





Marmara Bölgesinde Referans Bitki Su Tüketiminin Alansal ve Zamansal Değişimi*

Spatial and Temporal Change of Reference Crop Evapotranspiration in Marmara Region

Charifa Arabi¹ , Burak Nazmi Candoğan² 

Geliş Tarihi (Received): 28.02.2022

Kabul Tarihi (Accepted): 14.06.2022

Yayın Tarihi (Published): 22.08.2022

Öz: Bu çalışmada, Marmara Bölgesinde bulunan 18 meteoroloji istasyonu için 1990-2020 yılları arası aylık iklim verileri kullanılmış ve FAO Penman-Monteith yöntemi ile yıllık toplam ETo değerleri tahmin edilerek alansal ve zamansal değişimleri değerlendirilmiştir. Bu amaçla, her bir istasyon için parametrik olmayan Mann-Kendall testi ve Sen yöntemi kullanılarak yıllık toplam ETo eğilimleri belirlenmiş ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi kullanılarak ta ETo haritaları hazırlanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, yıllık toplam ETo değerleri 742.3-1440.7 mm arasında değişim göstermiştir. Edirne, Kocaeli, Sakarya, Bozcaada, Çanakkale, Kırklareli, Uzunköprü, Tekirdağ, İpsala ve Dursunbey istasyonları için ETo değerlerinde istatistiksel olarak önemli artış eğilimleri belirlenirken, Kumköy-Kilyos ve Keles istasyonları için eğilimler önemli düzeyde azalan yönde olmuştur. Bununla birlikte, Bandırma, Bursa, Şile, Florya ve Gönen istasyonları için gerçekleşen ETo artış eğilimleri ile Bilecik için belirlenen azalış eğilimi istatistiksel olarak önemli olmamıştır. Yıllık ortalama ETo haritası değerlendirildiğinde, Marmara Bölgesi'nin batı kesimlerinde (Edirne'nin güneyi, Balıkesir'in batısı ve Çanakkale) ETo yüksek değerlere ulaşmıştır. Bölgenin kuzey kesimlerinde; Kırklareli ve Tekirdağ'ın doğusunda ve bölgenin doğu kesimlerinde; İstanbul'un doğusu, Kocaeli ve Sakarya'da ETo değerleri düşmüştür. Ayrıca Kırklareli, Tekirdağ'ın doğusu, Kocaeli ve Sakarya'da uzun yıllar ortalama ETo değerleri düşük bulunurken, bu illerde ki meteoroloji istasyonları verilerinden hesaplanan yıllık toplam ETo değerlerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde artış eğilimleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Referans bitki su tüketimi, FAO Penman-Monteith yöntemi, eğilim analizi, ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon, Marmara Bölgesi

&

Abstract: In this study, the annual total ETo values were estimated using the FAO Penman-Monteith method for 18 meteorological stations in the Marmara Region between the years 1990-2020 and their spatial and temporal changes were evaluated. For this purpose, annual total ETo trends were determined for each station using the non-parametric Mann-Kendall test and Sen method, and ETo maps were prepared using the Geographical Information System (GIS) Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation method. According to the results of the study, the annual total ETo values varied between 742.3-1440.7 mm. While statistically significant increasing trends were determined in ETo values for Edirne, Kocaeli, Sakarya, Bozcaada, Çanakkale, Kırklareli, Uzunköprü, Tekirdağ, İpsala and Dursunbey stations, the trends were significantly decreasing for Kumköy-Kilyos and Keles stations. However, the increasing trends in ETo for Bandırma, Bursa, Şile, Florya and Gönen stations and the decreasing trend determined for Bilecik were not statistically significant. According to the annual average ETo map, ETo has reached high values in the western parts of the Marmara Region (south of Edirne, west of Balıkesir and Çanakkale), while ETo values have decreased in the east of Kırklareli and Tekirdağ (in the northern parts of the region) and east of İstanbul, Kocaeli and Sakarya (in the eastern parts of the region). In addition, while the average ETo values for long-term years were low in Kırklareli, the east of Tekirdağ, Kocaeli and Sakarya, statistically significant increasing trends were determined in the annual total ETo values calculated from the data of meteorology stations in these provinces.

Keywords: Reference crop evapotranspiration, FAO Penman-Monteith method, trend analysis, inverse distance weighted interpolation, Marmara Region.

Atıf/Cite as: Arabi, C., & Candoğan, B. N. (2022). Marmara Bölgesinde Referans Bitki Su Tüketiminin Alansal ve Zamansal Değişimi. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 8 (2), 268-281. DOI: 10.24180/ijaws.1080376

İntihal-Plagiarizm/Etik-Ethic: Bu makale, en az iki hakem tarafından incelenmiş ve intihal içermediği, araştırma ve yayın etiğine uyulduğu teyit edilmiştir. / This article has been reviewed by at least two referees and it has been confirmed that it is plagiarism-free and complies with research and publication ethics. <https://dergipark.org.tr/pub/ijaws>

Copyright © Published by Bolu Abant İzzet Baysal University, Since 2015 – Bolu

¹ Charifa Arabi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, charifaara@yahoo.com

² Doç. Dr. Burak Nazmi Candoğan, Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, bncandogan@uludag.edu.tr (Sorumlu Yazar / Corresponding author)

*Bu çalışma Charifa Arabi'nin Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Küresel olarak tarım, tatlı su tüketiminin yaklaşık %70'inden sorumludur (Panchasara vd., 2021). Bu nedenle su, sürdürülebilir gıda üretimi için miktar ve kalite bakımından mevcudiyeti gerekli olan bir kaynaktır. Küresel ısınma bağlamında, rasyonel ve etkin su yönetimi ihtiyacı, özellikle tarım dünyasında herkes için önemli bir gerekliliktir (Adoko, 2020).

İklim değişikliğinden etkilenen küresel sıcaklık önemli ölçüde artmakta ve diğer meteorolojik parametreler de küresel veya bölgesel değişiklik eğilimi göstermektedir. Bu durum doğal ekosistemlerin ve tarımsal üretimin gelişimine geniş kapsamlı etkiler getirmiştir. Referans bitki su tüketimi (ET_o), atmosferin buharlaşma kapasitesini ifade eden ve sulama sistemlerinin tasarımı ve su tasarrufunun araştırılmasına ilişkin çalışmalarda temel verileri oluşturan meteorolojik bir parametredir. İklim değişikliği altındaki bölgelerin referans bitki su tüketimi alansal dağılım özelliklerini incelemek, bitki su ihtiyacını tahmin etmek, su döngüsünü araştırmak, su kaynaklarını değerlendirmek, sulama planlaması ve yönetimi için önemli bir yol gösterici öneme sahiptir (Zhang vd., 2018).

ET_o değerlerinin tahmin edilmesinde Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından geliştirilen ve önerilen FAO Penman-Monteith eşitliği (Allen vd., 1998) günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. ET_o değerlerinin bölgesel tahminleri için ise bölgeye/iklime özgü parametrik basitleştirilmiş modeller kullanılmakta (Tegos vd., 2015) veya diğer ölçülmemiş konumlardaki tahminler, bu nokta ET_o değerlerinin enterpolasyonu ile elde edilmektedir. Mekansal ET_o haritaları, nokta ET_o değerlerinin uzamsal enterpolasyon kullanılarak alansal/bölgesel ET_o tahminlerine genişletilmesiyle üretilebilmektedir (Hodam vd., 2017).

Diğer taraftan, ET_o eğilimlerini anlamak herhangi bir bölgede suyun sistematik yönetimi için kritik öneme sahiptir (Jerin vd., 2021). ET_o değişimleri, iklim faktörleri, hava kirliliği, bitki türleri ve kentleşme gibi çok sayıda faktörün entegre sonuçlarıdır (Xu vd., 2017). Değişen iklim koşullarında buharlaşma ve evapotranspirasyonun (ET) mekansal-zamansal eğilimlerinin analizi, özellikle tarımsal su kaynaklarının kullanımını iyileştirmek için önemlidir ve ekolojik ve çevresel su gereksinimlerinin mekansal-zamansal değişimini anlamak için yardımcı olur (Zuo vd., 2012).

Dünya'da ve ülkemizde ET_o değerlerinin mekansal ve zamansal değişimi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Altalib vd., 2021; Altındağ, 2007; Anlı, 2014; Bayramoğlu, 2013; Çetin, 2018; Güler, 2014; Jerin vd., 2021; Karaca vd., 2017; Mubialiwo vd., 2020; Ndiaye vd., 2020; Talae vd., 2014; Xu vd., 2017; Yürekli vd., 2010; Zhang vd., 2018). Fakat ülkemizde bölgesel bazda Marmara Bölgesi'nde ET_o'nin mekansal ve alansal değişimini ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı, tarımsal potansiyeli yüksek Marmara Bölgesi'nde 18 adet meteoroloji istasyonu için 1990-2020 yılları arası iklim verileri kullanılarak tahmin edilen yıllık toplam ET_o eğilimlerini belirlemek ve farklı amaçlar için yaygın olarak kullanılan Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi ile ET_o haritaları oluşturarak ET_o'nin mekansal ve zamansal değişimlerini değerlendirmektir.

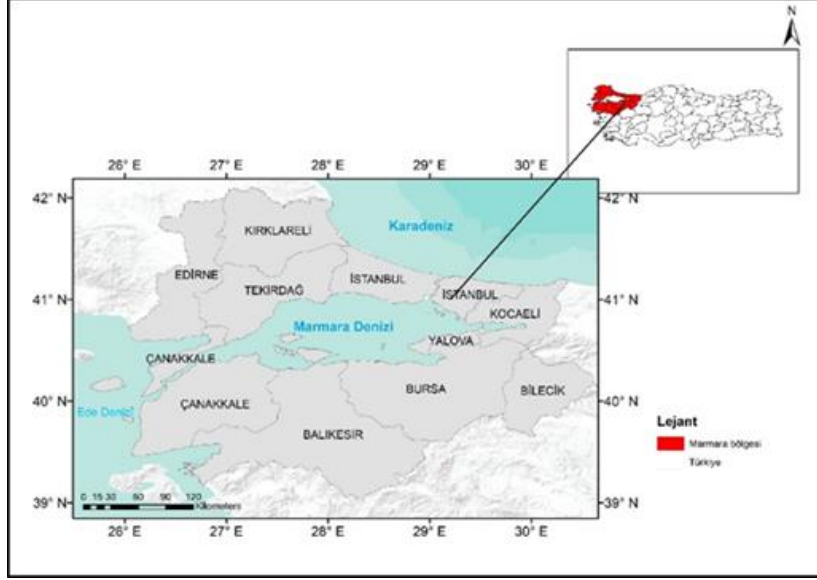
MATERYAL VE METOT

Çalışma Bölgesi ve İklim Özellikleri

Marmara Bölgesi, adından da anlaşılacağı üzere konum olarak Marmara denizinin çevresinde yer alır. Bölgede Trakya ile Anadolu toprakları, Marmara denizi, Çanakkale ve İstanbul boğazları ile birbirinden ayrılmaktadır. Marmara Bölgesi, Türkiye'nin %8'ine yakını kaplamaktadır. Bölge, Güneydoğu Anadolu'dan sonra, Türkiye'nin 2. küçük bölgesidir. Yer şekilleri bakımından Marmara Bölgesi'nin başlıca özelliği sade bir yapıya sahip olmasıdır. Bölgede dağlık alanlar fazla yer kaplamamakta ve bulunan dağlar da devamlı sıralar halinde değildir (Anonim, 2021a). Marmara Bölgesi, Balıkesir, Bilecik, Bursa, Çanakkale, Edirne, İstanbul, Kırklareli, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ ve Yalova illerinden oluşmakta ve Türkiye'nin kuzey batısında yer almaktadır (Şekil 1).

Dünya ölçüsünde yapılan iklim sınıflandırmalarında kullanılan ölçütler esas alınarak ülkemizde, Karasal, Akdeniz, Marmara (geçiş) ve Karadeniz iklim tiplerine rastlanmaktadır (Atalay, 1997). Marmara Bölgesi'nin güney bölümünde kuzey Ege'yi de içine alacak şekilde Marmara (geçiş) iklimi görülür. Kışları

Akdeniz ikliminde olduğu kadar ılık değildir, yazları Karadeniz ikliminde olduğu kadar yağış görülmez. Kışları Karasal iklim kadar soğuk, yazları da kurak geçmemektedir. Bu özellikleri nedeniyle Marmara iklimi, karasal Karadeniz ve Akdeniz iklimleri arasında bir geçiş özelliğine sahiptir. Bu sebeple, alçak kesimlerde doğal bitki örtüsünü Akdeniz kökenli bitkiler oluşturmakta, Karadeniz bitki topluluğu tipindeki nemli ormanlar ise yüksek kesimlerde kuzeye bakan yamaçlarda yer almaktadır. Ocak ayı, Temmuz ayı ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla 4.9 °C, 23.7 °C ve 14.0 °C olarak ölçülmüştür. Yağışların büyük miktarı kış mevsiminde düşmüş olup, ortalama yıllık toplam yağış 595.2 mm'dir. Yaz yağışlarının yıllık toplam içindeki payı %11.7 olarak hesaplanmıştır. Yıllık ortalama nispi nem ise %73'tür (Anonim, 2021b).

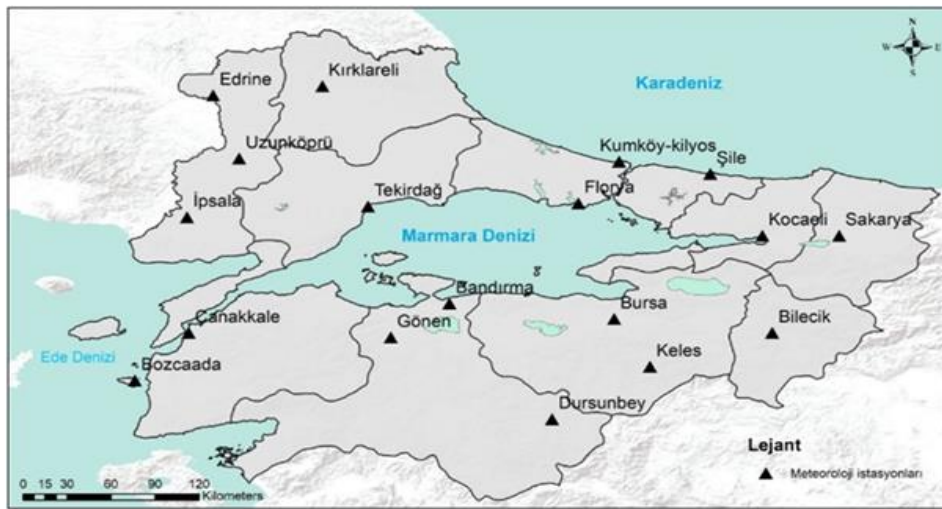


Şekil 1. Marmara Bölgesi'nin konumu.

Figure 1. Location of the Marmara Region.

Çalışmada Kullanılan Meteorolojik Veriler

Bu çalışma için gerekli meteorolojik veriler, Marmara Bölgesinde faaliyet gösteren Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne (MGM) bağlı 18 adet meteoroloji istasyonundan sağlanmıştır. Çalışmada ele alınan istasyonların bazı özellikleri ve konumları sırasıyla Çizelge 1 ve Şekil 2'de gösterilmiştir. Çalışmada, 1990-2020 yılları arası en yüksek sıcaklık, en düşük sıcaklık, nispi nem, rüzgar hızı ve günlük toplam güneşlenme süresi aylık ortalama değerleri kullanılmıştır.



Şekil 2. Çalışmada ele alınan meteoroloji istasyonları konumları.

Figure 2. Locations of meteorology stations whose data were used in the study.

Çizelge 1. Çalışmada ele alınan meteoroloji istasyonları bazı özellikleri.

Table 1. Some characteristics of meteorology stations whose data were used in the study.

Sıra no	İstasyon no	İstasyon adı	Enlem (Kuzey) (Ondalık derece)	Boylam (Doğu) (Ondalık derece)	Rakım (m)
1	17050	Edirne	41.68	26.55	51
2	17052	Kırklareli	41.74	27.22	232
3	17056	Tekirdağ	40.96	27.50	4
4	17059	Kumköy-Kilyos	41.25	29.04	38
5	17066	Kocaeli	40.77	29.92	74
6	17069	Sakarya	40.77	30.39	30
7	17111	Bozcaada	39.83	26.07	30
8	17112	Çanakkale	40.14	26.40	6
9	17114	Bandırma	40.33	28.00	63
10	17116	Bursa	40.23	29.01	100
11	17120	Bilecik	40.14	29.98	539
12	17608	Uzunköprü	41.27	26.71	45
13	17610	Şile	41.17	29.60	83
14	17632	İpsala	40.89	26.39	81
15	17636	Florya	40.98	28.79	37
16	17674	Gönen	40.11	27.64	37
17	17695	Keles	39.92	29.23	1063
18	17700	Dursunbey	39.58	28.63	637

Çalışmada Kullanılan Bilgisayar Programları

Meteoroloji istasyonları aylık verilerinden Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından geliştirilmiş olan ETo Calculator (Anonim, 2009) kullanılarak ay bazında günlük referans bitki su tüketimi değerleri hesaplanmıştır. Her bir ay için hesaplanan günlük ETo değerlerinden önce aylık sonra yıllık değerler belirlenmiştir. Çalışmada, yıllık toplam ETo değerlerine uygulanan eğilim analizlerinde MAKESENS 1.0 Excel programı (Anonim, 2002) kullanılmıştır. Yıllık ETo değerleri ArcGIS programı yardımıyla ilişkilendirilerek Marmara Bölgesi için ETo haritaları üretilmiştir.

Referans Bitki Su Tüketiminin Hesaplanması

Çalışmada, Marmara Bölgesi'nde yer alan 18 adet meteoroloji istasyonu 1990-2020 yılları arası aylık verilerinden FAO Penman-Monteith yöntemi kullanılarak her bir ay için günlük ETo değerleri hesaplanmıştır. Penman-Monteith yöntemine ait denklem Eşitlik 1'de verilmiştir (Allen vd., 1998).

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

Eşitlikte; ET_o , referans evapotranspirasyon (mm gün^{-1}), R_n , bitki yüzeyindeki net radyasyon ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$), G , toprak ısı akış yoğunluğu ($\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$), T , 2 m yükseklikte ortalama günlük hava sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), u_2 , 2 metre yükseklikte rüzgar hızı (m s^{-1}), e_s , doymuş buhar basıncı (kPa), e_a , gerçek buhar basıncı (kPa), $e_s - e_a$, doymuş buhar basıncı açığı (kPa), Δ , buhar basıncı eğrisinin eğimi ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) ve γ , psikrometrik sabiti ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) göstermektedir. Eşitlik 1'de, 0.408 değeri, $\text{MJ m}^{-2} \text{gün}^{-1}$ olarak ifade edilen net radyasyon R_n 'yi mm gün^{-1} olarak ifade edilen eşdeğer buharlaşmaya dönüştürür. Toprak ısı akışı R_n 'ye kıyasla küçük olduğundan, özellikle yüzey bitki örtüsüyle kaplandığında ve hesaplama zaman adımları 24 saat veya daha uzun olduğunda, G 'nin tahmini ETo Calculator'da göz ardı edilir ve sıfır olarak kabul edilir. Bu, günlük ve 10 günlük zaman periyotları için Allen vd. (1998)'de rapor edilen varsayımlara karşılık gelmektedir. Allen vd. (1998), çim referans yüzeyinin altındaki toprak ısı akışının bu süre için nispeten küçük olduğunu belirtmektedir.

Çalışmada, günlük toplam güneşlenme süresi aylık ortalama değerleri (n, saat), Dursunbey, Keles, Uzunköprü, Gönen, İpsala, Şile, Edirne, Bandırma ve Florya istasyonlarından 1990-2010 yılları arası için,

Bozcaada istasyonundan ise 2006-2016 yılları arası için sağlanabilmiştir. ETo Calculator, güneş ışığı veya radyasyon verileri eksikse veya radyasyonun tahmin edilebileceği birkaç iklim parametresi mevcutsa, ETo değerinin hesaplanmasına imkan tanımaktadır (Raes, 2012). Buna göre, öncelikle yukarıda sözü edilen istasyon ve yıllar için n değerleri kullanılarak ETo değerleri hesaplanmış ve bu değerlere ETo adı verilmiş, sonra n değerleri kullanılmadan ETo değerleri hesaplanmış ve bu değerlere de ETo_n adı verilmiş, son olarak ETo ile ETo_n arasında regresyon analizleri yapılmış ve istatistiksel olarak önem düzeyleri belirlenmiştir. Regresyon analizi sonuçları bu çalışmanın Bulgular ve Tartışma bölümünde verilmiş ve sözü edilen 10 istasyon için n verilerinin eksik olduğu yıllara ait ETo değerleri de ETo calculator kullanılarak hesaplanmıştır.

ETo Değerlerinin Eğilim Analizi

Çalışmada, 18 istasyon için 1990-2020 yılları arası yıllık toplam ETo değerlerine eğilim (trend) analizi yapılmıştır. Yıllık ETo değerlerinin artış yada azalış eğilimleri parametrik olmayan Mann-Kendall testine ve eğilimin büyüklüğü parametrik olmayan Sen yöntemine göre belirlenmiştir (Gilbert, 1987; Salmi vd., 2002). Man-Kendall testi sonuçlarında bulunan önem seviyeleri (α) sırasıyla 0.001, 0.01, 0.05 ve 0.1 olarak sıralanmaktadır.

Mann-Kendall testi, bir zaman serisinin x_i veri değerlerinin modele (Eşitlik 1) uyduğu varsayıldığında uygulanabilir.

$$x_i = f(t_i) + \varepsilon_i \quad (2)$$

Eşitlikte; $f(t_i)$, zamanın sürekli monotonik artan veya azalan fonksiyonudur ve ε_i , sıfır ortalamalı aynı dağılımdan olduğu varsayılan hatalardır. Bu nedenle, dağılımın varyansının zaman içinde sabit olduğu varsayılır.

Burada amaçlanan, x_i gözlemlerinin zaman içinde rastgele sıralandığı eğilim olmayan sıfır hipotezini (H_0), artan veya azalan monotonik bir eğilimin olduğu alternatif hipotez H_1 'e karşı test etmektir. Bu istatistiksel test hesaplamasında MAKESENS, hem Gilbert (1987)'de verilen S istatistiklerinden hem de normal yaklaşımdan (Z istatistiklerini) faydalanmaktadır. Modelde 10'dan az veri noktasına sahip zaman serileri için S testi ve 10 veya daha fazla veri noktasına sahip zaman serileri için normal yaklaşım kullanılmaktadır (Salmi vd., 2002).

Mevcut bir eğilimin gerçek eğimini (yıllık değişim olarak) tahmin etmek için Sen'in parametrik olmayan yöntemi kullanılır. Sen'in yöntemi, eğilimin doğrusal olduğu varsayılabilirliği durumlarda kullanılabilir. Buna göre, Eşitlik 2'deki $f(t)$ 'nin eşitliği aşağıda verilmiştir (Eşitlik 3).

$$f(t) = Qt + B \quad (3)$$

Eşitlikte; Q, eğim ve B bir sabittir.

Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) Enterpolasyon Yöntemi

Ters Mesafe Ağırlıklı (Inverse Distance Weighted=IDW) enterpolasyon, birbirine yakın olan noktaların birbirinden uzak olanlardan daha fazla benzer olduğu varsayımını uygulamaktadır. Herhangi bir ölçülmemiş konum için bir değer tahmin etmek amacıyla IDW, tahmin konumunu çevreleyen ölçülen değerleri kullanır. Tahmin konumuna en yakın olan ölçülen değerler, tahmin edilen değer üzerinde uzaktakilerden daha fazla etkiye sahiptir. Böylece IDW, ölçülen her noktanın mesafe ile azalan yerel bir etkiye sahip olduğunu varsayar. Tahmin konumuna daha yakın olan noktaları, daha uzaktakilerden daha fazla ağırlıklandırır, bu nedenle yöntemin adı ters mesafe ağırlıklıdır (Johnstone vd., 2001). Genel IDW enterpolasyon denklemi Eşitlik 4'de verilmiştir.

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (4)$$

Eşitlikte; $\hat{Z}(s_0)$, s_0 konumu için tahmin etmeye çalıştığımız değeri, N , tahminde kullanılacak tahmin konumunu çevreleyen ölçülen örnek noktalarının sayısını ve λ_i , kullanacağımız ölçülen her noktaya atanan ağırlıkları ifade etmektedir. Bu ağırlıklar mesafe ile azalacaktır. $Z(s_i)$ ise s_i konumunda gözlemlenen değerdir. Ağırlıkları belirlemek için denklemler Eşitlik 5 ve 6'te verilmiştir.

$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (6)$$

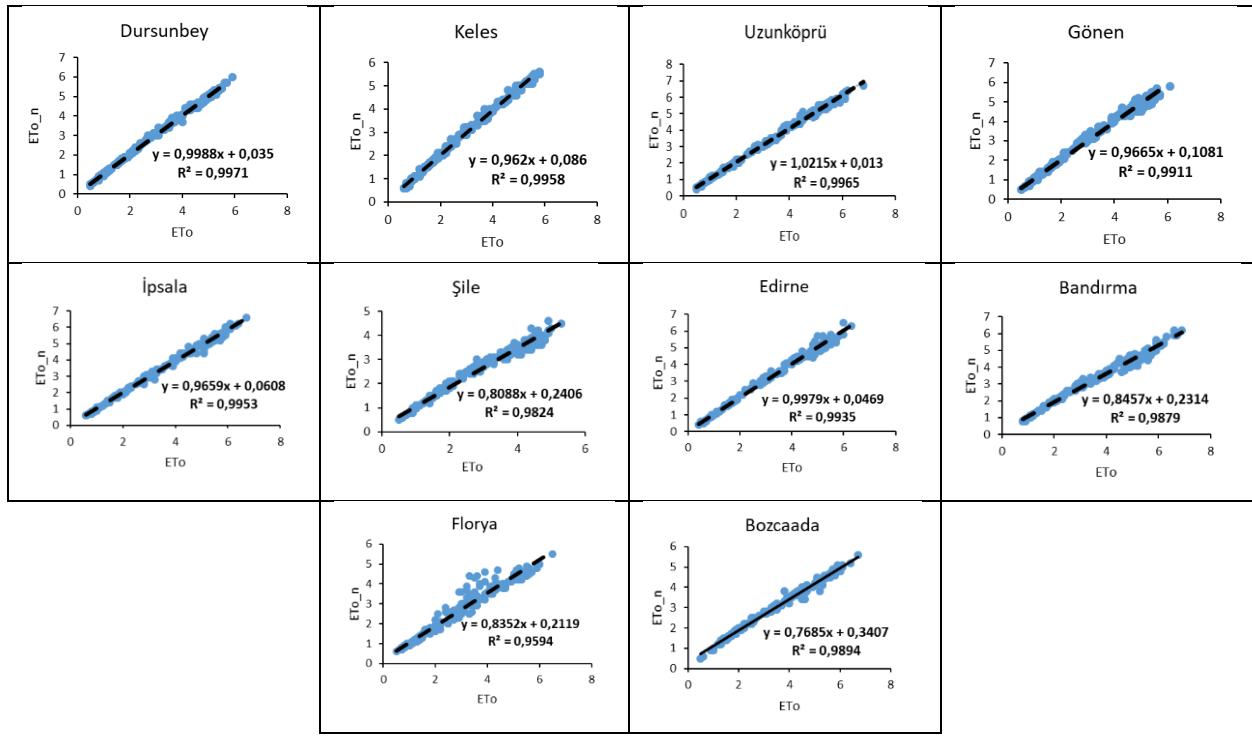
Mesafe büyüdükçe, ağırlık bir p faktörüyle azalır. Eşitlik 5'te d_{i0} , tahmin konumu s_0 ile ölçülen konumların her biri olan s_i arasındaki mesafedir. Üs parametresi p , ölçülen konumun değerinin tahmin konumunun değeri üzerindeki ağırlığını etkiler; yani, ölçülen örnek konumlar ile tahmin konumu arasındaki mesafe arttıkça, ölçülen noktanın tahmin üzerindeki ağırlığı (veya etkisi) üstel olarak azalacaktır. Tahminde kullanılacak ölçülen konumların ağırlıkları, toplamı 1'e eşit olacak şekilde ölçülendirilir.

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi için yıllık toplam ETo değerlerinin alansal ve zamansal değişimi IDW enterpolasyon yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Hodam vd. (2017), ETo'nin Hindistan üzerindeki mekansal dağılım özelliklerini anlamak için, IDW ve Kriging enterpolasyon yöntemlerini kullanmışlar, çapraz doğrulama sırasında aylık yüzeyleri geliştirirken Kriging'in daha iyi olduğunu bulmuşlar ve istasyon bazında doğrulamada, IDW'nin neredeyse tüm durumlarda Kriging'den daha iyi performans gösterdiğini belirlemişlerdir. Bu nedenle, ETo'nin uzaysal enterpolasyonu ve ona hükmeden meteorolojik parametreler için IDW enterpolasyon yöntemini tavsiye etmişlerdir. Okechukwu ve Mbajiorgu (2020), Güneydoğu Nijerya'da yağış ve ETo'nin yıllık ve mevsimlik tahminlerini, IDW ve Kriging enterpolasyon yöntemleri ile karşılaştırmışlar ve her ikisinin de yağış analizi için oldukça iyi performans gösterdiğini, ancak IDW'nin tüm analizlerde ETo için Kriging'den daha tutarlı olduğunu bulmuşlardır. Ha vd. (2011), Sıradan Kriging (OK) ve IDW yöntemlerini kullanarak Texas High Plains için günlük çim ETo haritaları geliştirmişler ve IDW'nin 2179 günün yaklaşık %68'i için OK'dan daha iyi performans gösterdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca IDW yöntemi, sağlam yapısı nedeniyle çoğu araştırmacı tarafından farklı amaçlarla yaygın olarak kullanılmıştır (Aksu ve Hepdeniz, 2016; Hamad, 2016; Moharir vd., 2019; Taşkın vd., 2018; Vural, 2021; Ya'acub vd., 2016).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Referans Bitki Su Tüketimi Bulguları

Çalışmada; Dursunbey, Keles, Uzunköprü, Gönen, İpsala, Şile, Edirne, Bandırma, Florya ve Bozcaada istasyonları için ETo ile ETo_n arasında gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçları Şekil 3'te gösterilmiştir. Sözü edilen 10 istasyon için ETo ile ETo_n arasında belirleme katsayıları yüksek ve istatistiksel olarak önemli ($p < 0.001$) doğrusal ilişkiler elde edilmiştir. Bu sonuçlarla bağlantılı olarak 18 istasyon için 1990-2020 yılları arası yıllık toplam ETo değerleri hesaplanmıştır. En düşük yıllık ETo 1993 yılında Florya istasyonu için 742.3 mm olarak hesaplanırken, en yüksek değer 2004 yılında Bandırma istasyonu için 1440.7 mm olarak bulunmuştur. Uzun yıllar ortalama ETo ise 871.6 mm (Şile istasyonu) ile 1106.8 mm (İpsala istasyonu) arasında değişim göstermiştir (Çizelge 2). "Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri" rehberinde Marmara bölgesi için toplam ETo değerleri 792-1198 mm arasında değişmiştir (Anonim, 2017). Çalışmamızda elde edilen uzun yıllar ortalama ETo sonuçları ile "Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri" rehberinde belirlen değerlerle uyumlu olmuştur.



Şekil 3. Regresyon analizi sonuçları.

Figure 3. Regression analysis results.

Referans Bitki Su Tüketimi Eğilim Testi Bulguları

Çalışmada, 18 istasyon için 1990-2020 yılları arası yıllık toplam ETo değerlerine uygulanan eğilim testi sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Edirne, Kocaeli, Sakarya, Bozcaada ve Çanakkale istasyonları için $\alpha=0.001$ önem düzeyinde ETo artış eğilimleri belirlenmiştir. Kırklareli ve Uzunköprü için ETo artış eğilimleri $\alpha=0.01$ önem düzeyinde belirlenirken, Tekirdağ ve İpsala için artış eğilimleri $\alpha=0.05$ önem düzeyinde gerçekleşmiştir. Dursunbey için ETo artış eğiliminin $\alpha=0.1$ önem düzeyinde olduğu bulunmuştur. Bandırma, Bursa, Şile, Florya ve Gönen istasyonları için gerçekleşen ETo artış eğilimleri ise istatistiksel olarak önemli olmamıştır. Diğer taraftan, Kumköy-Kilyos ve Keles istasyonları için $\alpha=0.05$ önem düzeyinde ETo azalış eğilimleri belirlenmiş, Bilecik için belirlenen hafif azalış eğilimi (Z testi = -0.37) ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 2). Kumköy-Kilyos ve Keles istasyonları için belirlenen önemli düzeydeki ETo azalış eğilimleri, sıcaklıkta artış eğilimi olmasına rağmen, rüzgar hızındaki azalış ve bağıl nemdeki artış eğilimlerine bağlanabilir.

Yürekli vd. (2010), Kayseri koşullarında farklı referans dönemler için ETo değişiminin belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmalarında mevsimsel değerlerde herhangi bir eğilimin olmadığını belirlemişlerdir. Talaei vd. (2014), İran'ın batısındaki 1982-2003 dönemi için 12 istasyonda Hargreaves referans evapotranspirasyon (ETo), kap buharlaşması (Epan) ve kap katsayısı (Kpan) serilerinin eğilimlerini araştırdıkları çalışmalarında, ETo zaman serisinde önemli bir trend olmadığını belirlemişler, 1998 yılında başlayan Epan serisinde 16 mm yıl⁻¹lık bir yükseliş trendi gözlemlemişler ayrıca 1994 yılında başlayan Kpan serisinde azalan bir trend elde etmişlerdir. Çalışmamızda da Bandırma, Bursa, Şile, Florya ve Gönen istasyonları için gerçekleşen ETo artış eğilimleri ve Bilecik için belirlenen hafif azalış eğilimi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Altındağ (2007), Güneydoğu Anadolu Projesi bölgesinde 9 adet meteoroloji istasyonu için ETo değerlerini belirlediği ve gidiş analizlerini değerlendirdiği çalışmada, 3 istasyon için önemli düzeyde artış eğilimleri, 6 istasyon için de önemli düzeyde azalış eğilimleri belirlemiştir. Bu sonuca küresel ısınma, şehirleşme, artan nüfus gibi faktörlerin etki etmiş olabileceğini belirtmiştir. Trabzon'da aylık ve yıllık referans bitki su tüketimindeki değişimleri ortaya koymak amacıyla yapılan bir araştırmada 2009-2012

yılları arasında referans su tüketiminde sıcaklık artışı ve değişen iklim verileriyle birlikte yıllar arasında artış meydana geldiğini belirlenmiştir (Bayramoğlu, 2013).

Çizelge 2. 1990-2020 yılları arası yıllık toplam ETo değerleri eğilim testi sonuçları.

Table 2. Trend test results of annual total ETo values between 1990-2020.

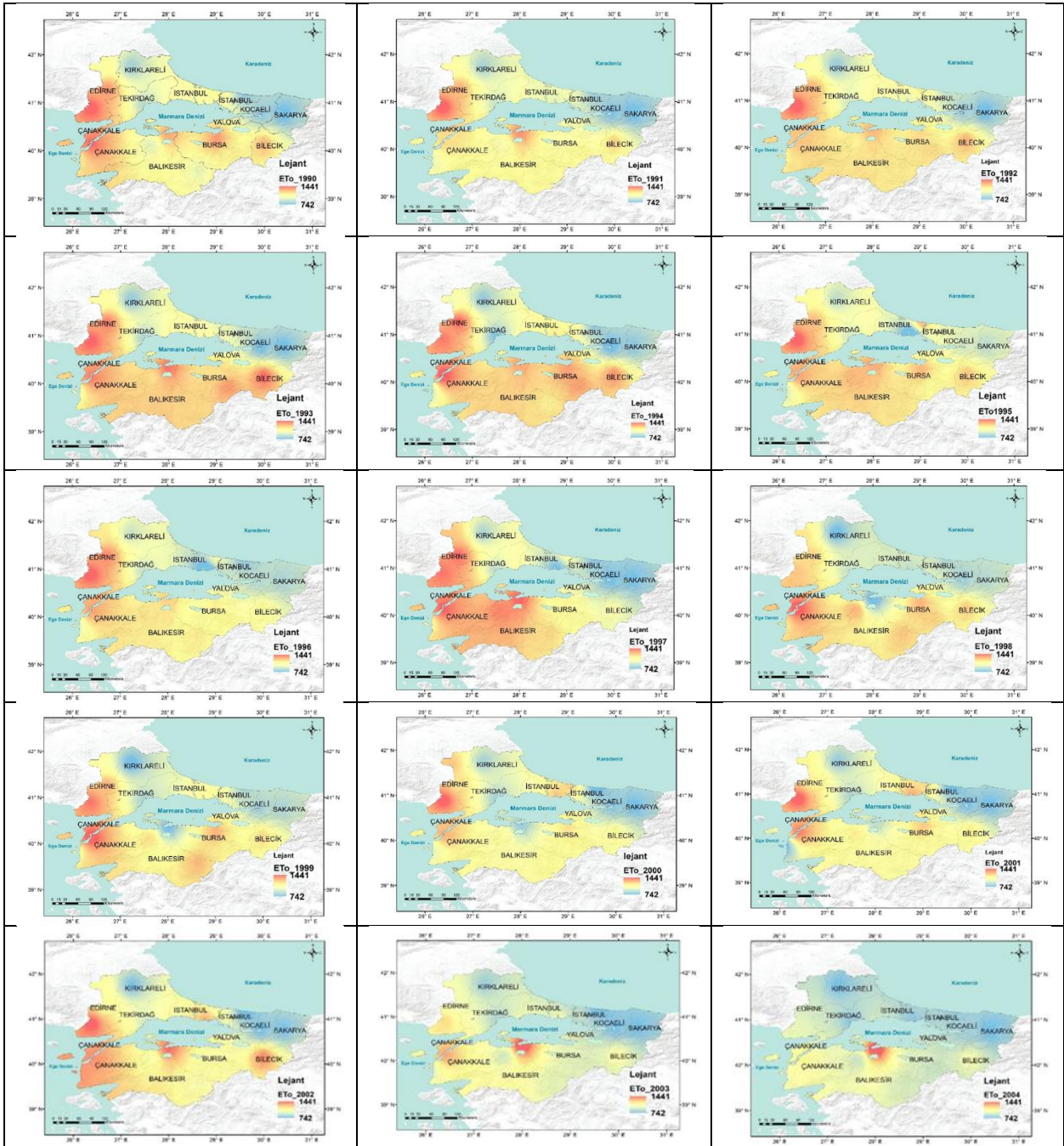
Sıra no	Dönem	İstasyon adı	Yıllık ort. ETo (mm)	n	Z testi	Önemlilik
1	1990-2020	Edirne	1005.3	31	4,15	***
2	1990-2020	Kırklareli	905.0	31	2,55	**
3	1990-2020	Tekirdağ	908.4	31	2,46	*
4	1990-2020	Kumköy-Kilyos	935.2	31	-2,21	*
5	1990-2020	Kocaeli	903.9	31	4,11	***
6	1990-2020	Sakarya	897.3	31	3,77	***
7	1990-2020	Bozcaada	1041.5	31	4,45	***
8	1990-2020	Çanakkale	1104.1	31	3,48	***
9	1990-2020	Bandırma	1044.6	31	0,20	öd
10	1990-2020	Bursa	1002.6	31	0,31	öd
11	1990-2020	Bilecik	1027.9	31	-0,37	öd
12	1990-2020	Uzunköprü	1059.3	31	2,89	**
13	1990-2020	Şile	871.6	31	0,14	öd
14	1990-2020	İpsala	1106.8	31	2,55	*
15	1990-2020	Florya	970.0	31	0,82	öd
16	1990-2020	Gönen	990.4	31	1,02	öd
17	1990-2020	Keles	963.6	31	-1,99	*
18	1990-2020	Dursunbey	991.1	31	1,80	+

*** $\alpha=0,001$, ** $\alpha=0,01$, * $\alpha=0,05$, + $\alpha=0,1$, öd: önemli değil, -: azalış

Anlı (2014) tarafından Güneydoğu Anadolu bölgesi için yapılan çalışmada, ETo değerlerinin zaman içerisinde değişimi araştırılmış, ETo değerlerinde önemli artış eğilimleri olduğu belirlenmiştir. Xu vd. (2017), 1957'den 2014'e kadar Çin'in doğusundaki Yangtze Nehri Deltası'nda bulunan 46 adet meteoroloji istasyonu için ETo hesapladıkları çalışmalarında, ağırlıklı olarak güneydoğuda yer alan 34 meteoroloji istasyonunda (toplamın %73.91'i) yıllık artış eğilimleri belirlemişlerdir. Senegal Nehri Havzası için ETo eğilimini ve iklim değişkenlerine duyarlılığını analiz etmek amacıyla yapılan diğer bir çalışmada, 1984–2017 döneminde havza alanının %32'si için yıllık ETo'da önemli bir artış olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, havzanın Sahel bölgesinin bazı kesimlerinde rüzgar hızında önemli bir düşüş kaydedilmiştir. Rüzgar hızının azalması ve bağıl nem artışı, ETo'nun düşmesine neden olmuş ve Senegal Nehri havzasının Sahel kısmında bir "buharlaştırma paradoksu" işaret edilmiştir (Ndiaye vd., 2020). Jerin vd. (2021), Bangladeş'te 1975–2017 yılları arasında 25 yerin günlük meteorolojik veri setlerine dayanan Penman-Monteith FAO-56 modelini kullanarak aylık, yıllık ve on yıllık ETo veri setlerini değerlendirmeyi amaçladıkları çalışmalarında hem artış hem de azalış eğilimleri belirlemişlerdir. Bir bütün olarak, Bangladeş genelinde ETo'nin azalan eğilim yapısı nedeniyle paradoksal bir durum ortaya çıkabileceğini bildirmişler ve bunun nedenin, mevcut iklim ısınmasının etkisiyle güneşlenme süresi ve rüzgar hızındaki azalma olabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmamızda 10 istasyon için önemli düzeyde ETo artış eğilimleri belirlenirken, 2 istasyon için önemli düzeyde ETo azalış eğilimleri belirlenmiştir. ETo değişimleri, iklim faktörleri, hava kirliliği, bitki türleri ve kentleşme gibi çok sayıda faktörün entegre sonuçlarıdır (Xu vd., 2017).

Referans Bitki Su Tüketiminin Alansal ve Zamansal Dağılımı

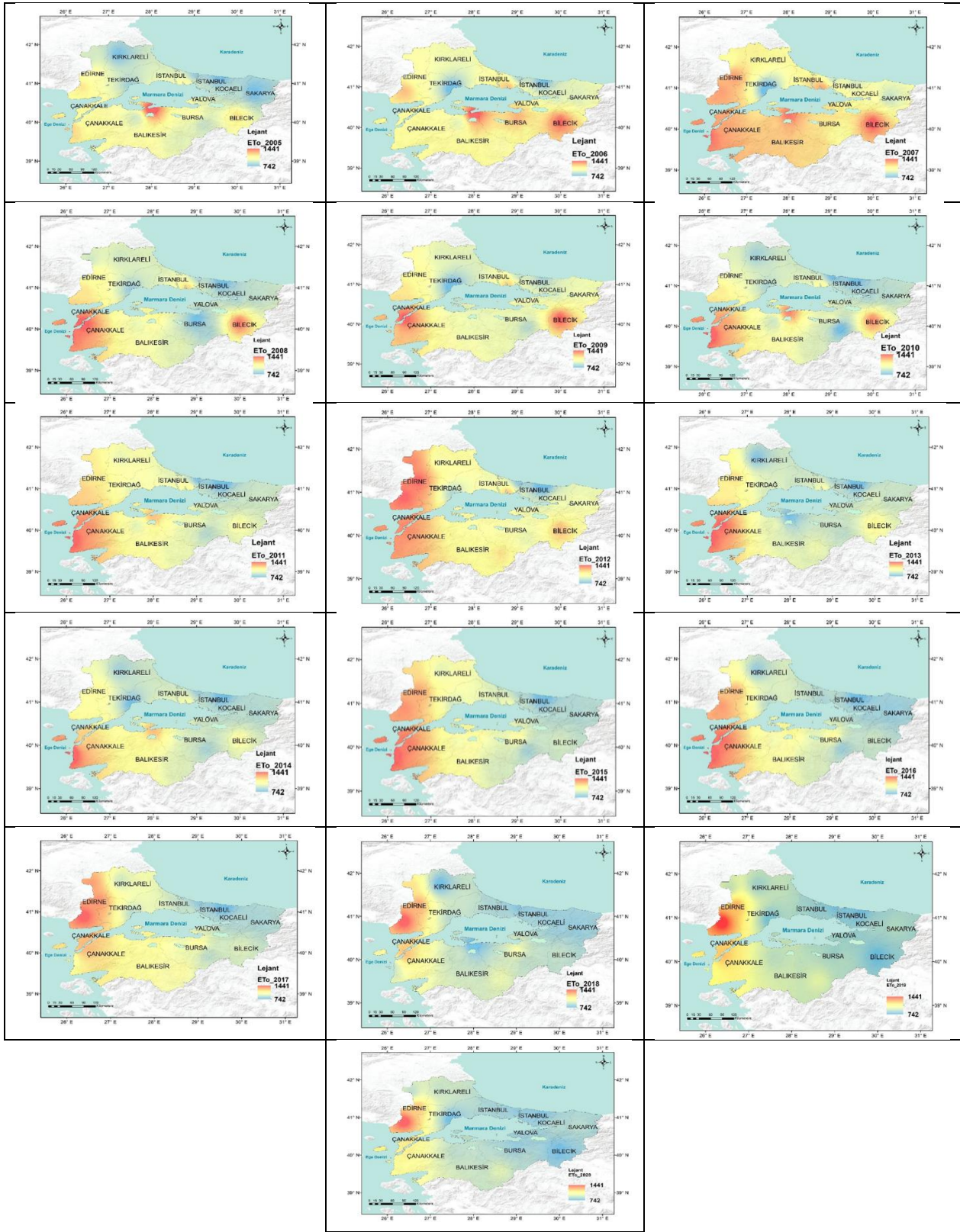
IDW enterpolasyon yöntemi kullanılarak hazırlanan 1990-2020 yılları arası Marmara Bölgesi yıllık toplam ETo haritaları Şekil 4'te gösterilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgulara göre, 1990, 1996, 1999-2002, 2012, 2015 ve 2016 yıllarında Edirne'nin güneyi ve Çanakkale'nin batı kesimlerinde ETo yüksek değerlere ulaşmıştır. Kırklareli, Kocaeli ve Sakarya illeri için 1990-1994 ve 2000-2003 yıllarında ETo değerlerinin düşük olduğu belirlenmiştir



Şekil 4. Marmara Bölgesi 1990-2020 yılları arası ETo değerleri zamansal ve alansal değişimi.

Figure 4. Temporal and spatial changes of ETo values between 1990-2020 in Marmara Region.

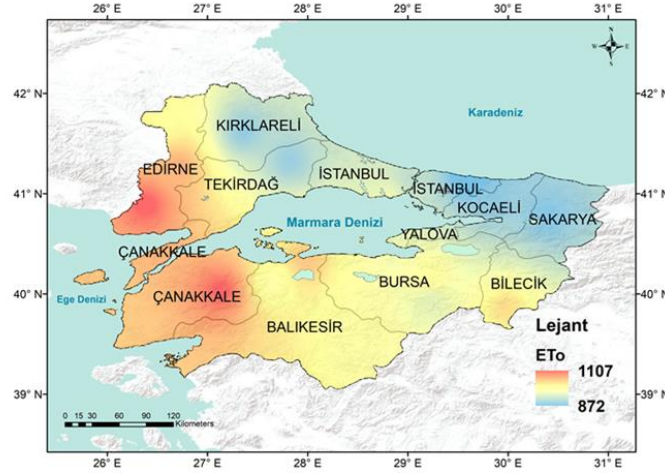
Marmara Bölgesinde Referans Bitki Su Tüketiminin Alansal ve Zamansal Değişimi



Şekil 4. Marmara Bölgesi 1990-2020 yılları ETo değerleri zamansal ve alansal değişimi (devamı).
Figure 4. Temporal and spatial changes of ETo values between 1990-2020 in Marmara Region (continued).

Marmara Bölgesi'nin güney kesimlerinde 1992-1995, 1997 ve 2007 yıllarında ETo değerlerinin diğer yıllara göre yüksek olduğu görülmüştür. 2003-2005 yıllarında Balıkesir'in kuzey kesimlerinde ETo değerlerinin diğer bölgeler ve yıllara göre yüksek olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan İstanbul'un batı kesimlerinde

ETo değerleri 1995 ve 1996 yıllarında diğer bölgelere ve yıllara göre düşük bulunmuştur. Ayrıca Bilecik'te 2006-2010 yılları arasında ardışık olarak yüksek ETo değerlerinin tekrarlandığı belirlenmiştir. Benzer şekilde Edirne'nin kuzey kesimlerinde de 1990-1997, 1999-2002 ve 2015-2020 yılları arasında yüksek ETo değerleri tekrarlanmıştır. Çalışmada, IDW enterpolasyon yöntemi kullanılarak hazırlanan Marmara Bölgesi uzun yıllar (1990-2020) yıllık ortalama ETo haritası Şekil 5'te verilmiştir. Genel olarak, Marmara Bölgesi'nin batı kesimlerinde (Edirne'nin güneyi, Balıkesir'in batısı ve Çanakkale) ETo yüksek değerlere ulaşırken, bölgenin kuzey kesimlerinde Kırklareli ve Tekirdağ'ın doğusu ile bölgenin doğu kesimlerinde İstanbul'un doğusu, Kocaeli ve Sakarya'da ETo değerleri düşmüştür (Şekil 5). Ayrıca Kırklareli, Tekirdağ'ın doğusu, Kocaeli ve Sakarya'da uzun yıllar ortalama ETo değerleri düşük bulunurken (Şekil 5), bu illerde ki meteoroloji istasyonları verilerinden hesaplanan yıllık toplam ETo değerlerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde artış eğilimleri belirlendiği unutulmamalıdır (Çizelge 2).



Şekil 5. Marmara Bölgesi uzun yıllar (1990-2020) yıllık ortalama ETo haritası.
Figure 5. Long term (1990-2020) annual average ETo map of Marmara Region.

Güler (2014), Türkiye'nin kuzeyinde 8 farklı enterpolasyon yöntemi kullanarak aylık ETo alansal değişimini belirlemek için yaptığı çalışmasında, ETo haritalarının oluşturulması için ETo hesaplamasında Hargreaves yönteminin kullanımının daha kolay olduğunu ve LR (dorsal regresyon modeli) kullanımının diğer enterpolasyon yöntemlerine göre daha güvenilir olduğunu belirlemiştir. Yukarıdaki çalışmada Türkiye'nin kuzeyinde yer alan bir bölge için ETo haritalarının üretilmesi yanında çalışmamızdan farklı olarak bazı enterpolasyon yöntemleri karşılaştırılmıştır. Yıldırım vd. (2019), Gediz Havzası'nda FAO Penman Monteith yöntemi kullanılarak uzun yıllar iklim verilerinden Nisan-Eylül ayları için aylık ve yıllık ETo değerlerini hesapladıkları çalışmalarında, jeostatistiksel yaklaşımla ETo haritaları üretmişler, Co-Kriging yöntemi ve Spherical modelin ETo haritalamada güvenilir olarak kullanılabilceğini bildirmişlerdir. Karaca vd. (2017), Antalya ilinde ETo değerlerinin aylık bazda zamansal ve mekânsal değişimlerinin belirlenmesini amaçladıkları çalışmalarında, Spline yöntemini kullanarak Aylık ETo haritaları oluşturmuşlar, tarım yapılan bölgede iklim verilerinin sağlanabileceği bir meteoroloji istasyonu yoksa sulama suyu gereksiniminin belirlenmesinde bu haritaların kullanılabilceğini bildirmişlerdir. Çalışmamızda yukarıdaki çalışmalardan farklı olarak yaygın şekilde kullanılan IDW enterpolasyon yöntemi ile 1990-2020 yılları için Marmara Bölgesi yıllık toplam ETo haritaları oluşturulmuş ve sonuçların su yöneticilerine su kaynaklarının planlanmasında karar vermede yardımcı olacağı düşünülmüştür.

Xu vd. (2017), 1957'den 2014'e kadar Çin'in doğusundaki Yangtze Nehri Deltası'nda bulunan 46 adet meteoroloji istasyonu için Penman-Monteith yöntemini kullanarak ETo hesapladıkları çalışmalarında, ArcGIS yazılımını dağıtım haritaları üretmek için kullanmışlar, yıllık ETo'nun kuzeyde güneye göre daha yüksek değerlerde açık bir mekânsal dağılım gösterdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca araştırmacılar bu sonuçların eğilim analizi sonuçlarıyla birlikte araştırma bölgesinde daha iyi planlama kararları vermede

su kaynakları yöneticilerine ve politika yapıcılara yardımcı olmasını beklediklerini bildirmişlerdir. Zhang vd. (2018), çalışmalarında Penman-Monteith yöntemini kullanarak Hangjiahu bölgesi için ETo hesaplamışlar ve CBS mekânsal analiz fonksiyonu içinde IDW enterpolasyon yöntemi ile haritalar üretmişler, ETo değerlerinin 811.2 mm ile 1039.9 mm arasında değiştiğini ve çalışma alanının doğusundan batısına düştüğünü göstermişlerdir. Ayrıca ova alanının ETo değerlerinin, sıcaklık trendinin mekânsal dağılım eğilimi ile aynı dağılımı gösterdiği dağlık alana göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Yıldırım vd. (2019), Gediz Havzası'nın Nisan-Eylül ayları için yıllık ETo değerlerini hesaplayarak Co-Kriging yöntemiyle ETo haritası hazırlamışlar, havzanın batısındaki Menemen ilçesi çevresi ve havzanın güneyindeki Alaşehir ve Sarıgöl ilçeleri çevresinde yüksek değerlere (en yüksek 1377 mm) ulaşıldığını ve en düşük değerlerin en yüksek bölgede bulunan Gediz ilçesi çevresinde dağılım gösterdiğini belirlemişlerdir. Çalışmamızda uzun yıllar ortalama ETo değerleri 871.6-1106.8 mm arasında değişmiş ve Marmara Bölgesi'nin batısından doğusuna doğru azalacak şekilde bir alansal dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum bölgenin ikliminin karasal Karadeniz ve Akdeniz iklimleri arasında bir geçiş özelliğine sahip olmasına bağlanabilir.

SONUÇ

Çalışmada, Marmara Bölgesi'nde 18 adet meteoroloji istasyonu için 1990-2020 yılları arası iklim verileri kullanılarak tahmin edilen yıllık toplam ETo eğilimleri belirlenmiş ve Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi ile ETo haritaları oluşturularak mekânsal ve zamansal değişimleri değerlendirilmiştir. En düşük yıllık toplam ETo değeri 1993 yılında Florya istasyonu için 742.3 mm olarak hesaplanırken, en yüksek değer 2004 yılında Bandırma istasyonu için 1440.7 mm olarak bulunmuştur.

Edirne ($\alpha=0.001$), Kocaeli ($\alpha=0.001$), Sakarya ($\alpha=0.001$), Bozcaada ($\alpha=0.001$), Çanakkale ($\alpha=0.001$), Kırklareli ($\alpha=0.01$), Uzunköprü ($\alpha=0.01$), Tekirdağ ($\alpha=0.05$), İpsala ($\alpha=0.05$) ve Dursunbey ($\alpha=0.1$) istasyonları için ETo artış eğilimleri istatistiksel olarak önemli bulunurken, Kumköy-Kilyos ve Keles istasyonları için önemli düzeyde ($\alpha=0.05$) azalış eğilimleri belirlenmiştir. Ayrıca Bandırma, Bursa, Şile, Florya ve Gönen istasyonları için gerçekleşen ETo artış eğilimleri ile Bilecik için belirlenen hafif azalış eğilimi istatistiksel olarak önemli olmamıştır.

Genel olarak, IDW enterpolasyon yöntemi kullanılarak hazırlanan Marmara Bölgesi uzun yıllar (1990-2020) yıllık ortalama ETo haritası değerlendirildiğinde, Marmara Bölgesi'nin batı kesimlerinde (Edirne'nin güneyi, Balıkesir'in batısı ve Çanakkale) ETo yüksek değerlere ulaşırken, bölgenin kuzey kesimlerinde Kırklareli ve Tekirdağ'ın doğusu ile bölgenin doğu kesimlerinde İstanbul'un doğusu, Kocaeli ve Sakarya'da ETo değerleri düşmüştür. Sonuç olarak, Marmara Bölgesi'nin batı ve güney kesimleri ile kuzey kesimlerinde Tekirdağ ve İstanbul'un batı yakasında su kaynaklarının korunumu bakımından tarımsal su yönetiminin etkin bir şekilde sürdürülmesi gerektiği söylenebilir. Ayrıca Kırklareli, Tekirdağ'ın doğusu, Kocaeli ve Sakarya'da uzun yıllar ortalama ETo değerleri düşük bulunurken, bu illerde ki meteoroloji istasyonları verilerinden hesaplanan yıllık toplam ETo değerlerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde artış eğilimleri belirlenmiştir. Bu sonucun belirtilen bölgelerde su kaynakları yönetimi için yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

YAZAR KATKISI

Yazarlar Yüksek Lisans tez çalışmasından hazırlanan makaleye birlikte katkı sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

- Adoko, K. F. (2020). *Estimation par télédétection de la variabilité spatio-temporelle de l'évapotranspiration dans le Bassin Moyen du fleuve Ouémé au Bénin*. [Doktora tezi]. Liège Üniversitesi, Liège.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
- Altalib, A. A., Mahmood, M. T., & Al-Ogaidi, A. A. M. (2021). Mapping reference evapotranspiration for Iraq using FAO Penman-Monteith method. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 23(2), 18-29.

- Altındağ, A. (2007). *Gap alanında farklı yöntemlere göre hesaplanan referans bitki su tüketimi değerlerinin gidiş analizi* [Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Anlı, A. S. (2014). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde referans bitki su tüketiminin (ET_o) zamansal değişimi ve r_d (Keşif Kuraklık İndeksi) yöntemiyle meteorolojik kuraklık analizi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 20, 248-260.
- Aksu, H. H., & Hepdeniz, K. (2016). Burdur'da yıllık ve aylık ortalama maksimum hava sıcaklığı dağılımının coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla haritalanması ve analizi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 202-214.
- Anonim. (2002). MAKESENS 1.0, Finnish Meteorological Institute. <https://en.ilmatietaanlaitos.fi/makesens>. [Erişim Tarihi: 29 Haziran 2021].
- Anonim. (2009). ETo Calculator. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/en/> [Erişim Tarihi: 29 Haziran 2021].
- Anonim. (2017). *Türkiye'de Sulanan Bitkilerin Bitki Su Tüketimleri*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Ankara.
- Anonim. (2021a). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Marmara Bölgesi coğrafi özellikleri, <https://mthmm.csb.gov.tr/bolgemiz-i-85694>. [Erişim Tarihi: 27 Haziran 2021].
- Anonim. (2021b). Türkiye iklimi. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yayinlar/turkiye_iklimi.pdf. [Erişim Tarihi: 27 Haziran 2021].
- Bayramoğlu, E. (2013). Trabzon ilinde iklim değişikliğinin mevsimsel bitki su tüketimine etkisi: penman-monteith yöntemi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(2), 300-306.
- Çetin, S. (2018). *Kızılırmak havzasında alansal yağış ile buharlaşma terlemenin izleme ve değerlendirilmesinde uydu görüntülerinin kullanılması*. [Doktora tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Güler, M. (2014). A comparison of different interpolation methods using the geographical information system for the production of reference evapotranspiration maps in Turkey. *Journal of The Meteorological Society of Japan*, 92(3), 227-240. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2014-303>
- Gilbert, R. O. (1987). *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. Van Nostrand Reinhold Co., New York, USA.
- Ha, W., Gowda, P. H., Oommen, T., Marek, T. H., Porter, D. O., & Howell, T. A. (2011). *Spatial interpolation of daily reference evapotranspiration in the Texas high plains*. World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability, 2796-2804. Palm Springs, California, United States.
- Hamad, T. A. H. (2016). *Determining thermal comfort zones for outdoor recreation planning: a case study of Erbil-Iraq*. [Yüksek lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi]. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Hodam, S., Sarkar, S., Marak, A. G. R., Bandyopadhyay, A., & Bhadra, A. (2017). spatial interpolation of reference evapotranspiration in India: comparison of idw and kriging methods. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 98(4), 511-524. <https://doi.org/10.1007/s40030-017-0241-z>
- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. ESRI, Redlands, CA, USA.
- Jerin, J. N., Islam, A. R. M. T., Al Mamun, M. A., Mozahid, M. N., & Ibrahim, S. M. (2021). Climate change effects on potential evapotranspiration in Bangladesh. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 682. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07010-9>
- Karaca, C., Büyüktaş, D., Baştuğ, R., Aydınşakir, K., & Tekelioğlu, B. 2017. Antalya koşullarında kıyas bitki su tüketiminin alansal ve zamansal dağılımının belirlenmesi. *Derim*, 34(2), 158-171. <https://doi.org/10.16882/derim.2017.292134>
- Mubaliwo, A., Onyutha, C., & Abebe, A. (2020). Historical rainfall and evapotranspiration changes over mpologoma catchment in Uganda. *Advances in Meteorology*, 2020, 19. <https://doi.org/10.1155/2020/8870935>
- Moharir, K., Pande, C., Singh, S. K., Choudhari, P., Kishan, R., & Jeyakumar, L. (2019). Spatial interpolation approach-based appraisal of groundwater quality of arid regions. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 68(6), 431-447. <https://doi.org/10.2166/aqua.2019.026>

- Ndiaye, P. M., Bodian, A., Diop, L., Deme, A., Dezetter, A., Djaman, K., & Ogilvie, A. (2020). Trend and sensitivity analysis of reference evapotranspiration in the senegal river basin using Nasa meteorological data. *Water*, 12, 1957. <https://doi.org/10.3390/w12071957>
- Okechukwu, M. E., & Mbajiorgu, C. C. (2020). Spatial distribution of rainfall and reference evapotranspiration in southeast Nigeria. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 22 (1): 1-8.
- Panchasara, H., Samrat, N. H., & Islam, N. (2021). Greenhouse gas emissions trends and mitigation measures in australian agriculture sector—a review. *Agriculture*, 11(2), 85. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020085>
- Raes, D. (2012). *The ETo Calculator, Reference Manual (Version 3.2, September 2012)*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Division.
- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., & Amnell, T. (2002). Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates—The Excel Template Application MAKESENS. Publications on Air Quality No. 31. (Report code FMI-AQ-31, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland).
- Talaei, P. H., Tabari, H., & Abghari, H. (2014). Pan evaporation and reference evapotranspiration trend detection in western Iran with consideration of data persistence. *Hydrology Research*, 45(2), 213–225. <https://doi.org/10.2166/nh.2013.058>
- Taşkın, M. B., Türkmen, F., Akça, M. O., Soba, M. R., & Öztürk, H. S. (2018). Ankara Üniversitesi Ayaş Araştırma ve Uygulama Çiftliği topraklarının verimlilik durumlarının incelenmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(2), 122-133.
- Tegos, A., Malamos, N., & Koutsoyiannis, D. (2015). A parsimonious regional parametric evapotranspiration model based on a simplification of the Penman–Monteith formula. *Journal of Hydrology*, 524, 708–717. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.024>
- Vural, E. (2021). Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerinin cbs kullanarak hava kalitesinin mekânsal değişiminin incelenmesi (2007-2019). *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 124-135. <https://doi.org/10.21324/dacd.718450>
- Yıldırım, Y. E., Taş, İ., & Özaydın, K. A. (2019). referans evapotranspirasyonun mekansal değişiminin belirlenmesinde gediz havzası örneği. *Toprak Su Dergisi, Özel Sayı*, 153-161.
- Ya'acob, N., Azize, A. M., Adnan, N. M., Yusof, A. L., & Sarmin, S. S. (2016, Aralık 16-18). *Haze monitoring based on air pollution index (API) and geographic information system (GIS)* [Sözlü bildiri]. Proceedings of 2016 IEEE Conference on Systems, Process and Control, Malezya.
- Yürekli, K., Ünlükara, A., & Safi, S. (2010). Kayseri İlinde mevsimsel bitki su tüketimindeki (ETo) değişimin saptanması. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(2), 21-25.
- Xu, Y., Xu, Y., Wang, Y., Wu, L., Li, G., & Song, S. (2017). Spatial and temporal trends of reference crop evapotranspiration and its influential variables in Yangtze River Delta, eastern China. *Theoretical and Applied Climatology*, 130, 945-958. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1928-1>
- Zhang, Y. D., Zheng, S. Z., Lu, C., Jia, H. W., & Huang, W. Y. (2018). Spatial distribution of reference crop evapotranspiration in Hangjiahu Area. The 4th International Conference on Water Resource and Environment, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 191, 012078. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/191/1/012078>
- Zuo, D., Xu, Z., Yang, H., & Liu, X. (2012). Spatiotemporal variations and abrupt changes of potential evapotranspiration and its sensitivity to key meteorological variables in the Wei River basin, China. *Hydrological Processes*, 26, 1149–1160.