

# Çoklu Doğrusal Regresyon Yöntemini Kullanarak Isparta İçin Referans Evapotranspirasyon Tahminlenmesi

Umut SUZAN \*<sup>1</sup>, Hatice GÜRGÜLÜ <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

**Öz:** İklim değişikliğinin Akdeniz Havzası'nda bulunan ülkemiz için en büyük etkisi kuraklık olarak ortaya çıkmakta; bu durumun su kaynaklarını ve birçok sektörde olduğu gibi tarım sektörünü de olumsuz olarak etkilemesi beklenmektedir. Bu nedenle su kaynaklarının bilinçli ve akıllıca kullanılması gerekmektedir. Tarımsal üretimde bitkinin ihtiyacı olan suyu net olarak belirleyebilmek sulamanın programlamasında ve sulama projelerinde önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Isparta yöresinde temmuz ayının iklim verilerinden yararlanarak Penman-Monteith denklemi ile temmuz ayı için günlük olarak referans evapotranspirasyon ( $ET_0$ ) miktarları hesaplanmıştır. Çoklu doğrusal regresyon modellerinden (ÇDRM) yararlanarak belirlenen denklemin sonucuna en yakın  $ET_0$  değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Böylece yöre için eksik ve kayıp veri olduğu durumlarda hassas bir şekilde bitki su tüketim değerlerini belirleyebilmek amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ÇDRM<sub>1</sub> (5 bağımsız değişkenli), ÇDRM<sub>2</sub> (4 bağımsız değişkenli) ve ÇDRM<sub>3</sub> (3 bağımsız değişkenli) modelleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu bağlamda, diğer modellere göre daha az veriye ihtiyaç duyması sebebiyle ÇDRM<sub>3</sub> modelinin tercih edilebilecek bir seçenek olduğu düşünülmektedir. Çalışmanın bir diğer önemli bulgusu ise iklim değişikliğinin etkisine bağlı olarak uzun yıllar boyunca  $ET_0$  miktarında artış olduğunun tespit edilmiş olmasıdır.

**Anahtar kelimeler:** CROPWAT, eksik ve kayıp veri durumu, tahminleme, modelleme.

## Estimation of Reference Evapotranspiration for Isparta Using Multiple Linear Regression Method

**Abstract:** The highest impact of climate change for our country located in the Mediterranean Basin is drought, which is expected to negatively affect water resources and the agricultural sector as well as many other sectors. Therefore, water resources should be used consciously and wisely. In agricultural production, it is important to be able to clearly determine the water requirement by the plant in irrigation programming and irrigation projects. In this study, daily reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) amounts were calculated for July using Penman-Monteith equation by utilizing the climatic data of July in Isparta region. Multiple linear regression models (MLRM) were used to obtain the  $ET_0$  values closest to the result of the mentioned equation. The aim is to accurately determine plant water consumption values in cases where there is insufficient and missing data for the region in a sensitive manner. According to the results obtained, there was no statistically significant difference between MLRM<sub>1</sub> (5 independent variables), MLRM<sub>2</sub> (4 independent variables), and MLRM<sub>3</sub> (3 independent variables) models. In this context, MLRM<sub>3</sub> is considered a preferable option due to its lower data requirements compared to other models. Another important finding of the study is the increase in  $ET_0$  amounts over the years due to the impact of climate change.

**Keywords:** CROPWAT, missing and lost data, forecasting, modeling.

## GİRİŞ

Günümüz iklim koşulları incelendiğinde Türkiye'de iklim değişikliğinin etkileri sıcak hava dalgaları, kuraklık, tarımda verimliliğin düşmesi ve selderdeki artış olarak ön plana çıkmaktadır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC, 2013) sonuç raporuna göre, Türkiye'nin yer aldığı Akdeniz Havzası'nda beklenen değişiklikler durumu daha da ciddileştirmektedir. Bu değişiklikler arasında, ülkemizde mevcut olan ve gelecekte şiddetlenerek artması öngörülen kuraklık sorunu öne çıkmaktadır (Türkeş, 2012; Turan, 2018). Su kaynaklarının giderek azalmasına karşın nüfus artışıyla birlikte su talebi hızla artmakta, tarımda kullanılan su miktarı azalmakta ve dünya gıda güvenliği tehdit altına girmektedir (Çakmak ve Gökalp, 2011). Bu nedenle, tarımda kullanılan sulama suyunun en az kayıpla sulama alanlarına iletilmesi, dağıtılması ve bitki-su ihtiyacını karşılayacak şekilde bitkiye verilmesi zorunlu hale gelmiştir (Atış ve ark., 2015; Suzan ve Gürgülü, 2021).

Kuraklığın izlenmesi, bitki sulama suyu ihtiyacının belirlenmesi, bitkisel üretimde sulama aralıklarının ve

sulama zamanının programlanması için temel veri olarak kullanılan evapotranspirasyon, yani bitki su tüketimi, transpirasyon ve evaporasyonun birleşiminden oluşmaktadır. Evapotranspirasyon, toprak, bitki ve iklim gibi birçok etmenin etkisiyle gerçekleştiği için doğadaki en karmaşık olaylardan biri olarak kabul edilmektedir (Kanber, 2006; Usta ve Gençoğlu, 2019). Ayrıca, referans evapotranspirasyonun ( $ET_0$ ) iklim değişikliğine bağlı olarak arttığı ifade edilebilir (Azlak ve Şaylan, 2019).

Bitki su tüketimi tespiti, doğrudan veya dolaylı iklim parametrelerine bağlı olarak birçok yöntemle gerçekleştirilebilmektedir. Doğrudan yöntemler uzun bir zaman diliminde ve yoğun iş gücü gerektirirken, dolaylı yöntemler daha basit ve hızlı bir şekilde uygulanabilir (Kaya, 2011). Bitki su tüketiminin belirlenmesinde, FAO56 Penman-

\*Sorumlu Yazar: [umutsuzan@gmail.com](mailto:umutsuzan@gmail.com)

Geliş Tarihi: 19 Ocak 2024

Kabul Tarihi: 13 Aralık 2024

Monteith (PM-FAO56) yöntemi, birçok çalışmada kabul gören ve kullanılan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Urrea ve ark., 2006; Gavillian ve ark., 2007; Razzaghi ve Sepaskhah, 2011).

PM-FAO56 yönteminin dezavantajı, sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve radyasyon verilerini içermesi ve bunların bazılarının elde edilmesinin zor veya pahalı olmasıdır. Elektronik veri kaydı meteoroloji istasyonları tarafından sağlanıyor olsa da, bu durum küresel ölçekte geçerli değildir. Bu parametrelerin tamamının gözlemlendiği meteoroloji istasyonları sayısı birçok bölgede sınırlıdır (Alexandris ve ark., 2006).

Suzan ve Gürgülü (2021) tarafından gerçekleştirilen araştırmada, Mayıs ayı verileri ile Evapotranspirasyon (ET<sub>0</sub>) değerlerini belirlemek için üç farklı ÇDRM kullanılmış ve yapılan denemeler sonucunda, rüzgar verisinin eksik olması durumunda bunun ihmal edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Benli ve ark. (2010), yaptığı çalışmada PM-FAO56 yöntemi ile bağıl nem, rüzgar hızı gibi parametrelerin eksik olduğu durumlar için ET<sub>0</sub> değerlendirmiştir. Eksik verilerin olduğu durumda sadece sıcaklık verileri kullanılarak ET<sub>0</sub> hesaplanabileceğini belirtmişlerdir. Trabzon'da yapılan başka bir çalışmada PM-FAO56 eşitliği kullanılarak 2009-2012 yılları arasında ET<sub>0</sub> miktarı hesaplanmıştır. Bu değerlere bağlı olarak aylık ve yıllık elde edilen ET<sub>0</sub> miktarlarında olan değişim saptanmaya çalışılmış ve yıllara arasında artan sıcaklık ve değişen verilere göre ET<sub>0</sub> miktarlarında artış olduğu ifade edilmiştir (Bayramoğlu, 2013). Adana'da günlük ET<sub>0</sub> değerlerinin tahmin edildiği bir çalışmada ÇDRM'nin, Bulanık Kural Oluşturma Tekniğine (SMRGT) göre daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür (Demirel ve ark., 2023). Yapılan birçok bilimsel çalışmada ET<sub>0</sub> değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak Temmuz ayında yüksek olduğu saptanmıştır (Usta ve Gencoglan, 2019; Peker ve ark., 2021; Atış ve ark., 2015).

Sulama projeleri oluşturulurken bir dizi kriter dikkate alınır. Sağlıklı bir sulama projesinde, bitkinin su ihtiyacının tam olarak karşılanması esastır. Özellikle Türkiye koşullarında, sulama sezonundaki diğer aylara kıyasla Temmuz ayındaki yüksek Evapotranspirasyon (ET<sub>0</sub>) değerleri göz önüne alındığında, sulama projelerinin bu ay içindeki bitki su ihtiyacını tam olarak karşılayabilmesi kritik bir öneme sahiptir (Ünlükara, 2021; Yıldırım, 2013; Güngör ve ark., 2012).

Bu çalışmanın amacı, Isparta yöresinde diğer aylara göre sıcaklık değerlerinin daha yüksek olduğu Temmuz ayında, uzun bir dönem boyunca (1990-2020 yılları) iklim değişikliğinin Evapotranspirasyon (ET<sub>0</sub>) üzerindeki etkilerini incelemek ve eksik verilerin bulunduğu durumlarda en doğru referans evapotranspirasyon değerlerini sağlayabilecek ÇDRM'yi belirlemektir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Isparta, Akdeniz Bölgesi'nin kuzeyinde konumlanmış olup, kuzeyde Afyonkarahisar, doğuda Konya, batıda Burdur, güneyde ise Antalya illeri ile çevrilidir. Şehir, yaklaşık olarak %40'ü fundalık ve ormanla kaplı, %20'si mera ve çayır, %16'sı dikili ve ekili araziler, %24'ü ise tarıma uygun olmayan çıplak kaya ve göller bölgesi olması nedeniyle su tabakalarından oluşmaktadır (Anonim, 2023a). Isparta'da üretilen tarım ürünleri arasında başta hububat (arpa, çavdar, buğday, mahlut) yer alırken, meyveler (kiraz, elma, muşmula, armut, kızılcık, iğde, şeftali, vişne, ayva, erik, üzüm, dut, badem ve ceviz), sebzeler (sakız kabağı, enginar, bamya, patates, soğan, havuç, sarımsak), baklagiller (fasulye, mercimek, börülce, nohut), endüstri bitkileri (haşhaş, gül, ayçiçeği, şeker pancarı), yem bitkileri (fiğ, korunga, burçak, yonca) ve kavaklık alanları da bulunmaktadır (Anonim, 2023b).

ET<sub>0</sub>'ın öngörülebilmesi amacıyla birçok ampirik denklem ve yazılım geliştirilmiştir (Benli ve ark., 2010; Karaca ve ark., 2017). Bu yazılımlardan biri, FAO tarafından sunulan CROPWAT programıdır. CROPWAT yazılımı, aylık ortalama olarak minimum ve maksimum hava sıcaklıkları, oransal nem, rüzgar hızı ve güneşlenme süresi gibi iklim parametrelerini giriş değişkeni olarak kullanarak günlük ET<sub>0</sub> değerlerini sağlamaktadır. Bu yazılım, araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan Penman-Monteith eşitliğinden yararlanmaktadır. Ayrıca, yazılımın doğru bir şekilde ET<sub>0</sub> değerlerini hesaplayabilmesi için iklim verilerinin yanı sıra, bu parametreleri içeren meteoroloji istasyonunun enlem ve boylam bilgileri de CROPWAT'a giriş değişkeni olarak eklenmektedir (Usta ve Gençoğlan, 2019).

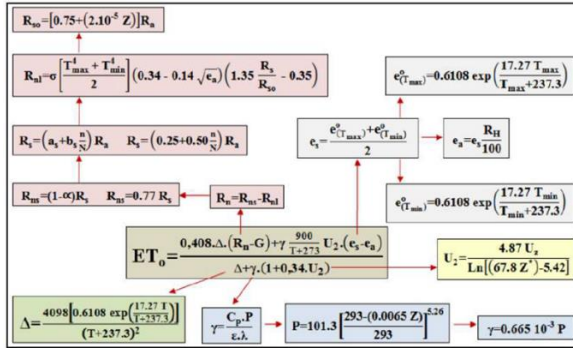
Çalışmada kullanılan iklim verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından sağlanmış olup, 1990-2020 yılları arasındaki parametre değerleri üzerinden yapılmıştır. Hesaplamalar, ET<sub>0</sub>'in en yüksek değerlere ulaştığı "Temmuz" ayı için gerçekleştirilmiştir.

CROPWAT yazılımının kullandığı FAO 56 Penman Monteith eşitliği Eşitlik 1'de verilmiştir. Ayrıca eşitliğin bileşenleri de Şekil 1'de sunulmuştur (Pereira ve ark., 2015).

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot U_2)} \quad (1)$$

ET<sub>0</sub>: Referans evapotranspirasyon (mm gün<sup>-1</sup>),  
Δ: Doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa °C<sup>-1</sup>),  
R<sub>n</sub>: Bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup>),  
G: Topraktaki ısı akısı (MJ m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup>),  
γ: Psikometrik sabite (kPa °C<sup>-1</sup>),  
T: Ortalama hava sıcaklığı (°C),  
T<sub>min</sub> ve T<sub>max</sub>: En düşük ve en yüksek hava sıcaklıkları (°C),  
U<sub>2</sub>: 2 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı (m s<sup>-1</sup>),

$U_z$ : Toprak yüzeyinden Z yükseklikte ölçülen rüzgar hızı ( $m s^{-1}$ ),  
 $Z^*$ : Rüzgar hızının ölçüldüğü yükseklik (m),  
 $e_s$ : Doymun buhar basıncı (kPA),  
 $e_a$ : Gerçek buhar basıncı (kPA),  
 $R_H$ : Oransal nem (%),  
 $R_{ns}$ : Güneşten gelen net kısa dalga radyasyon ( $MJ/m^2/gün$ ),  
 $a_s, b_s$ : Regresyon katsayıları,  
 $n$ : Gerçek güneşlenme süresi (saat),  
 $N$ : Olası maksimum güneşlenme süresi (saat),  
 $\sigma$ : Stefan bozaltman katsayısı ( $4.903 \cdot 10^{-9} MJ/K^4/m^2/gün$ ),  
 $R_{so}$ : Açık gökyüzü radyasyonu ( $MJ/m^2/gün$ ),  
 $Z$ : Rakım (m),  
 $P$ : Atmosferik basınç (kPa),  
 $C_p$ : Sabit basınç altındaki özgül ısı ( $MJ kg^{-1}C^{-1}$ ),  
 $\lambda$ : Buharlaşma gizli ısı ( $MJ kg^{-1}$ ),  
 $\epsilon$ : Su buharı moleküler ağırlığının kuru hava ağırlığına oranı ve  $e^o(T_{max})$  ile  $e^o(T_{min})$ : En yüksek ve n düşük hava sıcaklıklarındaki doymun buhar basıncı (kPA) olarak sıralanmaktadır (Pereira ve ark., 2015).



Şekil 1. FAO 56 Penman Monteith bileşenleri (Usta ve Gençoğlan, 2019)

$ET_0$  ile  $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ,  $U_z$ ,  $n$  ve  $RH$  arasındaki anlamlı istatistiksel ilişkilerin belirlenmesi amacıyla çoklu doğrusal regresyon analizi yönteminden faydalanılmıştır (Eşitlik 2). Bu kapsamda, bağımlı değişken olarak  $ET_0$  değerleri, bağımsız değişkenler olarak ise  $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ,  $U_z$ ,  $n$  ve  $RH$  kullanılarak toplamda 4 adet çoklu doğrusal regresyon modeli (ÇDRM) oluşturulmuştur. İstatistiksel hesaplamalar için EXCEL 2016 yazılımı kullanılmıştır. Çizelge 1’de geliştirilen ÇDRM’ler ve bu modellerin oluşturulmasında kullanılan bağımsız değişkenler sunulmuştur. Bu çalışmanın temel amacı,  $ET_0$  tahmininde kullanılabilecek denklemlerin oluşturulmasıdır (Büyüköztürk, 2003; Usta ve Gençoğlan, 2019; Suzan ve Gürgülü, 2021).

$$Y = a + (b_1 \cdot X_1) + (b_2 \cdot X_2) + \dots + (b_n \cdot X_n) \quad (2)$$

Eşitlik 2’deki parametreler;

A: Tahmin eşitliğinin sabit değeri,

$b_1, b_2, \dots, b_n$ : Kısmi regresyon katsayısı

$X_1, X_2, \dots, X_n$ : Bağımsız değişkenleri ifade etmektedir.

$ET_0$  (bağımlı değişken) değişiminin ne kadarının  $T_{min}$ ,  $T_{max}$ ,  $RH$ ,  $U_z$  ve  $n$  (bağımsız değişkenler) tarafından açıklanabildiğini göstermek amacıyla Eşitlik 3 kullanılmış ve her bir modelin regresyon katsayıları belirlenmiştir. Ayrıca, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişki seviyesini belirlemek amacıyla Eşitlik 4 kullanılarak her bir modelin korelasyon katsayıları saptanmıştır (Akgül ve Çevik, 2003; Suzan ve Gürgülü, 2021). CROPWAT ile hesaplanan  $ET_0$  değerleri ile ÇDRM modelleri ile hesaplanan referans evapotranspirasyon değerleri arasındaki farkın bir göstergesi olarak Eşitlik 5 ile standart hata miktarı belirlenmiştir (Usta ve Gençoğlan, 2019; Suzan ve Gürgülü, 2021).

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan ÇDRM’ler ve bileşenleri

Model	Bağımsız Değişkenler	Tahmin Eşitliği
ÇDRM <sub>1</sub>	$X_1: T_{min}, X_2: T_{max}, X_3: R_H, X_4: U_z, X_5: n$	$ET_0 = a + (b_1 \times T_{min}) + (b_2 \times T_{max}) + (b_3 \times R_H) + (b_4 \times U_z) + (b_5 \times n)$
ÇDRM <sub>2</sub>	$X_1: T_{min}, X_2: T_{max}, X_3: R_H, X_4: n$	$ET_0 = a + (b_1 \times T_{min}) + (b_2 \times T_{max}) + (b_3 \times R_H) + (b_4 \times n)$
ÇDRM <sub>3</sub>	$X_1: T_{min}, X_2: T_{max}, X_3: n$	$ET_0 = a + (b_1 \times T_{min}) + (b_2 \times T_{max}) + (b_3 \times n)$
ÇDRM <sub>4</sub>	$X_1: T_{min}, X_2: T_{max}$	$ET_0 = a + (b_1 \times T_{min}) + (b_2 \times T_{max})$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}} \quad (4)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - k}} \quad (5)$$

Eşitliklerdeki ifadeler;

$R^2$ : Regresyon katsayısını,

$r$ : Korelasyon katsayısını,

$\hat{Y}_i$ : Bağımlı değişkenin tahmin edilen değerini,

$Y_i$ : Bağımlı değişkenin gerçek değerinin aritmetik ortalamasını,

$n$ : Gözlem sayısını ( $n=31$ ),

$S$ : Standart hatayı,

$k$ : Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin toplam sayısını göstermektedir (ÇDRM<sub>1</sub>’de  $k=6$ , ÇDRM<sub>2</sub>’de  $k=5$ , ÇDRM<sub>3</sub>’de  $k=4$ , ÇDRM<sub>4</sub>’de  $k=3$ ).

Eşitlik 6’dan yararlanılarak %95 güven aralığında ve %5 ( $\alpha=0.05$ ) anlamlılık düzeyinde f testi uygulaması gerçekleştirilmiştir (Ünver ve Gamgam, 1999; Suzan ve Gürgülü, 2021). Test sonucunda elde edilen f değerlerini, anlamlılık F değerleri ile karşılaştırmak için EXCEL 2016

kullanılmıştır. Bu bağlamda, anlamlılık F değerleri, EXCEL 2016 ANOVA yöntemine göre üretilmiştir.

$$f = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y}_i)^2 \cdot (n-2)}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (6)$$

Regresyon analizleri için Şekil 2'de gösterilen EXCEL 2016 kullanılmıştır. Elde edilen F değerleri, Eşitlik 6'ya göre kontrol edilmiş ve anlamlılık düzeyi ile karşılaştırılmıştır. Aynı şekilde, kat sayılar, standart hata ve olasılık (P) değerleri bağımsız değişkenlere bağlı olarak EXCEL 2016 aracılığıyla belirlenmiştir. P değerlerinin 0.05'ten küçük olması, iklim verilerinin model üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğunu göstermektedir (İltir, 2019).

Şekil 2. Regresyon analizi için gerekli ayarlamaların yapıldığı pencere

ÇDRM'ler ile hesaplanan  $ET_0$  değerleri ile Penman-Monteith ile hesaplanan referans evapotranspirasyon sonuçlarının karşılaştırma kriteri olarak, karekök ortalama karesel hata (KOKH) ve ortalama mutlak göreceli hata (OMGH) kullanılmıştır. Hata miktarlarının sifıra yaklaşması, ele alınan modellerin tahmin performansının artması anlamına gelmektedir. KOKH ve OMGH sonuçlarının alınabilmesi için Eşitlik 7 ve Eşitlik 8 kullanılmıştır (Usta ve Gençoğlan, 2019; Suzan ve Gürgülü, 2021).

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (7)$$

$$OMGH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \cdot 100 \right) \quad (8)$$

## BULGULAR ve TARTIŞMA

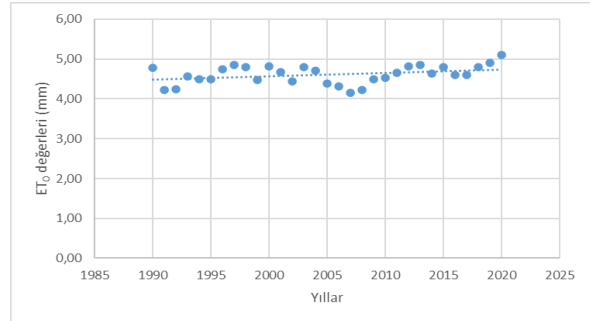
Isparta ilinin 1990–2020 yılları arasındaki iklim verileri, aylık ortalama olarak CROPWAT yazılımına girilmiş ve referans evapotranspirasyon değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca, yazılıma meteoroloji istasyonunun rakım, enlem ve boylam bilgileri de eklenmiştir. Meteorolojik verilerin yazılıma işlenmesi örnek olarak 1990 yılı için Şekil 3'te gösterilen işlem ekranında gerçekleştirilmiştir. Tüm bu işlemler belirtilen

yıllar aralığında sırasıyla yazılıma işlenerek Temmuz ayı ortalama değerleri elde edilmiştir.

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wnd km/day	Sun hours	Rad MJ/m²/day	ETo mm/day
January	-0.6	8.0	71	2	3.7	7.3	0.62
February	-0.7	7.9	74	2	4.4	9.9	0.92
March	-0.4	7.1	67	3	5.8	14.1	1.41
April	0.9	11.7	66	2	6.1	17.1	2.00
May	5.2	18.2	61	2	9.5	23.4	3.20
June	10.7	26.7	55	2	11.2	26.2	3.98
July	13.2	27.3	54	2	11.9	27.0	4.39
August	15.1	27.2	55	2	11.2	26.9	4.37
September	15.6	31.1	54	2	9.7	19.8	3.40
October	10.1	19.5	61	2	8.0	14.4	1.90
November	4.3	17.4	65	1	5.5	9.3	0.95
December	1.7	12.7	66	2	5.0	7.8	0.62
Average	6.3	18.0	63	2	7.7	16.8	2.31

Şekil 3. 1990 yılında Temmuz ayına ait ortalama iklim verileri ve  $ET_0$  değeri

Yıllara göre Temmuz ayındaki  $ET_0$  değerleri, Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu bağlamda,  $ET_0$  değerleri Temmuz ayı günlük ortalama olarak 4.15 ile 5.15 mm arasında değişim göstermiştir. CROPWAT yazılımına girilen iklim verilerine göre değişen  $ET_0$  değerlerinin, küresel ısınma ve iklim değişikliğine bağlı olarak uzun yıllarda artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, İzmir bölgesinde gerçekleştirilen Suzan ve Gürgülü (2021) çalışması ile uyumludur.



Şekil 4. Yıllara göre "Temmuz" ayı günlük ortalama  $ET_0$  değerleri

$T_{min}$ ,  $T_{max}$ ,  $R_H$ ,  $U_2$  ve  $n$  parametrelerinin çeşitli kombinasyonları deneyerek geliştirilen çoklu doğrusal regresyon modellerinde (ÇDRM<sub>1</sub>, ÇDRM<sub>2</sub>, ÇDRM<sub>3</sub> ve ÇDRM<sub>4</sub>),  $ET_0$  tahmininde kullanılabilecek eşitlikler Çizelge 2'de gösterilmiştir. ÇDRM<sub>1</sub> ve ÇDRM<sub>2</sub>,  $ET_0$  değişiminin %99'unun ( $R^2=99$ ) açıklanabildiğini ortaya koymuştur. Aynı zamanda, bu modellerin  $ET_0$  ile ilişki düzeyini ifade eden korelasyon katsayılarının  $r=0.99$  olduğu tespit edilmiştir. İki modelin standart hata değerleri 0.03 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre,  $U_2$  verisinin modeller üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı sonucuna varılabilir. Benzer sonuçlar, Van ili için yapılan bir çalışmada da bulunmuştur (Usta ve Gençoğlan, 2019). ÇDRM<sub>3</sub>'te ( $R^2=0.97$ ,  $r=0.98$  ve  $S=0.07$ ) değişiklik olmasına rağmen, beklenen miktarda büyük bir değişiklik olmamıştır. Son olarak, ÇDRM<sub>4</sub>'te standart hata 0.29 olarak tespit edilmiş ve en yüksek hata miktarı olarak hesaplanmıştır. Aynı modelde  $R^2$  ve  $r$  değerleri sırasıyla 0.45

ve 0.67 olarak saptanmıştır. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda, ÇDRM<sub>1</sub>, ÇDRM<sub>2</sub> ve ÇDRM<sub>3</sub> modellerinin ÇDRM<sub>4</sub> modeline göre istatistiksel olarak daha güvenilir olduğu açıkça görülmektedir. Başka bir deyişle, ÇDRM<sub>4</sub>'ün ET<sub>0</sub> ile ilişki düzeyi diğer modellere göre daha düşük seviyededir. Isparta'da eksik ve kayıp verilerin bulunduğu durumlar için ÇDRM<sub>3</sub>'ün ET<sub>0</sub> değerlerini doğru bir şekilde belirlemede yeterli olabileceğini göstermektedir. Bu durum,

Benli ve ark. (2010) tarafından yapılan ET<sub>0</sub> hesaplamasında eksik ve kayıp verilerle ilgili çalışma ile tam olarak örtüşmemektedir. Söz konusu çalışmada, sıcaklık verilerinin yeterli olduğu düşünülürken, bu çalışmada sadece sıcaklık verileriyle istenilen sonuca ulaşılamamıştır. Bu farkın, çalışma bölgesinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 2. Çoklu doğrusal regresyon modelleri ve tahmin eşitliği

Model	Tahmin Eşitliği	R <sup>2</sup>	S	r
ÇDRM <sub>1</sub>	ET <sub>0</sub> = -1.00902+(0.043682xT <sub>min</sub> )+(0.056352xT <sub>max</sub> )+(0.014673xR <sub>H</sub> )+(0.055749xU <sub>2</sub> )+(0.209444xn)	0.99	0.03	0.99
ÇDRM <sub>2</sub>	ET <sub>0</sub> = -0.60208+(0.041791xT <sub>min</sub> )+(0.052716xT <sub>max</sub> )+(0.012367xR <sub>H</sub> )+(0.203953xn)	0.99	0.03	0.99
ÇDRM <sub>3</sub>	ET <sub>0</sub> = 1.122821+(0.077198xT <sub>min</sub> )+(0.000578xT <sub>max</sub> )+(0.19663xn)	0.97	0.07	0.98
ÇDRM <sub>4</sub>	ET <sub>0</sub> = 1.507673+(0.268228xT <sub>min</sub> )+(-0.03207xT <sub>max</sub> )	0.45	0.29	0.67

ÇDRM<sub>1</sub>, ÇDRM<sub>2</sub>, ÇDRM<sub>3</sub> ve ÇDRM<sub>4</sub> modellerinde, bağımlı değişken (ET<sub>0</sub>) ile bağımsız değişkenler (T<sub>min</sub>, T<sub>max</sub>, R<sub>H</sub>, U<sub>2</sub> ve n) arasındaki doğrusal ilişkinin varlığını kontrol etmek amacıyla %5 (α=0.05) anlamlılık düzeyinde ve %95 güven aralığında f testi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te paylaşılmıştır. Bulgulara göre, sunulan tüm modeller için F değerleri anlamlılık düzeyinden büyük olduğu durumda bağımsız değişkenlerin çeşitli kombinasyonlarının değerlerinde anlamlı bir değişime neden olduğunu göstermektedir. Bu F değerleri, modeldeki tüm iklim parametrelerini kapsamaktadır. Elde edilen sonuçlar, Usta ve Gençoğlu (2019)'ın bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olduğu bulgusuyla uyumludur.

Çizelge 3. Tüm modellerin F değerleri ve anlamlılık F değerleri

Model	F	Anlamlılık F
ÇDRM <sub>1</sub>	1221.15	5E-29
ÇDRM <sub>2</sub>	1295.47	2E-29
ÇDRM <sub>3</sub>	299.72	8E-21
ÇDRM <sub>4</sub>	11.76	0.00

ÇDRM<sub>1</sub> için iklim parametreleri tek tek değerlendirildiğinde, modelde yer alan katsayılar, standart hata değerleri ve P sonuçları Çizelge 4'te sunulmuştur. Bu tabloya göre, P değeri 0.05'ten küçük olduğunda, iklim verilerinin model üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 4. ÇDRM<sub>1</sub> iklim parametrelerinin istatistiksel olarak hesaplanması

ÇDRM <sub>1</sub>	Katsayılar	Standart Hata	P değeri
Kesişim	-1.01	0.25	0.00
T <sub>min</sub>	0.04	0.01	0.00
T <sub>max</sub>	0.06	0.01	0.00
R <sub>H</sub>	0.01	0.00	0.00
U <sub>2</sub>	0.06	0.02	0.03
n	0.21	0.00	0.00

Bu durum, kullanılan tüm iklim verilerinin model için önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. ÇDRM<sub>2</sub>, ÇDRM<sub>1</sub> ile benzer bir değerlendirmeye tabi tutulduğunda, U<sub>2</sub> verisinin çıkarılmasına rağmen benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Bu durum, bu model içinde kullanılan tüm iklim parametrelerinin etkisinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5. ÇDRM<sub>2</sub> iklim parametrelerinin istatistiksel olarak hesaplanması

ÇDRM <sub>2</sub>	Katsayılar	Standart Hata	P değeri
Kesişim	-0.60	0.19	0.00
T <sub>min</sub>	0.04	0.01	0.00
T <sub>max</sub>	0.05	0.01	0.00
R <sub>H</sub>	0.01	0.00	0.00
n	0.20	0.00	0.00

ÇDRM<sub>3</sub>'te yer alan iklim verilerinin katsayıları, standart hata ve P değerleri Çizelge 6'da sunulmuştur. P değeri 0.05'ten küçük olan veri setlerinde, bağımsız değişkenlerin model üzerindeki etkisinin daha fazla olduğu bilgisinden hareketle; T<sub>min</sub> ve n iklim verilerinin bu model üzerindeki etkisinin daha fazla olduğu saptanmıştır.

Çizelge 6. ÇDRM<sub>3</sub> iklim parametrelerinin istatistiksel olarak hesaplanması

ÇDRM <sub>3</sub>	Katsayılar	Standart Hata	P değeri
Kesişim	1.12	0.26	0.00
T <sub>min</sub>	0.08	0.03	0.02
T <sub>max</sub>	0.00	0.02	0.98
n	0.20	0.01	0.00

Son olarak ÇDRM<sub>4</sub> modelinde yer alan kat sayılar, standart hatalar ve P değerleri Çizelge 7'de sunulmuştur. Bu tabloya göre T<sub>max</sub> ve kesişimin P değerleri 0.05'ten daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum, bu modelde etkisi

en fazla olan bağımsız değişkenin  $T_{min}$  olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 7.** ÇDRM<sub>4</sub> iklim parametrelerinin istatistiksel olarak hesaplanması

ÇDRM <sub>4</sub>	Katsayılar	Standart Hata	P değeri
Kesişim	1.51	1.11	0.19
$T_{min}$	0.27	0.12	0.04
$T_{max}$	-0.03	0.09	0.71

ÇDRM<sub>1</sub>, ÇDRM<sub>2</sub>, ÇDRM<sub>3</sub> ve ÇDRM<sub>4</sub> sonuçları, İzmir bölgesi için oluşturulan Suzan ve Gürgülü (2021)'ün çalışmasındaki üç modeliyle çalışmasıyla uyumlu çıkmıştır. Her iki çalışmada da, modellerdeki kesişimlerin standart hata miktarları, iklim parametrelerinin standart hata miktarlarından büyük çıkmıştır. P değerlerinde de benzer bir uyum gözlemlenmiştir.

Çoklu doğrusal regresyon modelleri ile hesaplanan ET<sub>0</sub> değerlerinin, CROPWAT'tan elde edilen ET<sub>0</sub> verilerinden olan sapma miktarlarını belirlemek amacıyla KOKH ve OMGH değerleri hesaplanmıştır. KOKH sonuçlarına göre, ÇDRM<sub>1</sub>, ÇDRM<sub>2</sub>, ÇDRM<sub>3</sub> ve ÇDRM<sub>4</sub> için sırasıyla 0.031, 0.030, 0.066 ve 0.272 değerleri elde edilmiştir. OMGH sonuçları ise ÇDRM<sub>1</sub> için 0.449, ÇDRM<sub>2</sub> için 0.432, ÇDRM<sub>3</sub> için 1.259 ve ÇDRM<sub>4</sub> için 4.986 değerlerine ulaşmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, iklim parametrelerinin sayısı arttıkça, ÇDRM'ler ile daha tutarlı referans evapotranspirasyon değerleri elde edilebilmektedir.

Araştırmada Temmuz ayının referans alınmasının temel sebebi, bu ayın uzun yıllar ortalamalarına göre Isparta'da referans evapotranspirasyonun en yüksek olduğu dönem olmasıdır. Bu durumun, modelleme doğruluğunu ve bölgenin karakteristik su tüketim özelliklerini daha net bir şekilde analiz etmeye olanak tanıyacağı öngörülmüştür. Haziran ve Ağustos aylarının değerlendirilmemesi ise çalışmanın odaklandığı spesifik analiz hedefleriyle ilişkilidir. Araştırmanın amacı, özellikle maksimum evapotranspirasyon değerlerinin modellenmesi olduğundan, bu döneme ağırlık verilmiştir. Ancak ilerleyen çalışmalarda, bu ayların da dahil edilerek mevsimsel trendlerin daha kapsamlı bir şekilde ele alınması planlanmaktadır.

## SONUÇ

Son yıllarda küresel ısınmanın etkisi ile tehdit olarak karşımıza çıkan kuraklık hadisesi, ülkemizdeki kısıtlı su kaynağı koşulları ile birlikte özellikle tarım alanlarında daha da hissedilir bir şekilde karşımıza çıkmaktadır. Tarım alanlarında sulama uygulamaları yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Bu durum kaynaklı olarak sulama projelerinin zamanın koşulları ile örtüşen ve gerçekçi bir şekilde uygulanması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ülkemiz koşullarında özellikle Temmuz ayında bitki su tüketim değerleri diğer aylara kıyasla belirgin bir şekilde arttığından, doğru bir sulama projesi ile Temmuz'da karşılanan bitki su

ihtiyacı, diğer aylarda da rahatlıkla karşılanabilir düzeye gelir. Aynı zamanda iklim verilerinin bazı kısımları çeşitli sebepler ile kaybolabilmekte veya iklim verilerinin kayıtları eksik olabilmektedir. Bu durumda bitkilerin su ihtiyacının belirlenmesinde yanlışlıklara sebep olabilmektedir. Sonuç olarak, sulama programlaması ve projelendirilmesi yapılırken iklim verilerine bağlı olarak kısa ya da uzun dönemlere ilişkin, bitkilerin yararlanabileceği su miktarlarının doğru tespit edilmesi dikkatle üzerinde durulması gereken bir konudur. Buradan yola çıkarak bu çalışmada, CROPWAT programından yararlanarak uzun yıllar için Temmuz ayının günlük ET<sub>0</sub> miktarları belirlenmiştir. CROPWAT'ın ürettiği ET<sub>0</sub> değerlerine göre çeşitli bağımsız değişkenlerin denendiği regresyon modelleri üretilmiştir. İstatistiksel anlamda ÇDRM<sub>1</sub>, ÇDRM<sub>2</sub> ve ÇDRM<sub>3</sub> modelleri anlamlı sonuç vermiştir. Özellikle ÇDRM<sub>3</sub>'te U<sub>2</sub> ve R<sub>H</sub> verileri kullanılmadan uzun yıllardaki Temmuz ayı için iyi sonuçlar alınması eksik ve kayıp veri olduğu durumlarda bu modelin yol göstermesi açısından anlamlıdır. Aynı zamanda yine yapılan analizler sonucunda iklim değişikliği ile birlikte Temmuz ayındaki ET<sub>0</sub> değerlerinin artış eğilimin de olduğunun da tespiti yapılmıştır. Bitki yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı Isparta yöresinde diğer aylar için de gelecek çalışmalarda çoklu regresyon modellerinin oluşturulması planlanmaktadır. Böylece, eksik veri durumları değerlendirilerek planlanan gelecek çalışmalardan elde edilecek modeller ile hesaplanacak ET<sub>0</sub> değerleri, tüm sulama sezonu boyunca daha kapsamlı bir fikir oluşturmak için kullanılabilir olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Akgül A, Çevik O (2003) İstatistiksel Analiz Tek. SPSS'te İşletme Yönetimi Uygulaması, Emek Ofset, Ankara.
- Alexandris S, Kerkides, P and Liakatas A (2006) Daily Reference Evapotranspiration Estimates by the 'Copais' Approach, Agricultural Water Management 82: 371 -386.
- Anonim (2023a) Isparta (il) Bitki Örtüsü, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Isparta\\_\(il\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Isparta_(il)), (Erişim Tarihi: 25.02.2023).
- Anonim (2023b) Isparta Ekonomik Yapı, <https://isparta.ktb.gov.tr/TR-71027/ekonomik-yapi.html> (Erişim Tarihi: 26.02.2023).
- Atış A, Cemek B, Taşan M, Safi S (2015) Samsun İli için Bitki Su Tüketiminin Deterministik Modelle Belirlenmesi. 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Environment, September 30 – October 3, 296 – 304, Konya.
- Azrak, M, Şaylan L (2019) İklim Değişikliğinin Türkiye'de, Trakya Bölgesinde, Referans Evapotranspirasyona Olan Etkilerinin Belirlenmesi, Toprak Su Dergisi Özel Sayı 77-85.

- Bayramoğlu E (2013) Trabzon İlinde İklim Değişikliğinin Mevsimsel Bitki Su Tüketimine Etkisi: Penman-Monteith Yöntemi, Kastamonu Üni. Orman Fakültesi Dergisi 13(2):300 - 306.
- Benli B, Bruggeman A, Oweis T and Üstün H (2010) Performance of Penman-Monteith FAO56 in a Semiarid Highlan Environment, Journal of Irrigation and Drainage Engineering 136(11).
- Büyüköztürk Ş (2003) Sosyal Bilimler için Veri Analizi El Kitabı, Pegem Yayıncılık, Ankara.
- Çakmak B ve Gökalp Z (2011) İklim Değişikliği ve Etkin Su Kullanımı, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 4(1): 87 – 95.
- Gavilan P, Berengena J, Allen R G (2007) Measuring Versus Estimating Net Radiation and Soil Heat Flux Impact on Penman-Monteith Reference ET Estimates in Semiarid Regions, Agricultural Water Management, 89: 275-286.
- Güngör Y, Erözel Z, Yıldırım O (2012) Sulama, Ankara Üniversitesi Basımevi.
- IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assesment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bexand P.M. Midgley (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdoland New York, USA.
- İltir, C (2019) Excel ile İstatistik Veri Analizi, Seçkin Yayıncılık.
- Kanber R (2006) Sulama, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitapları: Yayın No: A-52, Adana.
- Karaca C, Büyüктаş D, Sönmez F K, Tekelioğlu B (2017) Kıyas Bitki Su Tüketiminin (ET<sub>0</sub>) Hesaplanması Amacıyla Kullanılan Bilgisayar Yazılımlarının Karşılaştırılması, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırması Dergisi, 6(1): 118 – 128.
- Kaya S (2011) Yarı-Kurak İklim Koşullarında Farklı Yöntemlerle Hesaplanan Referans Evapotranspirasyon Değerlerinin Karşılaştırılması, Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 1(1): 58 – 90.
- Peker, F, Bayhan, H, Akkoyunlu A (2021) Global Gerçek Evapotranspirasyon (ET<sub>a</sub>) Haritalarından Arazi Kullanım Sınıflarına Ait ET<sub>a</sub> Kayıplarının Tahmini, European Journal of Engineering and Applied Sciences 4(1), 18 - 26.
- Pereira, L S, Allen, R G, Smith M, Raesda D R (2015) Crop Evapotranspiration with FAO56: Past and Futura, Agricultural Water Management, 147, 4 - 20.
- Razzaghi F, Sepaskhah A R (2011) Calibration and Validation of Four Common ET<sub>0</sub> Estimation Equations by Lysimeter Data in a Semiarid Environment, Archives of Agronomy and Soil Science 58(3): 303-319.
- Suzan U ve Gürgülü H (2021) Çoklu Doğrusal Regresyon Modelleri İle İzmir İçin Referans Bitki Su Tüketiminin Tahminlenmesi, 3rd International Conference on Food, Agriculture and Veterianary, 19-20 June, İzmir.
- Turan E S (2018) Türkiye'nin İklim Değişikliğine Bağlı Kuraklık Durumu, Artvin Çoruh Üniversitesi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 4(1): 63 – 69.
- Türkeş M (2012) Kuraklık, Çölleşme ve Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Şavaşım Sözleşmesi'nin Ayrıntılı bir Çözümlemesi, Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi, 20(1): 7 – 55.
- Urrea R, Martin de Santa Olalla F, Moratalla A (2006) Testing Evapotranspiration Equations Using Lysimeter Observations in a Semiarid Climate, Agricultural Water Management, 85: 15-26.
- Usta S, Gencoglan S (2019) Estimation of Reference Evapotranspiration Using Multiple Linear Regression Models, International Journal of Scientific and Technological Research, 5(2): 5-19.
- Ünlükara, A (2021) Sulama Mühendisliği, Erciyes Üniversitesi (Basılmamış).
- Ünver Ö, Gamgam H (1999) Uygulamalı İstatistik Yöntemler, Siyasi Kitabevi, Ankara.
- Yıldırım, O (2013) Sulama Sistemlerinin Tasarımı, Ankara Üniversitesi Basımevi.

