AHİ EVRAN TARIM BİLİMLERİ DERGİSİ
AHİ EVRAN JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES
https://dergipark.org.tr/tr/pub/ahitbd

Araştırma makalesi

KIRŞEHİR İLİ ÅNGSTRÖM-PRESCOTT KATSAYILARI VE REFERANS EVAPOTRANSPIRASYON KARŞILAŞTIRMALARI

Ali ÜNLÜKARA[1*], Zeynep ARI GÖKKAYA[2], Mustafa Arif TİMOÇİN[1]

[1] Erciyes Üniversitesi Seyrani Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği, Melikgazi, Kayseri,Türkiye

[2] Kayseri Üniversitesi Develi Hüseyin Şahin Meslek Yüksekokulu Bahçe Tarımı Bölümü, Develi, Kayseri,Türkiye

* Sorumlu yazar (Corresponding author): unlukara@erciyes.edu.tr

Makale :

Geliş tarihi/Recieve date: 18.03.2026

Kabul tarihi/Accepted date: 01.06.2026

Basım Tarihi/Published date: 27.08.2026

Atıf Bilgisi/Cititation info: Ünlükara, A., Arı Gökkaya, Z., & Timoçin, M. A. (2026) Kırşehir İli Angstrom-Prescott Katsayıları ve Referans Evapotranspırasyon Karşılaştırmaları. *Ahi Tarım Der/J Ahi Agri* 6, 28-45

Özet

Bitki gelişim dönemi boyunca değişen bitki su tüketimi, bitki katsayıları ile atmosferin etkisini gösteren referans evapotranspirasyonun çarpılmasıyla tahmin edilmektedir. Standart yöntem olarak kabul edilen FAO 56 Sulama ve Drenaj Yayınında, güneşlenme süreleri kullanılarak bitki su tüketiminin itici gücü olan küresel güneş radyasyonu (R_s) hesaplanmaktadır. R_s tahmininde yerel Ångström-Prescott (A-P) katsayılarına (a_s ve b_s) ihtiyaç vardır. Lokal A-P katsayılarının bulunmadığı yerlerde, $a_s = 0,25$ ve $b_s = 0,50$ katsayıları standart alınarak hesaplamalara devam edilmektedir. Kırşehir ilinde güneşlenme süresi rasatlarına 1939 yılında, küresel güneş radyasyonu verilerine ise 1968 yılında başlanmış olmasına rağmen, R_s verileri ancak 2007 yılına kadar temin edilebilmiştir. Bu çalışmada, her iki verinin de bulunduğu 1968-2007 periyodu kullanılarak Kırşehir ilinin yerel A-P katsayılarının hem yıllık hem de aylık olarak tahmin edilmesi, standart olarak önerilen katsayılara göre karşılaştırılması ve Kırşehir için aylık bazda ET_o değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, FAO 56 tarafından önerilen A-P katsayıları ile ET_{o1} serileri elde edilirken, kontrol serisi olarak R_s verileri kullanılarak ET_{o2} serileri hesaplanmıştır. Yerel aylık A-P katsayıları ile ET_{o3} serileri, yerel yıllık A-P katsayıları ile ise ET_{o4} serileri elde edilmiştir. ET_o serilerinin karşılaştırılmasında ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hata (RMSE) test istatistiği olarak kullanılmıştır. ET_{o1}, ET_{o3} ve ET_{o4} serileri için MAE sırasıyla yıllık olarak 143, 60 ve 99 mm, RMSE değerleri ise 192, 83 ve 121 mm olarak belirlenmiştir. Yerel aylık A-P katsayıları minimum hata sonucunu vermiştir. Minimum hatayı veren ET_{o3} serileri ile frekans analizi yapılmıştır. Kolmogorov-Smirnov testine göre söz konusu ET_{o3} serileri normal dağılım göstermiştir. Her bir ay için ET_o frekans ilişkileri elde edilmiş ve Kırşehir'de %95, %75, %50, %25 ve %5 olasılıkla görülen minimum ET_o değerleri her ay için belirlenmiştir. Ortalama yıllık 1112 mm olan ET_o, %95 ve %5 ihtimalle 984 ve 1239 mm arasında değişmiştir. Daha hassas bitki su tüketimi tahminleri için yerel aylık A-P katsayılarının kullanımı ve sulama planlamasında ve projelendirilmelerinde ET_o'da gözlenen varyasyonun dikkate alınması yararlı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Referans evapotranspirasyon, Yerel Ångström-Prescott katsayıları, Frekans analizi

© Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi

AHİ EVRAN TARIM BİLİMLERİ DERGİSİ
AHİ EVRAN JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES
https://dergipark.org.tr/tr/pub/ahitbd

Research article

KIRŞEHİR PROVINCE ÅNGSTRÖM-PRESCOTT COEFFICIENTS AND REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION COMPARISONS

Abstract

Crop water consumption, which varies throughout the growing season, is estimated by multiplying the reference evapotranspiration by crop coefficients, which reflect atmospheric effects. According to the FAO 56 Irrigation and Drainage Paper, the accepted standard method calculates global solar radiation (R_s), the main driver of crop water consumption, from sunshine duration. This method requires local Ångström-Prescott (A-P) coefficients. In the absence of local A-P coefficients, calculations use the standard coefficients of a_s = 0,25 and b_s = 0,50. In Kırşehir, sunshine duration records began in 1939, and global solar radiation data started in 1968; however, Rs data were only available until 2007. This study uses the period from 1968 to 2007, during which both data sets are available, to estimate the local A-P coefficients for Kırşehir on an annual and monthly basis, compare them to the standard coefficients, and analyze the monthly ET_o variation. The ET_{o1} series was calculated using the FAO56-recommended A-P coefficients, while the ET_{o2} series, derived from actual R_s data, served as the control. The ET_{o3} series was obtained using local monthly A-P coefficients, and ET_{o4} was obtained using local annual coefficients. Mean Absolute Error (MAE) and Root Mean Square Error (RMSE) were employed to evaluate the series. Annual MAE for ET_{o1}, ET_{o3}, and ETo4 were 143, 60, and 99 mm, RMSE were 192, 83, and 121 mm, respectively. Local monthly A-P coefficients yielded the lowest errors. Frequency analysis was performed on the ET_{o3} series, which showed the lowest errors. The Kolmogorov-Smirnov test indicated that the ET_{o3} series follows a normal distribution. ET_o frequency relationships were generated for each month, and the minimum ET_o values at 95%, 75%, 50%, 25%, and 5% probability levels were determined for each month. Mean annual 1112 mm ET_o values varied between 984 and 1239 mm at 95 and 5% probabilities. For more accurate crop water-use estimates, employing local monthly A-P coefficients and accounting for ET_o variations during irrigation planning and designing would be advantageous.

Key words: Reference evapotranspiration, Local Ångström-Prescott coefficients, Frequency analysis

© Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Agriculture

GİRİŞ

Atmosferin buharlaşma talebi olarak da tanımlanan referans evapotranspirasyon değeri (ET_o) ile bitkisel farklılıkları yansıtan bitki katsayılarının (K_c) çarpılmasıyla bitki su tüketimi (ET_c) tahmin edilmektedir (Doorenbos ve Kassam 1986; Doorenbos ve Pruitt 1975; Allen vd. 2005; Pereira vd. 2025). FAO-56 yaklaşımında ET_o tahminleri için referans yüzey olarak teorik bir çim yüzeyi kabul edilmiştir. Geniş bir alanı kaplayan bu çim bitkisinin boyu 0,12 m, yüzey direnci 70 $s.m^{-1}$ ve albedosu 0,23 alınmıştır. Referans evapotranspirasyon yardımıyla buharlaşma talebi açısından bölgeler arası karşılaştırmalar yapılabildiği gibi, dikkate alınan bölgede yetişme sezonu boyunca da karşılaştırmalar yapılabilmektedir (Allen vd. 1998). Referans evapotranspirasyonun hassas şekilde tahmin edilmesi, tarımsal su tüketiminin en uygun şekilde kullanılması açısından kritik öneme sahiptir (Gharehbaghi ve Bash, 2026). Bitki gelişme dönemi toplam referans evapotranspirasyon miktarı ile bitki su tüketimi arasında çok kuvvetli doğrusal ilişkiler olduğu belirlenmiş ve referans evapotranspirasyonun yüksek olduğu yıllarda bitki su tüketimlerinin de yüksek olduğu saptanmıştır (Ünlükara ve Kocayiğit, 2024). Atmosferin buharlaştırma talebi, hidrolojik modellerde de kullanılmaktadır. Çeşitli iller için bazı kuraklık indisleri

hesaplamalarında ET_o değerlerinden de yararlanılmıştır (Yürekli vd 2010; Yürekli ve Ünlükara, 2013a; Yürekli vd. 2013b, Sekendur, 2022).

Bitki yetiştirilen bölgenin ET_o değerlerinin hassas şekilde hesaplanması ve o bölgeye özgü bitki Kc eğrisinin en uygun şekilde çizilmesiyle bitki su tüketimi en hassas şekilde tahmin edilebilecektir. Bitki su tüketiminin itici gücü olan güneş enerjisi, meteoroloji istasyonları vasıtasıyla güneş radyasyonu şiddeti/yoğunluğu veya güneşlenme süreleri şeklinde ölçülmektedir. Eğer bazı veri ölçüm değerleri bulunmuyor ise çeşitli alternatif yollar kullanılarak ET_o tahminleri yapılabilmektedir (Allen vd. 1998). Güneş radyasyonuna ilişkin her iki veri kullanılarak hesaplama yapılacaksa, söz konusu bölge için Ångström-Prescott (A-P) katsayıları gereklidir. Ångström-Prescott eşitliği yardımıyla güneşlenme süresi verilerinden küresel güneş radyasyonu verileri elde edilebilir. Güneş radyasyonu yalnızca ET_o hesaplamaları için değil, başta enerji sektörü olmak üzere birçok alanda da gereklidir. Güneş radyasyonu verisi fotovoltaikler, solar termal sistemler ve pasif solar tasarımlar gibi solar enerji uygulamaları için temel bir girdidir. Herhangi bir lokasyonda solar teknolojilerin tasarımı, optimizasyonu ve performans değerlendirilmesi için söz konusu güneş radyasyonu verisi çağdaş, güvenilir ve kullanılabilir olmalıdır (Bulut ve Büyükalaca, 2007). Pahalı ölçüm ekipmanları ve teknolojileri gerektirmesi nedeniyle maalesef gelişmekte olan ülkelerde güneş radyasyonu ölçümleri kolayca yapılamamaktadır.

Kırşehir ilinde 1939 yılından beri meteorolojik ölçümler yapılmasına karşın, küresel güneş radyasyonu verileri 1968-2007 arasında bulunmaktadır. Bu çalışmanın birinci amacı, 1968-2007 arasında ölçülen küresel güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi verileri kullanılarak yerel Ångström-Prescott katsayılarının belirlenmesidir. Yerel A-P katsayılarının bulunmadığı yerlerde FAO 56 tarafından önerilen a_s = 0,25 ve b_s = 0,50 standart katsayıları ile ET_o hesaplamaları yapılabilmektedir. Standart A-P katsayıları ile ET_o tahminlerinde ortaya çıkabilecek sapmaları değerlendirmek bu çalışmanın ikinci amacıdır. Bu çalışmanın amacı minimum hataya sahip Et_o veri serisinin saptanmasını sağlamaktır. Sonra bu veri serisi ile Kırşehir ilinde referans evapotranspirasyonun aylara göre görülme olasılıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Kırşehir Merkez ilçesi için yapılan referans evapotranspirasyon hesaplamalarında, 1968-2007 yılları arasında ölçülen 49 yıllık veri kullanılmıştır. Kırşehir merkez meteoroloji istasyonu 1007 m yükseklikte, 39,16° kuzey enlemi ve 34,16° doğu boylamı üzerinde yer almaktadır. Hesaplamalarda Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen aylık ortalama en düşük sıcaklık ve bağıl nem, en yüksek sıcaklık ve bağıl nem, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu yoğunluğu ve güneşlenme süresi verileri kullanılmıştır (MGM, 2020). 17160 numaralı istasyonda 1939 yılında güneşlenme süresi ölçümleri ve 1968 yılında ise küresel güneşlenme şiddeti ölçümleri alınmaya başlanmıştır. Referans bitki su tüketimi (ET_o) veya atmosferin buharlaşma talebi, Allen vd. (1998)'de belirtilen yöntemlere göre aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır:

$$ET_o = \frac{0.408\,\Delta\,(R_n - G) + \gamma \dfrac{900}{T + 273}\, u_2\, (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma\,(1 + 0.34\, u_2)} \qquad (1)$$

Eşitlik 1'de, ET_o referans evapotranspirasyon (mm/gün), R_n referans yüzeye gelen net güneş radyasyonu (MJ m^{-2} $gün^{-1}$), Δ doygun buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa $°C^{-1}$), G toprak ısı akısı (MJ m^{-2} $gün^{-1}$), T ortalama günlük sıcaklık (°C), γ psikrometrik sabit (kPa $°C^{-1}$), u_2 2 m yükseklikte rüzgâr hızı ($m.s^{-1}$), e_s ve e_a sırasıyla doygun ve güncel buhar basınçlarını göstermektedir. Atmosferin dış yüzeyine gelen güneş radyasyonu (R_a), yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonu (R_s), gökyüzü açıkken yeryüzüne gelen radyasyon (R_{so}), referans yüzey tarafından absorbe edilen net kısa dalga radyasyon (R_{ns}), referans yüzey tarafından kaybedilen net uzun dalga radyasyon

(R_{nl}) ve referans yüzeyde kullanılacak net radyasyon (R_n) hesaplamaları aşağıdaki eşitlikler ile yapılmıştır (Allen vd., 1998):

$$R_a = \frac{24 \cdot (60)}{\pi} G_{sc} d_r \left[\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\omega_s)\right] \quad (2)$$

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N}\right) R_a \quad (3)$$

$$R_{so} = \left(a_s + b_s\right) R_a \quad (4)$$

$$R_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} \times z) \times R_a \quad (5)$$

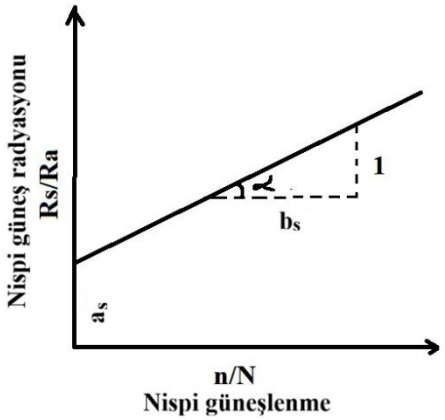
$$R_{ns} = \left(1 - \alpha\right) R_s \quad (6)$$

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{mak,K}^4 + T_{min,K}^4}{2}\right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35\right) \quad (7)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (8)$$

Eşitliklerde; d_r yerküre güneş arası ters nispi uzaklık, G_{sc} solar sabit (0.082 MJ/m^2.dak), φ enlem derecesi (rad), ω_s gün batımı saat açısı (rad), δ solar deklinasyon açısı (rad), N gündüz süresi (saat), n güneşlenme süresi (saat), a_s ve b_s standart Ångström-Prescott (A-P) katsayıları, z ilin rakımı (m), α referans yüzey albedosu (0,23), σ Stefan-Boltzmann sabiti (4.903×10^{-9} MJ/K^{4}m^2), T_{min} ve T_{mak} sırasıyla aylık ortalama en düşük ve en yüksek sıcaklıkları (K) göstermektedir (Allen vd. 1998). Eşitlik 3'teki nispi güneşlenme süresi (n/N) apsis değerlerine karşılık, nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ordinat değerleri işaretlenmiş ve doğrusal regresyonla A-P ilişkileri belirlenmiştir. Bu grafiklerde Kırşehir merkez ilçesinde ölçülen küresel güneş radyasyonu (R_s) ve güneşlenme süresi (n) verileri kullanılmıştır. Mevcut veriler için $R_a > R_{so}$, $R_s > 0$ ve $n \leq N$ kurallarına uymayan veriler ayıklanmıştır (Allen vd. 1998; Ünlükara 2014). A-P ilişkisinde regresyon doğrusundan belirgin şekilde sapma gösteren veriler de saf dışı edilmiştir (Ünlükara 2014, Kırtan 2019, Kaymaz 2020, Baran 2021, Polu 2021, Kılıç 2022). Bunun için $(n/N)/(R_s/R_a)$ oranlarının tanımlayıcı istatistikleri belirlenmiştir. Her bir oranın ortalamadan ($\bar{x}$) farkı, standart sapmaya (σ) oranlanarak Z istatistiği ($Z = (x_i - \bar{x})/\sigma$) hesaplanmıştır. Literatürde buna ilişkin bir kriter bulunamamış olmasına karşın, Z değeri 1.5'ten fazla olan veriler saf dışı bırakıldığında, yaklaşık %5-10'luk bir veri kaybı oluşmuş, ancak belirleme katsayılarında (R^2) önemli iyileşmeler gözlenmiştir.

Office 365 Excel programı yardımıyla 1968-2007 arası aylık nispi güneşlenme (n/N) ve nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) ilişkileri yıllık ve aylık bazda elde edilmiştir. Regresyon ilişkisi ve determinasyon katsayısı (R^2) söz konusu grafikler üzerinde gösterilmiştir. Grafikte doğrunun eğimi b_s ve Y eksenini kestiği değer a_s şeklinde lokal A-P katsayıları belirlenmiştir. Aşağıdaki eşitlikte Angström-Prescott ilişkisi verilmiş (Angstrom 1924, Prescott 1940) ve bu ilişkideki tüm terimler Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Nispi güneşlenme ve nispi güneş radyasyonu arası Ångström-Prescott ilişkisi

1968-2007 arası ölçülmüş R_s değerleri ve lokal A-P katsayıları ile kontrol ET_{o2} serisi aylık olarak hesaplanmıştır. Lokal A-P katsayılarının olmaması durumunda a_s = 0,25 ve b_s = 0,50 katsayıları kullanılarak 1968-2007 arası periyot için aylık ET_{o1} serisi elde edilmiştir. Tüm aylar için lokal A-P katsayıları ve n verileri ile ET_{o3} serisi, her ay için lokal yıllık A-P katsayıları ve aylık n verileri ile ET_{o4} serisi elde edilmiştir. Açık gökyüzü güneş radyasyonu (R_{so}) lokal A-P katsayılarının bilinmemesi durumunda Eşitlik 5 ile ve A-P katsayılarının bilinmesi durumunda Eşitlik 4 ile hesaplanmıştır. Farklı A-P katsayıları ile elde edilen ET_o serilerinin kontrol ET_{o2} serisinden gösterdiği sapmaları değerlendirmek için 1968-2007 arası dönem için Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve kök ortalama kare hata (RMSE) aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır:

$$MAE = \frac{\sum|ET_{o2} - ET_{oi}|}{n} \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(ET_{o2} - ET_{oi})^2}{n}} \quad (11)$$

Minimum hata sonucunu veren seri en iyi tahmin yapan seri olarak değerlendirilmiştir.

Referans evapotranspirasyon değerlerinin tekrarlama sürelerinin belirlenmesi için James (1988)'e göre frekans analizi yapılmıştır.

$$RP = \frac{100}{P} \quad (12)$$

Eşitlik 12'de RP, tekrarlama süresidir ve P ise herhangi bir ET_o değerine eşit olma veya onun aşılma olasılığıdır. Küçükten büyüğe doğru sıralanan aylık ET_o değerlerinin meydana gelme ihtimali eşitlik 13 ile bulunmuştur:

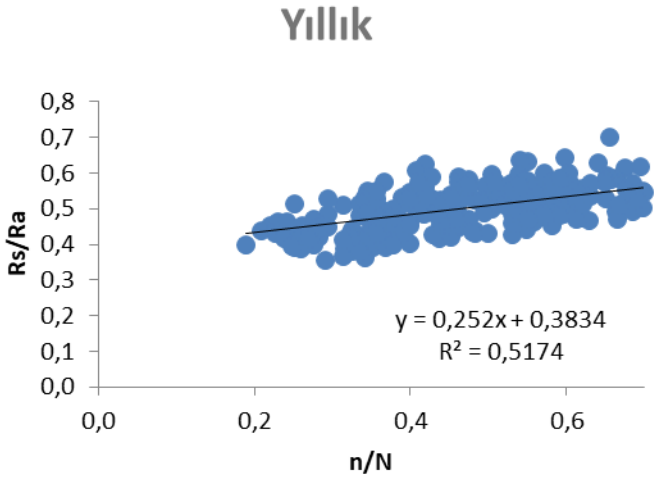
$$P = \left(1 - \frac{R}{M+1}\right) \cdot 100 \quad (13)$$

Eşitlik 13'te P, referans evapotranspirasyonun dikkate alınan değerine eşit veya daha yüksek olma ihtimalini (%); R ise sıralanmış ET_o değerlerinin sırasını; M ise toplam ET_o değerlerinin sayısını ifade etmektedir. IBM SPSS 25 paket programı kullanılarak ihtimal düzeylerine karşılık ET_o değerleri ilişkisinin normal dağılım gösterip göstermediğini saptamak için Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri uygulanmıştır. Uzun yıllar boyunca aylık veri sayısının 50 adetten küçük olması nedeniyle tercih edilen Kolmogorov-Smirnov testinde, önem düzeyinin 0,05 değerinden büyük olması durumunda ihtimal dağılımının normal dağılım olduğu kabul edilmektedir. Tüm aylarda verilerin normal dağılım göstermesi nedeniyle herhangi bir ET_o'nun meydana gelme olasılığı ilişkisi doğrusal regresyon ile saptanmıştır. Söz konusu frekans eşitlikleri kullanılarak %95, %75, %50, %25, %10 ve %5 olasılıklarında veya her 1,05, 1,33, 2,0, 4,0, 10 ve 20 yıl tekrarlama sürelerinde karşılaşılacak minimum ET_o değerleri aylık ve yıllık bazda saptanmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Güneş Radyasyonu Yoğunluğu ile Nispi Güneşlenme Arasındaki İlişki ve Ångström-Prescott Katsayıları

Aylık ortalama güneşlenme süresinin (n) gün uzunluğuna (N) oranı olan nispi güneşlenme süresi (n/N) ile yere ulaşan güneş radyasyonunun (R_s) atmosfer dışına ulaşan radyasyona (R_a) oranı olan nispi güneş radyasyonu (R_s/R_a) arasındaki yıllık ilişki, Kırşehir ili için Şekil 2'de gösterilmiştir. Yıllık bazda Kırşehir iline tamamen kapalı bir günde R_a'nın %38,34'ü (a_s = 0,3834) ulaşmasına karşılık, tamamen açık bir günde ise R_a'nın %63,54'ü (a_s + b_s = 0,6354) ulaşmaktadır. Lokal A-P katsayılarının olmaması durumunda önerilen a_s = 0.25 ve b_s = 0.50 değerleri dikkate alındığında, yıllık bazda hesaplanan bu değerlere göre kapalı günde gelen radyasyon oranı daha yüksek olmasına karşın, açık günde gelen radyasyon oranı (0.6364 < 0.75) daha düşük olmuştur. Kısmen bulutlu günlerde ise b_s katsayısı 0,252 olup FAO 56 tarafından önerilen 0,50 katsayısına göre çok daha düşük bulunmuştur. Şen (2001) tarafından ise Angström modelinin açık günlerde düşük tahminde, kapalı günlerde ise aşırı tahminde bulunduğu belirtilmiştir. A-P katsayıları için yapılan araştırmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin açık günde R_a'nın yeryüzüne ulaşma oranı Nevşehir ili için %77,29 (Ünlükara ve Şimşek, 2023), Bilecik için %65,28, Bursa için %65,09, Çanakkale için %64,59, Edirne için %54,49, İstanbul için %59,22, Kırklareli için %79,59, Kocaeli için %59,64, Sakarya için %72,45, Tekirdağ için %67,6 ve Yalova için %74,17 olarak saptanmıştır (Baran, 2021). Klasik Ångström-Prescott ilişkisini temsil eden M1 modeline göre Şahan (2021) tarafından Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş için a_s katsayıları sırasıyla 0,2317, 0,176 ve 0,258, b_s katsayıları ise 0,3483, 0,382 ve 0,470 olarak saptanmıştır. Güçlü (2019) tarafından klasik A-P ilişkisiyle Diyarbakır için a_s 0,2893 ve b_s 0,4871 olarak belirlenmiştir. Tüm bu sonuçlara göre, A-P katsayılarının yer ve iklim koşullarına göre değişebildiği sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde, Liu vd. (2023) özel iklim şartları ve karmaşık arazi yapısı nedeniyle A-P model katsayılarının Tibet Yaylası'ndaki farklı istasyonlarda belirgin şekilde değiştiğini belirtmiştir.

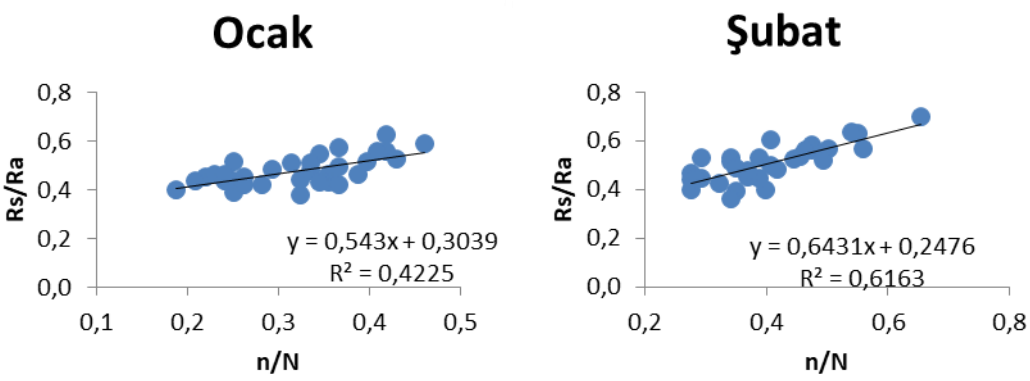


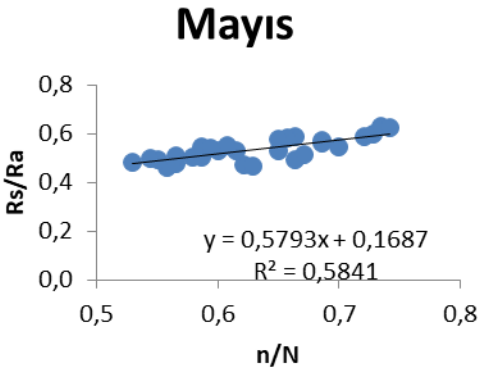
Şekil 2. Kırşehir İli yıllık Ångström-Prescott ilişkisi

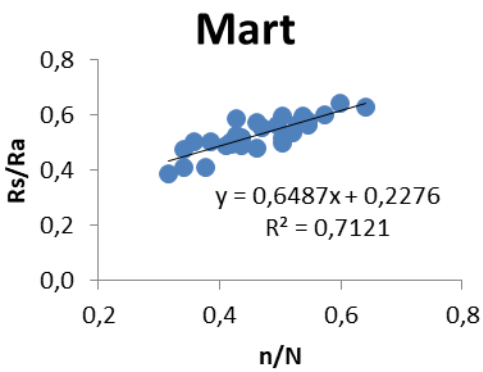
Şekil 2 benzeri grafikler her bir ay için ayrı ayrı elde edilmiş; aylık Ångström-Prescott ilişkileri Şekil 3'te, aylık katsayılar ise özet şekilde Tablo 1'de verilmiştir.

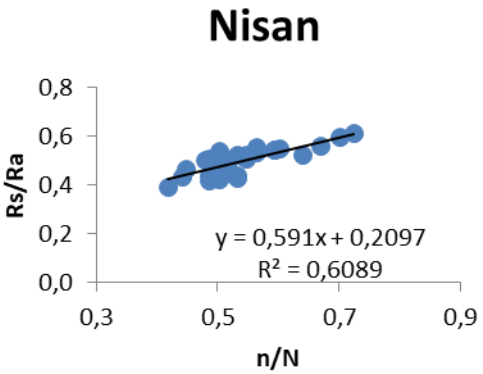
Tablo 1. Aylara Göre Angstrom Katsayıları ve Ortalama Referans Evapotranspirasyon (mm.gün^{-1})

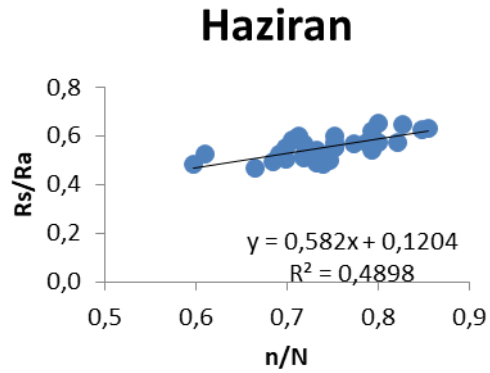
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
a_s	0,3039	0,2476	0,2276	0,2097	0,1687	0,1204	0,1229	0,2116	0,2128	0,1526	0,3476	0,2315
b_s	0,5430	0,6431	0,6487	0,5910	0,5793	0,5820	0,5455	0,4368	0,4721	0,6289	0,3164	0,6615
a_s+ b_s	0,8469	0,8907	0,8763	0,8007	0,748	0,7024	0,6684	0,6484	0,6849	0,7815	0,6640	0,8930
ET_o	0,72	1,23	2,08	2,94	3,89	4,82	5,83	5,40	3,97	2,54	1,14	0,85

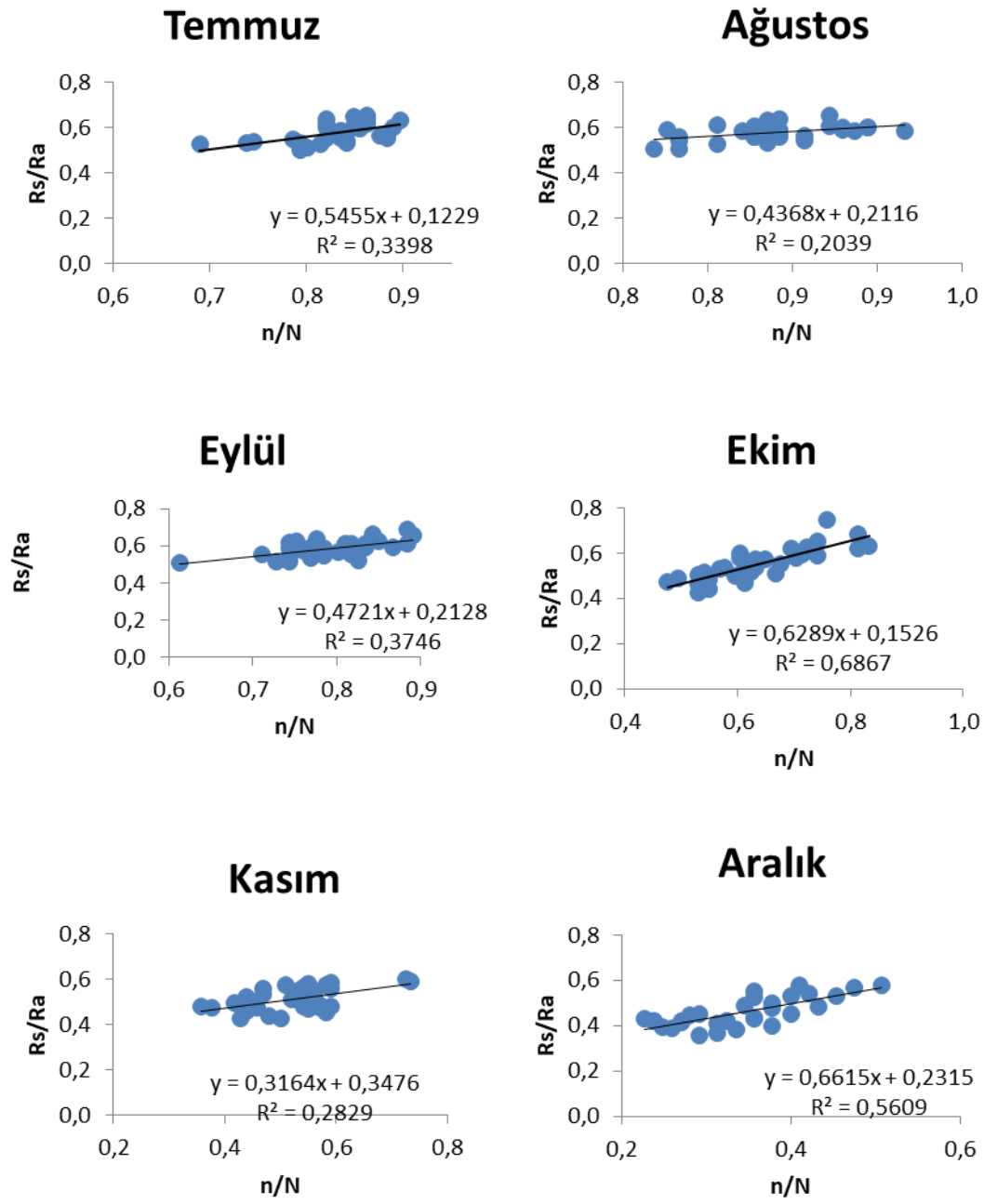












Şekil 3. Kırşehir İli Aylık Ångström-Prescott İlişkileri

Tablo 1 değerleri incelendiğinde, açık bir günde Kırşehir'de atmosfer dış yüzey radyasyonu R_a'nın en yüksek oranda (%89,3) aralık ayında ve en düşük oranda (%64,84) ağustos ayında yeryüzüne ulaştığı görülmüştür. Kapalı bir günde ise R_a'nın yeryüzüne ulaşma oranını temsil eden a_s değeri 0,1204-0,3476 arasında değişmiştir. Bulutluluk ve bulut tiplerine göre R_a'nın yeryüzüne ulaşma oranını temsil eden b_s değeri, 0,3164-0,6615 arasında değişmiştir. Yağışlar genellikle cephe ve konveksiyonel olmak üzere 2 ana tipe ayrılabilir. Türkiye'deki yağışların büyük çoğunluğu soğuk ve sıcak hava kütlelerinin karşılaşmasıyla meydana gelen cephe yağışlarıdır. Anadolu'da

ilkbahar ve yazın başlarında düşen yağışlarda konvektif hareketler önemli bir rol oynar. Diğer taraftan, oraj olarak bilinen şiddetli yağışlar, kıyı bölgelerinde cephe yağışlarıyla; iç bölgelerde ise havanın zeminde ısınmasına bağlı olarak oluşan konvektif kararsızlıkla ilişkilidir. Orajın oluştuğu sırada gökyüzündeki bulutlar *cumulonimbus* bulutlarına dönüşür (Atalay, 2010). Konvektif yağışlar bölgesel olarak oluşmuş, nem oranı yüksek dikey gelişimli bulutlardan düşmektedir. Bu bulutlar içerisinde *cumulonimbus* bulutları yer yüzeyinden 600 m kadar yüksekliklerde başlamakta ve troposferin üst sınırına yaklaşık 12 km'ye kadar uzanmaktadır (Ahrens, 2008). Bu nedenle güneş radyasyonu geçirgenliğinin son derece düşük olması beklenmektedir. Dolayısıyla, mayıs, haziran ve temmuz aylarında kapalı bir günde daha düşük oranda güneş radyasyonu gelmesinin nedeni bu durumdan kaynaklanıyor olabilir.

Allen vd. (1998), hesaplama yapılan yerin A-P katsayılarının olmaması durumunda a_s ve b_s değerlerinin sırasıyla 0,25 ve 0,50 alınmasını önermiştir. Allen vd. (1998) tarafından önerilen bu katsayılar, Kırşehir için elde edilen A-P katsayılarının sınır değerleri arasındadır. A-P katsayıları Kırşehir'de aydan aya değişim göstermektedir. Benzer şekilde Kılıç (2022) Adıyaman için a_s değerinin 0,0624-0,2670 arasında, b_s değerinin ise 0,3128-0,5061 arasında aylara göre değiştiğini, Kaymaz (2020) Kahramanmaraş için a_s değerinin 0,0204-0,2424 arasında, b_s değerinin 0,5088-0,7732 arasında değiştiğini, Polu (2021) Erzurum için a_s değerinin 0,0799-0,5180 arasında, b_s değerinin 0,1772-0,6759 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Banihashemi vd (2022) tarafından güneş radyasyonu tahmininde kullanılan Angstrom-Prescott modelinin optimizasyon algoritmaları ile kalibrasyonu ve doğrulanması amacıyla yapılan bir çalışmada, A-P modelinin tüm istasyonlarda diğer geliştirilmiş modellere göre daha doğru ve daha az hatayla güneş radyasyonu tahmin ettiğini bildirmiştir.

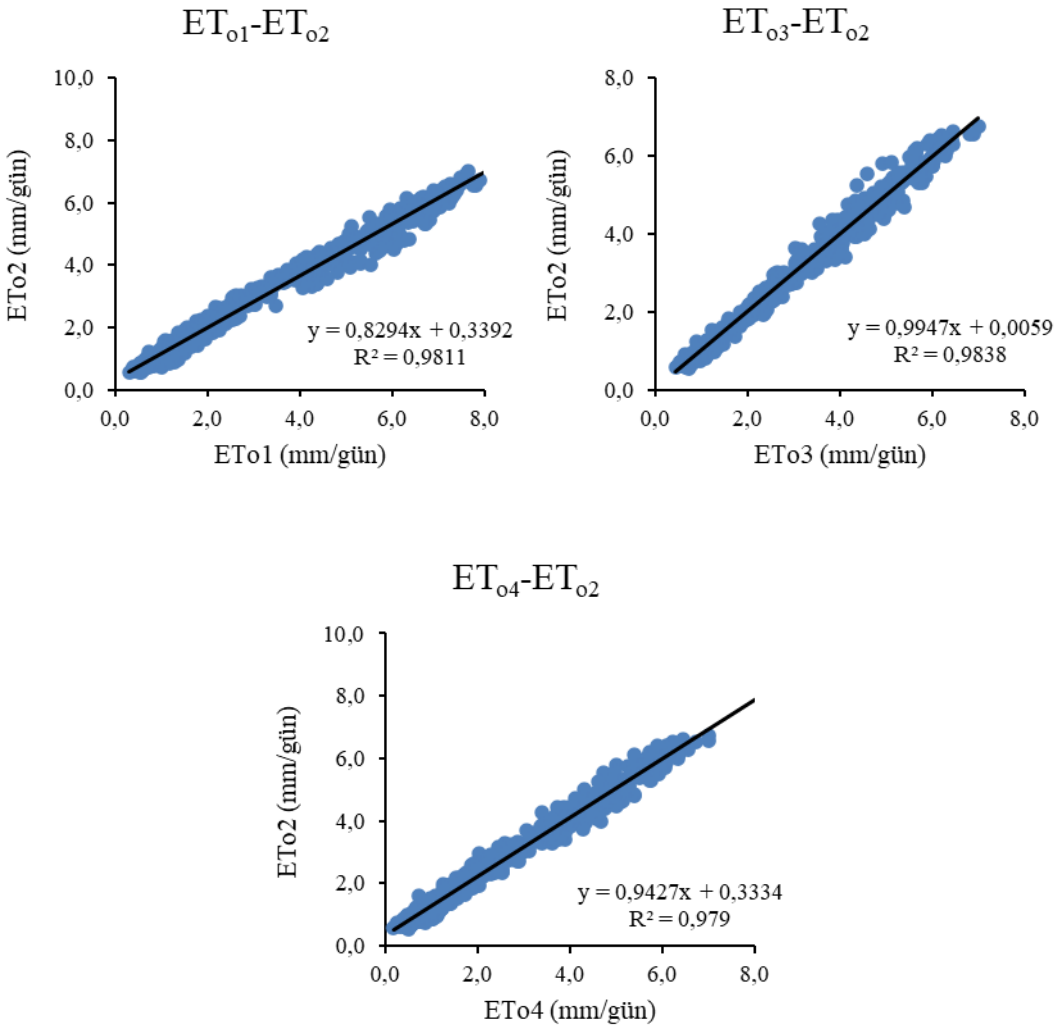
Ahrens (2009), atmosfere giren radyasyonun ortalama %19'unun atmosfer ve bulutlar tarafından absorbe edildiğini, %6'sının atmosfer tarafından dağıtıldığını, %20'sinin bulutlar tarafından yansıtıldığını ve %4'ünün yeryüzeyinden yansıtıldığını belirtmiştir. Nihayetinde, R_a'ın ancak %51 kadarının yeryüzü tarafından absorbe edildiğini ifade etmiştir. Üzerine gelen radyasyonu yansıtma oranı olarak tanımlanan albedo, kalın bulutlar için %60-90 ve ince bulutlar için %30-50 arasında değişmektedir. Gökyüzünün bulutlarla kaplanma oranına göre açık gökyüzü, az bulutlu, parçalı bulutlu, çok bulutlu ve kapalı olarak nitelendirilmektedir (Ahrens, 2009). Atmosfer şartları anlık ve mevsimlik olarak değişmektedir. Belirlenen lokal A-P katsayıları gökyüzündeki bu değişimi bir şekilde temsil etmekte ve güneşlenme sürelerinden güneş radyasyonunun tahmininde kullanılmaktadır.

Güneş Radyasyonu ve Güneşlenme Sürelerinden Elde Edilen Referans Evapotranspirasyon

Güneş radyasyonu şiddeti (R_s) verileri kullanılarak elde edilen kontrol ET_{o2} serisi ile güneşlenme süresi (n) verileri a_s= 0,25 ve b_s= 0,50 alınarak bulunan ET_{o1} serisi, Kırşehir için aylık lokal A-P katsayıları kullanılarak elde edilen ET_{o3} serisi ve yıllık lokal A-P katsayıları kullanılarak elde edilen ET_{o4} serisi arasındaki farklılıklar ortalama mutlak hata (MAE) ve kök ortalama kare hata (RMSE) sonuçlarıyla değerlendirilmiştir. Ortalama mutlak hata dikkate alındığında, Kırşehir'de yıllık toplam ET_{o1}= 1186 ± 143 mm, ET_{o2}= 1105 mm (kontrol), ET_{o3}= 1112 ± 60 mm ve ET_{o4}= 1042 ± 99 mm olarak belirlenmiştir. Kök ortalama kare hata (RMSE) dikkate alındığında Kırşehir'de yıllık toplam ET_{o1}= 1186 ± 192 mm, ET_{o2}= 1105 mm (kontrol), ET_{o3}= 1112 ± 83 mm ve ET_{o4}= 1042 ± 121 mm olarak belirlenmiştir. Minimum hata sonuçları, aylık lokal A-P katsayıları kullanılarak elde edilmiştir. Yıllık A-P katsayıları ile yapılan tahminlerde hata, aylıklara göre yapılanlardan daha büyük; ancak standart katsayılara göre yapılanlardan daha küçük bulunmuştur. Dolayısıyla aylık A-P katsayılarının kullanımıyla daha hassas ET_o tahminleri elde edilmiştir. TAGEM-DSİ (2017) tarafından Kırşehir için yıllık toplam ET_o değeri 1114 mm olarak verilmiştir. Aylık yerel A-P katsayılarına göre belirlenen 1112 mm değerine göre yaklaşık olarak aynıdır.

Regresyon ve korelasyon analizi yapılarak ET_o serileri arasındaki ilişki ortaya konulmaya çalışılmıştır (Şekil 3). Böylece bu ilişkiler kullanılarak, ET_o serilerinden birinden diğer ET_o serisi tahmin edilebilir. Şekil 3'teki

grafiklerde regresyon eşitliği determinasyon katsayıları (R^2) ve bunun kare kökü alınarak bulunan korelasyon katsayılarına (R) göre her iki veri serisi arasındaki ilişki son derece kuvvetli bulunmuştur.



Şekil 4. Referans evapotranspirasyon serileri arası ilişki

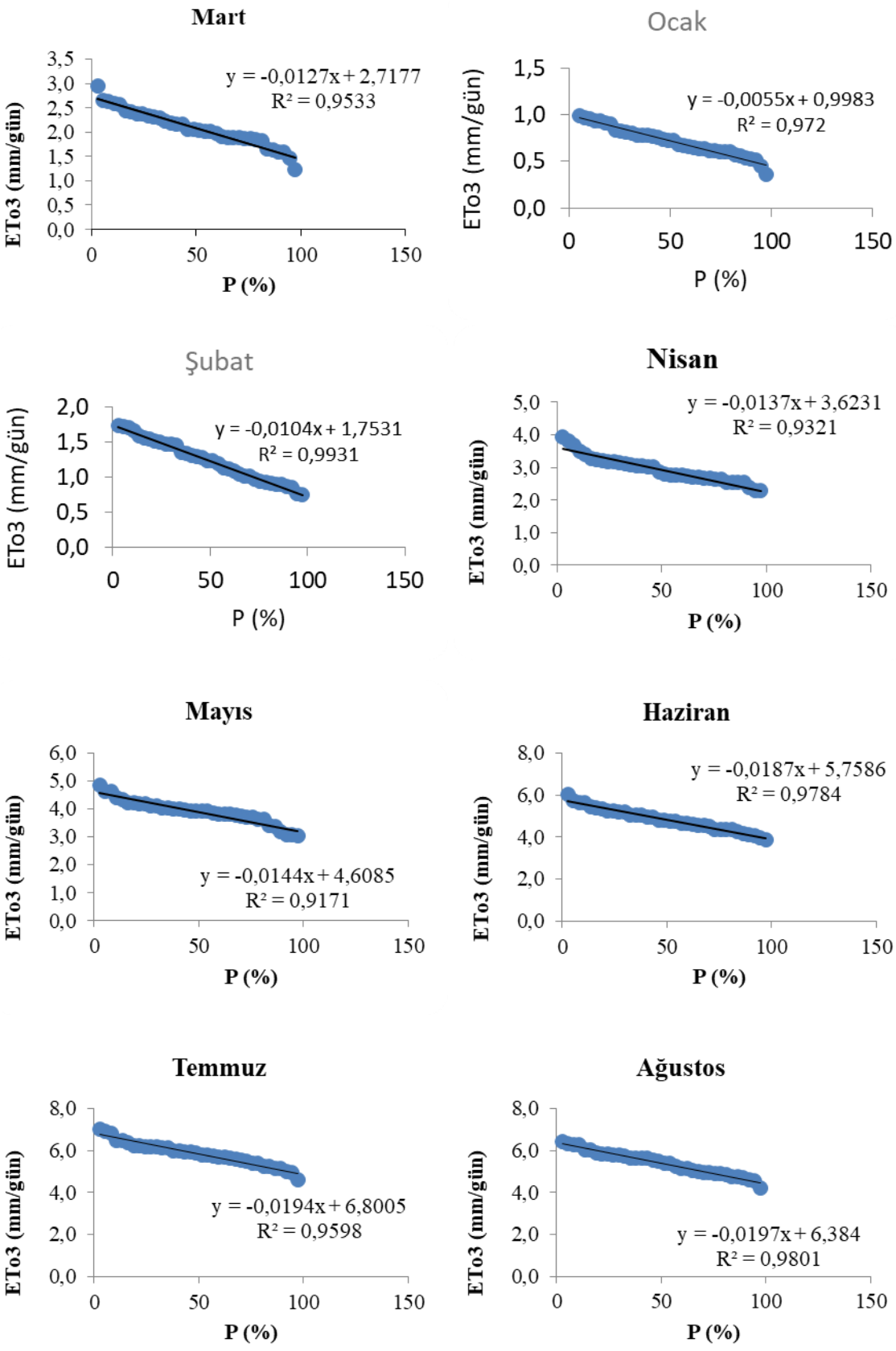
Tablo 2'de aylık MAE ve RMSE hata sonuçları verilmiştir. Tüm aylar için en düşük hata, Tablo 2'de gri renkli alanda gösterildiği gibi lokal A-P katsayılarının kullanılmasıyla elde edilmiştir. Dolayısıyla aylık lokal A-P katsayılarının kullanımıyla daha hassas ET_o sonuçları tahmin edilecektir.

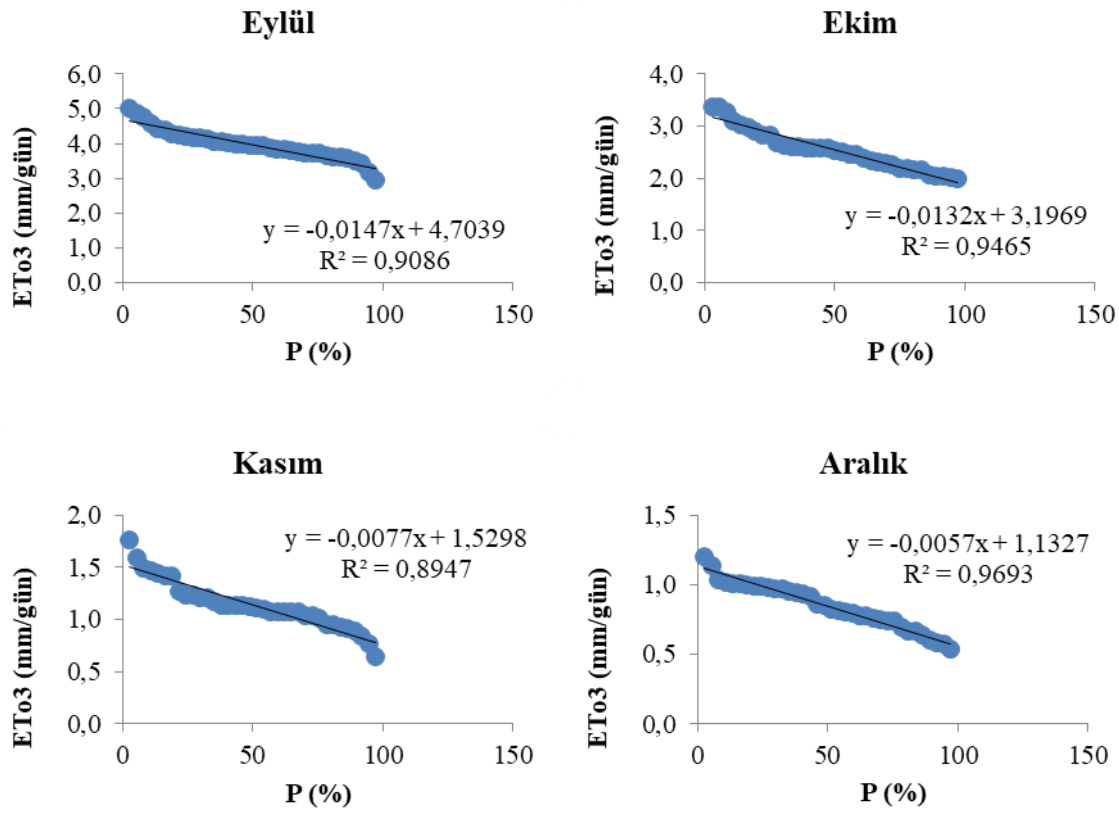
Tablo 2. Aylara Göre Referans evapotranspirasyon serileri arası ilişki ($mm.ay^{-1}$)

	Hata	Aylar											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ET_{o1}-ET_{o2}	MAE	0,17	0,23	0,27	0,17	0,32	0,67	0,92	0,95	0,53	0,13	0,17	0,17
	RMSE	0,18	0,26	0,30	0,19	0,42	0,74	0,97	0,99	0,57	0,18	0,21	0,19
ET_{o3}-ET_{o2}	MAE	0,07	0,11	0,12	0,17	0,25	0,28	0,26	0,22	0,18	0,14	0,09	0,07
	RMSE	0,10	0,14	0,17	0,19	0,32	0,35	0,34	0,29	0,24	0,17	0,11	0,09
ET_{o4}-ET_{o2}	MAE	0,24	0,33	0,41	0,29	0,28	0,27	0,28	0,24	0,24	0,33	0,10	0,25
	RMSE	0,26	0,37	0,46	0,34	0,34	0,34	0,33	0,31	0,30	0,40	0,12	0,29

Kırşehir Referans Evapotranspirasyon Değerleri Frekans Analizi

Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testlerine göre ET_o serilerinin normal dağılım gösterdiği saptanmıştır. ET_o değerleri ile meydana gelme olasılıkları arasındaki ilişkiler aylık bazda Şekil 5 ve yıllık bazda Şekil 7'de gösterilmiştir. Tüm bu ilişkilerde belirleme katsayısı (R^2) 0,90'ın üzerinde bulunmuştur. Zamanın %5'inde, %10'unda, %25'inde, %50'sinde, %75'inde ve %95'inde görülebilecek ET_o değerlerine eşit veya bu değerlerden daha büyük ET_o değerleri günlük olarak Tablo 2'de ve aylık olarak Tablo 3'te verilmiştir. En az ET_o değerlerinin belirlendiği ocak ayında ET_o 0,48 mm/gün ile 0,97 mm/gün arasında, en fazla ET_o değerlerinin gözlendiği temmuz ayında ise 4,96 mm/gün ile 6,70 mm/gün arasında değişmiştir. Benzer şekilde, Yamaç (2021) tarafından Konya ilinde yapılan bir çalışmada günlük ET_o değerlerinin 0,37 ile 10,91 mm/gün arasında değişebileceği belirtilmiştir. Aylık ortalama ET_o değerleri, %50 aşılma olasılığına sahip ET_o değerlerini temsil etmektedir. Dolayısıyla, zamanın yarısında ET_o bu değerlerden daha düşük, diğer yarısında ise daha yüksek olacaktır. Örneğin, temmuz ve ağustos ayları genellikle bitkilerin en yüksek oranda su tükettiği aylardır. Bu aylarda patates ve ayçiçeği 1,15, şeker pancarı ve mısır 1,20, çerezlik kabak ise 0,95 düzeyinde bitki katsayılarına (K_c) sahiptir. Ortalama ET_o değerlerine göre patates ve ayçiçeği temmuzda 208 mm, şeker pancarı ve mısır 217 mm, çerezlik kabak 172 mm su tüketirken, zamanın %5'inde görülen 6,70 mm/gün ET_o dikkate alındığında patates ve ayçiçeği 236 mm, şeker pancarı ve mısır 249 mm, çerezlik kabak 197 mm su tüketecektir. Ortalama değerler dikkate alınarak yapılan sulama projelerinde bu dönemlerde bitki ihtiyacının eksik karşılanması söz konusu olacak ve su stresi nedeniyle verim kayıpları muhtemel olacaktır.


Mart
y = -0,0127x + 2,7177
R² = 0,9533
ETo3 (mm/gün)
P (%)
Ocak
y = -0,0055x + 0,9983
R² = 0,972
ETo3 (mm/gün)
P (%)
Şubat
y = -0,0104x + 1,7531
R² = 0,9931
ETo3 (mm/gün)
P (%)
Nisan
y = -0,0137x + 3,6231
R² = 0,9321
ETo3 (mm/gün)
P (%)
Mayıs
y = -0,0144x + 4,6085
R² = 0,9171
ETo3 (mm/gün)
P (%)
Haziran
y = -0,0187x + 5,7586
R² = 0,9784
ETo3 (mm/gün)
P (%)
Temmuz
y = -0,0194x + 6,8005
R² = 0,9598
ETo3 (mm/gün)
P (%)
Ağustos
y = -0,0197x + 6,384
R² = 0,9801
ETo3 (mm/gün)
P (%)



Şekil 5. Kırşehir ile aylık referans evapotranspirasyon frekans ilişkileri

Tablo 3 Çeşitli İhtimal Düzeylerinde Görülebilecek Referans Evapotranspirasyon Değerleri (mm.gün^{-1})

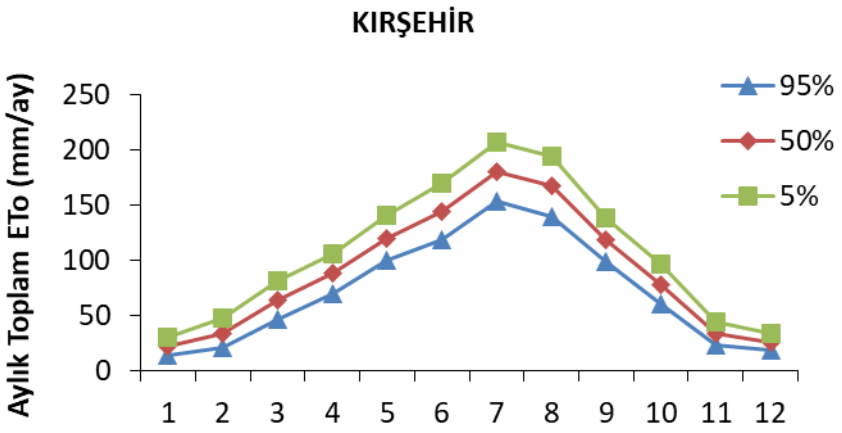
P	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
%95	0,48	0,77	1,51	2,32	3,24	3,98	4,96	4,51	3,31	1,94	0,80	0,59
%75	0,59	0,97	1,77	2,60	3,53	4,36	5,35	4,91	3,60	2,21	0,95	0,71
%50	0,72	1,23	2,08	2,94	3,89	4,82	5,83	5,40	3,97	2,54	1,14	0,85
%25	0,86	1,49	2,40	3,28	4,25	5,29	6,32	5,89	4,34	2,87	1,34	0,99
%10	0,94	1,65	2,59	3,49	4,46	5,57	6,61	6,19	4,56	3,06	1,45	1,08
%5	0,97	1,70	2,65	3,55	4,54	5,67	6,70	6,29	4,63	3,13	1,49	1,10

Tablo 4 Çeşitli İhtimal Düzeylerinde Görülebilecek Referans Evapotranspirasyon Değerleri (mm.ay^{-1})

P	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
%95	14,7	21,4	46,8	69,6	100,5	119,5	153,7	139,9	99,2	60,2	23,9	18,3
%75	18,2	27,2	54,7	77,9	109,4	130,7	165,7	152,1	108,0	68,4	28,6	21,9
%50	22,4	34,5	64,6	88,1	120,5	144,7	180,7	167,4	119,1	78,6	34,3	26,3
%25	26,7	41,8	74,4	98,4	131,7	158,7	195,8	182,6	130,1	88,9	40,1	30,7
%10	29,2	46,2	80,3	104,6	138,4	167,1	204,8	191,8	136,7	95,0	43,6	33,3
%5	30,1	47,6	82,3	106,6	140,6	170,0	207,8	194,9	138,9	97,1	44,7	34,2

Aylık olarak ET_o ocak ayında 14,7 mm ile 30,1 mm ve temmuz ayında ise 153,7 mm ile 207,8 mm arasında değişmiştir. Zamanın %95'inde, %50'sinde ve %5'inde hesaplanan ET_o değerlerindeki değişimler grafiksel olarak

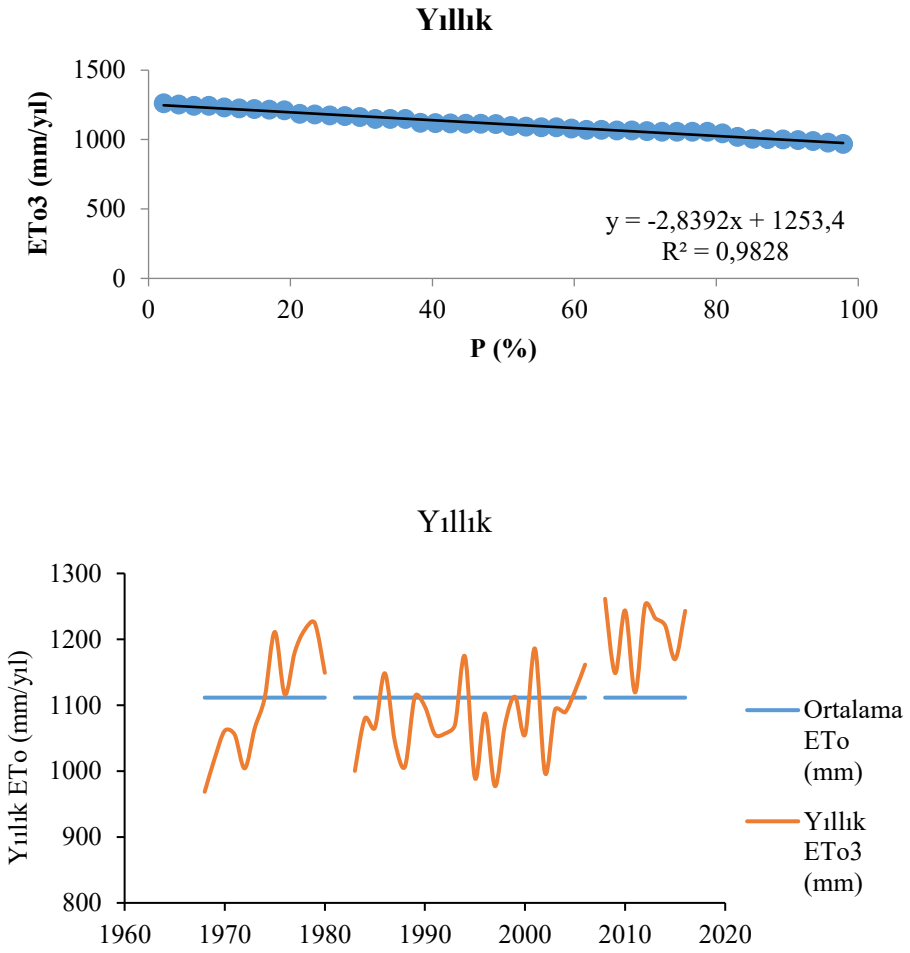
Şekil 6'da gösterilmiştir. Normal dağılım sergileyen ET_o değerleri en yüksek seviyeye temmuz ayında ulaşmaktadır. Ocak ve aralık aylarına doğru ET_o değerleri en düşük düzeye inmektedir.



Şekil 6. Kırşehir ilinde %95, %50 ve %5 ihtimalle aylık ET_o değişimi

Normal dağılım gösteren yıllık ET_o değerlerinin ihtimal ilişkisi Şekil 7'de verilmiştir. Kırşehir'de 1968-2007 yılları arasında ET_o, yıllık bazda 969-1243 mm arasında değişmiş ve ortalama yıllık ET_o 1112 mm olarak hesaplanmıştır. Zamanın %5'i, %10'u, %25'i, %50'si, %75'i ve %95'inde görülebilecek ET_o değerlerine eşit veya bu değerlerden daha büyük ET_o değerleri yıllık olarak sırasıyla 1239 mm, 1225 mm, 1182 mm, 1112 mm, 1040 mm ve 984 mm olarak saptanmıştır (Şekil 7). Zamanın %5'inde ET_o ortalamadan %11,5 daha büyük ve zamanın %95'inde %11,5 kadar daha küçük olabilmektedir. ASCE Standardize Penman-Monteith eşitliğine göre TAGEM-DSİ (2017) tarafından Kırşehir ilinin ortalama yıllık ET_o değeri 1114 mm olarak tahmin edilmiştir. Climwat 2.0 verileri ile Cropwat 8.0 programı çalıştırılmış ve Kırşehir'de yıllık ET_o 1033 mm olarak tahmin edilmiştir. Dadaser-Celik vd. (2016), Türkiye'de çoğu meteoroloji istasyonunun son 32 yıllık dönemde yıllık referans evapotranspirasyonun 750 ile 1200 mm arasında olduğunu ve ET_o'nun kuzeyden güneye doğru kademeli olarak arttığını bildirmiştir.

1968-2007 arasında Kırşehir ili yıllık ET_o toplamının ortalama ET_o değeri etrafında değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Kırşehir'de ortalama 1112 mm olan yıllık referans evapotranspirasyon, 1968 yılında 969 mm ile 2008 yılında 1262 mm arasında değişmiştir.



Şekil 7. 1968-2007 arasında yıllık olarak Kırşehir ili ET_o değişimi

SONUÇ

Kapalı bir günde atmosfer dış yüzeyine gelen radyasyonun yeryüzüne ulaşma oranını gösteren a_s katsayısı, Kırşehir'de 0,1204-0,3474 arasında değişmiştir. Bulutluluğa bağlı olarak b_s katsayısı 0,3164-0,6615 arasında değişmiştir. Tamamen açık bir günde ise as+bs toplamı 0,6484 ile 0,8930 arasında değişmiştir.

Kırşehir ilinde ortalama yıllık evapotranspirasyon (ET_o) 1112 mm'dir. 1968-2007 arası dönem için yapılan frekans analizine göre bu değer, %95 ve %5 olasılıkla 984 mm ile 1239 mm arasında değişmektedir.

Güneş radyasyonu verilerine göre hesaplanan referans evapotranspirasyon (ET_o) değerleri ile güneşlenme süresi ve aylık lokal Ångström-Prescott katsayılarının kullanılmasıyla hesaplanan ET_o değerleri arasında çok küçük bir fark bulunmuştur. Bu nedenle Kırşehir ili için aylık lokal Ångström-Prescott katsayılarının kullanımıyla ET_o değerlerinin daha hassas bir şekilde tahmin edilmesi mümkün olacaktır.

Lokal Ångström-Prescott katsayılarının bulunmaması durumunda önerilen a_s = 0,25 ve b_s = 0,50 katsayıları ile hesaplanan ET_o değerlerinin hata miktarı daha yüksek bulunmuş; ancak bu hata, yıllık lokal Ångström-Prescott

katsayıları (a_s = 0,3834 ve b_s = 0,252) ile hesaplanan ET_o değerleri için bulunan hata düzeylerinden çok küçük miktarda fazla çıkmıştır. Dolayısıyla, yıl boyu bulutluluk ve bulut tipleri gibi atmosferik şartlardaki değişimin, Ångström-Prescott katsayıları üzerinde etkili olması nedeniyle aylık lokal A-P katsayılarının kullanımının tahmin hatasını azalttığı sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında verileri uzun süre boyunca kaydeden Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Makalenin hiçbir yazarı için bilinen ya da olası bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR

Ahrens, C. D. (2009). Meteorology today (9. Baskı). Brooks/Cole.

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). FAO.

Allen, R. G., Walter, I. A., Elliott, R. L., Howell, T. A., Itenfisu, D., Jensen, M. E., & Snyder, R. L. (2005). The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. American Society of Civil Engineers.

Angstrom, A. (1924). Solar and terrestrial radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 50(211), 121–126.

Anonymous. (2014). TUMAS veri arşiv sistemi. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü.

Atalay, İ. (2010). Uygulamalı klimatoloji. META Basım Matbaacılık Hizmetleri.

Banihashemi Dehkordi, S. N., Bakhtiari, B., Qaderi, K., & Ahmadi, M. M. (2022). Calibration and validation of the Angstrom–Prescott model in solar radiation estimation using optimization algorithms. Scientific Reports, 12(1), 4855. https://doi.org/10.1038/s41598-022-08851-z

Baran, A. (2021). Marmara Bölgesi referans evapotranspirasyon hesaplamalarında güneş radyasyon verileri ve referans evapotranspirasyon frekans analizi [Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi].

Bulut, H., & Büyükalaca, O. (2007). Simple model for the generation of daily global solar-radiation data in Turkey. Applied Energy, 84(5), 477–491.

Dadaser-Celik, F., Cengiz, E., & Guzel, O. (2016). Trends in reference evapotranspiration in Turkey: 1975–2006. International Journal of Climatology, 36(4), 1733–1743.

Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1986). Yield response to water (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33). FAO.

Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1975). Guidelines for predicting crop water requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24). FAO.

Gharehbaghi, A., & Bash, A. K. (2026). An advanced complex hybrid machine learning model for forecasting reference evapotranspiration. Physics and Chemistry of the Earth, 143, 104382.

Güçlü, Y. S. (2019). Angström-Prescott modelinin polinom ile geliştirilmesi ve Diyarbakır güneş ışınımı verilerine uygulanması. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7(1), 75–88.

James, L. G. (1988). Principles of farm irrigation system design. John Wiley & Sons Inc.

Kaymaz, E. (2020). Akdeniz Bölgesi referans evapotranspirasyon hesaplamalarında güneş radyasyon verileri ve referans evapotranspirasyon frekans analizi [Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi].

Kılıç, M. (2022). Güneydoğu Anadolu Bölgesi çim bitkisi referans evapotranspirasyonu karşılaştırmaları ve frekans analizi [Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi].

Kırtan, A. (2019). Karadeniz Bölgesi referans evapotranspirasyon hesaplamalarında güneş radyasyon verileri ve referans evapotranspirasyon frekans analizi [Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi].

Liu, J., Shen, Y., Zhou, G., Liu, D. L., Yu, Q., & Du, J. (2023). Calibrating the Ångström–Prescott model with solar radiation data collected over long and short periods of time over the Tibetan Plateau. Energies, 16(19), 7093.

Pereira, L. S., Allen, R. G., Paredes, P., Lopez-Urrea, R., Raes, D., Smith, M., Kilic, A., & Salman, M. (2025). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 Rev. 1). FAO.

Polu, P. S. (2021). Doğu Anadolu Bölgesi referans evapotranspirasyon hesaplamalarında güneş radyasyon verileri ve referans evapotranspirasyon frekans analizi [Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi].

Prescott, J. A. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Transactions of the Royal Society of South Australia, 64, 114–118.

Sekendur, F. (2022). Calculation of Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) by different evapotranspiration methods and nation-wide (Türkiye) comparative drought analysis with SPI [Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi].

Şahan, M. (2021). Yapay sinir ağları ve Angström-Prescott denklemleri kullanılarak Gaziantep, Antakya ve Kahramanmaraş için global güneş radyasyonu tahmini. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi, 16(2), 368–384.

Şen, Z. (2001). Angström equation parameter estimation by unrestricted method. Solar Energy, 71(2), 95–107.

TAGEM-DSİ. (2017). Türkiye'de sulanan bitkilerin bitki su tüketimleri. T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı.

Ünlükara, A. (2014). Referans evapotranspirasyon hesaplamalarında güneş radyasyonu yoğunluğu ve nispi güneşlenme verilerinin kullanımı. 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu Bildirileri içinde (ss. 84–89). Tekirdağ.

Ünlükara, A., & Kocayiğit, A. (2024). Effect of weather variability on crop evapotranspiration. 11th International Symposium on Atmospheric Sciences Proceedings içinde (ss. 32–45). İstanbul.

Yamaç, S. S. (2021). Reference evapotranspiration estimation with kNN and ANN models using different climate input combinations in the semi-arid environment. Journal of Agricultural Sciences (Tarım Bilimleri Dergisi), 27(2), 129–137.

Yürekli, K., & Ünlükara, A. (2013a). Küresel ısınmanın kuraklığa etkilerinin değerlendirilmesinde SPI ve SPEI indislerinin karşılaştırılması. 3. Uluslararası Bursa Su Kongresi Bildirileri içinde (ss. 225–233). Bursa.

Yürekli, K., & Ünlükara, A. (2013b). Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indisi (SPEI) ile Tokat ilinin kuraklık analizi. III. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi Bildirileri içinde (ss. 511–515). Tokat.

Yürekli, K., Ünlükara, A., Öztürk, Ö., Cebeci, İ., & Sarısamur, F. (2013c). Küresel ısınmanın kuraklığa etkilerinin belirlenmesinde RDI (Reconnaissance) indisi kullanımı. III. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi (TİKDEK) Bildirileri. İstanbul.

Yürekli, K., Ünlükara, A., & Safi, S. (2010). Kayseri ilinde mevsimsel bitki su tüketimindeki (ET_o) değişimin saptanması. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 3(2), 21–25.