TARIMSAL SU YÖNETİMİ VE TURİZM-EKOTURİZM ALANLARINDA DİSİPLİNLERARASI SÜRDÜRÜLEBİLİR GÜNÇEL YAKLAŞIMLAR



Doç. Dr. Selçuk USTA

Prof. Dr. Musa GENÇ

Doç. Dr. Ebru BİLİCİ

Doç. Dr. Paşa Mustafa ÖZYURT

Doç. Dr. Selçuk USTA

Dr. Öğr. Üyesi Muhittin İNAN

ISBN: 978-625-5753-23-6

Ankara -2025

TARIMSAL SU YÖNETİMİ VE TURİZM-EKOTURİZM ALANLARINDA DİSİPLİNLERARASI SÜRDÜRÜLEBİLİR GÜNÇEL YAKLAŞIMLAR

EDİTÖR

Doç. Dr. Selçuk USTA
ORCID ID: 0000-0001-8970-7333

YAZARLAR

Prof. Dr. Musa GENÇ[1]

Doç. Dr. Ebru BİLİCİ[2]

Doç. Dr. Paşa Mustafa ÖZYURT[3]

Doç. Dr. Selçuk USTA[4]

Dr. Öğr. Üyesi Muhittin İNAN[5]

[1]Giresun Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Rekreasyon Yönetimi Bölümü, Giresun, Türkiye
musa.genc@giresun.edu.tr
ORCID ID: 0009-0007-5902-177X

[2]Giresun Üniversitesi, Dereli Meslek Yüksekokulu, Giresun, Türkiye
ebru.bilici@giresun.edu.tr
ORCID ID: 0000-0003-0532-0890

[3]Giresun Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Rekreasyon Yönetimi Bölümü, Giresun, Türkiye
pasa.mustafa@giresun.edu.tr
ORCID ID: 0000-0003-2968-7988

[4]Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Van, Türkiye
susta@yyu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-8970-7333

[5]İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, İstanbul, Türkiye
inan@iuc.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-8179-9499

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.17778109

Copyright © 2025 by UBAK publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. UBAK International Academy of Sciences Association Publishing House®
(The Licence Number of Publicator: 2018/42945)

E mail: ubakyayinevi@gmail.com
www.ubakyayinevi.org
It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
UBAK Publishing House – 2025©

ISBN: 978-625-5753-23-6
December / 2025
Ankara / Turkey

ÖNSÖZ

Tarım ve turizm sektörleri hem ekonomik hem de sosyo-kültürel gelişime katkı sağlamaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu doğal, tarihsel ve kültürel değerler düşünüldüğünde, bu iki alanın ortak biçimde değerlendirilmesi sürdürülebilir kalkınma açısından büyük bir avantaj oluşturmaktadır. Bununla birlikte, iklim değişikliği etkilerinin her geçen gün biraz daha belirginleştiği günümüz dünyasında, su kaynakları yönetimi ve tarımsal üretim stratejileri ile doğal ve kültürel peyzajların korunması sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin merkezinde yer almaktadır. Tarımsal su yönetimi ve turizm-ekoturizm alanlarında birbirinden farklı, ancak çevre ve sürdürülebilirlik ana başlıkları altında kesişen güncel araştırmaları ve uygulamaları kapsayan disiplinler arası bir bakış açısıyla hazırlanan bu eser, üç bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm, su kaynakları mühendisliği ve tarımsal hidroloji açısından büyük bir öneme sahip olan referans evapotranspirasyon tahminleri üzerine odaklanmıştır. Bu bağlamda, dünya genelinde standart referans evapotranspirasyon tahmin yöntemi olarak kabul edilen ve yaygın bir şekilde kullanılan FAO-56 Penman & Monteith yöntemi ile bu yönteme göre daha az sayıda meteorolojik parametre kullanımı gerektiren Turc yönteminin yarı kurak-kurak iklim koşullarındaki tahmin performansları, kullanılabilirlik ve güvenilirlik düzeyleri çeşitli istatistiksel ölçütler kullanılarak Van ili özelinde karşılaştırılmıştır. İkinci bölümde, kültürel ve doğal peyzajların belgelenmesinde insansız hava araçları (İHA) teknolojisinin kullanım olanakları ekoturizm bağlamında ele alınmıştır. Ekoturizm potansiyeli

belirleme basamaklarından biri olan alanın ekoturizm etkinlikleri için önemli doğal kaynakları arasında yer alan flora yapısı, faunası, su varlıkları, topoğrafik yapısı ve ekolojik oluşumlar gibi değerlerin belirlenmesi ve mevcut kültürel mirasların tespitinde İHA teknolojisi ile elde edilen verilerin kullanılabilirliği ve uygulanabilirliği incelenmiştir. Üçüncü bölümde ise, nemli ve kurak iklim koşullarında hava sıcaklığı, yağış ve evapotranspirasyon parametreleri arasındaki ilişki tarımsal sulama yönünden değerlendirilmiştir. Bu parametrelere ve iklim koşullarına bağlı olarak bitki su tüketimini ve sulama suyu ihtiyacını belirleyen temel dinamikler tarımsal su yönetimi kapsamında ortaya koyularak, toprak nemine duyarlı doğru sulama stratejilerinin önemi vurgulanmıştır.

Bu kitabın oluşum sürecinde, alanında uzman ve deneyimli araştırmacıların değerli katkıları ve özenli çalışmaları önemli bir paya sahiptir. Her bir bölüm, özgün bilimsel veriler ve bulgular temel alınarak yapılandırılmış olup hem akademik araştırmalara hem de uygulamalı çalışmalara yönelik bir kaynak olmayı hedeflemektedir. Ayrıca, bu eser; tarımsal su yönetimi, orman, su bilimleri, turizm ve ekoturizm alanlarında çalışan araştırmacılar, uygulayıcılar ve öğrenciler için bir başvuru kaynağı olmayı amaçlamaktadır. Eserin bilim dünyasına katkı sağlaması dileğiyle…

01.12.2025

Doç. Dr. Selçuk USTA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ 4

İÇİNDEKİLER 10

BÖLÜM 1

REFERANS EVAPOTRANSPİRASYON TAHMİNLERİNDE KULLANILAN FAO-56 PENMAN & MONTEİTH VE TURC YÖNTEMLERİNİN YARI KURAK – KURAK İKLİM KOŞULLARINDA KARŞILAŞTIRILMASI: VAN ÖRNEĞİ…….……..…….(9-32)

Selçuk USTA

BÖLÜM 2

KÜLTÜREL VE DOĞAL PEYZAJLARIN BELGELENMESİNDE İHA KULLANIM POTANSİYELİNİN EKOTURİZM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ……...…….……..…..….(33-56)

Ebru BİLİCİ

Muhittin İNAN

Musa GENÇ

Paşa Mustafa ÖZYURT

BÖLÜM 3

TARIMSAL SULAMA YÖNÜNDEN SICAKLIK YAĞIŞ VE EVAPOTRANSPİRASYON İLİŞKİSİNİN NEMLİ VE KURAK İKLİM KOŞULLARINDA DEĞERLENDİRİLMESİ…….....(57-78)

BÖLÜM 1

REFERANS EVAPOTRANSPİRASYON TAHMİNLERİNDE KULLANILAN FAO-56 PENMAN & MONTEİTH VE TURC YÖNTEMLERİNİN YARI KURAK – KURAK İKLİM KOŞULLARINDA KARŞILAŞTIRILMASI: VAN ÖRNEĞİ

Doç. Dr. Selçuk USTA

GİRİŞ

Hidrolojik döngünün ana bileşenlerinden biri olan evapotranspirasyon (ET), mevcut su kaynaklarının doğru yönetimi ve geleceğe dönük kullanımlarının önceliklendirilmesi amacıyla yürütülen çalışmalarda temel veri olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle doğru ölçülen veya tahmin edilen ET verilerine her zaman ihtiyaç duyulmaktadır. Yeryüzüne yağışla düşen suyun toprak ve su yüzeylerinden gerçekleşen buharlaşma (evaporasyon) ve bitki yüzeylerinden gerçekleşen terleme (transpirasyon) yolu ile atmosfere geri iletilmesi süreci olarak tanımlanan ve bitki su tüketimi olarak da ifade edilen ET, hidrolojik döngünün en karmaşık ve doğrudan ölçülmesi en zor olan bileşenidir (Jing ve ark., 2019).

ET, lizimetre sistemleri kullanılarak doğrudan ve en gerçekçi şekilde ölçülebilmektedir. Ancak, bu sistemlerin kurulum ve işletme giderlerinin yüksek olması ve ayrıca ölçme işlemlerinin çok fazla iş gücü ve zaman kullanımı gerektirmesi kullanımlarını kısıtlamaktadır (Abdulkareem ve ark., 2015). Bu nedenle, ET'nin referans

evapotranspirasyona (ET_o) dayalı olarak tahmin edilmesi yaklaşımı uygulamalarda daha fazla tercih edilmektedir. Bu yaklaşımda referans çim bitkisi için tahmin edilen ET_o, bitki özelliklerini yansıtan bir bitki katsayısı (K_c) ile düzeltilerek ET yüksek doğrulukla tahmin edilmektedir (Eşitlik 1). Burada ET_o, egemen iklimsel koşullarda yetişen ve yeterli düzeyde sulanan, sağlıklı büyüyen, toprağı tamamen gölgeleyen ve 70 s m^{-1} sabit yüzey direncine sahip olan ortalama 12 cm yüksekliğindeki referans çim bitkisinden yansımanın (albedo) 0.23 ($\alpha = 0.23$) olduğu şartlarda gerçekleşen maksimum evapotranspiration olarak tanımlanmaktadır (Allen ve ark., 1998).

$$ET = ET_o \times K_c \quad (1)$$

ET_o tahminlerinde bitki, toprak ve iklim özelliklerine dayalı olarak geliştirilen çok fazla sayıda ampirik tahmin yöntemi kullanılmaktadır (Makkink, 1957; Blaney ve Criddle, 1962; Jensen ve Haise, 1963; Schendel, 1967; Priestley ve Taylor, 1972; Caprio, 1974; Hargreaves ve Samani, 1985; Abtew, 1996). Bu yöntemlerden farklı olarak, A sınıfı buharlaşma kabı (Class-A Pan) yöntemi ile tek bir parametreye bağlı olarak da ET_o tahmin edilebilmektedir. Bu yöntemde, A sınıfı buharlaşma kabı içerisinde bulunan suyun yüzeyinden belirli bir dönem (gün, hafta, ay) boyunca gerçekleşen buharlaşma (E_p) miktarı uygun pan katsayıları (K_p) ile düzeltilerek (Eşitlik 2) aynı dönem boyunca gerçekleşen ET_o miktarı yüksek doğrulukla tahmin edilebilmektedir (Allen ve ark., 1998).

$$ET_o = E_p \times K_p \quad (2)$$

Günümüzde ET_o tahminlerinde en çok tercih edilen yöntemlerin başında Penman & Monteith (PM) gelmektedir. İlk defa 1948 yılında oluşturulan ve zaman içerisinde bazı sabiteler eklenerek geliştirilen bu yöntem, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından 1998 yılında çim bitkisine uyarlanarak Penman & Monteith (PM) eşitliği FAO-56 modifikasyonu adı altında kullanıma sunulmuştur (Penman, 1948; Monteith, 1965; Allen ve ark., 1998). Günümüzde standart ET_o tahmin yöntemi olarak kabul edilen bu yöntemin güvenilirliği bir çok çalışma ile ortaya koyulmuştur (Lage ve ark., 2003; Jacobs ve ark., 2004; Trajković ve Gocić, 2010).

Lemeur ve Zhang (1990), kurak iklim kuşağında yer alan bir nehir havzası için su dengesi yaklaşımı ile belirledikleri günlük ortalama ET_o değerlerine en yakın sonuçların PM yöntemi ile tahmin edildiğini bildirmişlerdir. Beyazgül ve ark. (2000), Gediz havzası koşullarında pamuk ekimi yapılan alanlarda bazı ampirik yöntemler kullanılarak tahmin edilen sulama suyu ihtiyaçlarını, su bütçesi yöntemi ile karşılaştırmışlar ve gerçeğe en yakın sonuçların FAO-56 PM yöntemi ile elde edildiğini ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Jacobs ve ark. (2004), Trajković ve Gocić (2010), sırasıyla Amerika Birleşik Devletleri ve İtalya koşullarında gerçekleştirdikleri çalışmalarda, bazı ampirik yöntemler kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama ET_o değerleri ile lizimetre sistemleri kullanılarak belirlenen günlük ortalama gerçek ET_o değerlerini karşılaştırmışlardır. Her iki çalışmanın sonuçlarına göre, gerçek ET_o değerlerine en yakın sonuçların FAO-56 PM yöntemi ile tahmin edildiği görülmüştür.

Hava sıcaklığı (T), oransal nem (RH), solar radyasyon (R_s), zemin yüzeyinden 2 m yükseklikten ölçülen rüzgâr hızı (U_2) ve topraktaki ısı akısı (G) parametrelerinin giriş değişkenleri olarak kullanıldığı FAO-56 PM eşitliği (Eşitlik 3) ve bu eşitliğin alt bileşenlerinin belirlenmesinde kullanılan diğer eşitlikler (Eşitlik 4-20) sırasıyla Şekil 1a ve Şekil 1b'de verilmiştir (Allen ve ark., 1998).

Eşitlik	NO.
$ET_o = \frac{0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \left(\frac{900}{T+273}\right) \times U_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0.34 \times U_2)}$	(3)
$es_{max} = 0.6108 \times \exp\left(\frac{17.27 \times T_{max}}{T_{max} + 237.3}\right)$	(4)
$es_{min} = 0.6108 \times \exp\left(\frac{17.27 \times T_{min}}{T_{min} + 237.3}\right)$	(5)
$e_s = \frac{es_{max} + es_{min}}{2}$	(6)
$e_a = \frac{\left(\frac{es_{min} \times RH_{max}}{100}\right) + \left(\frac{es_{max} \times RH_{min}}{100}\right)}{2}$	(7)
$\Delta = \frac{4098 \times \left[0.6108 \times \exp\left(\frac{17.27 \times T}{T+237.3}\right)\right]}{(T+237.3)^2}$	(8)
$P_a = 101.3 \times \left[\frac{293 - 0.0065 \times Z}{293}\right]^{5.26}$	(9)
$\gamma = 0.665 \times 10^{-3} \times P_a$	(10)

Şekil 1a. FAO-56 Penman & Monteith (PM) eşitliği ve bileşenleri

Eşitlik	NO.
$j = [(30.56 \times Ay) - 30 + Gün] - 2$	(11)
$d_r = 1 + 0.033 \times \cos\left(\frac{2 \times \pi \times j}{365}\right)$	(12)
$\delta = 0.409 \times \sin\left[\left(\frac{2 \times \pi \times j}{365}\right) - 1.39\right]$	(13)
$Ø = E \times \left(\frac{\pi}{180}\right)$	(14)
$w_s = \arccos(-\tan Ø \times \tan\delta)$	(15)
$R_a = 24 \times \left(\frac{60}{\pi}\right) \times G_{sc} \times d_r \times [(w_s \times \sin Ø \times \sin\delta) + (\cos Ø \times \cos\delta \times \sin w_s)]$	(16)
$R_{so} = (0.75 + 2.10^{-5} \times Z) \times R_a$	(17)
$R_{nl} = \sigma \times \left[\frac{(T_{max} + 273.16)^4 + (T_{min} + 273.16)^4}{2}\right] \times (0.34 - 0.14 \times \sqrt{e_a}) \times \left(1.35 \times \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35\right)$	(18)
$R_{ns} = (1 - \alpha) \times R_s$	(19)
$R_n = R_{ns} - R_{nl}$	(20)

Şekil 1b. FAO-56 Penman & Monteith (PM) eşitliği ve bileşenleri

FAO-56 Penman & Monteith (PM) eşitliği ve alt bileşenlerinin hesaplanmasında kullanılan eşitliklerde; ET_o, günlük ortalama referans evapotranspirasyon (mm gün^{-1}); Δ, doygun buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa °C^{-1}); R_n, bitki yüzeylerine etki eden günlük ortalama net radyasyon (MJ m^{-2} gün^{-1}); G, günlük ortalama topraktaki ısı akısı değişimi (MJ m^{-2} gün^{-1}); γ, psikometrik sabit (kPa °C^{-1}); T,

günlük ortalama ortalama hava sıcaklığı (°C); U_2, zemin yüzeyinden 2 m yükseklikte ölçülen günlük ortalama rüzgâr hızı (m s^{-1}); e_s ve e_a, sırasıyla doygun ve gerçek buhar basınçları (kPa); es_{max} ve es_{min}, sırasıyla maksimum ve minimum doygun buhar basınçları (kPa); T_{max} ve T_{min}, sırasıyla günlük maksimum ve minimum hava sıcaklıkları (°C); RH_{max} ve RH_{min}, sırasıyla günlük maksimum ve minimum oransal nem değerleri (%); P_a, Atmosferik basınç (kPa); Z, rakım (m); J, Julian tarihi; Ay, her bir ayın numarası (1-12); d_r, dünya-güneş ters oransal uzaklığı; δ, solar diklik (radyan); E, enlem (derece); Ø, enlem (radyan); w_s, güneş batım saatindeki açı (radyan); G_{sc}, solar sabite (0.0820 MJ m^{-2} dakika^{-1}); R_s, solar radyasyon (MJ m^{-2} gün^{-1}); R_a, extraterrestrial radyasyon (MJ m^{-2} gün^{-1}); R_{so}, açık (bulutsuz) gökyüzü radyasyonu (MJ m^{-2} gün^{-1}); R_{nl}, dünyadan giden net uzun dalga boylu radyasyon (MJ m^{-2} gün^{-1}); σ, Stefan Boltzmann katsayısı (4.903 10^{-9} MJ K^{-4} m^{-2} gün^{-1}); R_{ns}, güneşten gelen net kısa dalga boylu radyasyon (MJ m^{-2} gün^{-1}) ve α, yansıtma-albedo katsayısını ifade etmektedir.

Referans evapotranspirasyon hesaplamalarında solar radyasyon (R_s) verilerinin ölçülemediği veya temin edilemediği durumlarda Angström & Prescott eşitliği (Eşitlik 21) kullanılarak, R_s enlem ve zamana bağlı olarak tahmin edilebilmektedir. Angström & Prescott eşitliğinin kalibrasyon katsayıları (a_s, b_s), FAO tarafından hazırlanan 56 sayılı Sulama ve Drenaj yayınında tüm iklim koşulları için sırasıyla 0.25 ve 0.50 olarak önerilmiştir. Bu eşitliğinin alt bileşenlerinden günlük olası maksimum güneşlenme süresin (N) Eşitlik (22) kullanılarak tahmin edilebilmektedir (Allen ve ark., 1998).

$$R_s = \left[a_s + b_s \times \left(\frac{n}{N}\right)\right] \times R_a \quad (21)$$

$$N = \left(\frac{24}{\pi}\right) \times w_s \quad (22)$$

Eşitliklerde; R_s, günlük solar radyasyon (MJ m^{-2} $gün^{-1}$); R_a, günlük extraterrestrial radyasyon (MJ m^{-2} $gün^{-1}$); n, günlük güneşlenme süresi (saat); N, günlük olası maksimum güneşlenme süresine (saat); w_s, güneş batım saatindeki açı (radyan); a_s ve b_s, kalibrasyon katsayılarını ($a_s = 0.25$, $b_s = 0.50$) ifade etmektedir.

Standart FAO-56 Penman & Monteith (PM) yönteminde giriş değişkenleri olarak kullanılanan T, R_s, RH, U_2 ve G parametrelerinden U_2 ve G hariç diğerlerinin giriş değişkenleri olarak kullanıldığı Turc yöntemi, nemli koşullardaki ET_o tahminlerinde kullanılan en basit ampirik yöntemlerden biridir. Genel olarak Fransa'nın güneyi ve Afrika kıtasının kuzeyinde bulunan bölgeler için geliştirilen bu yöntem, nemli bölgelerdeki ET_o tahminlerinde yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Günlük ortalama ET_o tahminlerinde kullanılmak üzere önerilen Turc eşitlikleri oransal nem (RH) parametresindeki değişime bağlı olarak sırasıyla Eşitlik (23) ve Eşitlik (24)'de verilmiştir (Turc, 1961). Günlük ortalama oransal nemin en az %50 veya daha yüksek olması ($RH \geq \%50$) durumunda Eşitlik (23), %50'den daha düşük ($RH < \%50$) olması durumunda ise Eşitlik (24) kullanılarak günlük ortalama ET_o tahmin edilebilmektedir.

$$ET_o = 0.013 \times \left(\frac{T}{T+15}\right) \times (R_s + 50) \quad (23)$$

$$ET_o = 0.013 \times \left(\frac{T}{T+15}\right) \times (R_s + 50) \times \left(1 + \frac{50 - RH}{70}\right) \quad (24)$$

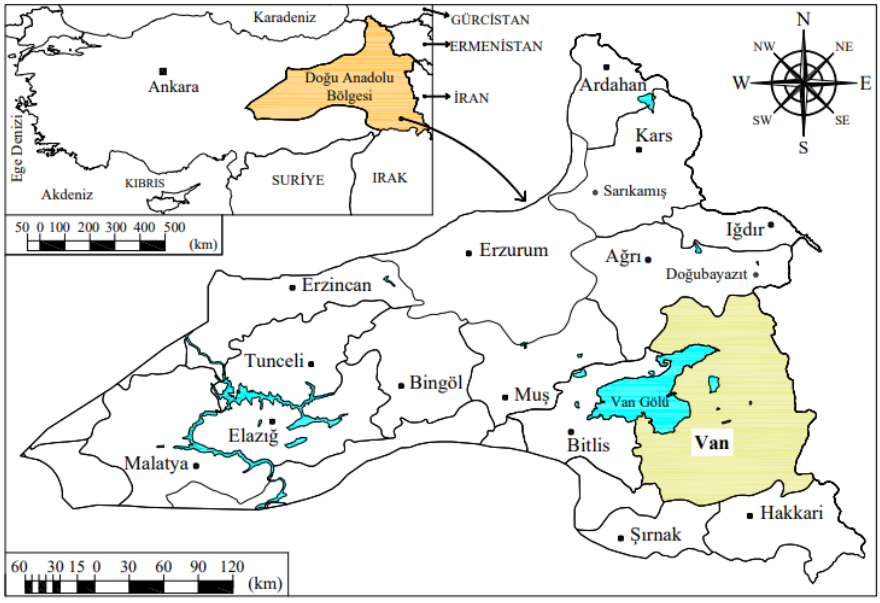
Eşitliklerde; ET_o, günlük ortalama referans evapotranspirasyon (mm $gün^{-1}$); R_s, günlük ortalama solar radyasyon (Cal cm^{-2} $gün^{-1}$); T, günlük ortalama hava sıcaklığı (°C) ve RH, günlük ortalama oransal nem (%) değerlerini ifade etmektedir.

Jensen ve ark. (1990), dünya genelinde farklı iklim ve çevre özelliklerine sahip nemli on bir bölgede lizimetre koşullarında ölçülen günlük ortalama ET_o verilerini kullanarak, yirmi adet ampirik ET_o tahmin yöntemini karşılaştırdıkları çalışmalarında, PM yönteminden sonra en iyi ikinci performansa sahip yöntemin Turc olduğunu bildirmişlerdir. Bu yöntemin nemli bölgelerdeki ET_o tahminlerinde diğer ampirik yöntemlere göre daha iyi performans gösterdiği yapılan bir çok çalışma ile ortaya koyulmuştur (Xu ve Singh, 1998; Nandagiri ve Kovoor, 2006). Bununla birlikte Trajković ve Kolakovic (2009), Turc yönteminin ET_o değerlerini rüzgârsız nemli bölgelerde olması gerekenden daha yüksek, rüzgârlı nemli bölgelerde ise olması gerekenden daha düşük tahmin ettiğini bildirmişlerdir.

Literatür taraması sonucunda, nemli bölgelerdeki ET_o tahminleri için geliştirlen Turc yönteminin daha çok nemli ve tropikal bölgelerdeki kullanılabilirliğini test etmek amacıyla çok sayıda çalışmanın yürütüldüğü, kurak bölgelerde ise yeterli sayıda çalışmanın yürütülmediği görülmüştür. Buradan yola çıkılarak yürütülen bu çalışmada, nemli bölgelerdeki ET_o tahminlerinde yüksek performans gösteren Turc yönteminin yarı kurak – kurak Van ili koşullarında gerçekleştirilen günlük ortalama ET_o tahminlerindeki kullanılabilirlik ve güvenilirlik düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

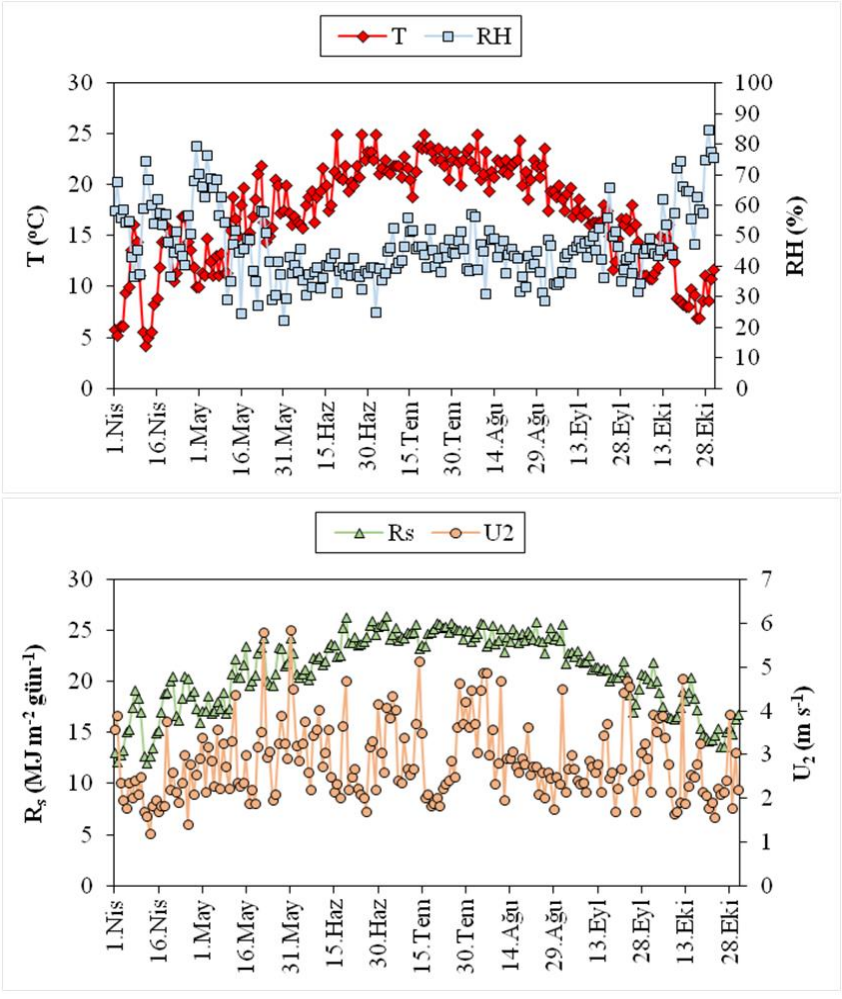
1. MATERYAL VE YÖNTEM

Doğu Anadolu bölgesinin sınırları içerisinde bulunan Van ili, 37° 43' – 39° 26' kuzey (N) enlemleri ile 42° 40' – 44° 30' doğu (E) boylamları arasında yer almaktadır. Deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 1726 m olan ilin Türkiye ve bölgedeki konumu Şekil 2'de gösterilmiştir (Usta, 2024). İl genelinde yıllık ortalama hava sıcaklığı 9.50 °C, nem oranı %58.67, güneşlenme süresi 7.90 saat gün^{-1}, solar radyasyon yoğunluğu 15.32 MJ m^{-2} gün^{-1} ve yıllık toplam yağış miktarı 395.10 mm düzeyindedir (DMİ, 2025). İl genelindeki nüfusun büyük bir çoğunluğu geçimini tarım ve hayvancılıktan sağlamaktadır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) raporlarına göre kuraklık riski altında bulunan Van ilinde sulamaya her zamankinden daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır (IPCC, 2013).



Şekil 2. Van ilinin Türkiye haritası üzerindeki konumu

Turc yönteminin Van ili koşullarında gerçekleştirilen günlük ortalama ET_o tahminlerindeki kullanılabilirlik ve güvenilirlik düzeylerini belirlemek amacıyla, 2024 yılı Nisan – Ekim dönemi günlük ortalama T, RH, R_s ve U_2 verileri kullanılmıştır (Şekil 3). Çalışmanın materyalini oluşturan bu günlük iklim verilerinin aylık ortalamaları Tablo 1'de verilmiştir (DMİ, 2025).



Şekil 3. Van ili iklim verileri (2024 yılı Nisan – Ekim dönemi)

Tablo 1. Van ili aylık ortalama iklim verileri (2024)

Aylar	T (°C)	RH (%)	U_2 (m s^{-1})	R_s (MJ m^{-2} $gün^{-1}$)
Nisan	10.89	54.20	2.28	16.47
Mayıs	15.48	48.44	3.01	20.33
Haziran	19.67	37.92	2.95	23.16
Temmuz	22.40	43.82	3.04	24.92
Ağustos	21.80	43.30	3.02	24.42
Eylül	17.31	44.34	2.86	21.16
Ekim	11.41	55.24	2.59	16.78
Ortalama	17.00	46.75	2.82	21.03

Turc yöntemi kullanılarak 2024 yılı Nisan – Ekim dönemi için tahmin edilen günlük ortalama ET_o değerleri, standart FAO-56 PM eşitliği kullanılarak aynı dönem için belirlenen ve çalışma kapsamında gerçek değerler olarak kabul edilen günlük ortalama ET_o değerleri ile kıyaslanmıştır. Bu amaçla yapılan karşılaştırmalarda; ortalama mutlak hata (Eşitlik 25), ortalama mutlak göreceli hata oranı (Eşitlik 26), karekök ortalama karesel hata (Eşitlik 27) ve Nash–Sutcliffe etkinlik katsayısı (Eşitlik 28) istatistiksel ölçütlerinden faydalanılmıştır. Turc ve FAO-56 PM yöntemleri ile belirlenen günlük ortalama ET_o değerleri arasındaki istatistiksel ilişki düzeyini ortaya koymak amacıyla, Microsoft Excel programı kullanılarak regresyon analizleri yapılmıştır (Eşitlik 29) (Nash ve Sutcliffe, 1970; Lewis, 1982).

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i:1}^{n} | X_i - Y_i | \quad (25)$$

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \left|\frac{X_i - Y_i}{X_i}\right| \times 100 \quad (26)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i:1}^{n} (X_i - Y_i)^2} \quad (27)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \widehat{X})^2} \quad (28)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(X_i - \widehat{X}) \times (Y_i - \widehat{Y})]^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \widehat{X})^2 \times \sum_{i=1}^{n}(Y_i - \widehat{Y})^2} \quad (29)$$

Eşitliklerde; MAE, ortalama mutlak hata (mm gün^{-1}); MAPE, ortalama mutlak göreceli hata oranı (%); RMSE, karekök ortalama karesel hata (mm gün^{-1}); NSE, Nash–Sutcliffe etkinlik katsayısı; X_i ve Y_i, sırasıyla gerçek ve tahmini günlük ET_o değerleri (mm gün^{-1}); R^2, regresyon katsayısı, $\widehat{X}$, günlük ortalama gerçek ET_o değerlerinin ortalaması (mm gün^{-1}) ve n, gözlem sayısını ifade etmektedir.

Turc yöntemi kullanılarak tahmin edilen günlük ortalama ET_o değerlerinin doğruluk düzeyleri Tablo 2'de verilen MAPE ve NSE doğruluk düzeyi yaklaşımlarına göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir (De Myttenaere ve ark., 2016; Lufi ve ark., 2020).

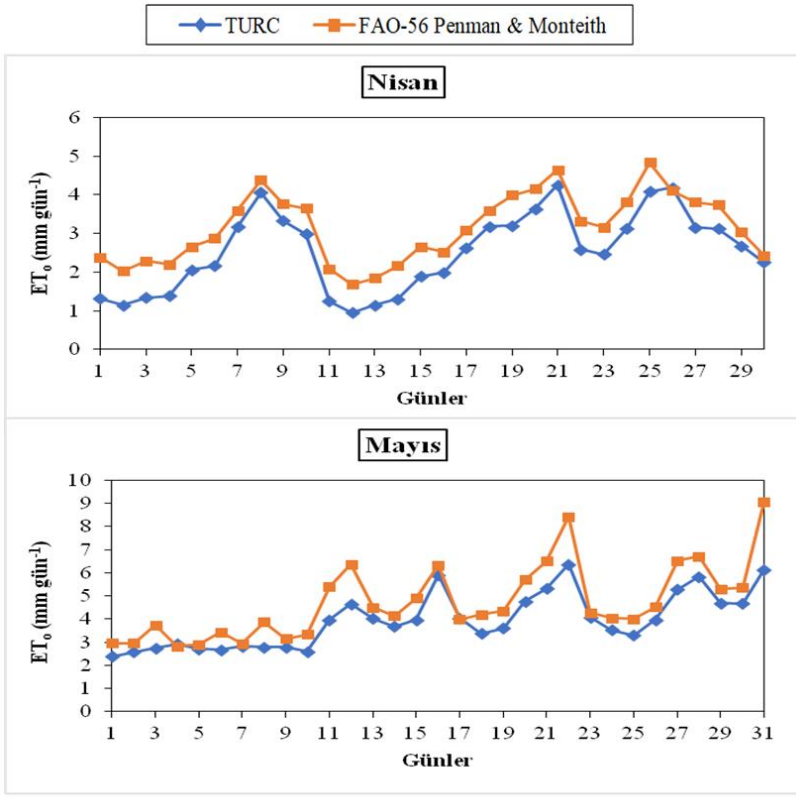
Tablo 2. MAPE ve NSE doğruluk düzeyi yaklaşımları

MAPE (%)	Doğruluk düzeyi	NSE	Doğruluk düzeyi
MAPE ≤ 10	Çok iyi	NSE ≤ 0.36	Uyumsuz
10 < MAPE ≤ 20	İyi	0.36 < NSE ≤ 0.75	Kabul edilebilir
20 < MAPE ≤ 50	Kabul edilebilir	NSE > 0.75	İyi
MAPE > 50	Uyumsuz		

Ayrıca, bağımsız örneklem T Testi uygulanarak elde edilen anlamlılık değerlerine (P) göre sonuçlar yorumlanmıştır. Tahmini ve gerçek ET_o değerlerinin oluşturduğu veri gruplarının ortalamaları arasındaki fark; $P>0.05$ durumunda istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. $P<0.05$ durumunda ise önemli bulunmuştur.

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

Standart FAO-56 PM ve Turc yöntemleri kullanılarak belirlenen 2024 yılı Nisan – Ekim dönemi günlük ortalama ET_o değerleri ile bu değerler arasındaki sapma miktarlarının bir göstergesi olarak hesaplanan MAE, MAPE, RMSE, NSE ve R^2 karşılaştırma ölçütleri sırasıyla Şekil 4 (Nisan, Mayıs), Şekil 5 (Haziran, Temmuz) ve Şekil 6'da (Ağustos, Eylül, Ekim) verilmiştir.

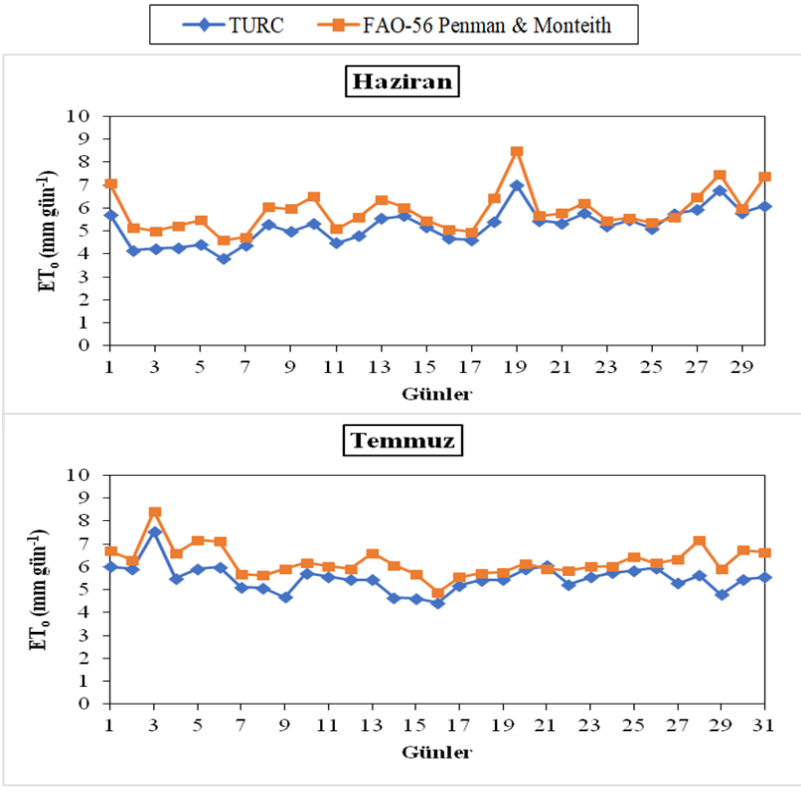


Aylar	MAE (mm gün^{-1})	MAPE (%)	RMSE (mm gün^{-1})	NSE	R^2
Nisan	0.62	22.32	0.66	0.43	0.95
Mayıs	0.80	15.81	0.99	0.60	0.89

Şekil 4. Günlük ortalama ET_o değerleri (Nisan, Mayıs)

FAO-56 PM yöntemi kullanılarak Nisan ve Mayıs aylarında sırasıyla 1.68 – 4.84 mm gün^{-1} ve 2.83 – 9.08 mm gün^{-1} aralıklarında değişen günlük ortalama ET_o değerleri elde edilmiştir. Aylık ortalama ET_o değerleri ise Nisan için 3.15 mm gün^{-1} ve Mayıs için 4.73 mm gün^{-1} olarak belirlenmiştir. Aynı aylar için Turc yöntemi ile tahmin edilen değerler ise sırasıyla 0.95 – 4.25 mm gün^{-1} ve 2.58 – 6.37 mm gün^{-1} aralıklarında değişmiştir. Aylık ortalama ET_o değerleri Nisan için 2.54 mm gün^{-1} ve Mayıs için 3.94 mm gün^{-1} olarak tahmin edilmiştir. Her iki yöntemle belirlenen günlük ortalama ET_o değerlerinin oluşturduğu veri grafiklerin maksimum ve minimum noktaları arasında farklılıklar olsa da genel olarak senkronize hareket ettikleri Şekil 4'de açıkça görülmektedir. Nisan ve Mayıs aylarında Turc ve FAO-56 PM yöntemleri kullanılarak belirlenen günlük ortalama ET_o değerleri arasındaki istatistiksel ilişki düzeyi çok yüksek (R^2= 0.89 – 0.95) olmasına rağmen, Turc yöntemi bu aylarda ET_o değerlerini olması gerekenden sırasıyla 0.62 mm (MAE= 0.62 mm gün^{-1}) ve 0.80 mm (MAE= 0.80 mm gün^{-1}) daha düşük tahmin etmiştir. Nisan – Ekim dönemi boyunca Turc yönteminin en kötü performans gösterdiği bu aylarda MAE hataları en yüksek düzeylere ulaşmıştır. Bu yöntem kullanılarak Nisan ve Mayıs ayları için sırasıyla %77.68 (MAPE= %22.32, RMSE= 0.66 mm gün^{-1}) ve %84.19 (MAPE= %15.81, RMSE= 0.99 mm gün^{-1}) doğruluğa sahip ET_o değerleri tahmin edilmiştir. Tahmin edilen ET_o değerlerinin doğruluk düzeyleri MAPE yaklaşımına göre Nisan için "kabul edilebilir" Mayıs için "iyi" olarak belirlenmiştir. NSE yaklaşımına göre ise her iki ay için de "kabul edilebilir" olarak belirlenmiştir (Şekil 4).

Hava sıcaklığındaki yükselmeye paralel olarak günlük ortalama ET_o değerlerinin de yükselme eğiliminde olduğu Haziran ve Temmuz aylarında FAO-56 PM yöntemi ile belirlenen günlük ortalama ET_o değerleri sırasıyla 4.60 – 8.50 mm $gün^{-1}$ ve 4.89 – 8.43 mm $gün^{-1}$ aralıklarında değişmiştir. Aylık ortalama değerler ise sırasıyla 5.87 mm $gün^{-1}$ ve 6.23 mm $gün^{-1}$ olarak elde edilmiştir (Şekil 5).

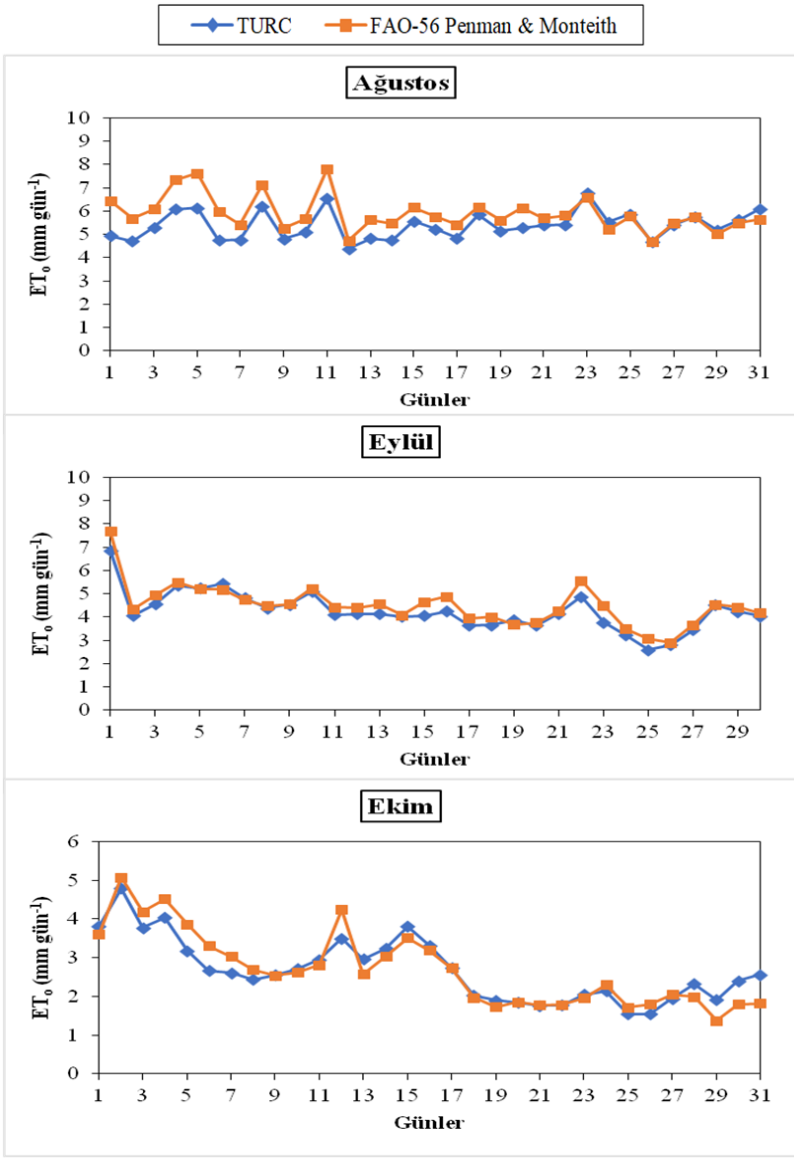


Aylar	MAE (mm gün^{-1})	MAPE (%)	RMSE (mm gün^{-1})	NSE	R^2
Haziran	0.66	11.08	0.77	0.22	0.78
Temmuz	0.74	11.67	0.84	-0.72	0.59

Şekil 5. Günlük ortalama ET_o değerleri (Haziran, Temmuz)

Şekil 5'de görüleceği üzere Haziran ve Temmuz aylarında Turc yöntemi kullanılarak sırasıyla 3.80 – 6.99 mm gün^{-1} ve 4.42 – 7.54 mm gün^{-1} aralıklarında değişen günlük ortalama ET_o değerleri elde edilmiştir. Aylık ortalama değerler ise sırasıyla 5.22 mm gün^{-1} ve 5.50 mm gün^{-1} olarak tahmin edilmiştir. Turc yöntemi Nisan ve Mayıs aylarına benzer şekilde Haziran ve Temmuz aylarında ET_o değerlerini olması gerekenden sırasıyla 0.66 mm (MAE= 0.66 mm gün^{-1}) ve 0.74 mm (MAE= 0.74 mm gün^{-1}) daha düşük tahmin etmiştir. Bu yöntem ile Haziran ve Temmuz ayları için sırasıyla %88.92 (MAPE= %11.08, RMSE= 0.77 mm gün^{-1}) ve %88.33 (MAPE= %11.67, RMSE= 0.84 mm gün^{-1}) doğruluk oranlarına sahip ET_o değerleri tahmin edilmiştir. MAPE yaklaşımına göre her iki ay için de "iyi" ($10 < MAPE \leq 20$) düzeyde doğruluğa sahip olan tahmini günlük ET_o değerleri, NSE yaklaşımına göre "uyumsuz" ($NSE \leq 0.36$) olarak değerlendirilmiştir.

FAO-56 PM yöntemi ile Ağustos, Eylül ve Ekim ayları için sırasıyla 4.69 – 7.82 mm gün^{-1}, 2.91 – 7.68 mm gün^{-1} ve 1.38 – 5.08 mm gün^{-1} aralıklarında değişen günlük ortalama ET_o değerleri elde edilmiştir. Aylık ortalama değerler ise sırasıyla 5.90 mm gün^{-1}, 4.50 mm gün^{-1} ve 2.70 mm gün^{-1} olarak gerçekleşmiştir (Şekil 6). Ağustos ayı ortalarından itibaren hava sıcaklığı azalmaya başlamıştır. Oransal nem ise Eylül ayı ortalarından itibaren başlayan yağışlarla birlikte yükselme eğilimine geçmiştir. Hava sıcaklığındaki azalma ve oransal nemdeki artışa bağlı olarak, ET_o Ağustos ayı sonundan itibaren azalmaya başlamış ve Ekim ayında en düşük seviyelere gerilemiştir. Turc yönteminin en iyi performans gösterdiği aylar, oransal nemin maksimum düzeylere ulaştığı Eylül ve Ekim olmuştur (Şekil 6).



Aylar	MAE (mm gün^{-1})	MAPE (%)	RMSE (mm gün^{-1})	NSE	R^2
Ağustos	0.59	9.69	0.73	0.037	0.51
Eylül	0.28	6.10	0.35	0.83	0.91
Ekim	0.28	10.88	0.36	0.86	0.87

Şekil 6. Günlük ortalama ET_o değerleri (Ağustos, Eylül, Ekim)

Turc yöntemi kullanılarak Ağustos, Eylül ve Ekim ayları için sırasıyla 4.39 – 6.78 mm gün^{-1}, 2.60 – 6.87 mm gün^{-1} ve 1.54 – 4.79 mm gün^{-1} aralıklarında değişen günlük ortalama ET_o değerleri tahmin edilmiştir. Aylık ortalama değerler ise sırasıyla 5.40 mm gün^{-1}, 4.26 mm gün^{-1} ve 2.67 mm gün^{-1} olarak elde edilmiştir. Turc yöntemi Ağustos ayı günlük ortalama ET_o değerlerini %90.31 (MAPE= %9.69, RMSE= 0.73 mm gün^{-1}) doğrulukla olması gerekenden 0.59 mm (MAE= 0.66 mm gün^{-1}) daha düşük tahmin etmiştir. Ağustos ayı için tahmin edilen ET_o değerlerinin doğruluk düzeyi MAPE yaklaşımına göre "çok iyi" (MAPE ≤ 10), NSE yaklaşımına göre ise "uyumsuz" (NSE ≤ 0.36) olarak değerlendirilmiştir. Turc yönteminin en iyi performans gösterdiği Eylül ve Ekim aylarında MAE hataları en düşük seviyelere gerilemiştir. Bu aylarda Turc yöntemi günlük ortalama ET_o değerlerini olması gerekenden 0.28 mm (MAE = 0.28 mm gün^{-1}) daha düşük tahmin etmiştir. Turc yöntemi kullanılarak tahmin edilen ET_o değerlerinin FAO-56 PM yöntemi ile belirlenen gerçek ET_o değerlerindeki değişimi tek başına açıklayabilme oranı Eylül için %91 (R^2= 0.91) ve Ekim için %87 (R^2= 0.87) olarak belirlenmiştir. Turc yöntemi ile Eylül ve Ekim ayları için sırasıyla %93.90 (MAPE= %6.10, RMSE= 0.35 mm gün^{-1}) ve %89.12 (MAPE= %10.88, RMSE= 0.36 mm gün^{-1}) doğruluk oranlarına sahip günlük ortalama ET_o değerleri tahmin edilmiştir. MAPE yaklaşımına Eylül ve Ekim ayları için tahmin edilen ET_o değerlerinin doğruluk düzeyleri sırasıyla "çok iyi" (MAPE ≤ 10) ve "iyi" (10 < MAPE ≤ 20) olarak değerlendirilmiştir. NSE yaklaşımına göre ise her iki ay için de "iyi" (NSE > 0.75) olarak değerlendirilmiştir.

Turc ve FAO-56 PM yöntemleri ile belirlenen ET_o değerlerinin oluşturduğu veri gruplarının ortalamaları arasındaki fark; Eylül ve Ekim aylarında önemli bulunmamıştır ($P>0.05$). Diğer aylarda ise önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Bu sonuç, Turc yöntemi ile tahmin edilen günlük ET_o değerlerinin Eylül ve Ekim aylarında FAO-56 PM ile belirlenen günlük gerçek ET_o değerleri yerine kullanılabileceğini, diğer aylarda ise kullanılamayacağını ortaya koymuştur.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, nemli bölgelerdeki ET_o tahminlerinde yüksek tahmin performansına sahip olan Turc yönteminin yarı kurak – kurak Van ili koşullarındaki kullanılabilirlik düzeyi 2024 yılı Nisan – Ekim dönemi iklim verileri kullanılıp, standart FAO-56 PM yöntemi ile karşılaştırılarak test edilmiştir. Turc yönteminin günlük ortalama ET_o tahminlerindeki performansı, nem oranının maksimum düzeylere ulaştığı Eylül ve Ekim aylarında diğer aylara göre daha yüksek olmuştur. Tahmin modellerinin karşılaştırılmasında en çok tercih edilen Nash–Sutcliffe (NSE) etkinlik katsayısı ölçütüne göre, NSE katsayısı 0.75 veya üzerinde ($NSE>0.75$) olan modellerinin yüksek düzeyde güvenilirliğe sahip olduğu bilinmektedir. Buna göre, Turc yönteminin Van ili koşullarında ay bazındaki tahmin performansları en iyiden en kötüye doğru: Ekim (NSE= 0.86), Eylül (NSE= 0.83), Mayıs (NSE= 0.60), Nisan (NSE= 0.43), Haziran (NSE= 0.22), Ağustos (NSE= 0.037) ve Temmuz (NSE= -0.72) şeklinde sıralanmıştır. Bu yöntem, Van ili koşullarında sadece Eylül ve Ekim ayı günlük ortalama ET_o tahminleri için önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Abdulkareem, J. H., Abdulkadir, A., & Abdu, N. (2015). A review of different types of lysimeter used in solute transport studies. *International Journal of Plant & Soil Science*, 8(3), 1-14.

Abtew, W. (1996). Evapotranspiration measurements and modeling for three wetland systems in South Florida. *Journal of the American Water Resources Association*, 32, 465-473.

Allen, R. G., Pereire, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. https://www.fao.org/4/X0490E/X0490E00.htm (erişim tarihi: 18 Temmuz 2023).

Beyazgül, M., Kayam, Y., & Engelsman, F. (2000). Estimation methods for crop water requirements in the Gediz Basin of Western Turkey. *Hydrology*, 229(1-2), 19-26.

Blaney, H. F., & Criddle, W. D. (1962). Determining consumptive use and irrigation water requirements. United States Department of Agriculture (USDA) Technical Bulletin 1275, Beltsville.

Caprio, J. M. (1974). The solar thermal unit concept in problems related to plant development and potential evapotranspiration. In: Lieth, H. (eds) Phenology and Seasonality Modeling. *Ecological Studies*, 8, 353-364.

De Myttenaere, A., Golden, B., Le Grand, B., & Rossi, F. (2016). Mean absolute percentage error for regression models. *Neurocomputing*, 192, 38-48.

DMİ, (2025). Van İli İklim Verileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü.

Hargreaves, G. L., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99. https://doi.org/10.13031/2013.26773

IPCC. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers, Technical Summary and Frequently Asked Questions, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf (erişim: 12 Ekim 2023).

Jacobs, J. M., Anderson, M. C., Friess, L. C. & Diak, G. R. (2004). Solar radiation long wave radiation and emergent wetland evapotranspiration estimates from satellite data in Florida. *Hydrological Sciences*, 49(3), 461-476.

Jensen, M. E., & Haise, H. R. (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Jour. of Irrig. and Drain. Div.*, 89, 15-41.

Jensen, M. E., Burman, R. D., & Allen, R. G. (1990). Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports on Eng. Practice No.70, New York.

Jing, W., Yaseen, Z. M., Shahid, S., Saggi, M. K., Tao, H., Kisi, O., & Chau, K. W. (2019). Implementation of evolutionary computing models for reference evapotranspiration modeling: short review, assessment and possible future research directions. *Engineering App. of Computational Fluid Mechanics*, 13(1), 811-823.

Lage, M., Bamouh, A., Karrou, M., & El Mourid, M. (2003). Estimation of rice evapotranspiration using a microlysimeter

technique and comparison with FAO Penman-Monteith and Pan evap. methods under Moroccan cond.. *Agronomie*, 23, 625-631.

Lemeur, R., & Zhang, L. (1990). Evaluation of three evapotranspiration models in terms of their applicability for an arid region. *Journal of Hydrology*, 114 (3-4), 395-411.

Lewis, C. D. (1982). Industrial and Business Forecasting Methods. London, England: Butterworths Publishing, 1982, pp. 40-142.

Lufi, S., Ery, S., & Rispiningtati, R. (2020). Hydrological analysis of TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) data in Lesti sub watershed. *Civil and Environ. Science Journal*, 3(1), 18-30.

Makkink, G. F. (1957). Testing the Penman Formula by means of lysimeters. *Journal of the Inst. of Water Eng.*, 11, 277-288.

Monteith, J. L. (1965) Evaporation and the environment. *19th Symposia of the Society for Experimental Biology*, 19, 205-234.

Nandagiri, L., & Kovoor, G. M. (2006) Performance evaluation of reference evapotranspiration equations across a range of Indian climates. *J. Irrig. Drainage Eng*., 132(3), 238-249.

Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290.

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

Priestley, C. H. B., & Taylor, R. J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2), 81-92.

Schendel, U. (1967). Vegetations wasserverbrauch und-wasserbedarf. *Habilitation, Kiel*, 137(1), 1-11.

Trajković, S., & Gocić, M. (2010). Comparison of some empirical equations for estimating daily reference evapotranspiration. *Facta Universitatis – Series Architecture and Civil Engineering*, 8(2), 163-168. https://doi.org/10.2298/FUACE1002163T

Trajković, S., & Kolakovic, S. (2019). Wind-adjusted Turc equation for estimating reference evapotranspiration at humid European locations. *Hydrology Research*, 40(1), 42-52.

Turc L., (1961). Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. *Annals of Agronomy*, 12: 13-49.

Usta, S. (2024). Yarı kurak-kurak iklim koşullarında bazı ampirik modeller kullanılarak A sınıfı buharlaşma kabından gerçekleşen günlük buharlaşmanın tahmin edilmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29(2), 632-647. https://doi.org/10.53433/yyufbed.1445512

Xu, C. Y., & Singh, V. P. (1998). Dependence of evaporation on meteorological variables at different time-scales and intercomparison of estimation methods. *Hydrol. Processes*, 12(3), 429-442.

BÖLÜM 2

KÜLTÜREL VE DOĞAL PEYZAJLARIN BELGELENMESİNDE İHA KULLANIM POTANSİYELİNİN EKOTURİZM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Doç. Dr. Ebru BİLİCİ

Dr. Öğr. Üyesi Muhittin İNAN

Prof. Dr. Musa GENÇ

Doç. Dr. Paşa Mustafa ÖZYURT

GİRİŞ

Günümüzde turizm endüstrisi, en hızlı büyüyen ve ekonomik girdisi en yüksek olan faaliyetlerin başında gelmektedir (Wood, 2002). Buna bağlı olarak farklı turizm çesitleri ortaya çıkmakta ve/veya mevcut turizm imkanlarından farklı olarak değerlendirilmektedir. Ekoturizm kitlesel turizme alternatif olarak ortaya çıkan bir turizm çeşididir. Ekoturizm kavramının literatürde birçok tanımı bulunmaktadır. İlk kez 1965 yılında Hetzer tarafından kullanıldığı bilinmektedir (Kuter ve Ünal, 2009). Hetzer (1965), sorumlu bir turizmde;

Çevresel etkileri en az seviyeye indirmek,

- Ev sahibi kültürüne minimum etki ve maksimum saygı göstermek,
- Yerel halka ekonomik fayda sağlamak ve
- Turistler için maksimum rekreasyonel memnuniyeti sağlamak şeklinde

değerlendirmiştir. İlk resmi tanımı Ceballos-Lascurain (1996) tarafından; korunan doğal alanlara çevresel olarak sorumlu seyahat sağlayan, korumayı destekleyen ve yerel halka aktif katılım fırsatı vererek sosyo-ekonomik faydalar sağlayan turizm türü olarak tanımlamaktadır (Kaplan, 2013).Ekoturizm temel bazı niteliklere sahiptir (Yücel, 2002). Bu nitelikler şu şekildedir;

- Biyoçeşitliliğin korunmasına yardımcı olması
- Yerel halkın refah seviyesini desteklemesi
- Olumsuz çevresel ve sosyo-kültürel faktörlerinin minimum seviyeye indirgenmesi için faaliyetlerin turistler ve yerel halkın sorumluluğunda düzenlenmesi
- Yenilenemez kaynakların kullanımını en az seviyede tutması
- Yerel topluma yönelik istihdam olanaklarının üretilmesini öngörmesi
- Doğa temelli olmasıdır.

Tüm bu kriterlere bağlı olarak bir alanın ekoturizm alanı olarak degerlendirilmesi ve ekoturizm potansiyelinin belirlenmesi cok boyutlu bir karar destek sistemine ihtiyac duymaktadir. Bu nedenle bilgilerin detaylı ve hızlı şekilde temini önem kazanmaktadır. Günümüz teknolijisinin gelişimine bağlı olarak kullanılan insansız hava araçları hem hızlı çözüm ve doğru veri temini sağlamaktadır. İnsansız hava araçları ve sistemleri günümüzde artan bir şekilde tüketici örgütleri, ticari işletmeler ve akademik çevreler tarafından doğal veya yapay mekânsal objelere ait coğrafi verileri elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Coğrafi veriler uzaktan algılama veya doğrudan ölçüm (atmosferik bileşenlerin örneklenmesi vb.) yöntemleriyle elde edilmektedir. (Marshall ve ark., 2011). Mekansal veri elde etmek için İHA kullanımı aşamasında en fazla gelişme uzaktan algılama çalışmaları doğrultusunda gerçekleşmiştir (Everaerts, 2008; Marshall ve ark., 2011; Chao ve Chen, 2012, Akgül ve ark., 2016).

Ülkemizde ekoturizm potansiyelinin belirlenmesine ilişkin birçok çalışma yapılmaktadır. Kazma (2017) Türkiye'deki Yavaş Şehir statüsünde olan Seferihisar'da sürdürülebilir kentsel projeler bağlamında etkinlik potansiyelinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yöntemi ile katkılarının ortaya çıkarılmasını amaçlamıştır. Bunruamkaew ve Murayama (2011) yapılan çalışmada arazi ekosistemleri içinde uygunluğun göstergeleri olarak; peyzaj/doğallık, yaban hayatı, topografya, erişilebilirlik ve topluluk özellikleri faktörleri tanımlanmıştır ve ekoturizm için uygun yerler belirlenmiştir. Ronizi vd. (2020) turizmin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla ekoturizmin önemini vurgulayarak, Sıralı Ağırlık Ortalaması (OVA) ve Bulanık Niceleyici Algoritmalar kullanarak bölgenin potansiyel ekoturizm alanlarını tespit etmeyi amaçlamıştır.

Elde edilen bulgular doğrultusunda eğim, yüksekllik, iklim, yola olan mesafenin parametreleri bölgenin ekoturizm haritasının hazırlanmasında en önemli faktörler olarak tespit edilmiştir. Zabihi vd. (2020) ekoturizm alanlarının uygunluğunu belirleyebilmek en önemli faktörlerin, yer şekli ve akarsuya olan mesafe ve ardından sıcaklık ve yükseklik olduğu tespit etmistir.

Tüm bu önemli kriterlere ilişkin verilerin toplanması ve haritalar aracılığıyla kolaylıkla bilgiye dönüştürülme işlemi hem ekonomik hemde ekolojik olarak uygun alan tespitini sağlamaktadır. Pek çok mühendislik projesinin temelini oluşturan haritalar ekoturizm potansiyelinin belirlenmesinde etkili ve başarılı olabilmesi açısından önem taşımaktadır. Ayrıca ekoturizm alanlarında doğaya yakın ve kültürel anlam taşıyan yapıların incelenmesi ekoturizm potansiyelinin tespiti açısından önem taşımaktadır. Kültürel mirasin tespitine ilişkin bir çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda yersel ölçümler ve bilgiler girilmektedir. Günümüzde dijital fotoğrametri kültürel mirasların değerlerinin tespiti, ölçüm ve çizimlerinin yapılması,

koruma ve belgelendirmesi ve özellikle restorasyon çalışmaları için önceki ve sonraki halinin belirlenmesinde kullanmaktadır (Yakar vd, 2008, Yılmaz vd, 2007). Gelişen teknoloji yersel fotoğrametrinin verimliliğini artırarak kültürel mirasın üç boyutlu belgelendirilmesinde daha ekonomik bir yöntem sunmaktadır. İki boyutlu çizimler ya da görseller her daim objeyi yorumlamada yeterli olmamaktadır (Yakar vd, 2008). Yakın zamanda üç boyutlu modellerin oluşturulmasına olanak sağlayan Çoklu görüntü fotogrametri (Multi-image Photgrammetry) terimi (çoğu zaman Hareket ile nesne oluşturma (Structure from Motion) ile birbirlerinin yerine geçecek şekilde kullanılır) sıkça kullanılmaktadır.

Hareket ile nesne oluşturma (Structure from Motion) tekniği üç boyutlu modellemesi yapılacak olan nesne, yapıt ya da arazinin bindirmeli bir biçiminde çekilmiş iki boyutlu fotoğraflar serisi kullanılarak 3 boyutlu dijital modellemenin yapılmasını sağlar (Acuna vd 2019, McCarthy, 2014, Sarıtürk vd 2017 ve Turan 2004). Bu teknik stereo çiftlerin aksine objenin görüntüsü farklı uzaklıklardan elde edilebilir ve istenilen uzaklıkta daha detaylı ve doğru üç boyutlu model oluşturulur.

Çalışma ekoturizm potansiyeli belirleme basamaklarından biri olan alanın ekoturizm etkinlikleri için önemli doğal kaynakları arasında yer alan flora yapısı, faunası, su varlıkları, topoğrafik yapısı, ekolojik oluşumlar gibi değerlerin belirlenmesi ve mevcut kültürel mirasların tespitinde insansız hava aracı (İHA) ile oluşturulan verilerin kullanım imkanının incelenmesi amaçlanmıştır. İnsansız hava araçları (İHA) teknolojisi ile elde edilen verilerin kullanılabilirliğinin ve uygulanabilirliğinin araştırılması ve incelenmesi hedeflenmiştir.

MALZEME VE YÖNTEM

Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak Araştırma alanı olarak, DOKAP ve Giresun Valiliği'nin 'Ekoturizm Köyleri' projesi kapsamında belirlenen İnece Köyü seçilmiştir. Bölge, doğal ve kültürel değerlerinin çeşitliliği nedeniyle örnek bir ekoturizm yerleşimi olarak öne çıkmaktadır. İnece Köyü, Türkiye'nin kuzeyinde, doğu karadeniz bölgesinde Giresun ilinin Bulancak ilçesi sınırları içerisinde bulunmaktadır. Köy, 40° 53'-40° 54'kuzey enlemleri ile 38° 16'-39° 19' doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Arastirma alanı İnece Köyü'nün konumu

Yaklaşık 11,3 km² yüzölçümüne sahip olan köyün batı sınırını Eriklik ve Kuşluhan köyleriyle arasındaki Ağ Deresi (bazı kaynaklarda *Ağa Deresi*), doğu sınırını Boztekke köyüyle arasındaki Küçük Güre Deresi (bazı kaynaklarda *Küçük Küre Deresi*) çizer. Kuzeyde Uçarlı

Mahallesi ile sınırı Domuz Deresi**,** güneyde Darıköy ile sınırının bir bölümünü ise Balıklı Deresi (bazı kaynaklarda *Ömeryanı Deresi*) oluşturur. Köyün kuzey sınırında yer alan Körük Tepesi (510 m), Eriklimanı köyüyle olan doğal sınırı belirlemektedir (Şenol ve Sezer, 2016).

Verilerin toplanması ve analizi

Araştırmada arazi çalışmaları iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada ekoturizm potensiyeli taşıyan noktalar, alan hakimiyeti olan yerel halk ve uzaman kişilerle yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Arazi çalışmasının ikinci aşamasında ise belirlenen bu noktalarda insansız hava aracı kullanılarak hava fotoğrafları çekilerek analizler için gerekli veri setleri elde edilmiştir. Bu verilerin toplanmasında kullanılan insansız hava aracı Dji Phantom 4 Pro 'dur (Şekil 2).



Şekil 2. DJI Phantom 4 Pro İnsansız Hava Aracı

Tablo 1. DJI Phantom 4 Pro Teknik Özellikler

Ağırlık	1388 gr
Azami.Hız	72 km/sa
Fotoğraf Çözünürlüğü	5472x3648
Çalışma Süresi	30 dk
Çalışma ısısı	40 ^{o}C
Navigasyon	GPS/GLONASS

İHA uçuşları, deniz seviyesinden ortalama 850 m yükseklikte konumlanan köy üzerinde, araziden 150 m (AGL) yükseklikte gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 24 dakikalık iki uçuş yapılmış, elde edilen

görüntülerden ortofoto ve sayısal yüzey modellerinin üretimi için gerekli fotoğraf veri setleri toplanmıştır. Alandaki kültürel miras niteliği taşıyan yapı ve nesnelerin belgelenmesinde, İHA verilerine ek olarak Canon EOS 200D fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Bu makineyle elde edilen yüksek çözünürlüklü fotoğraflar, yakın mesafe fotogrametri (close-range photogrammetry) yöntemi kapsamında değerlendirilmeye alınmıştır. Yöntem, özellikle küçük ölçekli mimari unsurların geometrik ayrıntılarını yüksek doğrulukla sayısallaştırmaya olanak tanımaktadır. Elde edilen görseller, farklı açılardan çekilmiş örtüşen görüntüler aracılığıyla işlenmiş ve üç boyutlu (3B) nokta bulutu yüzey modelleri oluşturulmuştur. Bu süreç sonucunda yapıların mimari detayları örneğin cephe düzenleri, pencere açıklıkları, malzeme yüzey dokuları ve bozulma izleri sayısal ortamda yüksek hassasiyetle dökümante edilmiştir. Böylece, kültürel mirasın hem korunması hem de gelecekteki restorasyon çalışmalarına temel oluşturacak konumsal ve ölçülebilir bir veri seti elde edilmiştir.

Elde edilen görüntüler, Agisoft Metashape ve ArcGIS Pro yazılımları aracılığıyla işlenmiştir. İlk aşamada, yazılım kullanılarak fotogrametrik modelleme gerçekleştirilmiş; bu süreçte nokta bulutu, yüzey modeli (mesh) ve doku (texture) verileri üretilmiştir. Metashape, dijital görüntülerin fotogrametrik olarak işlenmesi yoluyla 3 boyutlu konumsal veri üretimi ve dijital varlıkların modellenmesi için yüksek düzeyde esneklik sağlayan bir yazılımdır. Elde edilen modeller, kontrol noktalarının doğruluğu ve doku bütünlüğü bakımından değerlendirilmiş; zayıf görülen bölgelerde mesh düzenlemeleri yapılarak modeller Agisoft ortamında yeniden işlenmiştir. Bu sayede, geometrik doğruluk ve görsel bütünlük artırılmıştır. Yazılım, 3B modelleme, kültürel mirasın dijital dokümantasyonu ve coğrafi bilgi sistemleri uygulamalarında yaygın biçimde kullanılan güvenilir bir fotogrametrik yazılım olarak literatürde de sıklıkla referans

gösterilmektedir (Everaerts, 2008; Marshall ve ark., 2011; Chao ve Chen, 2012; Akgül ve ark., 2016). İşlenen görüntülerden ortofotolar üretilmiş, ardından 3 boyutlu (3B) modeller oluşturulmuştur. Bu modellerin oluşturulmasında izlenen işlem adımları, Şekil 3'teki iş akışı diyagramında özetlenmiştir.



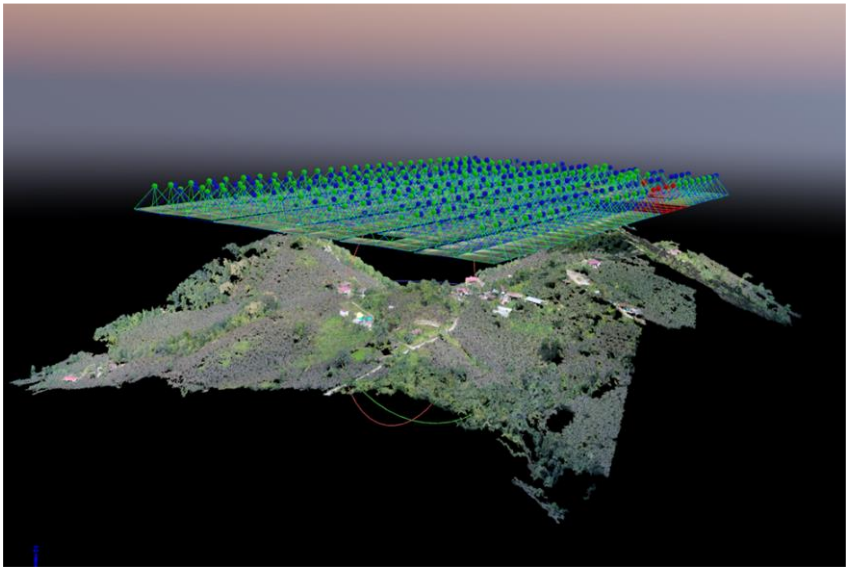
Şekil 3. Araştırmada izlenen iş akışı diyagramı

Elde edilen ortofoto ve 3B modeller, ArcGIS Pro yazılımına aktarılmış; burada, orman örtüsü ve yerleşim dağılımı, bina sayısı, tarihi ve kültürel öğelerin konumsal ilişkileri analiz edilmiştir. Böylece doğal ve kültürel kaynakların mekânsal potansiyelleri ile ekoturizm açısından önem taşıyan alanlar belirlenmiştir.

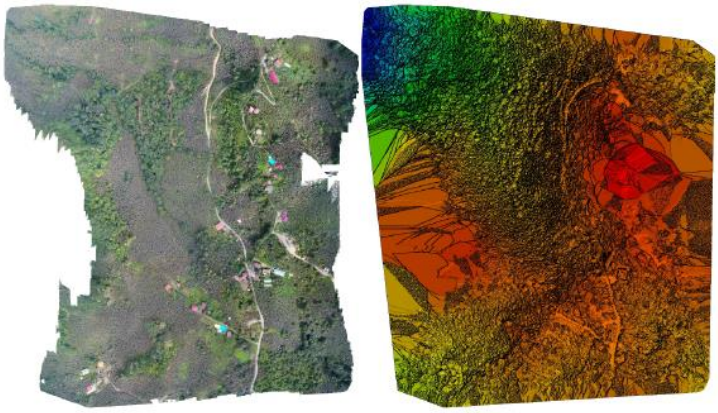
BULGULAR

Arazi çalışmaları sırasında elde edilen veriler, ilgili yazılımlar kullanılarak analiz edilmiş ve araştırma alanına ilişkin yüksek

çözünürlüklü haritalar üretilmiştir. Çalışma alanının genişliği nedeniyle arazi uygulamaları birkaç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci uçuş, İnece Köyü merkezinde 16 Eylül 2019 tarihinde saat 11.45'te gerçekleştirilmiş ve 22 dakika sürmüştür. Bu uçuşta 278 adet yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafı çekilmiştir. Yazılım da yapılan değerlendirme sonucunda, görüntülerin ortalama yer örnekleme aralığı (GSD) 3,49 cm olarak belirlenmiştir. Elde edilen görüntüler toplamda 46.95 hektarlık bir alanı kapsamaktadır (Şekil 4). Bu veriler kullanılarak aynı alanlar için ortofoto harita ve sayısal yüzey modelide (SYM) oluşturulmuştur (Şekil 5).

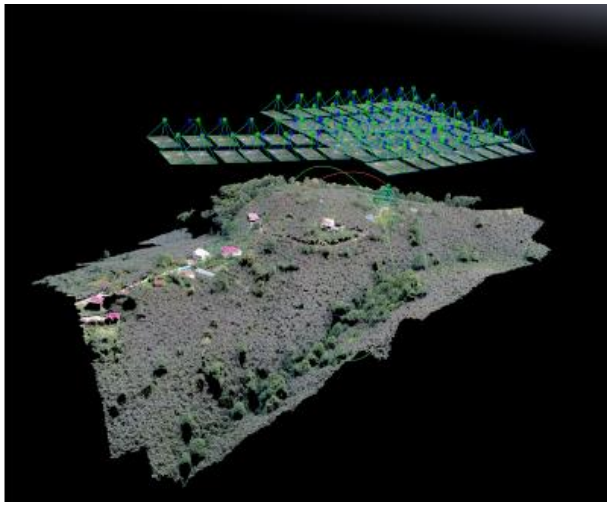


Şekil 5. İlk uçuşun gerçekleştirildiği İnece Köyü mevki ve görüntü alınan noktalar

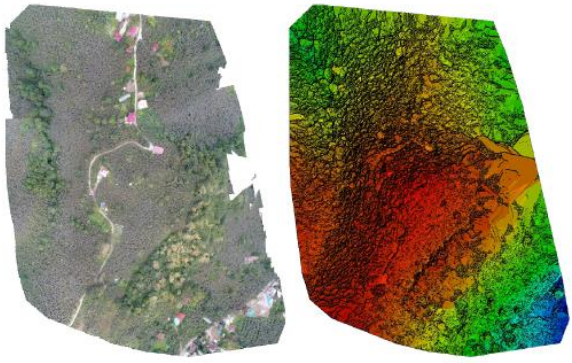


Şekil 5. DJI Phantom 4 Pro kullanılarak oluşturulan ortofoto ve sayısal yüzey modeli

Araştırmanın ikinci uçuşu, İnece Köyü Kargatepe mevkiinde yine 16 Eylül 2019 tarihinde saat 14.12'de gerçekleştirilmiştir. Hava koşullarının elverişsiz olması nedeniyle bu uçuş 8 dakika ile sınırlı tutulmuştur. Uçuş sırasında, araziden 150 m yükseklikten (AGL) toplam 88 adet fotoğraf çekilmiştir (Şekil 7). İşlenen görüntüler sonucunda, ortalama 3,00 cm GSD değerine sahip ve 17.01 hektarlık alanı kapsayan ortofoto harita ve sayısal yüzey modeli üretilmiştir (Şekil 6).



Sekil 6. Karga tepe mevkinde gerçekleştirilen 2. uçuşa ait fotoğraf noktaları



Şekil 7. Kargatepe mevki için oluşturulan ortofoto ve sayısal yüzey modeli

Her iki uçuşta da elde edilen ortofotolar, yüksek geometrik doğruluk ve görsel netlik sağlamıştır. Ancak Kargatepe uçuşunda hava koşullarına bağlı olarak görüntü örtüşme oranı nispeten düşük gerçekleşmiştir. Buna karşın, genel çözünürlük ve modelleme kalitesi çalışma amacını karşılayacak düzeydedir.

Çalışmanın diğer basamağı olan kültürel miras unsurlarının belgelenmesi çalışmasında, İnece Köyü'nün kültürel miras öğelerinin belgelenmesine yönelik uygulamalar yürütülmüştür. Bu kapsamda, köyün geleneksel mimarisini ve yerel yaşam biçimini temsil eden dört yapı örneği seçilmiştir. Bunun için Yöresel ev, Serenti örneği, Taş fırını örneği, Yöresel çeşme örneği incelenmiştir. Bu yapılara ait görüntüler hem yersel fotoğraflama hem de insansız hava aracı ile alınan fotoğraflar aracılığıyla toplanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. a) Yöresel ev, b) Serenti örneği, c) Taş fırın, d) Çeşme

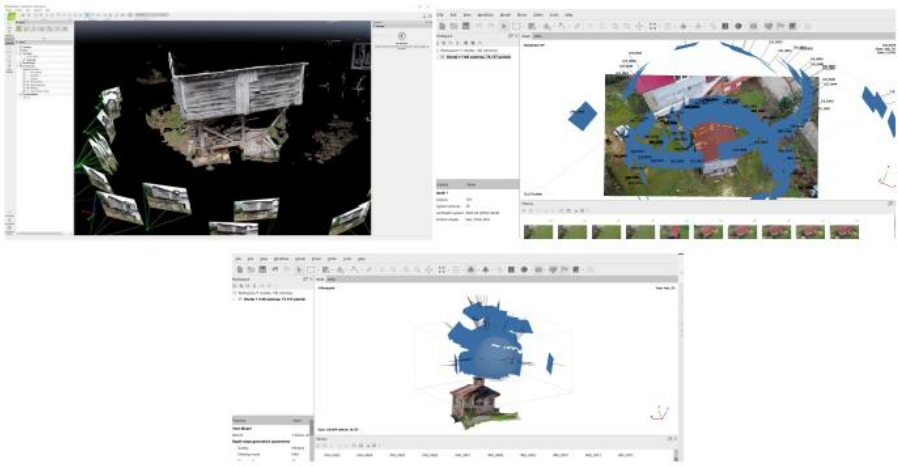
Bu yapılar köye ilişkin kültürel miras örneklerini oluşturmaktadır. Her bir kültürel miras unsuruna ilişkin çekilen fotoğraf sayısı ve yöntem aşağıdaki tablo 2'de özetlenmiştir:

Tablo 2. Kültürel miras öğesi verileri

Kültürel Miras Öğesi	Fotoğraf Sayısı	Kullanılan Yöntem
Serenti	140	Yersel Fotogrametri İHA (Sfm)
Yöresel Ev	80	Yersel Fotogrametri
Taş Fırın	140	Yersel Fotogrametri İHA (Sfm)
Çeşme	140	Yersel Fotogrametri İHA (Sfm)

Toplanan veriler Agisoft Metashape yazılımında işlenerek 3 boyutlu (3B) modeller üretilmiştir (Şekil 9). Özellikle serenti ve taş fırın örneklerinde yapı geometrisinin detaylı olarak çıkarılabildiği, yüzey dokularının net biçimde belirlendiği görülmüştür.

Ancak tarihi ev çevresinde yoğun vejetasyon örtüsü, bazı alanlarda modelin doku bütünlüğünü sınırlamıştır. Buna rağmen, yersel ve İHA verilerinin entegrasyonu sayesinde geometrik eksiklikler giderilmiş ve yapılar sayısal olarak belgelenebilir formda modellenmiştir.



Şekil 9. Kültürel miras örneklerine ait üç boyutlu modeller

Yersel fotogrametri, düşük maliyet, yüksek doğruluk ve uygulama esnekliği sağlaması nedeniyle son yıllarda kültürel mirasın belgelenmesi ve dijital arşivlenmesi süreçlerinde giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu yöntem, klasik ölçme tekniklerine kıyasla kısa sürede yoğun veri üretimi sağlayarak, özellikle yerel ölçekteki mimari unsurların (örneğin cephe, pencere, kemer, taş işçiliği gibi) üç boyutlu biçimde kayıt altına alınmasına olanak tanır. Geleneksel belgeleme yöntemleri çoğunlukla iki boyutlu fotoğraflar, plan ve raporlarla sınırlı kaldığından, yapının geometrik özelliklerini ve mevcut durumunu eksiksiz biçimde yansıtmakta yetersiz kalabilmektedir. Buna karşın, yersel fotogrametri ile elde edilen örtüşen yüksek çözünürlüklü görüntüler, yazılım ortamında işlenerek yoğun nokta bulutu, sayısal yüzey modeli (SYM) ve üç boyutlu (3B) tekstüre edilmiş modeller üretir. Bu sayede kültürel varlıkların hem mekânsal konumu hem de biçimsel özellikleri ölçülebilir, analiz edilebilir ve tekrarlanabilir bir veri formatına dönüştürülmüş olur (Yakar ve Yılmaz, 2008).

Bu çalışmada seçilen kültürel miras örnekleri (yöresel ev, serenti, taş fırın ve çeşme) üzerinde uygulanan yersel fotogrametri süreciyle, yapılar dijital ortamda üç boyutlu olarak yeniden modellenmiştir. Farklı açılardan çekilmiş yüksek örtüşme oranına sahip fotoğraflar, Structure from Motion (SfM) algoritması ile işlenmiş; her bir yapı için otomatik kamera konumlandırması ve ölçeklendirilmiş model üretimi gerçekleştirilmiştir. Modelleme sürecinde Agisoft Metashape yazılımının "dense cloud" ve "mesh refinement" modülleri kullanılmış; böylece özellikle yapı yüzeylerindeki ince doku farklılıkları, taş dokuları ve aşınma izleri bile ayrıntılı biçimde kaydedilebilmiştir. Bu sayede yapının orijinal yapısında meydana gelebilecek deformasyonlar, gelecekte gerçekleştirilecek bir fotogrametrik ölçümle karşılaştırılarak zamansal değişim analizi yapılabilir. Böylece, yapıların fiziksel durumundaki değişimler sayısal doğrulukla izlenebilir hale gelir (Yakar ve Bilgi, 2019).

Ek olarak, yersel fotogrametriyle üretilen modellerin İnsansız Hava Aracı (İHA) verileriyle entegre edilmesi, belgelenen nesnelerin hem yakın ölçekli ayrıntılarını hem de konumsal olarak değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, özellikle ekoturizm planlaması bağlamında, kültürel ve doğal miras unsurlarının bir coğrafi bilgi katmanı olarak görselleştirilmesini mümkün kılar. Bu yaklaşım aynı zamanda , İHA ile elde edilen ortofotolar üzerinde 3B kültürel miras modellerinin konumlandırılması, ziyaretçi rotalarının planlanması, erişilebilirlik analizleri veya sanal tur uygulamaları için kullanılabilecek güçlü bir altyapı sunmaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Tarihi yapıların, arkeolojik alanların ve peyzajın yüksek çözünürlüklü dijital kopyalarının oluşturulmasında birçok yöntem uygulanmaktadır. IHA bu kopyaların oluşturulmasında veri toplama aşamasında kullanımı doğruluk maliyet ve zaman verimliliği açısından önem taşımaktadır. Murtiyoso vd. (2017), Rohan Sarayı cephesi ve St-Pierre-le-Jeune Katolik Kilisesi için, lazer tarayıcı ölçümleri yapmış ve İHA'lardan elde edilen verileri karşılaştırılmıştır. Karachaliou vd. (2019), Yunanistan, Metsovo'da bulunan "Averof Neohelenik Sanat Müzesi"nin 3B modelini oluşturmak için Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi (HBIM) için İHA'ları kullanmıştır. Faklı uygulama alanlarında kullanım sağlanan IHA Ekoturizm potansiyelinin belirlenmesinde de kullanım sağlanabileceği düşünülmüştür.

Ekoturizm potansiyeli belirlemek amacıyla birçok yöntem literatürde kullanılmıştır. Özellikle SWOT analizi kullanılarak potansiyel değerlendirmelerine çok fazla karşılaşılmaktadır (Kızılaslan ve Ünal (2014), Surat (2016), Bozkurt (2019, 2020), Karaşah (2020) ve Akbana ve Bulut (2021)). Turoğlu vd., 2011 tarafından yapılan çalışmada Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) ve GPS teknolojileri gibi tekniklerin bölgesel ekolojik ve turizm potansiyelini belirlemede önemi vurgulanmıştır. Günümüzde GIS ve çok boyutlu karar verme sistemleri kullanılarak yapılan çalışmaların sayısı artmaktadır. Karar destek sistemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak yapılan ekoturizm potansiyeli belirleme çalışmaları bulunmaktadır (Wanyonyi vd. (2016), Turan vd. (2021). Bunruamkaewa ve Murayama (2011) tarafından ekoturizm alanları için AHP yöntemi kullanarak uygunluk incelemeleri yapılmıştır. Ayrıca GIS ve AHP entegre çalışmalar ile ekoturizm potansiyel değerlendirmeleri yapılmıştır (Eser vd. 2025, Deveboynu vd. 2025). GIS kullanımının değerlendirmelerde karmaşık mekânsal karar

problemlerini nicel verilere dayalı çözümlerle sadeleştirebildiği ve böylelikle çevresel, ekonomik ve sosyal faktörleri bütüncül biçimde ele aldığı görülmüştür. Bu kapsamda çalışmada ekoturizm potansiyelinin belirlenmesi basamağında kullanılan verilerin hızlı ve doğru şekilde temini için alternatif bir yöntem olarak insansız hava araçlarının kullanımı irdelenmiştir. İlk basamakta arazi özelliklerinin tespitine ilişkin görüntüler alınmış ikinci basamakta kültürel miras olarak değerlendirilen alanlara ilişkin görüntüler alınmıştır. İHA aracılığıyla alınan veriler ile sayısal arazi modeli, ortofotolar oluşturulmuştur. Araziye ait önemli doğal kaynakları arasında yer alan flora yapısı, faunası, su varlıkları, topoğrafik yapısı, ekolojik oluşumlar gibi değerlerin belirlenmesinde kullanım imkanlarının yeterli olabileceği görülmüştür. İkinci basamakta elde edilen veriler ile kültürel mirasa ilişkin 3 boyutlu (3B) modeller üretilmiştir. Özellikle serenti yapıları ve geleneksel taş fırın örneklerinde, geometrik formlarının son derece detaylı ve hassas bir şekilde çıkarılabildiği, yüzey dokularının ve malzeme özelliklerine ilşkin bilgi edinebilme imkanı sağladığı gözlmelenmiştir.

Yapılan incelemeler sonuncunda kültürel miras yapılarının tespitine ilişkin olarak bu yöntem tam bir alternatif değil destekleyici birer yöntem olarak düsünülebileceği tespit edilmiştir. Çekimler esnasında yapıların çatılar gibi yapıların üst kısımlarının yersel fotogrametride yeterli olmamasına rağmen insansız hava araçlarının kolaylıkla bu veri teminine imkan sağlayabilmektedir. Ancak bazı yapıların etrafi açık olmaması nedeniyle insansız hava araçlarının uçuş alanlarında problem oluşturmuştur. Ayrıca yapının detaylarını görüntüleyebilmek amacıyla alçaktan uçması gerekecektir. Bu basamakta sınırılayıcı nokta bazı kültürel miras yapılarının etrafı vejetasyon veya yapı ile çevrili olmasıdan dolayı aşağıdan çekimler gerçekleştirilememiştir. Başka bir nokta çalışma sırasında hava çok

yağışlı olması nedeniyle bazı alanlarda çekimlerde gecikmeler yaşanmıştır. IHA ile çekim zamanının kısıtını ortaya çıkmata bu nedenle planlamada önem kazanmaktadır. Hava durumu ve çekim saati önem taşımaktadır. Tüm bu sonuçlara göre insansız hava araçlarının tek başına bir yöntem olarak değerlendirilmesi yeterli olamayacağı ortaya çıkmıştır. İnsansız hava araçlarının kullanımı;yersel ölçümler ile gerçekleştirilmesi önemli derecede tamamlayıcı özelliğini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca çalışma sonucunda doğruluk, hız ve maliyet anlamında katkısı olduğu görülmüştür. Günümüzde birçok yapının yersel fotogrametri kullanılarak modelleri oluşturulmaktadır. Bu modellerin İHA'lar yardımıyla fotogrametrik teknikler kullanılarak yapılması, fotoğraf çekme olanaklarını artması dokümantasyonun daha detaylı ve doğru olmasına olanak sağlamaktadır.

TEŞEKKÜR

Çalışma Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında destek alan **FEN-BAP-A-150219-65** numaralı projeden üretilmiştir. Proje çalışmasının bir bölümü "1st International Conference: Urban Environment, Binomial: Construction - Urban greening" adlı sempozyumda bildiri olarak yayınlanmaktadır.

KAYNAKÇA

Acuna, M., Sosa, A. (2019). Automated Volumetric Measurements of Truckloads Through Multi-View Photogrammetry and 3D Reconstruction Software. Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering, 40(1), 151-162.

Akbana, A., & Bulut, Y. (2021). Uluabat Gölü Ramsar Alanının Ekoturizm Açısından Değerlendirilmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 8(2), 286-294

Akgül M., Yurtseven H., Demir M., Akay A.E., Öztürk T., Gülci S., (2016). "İnsansız hava araçları ile yüksek hassasiyette sayısal yükseklik modeli üretimi ve ormancılıkta kullanım olanakları", Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, vol.66, pp.104-118.

Bozkurt, S. G. (2019). Gürün ilçesinin ekoturizm potansiyelinin incelenmesi. Journal of the Institute of Science and Technology, 9(4), 2255-2265.

Bozkurt, S. G. (2020). Sivas'ın Doğal ve Kültürel Kaynaklarının Ekoturizm Potansiyeli Açısından Değerlendirilmesi. Turkish Journal of Forest Science, 4(2), 172-189

Ceballos-Lascurain, H. (1996). Tourism, Ecotourism and Protected Areas, Gland, Switzerland: International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources.

Chao, H., Chen, Y.Q., (2012). Remote Sensing and Actuation Using Unmanned Vehicles, Wiley, ISBN: 9781118377185

Deveboynu, A., Bilici, E., & Uçar, Z. (2025). Akıllı şehirlerde ekoturizm destinasyon analiz imkanları. Ormancılık Araştırma Dergisi, 12(1), 105-116.

Everaerts, J., (2008). The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, July 3-11 2008, Beijing, China, 1187-1192.

Eser, N., & Bilici, E. (2025). Investigating and Planning Ecotourism Area Focused on Forest Villagers Via the Analytical Hierarchy Process. Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry• Wood Industry• Agricultural Food Engineering, 1-22.

Hetzer, W. (1965). Environment, tourism, culture. Links July, 1–3.

Kaplan, S. (2013). Community Based Ecotourism for Sustainable Development in Eastern Black Sea Region: an Evaluation Through Local Communities Tourism Perception. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Karaşah, B. (2020). Kentsel Ekosistemleri Destekleyen Bir Yeşilyol Önerisi: Arhavi Örneği. Kent Akademisi, 13(4), 736-750.

Kazma, Ç.Ş. (2017). Seferihisar İçin Yavaş Şehir Yaklaşımının CBS Ortamında Değerlendirilmesi. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

Karachaliou, E., Georgiou, E., Psaltis, D., and Stylianidis, E., (2019). UAV for mapping historic buildings: From 3D modelling to BIM. ISPRS–International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-397-2019

Kızılaslan, N., & Ünal, T. (2014). Tokat ilinin ekoturizm/kırsal turizm potansiyeli ve swot analizi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, (9), 45-61

Kuter, N., & Ünal, H. E. (2009). Sürdürülebilirlik kapsamında ekoturizmin çevresel, ekonomik ve sosyokültürel etkileri. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 9(2), 146-156.Marshall, D. M., Barnhart, R. K., Hottman, S. B., Shappee, E. and Most, M. T., (2011). Introduction to Unmanned Aircraft Systems, Taylor & Francis, ISBN: 9781439835203.

McCarthy, J. (2014). Multi-image Photogrammetry as a Practical Tool for Cultural Heritage Survey and Community Engagement. Journal of Archaeological Science, 43, 175-185.

Murtiyoso, A., Koehl, M., Grussenmeyer, P., and Freville, T.: ACQUISITION AND PROCESSING PROTOCOLS FOR UAV IMAGES: 3D MODELING OF HISTORICAL BUILDINGS USING PHOTOGRAMMETRY, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., IV-2/W2, 163–170, https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W2-163-2017, 2017.

Rozini, S., Mokarram, M. ve Negahban, S. (2020). Utilizing multi-criteria Decision to Determine the Best Location for the Ecotourism in the East and Central of Fars Province, Iran.Land Use Policy 99(2020), 1-14.

Sarıtürk, B., ve Şekera, D. Z. (2017). Comparison Of Commercial And Open-Source Software Used In 3d Object Modeling With SFM Technique Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering, 17 (2017) Special Issue (126-131).

Surat, H. (2016). Artvin ilinin eko turizm potansiyelinin değerlendirilmesi. Karadeniz Araştırmaları, (52), 139-158

Şenol Eren, Sezer İbrahim, 2016, İnece Köyü ve Yakın Çevresinin Ekoturizm Potansiyeli, Nobel Akademi Yayınları, No:20, Ankara

Turan, M. H. (2004). Evaluation of Contemporary Developments In The Field Of Architectural Photogrammetry, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Vol 19, No 1, 43-50, 2004.

Turan, M., & Akyurt, H. (2021). Turizm Yöneticilerinin Ekoturizm Algısının AHP Yöntemi ile Belirlenmesi: Giresun İli Örneği. Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi, 13(25), 660-678. https://doi.org/10.38155/ksbd.993277

Turoğlu, H., & Özdemir, H. (2011). Bartın İlinin Ekoturizm Potansiyelinin Belirlenmesi. Doğu Coğrafya Dergisi, 10(13), 97-116.

Yakar, M., Yılmaz, H.M. (2008), Kültürel Miraslardan Tarihi Horozluhan'ın Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3 Boyutlu Modellenmesi. S.Ü. Müh. - Mim. Fak. Dergisi, C.23 s.2: 25-33.

Yakar, İ., & Bilgi, S. (2019). Mobil Telefonlar Kullanılarak Elde Edilen 3 Boyutlu Modellerin Kültürel Mirasın Korunması Kapsamında Kullanılabilirliği: Iıı. Ahmet Çeşmesi Örneği. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 1(1), 25-29.

Yilmaz, H. M., Yakar, M., Gulec, S. A., Dulgerler, O. N. (2007). Importance of Digital Close-Range Photogrammetry in Documentation of Cultural Heritage. Journal of Cultural Heritage, 8(4), 428-433.

Yücel, C. (2002). Turizmde yükselen değer: Ekoturizm. TÜRSAB Dergisi, 219, 1-7.

Zabihi, H. Alizadeh, M. Wolf, I. Karami, M. Ahmad, A. ve Salamian H. (2020). A GIS -Based Fuzzy- analytic Hierarchy Process (F-AHP) for Ecotourism Suitability Decision Making: A Case Study of Babol in Iran.Tourism Management, 36(2020), 1-17.

Wanyonyi, J. W., Imwati, A., Boitt, M.K., 2016. GIS in analysis of potential sites for ecotourism– A case study of Kwale County. IOSR. J. Environ. Sci. and Toxicol. and Food Technology, 10(10): 2319-2399.

Woods, J., Peterson, K., & Hirst, C. (2003). Açık RFID uygulamalarının olgunlaşması SCM'yi yeniden şekillendirecektir. Gartner Araştırma, Stanford.

BÖLÜM 3

TARIMSAL SULAMA YÖNÜNDEN SICAKLIK YAĞIŞ VE EVAPOTRANSPİRASYON İLİŞKİSİNİN NEMLİ VE KURAK İKLİM KOŞULLARINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Doç. Dr. Selçuk USTA

GİRİŞ

Türkiye'nin yüzölçümü 783.577 km^2 olup, 1 m^2 yüzey alanına düşen ortalama yıllık toplam yağış miktarı yükseklik cinsinde 574 mm düzeyindedir. Bu miktar hacim cinsinde 450 milyar m^3 suya tekabül etmektedir. Yağışla düşen suyun yaklaşık olarak %41'i yüzey akış yolu ile kayıba uğramaktadır. Yüzey akış yolu ile kayıba uğrayan 186 milyar m^3 hacmindeki suya ek olarak 130 milyar m^3 hacmindeki su derine sızarak yeraltı suyuna karışmaktadır. Sondaj yolu ile yeraltı suyundan çekilebilir toplam su hacmi 18 milyar m^3 düzeyindedir. Yüzey akış ve derine sızma kayıplarından arta kalan 134 milyar m^3 hacmindeki yerüstü suyunun yaklaşık olarak %70 büyüklüğündeki bölümü (94 milyar m^3) günümüz teknik ve ekonomik koşulları çerçevesinde çeşitli maksatlara yönelik olarak kullanılabilecek durumdadır. Yeraltı suyundan çekilebilen 18 milyar m^3 hacmindeki su miktarı da ilave edildiğinde, yıllık toplam tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su kaynakları potansiyeli 112 milyar m^3 düzeyine ulaşmaktadır. Ancak, Türkiye'nin gün geçtikçe artan nüfusu ve gelişen sanayisine paralel olarak kişi başına düşen kullanılabilir yıllık toplam su miktarı

her geçen yıl daha da azalmaktadır. Kişi başına düşen kullanılabilir yıllık toplam su miktarı 2000 yılında 1652 m^3 düzeyindeyken, bu miktar azalarak 2009 yılında 1544 m^3, 2020 yılında 1346 m^3, 2021 yılında 1323 m^3 ve 2022 yılında ise 1322 m^3 düzeyine kadar gerilemiştir. Bu durum, Türkiye'yi bilinenin aksine su azlığı yaşayan veya başka bir ifadeyle su zengini olmayan bir ülke konumuna getirmiştir. Bu nedenle, mevcut su kaynaklarının doğru yönetimi ve geleceğe yönelik kullanımlarının önceliklendirilmesi amacıyla, tüm sektörlerde su tasarrufunu ön plana çıkaran çalışmaların yapılması zorunlu hale gelmektedir (TUİK, 2022; DSİ, 2025).

Türkiye'nin yıllık toplam tüketilebilir su potansiyelinin (112 milyar m^3) yaklaşık olarak 57 milyar m^3 hacmindeki bölümü doğrudan kullanılmaktadır. Bu miktarın yaklaşık olarak 44 milyar m^3'ü tarımsal sulamada, geriye kalan 13 milyar m^3'ü ise içme suyu ve sanayide tüketilmektedir. Doğrudan kullanılan yıllık toplam su miktarının %77'sinin tüketildiği tarımsal sulama faaliyetlerinde, gerçek zamanlı bitki su tüketimine duyarlı hassas sulama programları hazırlanarak, bitkinin suya ihtiyacı olduğu zamanlarda sulama yapılması ve her sulamada bitkiye ihtiyacı kadar su verilmesi ile su kaynaklarının optimum kullanımı sağlanabilmektedir (Jensen ve Allen, 2016). Ayrıca, aşırı su kullanımı gerektiren tava ve karık sulama gibi geleneksel yüzey sulama yöntemlerinin yerine, damla sulama gibi basınçlı sulama yöntemleri kullanılarak %20 – 70 arasında değişen oranlarda su tasarrufu yapılabilmektedir (Köksal ve ark., 2000; Orta ve ark., 2000; Salas ve ark., 2006).

Verimli ve sürdürülebilir bir tarımsal üretim için gerekli olan girdilerin başında sulama gelmektedir. Sulamanın amacı, bitki büyümesini ve verimini sınırlandıran topraktaki nem eksikliğini gidermektir. Toprak yüzeyinden gerçekleşen buharlaşma (E) ve bitki yüzeylerinden gerçekleşen terleme (T) kayıplarının toplamı bitki su tüketimi (Evapotranspirasyon – ET) olarak tanımlanmaktadır. Bitkinin ET yoluyla kaybettiği su miktarının bir bölümü yağış ile karşılanmaktadır. Yağış tarafından karşılanamayan bölümü ise sulama suyu olarak bitki kök bölgesine verilmektedir (Allen ve ark., 1998). Sulama suyu miktarı, bitki su tüketiminden etkili (efektif) yağış miktarının çıkarılmasıyla elde edilmektedir. Etkili yağış: yağışın yüzey akış ve derine sızma yoluyla kayıba uğrayan kısmı dışındaki, toprak tarafından tutulan ve bitkiye faydalı olan kısmı olarak tanımlanmaktadır. Etkili yağış miktarı; yağışın süresine, şiddetine ve sıklığına, toprağın granülometrisine ve geçirimlilik özelliklerine, arazinin topografik yapısına ve bitki örtüsüne, yeraltı suyu seviyesine ve bitki kök yapısına bağlı olarak değişmektedir. Belirli bir zaman aralığında yeryüzüne düşen toplam yağış miktarı 25 mm'den daha az ise, yağış yüzey akışa geçmeden toprağa sızmakta ve tamamı bitki kök bölgesinde tutularak depolanabilmektedir. Bu durumda etkili yağış toplam yağışa eşit kabul edilebilmektedir. Yağış süresi ve şiddetinin arttığı 25 mm ve üzerindeki yağışlarda, genel olarak yağışın debisi toprağın geçirimlilik (permeabilite) debisinden daha yüksek olduğundan, yağış kolaylıkla yüzey akışa geçerek kayıba uğrayabilmektedir. Bu durumda toplam yağışın yaklaşık %80'ni etkili yağış olarak kabul edilebilmektedir (Yıldırım, 2008).

Bitki su tüketimi ve sulama suyu miktarı bitki, toprak ve iklim özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bitki türü, taç yapısı, gelişim evresi, vejetasyon periyodu gibi bitkiye has özellikler; nem içeriği, tuzluluk oranı, işlenme durumu, drenaj durumu, verim ve toprak yönetimi gibi toprağa has özellikler; hava sıcaklığı, oransal nem, solar radyasyon, rüzgâr hızı, topraktaki ısı akısı değişimi ve güneşlenme süresi gibi iklimsel faktörler bitki su tüketimi ve sulama suyu miktarı üzerinde etkili olan en önemli parametrelerdir.

Evapotranspirasyon üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olmayan yağış, sulama suyu miktarını belirleyen en temel parametredir. Hava sıcaklığındaki artışla doğru orantılı olarak artan evapotranspirasyon sonucunda toprak-bitki-su dengesi bozulabilmekte ve bitkinin etkili kök derinliği bölgesinde su eksiği oluşabilmektedir. Yıllık toplam yağış miktarı 300 mm ve daha altında olan kurak bölgeler ile yağış miktarı 300 – 600 mm arasında değişen yarı kurak bölgelerdeki tarımsal amaçlı bitkisel üretim faaliyetlerinde tüm tarımsal girdilerin sağlanması koşuluyla bitkinin kuraklıktan zarar görmemesi için sulama yapılması zorunlu hale gelmektedir (Hillel, 1982).

Referans çim bitkisinin su tüketimi yada diğer bir ifadeyle referans evapotranspirasyon (ET_o) miktarı ve sulama suyu ihtiyacına dayalı olarak hava sıcaklığı, yağış ve evapotranspirasyon parametreleri arasındaki ilişkinin tarımsal sulama yönünden değerlendirilmesinin amaçlandığı bu çalışma; farklı iklim özelliklerine sahip olan Kahramanmaraş, Konya, Rize ve Samsun şehirlerinin iklim ve çevre özellikleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

1. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında değerlendirilen şehirlerinin enlem, boylam ve rakımları Tablo 1'de, aylık ortalama hava sıcaklıkları (T) ve aylık toplam yağış (P) miktarları ise Tablo 2'de verilmiştir (DMİ, 2025).

Tablo 1. Şehirlerin enlem boylam ve rakımları

Şehirler	Rakım (m)	Enlem (º)	Boylam (º)
Kahramanmaraş	568	37° 11' – 38° 26' (N)	36° 15' – 37° 42' (E)
Konya	1016	36° 41' – 39° 16' (N)	31° 14' – 34° 26' (E)
Rize	6	40° 20' – 41° 20' (N)	40° 22' – 41° 28' (E)
Samsun	4	40° 50' – 41° 51' (N)	37° 08' – 34° 25' (E)

Tablo 2. Aylık hava sıcaklıkları ve yağış miktarları (1928 – 2024)

Aylar	**Kahramanmaraş**		**Konya**	
	T (°C)	**P (mm)**	**T (°C)**	**P (mm)**
Ocak	4.80	124.00	-0.20	38.00
Şubat	6.30	112.20	1.50	28.60
Mart	10.40	95.10	5.60	29.30
Nisan	15.20	73.00	11.10	31.40
Mayıs	20.10	38.80	15.90	43.50
Haziran	25.00	8.60	20.20	25.70
Temmuz	28.30	2.70	23.60	7.70
Ağustos	28.50	2.20	23.40	6.20
Eylül	25.00	11.00	18.80	13.60
Ekim	18.90	45.40	12.90	29.30
Kasım	11.90	78.00	6.50	32.00
Aralık	6.70	130.60	1.80	42.30
Aylar	**Rize**		**Samsun**	
	T (°C)	**P (mm)**	**T (°C)**	**P (mm)**
Ocak	6.90	231.90	7.20	72.50
Şubat	6.80	185.20	7.20	58.90
Mart	8.10	161.30	8.10	67.40
Nisan	11.70	95.20	11.30	56.70
Mayıs	16.00	96.60	15.60	49.20
Haziran	20.40	134.10	20.30	46.90
Temmuz	22.90	151.00	23.30	34.90
Ağustos	23.30	195.30	23.70	37.00
Eylül	20.30	257.50	20.30	55.00
Ekim	16.40	296.30	16.50	79.20
Kasım	12.30	255.30	12.80	83.50
Aralık	8.90	241.50	9.50	80.60

Çalışma kapsamında öncelikle, De Martonne kuraklık indeksine göre Kahramanmaraş, Konya, Rize ve Samsun şehirlerinin iklim sınıflandırması yapılmıştır. Daha sonra aylık toplam referans evapotranspirasyon (ET_o) miktarları belirlenmiştir. Aylık ve yıllık ortalama günlük hava sıcaklıkları ile aylık ve yıllık toplam yağış miktarına bağlı olarak belirlenen aylık kuraklık indeksi (Eşitlik 1) ve yıllık kuraklık indeksi (Eşitlik 2) değerlerine göre, Tablo 3 kullanılarak iklim sınıfları belirlenmiştir (De Martonne, 1942).

$$IM = \frac{12 \times P}{T + 10} \quad (1)$$

$$IDMG = \frac{1}{2} \times \left(\frac{\Sigma P}{T_y + 10} + \frac{12 \times P_d}{T_d + 10} \right) \quad (2)$$

Eşitliklerde; IM, aylık kuraklık indeksi; P, aylık toplam yağış miktarı (mm); T, aylık ortalama hava sıcaklığı (°C); IDMG, yıllık kuraklık indeksi; ΣP, yıllık toplam yağış miktarı (mm); T_y, yıllık ortalama hava sıcaklığı (°C); P_d, en yüksek aylık kuraklık indeksine sahip ayın toplam yağış miktarı (mm) ve T_d, en yüksek aylık kuraklık indeksine sahip ayın ortalama hava sıcaklığını (°C) ifade etmektedir.

Tablo 3. De Martonne kuraklık indeksi iklim sınıfları

Kuraklık indeksi	**İklim sınıfı**	**Renklendirme**
IDMG <5	Kurak	
5 ≤ IDMG < 10	Yarı kurak	
10 ≤ IDMG < 20	Yarı kurak – nemli arası	
20 ≤ IDMG < 30	Yarı nemli	
30 ≤ IDMG < 60	Nemli	
IDMG ≥ 60	Çok nemli	

Tarımsal sulama yönünden hava sıcaklığı, yağış ve evapotranspirasyon arasındaki ilişki, referans çim bitkisinin su tüketimi (Referans evapotranspirasyon – ET_o) ve sulama suyu ihtiyacı esas alınarak değerlendirilmiştir. Referans çim bitkisi; egemen iklimsel koşullarda yetişen ve yeterli düzeyde sulanan, toprağı tamamen gölgeleyen ve 70 s m^{-1} yüzey direncine sahip olan 12 cm yüksekliğindeki çim bitkisini ifade etmektedir (Allen ve ark., 1998).

Kahramanmaraş, Konya, Rize ve Samsun şehirlerinin aylık ortalama günlük referans evapotranspirasyom (ET_o) değerleri standart FAO-56 Penman & Monteith eşitliği (Eşitlik 3) kullanılarak belirlenmiştir. Aylık ortalama günlük ET_o değerleri her bir ayın gün sayısı ile çarpılarak, aylık toplam ET_o miktarları elde edilmiştir. Standart FAO-56 Penman & Monteith eşitliğinin alt bileşenleri FAO tarafından hazırlanan 56 sayılı Sulama ve Drenaj yayını kullanılarak belirlenmiştir (Allen ve ark., 1998).

$$ET_o = \frac{0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \left(\frac{900}{T+273}\right) \times U_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0.34 \times U_2)} \qquad (3)$$

Eşitlikte; ET_o, referans evapotranspirasyon (mm $gün^{-1}$); Δ, doygun buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa $°C^{-1}$); R_n, bitki yüzeylerine etki eden net radyasyon (MJ m^{-2} $gün^{-1}$); G, topraktaki ısı akısı değişimi (MJ m^{-2} $gün^{-1}$); γ, psikometrik sabit (kPa $°C^{-1}$); T, günlük ortalama hava sıcaklığı (°C); U_2, zemin yüzeyinden 2 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı (m s^{-1}); e_s ve e_a, sırasıyla doygun ve gerçek buhar basınçlarını (kPa) ifade etmektedir (Allen ve ark., 1998).

Aylık toplam yağış (P) ve aylık toplam ET_o miktarlarına bağlı olarak, her bir ayın su fazlası ve su eksiği miktarları (ΔW) belirlenmiştir (Eşitlik 4). Aylık toplam yağış miktarı 25 mm veya daha az ise, bu miktarın tamamı etkili yağış (P_e) olarak kabul edilmiştir. Aylık toplam yağış miktarı 25 mm'den daha fazla ise, bu miktarının %80'ni etkili yağış (P_e) olarak değerlendirilmiştir (Yıldırım, 2008).

$$\Delta W = ET_o - P_e \quad (4)$$

$P_e > ET_o$ durumunda su fazlası, $P_e < ET_o$ durumunda ise su eksiği olduğu öngörülmüştür. Referans çim bitkisinin kök bölgesinde tutulan mevcut su miktarındaki (W) değişim veya diğer bir ifadeyle mevcut toprak nemi düzeyindeki (W) değişim olarak da ifade edilen ΔW'ye bağlı olarak, çim bitkisine uygulanması gereken sulama suyu miktarları (I) ay bazında hesaplanmıştır (Eşitlik 5). ΔW değeri, su fazlası durumunda W'ye eklenerek toplanmıştır. Su eksiği durumunda ise W'den çıkarılmıştır. Eşitlik (5) kullanılarak belirlenen sulama suyu miktarının negatif olması durumunda bu miktarı nötrleyecek miktarda sulama yapılacağı, pozitif çıkması durumunda ise sulama yapılmayacağı öngörülmüştür (Young ve ark., 1996).

$$I = W \pm \Delta W \quad (5)$$

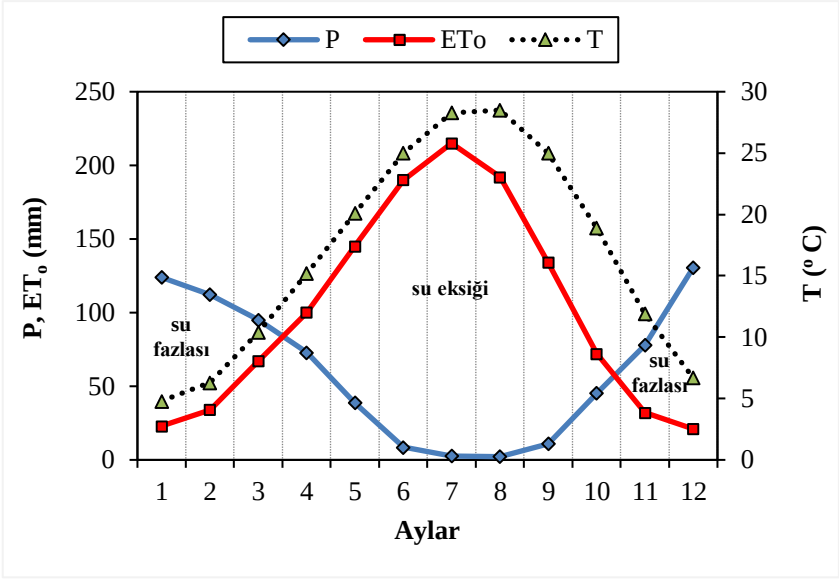
Eşitlik (4) ve (5)'de; W, referans çim bitkisinin kök bölgesinde tutulan mevcut su miktarı veya kök bölgesindeki mevcut toprak nemi düzeyi (mm); ΔW, mevcut toprak nemi düzeyindeki değişim (mm); ET_o, referans evapotranspirasyon (mm); P_e, etkili yağış miktarı (mm) ve I, sulama suyu miktarını (mm) ifade etmektedir.

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kahramanmaraş koşullarında yağışın maksimum düzeylere yükseldiği Ocak, Şubat ve Aralık aylarında çok nemli iklim özellikleri etkili olurken Mart, Nisan ve Kasım aylarında nemli iklim etkili olmaktadır. Mayıs ve Ekim aylarında yarı kurak – nemli arası iklim özellikleri hissedilirken, hava sıcaklığının ve dolayısıyla evapotranspirasyonun maksimum düzeylere yükseldiği, buna karşın yağışın minimum düzeylere gerilediği Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında kurak iklim özellikleri etkili olmaktadır (Tablo 4, Şekil 1). Kahramanmaraş koşullarında çok nemli ve nemli aylarda çim bitkisinin kök bölgesinde su fazlası oluşurken, yarı kurak – nemli arası ve kurak aylarda su eksiği oluştuğu görülmektedir. Su eksiğinin olduğu aylarda 14.52 – 212.30 mm arasında değişen miktarlarda altı adet sulama yapılması öngörülmüştür (Tablo 5).

Tablo 4. Kahramanmaraş ili aylık iklim sınıfları

Aylar	T (°C)	P (mm)	IM	İklim sınıfı
Ocak	4.80	124.00	100.54	Çok nemli
Şubat	6.30	112.20	82.60	Çok nemli
Mart	10.40	95.10	55.94	Nemli
Nisan	15.20	73.00	34.76	Nemli
Mayıs	20.10	38.80	15.47	Yarı kurak – nemli
Haziran	25.00	8.60	2.95	Kurak
Temmuz	28.30	2.70	0.85	Kurak
Ağustos	28.50	2.20	0.69	Kurak
Eylül	25.00	11.00	3.77	Kurak
Ekim	18.90	45.40	18.85	Yarı kurak – nemli
Kasım	11.90	78.00	42.74	Nemli
Aralık	6.70	130.60	93.84	Çok nemli



Şekil 1. Kahramanmaraş ili aylık P, ET_o ve T değerleri

Tablo 5. Kahramanmaraş ili aylık P_e, ET_o, ΔW ve I değerleri

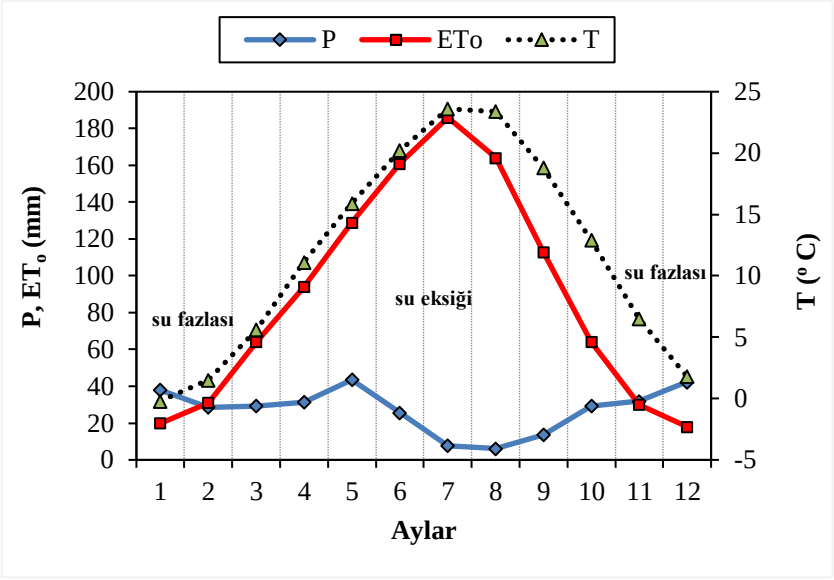
Aylar	P_e (mm)	ET_o (mm)	$\Delta W = \lvert ET_o - P_e \rvert$ (mm)		$W \pm \Delta W + I$ (mm)	I (mm)
			Su fazlası	Su eksiği		
Ocak	99.20	23.00	76.20	0	76.20	0
Şubat	89.76	34.00	55.76	0	131.96	0
Mart	76.08	67.00	9.08	0	141.04	0
Nisan	58.40	100.00	0	41.60	99.44	0
Mayıs	31.04	145.00	0	113.96	-14.52	14.52
Haziran	8.60	190.00	0	181.40	-181.40	181.40
Temmuz	2.70	215.00	0	212.30	-212.30	212.30
Ağustos	2.20	192.00	0	189.80	-189.80	189.80
Eylül	11.00	134.00	0	123.00	-123.00	123.00
Ekim	36.32	72.00	0	35.68	-35.68	35.68
Kasım	62.40	32.00	30.40	0	30.40	0
Aralık	104.48	21.00	83.48	0	83.48	0

Dört şehir arasında Konya ilinden sonra en yüksek ikinci yıllık kuraklık indeksi değerine (IDMG = 13.83) sahip olan ve genel olarak yarı kurak – nemli arası ($10 \leq$ IDMG < 20) iklimin egemen olduğu Kahramanmaraş için; yağış, etkili yağış, referans evapotranspirasyon ve sulama suyu miktarlarının yıllık toplam değerleri sırasıyla 721.60 mm, 582.18 mm, 1225.00 mm ve 756.70 mm olarak belirlenmiştir.

Konya koşullarında nemli iklimin etkili olduğu Ocak ve Aralık aylarında su fazlası oluşurken, diğer aylarda su eksiği olduğu görülmüştür. Su eksiğinin olduğu aylarda 4.40 – 178.30 mm arasında değişen miktarlarda dokuz adet sulama yapılması öngörülmüştür. Şubat, Mart ve Kasım aylarında yarı nemli iklim etkili olurken Nisan, Mayıs, Haziran ve Ekim aylarında yarı kurak – nemli arası iklimin egemen olduğu gözlemlenmiştir. Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında kurak iklimin etkili olduğu görülmüştür (Tablo 6, Şekil 2, Tablo 7).

Tablo 6. Konya ili aylık iklim sınıfları

Aylar	T (°C)	P (mm)	IM	İklim sınıfı
Ocak	-0.20	38.00	46.53	Nemli
Şubat	1.50	28.60	29.84	Yarı nemli
Mart	5.60	29.30	22.54	Yarı nemli
Nisan	11.10	31.40	17.86	Yarı kurak – nemli
Mayıs	15.90	43.50	19.94	Yarı kurak – nemli
Haziran	20.20	25.70	10.21	Yarı kurak – nemli
Temmuz	23.60	7.70	2.75	Kurak
Ağustos	23.40	6.20	2.23	Kurak
Eylül	18.80	13.60	5.67	Kurak
Ekim	12.90	29.30	15.35	Yarı kurak – nemli
Kasım	6.50	32.00	23.27	Yarı nemli
Aralık	1.80	42.30	43.02	Nemli



Şekil 2. Konya ili aylık P, ET_o ve T değerleri

Tablo 7. Konya ili aylık P_e, ET_o, ΔW ve I değerleri

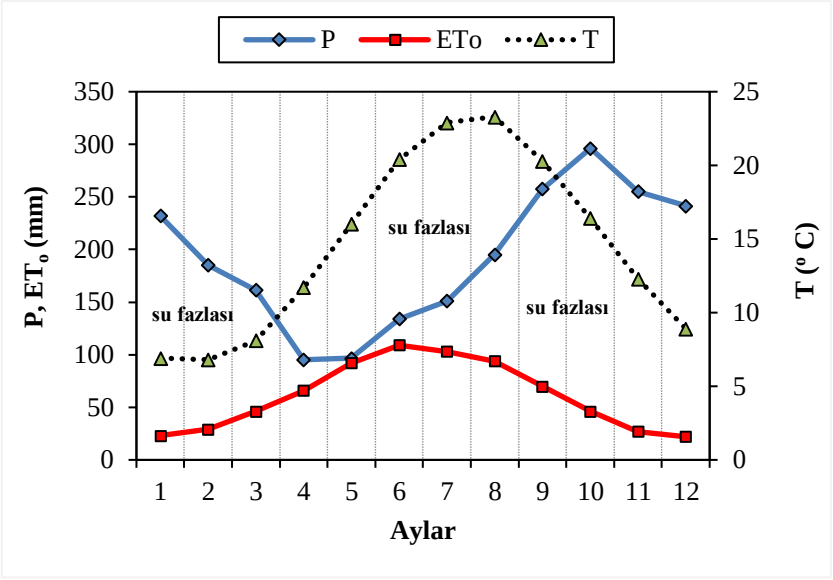
Aylar	P_e (mm)	ET_o (mm)	ΔW = |ET_o – P_e| (mm)		W ± ΔW + I (mm)	I (mm)
			Su fazlası	Su eksiği		
Ocak	30.40	20.00	10.40	0	10.40	0
Şubat	22.88	31.00	0	8.12	2.28	0
Mart	23.44	64.00	0	40.56	-38.28	38.28
Nisan	25.12	94.00	0	68.88	-68.88	68.88
Mayıs	34.80	129.00	0	94.20	-94.20	94.20
Haziran	20.56	161.00	0	140.44	-140.44	140.44
Temmuz	7.70	186.00	0	178.30	-178..30	178..30
Ağustos	6.20	164.00	0	157.80	-157.80	157.80
Eylül	13.60	113.00	0	99.40	-99.40	99.40
Ekim	23.44	64.00	0	40.56	-40.56	40.56
Kasım	25.60	30.00	0	4.40	-4.40	4.40
Aralık	33.84	18.00	15.84	0	15.84	0

Kahramanmaraş ilinden sonra en yüksek ikinci yıllık toplam ET_o miktarı (1074 mm) Konya ilinde gerçekleşmiştir. Dört şehir arasında en yüksek yıllık kuraklık indeksine (IDMG = 8.64) sahip olan bu şehir genelinde yarı kurak ($5 \leq IDMG < 10$) iklim özellikleri etkili olmaktadır. En düşük yıllık toplam yağışa (327.60 mm) ve etkili yağışa (267.58 mm) sahip olan Konya için, yıllık toplam sulama suyu miktarı 822.26 mm olarak hesaplanmıştır.

Yıllık toplam 2301.20 mm ile Türkiye'nin en çok yağış alan ili konumundaki Rize koşullarında, yağışın ve dolayısıyla nem oranının iyice azaldığı, buna karşın sıcaklığın artma eğilimi gösterdiği Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında nemli, diğer aylarda ise çok nemli iklimin egemen olduğu görülmüştür. Çim bitkisinin kök bölgesinde sadece Mayıs ve Haziran aylarında su eksiği oluşurken, diğer aylarda su fazlası oluşmaktadır (Tablo 8, Şekil 3, Tablo 9).

Tablo 8. Rize ili aylık iklim sınıfları

Aylar	T (°C)	P (mm)	IM	İklim sınıfı
Ocak	6.90	231.90	164.66	Çok nemli
Şubat	6.80	185.20	132.29	Çok nemli
Mart	8.10	161.30	106.94	Çok nemli
Nisan	11.70	95.20	52.65	Nemli
Mayıs	16.00	96.60	44.59	Nemli
Haziran	20.40	134.10	52.93	Nemli
Temmuz	22.90	151.00	55.08	Nemli
Ağustos	23.30	195.30	70.38	Çok nemli
Eylül	20.30	257.50	101.98	Çok nemli
Ekim	16.40	296.30	134.68	Çok nemli
Kasım	12.30	255.30	137.38	Çok nemli
Aralık	8.90	241.50	153.30	Çok nemli



Şekil 3. Rize ili aylık P, ET_o ve T değerleri

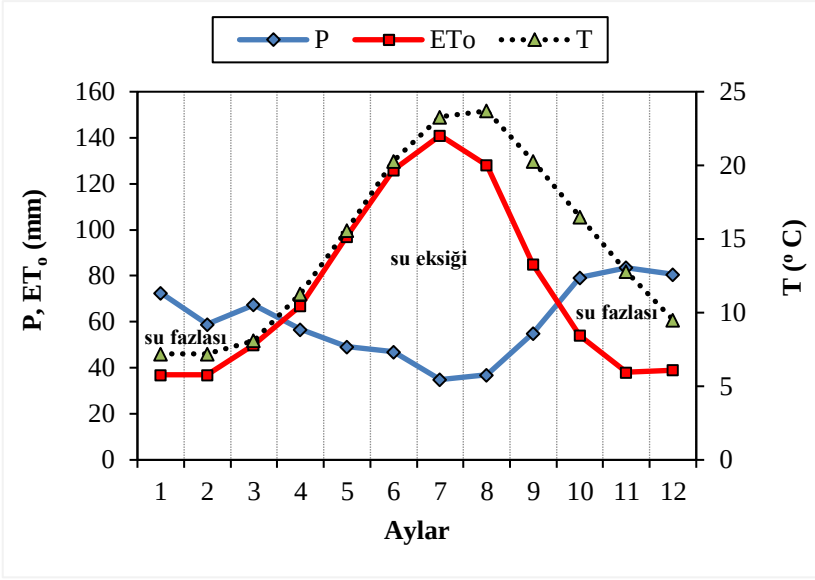
Tablo 9. Rize ili aylık P_e, ET_o, ΔW ve I değerleri

Aylar	P_e (mm)	ET_o (mm)	$\Delta W = \lvert ET_o - P_e \rvert$ (mm)		$W \pm \Delta W + I$ (mm)	I (mm)
			Su fazlası	Su eksiği		
Ocak	185.52	23.00	162.52	0	162.52	0
Şubat	148.16	29.00	119.16	0	281.68	0
Mart	129.04	46.00	83.04	0	364.72	0
Nisan	76.16	66.00	10.16	0	374.88	0
Mayıs	77.28	92.00	0	14.72	360.16	0
Haziran	107.28	109.00	0	1.72	358.44	0
Temmuz	120.80	103.00	17.80	0	376.24	0
Ağustos	156.24	94.00	62.24	0	438.48	0
Eylül	206.00	70.00	136.00	0	574.48	0
Ekim	237.04	46.00	191.04	0	765.52	0
Kasım	204.24	27.00	177.24	0	942.76	0
Aralık	193.20	22.00	171.20	0	1113.96	0

En düşük yıllık kuraklık indeksine (IDMG = 69.26) sahip olan Rize genelinde çok nemli (IDMG ≥ 60) iklimin etkili olduğu görülmüştür. En yüksek yıllık toplam yağış (2301.20 mm) ve yıllık toplam etkili yağış (1840.96 mm) miktarları ile en düşük yıllık toplam referans evapotranspirasyon miktarına (727.00 mm) sahip olan bu şehirde evapotranspirasyonun tamamı yağışla karşılanabilmektedir. Dolayısıyla sulamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Samsun koşullarında Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında nemli, Mayıs ve Eylül aylarında yarı nemli iklim özellikleri hissedilmektedir. Sıcaklığın maksimum düzeylere yükseldiği Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ise yarı kurak – nemli arası iklim etkili olmaktadır. Su eksiğinin oluştuğu yarı nemli Mayıs ve Eylül ayları ile yarı kurak – nemli arası Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında 41.00 – 113.08 mm arasında değişen miktarlarda beş adet sulama yapılması öngörülmüştür (Tablo 10, Şekil 4, Tablo 11).

Tablo 10. Samsun ili aylık iklim sınıfları

Aylar	T (°C)	P (mm)	IM	İklim sınıfı
Ocak	7.20	72.50	50.58	Nemli
Şubat	7.20	58.90	41.09	Nemli
Mart	8.10	67.40	44.69	Nemli
Nisan	11.30	56.70	31.94	Nemli
Mayıs	15.60	49.20	23.06	Yarı nemli
Haziran	20.30	46.90	18.57	Yarı kurak – nemli
Temmuz	23.30	34.90	12.58	Yarı kurak – nemli
Ağustos	23.70	37.00	13.18	Yarı kurak – nemli
Eylül	20.30	55.00	21.78	Yarı nemli
Ekim	16.50	79.20	35.86	Nemli
Kasım	12.80	83.50	43.95	Nemli
Aralık	9.50	80.60	49.60	Nemli



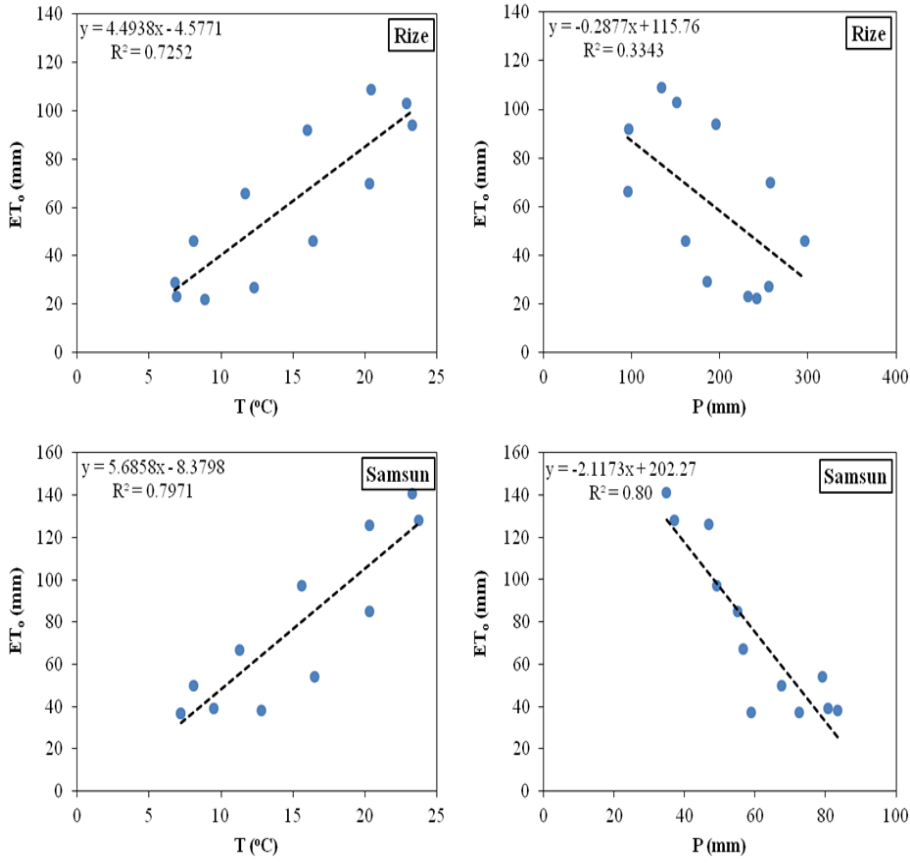
Şekil 4. Samsun ili aylık P, ET_o ve T değerleri

Tablo 11. Samsun ili aylık P_e, ET_o, ΔW ve I değerleri

Aylar	P_e (mm)	ET_o (mm)	$\Delta W = \lvert ET_o - P_e \rvert$ (mm)		$W \pm \Delta W + I$ (mm)	I (mm)
			Su fazlası	Su eksiği		
Ocak	58.00	37.00	21.00	0	21.00	0
Şubat	47.12	37.00	10.12	0	31.12	0
Mart	53.92	60.00	3.92	0	35.04	0
Nisan	45.36	67.00	0	21.64	13.40	0
Mayıs	39.36	97.00	0	57.64	-44.24	44.24
Haziran	37.52	126.00	0	88.48	-88.48	88.48
Temmuz	27.92	141.00	0	113.08	-113.08	113.08
Ağustos	29.60	128.00	0	98.40	-98.40	98.40
Eylül	44.00	85.00	0	41.00	-41.00	41.00
Ekim	63.36	54.00	9.36	0	9.36	0
Kasım	66.80	38.00	28.80	0	28.80	0
Aralık	64.48	39.00	25.48	0	25.48	0

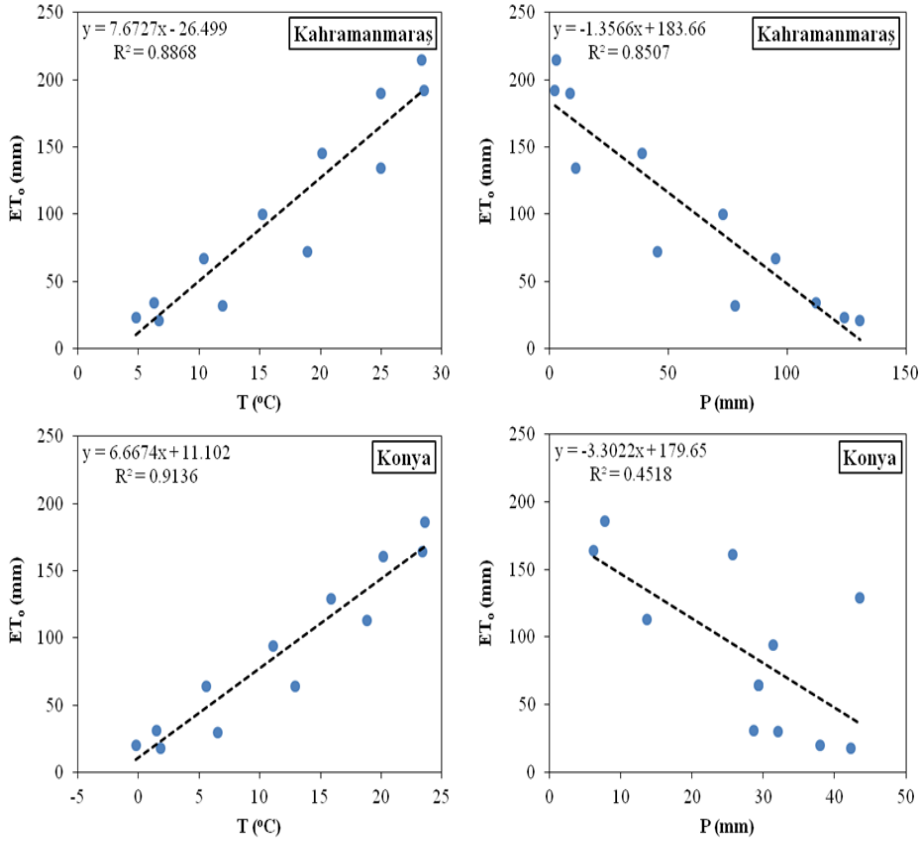
Yarı nemli iklimin (20 ≤ IDMG < 30) egemen olduğu Samsun için (IDMG = 20.93); yağış, etkili yağış, referans evapotranspirasyon ve sulama suyu miktarlarının yıllık toplam değerleri sırasıyla 721.80 mm, 577.44 mm, 899.00 mm ve 385.20 mm olarak belirlenmiştir.

Çok nemli Rize ve yarı nemli Samsun koşullarında referans evapotranspirasyondaki değişimin sıcaklık ve yağış ile açıklanabilme oranları sırasıyla %72.52 (R^2 = 0.7252), %79.71 (R^2 = 0.7971) ve %33.43 (R^2 = 0.3343), %80 (R^2 = 0.80) olarak belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Rize ve Samsun koşullarında T, P ve ET_o ilişkisi

Yarı kurak – nemli arası Kahramanmaraş ve yarı kurak Konya koşullarında evapotranspirasyondaki değişimin sıcaklık ve yağış ile açıklanabilme oranları %88.68 (R^2 = 0.8868), %91.36 (R^2 = 0.9136) ve %85.07 (R^2 = 0.8507), %45.18 (R^2 = 0.4518) olarak belirlenmiştir (Şekil 6). Rize koşullarında topografyadan kaynaklanan aşırı yağışlar ile Konya'da düzensiz aralıklarla gerçekleşen düşük miktarlardaki yağışlar nedeniyle, bu şehirlerdeki yağış ve evapotranspirasyon ilişkisinin düşük düzeylerde kaldığı düşünülmektedir.



Şekil 6. Kahramanmaraş ve Konya koşullarında T, P ve ET_o ilişkisi

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sıcaklık, yağış ve evapotranspirasyon arasındaki ilişki farklı iklim ve çevre özelliklerine sahip dört şehrin koşulları altında sulama yönünden değerlendirilmiştir. Genel olarak, evapotranspirasyon ve sulama suyu miktarları sıcaklıktaki artışa ve yağıştaki azalmaya bağlı olarak yükselme eğilimi göstermişlerdir. Yarı nemli, yarı kurak – nemli arası ve kurak iklim özelliklerinin etkili olduğu koşullarda, yağışın minimum düzeylere gerilediği sıcaklığın ise maksimum düzeylere yükseldiği Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında evapotranspirasyon ve sulama suyu miktarlarının en yüksek düzeylere ulaştığı görülmüştür. Genel olarak su eksiğinin oluştuğu bu aylarda bitkinin kuraklıktan zarar görmemesi için sulama yapılması zorunlu hale gelmektedir. Çok nemli iklimim egemen olduğu koşullarda evapotranspirasyonun tamamı yağışla karşılanabilmektedir. Su fazlasının oluştuğu bu koşullarda sulamaya ihtiyaç olmadığı görülmüştür. Sulamada, damla sulama gibi su uygulama randımanı yüksek ve maksimum düzeyde su tasarrufu sağlayan basınçlı sulama yöntemleri kullanımının teşvik edilerek, yaygınlaştırılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Allen, R. G., Pereire, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. https://www.fao.org/4/X0490E/X0490E00.htm (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2023).

De Martonne, E. (1942). Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. *Annales de Géographie,* 51, 242-250.

DMİ, (2025). Kahramanmaraş, Konya, Rize ve Samsun İklim Verileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara

DSİ, (2025). Toprak Su Kaynakları. https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/ Detay/754 (Erişim tarihi: 14 Ekim 2025).

Hillel, D. (1982). Introduction to environmental soil physics. Academic Press. ISBN: 978-0-123-48655-4, San Diego, California, USA, 494s.

Jensen, M. E., & Allen, R. G. (2016). Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements. American Society of Civil Engineers (ASCE), ISBN: 978-0-784-47920-9, New York, USA, 744s.

Köksal, A. İ., Yıldırım, O., Dumanoğlu, H., Kadayıfçı, A., & Güneş, N. (2000). Farklı sulama yöntemlerinde elma ağaçlarının su tüketimi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 6(2), 22-29.

Orta, A. H., Yüksel, A. N., & Erdem, T. (2000). Tekirdağ koşullarında farklı sulama yöntemlerinin elma ağaçlarının su tüketimine etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 6(3), 109-115.

Salas, W., Green, P., Froling, C., Li, C., & Boles, S. (2006). Estimating irrigation water use in California agriculture. http://www.energy.ca.gov/2006 publications/CEC-500-2006-057/CEC-500-2006-057.PDF. (Erişim Tarihi: 18 Mart 2019).

TUİK, (2022). Türkiye İstatistik Kurumu, "Su ve Atıksu İstatistikleri, 2022". https://data.tuik.gov.tr /Bulten/Index?p=Su-ve-Atiksu-Istatistikleri-2022-49607 (Erişim tarihi: 14 Ekim 2025).

Yıldırım, O. (2008). Sulama sistemleri tasarımı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, yayın no: 1565, ders kitabı no: 518, 354 s, Ankara.

Young, M. H., Wierenga, P. J., & Mancino, C. F. (1996). Large weighing lysimeters for water use and deep percolation studies. *Soil Science*, 161, 491-501.

TARIMSAL SU YÖNETİMİ VE TURİZM-EKOTURİZM ALANLARINDA DİSİPLİNLERARASI SÜRDÜRÜLEBİLİR GÜNÇEL YAKLAŞIMLAR

