



Araştırma Makalesi

Akdeniz İklimi Koşullarında Buharlaştırma Kabına Dayalı Eşitliklerin Kıyas Bitki Su Tüketimini (ET_o) Tahmin Etme Performanslarının Karşılaştırılması

Deniz Levent KOÇ^{1*}

ÖZ

A Sınıfı buharlaştırma kabı; su kaynaklarının planlanmasında ve sulama programlarının oluşturulmasında temel değişkenlerden biri olarak kabul edilen kıyas bitki su tüketimini (ET_o) tahmin etmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Akdeniz ikliminin görüldüğü Adana yöresi koşulları için yapılan bu çalışmada, ET_o'yu tahmin etmek için rüzgâr hızı (U) ve oransal nem (RH) verilerine ihtiyaç duymayan buharlaştırma kabına dayalı olan Snyder ET_o (1995) ve Ghare ET_o (1996) eşitliklerinin performanslarının, FAO24 Pan ET_o eşitliğinin performansı ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Eşitliklerin performanslarını karşılaştırmak için FAO56-Penman-Monteith (PM) eşitliği referans yöntem olarak kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, ET_o'yu tahmin etmek için sadece kap buharlaşmasını (e_{pan}) kullanan Snyder, aylık ve mevsimsel ölçekte en başarılı eşitlik olmuştur. Sonuçlar, e_{pan} verilerinin Snyder ET_o eşitliği ile kıyas bitki su tüketimine dönüştürülmesinin, Adana yöresi koşullarında başarı ile kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: buharlaştırma kabına dayalı eşitlikler, FAO56-PM, kıyas bitki su tüketimi (ET_o), Akdeniz iklimi

Comparison of the Performances of Pan-Based Equations to Estimate Reference Evapotranspiration (ET_o) in Mediterranean Climate Conditions

ABSTRACT

Class A evaporation pan is often used to estimate reference evapotranspiration (ET_o), considered one of the essential variables in water resource planning and irrigation scheduling. This study for Adana region conditions where the Mediterranean climate prevails aimed to compare the performances of the Snyder ET_o (1995) and Ghare ET_o (1996) equations which are pan-based approaches that do not require wind speed (U) and relative humidity (RH) data to estimate ET_o, with the performance of the FAO24 Pan ET_o equation. The FAO56-Penman-Monteith (PM) equation was used as a reference method to compare the performances of the equations. According to the research results, the Snyder ET_o equation using only pan evaporation (e_{pan}) to estimate ET_o has been the best equation on monthly and seasonal scales. The results showed that converting e_{pan} to reference evapotranspiration with the Snyder ET_o equation can be used successfully in Adana region conditions.

Keywords: pan-based equations, FAO56-PM, reference evapotranspiration (ET_o), Mediterranean climate

ORCID: 0000-0002-4495-3060

Yayın Kuruluna Geliş Tarihi: 14.04.2023

Kabul Tarihi: 22.05.2023

¹ Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Sarıçam, Adana/Türkiye

*E-Posta: leventk@cu.edu.tr

Akdeniz İklimi Koşullarında Buharlaşıma Kabına Dayalı Eşitliklerin Kıyas Bitki Su Tüketimini (ETo) Tahmin Etme Performanslarının Karşılaştırılması

Giriş

Kıyas bitki su tüketiminin (ETo) doğru olarak tahmin edilmesinin, su kaynaklarının yönetimi, sulama uygulamaları, tarımsal ve hidro-meteorolojik çalışmalar ile farklı hidrolojik süreçlerin modellenmesi çalışmalarında çok önemli bir yeri vardır (Koç, 2022). Uluslararası Sulama ve Drenaj Komisyonu (ICID) ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Penman-Monteith FAO-56 eşitliğini (FAO56-PM) ETo'yu tahmin etmede, standart metod olarak önermişlerdir (Allen ve ark., 1998). Ancak, bu yöntemin kullanılabilmesi için çok sayıda iklim verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, sadece büyük meteoroloji istasyonlarında ölçülebilmektedir (Zouzou ve Citakoglu, 2021). Bu nedenle, birçok yerde, ETo'yu hesaplamak için pratik ve daha basit tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. A Sınıfı kap buharlaşmasının (E_{pan}), ETo'ya dönüştürülmesi, sulanan alanlarda yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu yaklaşımın en önemli avantajı ise düşük maliyetli olması ve sulama programlamasında kullanımının kolay olmasıdır (Stanhill, 2002). Kap buharlaşmasının (E_{pan}) ETo'ya dönüştürülmesinde en çok kullanılan eşitlik, FAO24 Pan ETo eşitliğidir (Doorenbos ve Pruitt, 1977). FAO24 Pan eşitliği ile ETo'yu tahmin etmek için, hâkim rüzgâr yönündeki feç (fetch) uzunluğuna (F), rüzgâr hızına (U) ve oransal neme (RH) bağlı olan buharlaşma kabı (ρ_a) katsayıları (K_{pan}) belirlenmelidir. Doorenbos ve Pruitt (1977), FAO Sulama ve Drenaj Rapor No 24'de, K_{pan} değerlerini tahmin etmek için, farklı U ve RH değerleri ile bazı feç uzunluklarını (F) içeren bir tablo önermişlerdir. Daha sonraları ise, K_{pan} değerlerini tahmin etmek için bazı araştırmacılar tarafından, K_{pan} eşitlikleri geliştirilmiştir [(Frevert (Frevert ve ark., 1989), Cuenca (Cuenca, 1989), Allen ve Pruitt (Allen ve Pruitt, 1991), Snyder (Snyder, 1992), Pereira (Pereira ve ark., 1995), Orang (Orang, 1998), Raghuwanshi ve Wallender (Raghuwanshi ve Wallender, 1998), Modifiye Snyder (Grismer ve ark., 2002) ile Wahed ve Snyder (Abdel-Wahed ve Snyder, 2008)]. K_{pan} eşitlikleri, doğrusal, doğrusal olmayan, gösterge regresyon teknikleri veya bunların kombinasyonları kullanılarak ve FAO24 K_{pan} tablosu ya da Allen Pruitt (1991)

tarafından yayınlanan K_{pan} tablosu temel alınarak geliştirilmiştir (Snyder ve ark., 2005). Kap buharlaşmasının (E_{pan}) ETo'ya dönüştürülmesi amacıyla, K_{pan} eşitliklerinin değerlendirildiği birçok çalışma yapılmıştır. (Grismer ve ark., 2002; Irmak ve ark., 2002; Sentelhas ve Folegatti, 2003; Gundekar ve ark., 2008; Sabziparvar ve ark., 2010; Aschonitis ve ark., 2012; Tabari, ve ark., 2013; Koç, 2022). Ancak, literatürde Akdeniz iklimi koşullarında yapılan sadece birkaç çalışma bulunmaktadır (Grismer ve ark., 2002; Aschonitis ve ark., 2012; Koç, 2022). Grismer ve ark (2002), Akdeniz iklimine sahip Kaliforniya koşullarında, altı adet K_{pan} eşitliğinin ETo'yu tahmin etmedeki başarısını test etmişlerdir. Referans olarak modifiye Penman ETo yöntemini kullanmışlardır. Yapılan çalışmada, Allen ve Pruitt eşitliği diğer tüm K_{pan} eşitlikleri arasında, ETo'yu en doğru şekilde tahmin etmiştir. Aschonitis ve ark (2012) tarafından yarı-kurak Akdeniz iklimi koşullarının görüldüğü Selanik-Yunanistan'da yapılan bir çalışmada, Snyder ve Orang ETo'yu tahmin etme potansiyeli bakımından en başarısız olan K_{pan} eşitlikleri olarak belirlenmiş ve kötü bir performans göstermişlerdir. Cuenca (1989) K_{pan} eşitliği ise, ETo'yu doğru bir şekilde tahmin etmiştir. Araştırmacılar, çalışmalarında referans olarak ASCE-PM eşitliğini kullanmışlardır. Koç (2022) Akdeniz iklim koşullarının görüldüğü Adana'da yaptığı bir çalışmada, sekiz K_{pan} eşitliğini ETo'yu tahmin etme potansiyelleri bakımından değerlendirmiştir. Araştırmacı, K_{pan} eşitliklerini değerlendirmek için FAO-56 PM yöntemini referans olarak kullanılmıştır. Çalışmada, Wahed-Snyder K_{pan} eşitliği ETo'yu diğer eşitliklerden daha doğru bir şekilde tahmin etmiştir. Fakat araştırmacı, bu eşitliğin bile, yöre koşulları için kalibre edilmesi gerektiğini rapor etmiştir. Orang K_{pan} eşitliği ise ETo'yu tahmin etmede en başarısız eşitlik olmuştur. Yukarıdaki çalışmaların sonuçlarından da anlaşılacağı gibi, K_{pan} eşitliklerinden doğru ETo sonuçlarının alınabilmesi için, bu eşitliklerin yerel iklim koşullarında test edilmesi ya da kalibre edilmesi gerekmektedir. Bu da yöntemin kullanılmasını kısıtlamaktadır. FAO24 Pan eşitliği ile ETo'nun belirlendiği çok sayıda çalışma olmasına rağmen, Snyder ve ark. (2005) ve Ghare ve ark.

Akdeniz İklimi Koşullarında Buharlaşma Kabına Dayalı Eşitliklerin Kıyas Bitki Su Tüketimini (ET_o) Tahmin Etme Performanslarının Karşılaştırılması

(2006) tarafından geliştirilen buharlaşma kabına dayalı eşitliklerin değerlendirildiği literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Trajkovic ve Kolakovic, 2010; Çobaner, 2013). Bu araştırma ile literatürdeki bu boşluğun doldurulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Akdeniz iklim koşullarının hâkim olduğu Adana yöresinde yapılan bu çalışmada; buharlaşma kabına dayalı eşitliklerin performansları, 22-yıllık günlük iklim verisi kullanılarak bazı istatistiksel yaklaşımlarla test edilmiştir. Eşitliklerin doğruluğunun belirlenmesinde FAO56-PM yöntemi referans olarak kullanılmıştır.

Materyal ve Yöntem

Araştırma Yeri

Bu çalışmada, araştırma alanı olarak Adana yöresi seçilmiştir. Köppen-Geiger sınıflamasına göre Adana, tipik Akdeniz iklimine karşılık gelen ve Csa olarak adlandırılan; kışları ılık, yazları çok sıcak ve kurak geçen iklime sahiptir (Bölük, 2016). Adana'nın kuzeybatısı, kuzeyi ve kuzeydoğusu Orta Toroslar adı verilen dağ sistemleri ile çevrilmiştir. İl topraklarının %27'sini kaplayan ve bütünüyle Adana Ovası adı verilen havzanın, güneyde kalan bölümüne Çukurova, kuzeyde kalan bölümüne ise Yukarıova (Anavarza) denilmektedir. İki ovayı Misis Dağları ayırır (CSB, 2023). Türkiye'de narenciye, karpuz, soya fasulyesi ve fıstık üretiminde Adana Ovası ilk sırada yer almaktadır (Kadeş, 2019). Adana Ovası'nda bitki büyüme mevsimi boyunca yağış miktarları ve dağılımı yetersiz olduğundan, bitkisel üretimde sulama vazgeçilmezdir. Bu çalışmada, uzun yıllık günlük iklim verileri (2000-2021) kullanılmıştır. Bu veriler, Adana merkezde bulunan Meteoroloji 6. Bölge Müdürlüğü iklim istasyonundan (enlem 37° 00' 14", boylam 35° 20' 39") sağlanmıştır (MGM, 2022). Yöredeki, yaz bitki büyüme mevsimi (Nisan-Ekim) boyunca uzun yıllık iklim verileri Tablo 1'de verilmiştir. Uzun yıllık (1929-2022) iklim verilerine göre; yörede ortalama yıllık toplam yağış 668.8 mm olup; bu yağışın yaklaşık %50'si aralık, ocak ve şubat aylarında düşmektedir (MGM, 2023).

Tablo 1. Çalışma alanı uzun yıllık iklim verileri (1929-2022)

| Ay | N | M | H | T | A | Ey | Ek |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| T _{ort} , °C | 17.6 | 21.8 | 25.6 | 28.2 | 28.7 | 26.2 | 21.7 |
| T _{max} , °C | 23.8 | 28.3 | 31.7 | 33.9 | 34.7 | 33.1 | 29.1 |
| T _{min} , °C | 11.9 | 15.8 | 19.8 | 23.0 | 23.4 | 20.2 | 15.8 |
| n, saat | 7.1 | 9.1 | 10.5 | 10.6 | 10.2 | 9.0 | 7.3 |
| P _n , gün | 8.6 | 6.3 | 3.0 | 0.9 | 0.7 | 2.6 | 5.4 |
| P, mm | 51.0 | 48.1 | 22.1 | 10.2 | 9.3 | 19.3 | 42.8 |

Not: Tort = aylık ortalama sıcaklık, Tmax = aylık ortalama en yüksek sıcaklık, Tmin = aylık ortalama en düşük sıcaklık, n = aylık ortalama güneşlenme süresi, P_n = aylık ortalama yağışlı gün sayısı, P = aylık ortalama toplam yağış miktarı, N = Nisan, M = Mayıs, H = Haziran, T = Temmuz, A = Ağustos, Ey = Eylül, Ek = Ekim.

Yöntem

Eşitlikler ve Yaklaşımlar

Çalışmada, üç buharlaşma kabına dayalı eşitlik, ET_o'yu tahmin etmek amacıyla; 22 yıllık A sınıfı kap buharlaşma verileri (E_{pan}) kullanılarak, yöredeki yaz bitki büyüme mevsimi boyunca (Nisan-Ekim) test edilmiştir. Eşitliklerin doğruluğunun belirlenmesinde FAO56-PM yöntemi referans olarak kullanılmıştır.

FAO56-PM ET_o Eşitliği (1998)

Çalışmada, FAO56-PM eşitliği günlük ET_o'yu tahmin etmek için kullanılmıştır. FAO56-ET_o değerleri buharlaşma kabına dayalı eşitliklerden elde edilen ET_o değerleri ile karşılaştırılmıştır. Allen ve ark., (1998) tarafından FAO Sulama ve Drenaj Rapor No 56'da verilen eşitlik aşağıdaki gibidir (Eşitlik 1).

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

ET_o = kıyas bitki su tüketimi (mm gün⁻¹); R_n = günlük ortalama net radyasyon (MJ m⁻² d⁻¹); G = günlük ortalama toprak ısı akısı yoğunluğu (MJ m⁻² d⁻¹) (günlük tahminler için sıfır olarak kabul edilir); Δ = buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa °C⁻¹); γ = psikrometrik sabit (kPa K⁻¹); T = 2 m yükseklikte günlük ortalama hava sıcaklığı (°C); U₂ = 2 m yükseklikte günlük ortalama rüzgâr hızı (m s⁻¹); e_s = doymuş buhar basıncı (kPa); ve e_a = gerçek buhar basıncı (kPa).

R_n, Δ, e_s ve e_a'nın günlük değerleri Allen ve ark., (1998) tarafından FAO Sulama ve Drenaj Rapor No 56'da verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

Akdeniz İklimi Koşullarında Buharlaşma Kabına Dayalı Eşitliklerin Kıyas Bitki Su Tüketimini (ET_o) Tahmin Etme Performanslarının Karşılaştırılması

FAO24 ET_o Eşitliği (1977)

Doorenbos ve Pruitt (1977), kap buharlaşmasını ET_o'ya dönüştürmek için FAO24 ET_o eşitliğini önermişlerdir (Eşitlik 2).

$$ET_o = K_{pan} \times E_{pan} \quad (2)$$

Eşitlikte; ET_o = kıyas bitki su tüketimi (mm gün⁻¹), K_{pan} = kap katsayısı, E_{pan} = kap buharlaşması (mm gün⁻¹). Günlük K_{pan} değerleri, Tablo 2 kullanılarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Farklı günlük ortalama bağıl nem (RH) ve ortalama rüzgâr hızı (U) düzeyleri için çim alana yerleştirilen A sınıfı buharlaşma kabı K_{pan} değerleri (Doorenbos ve Pruitt, 1977).

| | RH (%) | Düşük <40 | Orta 40-70 | Yüksek >70 |
|--------------------------------|-------------------------|-----------|------------|------------|
| U (km gün⁻¹) | Feç uzunluğu (m) | | | |
| Hafif <175 | 1 | 0.55 | 0.65 | 0.75 |
| | 10 | 0.65 | 0.75 | 0.85 |
| | 100 | 0.70 | 0.80 | 0.85 |
| | 1000 | 0.75 | 0.85 | 0.85 |
| Orta 175-425 | 1 | 0.50 | 0.60 | 0.65 |
| | 10 | 0.60 | 0.70 | 0.75 |
| | 100 | 0.65 | 0.75 | 0.80 |
| | 1000 | 0.70 | 0.80 | 0.80 |
| Kuvvetli 425-700 | 1 | 0.45 | 0.50 | 0.60 |
| | 10 | 0.55 | 0.60 | 0.65 |
| | 100 | 0.60 | 0.65 | 0.70 |
| | 1000 | 0.65 | 0.70 | 0.75 |
| Çok kuvvetli >700 | 1 | 0.40 | 0.45 | 0.50 |
| | 10 | 0.45 | 0.55 | 0.60 |
| | 100 | 0.50 | 0.60 | 0.65 |
| | 1000 | 0.55 | 0.60 | 0.65 |

Bu çalışmada buharlaşma kabının yerleştirildiği alanda, feç (fetch) uzunluğu (F) 50 m olarak belirlenmiştir.

Snyder ET_o Eşitliği (2005)

Snyder ve ark. (2005), Kaliforniya'daki beş iklim istasyonunun buharlaşma kabı verilerinden ET_o'yu tahmin etmek için bir eşitlik geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımda, ET_o iki aşamalı bir sürece dayalı olarak tahmin edilmektedir. Feç uzunluğu (F) bilinen bir yerden elde edilen E_{pan} verileri, 100 m'lik (E_{pa}) standart bir feç uzunluğuna dönüştürülen Eşitlik 3 kullanılarak E_{pa} hesaplanmaktadır (Eşitlik 4). Daha sonra ET_o, E_{pa}'nın bir fonksiyonu olarak Eşitlik 5 kullanılarak belirlenmektedir.

$$F_{100} = -0.0035 \times [\ln(F)]^2 + 0.0622 \times [\ln(F)] + 0.79 \quad (3)$$

$$E_{pa} = E_{pan} \times F_{100} \quad (4)$$

$$ET_o = 10 \times \sin \left[\left(\frac{E_{pa}}{19.2} \right) \times \left(\frac{\pi}{2} \right) \right] \quad (5)$$

Ghare ET_o Eşitliği (2006)

Ghare (2006), Snyder ve ark (2005)'den aldığı aynı verileri kullanarak buharlaşma kabına dayalı yeni bir eşitlik geliştirmiştir. Bu eşitlik, F₁₀₀ faktörünün tahmin edilmesi gerekliliğini ortadan kaldırmıştır. Bu yaklaşımda, önce a, b katsayıları ve E_{pan} verileriyle E_{pa} hesaplanmaktadır (Eşitlik 6). Daha sonra, ET_o, E_{pa}'nın bir fonksiyonu olarak Eşitlik 9 kullanılarak belirlenmektedir.

$$E_{pa} = a \times E_{pan} + b \quad (6)$$

$$a = 0.0045 \times [(\ln(F))]^2 + 0.0428 \times \ln(F) + 0.7 \quad (7)$$

$$b = 0.0311 \times [\ln(F)]^3 - 0.4519 \times [\ln(F)]^2 + 1.602 \times \ln(F) - 0.8338 \quad (8)$$

$$ET_o = 8.889 \times \sin \left[\left(\frac{E_{pa}}{19.2} \right) \times \left(\frac{\pi}{2} \right) \right] + 0.6373 \quad (9)$$

Veri Analizi

Bu çalışmada, FAO24 Pan ET_o, Snyder ET_o ve Ghare ET_o eşitliklerinin performansları, Stockle ve ark. (2004) tarafından önerilen aşağıda verilen yaklaşımlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, eşitliklerin performanslarının belirlenmesinde; ortalama karekök hatası (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama sapma hatası (MBE) ve t istatistikleri de Stockle ve ark. (2004) tarafından önerilen yaklaşımlarla birlikte kullanılmıştır (Karunanithi ve ark., 1994; Jacovides ve Kontoyiannis, 1995; Willmott 1981).

Stockle ve ark. (2004)'e göre:

d ≥ 0.95, RE ≤ 0.10, R² > 0.85 ise sonuç: çok iyi performans. d ≥ 0.95, 0.10 < RE ≤ 0.15, R² > 0.85 ise sonuç: iyi performans. d ≥ 0.95, 0.15 < RE ≤ 0.20, R² > 0.85 ise sonuç: kabul edilir performans. d ≥ 0.95, 0.20 < RE ≤ 0.25, R² > 0.85 ise sonuç: marjinal performans.

R² < 0.85 ve diğer kombinasyonlarda sonuç kötü performansı göstermektedir.

Burada, d: anlaşma indeksini, RE: bağıl hatayı ve R²: belirleme katsayısını ifade etmektedir.

d, RMSE, RE, MAE, MBE ve t istatistik değerleri aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right], \quad (0 \leq d \leq 1) \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (11)$$

$$RE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \quad (12)$$

Akdeniz İklimi Koşullarında Buharlaşıma Kabına Dayalı Eşitliklerin Kıyas Bitki Su Tüketimini (ETo) Tahmin Etme Performanslarının Karşılaştırılması

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (13)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (14)$$

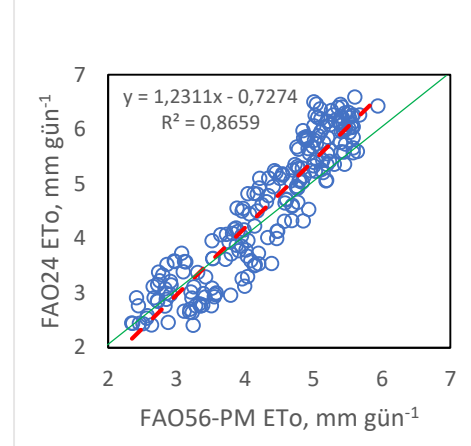
$$t = \left[\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2} \right]^{1/2} \quad (15)$$

Eşitliklerde, n = toplam gözlem sayısı, Pi = buharlaşma kabı eşitlikleri tarafından tahmin edilen ETo değerleri (mm gün⁻¹), Oi = FAO56-PM yöntemiyle hesaplanan ETo değerleri (mm gün⁻¹), \bar{O} = FAO56-PM yöntemi ile tahmin edilen ETo değerlerinin ortalaması (mm gün⁻¹).

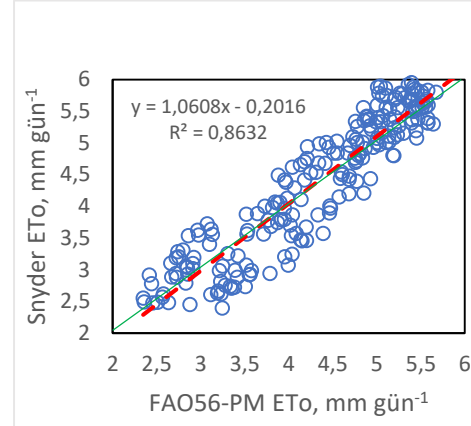
Araştırma Bulguları ve Tartışma

Çalışmada, FAO24 Pan ETo, Snyder ETo ve Ghare ETo eşitlikleri ile tahmin edilen ETo değerleri, FAO56-PM ETo yöntemi ile elde edilen ETo değerleri ile karşılaştırılarak test edilmiştir. FAO56-PM yöntemi ile belirlenen ETo değerleri ile, buharlaşma kabına dayalı eşitliklerle tahmin edilen ETo değerleri arasındaki ilişkiler Şekil 1-3'de verilmiştir. Şekil 1-3'deki her bir nokta 22 yıllık günlük ortalama ETo değerlerini göstermektedir. Şekil 1 ve Şekil 3'den FAO24 Pan ETo ve Ghare ETo eşitliklerinin mevsim boyunca ETo'yu fazla tahmin etme eğiliminde olduğu görülebilir. Snyder ETo eşitliğinin ise, mevsim boyunca ETo'yu bazı günler fazla, bazı günler ise daha az tahmin etme eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 2). Şekil 1-3'den, buharlaşma kabına dayalı eşitliklerin FAO56-PM yöntemiyle iyi bir korelasyon gösterdiği ve Snyder ETo eşitliğinin FAO56-PM yöntemiyle en iyi ETo tahmini yapan regresyon eşitliğini verdiği anlaşılmaktadır. Burada, basit doğrusal regresyonun eğimi (b) 1' yakın (b =1.068) ve kesişim değeri (a) 0'a yakın (a = 0.2016) bir değer vererek oldukça iyi bir performans göstermiştir. FAO24 Pan ETo ve Ghare ETo eşitliklerinin regresyon eşitliklerinden elde edilen değerler ise sırasıyla b = 1.2311 ve 0.8973, a = -0.7274 ve 0.7433 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 1, 3). Benzer şekilde, Aschonitis ve ark. (2012), Selanik'te yaptıkları bir çalışmada, ASCE-PM yöntemi ile Cuenca K_{pan} modelinin kullanıldığı FAO24 Pan ETo eşitliğinin iyi bir korelasyon gösterdiğini belirtmiştir (R² = 0.85, b = 0.8671, a = 0.7373). Sentelhas ve Folegatti (2003), Brezilya-Sao Paulo'da yaptıkları bir çalışmada, lizimetre ETo

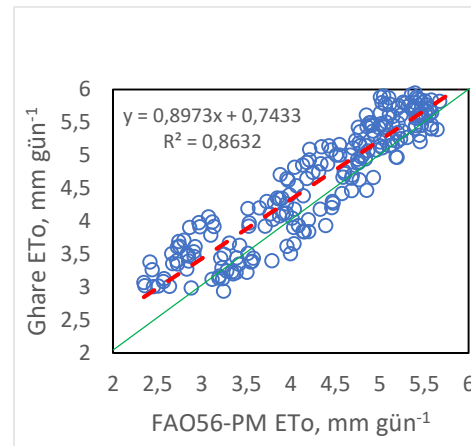
değerleri ile Pereira K_{pan} modelinin kullanıldığı FAO24 Pan ETo eşitliğinin çok iyi bir korelasyon gösterdiğini rapor etmiştir (R² = 0.7647, b = 0.9926).



Şekil 1. FAO56-PM ETo yöntemi ile FAO24 Pan ETo eşitliği arasındaki dağılım grafiği



Şekil 2. FAO56-PM ETo yöntemi ile Snyder ETo eşitliği arasındaki dağılım grafiği



Şekil 3. FAO56-PM ETo yöntemi ile Ghare ETo eşitliği arasındaki dağılım grafiği

Akdeniz İklimi Koşullarında Buharlaşma Kabına Dayalı Eşitliklerin Kıyas Bitki Su Tüketimini (ETo) Tahmin Etme Performanslarının Karşılaştırılması

Tablo 3, mevsimsel ölçekte, Tablo 4-8 ise aylık ölçekte, FAO56-PM yöntemi ile belirlenen ve buharlaşma kabına dayanan eşitliklerle tahmin edilen ETo değerleri arasındaki performans istatistiklerini göstermektedir. Tablo 3’de görüldüğü gibi, bitki büyüme mevsimi boyunca Snyder ETo eşitliği en küçük RMSE, MAE, MBE ve RE değerleri ile en iyi performansı göstermiştir. Stockle ve ark. (2004) tarafından verilen kriterlere göre ($d \geq 0.95$, $RE \leq 0.10$, $R^2 > 0.85$) Snyder ETo eşitliği mevsim boyunca günlük ortalama ETo değerlerini çok doğru tahmin ederek, çok iyi bir performans göstermiştir. Aynı kriterlere göre ($d \geq 0.95$, $0.10 < RE \leq 0.15$, $R^2 > 0.85$) Ghare ETo ve FAO24 Pan ETo eşitlikleri ETo’yu tahmin etmede iyi bir performans göstermişlerdir.

Trajkovic ve Kolakovic (2010) İtalya’nın Policoro ve Sırbistanın Novi Sad bölgelerinde seçtikleri iki iklim istasyonunun verilerini kullanarak, buharlaşma kabına dayalı eşitliklerin performanslarını değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar referans yöntem olarak tartılı lizimetre ETo değerlerini kullanmışlardır. Snyder ETo eşitliği, her iki bölgede de lizimetre ETo değerlerine en yakın sonuçları vererek, FAO24 Pan ETo ve Ghare ETo eşitliklerinden daha iyi performans göstermiştir (RMSE = 0.449 mm gün⁻¹, Policoro; RMSE = 0.288 mm gün⁻¹, Novi Sad). Çobaner (2013), Kaliforniya’da yaptığı bir çalışmada, kap buharlaşmasını girdi olarak kullandığı dalgacık regresyon modelinin (WR) yeterliğini, buharlaşma kabına dayalı eşitlikler ve bu eşitliklerin kalibre edilmiş versiyonları ile karşılaştırarak belirlemiştir.

Araştırmacı, WR modeli ve buharlaşma kabına dayalı eşitliklerin doğruluğunun belirlenmesinde referans olarak FAO56-PM yöntemini kullanmıştır. FAO24 Pan ETo eşitliğinde K_{pan} değerleri Allen ve Pruitt K_{pan} modeli kullanılarak belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, WR modeli ve FAO24 Pan ETo eşitliği, Snyder ve Ghare ETo eşitlikleri ve bunların kalibre edilmiş versiyonlarından daha doğru sonuçlar vermiştir. Snyder ve Ghare ETo eşitlikleri ise, benzer sonuçlar vermiştir.

Tablo 4-8’de görüldüğü gibi buharlaşma kabına dayalı eşitliklerin aylık performansları farklı olmuştur. Ghare; nisan ve mayıs aylarında en küçük RMSE, MBE, RE, t istatistiği değerleri ile ETo’yu en doğru tahmin eden eşitlik olmuştur ($p < 0.05$). FAO24 Pan ETo eşitliği Ghare ETo eşitliği ile birlikte mayıs ayında, Snyder ETo eşitliği ise haziran ayında ETo’yu en doğru tahmin eden eşitlikler olmuştur ($p < 0.05$). Benzer şekilde, Irmak ve ark. (2002), Gundekar ve ark. (2008), Aydın (2019) ve Mahmud ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmalar, FAO24 Pan ETo eşitliğinin ETo’yu tahmin etmedeki başarısının aylara göre değiştiğini göstermiştir. Tablo 6’da görüldüğü gibi, buharlaşma kabına dayalı eşitliklerin aylara göre aylık ortalama ETo’yu tahmin etmede yüzde bağıl hata (RE) değerleri; %4.6 ile %27.1 arasında değişmiştir. Snyder ETo eşitliği, diğer eşitliklere göre temmuz, ağustos, eylül ve ekim aylarında en düşük % RE ile ETo’yu tahmin etmiştir. Ghare ETo eşitliği, diğer eşitliklere göre nisan, mayıs, haziran aylarında en düşük % RE ile ETo’yu tahmin etmiştir.

Tablo 3. Mevsimsel ölçekte buharlaşma kabına dayalı eşitliklerin ETo’yu tahmin etme performans istatistikleri (2000-2021) (Nisan-Ekim)

| Eşitlikler | Günlük ortalama ETo, mm gün ⁻¹ | RMSE, mm gün ⁻¹ | RE (%) | MAE, mm gün ⁻¹ | MBE, mm gün ⁻¹ | R ² | b | a | d |
|------------------|---|----------------------------|--------|---------------------------|---------------------------|----------------|------|-------|-------|
| FAO24 Pan | 4.62 | 0.576 | 13.3 | 0.485 | 0.276 | 0.87 | 1.23 | -0.73 | 0.952 |
| Snyder | 4.40 | 0.406 | 9.4 | 0.336 | 0.062 | 0.86 | 1.06 | -0.20 | 0.958 |
| Ghare | 4.64 | 0.459 | 10.6 | 0.381 | 0.297 | 0.86 | 0.90 | 0.74 | 0.955 |

Not: Günlük ortalama ETo (FAO56-PM) = 4.34 mm gün⁻¹

Akdeniz İklimi Koşullarında Buharlaşma Kabına Dayalı Eşitliklerin Kıyas Bitki Su Tüketimini (ETo) Tahmin Etme Performanslarının Karşılaştırılması

Tablo 4. Buharlaşma kabına dayalı eşitlikler ile tahmin edilen aylık ortalama ETo için RMSE değerleri (mm gün⁻¹) (2000-2021)

| Eşitlikler | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim |
|------------------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|-------|
| FAO24 Pan | 0.504 | 0.441 | 0.452 | 0.739 | 0.848 | 0.509 | 0.365 |
| Snyder | 0.536 | 0.455 | 0.250 | 0.326 | 0.464 | 0.384 | 0.361 |
| Ghare | 0.207 | 0.294 | 0.242 | 0.342 | 0.520 | 0.577 | 0.749 |

Tablo 5. Buharlaşma kabına dayalı eşitlikler ile tahmin edilen aylık ortalama ETo için MBE değerleri (mm gün⁻¹) (2000-2021)

| Eşitlikler | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim |
|------------------|--------|--------|---------|--------|---------|-------|-------|
| FAO24 Pan | -0.432 | -0.132 | 0.327 | 0.688 | 0.771 | 0.425 | 0.268 |
| Snyder | -0.481 | -0.282 | -0.004 | 0.224 | 0.380 | 0.304 | 0.281 |
| Ghare | -0.032 | -0.008 | 0.105 | 0.266 | 0.467 | 0.549 | 0.727 |

Tablo 6. Buharlaşma kabına dayalı eşitlikler ile tahmin edilen aylık ortalama ETo için RE(%) değerleri (mm gün⁻¹) (2000-2021)

| Eşitlikler | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim |
|------------------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|
| FAO24 Pan | 14.4 | 10.0 | 8.7 | 13.6 | 17.0 | 12.6 | 13.2 |
| Snyder | 15.3 | 10.3 | 4.8 | 6.0 | 9.3 | 9.5 | 13.1 |
| Ghare | 5.9 | 6.6 | 4.6 | 6.3 | 10.4 | 14.3 | 27.1 |

Tablo 7. Buharlaşma kabına dayalı eşitlikler ile tahmin edilen aylık ortalama ETo için t istatistiği değerleri (mm gün⁻¹) (2000-2021)

| Eşitlikler | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim |
|------------------|--------|-------|---------|--------|---------|--------|--------|
| FAO24 Pan | 8.988 | 1.717 | 5.647 | 13.945 | 11.929 | 8.143 | 5.938 |
| Snyder | 10.884 | 4.340 | 0.077 | 5.179 | 7.829 | 7.011 | 6.803 |
| Ghare | 0.851 | 0.156 | 2.597 | 6.760 | 11.193 | 16.579 | 22.195 |

Not: t_{crit} (0.01) = 2.750 (n=31), t_{crit} (0.01) = 2.756 (n=30); t_{crit} (0.05) = 2.042 (n=31), t_{crit} (0.05) = 2.045 (n=30);

Tablo 8. Buharlaşma kabına dayalı eşitlikler ile tahmin edilen aylık ortalama ETo değerleri (mm gün⁻¹) (2000-2021)

| Eşitlikler | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|---------|--------|--------|
| FAO24 Pan | 3.07** | 4.30 ^{ns} | 5.56** | 6.12** | 5.75** | 4.46** | 3.03** |
| Snyder | 3.02** | 4.15** | 5.22 ^{ns} | 5.66** | 5.36** | 4.34** | 3.04** |
| Ghare | 3.47 ^{ns} | 4.42 ^{ns} | 5.33* | 5.70** | 5.45** | 4.58** | 3.48** |
| FAO56-PM | 3.50 | 4.43 | 5.23 | 5.44 | 4.98 | 4.03 | 2.76 |

t istatistiğine göre FAO56-PM yönteminden istatistiksel olarak farklı olan ortalama aylık ETo değerleri

*p < 0.05, **p < 0.01, ns: önemsiz

Tablo 8'den görüldüğü gibi, buharlaşma kabına dayalı eşitlikler tarafından tahmin edilen aylık ETo değerleri 3.02 mm gün⁻¹ ile 6.12 mm gün⁻¹ arasında değişirken, FAO56-PM yöntemi ile tahmin edilen ETo değerleri 2.76 mm gün⁻¹ ile 5.44 mm gün⁻¹ arasında değişmiştir. FAO24 Pan

ETo eşitliği nisan ve mayıs aylarında ETo'yu FAO56-PM yöntemine göre daha az (underestimate), diğer aylarda daha fazla (oversetimate) tahmin etmiştir. Snyder ETo eşitliği nisan, mayıs ve haziran aylarında, ETo'yu FAO56-PM yöntemine göre daha az,

Akdeniz İklimi Koşullarında Buharlaşıma Kabına Dayalı Eşitliklerin Kıyas Bitki Su Tüketimini (ETo) Tahmin Etme Performanslarının Karşılaştırılması

Ghare ETo eşitliği ise, nisan ve mayıs aylarında ETo'yu FAO56-PM yöntemine göre daha az, diğer aylarda FAO56-PM yöntemine göre, ETo'yu daha fazla tahmin etmişlerdir.

Sonuç ve Öneriler

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, kurak Kaliforniya şartları için geliştirilen Snyder ETo ve Ghare ETo eşitlikleri, Akdeniz iklimi koşullarının görüldüğü Adana'da, ETo'yu tahmin etmede FAO24 Pan ETo eşitliğinden daha iyi performans göstermişlerdir. Stockle ve ark. (2004) tarafından verilen kriterlere göre Snyder ETo eşitliği mevsimsel ölçekte çok iyi bir performans gösterirken, Ghare ETo ve FAO24 Pan ETo eşitlikleri ise mevsimsel ölçekte iyi bir performans göstermiştir. Eşitliklerin ETo'yu tahmin etmede aylık performanslarında ise farklılıklar olmuştur. Snyder ve Ghare ETo eşitlikleri, FAO24 Pan ETo eşitliğine göre daha çok ayda ETo'yu FAO56-PM yöntemine yakın doğrulukta tahmin etmiştir. Snyder ve Ghare ETo eşitlikleri, ETo'yu tahmin etmede; rüzgâr hızı (U) ve oransal neme (RH) ihtiyaç duymamasına rağmen, FAO24 Pan ETo eşitliğinden hem mevsimlik hem de aylık ölçekte daha başarılı sonuçlar vermiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, Adana yöresi koşullarında öncelikle Snyder ETo eşitliğinin ETo'yu tahmin etmede kullanılması önerilir. Bu eşitlik, yöre koşullarında sulama programlamasında başarıyla kullanılabilir. Buharlaşıma kabına dayalı eşitliklerin aylık performansları dikkate alındığında, Ghare ve FAO24 Pan ETo eşitliklerinin yöre şartları için kalibre edilmesi gerekir. Snyder ve Ghare eşitliklerinin daha fazla nemli ve daha fazla rüzgârlı iklim koşullarına sahip alanlarda da test edilmesi önerilir.

Kaynaklar

Abdel-Wahed, M., Snyder, R.L. (2008). Simple equation to estimate reference evapotranspiration from evaporation pans surrounded by fallow soil. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 134(4): 425-429.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water*

requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper* (56), Rome.

- Allen, R.G., Pruitt, W.O. (1991). FAO-24 reference evapotranspiration factors. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 117(5):758-773.
- 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 Sciences* 3(1):58-65.
- Aydın, Y. (2019). Determination of reference ETo by using different Kp equations based on Class A pan evaporation in Southeastern Anatolia Project (GAP) Region. *Applied Ecology and Environmental Research* 17(6):15117-15129.
- Bölük, E. (2016). Köppen iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi. https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/koppen.pdf, Accessed 12 January 2023.
- Çobaner, M. (2013). Reference evapotranspiration based on Class A pan evaporation via wavelet regression technique. *Irrigation Science* 31:119-134.
- CSB (2023). İlimizi tanıyalım. Adana Valiliği, Çevre , Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü. <https://adana.csb.gov.tr/ilimiz-taniyalim-i-1222>, Accessed 16 February 2023.
- Cuenca, R.H. (1989). *Irrigation system design: an engineering approach*. Prentice Hall, Englewood Cliffs. 552.
- Evapotranspiration. *Water Resources Bulletin* 10(3):486-498.
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O. (1977). *Guidelines for predicting crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper (24), Rome.
- Frevert, D.K., Hill, R.W., Braaten, B.C. (1983). Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 109(1983):265-270.

Akdeniz İklimi Koşullarında Buharlaşıma Kabına Dayalı Eşitliklerin Kıyas Bitki Su Tüketimini (ETo) Tahmin Etme Performanslarının Karşılaştırılması

- Ghare, A.D., Porey, P.D., Ingle, R.N. (2006). Discussion of "simplified estimation of reference evapotranspiration from pan evaporation data in California" by Snyder, R.L., Orang, M., Matyac, S., Grismer, M.E. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 132(5):519-520.
- Grismer, M.E., Orang, M.N., Snyder, R.L., Matyac, R. (2002). Pan evaporation to reference evapotranspiration conversion methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 128(3):180-184.
- Gundekar, H.G., Khodke, U.M., Sarkar, S., Rai, R.K. (2008). Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region. *Irrigation Science* 26 (2): 169-175.
- Irmak, S., Haman, D.Z., Jones, J.W. (2002). Evaluation of Class A pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in humid location. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 128(3):153-159.
- Jacovides, C.P., Kontoyiannis, H. (1995). Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models. *Agricultural Water Management* 27:365-371.
- Kades C. 2019. Adana Ekonomisi 2019. <https://www.adanato.org.tr/WebDosyalar/V2/Dosyalar/2020/8/13/adanaekonomisi-2019-16-53-18.pdf>, Accessed 14 January 2023.
- Karunanithi, N., Grenney, W.J., Whitley, L.D., Bovee, K. (1994). Neural networks for river flow prediction. *Journal of Computing in Civil Engineering* 8(2):201-220.
- Koç, D.L. (2022). Assessment of pan coefficient models for the estimation of the reference evapotranspiration in a Mediterranean environment in Turkey. *PeerJ* 10:e13554.
- MGM (2022). Meteoroloji Genel Müdürlüğü <https://mevbis.mgm.gov.tr/mevbis/ui/index.html#/Workspace>, Accessed 7 March 2022.
- MGM (2023). Meteoroloji Genel Müdürlüğü <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendi> rme/ililceleristatistik.aspx?m=ADANA, Accessed 10 February 2023.
- Orang, M. (1998). Potential accuracy of the popular non-linear regression equations for estimating pan coefficient values in the original and FAO-24 tables. Unpublished California Department of Water Resources Report. Sacramento, USA.
- Pereira, A.R., Nova, N.A.V., Pereira, A.S., Barbieri, V. (1995). A model for the class A pan coefficient. *Agricultural and Forest Meteorology* 76(2):75-82.
- Raghuwanshi, N.S., Wallender, W.W. (1998). Converting from pan evaporation to evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 124(5):275-277.
- Sabziparvar, A.A., Tabari, H., Aeni, 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.
- Sentelhas, P.C., Folegatti, M.V. (2003). Class A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ETo). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 7(2003): 111-115.
- Snyder, R.L. (1992). Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 118 (6):977-980.
- Snyder, R.L., Orang, M.N., Matyac, S., Grismer, M.E. (2005). Simplified estimation of reference evapotranspiration from pan evaporation data in California. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131(3):249-253.
- Stanhill, G. (2002). Is the Class A evaporation pan still the most practical and accurate meteorological method for determining irrigation water requirements? *Agricultural and Forest Meteorology* 112 (3-4):233-236.
- Stockle C.O., Kjølgaard, J., Bellocchi, G. (2004). Evaluation of estimated weather data for calculating Penman-Monteith reference

Akdeniz İklimi Koşullarında Buharlaşma Kabına Dayalı Eşitliklerin Kıyas Bitki Su Tüketimini (ET_o) Tahmin Etme Performanslarının Karşılaştırılması

- crop evapotranspiration. *Irrigation Science* 23:39-46.
- Tabari, H., Grismer, M.E., Trajković, S. (2011). Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Science* 31:107-117.
- Trajković, S., Kolaković, S. (2010). Comparison of simplified pan-based equations for estimating reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 136(2):137-140.
- Willmott, C.J. (1981). On the validation of models. *Physical Geography* 2:184-194.
- Zouzou, Y., Citakoglu, H. (2021). Reference evapotranspiration prediction from limited climatic variables using support vector machines and Gaussian processes. *European Journal of Science and Technology* 28:346-351.