesini olası hale getirecek, sonuçlarının tutarlı ve güvenilir olduğu, bölgeye uyumlu buharlaşma tahmin eşitliğinin belirlenmesi, elde edilecek verilerin tutarlılığının denetlenmesi amaçlanmıştır.

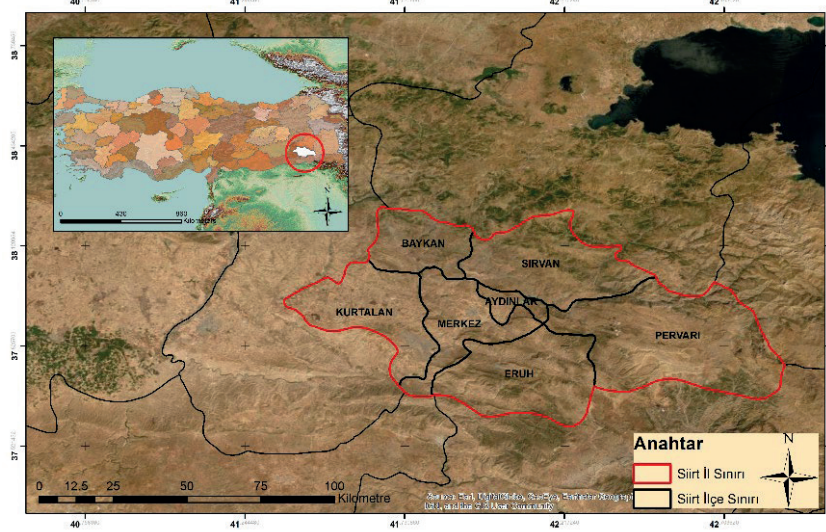
2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanı coğrafik özellikleri

Çalışma, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Siirt ilinde yürütülmüştür. Siirt ili coğrafik olarak 37° 55' kuzey enlemi ile 41° 57' doğu boylamı arasında bulunmakta olup, 5473 km²'lik yüzölçümüne sahiptir (Şekil 1).

Siirt ili coğrafik olarak incelendiğinde, ilin kuzeyi ve doğusunda % 22 oranında var olan ovalardan sonra yükselen % 75 oranında dağlarla kaplı bir coğrafik alana sahiptir. Kurtalan ovasının bir kısmı hariç, genel olarak dağ ve tepelerden oluştuğu görülmektedir. İlin doğusuna doğru gidildiğinde Pervari ilçesi sınırlarında Yazlıca (Herekol) (2943 m), Körkandil (2821 m) Şirvan Bekravi (2650 m) Hastelli (2700 m) ve Çıraf (2268 m) dağları ilin başlıca dağlarıdır (Özyazıcı ve

ark., 2014). Siirt ili genel olarak karasal iklim özelliklerini taşımakta olup, güney ve güneybatı kesimleri ılık geçerken doğu ve kuzeyinde kışlar sert ve yağışlı seyretmektedir. Bu nedenle Siirt bölgesinde dört mevsim belirgin olarak yaşanmaktadır. (Anonim, 2018). Siirt iline ait uzun yıllar meteorolojik veriler Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, en yüksek sıcaklık değerleri Temmuz-Ağustos aylarında gerçekleşmekte olup, 46 °C'ye kadar ulaşabilmektedir. Yağış rejimindeki dengesizlik belirgin olarak görülmektedir. Düşen yağışın büyük bir kısmı, kış aylarında gerçekleşmekte olup, yaz aylarındaki yağış miktarı oldukça düşük düzeylerde dir. Buna karşılık, aynı dönemlerde yaz sıcaklıkları ise çok yüksek, ortalama güneşlenme süresi oldukça uzun (12.2 saat) olduğundan, bu dönemde buharlaşma (1753.6 mm) ve dolayısıyla bitki su tüketimi de artmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı konum haritası

Tablo 1. Siirt ili uzun yıllar (1939-2017) iklim parametreleri (Anonim, 2018)

Aylar	En yüksek sıcaklık (°C)	En düşük sıcaklık (°C)	Ortalama nispi nem (%)	Toplam yağış ortalaması (mm)	En yüksek yağış (mm)	Ortalama buharlaşma (mm)	Ortalama güneşlenme süresi (saat)
Rasat süresi (Yıl)	79	79	78	78	79	79	57
Ocak	19.7	-19.3	71.9	34.6	53.4	12	3.6
Şubat	20.6	-16.5	67.1	29.4	53.2	---	4.4
Mart	28.5	-13.3	62.0	24.1	63.0	33.0	5.4
Nisan	32.9	-4.1	58.0	22.4	71.4	84.0	6.5
Mayıs	36.2	2.0	50.7	21.2	68.1	186.0	9.0
Haziran	40.2	8.2	34.6	15.5	16.7	284.8	11.7
Temmuz	44.4	13.1	27.4	13.5	22.2	368.0	12.2
Ağustos	46.0	14.4	26.4	13.3	12.2	351.8	11.4
Eylül	39.9	8.5	31.2	14.4	37.5	254.3	9.9
Ekim	36.6	0.3	46.7	49.7	70.8	137.6	7.2
Kasım	25.8	-14.1	62.4	82.5	102.9	53.0	5.2
Aralık	24.3	-14.6	70.6	94.5	71.8	13.1	3.6
Yıllık	46.0	-19.3	50.8	719.8	102.9	1753.6	7.5

2.2. Class A pan (E_{pan}) tahmin yöntemleri

Buharlaşmanın tahmininde kullanılan parametrelere bağlı olarak (radyasyon, sıcaklık, iklim vs.) çok sayıda eşitlik geliştirilmiştir. Bu eşitlikler, su bütçesi tekniği (Guitjens, 1982), kütle-transfer (Harbeck, 1962), radyasyon (Makkink, 1957; Turc, 1961; Priestley ve Taylor, 1972), sıcaklık (Thorntwaite, 1948; Blaney ve Criddle, 1950; Hargreavas ve Samani, 1985) ve kombine yöntemler (Penman, 1948) olarak sıralanabilir (Xu ve Singh, 2001). Bu çalışmada, radyasyon eşitliği olarak buharlaşmanın tahmininde kullanılan Penman (1948) eşitliği ile bu eşitlikten geliştirilen Kohler-Nordenson-Fox (KNF) eşitliliği yoluyla tahmin edilen buharlaşma değerleri, meteoroloji istasyonunda buharlaşma kabı yoluyla ölçülen E_{pan} değerleri ile karşılaştırılarak, bölge için en uygun eşitliğin belirlenmesine çalışılmıştır.

2.2.1. Penman yöntemi (Penman, 1948)

Penman (1948), aerodinamik yaklaşımların buharlaşmanın tahmininde yeterli olmadığı ve bu nedenle ampirik yaklaşımların kullanılmasıyla daha güvenilir sonuçlara ulaşılabileceğini ifade etmektedir. Bu nedenle Penman, açık su yüzeyinden oluşan buharlaşmanın tahmininde kullanılabilecek ve günlük ölçülen buharlaşma miktarı ve buhar basıncı açığı (VPD) oranı ile 2 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı arasındaki ilişkiden yararlanarak lineer ampirik bir eşitlik geliştirmiş ve "Penman'ın Lineer Eşitliği" (Eşitlik 1-4) olarak Jensen ve ark. (1990) tarafından önerilerek kullanılmaya başlanılmıştır (Irmak ve Haman, 2003).

$$E_{pan} = \frac{6.43(1+0.53U_2)(e_s - e_a)}{\lambda} \quad (1)$$

$$e_s = \frac{e^o(T_{max}) + e^o(T_{min})}{2} \quad (2)$$

$$e^o(T) = 0.6108 \exp \left[\frac{17.27T}{T+237.3} \right] \quad (3)$$

$$e_a = \frac{e^o(T_{min}) \frac{RH_{max}}{100} + e^o(T_{max}) \frac{RH_{min}}{100}}{2} \quad (4)$$

Eşitliklerde E_{pan} , pan buharlaşmasını (mm gün⁻¹); e_s , hava sıcaklığındaki doymuş buhar basıncını (kPa); e_a , çiğlenme noktası sıcaklığındaki buhar basıncını (kPa); e^o , verilen sıcaklıktaki doymuş buhar basıncını (kPa); T_{max} , en yüksek sıcaklık derecesini (°C); T_{min} , en düşük hava sıcaklığını (°C); RH_{max} , en yüksek oransal nem değerini (%); RH_{min} , en düşük oransal nem değerini (%); λ , suyun buharlaşma gizli ısısını (2.45 MJ kg⁻¹); U_2 , 2 m'deki ortalama rüzgâr hızını (m s⁻¹); $e^o(T)$, verilen T sıcaklığındaki doymuş buhar basıncını (kPa); T, ortalama hava sıcaklığını (°C) ifade etmektedir.

Meteoroloji istasyonlarında 10 m'de ölçülen rüzgâr hızı değerleri, bu çalışmada Kanber (2006) tarafından önerilen Eşitlik 5 kullanılarak 2 m'de ölçülen rüzgâr hızı (U_2) değerlerine dönüştürülmüştür.

$$U_2 = U_z \left(\frac{Z_2}{Z_z} \right)^{0.15} \quad (5)$$

Eşitlikte U_2 , toprak yüzeyinden 2 m yüksekliğindeki rüzgâr hızını (m sn⁻¹); U_z , Z m yüksekliğindeki rüzgâr hızını (m sn⁻¹) ve Z_z , rüzgâr hızının ölçüldüğü yüksekliği (m) ifade etmektedir.

2.2.2. Kohler-Nordenson-Fox (KNF) eşitliği

A sınıfı kaptan olan buharlaşmanın tahmin edilmesinde Kohler ve ark. (1955) tarafından geliştirilen eşitlik (Eşitlik 6-7), Penman (1948) tarafından geliştirilen eşitliğe psikrometrik sabite (γ_p) teriminin eklenmesiyle geliştirilmiştir. Bu eşitlik, sonuçlarının tutarlılığı ve uygulanabilirliği yönüyle evrensel olarak dünyada halen yaygın biçimde kullanılmaktadır (Irmak ve Haman, 2003).

$$E_{pan} = \frac{\Delta R_n + \gamma_p E_a}{\Delta + \gamma_p} \quad (6)$$

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp \left(\frac{17.27T}{T+237.3} \right) \right]}{(T+237.3)^2} \quad (7)$$

Eşitliklerde E_{pan} , pan buharlaşmasını (mm gün⁻¹); Δ , havanın mevcut sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimini (kPa °C); γ_p , psikrometrik sabiteyi (0.001568xP) (kPa °C⁻¹); P, atmosferik basıncı (kPa); R_n , günlük net radyasyonun eşdeğer buharlaşmasını (mm gün⁻¹); R_{ns} , net kısa dalga boylu radyasyon miktarını (MJ m⁻² gün⁻¹); R_{nl} , atmosfer yüzeyinden yansıyan net uzun dalga boylu radyasyon miktarını (MJ m⁻² gün⁻¹); U_2 , 2 m'deki ortalama rüzgâr hızını (m s⁻¹); T, ortalama hava sıcaklığını (°C); E_a , aerodinamik fonksiyonu (mm gün⁻¹); U_p , A sınıfı buharlaşma kabı üst kenarının 15.2 cm üzerindeki rüzgâr hızını (km gün⁻¹) ifade etmektedir.

Çalışmada Eşitlik 6'da verilen net radyasyona (R_n) ilişkin hesaplamalar, Allen ve ark. (1998)'na göre yapılmıştır.

2.3. İstatistik analizler

Buharlaşma tahmininde kullanılan Penman (1948) ve KNF eşitlikleri yoluyla hesaplanan günlük buharlaşma değerleri, meteoroloji istasyonunda ölçülen değerlerle istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Eşitliklerin performans üstünlüklerini belirlemede, regresyon katsayısı (R^2) değerlerinden ziyade, karekök ortalama hatası (RMSE) değerleri ölçüt olarak alınmış ve en küçük RMSE değeri veren eşitlik, yüksek performanslı

olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, R^2 katsayılarının hesaplanmasında kullanılan E_{pan} değerleri, ölçülen E_{pan} değerleri ile ikişerli olarak karşılaştırılmış ve regresyon analizine tabi tutularak R^2 katsayıları belirlenmiştir. Eşitliklerin istatistiksel olarak karşılaştırılmasında, istatistiksel parametreler olan RMSE, ortalama mutlak hata (MAE), hata yüzdesi (PE) ve ortalama oran (MR) değerleri, Djaman ve ark. (2015) tarafından önerilen Eşitlik 8-11 ile, R^2 değerleri ise Todorovic ve ark. (2013) tarafından verilen 12 nolu eşitliklerden yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (8)$$

$$MAE = n^{-1} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (9)$$

$$PE = \left| \frac{P_{ort} - O_{ort}}{O_{ort}} \right| 100\% \quad (10)$$

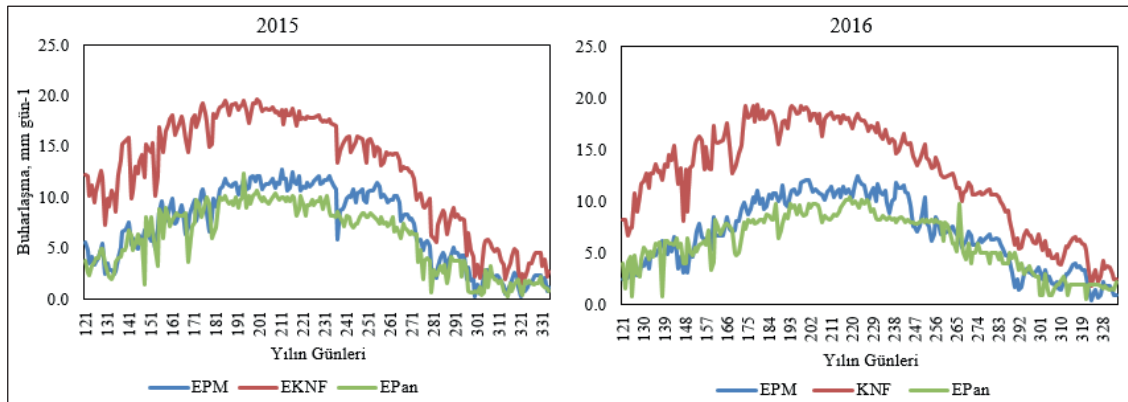
$$MR = n^{-1} \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{O_i} \quad (11)$$

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) \cdot (P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right\}^2 \quad (12)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada veri olarak kullanılan sıcaklık, oransal nem, rüzgâr hızı gibi iklim değişkenleri, 2015 ve 2016 yılları için Siirt iline ait meteorolojik verilerden alınmış ve eşitlikler yoluyla hesaplanan E_{pan} değerleri, meteoroloji istasyonlarında ölçülen ve standart olarak kabul edilen E_{pan} değerleri ile kıyaslanmıştır. İstasyonlarda ölçülen E_{pan} değerleri, yılın tamamında yapılmadığından, değerlendirmelerde ölçüm yapılan Mayıs-Kasım ayları dikkate alınmıştır. Çalışma yılları ayrı ayrı değerlendirilmiş olup, her bir yıldaki yöntemlerin standart E_{pan} ile karşılaştırmalar Şekil 2'de

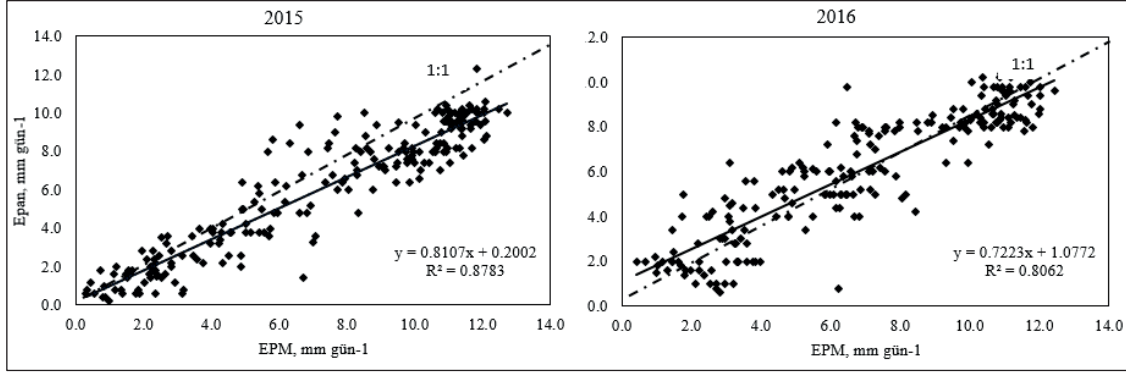
gösterilmiştir. Çalışma yılları içerisinde yapılan değerlendirme ve karşılaştırmalarda Şekil 2'den izlenebileceği üzere, Mayıs ayından itibaren başlamış ve ölçülen E_{pan} değerlerinin alındığı Kasım ayı sonuna kadar devam edilmiştir. Çalışmada her iki yılda da E_{KNF} değerleri başlangıçta oldukça yüksek değerleri verirken haziran sonu-temmuz ayı başlarında diğer iki modele daha yakın değerler vermeye başlamıştır. Diğer taraftan E_{PM} modeli, karşılaştırma yapılan her iki yılda, karşılaştırma yapılan aylar boyunca ölçülen E_{pan} değerlerine daha yakın tahmin değerleri vermiştir. Modellerin günlük düzeyde yapılan karşılaştırmalarında, E_{pan} ölçülen buharlaşma değerine en yakın tahmin, E_{PM} modelinden elde edilmiştir. Irmak ve Haman (2003), Florida'nın nemli iklim koşullarında Penman (1948), Kohler-Nordenson-Fox (KNF-1955), Christiansen (1968), Linacre (1977) ve Priestley ve Taylor (1972) modellerini kıyaslamalı olarak çalışma yürütmüşlerdir. Çalışma bulgularına göre; ölçülen buharlaşma değerlerinin yerine kullanılabilmesi, sulama programlarının oluşturulması amacıyla model önerilmesi gerektiğinde KNF-1955' in en iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Kaya ve ark. (2016) Doğu Anadolu Bölgesi yarı kurak iklim koşullarında yaptıkları çalışmada, Penman yönteminin karşılaştırma yapılan diğer modellere göre daha düşük performans gösterdiğini, Iğdır Ovası koşullarında KNF eşitliğinin, ölçülen E_{pan} değerlerine daha yakın sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Yarı kurak iklim koşullarında KNF eşitliğinin daha iyi performans göstermesi, aynı iklim koşullarındaki bulgularımızla uyumlu görülmemektedir. Ayrışmanın nedeni olarak, çalışmanın yürütüldüğü iklim koşullarında yaz sıcaklıklarının çok yüksek (46 °C) ve en düşük oransal nem % 13.3 düzeylerinde iken bu değerler, Doğu Anadolu bölgesi koşullarında sırasıyla 35 °C ve % 20'nin üzerinde gerçekleşmektedir.



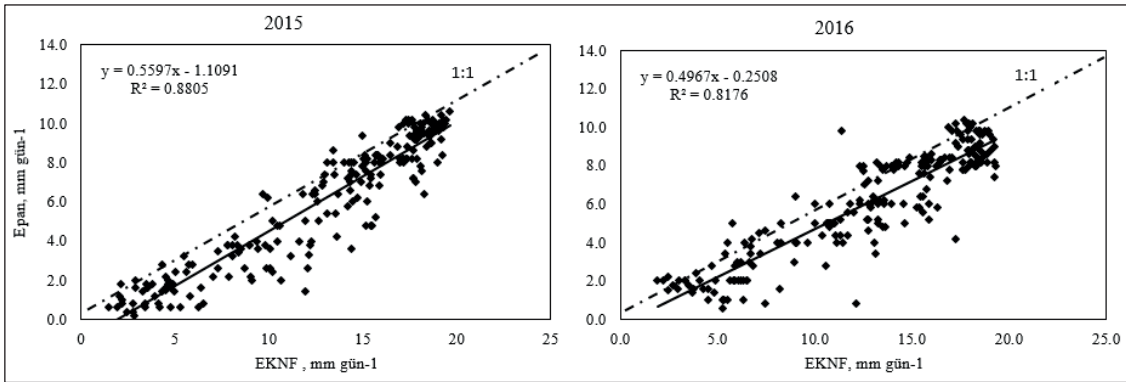
Şekil 2. Eşitlikler yoluyla hesaplanan E_{pan} değerlerinin, ölçülen E_{pan} ile karşılaştırılması

Karşılaştırma yapılan modellerle tahmin edilen buharlaşma değerleri, ikiyeşerli olarak standart ölçülen buharlaşma değerleri ile her iki yıl için karşılaştırılmış ve R^2 değerleri Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 3'ün incelenmesinden görüleceği üzere, günlük ölçülen ve tahmin edilen E_{pan} değerlerinin % 88'lik kısmında pozitif yönlü, doğrusal bir ilişki ($R^2= 0.88$) bulunurken, 2016 yılında bu değer % 81 ile daha düşük bulunmuştur (Tablo 2).

E_{KNF} değerleri ile ölçülen standart E_{pan} değerleri arasında her iki çalışma yılında yapılan R^2 analizi Şekil 4'te verilmiştir. Tahmin edilen ve ölçülen buharlaşma değerleri 2015 yılında, % 88 oranında uyumlu görülürken (yüksek düzeyde-pozitif yönlü ilişki), bu değer 2016 yılında % 82 olarak (yüksek düzeyde-pozitif yönlü ilişki) bulunmuştur. Yıllar arasındaki bu farklılıklar, tamamen iklim parametrelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3. E_{PM} modelinin standart yöntemle karşılaştırılması ve R^2 analizi



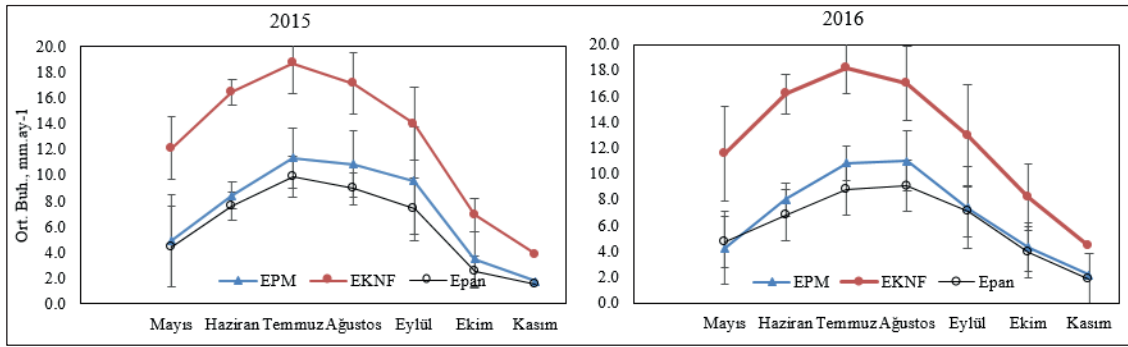
Şekil 4. E_{KNF} modelinin standart yöntemle günlük düzeyde karşılaştırılması ve R^2 analizi

Tablo 2. Günlük ve aylık düzeyde ölçülen ve tahmin edilen buharlaşma değerlerinin istatistiksel karşılaştırması

Hata istatistikleri	Günlük				Aylık			
	$E_{PM}-E_{Pan}$		$E_{KNF}-E_{Pan}$		$E_{PM}-E_{Pan}$		$E_{KNF}-E_{Pan}$	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
RMSE (mm)	1.35	1.32	5.53	5.48	0.19	0.16	0.98	0.97
MAE (mm)	0.86	0.84	3.94	3.88	0.02	0.02	0.13	0.13
MR	0.77	0.71	1.51	1.38	0.02	0.02	0.04	0.04
PE (%)	19.26	13.69	111.49	109.72	19.27	13.67	111.46	109.77
R^2	0.8783	0.8062	0.8805	0.8176	0.9816	0.9656	0.9527	0.9238

Meteorolojik veriler kullanılarak modellerle günlük olarak tahmin edilen E_{PM} ve E_{KNF} değerleri ile aynı dönemlere ait olan ve ölçülen E_{pan} değerlerinin aylık ortalamaları alınarak, aylık düzeydeki buharlaşma miktarları belirlenmiş ve Şekil 5'te her iki yıl için gösterilmiştir. Günlük

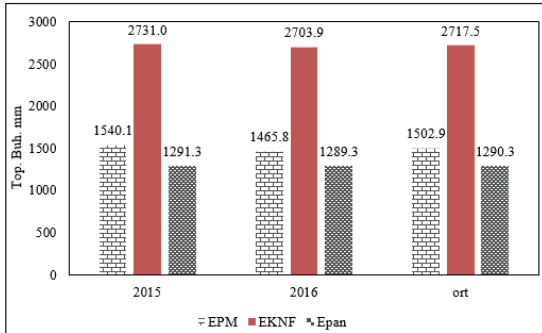
karşılaştırmadaki değişime benzer olarak, aylık ortalama değişimlerinde de, çalışma yapılan 2015 ve 2016 yıllarında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Karşılaştırma döneminde Mayıs ayından Temmuz ayına kadar olan dönemde E_{KNF} değerleri oldukça yüksek olarak tahmin edilmiş ve bu durum yaklaşık



Şekil 5. Penman ve KNF eşitlikleri yoluyla hesaplanan aylık E_{pan} değerlerinin, ölçülen E_{pan} ile karşılaştırılması

olarak ölçüm dönemi sonuna kadar devam etmiştir. Günlük karşılaştırmalarda olduğu gibi, aylık ortalama karşılaştırmada da E_{pan} ölçülen değerlere en yakın değerler, E_{PM} ile tahmin edilmiş, E_{KNF} ise daha yüksek tahmin değerleri vermiştir.

Aylık değerlendirmelerdeki bu durumun bir sonucu olarak, eşitlikler yoluyla hesaplanan ve ölçülen E_{pan} değerlerinin, çalışma yılları itibariyle oluşturdukları toplam buharlaşma miktarları Şekil 6'da gösterilmiştir. Şeklin incelenmesinden görüleceği üzere, her iki çalışma yılında ve ortalama değerlerde, ölçülen E_{pan} değerlerine en yakın buharlaşma miktarı, Penman eşitliği (E_{PM}) yoluyla hesaplanan E_{pan} değerlerinden alınmıştır. Hesaplanan E_{KNF} değerleri, çalışma yıllarında gerek yıllık ve gerekse ortalama olarak E_{PM} 'den daha yüksek gerçekleşmiştir.



Şekil 6. Eşitlikler yoluyla hesaplanan ve ölçülen E_{pan} değerlerinin aylık toplam değerleri

Ölçülen (E_{pan}) ve tahmin edilen E_{PM} ve E_{KNF} modellerinin karşılaştırılmasında istatistiksel olarak kantitatif yöntemler ve 8-12 nolu eşitlikler kullanılmıştır. Karşılaştırma ölçütü olarak kullanılan ve Eşitliklerde verilen parametrelerden RMSE, MAE, MR ve PE değerlerinin sıfıra yakın olması ve R^2 değerinin 1'e yakın değerler alması, kıyaslanan değerler arasında uyumluluğun ve yüksek performansın bir göstergesi olarak bilinmektedir. Bu nedenle, yapılan kıyaslamalarda

hata parametreleri daha düşük ya da sıfıra yakın olan eşitlikler, yüksek performanslı olarak değerlendirilmiştir. Günlük düzeyde yapılan karşılaştırmada, tahmin edilen E_{PM} ve E_{KNF} buharlaşma miktarları ile ölçülen E_{pan} değerleri arasında yapılan karşılaştırmada, E_{PM} değerleri her iki yılda da daha yüksek R^2 değerleri vererek (0.8783 ve 0.8062) E_{KNF} 'den daha iyi bir performans göstermiştir. Benzer olarak RMSE, MAE, MR ve PE değerleri bakımından E_{PM} modeli, E_{KNF} 'den daha düşük değerler almıştır. Günlük hesaplamalardan elde edilen değerlerden yararlanılarak bulunan uzun dönem aylık ortalamalar arasında yapılan karşılaştırmada, günlük değişime benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu karşılaştırmada E_{PM} değerleri 0.9816 ve 0.9656 ile 2015 ve 2016 yılında daha yüksek R^2 vererek, E_{KNF} tahmin edilen değerlerden (0.9527 ve 0.9238) farklılık göstermiştir (Tablo 2).

Hata parametrelerindeki değişiklik, günlük kıyaslamalarda olduğu gibi $E_{PM}-E_{pan}$ kıyaslamasında (0.19 ve 0.16), $E_{KNF}-E_{pan}$ değerlerinden (0.98 ve 0.97) daha düşük bulunarak, yüksek performans göstermiştir.

4. Sonuçlar

Ampirik eşitlikler geliştirildikleri bölge ve iklim koşullarında daha iyi sonuçlar verdiğinden, farklı bölgelerde kullanılması durumunda, sonuçların tutarlılığının ve güvenilirliğinin denetlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan "Penman Lineer Eşitliği" olarak bilinen E_{PM} ve Kohler-Nordenson-Fox (E_{KNF}) metotları, Güneydoğu Anadolu bölgesi yarı kurak iklim koşullarında, doğrudan E_{pan} ölçümünün bir alternatifi olabirliği konusunda kıyaslama yapılmıştır. Buharlaşma kaplarının kullanılmadığı yarı kurak iklim koşullarında E_{PM} metodunun kullanılabileceği, E_{KNF} metodunun daha yüksek tahmin vermesi nedeniyle tercih edilmesinin doğru olmayacağı belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO-56 Irrigation and Drainage Paper, No: 56, Rome.
- Anonim, 2018. DMİGM Web sayfası. (<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=SIIRT>), (Erişim tarihi: 06.12.2018).
- Aschonitis, V.G., Antonopoulos, V.Z., Papamichail, D.M., 2012. Evaluation of pan coefficient equations in a semi-arid Mediterranean environment using the ASCE standardized Penman-Monteith method. *Agricultural Science*, 3(1): 58-65.
- Blaney, H.F., Criddle, W.D., 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.
- Cristiansen, J.E., 1968. Pan evaporation and evapotranspiration from climatic data. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 94(2): 243-266.
- Diouf, O.C., Weihermüller, L., Ba, K., Faye, S.C., Faye, S., Vereecken, H., 2016. Estimation of Turc reference evapotranspiration with limited data against the penman-monteith formula in Senegal. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 110(1): 117-137.
- Djaman, K., Balde, A.B., Sow, A., Muller, B., Irmak, S., N'Diaye, M.K., Manneh, B., Moukoubi, Y.D., Futakuchic, K., Kazuki Saito, S., 2015. Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal River Valley. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3: 139-159.
- Djaman, K., Koudahe, K., Oluwakunmi, A., Irmak, S., 2017. Evaluation of eleven reference evapotranspiration models in semiarid conditions. *Journal of Water Resource and Protection*, 9: 1469-1490.
- Ertek, A., 2011. Importance of pan evaporation for irrigation scheduling and proper use of crop-pan coefficient (K_{cp}), crop coefficient (K_c) and pan coefficient (K_p). *African Journal of Agricultural Research*, 6(32): 6706-6718.
- Fisher, D.K., Pringle III, H.C., 2013. Evaluation of alternative methods for estimating reference evapotranspiration. *Agricultural Science*, 4(8A): 51-60.
- Guitjens, J.C., 1982. Models of alfalfa yield and evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineers*, 108(IR3): 212-222.
- Harbeck, G.E., 1962. A practical field technique for measuring reservoir evaporation utilizing mass-transfer theory. *United States Geological Professional Paper*, 272-E: 101105.
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. *American Society of Agricultural Engineers*, Hyatt Regency, Chicago IL 1985 Winter Meeting, December 17-20, Paper No: 85-2517.
- Irmak, S., Haman, D.Z., 2003. Evaluation of five methods for estimating class A pan evaporation in a humid climate. *Hort Technology*, 13(3): 500-508.
- Jensen, M.E., Burman, R.D., Allen, R.G., 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. American Society of Civil Engineers, Newyork.
- Kanber, R., 2006. Sulama. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 174, Ders Kitapları Yayın No: A-52, Adana.
- 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. Weather Bureau Research Paper 38, US Department of Commerce: Washington, DC.
- Linacre, E.T., 1977. A simple formula for estimating evaporation rates in various, using temperature data alone. *Agricultural Meteorology*, 18: 409-424.
- Makkink, G.F., 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Journal of the Institution of Water Engineers*, 11: 277-288.
- Morton, F.I., 1979. Climatological estimates of lake evaporation. *Water Resources Research*, 15: 64-76.
- Özyazıcı, M.A., Dengiz, O., İmamoğlu, A., 2014. Siirt ili bazı arazi ve toprak özelliklerinin coğrafi bilgi sistem analizleriyle değerlendirilmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 1(2): 128-137.
- Penman, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London*, 193: 120-145.
- 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.
- Sabziparvar, A.A., Tabari, H., Aeini, A., Ghafouri, M., 2010. Evaluation of class A pan coefficient models for estimation of reference crop evapotranspiration in cold semi-arid and warm arid climates. *Water Resources Management*, 24 (5): 909-920.
- Shahidian, S., Serralheiro, R., Serrano, J., Teixeira, J., Haie, N., Santos, F., 2012. Hargreaves and other reduced-set methods for calculating evapotranspiration. In: A. Irmak (Ed.), *Evapotranspiration-remote sensing and modeling*, InTech, Morn Hill, pp. 59-80.
- Sezer, Ç.Ö., 2015. A sınıfı buharlaşma kabından olan günlük buharlaşmanın modellerle tahmini. Yüksek lisans tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Sezer, Ç.Ö., Öztekin, T., Sezer, E.K., 2017. A-sınıfı buharlaşma kabından olan günlük buharlaşmanın Kohler-Nordenson-Fox ve Cristiansen Modelleri ile tahmini. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(Özel sayı-BSM-2017): 84-196.
- Sezer, Ç.Ö., Öztekin, T., Sezer, E.K., 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.
- Tabari, H., Grismer, M.E., Trajkovic, S., 2013. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Science*, 31(2): 107-117.
- Terzi, Ö., 2011. Modeling of daily pan evaporation of Lake Eğirdir using data-driven techniques. *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, 15-18 June, Istanbul, Turkey, pp. 320-324.
- Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1): 55-94.
- Turc, L., 1961. Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: A simple climatic formula evolved up to date. *Annals of Agronomy*, 12: 13-49.
- Todorovic, M., Karic, B., Pereira, L.S., 2013. Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of mediterranean climates. *Journal of Hydrology*, 481: 166-176.
- Xu, C.Y., Singh, V.P., 2000. Evaluation and generalization of radiation-based methods for calculating evaporation. *Hydrological Processes*, 14: 339-349.
- Xu, C.Y., Singh, V.P., 2001. Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation. *Hydrological Processes*, 15: 305-319.