

**MARMARA BÖLGESİNDE REFERANS BİTKİ SU  
TÜKETİMİNİN ALANSAL VE ZAMANSAL DEĞİŞİMİ**

**Charifa ARABI**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARMARA BÖLGESİNDE REFERANS BİTKİ SU TÜKETİMİNİN  
ALANSAL VE ZAMANSAL DEĞİŞİMİ**

**Charifa ARABI**

0000-0003-4365-463X

Doç. Dr. Burak Nazmi CANDOĞAN

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021  
Her Hakkı Saklıdır

## TEZ ONAYI

Charifa ARABI tarafından hazırlanan “MARMARA BÖLGESİNDE REFERANS BİTKİ SU TÜKETİMİNİN ALANSAL VE ZAMANSAL DEĞİŞİMİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Burak Nazmi CANDOĞAN

- |                 |  |      |
|-----------------|--|------|
| <b>Başkan</b> : | Doç. Dr. Burak Nazmi CANDOĞAN<br>0000-0001-9898-5685<br>Bursa Uludağ Üniversitesi,<br>Ziraat Fakültesi,<br>Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı                         | İmza |
| <b>Üye</b> :    | Prof. Dr. Ş. Tülin AKKAYA ASLAN<br>0000-0001-5129-8642<br>Bursa Uludağ Üniversitesi,<br>Ziraat Fakültesi,<br>Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı                       | İmza |
| <b>Üye</b> :    | Dr. Öğr. Üyesi Murat KARAER<br>0000-0002-1920-181X<br>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,<br>Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi,<br>Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
**Enstitü Müdürü**  
.././2021

**B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**02/08/2021**

**Charifa ARABI**

## TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Doç. Dr. Burak Nazmi CANDOĞAN  
02/08/2021

Charifa ARABI  
02/08/2021

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### MARMARA BÖLGESİNDE REFERANS BİTKİ SU TÜKETİMİNİN ALANSAL VE ZAMANSAL DEĞİŞİMİ

**Charifa ARABI**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Burak Nazmi CANDOĞAN

Son yıllarda küresel ısınma ve iklim değişikliği, hızlı nüfus artışı, sanayileşme ve sürdürülebilir gıda üretiminin sağlanması, su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasını gerekli kılmıştır. En büyük su kullanıcısı ise tarımdır. Referans bitki su tüketimi (ET<sub>o</sub>) tarımsal su yönetiminde, sulama projeleri ve sulama programlarının hazırlanmasında önemli bir role sahiptir. Bu çalışmada, Marmara Bölgesinde bulunan 18 meteoroloji istasyonu için 1990-2020 yılları arası aylık iklim verileri kullanılarak FAO Penman-Monteith yöntemi ile yıllık toplam ET<sub>o</sub> 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 ET<sub>o</sub> eğilimleri belirlenmiş ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) Ter Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi kullanılarak ta ET<sub>o</sub> haritaları hazırlanmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, yıllık toplam ET<sub>o</sub> değerleri 742,3-1440,7 mm arasında değişim göstermiştir. ET<sub>o</sub> eğilim analizlerine göre, Edirne, Kocaeli, Sakarya, Bozcaada, Çanakkale, Kırklareli, Uzunköprü, Tekirdağ, İpsala ve Dursunbey istasyonları için 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 ET<sub>o</sub> artış eğilimleri ile Bilecik için belirlenen azalış eğilimi istatistiksel olarak önemli olmamıştır. Yıllık ortalama ET<sub>o</sub> haritası değerlendirildiğinde, Marmara Bölgesi'nin batı kesimlerinde (Edirne'nin güneyi, Balıkesir'in batısı ve Çanakkale) ET<sub>o</sub> yüksek değerlere ulaşmış, bölgenin kuzey kesimlerinde Kırklareli ve Tekirdağ'ın doğusunda ve bölgenin doğu kesimlerinde İstanbul'un doğusu, Kocaeli ve Sakarya'da ET<sub>o</sub> değerleri düşmüştür. Ayrıca Kırklareli, Tekirdağ'ın doğusu, Kocaeli ve Sakarya'da uzun yıllar ortalama ET<sub>o</sub> değerleri düşük bulunurken, bu illerde ki meteoroloji istasyonları verilerinden hesaplanan yıllık toplam ET<sub>o</sub> değerlerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde artış eğilimleri belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Referans bitki su tüketimi, FAO Penman-Monteith yöntemi, eğilim analizi, coğrafi bilgi sistemi, enterpolasyon, Marmara Bölgesi  
**2021, vii+41 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### SPATIAL AND TEMPORAL CHANGE OF REFERENCE CROP EVAPOTRANSPIRATION IN MARMARA REGION

**Charifa ARABI**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Biosystems Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Burak Nazmi CANDOĞAN

In recent years, global warming and climate change, rapid population growth, industrialization and ensuring sustainable food production have made it necessary to use water resources effectively. The biggest water user is agriculture. Reference crop evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) has an important role in agricultural water management, irrigation projects and preparation of irrigation schedules. In this study, the annual total ET<sub>o</sub> 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 ET<sub>o</sub> trends were determined for each station using the non-parametric Mann-Kendall test and Sen method, and ET<sub>o</sub> maps were prepared using the Geographical Information System (GIS) Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation method. According to the results of this study, the annual total ET<sub>o</sub> values varied between 742.3-1440,7 mm. According to the ET<sub>o</sub> trend analysis, statistically significant increasing trends were determined for Edirne, Kocaeli, Sakarya, Bozcaada, Çanakkale, Kırklareli, Uzunköprü, Tekirdağ, İpsala and Dursunbey stations, while the trends were significantly decreasing for Kumköy-Kilyos and Keles stations. However, the increasing trends in ET<sub>o</sub> for Bandırma, Bursa, Şile, Florya and Gönen stations and the decreasing trend determined for Bilecik were not statistically significant. When the annual average ET<sub>o</sub> map is evaluated, it is seen that ET<sub>o</sub> has reached high values in the western parts of the Marmara Region (south of Edirne, west of Balıkesir and Çanakkale), while in the northern parts of the region, east of Kırklareli and Tekirdağ, and in the eastern parts of the region, east of Istanbul, Kocaeli and Sakarya, ET<sub>o</sub> values decreased. In addition, while the annual average ET<sub>o</sub> values were found to be low in Kırklareli, the east of Tekirdağ, Kocaeli and Sakarya, statistically significant increasing trends were determined in the annual total ET<sub>o</sub> values calculated from the data of meteorology stations in these provinces.

**Key words:** Reference crop evapotranspiration, FAO Penman-Monteith method, trend analysis, geographical information system, interpolation, Marmara Region  
**2021, vii+41 pages.**

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının planlanmasında, yürütülmesinde ve son aşamaya gelinmesine kadar mücadele ettiren kıymetli sayın Doç. Dr. Burak Nazmi CANDOĞAN'a teŐekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme, çocukluĐumdan beri bana verdiĐiniz tüm destek, sevgi, teŐvik ve tavsiyeler için sonsuz teşekkür ederim.

Jüri üyelerine değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışmada bana yardım eden uzaktan veya yakından herkese teşekkür ederim.

**Charifa ARABI**  
**02/08/2021**



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	i
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
2.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri IDW Entropolasyon Yöntemi .....	3
2.2. Referans Bitki Su Tüketiminin Zamansal ve Alansal Değişimi Üzerine Yapılan Çalışmalar .....	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	9
3.1. Materyal .....	9
3.1.1. Çalışma bölgesi ve iklim özellikleri.....	9
3.1.2. Çalışmada kullanılan meteorolojik veriler .....	10
3.1.3. Çalışmada kullanılan bilgisayar programları .....	11
3.2. Yöntem.....	12
3.2.1. Referans bitki su tüketiminin hesaplanması.....	12
3.2.2. ETo değerlerinin eğilim analizi.....	13
3.2.3. Ters mesafe ağırlıklı (IDW) entropolasyon yöntemi .....	14
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	16
4.1. Referans Bitki Su Tüketimi Bulguları.....	16
4.2. Referans Bitki Su Tüketimi Eğilim Testi Bulguları.....	21
4.3. Referans Bitki Su Tüketiminin Alansal ve Zamansal Dağılımı.....	25
5. SONUÇ .....	36
KAYNAKLAR .....	37
ÖZGEÇMİŞ .....	41

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

Simgeler	Açıklama
mm	Milimetre
G	Toprak ısı akış yoğunluğu
T	2 m yükseklikte ortalama günlük hava sıcaklığı
R <sub>n</sub>	Bitki yüzeyindeki net radyasyon
u <sub>2</sub>	2 metre yükseklikte rüzgar hızı
ET <sub>o</sub>	Referans bitki su tüketimi
e <sub>s</sub>	Doygun buhar basıncı
e <sub>a</sub>	Gerçek buhar basıncı
e <sub>s</sub> - e <sub>a</sub>	Doygun buhar basıncı açığı
Δ	Buhar basıncı eğrisinin eğimi
$\hat{Z}(s_0)$	Konumu için tahmin etmeye çalıştığımız değer.
N	Tahminde kullanılacak tahmin konumunu çevreleyen ölçülen örnek noktalarının sayısı
λ <sub>i</sub>	Kullanacağımız ölçülen her noktaya atanan ağırlıklar
Z(s <sub>i</sub> )	s <sub>i</sub> Konumunda gözlemlenen değer

### Kısaltmalar

Kısaltmalar	Açıklama
API	Hava kirletici indeksi
CBS	Coğrafi bilgi sistemi
EC	Elektriksel iletkenlik
ET <sub>o</sub>	Referans bitki su tüketimi
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
İDW	Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemi
PET	Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklığın
PI	Geçirgenlik indeksi
RSC	Kalıntı sodyum karbonat
SAR	Sodyum adsorpsiyon oranı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.1. Regresyon analizi sonuçları .....	16
Şekil 4.2. ETo eğilimleri .....	21
Şekil 4.3. Marmara Bölgesi 1990-2020 yılları arası ETo değerleri zamansal ve alansal değişimi .....	26
Şekil 4.4. Marmara Bölgesi uzun yıllar (1990-2020) yıllık ortalama ETo haritası .....	34

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Çalışmada ele alınan meteoroloji istasyonları bazı özellikleri .....	10
Çizelge 4.1. Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, Kumköy Kilyos, İpsala, Kocaeli istasyonları için 1990-2020 yılları arası ETo değerleri .....	18
Çizelge 4.2. Bilecik, Bursa, Uzunköprü, Bozcaada, Çanakkale, Florya istasyonları için 1990-2020 yılları arası ETo değerleri .....	19
Çizelge 4.3. Şile, Keles, Bandırma, Dursunbey, Gönen, Sakarya istasyonları için 1990-2020 yılları arası ETo değerleri.....	20
Çizelge 4.4. 1990-2020 yılları arası yıllık toplam ETo değerleri eğilim testi sonuçları ..	23

## 1. GİRİŞ

Küresel olarak tarım, tatlı su tüketiminin yaklaşık %70'inden sorumludur (Bigeard, 2014). 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<sub>o</sub>), 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 ve ark., 2018).

Bu çalışmada, ET<sub>o</sub> değerlerinin tahmin edilmesinde Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından geliştirilen ve önerilen FAO Penman-Monteith eşitliği kullanılmıştır (Allen ve ark., 1998). ET<sub>o</sub> değerlerinin bölgesel tahminleri için ise bölgeye/iklime özgü parametrik basitleştirilmiş modeller kullanılmakta (Tegos ve ark., 2015) veya diğer ölçülmemiş konumlardaki tahminler, bu nokta ET<sub>o</sub> değerlerinin enterpolasyonu ile elde edilmektedir. Mekansal ET<sub>o</sub> haritaları, nokta ET<sub>o</sub> değerlerinin uzamsal enterpolasyon kullanılarak alansal/bölgesel ET<sub>o</sub> tahminlerine genişletilmesiyle üretilebilmektedir (Hodam ve ark., 2017).

Diğer taraftan, ET<sub>o</sub> eğilimlerini anlamak herhangi bir bölgede suyun sistematik yönetimi için kritik öneme sahiptir (Jerin ve ark., 2021). ET<sub>o</sub> değişimleri, iklim faktörleri, hava kirliliği, bitki türleri ve kentleşme gibi çok sayıda faktörün entegre sonuçlarıdır (Xu ve ark., 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 ve ark., 2012).

Dünya’da ve ülkemizde ETo değerlerinin mekânsal ve zamansal değişimi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Altındağ, 2007; Yürekli ve ark., 2010; Bayramoğlu, 2013; Anlı, 2014; Güler, 2014; Talae ve ark., 2014; Karaca ve ark., 2017; Xu ve ark., 2017; Çetin, 2018; Zhang ve ark., 2018; Mubialiwo ve ark., 2020; Ndiaye ve ark., 2020; Altalip ve ark., 2021; Jerin ve ark., 2021). Fakat ülkemizde bölgesel bazda Marmara Bölgesi’nde ETo’nin mekânsal 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 ETo eğilimlerini belirlemek ve farklı amaçlar için yaygın olarak kullanılan Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi ile ETo haritaları oluşturarak mekânsal ve zamansal değişimleri değerlendirmektir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri IDW Enterpolasyon Yöntemi

Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) bilgisayarlı haritalama ve mekânsal analiz için kullanılan güçlü bir araçtır. CBS coğrafi bilgileri yakalamak, depolamak, sorgulamak, analiz etmek, görüntülemek ve çıkarmak için işlevler sağlar (Anonim, 2012). CBS içinde yapılabilecek analizlerin en önemlisi mekânsal analizlerdir. Mekânsal analizin en önemli özelliği, CBS'deki mevcut verileri kullanarak yeni verilerin oluşturulmasıdır.

Coğrafi bilgi sistemlerindeki girdi verilerinin kaynağını haritalar, hava fotoğrafları, uydu verileri, manyetik ölçümler, küresel konum bulma sistemlerine ait veriler, arazi ölçümleri ve diğer sayısal veriler oluşturmaktadır. CBS'de değerlendirme, ölçülen veya elde edilen tüm verilerin belirli bir standartta toplanması ve sınıflandırılmasıdır. Buda verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ile mümkün olmaktadır. Yalnız coğrafi değişkenler dünyadaki her noktada ölçülemez. Bu nedenle bu verileri değerlendirirken enterpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Doğan ve ark., 2013).

Bu çalışmada Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (IDW) uygulanmıştır. IDW örneklem nokta verilerinden enterpolasyonla konumu bilinmeyen noktalarda veri üretmede genellikle kullanılan bir yöntemdir. IDW enterpolasyon yöntemi enterpole edilecek yüzeyde uzaktaki noktaların yakındaki noktalarda daha az ağırlığa sahip olması temeline dayandırılmıştır. Bu yöntem enterpole edilecek noktadan uzaklaştıkça ağırlığı azaltan ve konumu bilinen noktaların ağırlıklı ortalamasına göre bir yüzey enterpolasyonu yapar (Tural, 2011; İlker ve ark., 2019).

Aşağıda farklı alanlarda CBS IDW enterpolasyon yöntemi kullanılarak yapılan bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Aksu ve Hepdeniz (2016), Burdur ilinde uzun yıllar yıllık ve aylık ortalama maksimum sıcaklık dağılışımının haritalanması ve analizini amaçladıkları çalışmalarında, yakın çevredeki 10 meteoroloji istasyonundan sağlanan maksimum sıcaklık verilerini

kullanılmışlardır. Araştırmacılar, verilerden ortalama değerleri hesaplamış ve CBS yardımıyla dağılım haritaları oluşturmuşlardır. Sonuç olarak, çalışma alanının yüksek ve düşük ortalama maksimum sıcaklığa sahip bölümlerini açıkça haritalarda göstermişlerdir. Bununla birlikte, Ağlasun ve Yeşilova çevrelerini en düşük, Bucak ve Gölhisar çevrelerini ise en yüksek ortalama sıcaklık değerlerine sahip olan alanlar olarak belirlemişlerdir.

Hamad (2016) yaptığı çalışmada Erbil’de dış ortam rekreasyon planlaması için termal konfor bölgelerini ortaya koymuştur. Bu amaçla, Erbil ili için bir termal konfor ölçüsü olan Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklığın (PET) mekansal dağılımını elde etmiştir. PET değerlerinin uzamsal dağılım haritalarının oluşturulabilmesi için, bireysel meteoroloji istasyonu PET değerlerinden oluşan nokta verilerini sürekli bir yüzeye dönüştürmek amacıyla ArcGIS 10.2’de IDW aracını kullanarak enterpolasyon yapmıştır. Bu haritaları analiz ederek rekreasyon aktiviteleri için en konforlu aylar ve alanları belirlemiştir.

Ya’acob ve ark. (2016), hava kirliliğinin olduğu alanları ve kirlilik seviyesini görsel olarak analiz etmek ve belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada, Malezya’nın Selangor kentindeki beş büyük şehri kapsayan alanda Malezya Çevre Bakanlığı’ndan sağlanan verilerle belirlenen hava kirletici indeksi (API) değerlerine CBS IDW enterpolasyon yöntemi uygulanmış ve pus izleme görselleştirilmiştir.

Taşkın ve ark. (2018), Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi’ne bağlı Ayaş Araştırma ve Uygulama Çiftliği topraklarının verimlilik durumunu ortaya koymak amacıyla yaptıkları çalışmalarında, 44 farklı noktadan toprak örneği alarak toprakların kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirlenmişlerdir. Araştırmacılar, IDW yöntemini kullanarak toprak örneklerinin dağıtım haritalarını oluşturmuşlardır.

Moharir ve ark. (2019), sulama amacıyla muson öncesi ve sonrası mevsimlerde yeraltı suyu kalitesinin değerlendirilmesi üzerine yaptıkları çalışmada, kuyulardan toplam 45 adet numune alarak laboratuvarında analizler yapmışlardır. Bu numunelerden muson öncesi ve sonrası elektriksel iletkenlik (EC), sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), kalıntı sodyum karbonat (RSC), sodyum yüzdesi (%Na) ve geçirgenlik indeksi (PI) olmak



üzere farklı su kalitesi parametrelerini belirlemişlerdir. Toplam havza alanından alınan su örneklerinin yüzde ellisi tuzlu su kategorisine girmiştir. Sonuç olarak, araştırmacılar çalışma alanının yüksek tuzluluk içeriğine (C<sub>3</sub>) ve düşük sodyuma (S<sub>1</sub>) sahip olduğunu vurgulamışlardır. ArcGIS 10.3 yazılımında ters mesafe ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemini kullanılarak farklı su kalitesi parametreleri için haritalar oluşturmuşlardır.

Vural (2021) CBS aracılığıyla IDW enterpolasyon yöntemini kullanarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 2007-2019 yılları arasında hava kirliliğinin mekânsal değişimini belirlemek ve çözüm önerisi sunabilmek amacıyla yaptığı çalışmada, kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) konsantrasyonunun en yüksek ölçüldüğü illeri yıllar içerisinde sırasıyla Şanlıurfa ve Siirt (2007), Şırnak (2012), Şanlıurfa ve Siirt (2017) ve yine Şanlıurfa (2019) olarak belirlemiştir. Yıllık ortalama partikül madde konsantrasyonlarının (PM<sub>10</sub>) yüksek olduğu illeri ise 2007 yılında Batman, 2012 yılında Batman, Gaziantep ve Siirt, 2017 yılında Şanlıurfa ve 2019 yılında Şırnak olarak bulmuşlardır.

## **2.2. Referans Bitki Su Tüketiminin Zamansal ve Alansal Değişimi Üzerine Yapılan Çalışmalar**

Bu bölümde, referans bitki su tüketiminin zamansal ve/veya alansal değişimi üzerine yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Yürekli ve ark. (2010), Kayseri koşullarında farklı referans dönemler için referans bitki su tüketimindeki (ET<sub>o</sub>) değişimin belirlenmesi amacıyla FAO 56 Penman-monteith yöntemini kullanarak 1975-2009 yılları arası aylık ET<sub>o</sub> değerlerini hesaplamışlardır. Referans periyotlar için Birim kök testine göre mevsimsel ET<sub>o</sub> değerinde herhangi bir eğilimin olmadığını belirlemişlerdir. Uyguladıkları Kruskal-Wallis ve Levene testleri sonucunda ise medyan ve varyans bakımından alt seriler arasında fark olmadığını bulmuşlardır.

Bayramoğlu (2013), Penman-Monteith yöntemini kullanarak Trabzon'da aylık ve yıllık referans bitki su tüketimindeki değişimleri ortaya koymak amacıyla bir araştırma yapmıştır. Bu amaçla ET<sub>o</sub> değerlerini 2009-2012 iklim verilerine göre hesaplamıştır.

Sonuç olarak, Trabzon'da 2009-2012 yılları arasında referans su tüketiminde sıcaklık artışı ve değişen iklim verileriyle birlikte yıllar arasında artış meydana geldiğini belirlemiştir.

Anlı (2014) tarafından Güneydoğu Anadolu bölgesi için yapılan çalışmada, keşif kuraklık indeksi (RDI) kullanılarak kuraklık değerlendirilmesi yapılmış, ayrıca Penman-Monteith yöntemiyle hesaplanmış ETo değerlerinin zaman içerisinde değişimi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, ETo değerlerinde önemli artış eğilimleri olduğu belirlenmiştir.

Karaca ve ark. (2017), Antalya ilinde ETo değerlerinin aylık bazda zamansal ve mekânsal değişimlerinin belirlenmesini amaçladıkları çalışmalarında 5 tane referans noktası almışlar, 20 adet metroloji istasyonunda ölçülen iklim verilerinden faydalanmışlardır. Uzun yıllar iklim verilerinden CropWat programını kullanarak ETo değerlerini hesaplamışlar, zamansal ve mekânsal olarak değişimini belirten haritaları oluştururken ArcGis yazılımını ve Splane yöntemini kullanmışlardır.

Xu ve ark. (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 kullanırlarken ETo mekansal dağılımları ve zamansal eğilimlerini, modifiye Mann-Kendall eğilim testi ve lineer regresyon yöntemine dayalı olarak analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, yıllık ETo'nun kuzeyde güneye göre daha yüksek değerlerde açık bir mekansal dağılım gösterdiğini belirlemişler, sonuçların araştırma bölgesinde daha iyi planlama kararları vermede su kaynakları yöneticilerine ve politika yapıcılara yardımcı olmasını beklediklerini bildirmişlerdir.

Yürekli ve ark. (2017) çalışmalarında, Holt yaklaşımını kullanarak Orta Anadolu Bölgesi'nde bulunan Konya, Kayseri, Karaman ve Afyon illerinde referans evapotranspirasyonun mevsimsel değişimini tespit etmişlerdir. Bu çalışmada, aylık ETo değerlerini, FAO Penman-Monteith ilişkisini kullanarak hesaplamışlar, eğilimleri ise Holt testi ve birim kök testi kullanarak analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, kullanılan

yöntemlere göre, istasyonlar için neredeyse tüm sezonlarda eğilim olduğunu belirlemişlerdir.

Zhang ve ark. (2018), çalışmalarında Penman-Monteith yöntemini kullanarak Hangjiahu bölgesindeki 6 meteoroloji istasyonundan yaklaşık 50 yıllık meteorolojik verilere dayanarak ETo hesaplamışlar ve CBS mekânsal analiz fonksiyonu içinde IDW enterpolasyon yöntemi ile haritalar üretmişlerdir. Sonuç olarak, ETo ortalama değerlerinin 811,2 mm ile 1039,9 mm arasında değiştiğini ve çalışma alanının doğusundan batısına düştüğünü göstermişlerdir. Ayrıca ova alanının ETo değerlerinin, sıcaklık trendinin mekansal dağılım eğilimi ile aynı dağılımı gösterdiği dağlık alana göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Yıldırım ve ark. (2019), Gediz Havzası'nda uzun yıllar iklim verileri ile FAO Penman Monteith yöntemi kullanılarak Nisan-Eylül ayları için aylık ve yıllık ETo değerlerini hesapladıkları çalışmalarında, CBS ile iki farklı yöntem kullanarak ETo haritaları üretmişlerdir. Sonuç olarak Co-Kriging yöntemi ve Spherical modelin ETo haritalamada güvenilir olduğunu bildirmişlerdir.

Ndiaye ve ark. (2020) tarafından Senegal Nehir Havzası için ETo eğilimini ve iklim değişkenlerine duyarlılığını analiz etmek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Sonuçlar, 1984–2017 döneminde havza alanının %32'si için yıllık ETo'da önemli bir artış olduğunu göstermiştir. Yıllık maksimum, minimum sıcaklıklar ve bağıl nem, havzanın sırasıyla %68, %81 ve %37'si için önemli ölçüde artmıştır. Bununla birlikte, havzanın Sahelian kesiminde rüzgar hızında önemli bir düşüş kaydedilmiştir. Rüzgar hızının azalması ve bağıl nem artışı, ETo'ın düşmesine neden olmuş ve Senegal Nehri havzasının Sahelian kısmında bir “buharlaşıma paradoksunu” işaret etmiştir. Duyarlılık analizi, Senegal Nehri havzasında ETo'ın bağıl neme, maksimum sıcaklığa ve güneş radyasyonuna daha duyarlı olduğunu ortaya koymuştur.

Altalib ve ark. (2021), çalışmalarında FAO Penman-Monteith yöntemi kullanarak aylık referans evapotranspirasyonu tahmin etmek için 31 yıl boyunca 23 istasyonundan elde edilen verileri kullanılmışlar ve Irak ETo haritası yapmak için enterpolasyonu iki yolla

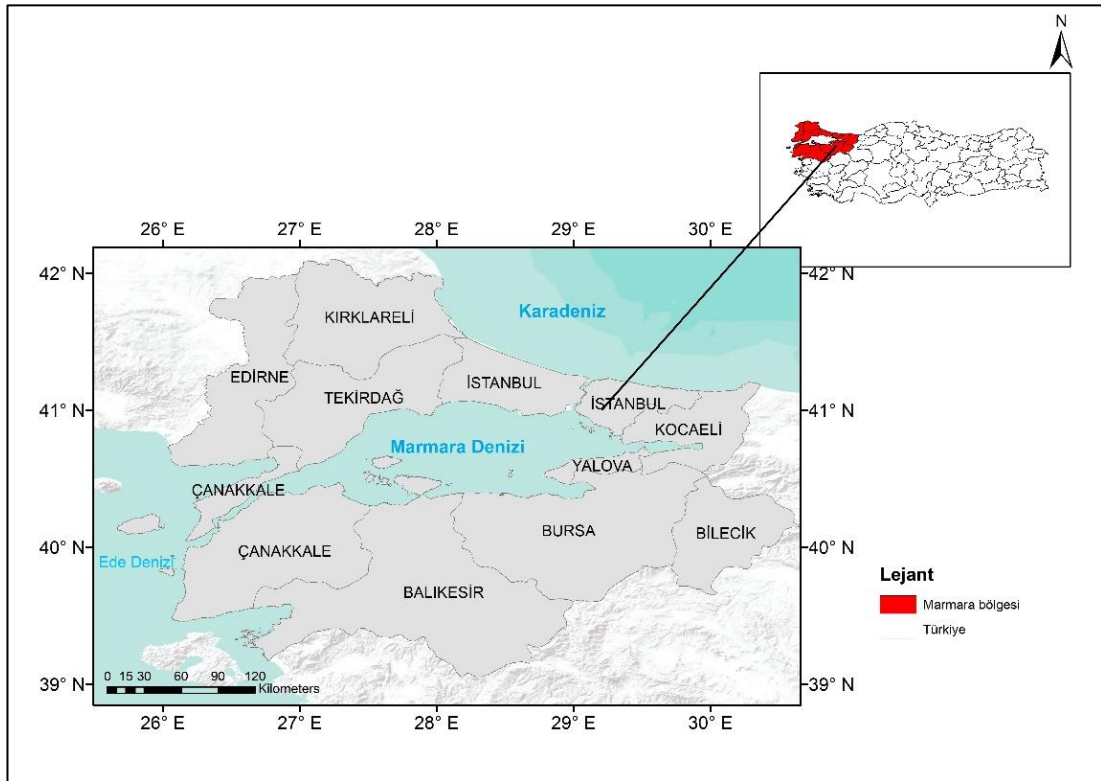
gerçekleştirmişlerdir. İlk yolda, FAO Penman-Monteith prosedürüne dahil edilen faktörlerin interpolasyonu ve ardından elde edilen verilerden ETo'ın hesaplanmasını kullanmışlar, ikinci yolda ise önerilen 23 mevcut istasyonun ETo değerlerinin enterpolasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, ikinci yoldan elde edilen ETo değerlerinin birinci yoldan elde edilen değerlerden biraz daha yüksek olduğunu bulmuşla, ikinci yolun tasarım amaçları için daha güvenilir olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca maksimum ETo'ın Temmuz'da, minimumun ise Ocak'ta gerçekleştiği sonucuna varmışlardır. Sonuçlar, FAO-Penman-Monteith prosedürüne göre Irak'ta ETo'ı en çok etkileyen klimatolojik faktörün hava sıcaklığı olduğunu göstermiştir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1 Çalışma bölgesi ve iklim 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 yakınına 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 3.1).



Şekil 3.1. Marmara Bölgesi'nin konumu

Dünya ölçüsünde yapılan iklim tasniflerinde 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'dür (Anonim 2021b).

### 3.1.2. 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 3.1 ve Şekil 3.2'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.

**Çizelge 3.1** Çalışmada ele alınan meteoroloji istasyonları bazı özellikleri

Sıra no	İstasyon no	İstasyon adı	Enlem (Kuzey) (Ondalıklı derece)	Boylam (Doğu) (Ondalıklı 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

**Çizelge 3.1.** Çalışmada ele alınan meteoroloji istasyonları bazı özellikleri (devamı)

Sıra no	İstasyon no	İstasyon adı	Enlem (Kuzey) (Ondalıklı derece)	Boylam (Doğu) (Ondalıklı derece)	Rakım (m)
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



**Şekil 3.2.** Çalışmada ele alınan meteoroloji istasyonları konumları

### 3.1.3. Çalışmada kullanılan bilgisayar programları

Meteoroloji istasyonları aylık verilerinden Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından geliştirilmiş olan ETo Calculator (Anonim, 2009) kullanılarak FAO

Penman-Monteith yöntemine göre ay bazında günlük referans bitki su tüketimi değerleri hesaplanmıştır.

Çalışmada, meteoroloji istasyonu verilerinden hesaplanan yıllık toplam ETo değerlerine uygulanan eğilim analizlerinde MAKESENS 1.0 Excel programı (Anonim, 2002) kullanılmıştır.

Çalışmada ele alınan meteoroloji istasyonları ile hesaplanan yıllık ETo değerleri ArcGIS 10.3 CBS programı yardımıyla ilişkilendirilerek Marmara Bölgesi için ETo haritaları üretilmiştir.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. 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 3.1'de verilmiştir (Allen ve ark. 1998).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34u_2)} \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

- ET<sub>o</sub> : Referans evapotranspirasyon (mm gün<sup>-1</sup>),
- R<sub>n</sub> : Bitki yüzeyindeki net radyasyon (MJ m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup>),
- G : Toprak ısı akış yoğunluğu (MJ m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup>),
- T : 2 m yükseklikte ortalama günlük hava sıcaklığı (°C),
- u<sub>2</sub> : 2 metre yükseklikte rüzgar hızı (m s<sup>-1</sup>),
- e<sub>s</sub> : Doygun buhar basıncı (kPa),
- e<sub>a</sub> : Gerçek buhar basıncı (kPa),
- e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub> : Doygun buhar basıncı açığı (kPa),
- Δ : Buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa °C<sup>-1</sup>),



$\gamma$  : Psikrometrik sabiti (kPa °C<sup>-1</sup>) göstermektedir.

Eşitlik 3.1'de, 0,408 değeri, MJ m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup> olarak ifade edilen net radyasyon R<sub>n</sub>'yi mm gün<sup>-1</sup> olarak ifade edilen eşdeğer buharlaşmaya dönüştürür. Toprak ısı akışı R<sub>n</sub>'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 FAO Sulama ve Drenaj No 56'da rapor edilen varsayımlara karşılık gelmektedir. Allen ve ark. (1989), 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, D., 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.

### **3.2.2. ETo değerlerinin eğilim analizi**

Çalışmada, 18 istasyon için 1990-2020 yılları arası yıllık toplam ETo değerlerine eğilim (trend) analizi yapılmıştır. Eğilim analizinde, yıllık ETo değerlerinin artış yada azalış eğilimleri parametrik olmayan Mann-Kendall testine ve eğilimin büyüklüğü parametrik olmayan Sen yöntemine göre belirlenmiştir (Gilbert, 1987; Salmi ve ark., 2002). Mann-Kendall testi sonuçlarında bulunan önem seviyeleri ( $\alpha$ ) sırasıyla 0,001, 0,01, 0,05 ve 0,1

olarak sıralanmaktadır. Bu amaçla, her bir ay için hesaplanan günlük ETo değerlerinden önce aylık sonra yıllık değerler hesaplanmıştır.

### 3.2.3. 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 ve ark., 2001). Genel IDW enterpolasyon denklemi Eşitlik 3.2’de verilmiştir.

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

$\hat{Z}(s_0)$ :  $s_0$  konumu için tahmin etmeye çalıştığımız değerdir.

N: Tahminde kullanılacak tahmin konumunu çevreleyen ölçülen örnek noktalarının sayısıdır.

$\lambda_i$ : Kullanacağımız ölçülen her noktaya atanan ağırlıklardır. Bu ağırlıklar mesafe ile azalacaktır.

$Z(s_i)$ :  $s_i$  konumunda gözlemlenen değerdir.

Ağırlıkları belirlemek için denklemler Eşitlik 3.3 ve 3.4’te verilmiştir.

$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p} \quad (3.3)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (3.4)$$

Mesafe büyüdükçe, ağırlık bir  $p$  faktörüyle azalır.

$d_{i0}$ : Tahmin konumu  $s_0$  ile ölçülen konumların her biri olan  $s_i$  arasındaki mesafedir.

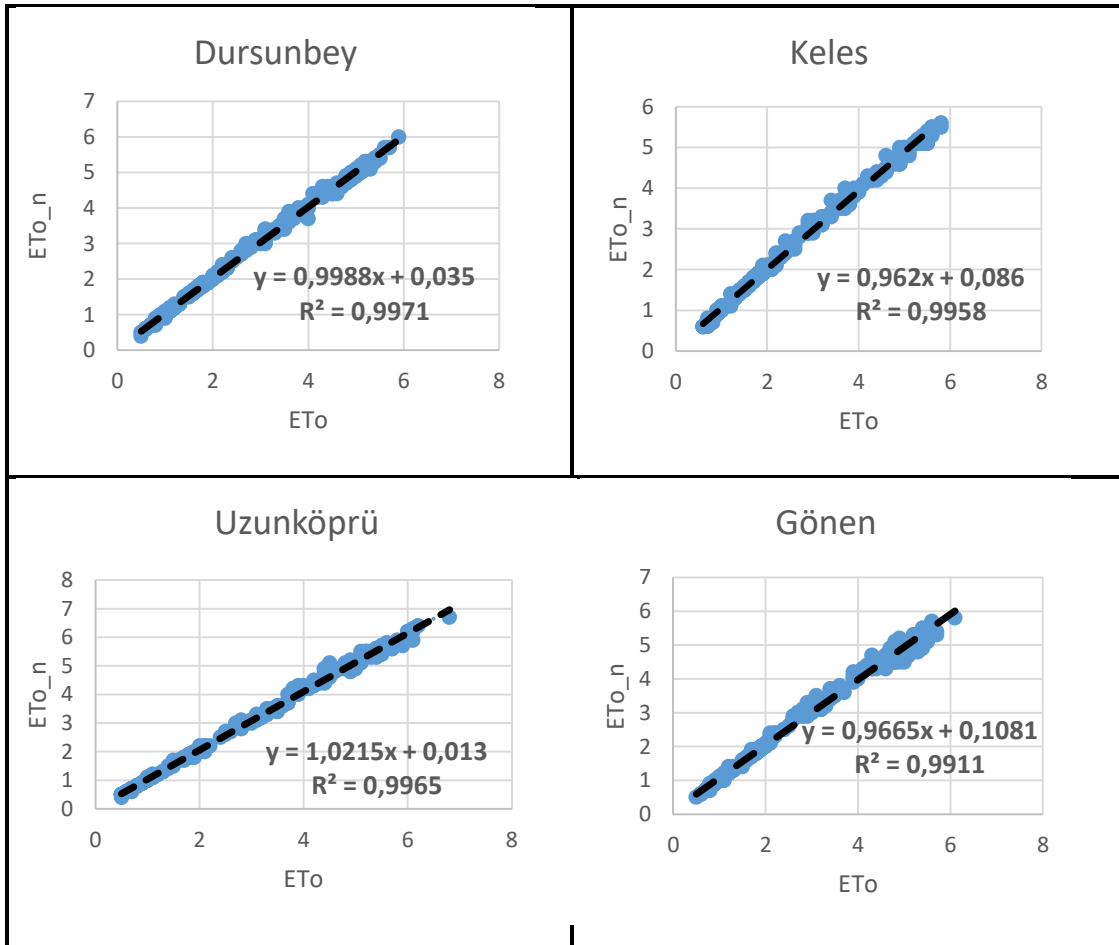
Üs parametresi  $p$ , ölçülen konumun değerinin tahmin konumunun değeri üzerindeki ağırlığını etkiler; yani, ölçülen örnek konumlar ile tahmin konumu arasındaki mesafe arttıkça, ölçülen noktanın tahmin üzerindeki ağırlığı (veya etkisi) üstel olarak azalacaktır. Tahminde kullanılacak ölçülen konumların ağırlıkları, toplamaları 1'e eşit olacak şekilde ölçülendirilir.

Bu çalışmada, Marmara Bölgesi için yıllık toplam ETo değerlerinin alansal ve zamansal değişimi IDW enterpolasyon yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. IDW yöntemi, sağlam yapısı nedeniyle çoğu araştırmacı tarafından farklı amaçlarla yaygın olarak kullanılmıştır (Aksu ve Hepdeniz, 2016; Hamad, 2016; Ya'acub ve ark., 2016; Taşkın ve ark., 2018; Moharir ve ark., 2019; Vural, 2021).

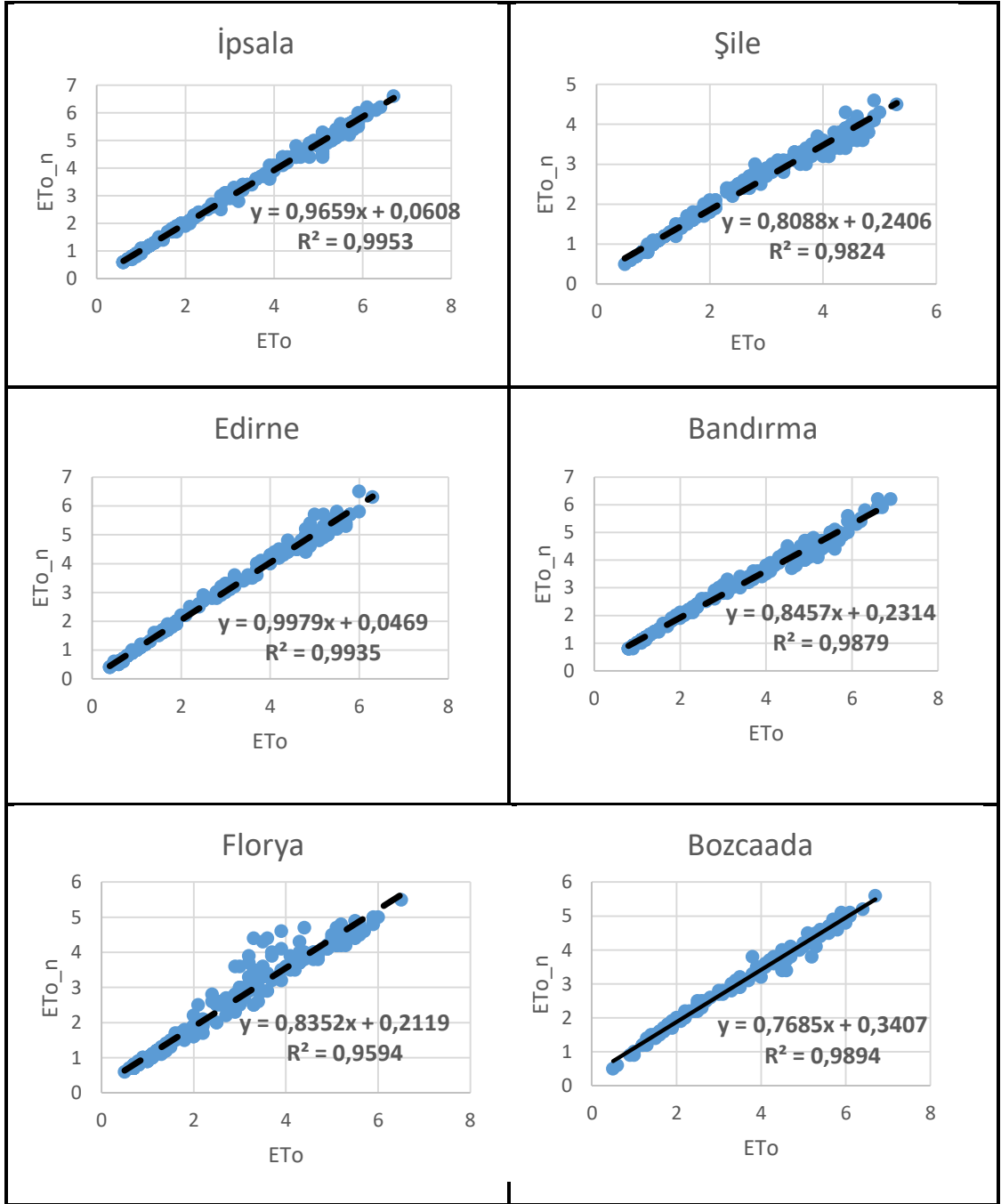
## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1. 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 4.1’de 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 hesaplanmış ve Çizelge 4.1-4.3’te verilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde, en düşük yıllık ETo değeri 1993 yılında Florya istasyonu için 742,3 mm (Çizelge 4.2) olarak hesaplanırken, en yüksek değer 2004 yılında Bandırma istasyonu için 1440,7 mm (Çizelge 4.3) olarak bulunmuştur.



Şekil 4.1. Regresyon analizi sonuçları



Şekil 4.1. Regresyon analizi sonuçları (devamı)

**Çizelge 4.1.** Edirne, Kırklareli, Tekirdağ, Kumköy-Kilyos, İpsala, Kocaeli istasyonları için 1990-2020 yılları arası ETo değerleri

Yıl/İstasyon	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Kumköy-Kilyos	İpsala	Kocaeli
1990	982,6	894,4	912,7	997,5	1111,4	881,6
1991	888,2	818,0	845,5	882,5	1012,9	790,3
1992	929,1	840,3	889,2	958,8	1060,5	840,4
1993	930,8	854,9	869,4	912,0	1040,3	833,0
1994	985,9	930,7	921,9	1016,7	1089,7	903,5
1995	961,3	875,8	900,8	1031,2	1119,8	893,9
1996	975,0	871,1	867,9	929,0	1109,5	843,3
1997	939,8	824,5	839,0	887,2	991,5	790,4
1998	961,3	829,9	887,4	896,3	982,8	853,9
1999	973,8	845,5	894,2	985,0	1096,2	881,5
2000	1051,6	904,7	907,9	1045,0	1133,8	883,0
2001	1062,4	937,3	958,7	1082,7	1187,4	918,1
2002	970,5	857,8	925,1	970,2	1091,9	854,2
2003	1035,1	910,1	931,5	950,3	1126,9	870,9
2004	971,6	849,4	880,0	920,2	1031,5	904,2
2005	949,6	861,2	894,6	882,0	1062,3	918,2
2006	971,5	959,6	852,3	907,4	1036,1	937,4
2007	995,4	1023,0	794,3	927,6	1111,3	982,5
2008	1002,9	1005,9	960,1	977,8	1088,6	971,9
2009	1005,1	964,9	840,1	940,6	1047,3	958,8
2010	995,8	943,6	952,7	909,8	1066,1	949,0
2011	1016,8	940,7	936,7	820,8	1047,1	897,5
2012	1124,9	1005,3	944,5	913,5	1146,2	998,7
2013	1069,3	885,7	981,1	921,9	1081,1	988,6
2014	964,5	885,6	848,8	878,9	995,1	906,5
2015	1077,2	967,6	949,6	894,4	1166,5	900,6
2016	1072,5	940,5	983,3	982,7	1225,2	952,2
2017	1132,8	943,0	921,9	872,1	1197,3	903,7
2018	1089,8	884,5	949,3	904,2	1224,9	918,3
2019	1089,6	799,0	1025,4	857,5	1306,1	915,9
2020	986,9	999,0	894,7	934,3	1323,1	977,5

**Çizelge 4.2.** Bilecik, Bursa, Uzunköprü, Bozcaada, Çanakkale, Florya istasyonları için 1990-2020 yılları arası ETo değerleri

<b>Yıl/İstasyon</b>	<b>Bilecik</b>	<b>Bursa</b>	<b>Uzunköprü</b>	<b>Bozcaada</b>	<b>Çanakkale</b>	<b>Florya</b>
1990	1043,8	1071	1074,4	999,8	1098,5	980,3
1991	933,7	887,9	958,2	856,3	927,4	864,1
1992	999,1	972,3	999,7	949,5	987,4	901,4
1993	1034,9	964,4	1025,5	929,8	1022,9	930,6
1994	1076,9	1071,4	1099,0	954,4	1108,3	1022,5
1995	1021,8	1040,4	1037,6	881,3	1056,3	744,3
1996	965,3	974,8	1075,9	891,8	1048,5	742,3
1997	885,4	913,0	997,4	897,0	1001,0	790,0
1998	976,0	994,4	973,8	952,7	1049,7	881,3
1999	1016,4	1049,9	1050,2	979,9	1117,7	988,7
2000	1008,6	1030,2	1029,9	946,1	1066,8	1050,9
2001	1071,4	1098,6	1068,5	899,1	1157,3	1120,0
2002	1061,1	961,2	979,7	1054,9	1056,2	1031,2
2003	1060,3	1005,4	1029,0	988,3	1192,0	1017,0
2004	1072,3	1011,6	996,2	1068,4	1140,0	873,5
2005	1067,5	1012,6	1010,7	1091,2	1022,9	1016,5
2006	1093,0	1044,5	968,2	992,0	980,4	1035,2
2007	1175,8	1041,0	1111,7	1161,3	1102,5	1099,4
2008	1167,7	932,3	1067,5	1173,9	1186,7	1100,7
2009	1166,2	977,1	1023,3	1078,2	1170,1	1066,1
2010	1141,5	1007,2	1007,9	1198,3	1123,6	1038,1
2011	970,6	946,2	1016,8	1177,2	1117,5	1004,3
2012	1081,4	1001,9	1146,2	1118,3	1122,0	1069,2
2013	1068,2	961,3	1096,8	1244,9	1224,6	1029,3
2014	985,4	933,9	1007,6	1180,7	1043,6	977,0
2015	943,3	1013,9	1141,3	1232,0	1187,6	986,8
2016	1007,1	1095,6	1191,2	1297,7	1264,6	961,8
2017	961,1	1018,3	1147,5	1006,1	1104,0	930,7
2018	964,3	1022,1	1148,0	954,5	1123,9	936,9
2019	937,4	1089,7	1168,4	1006,5	1288,3	924,5
2020	907,9	937,4	1191,5	1123,0	1136,3	956,2

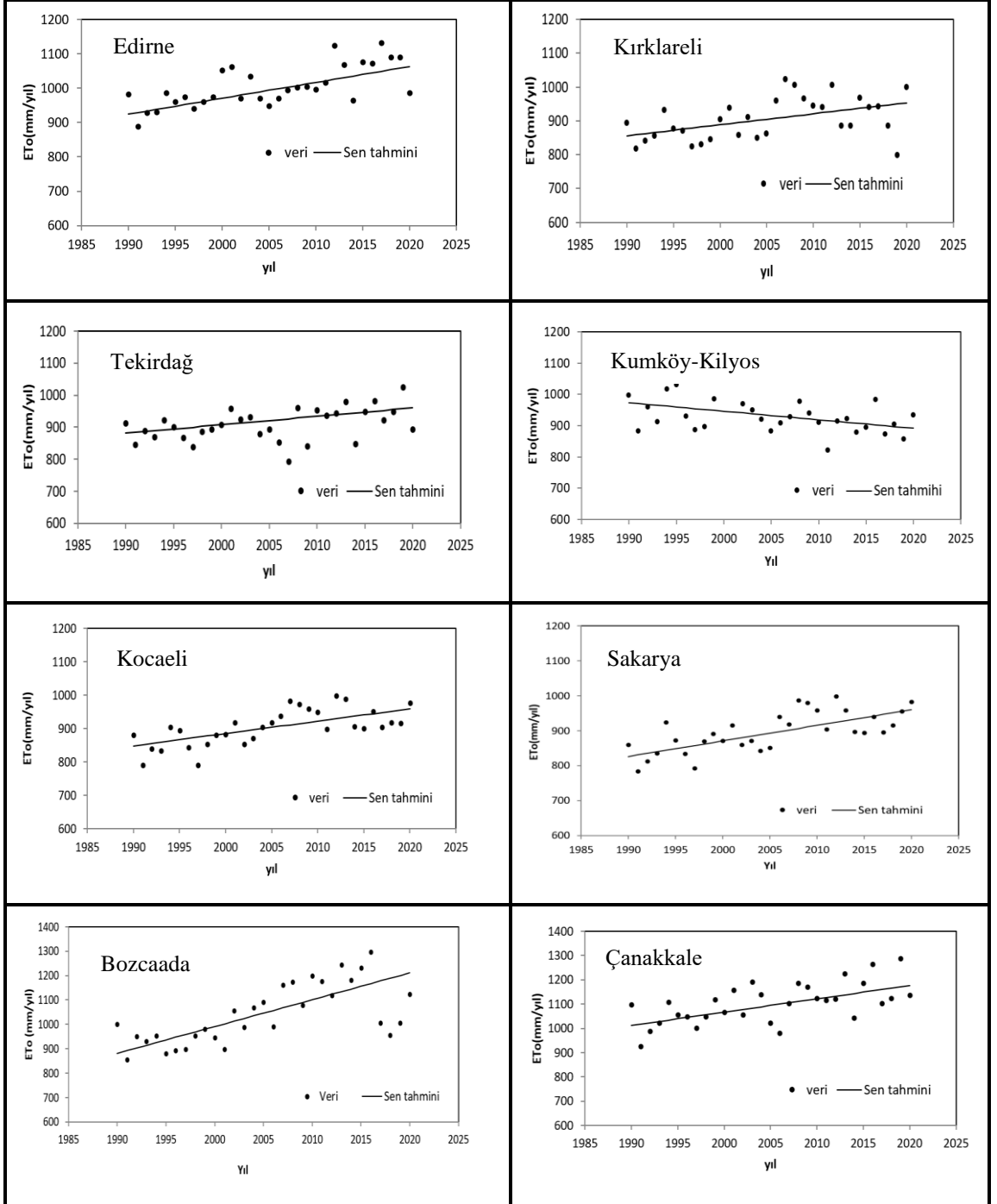
**Çizelge 4.3.** Şile, Keles, Bandırma, Dursunbey, Gönen, Sakarya istasyonları için 1990-2020 yılları arası ETo değerleri

Yıl/İstasyon	Şile	Keles	Bandırma	Dursunbey	Gönen	Sakarya
1990	884,6	1001,7	1058,8	955,6	945,9	860,0
1991	809,1	909,4	979,4	906,1	875,9	784,8
1992	873,5	969,2	996,0	959,6	953,4	812,6
1993	884,8	1007,4	1028,6	967,8	964,5	836,2
1994	931,1	1067,9	1065,4	1022,1	1037,8	924,8
1995	915,3	966,9	1049,5	994,6	1037,6	872,2
1996	812,6	965,6	1002,2	974,6	980,6	834,1
1997	805,5	897,8	1001,2	928,2	983,1	793,4
1998	866,1	973,2	825,8	979,0	994,1	869,4
1999	893,5	996,0	854,5	1041,1	1013,7	891,1
2000	861,6	1011,7	895,1	1011,2	1002,3	870,7
2001	905,9	1044,3	966,9	1043,8	1068,3	915,2
2002	845,0	963,4	1078,9	951,6	954,7	859,6
2003	867,8	1002,6	1317,8	1008,5	981,1	871,0
2004	894,9	980,9	1440,7	1002,2	977,7	843,1
2005	851,2	937,1	1239,5	970,5	949,0	850,8
2006	864,5	993,1	1116,1	965,0	947,2	940,4
2007	936,7	995,9	1152,2	1050,2	1062,5	919,0
2008	928,8	972,3	1072,4	1024,2	1030,3	987,1
2009	904,3	922,4	973,4	983,6	986,8	979,9
2010	906,8	910,4	1148,1	995,3	983,0	958,6
2011	784,2	879,0	1061,9	946,4	934,3	903,7
2012	867,4	993,1	1011,2	1050,9	1023,6	998,8
2013	845,4	949,6	875,5	1013,5	1001,4	958,1
2014	836,0	893,7	1064,5	945,9	1010,2	896,9
2015	805,1	882,7	1028,0	946,5	988,6	894,1
2016	887,7	949,5	1122,9	1025,4	1058,8	939,6
2017	829,3	921,4	1045,5	1003,7	1018,3	896,2
2018	916,0	958,0	878,4	1012,8	970,3	915,3
1019	881,7	976,8	1039,8	1001,4	979,6	955,4
2020	922,0	978,0	991,8	1042,2	986,4	983,3

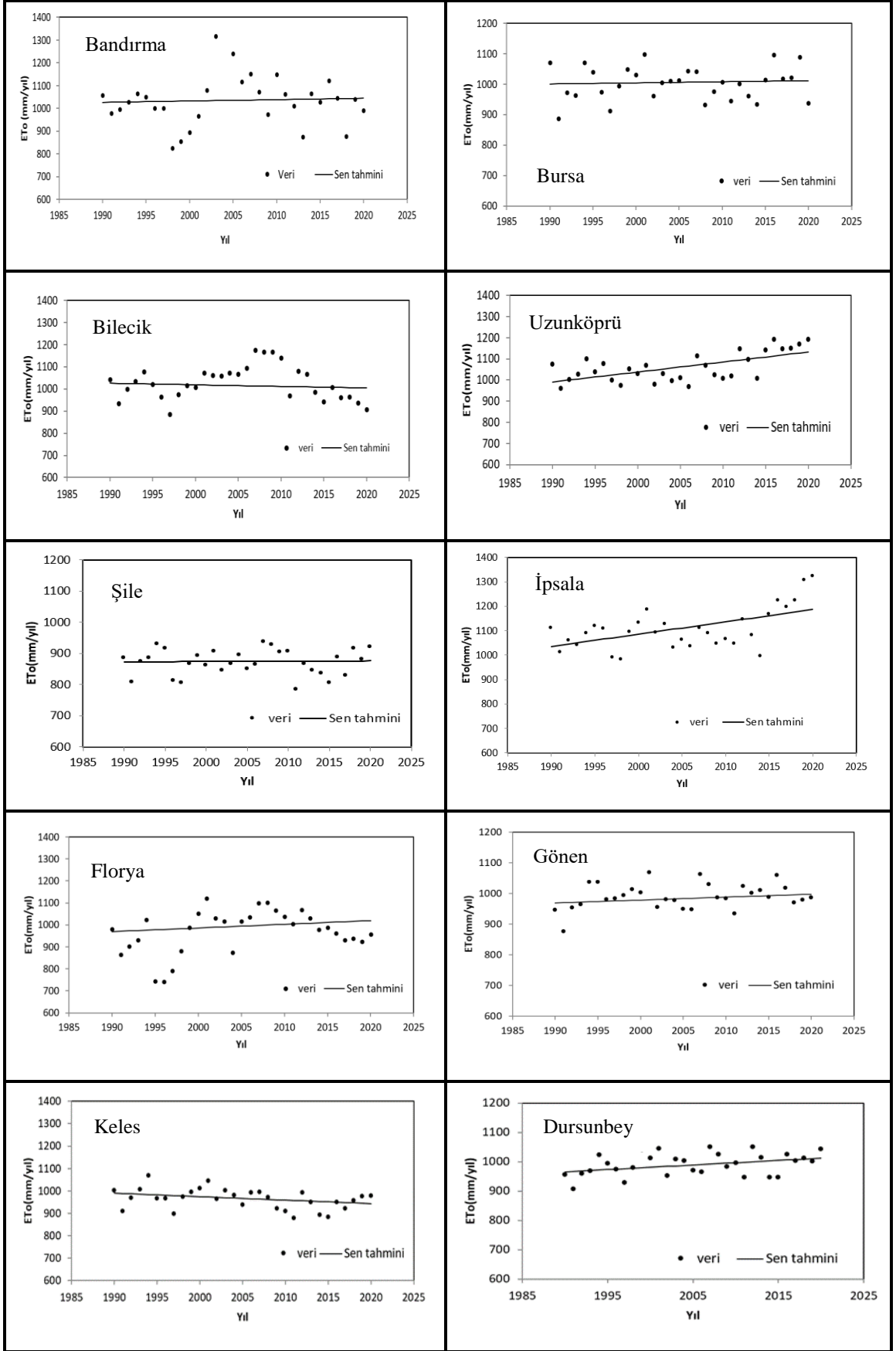


## 4.2. Referans Bitki Su Tüketimi Eğilim Testi Bulguları

Çalışmada, 18 istasyon için 1990-2020 yılları arası yıllık toplam ETo değerlerine uygulanan eğilim testi sonuçları Şekil 4.2 ve Çizelge 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.2. ETo eğilimleri



Şekil 4.2. ETo eğilimleri (devamı)

Şekil 4.2 ve Çizelge 4.4'ten izleneceği gibi; 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.

**Çizelge 4.4.** 1990-2020 yılları arası yıllık toplam ETo değerleri eğilim testi sonuçları

Sıra no	Dönem	İstasyon adı	n	Z testi	Önemlilik
1	1990-2020	Edirne	31	4,15	***
2	1990-2020	Kırklareli	31	2,55	**
3	1990-2020	Tekirdağ	31	2,46	*
4	1990-2020	Kumköy-Kilyos	31	-2,21	*
5	1990-2020	Kocaeli	31	4,11	***
6	1990-2020	Sakarya	31	3,77	***
7	1990-2020	Bozcaada	31	4,45	***
8	1990-2020	Çanakkale	31	3,48	***
9	1990-2020	Bandırma	31	0,20	öd
10	1990-2020	Bursa	31	0,31	öd
11	1990-2020	Bilecik	31	-0,37	öd
12	1990-2020	Uzunköprü	31	2,89	**
13	1990-2020	Şile	31	0,14	öd
14	1990-2020	İpsala	31	2,55	*
15	1990-2020	Florya	31	0,82	öd
16	1990-2020	Gönen	31	1,02	öd
17	1990-2020	Keles	31	-1,99	*
18	1990-2020	Dursunbey	31	1,80	+

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

Diğer taraftan, Kumköy-Kilyos ve Keles istasyonları için  $\alpha=0,05$  önem düzeyinde ETo azalış eğilimleri belirlenmiş, Bilecik için belirlenen hafif azalış eğilimi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.4). 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.

ETo değişimleri, iklim faktörleri, hava kirliliği, bitki türleri ve kentleşme gibi çok sayıda faktörün entegre sonuçlarıdır (Xu ve ark., 2017). Altındağ (2007), Güneydoğu Anadolu Projesi bölgesinde 9 adet meteoroloji istasyonu için ETo değerlerini belirlediği ve gidiş analizlerini değerlendirdiği çalışmasında, 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 çalışmada 2009-2012 yılları arasında referans su tüketiminde sıcaklık artışı ve değişen iklim verileriyle birlikte yıllar arasında artış meydana geldiğini belirlemiştir (Bayramoğlu, 2013). Anlı (2014) tarafından Güneydoğu Anadolu bölgesi için yapılan çalışmada, ETo değerlerinin zaman içerisinde değişimi araştırılmış, ETo değerlerinde önemli artış eğilimleri olduğu belirlenmiştir. Yürekli ve ark. (2010), Kayseri koşullarında farklı referans dönemler için ETo değişiminin belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmalarında mevsimsel değerlerde herhangi bir eğilimin olmadığını belirlemiştir.

Talae ve ark. (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/yıllık bir yükseliş trendi gözlemlemişler ayrıca 1994 yılında başlayan Kpan serisinde azalan bir trend elde etmişlerdir. Xu ve ark. (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 belirlemiştir. Senegal Nehir 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 ve ark., 2020). Jerin ve ark. (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 hemde azalış eğilimleri belirlemiştir. Bir bütün olarak, Bangladeş genelinde ETo'nun 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.

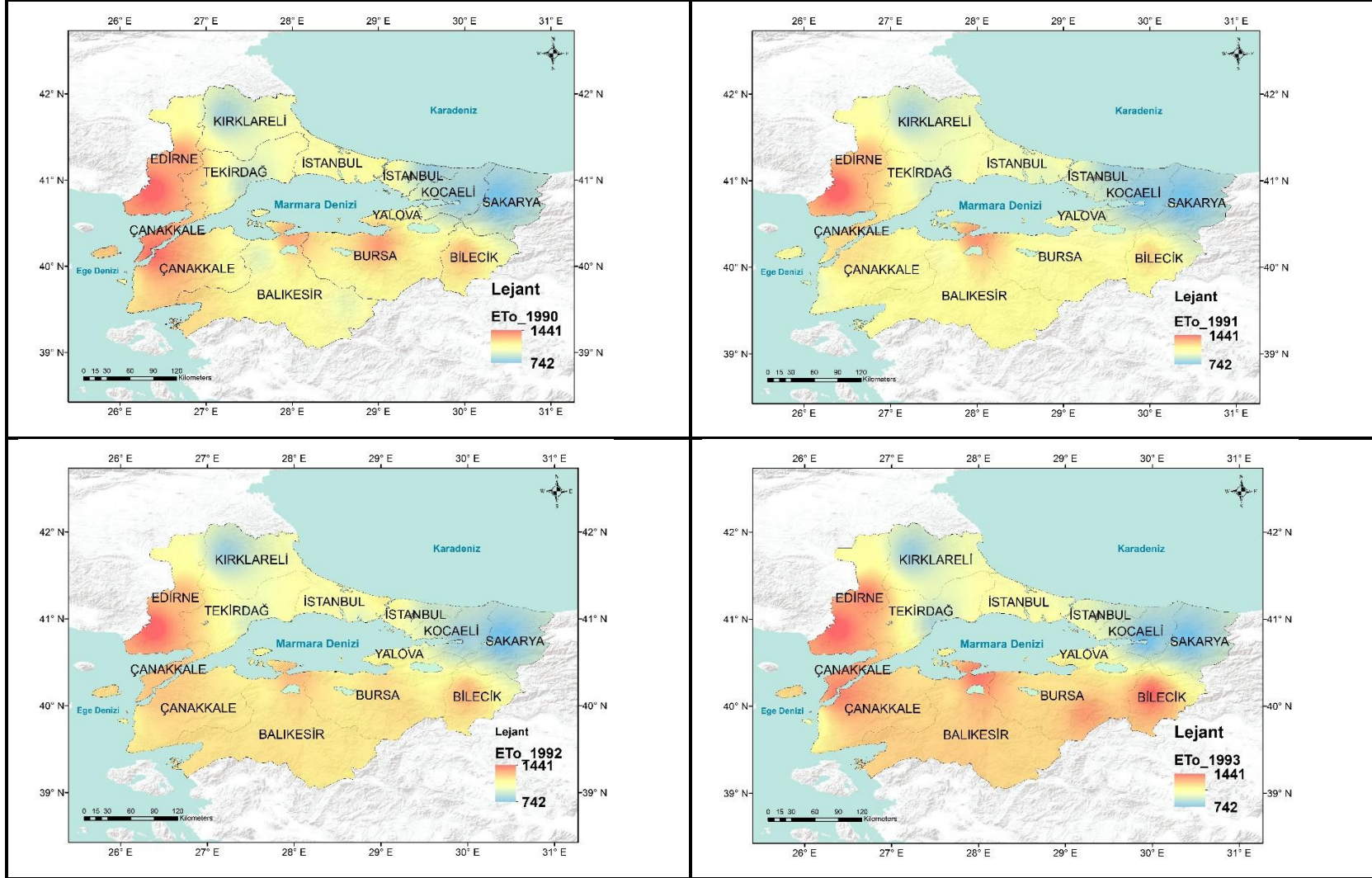
### **4.3. Referans Bitki Su Tüketiminin Alansal ve Zamansal Dağılımı**

IDW enterpolasyon yöntemi kullanılarak hazırlanan 1990-2020 yılları arası Marmara Bölgesi yıllık toplam ETo haritaları Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

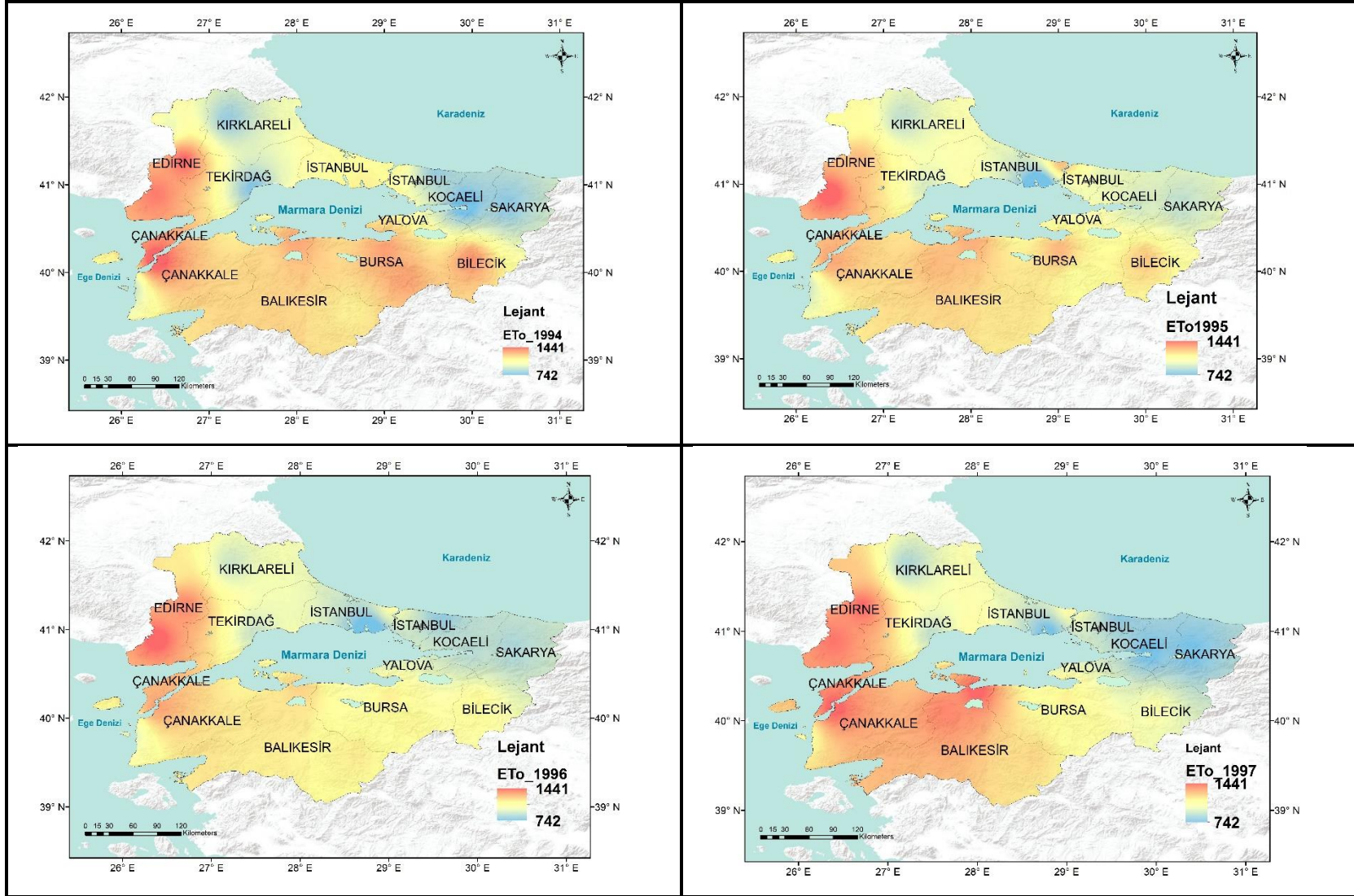
Çalışmada elde edilen bulgulara göre, 1990, 1996, 1999, 2000, 2001, 2002, 2012, 2015 ve 2016 yıllarında Edirne'nin güneyi ve Çanakkale'nin batı kesimlerinde ETo yüksek değerlere ulaşmıştır. Kırklareli, Kocaeli ve Sakarya illeri için 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 2000, 2001, 2002 ve 2003 yıllarında ETo değerlerinin düşük olduğu belirlenmiştir.

Marmara Bölgesi'nin güney kesimlerinde 1992, 1993, 1994, 1995, 1997 ve 2007 yıllarında ETo değerlerinin diğer yıllara göre yüksek olduğu görülmüştür. 2003, 2004 ve 2005 yıllarında Balıkesir'in kuzey kesimlerinde ETo değerlerinin diğer bölgelere 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.

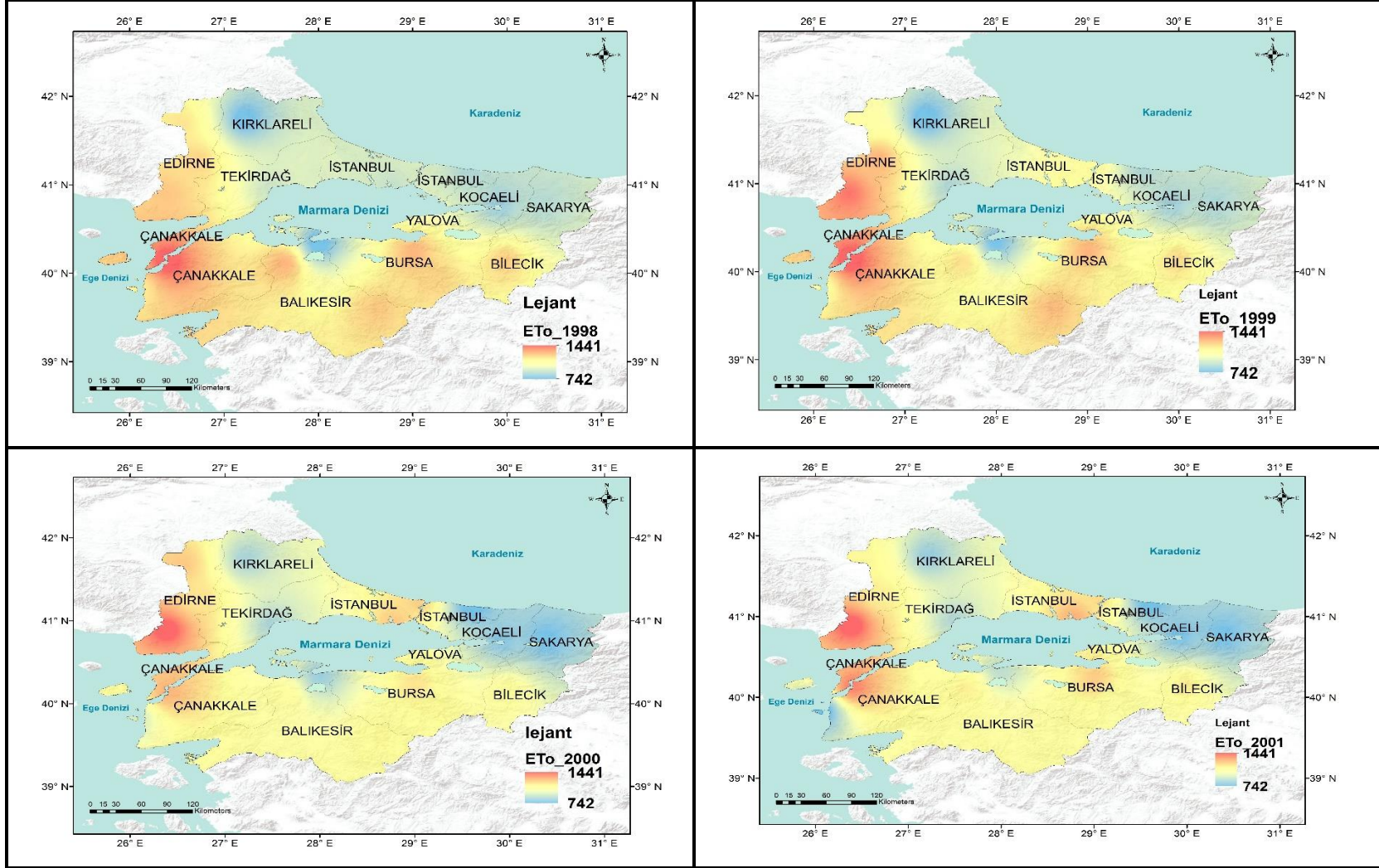
Ayrıca Bilecik'te 2006-2010 yılları arasında ardışık olarak yüksek ETo değerlerinin tekrarlandığı belirlenmiştir. Benzer şekilde Edirne'nin kuzey kesimlerinde de 1990-1997, 1999-2002 ve 2015-2020 yılları arasında yüksek ETo değerleri tekrarlanmıştır.



Şekil 4.3. Marmara Bölgesi 1990-2020 yılları arası ETo değerleri zamansal ve alansal değişimi

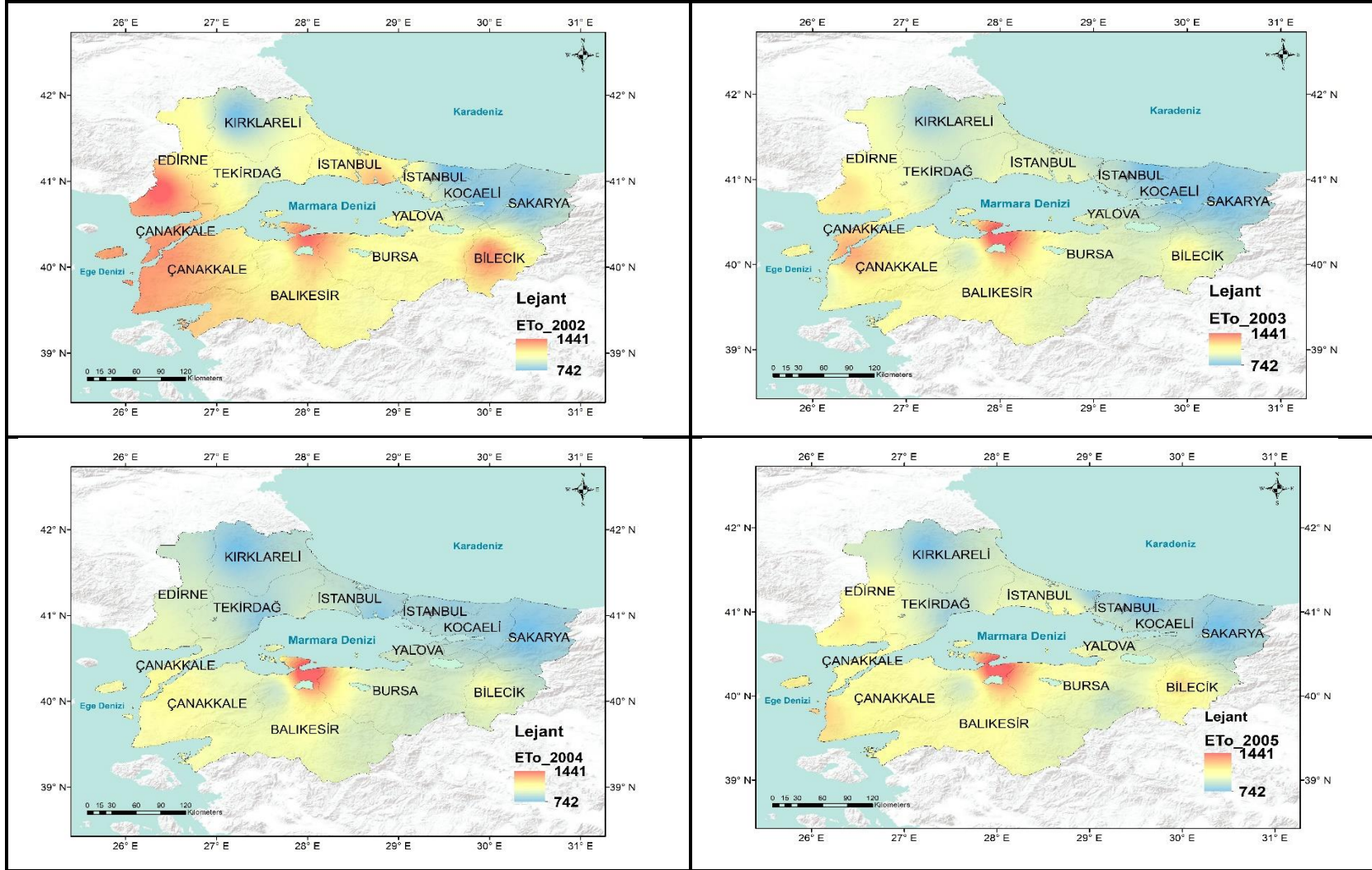


Şekil 4.3. Marmara Bölgesi 1990-2020 yılları arası ETo değerleri zamansal ve alansal değişimi (devamı)

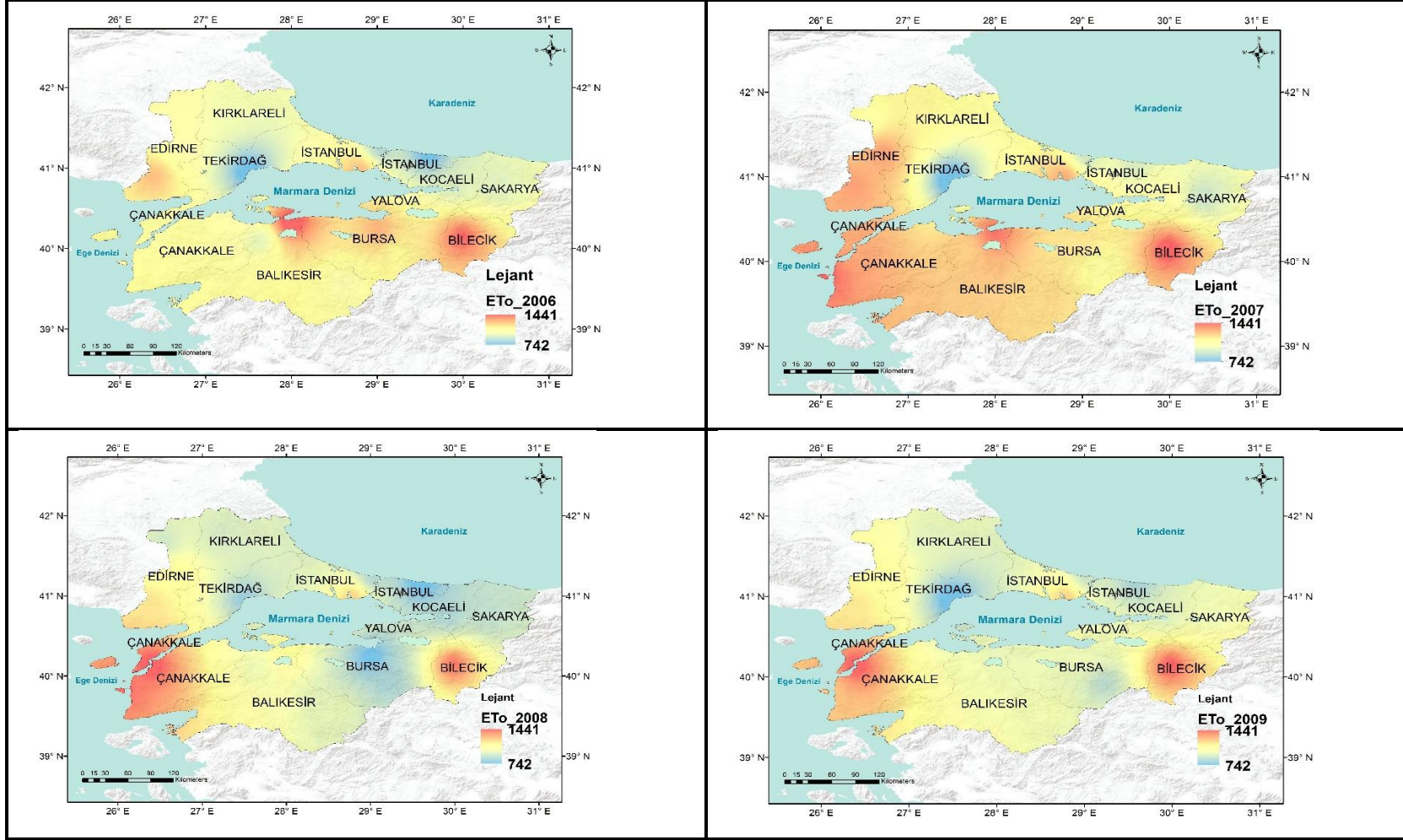


Şekil 4.3. Marmara Bölgesi 1990-2020 yılları arası ETo değerleri zamansal ve alansal değişimi (devamı)

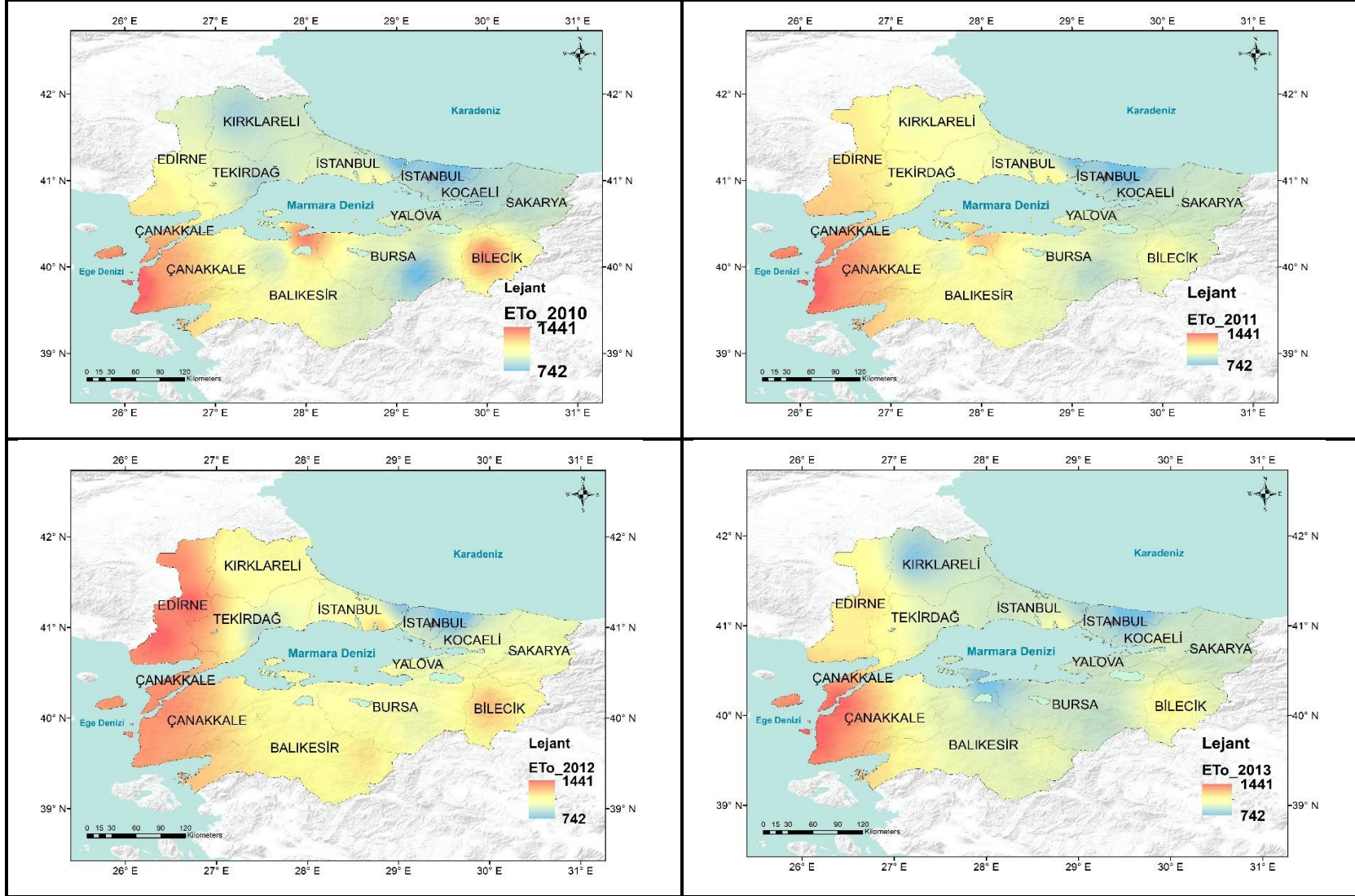




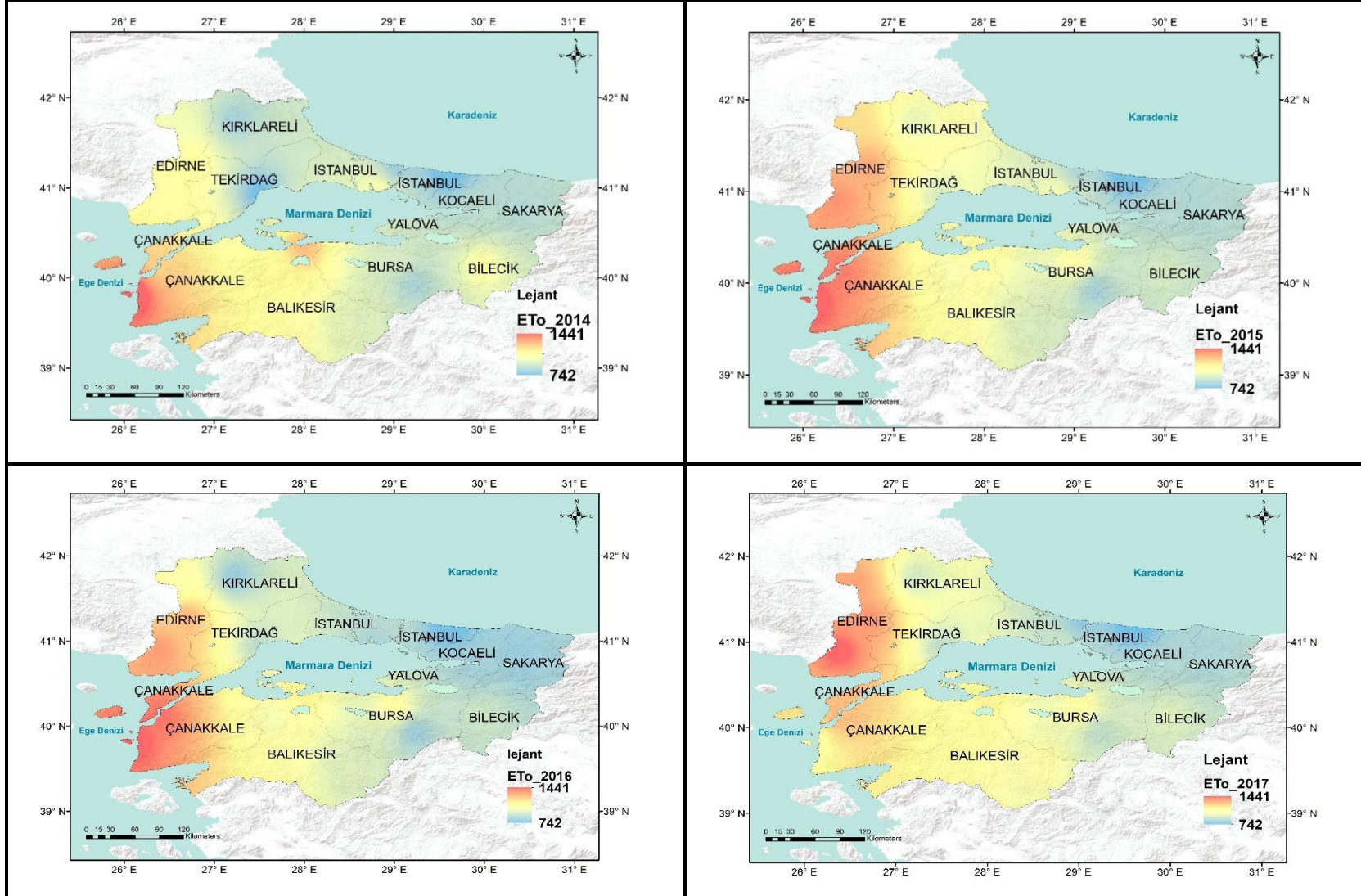
Şekil 4.3. Marmara Bölgesi 1990-2020 yılları arası ETo değerleri zamansal ve alansal değişimi (devamı)



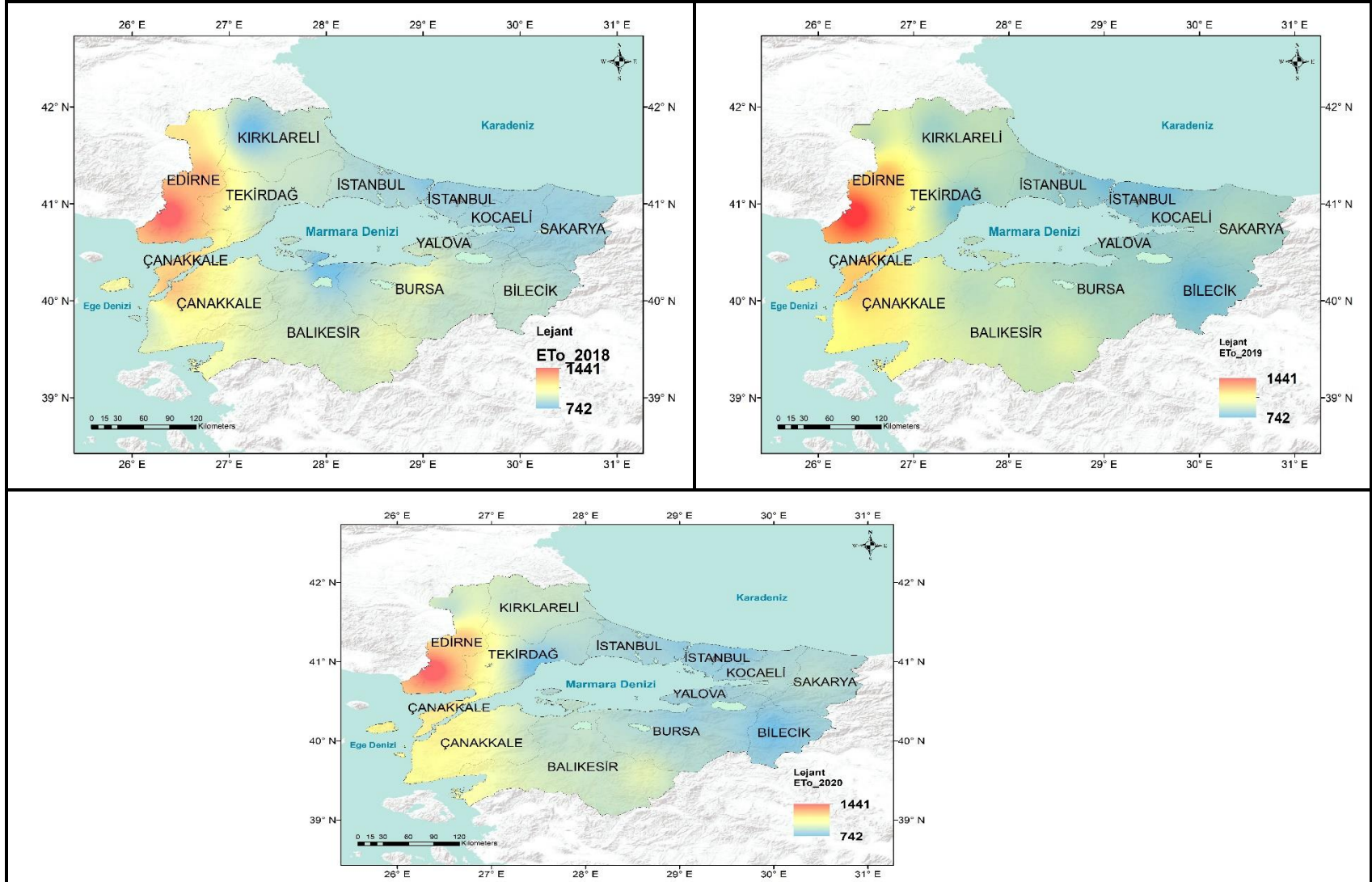
Şekil 4.3. Marmara Bölgesi 1990-2020 yılları arası ETo değerleri zamansal ve alansal değişimi (devam)



Şekil 4.3. Marmara Bölgesi 1990-2020 yılları arası ETo değerleri zamansal ve alansal değişimi (devamı)

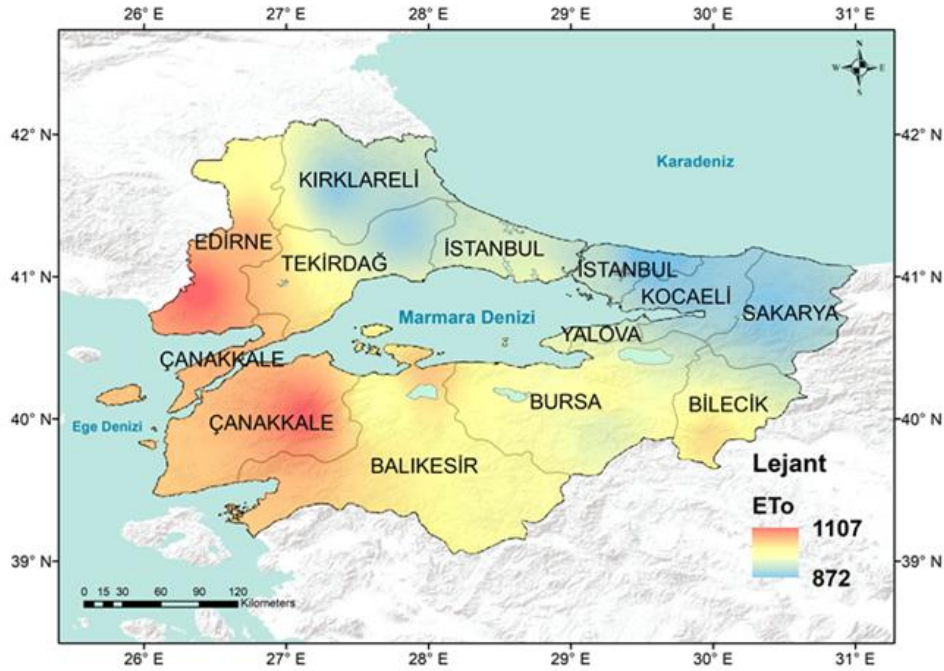


Şekil 4.3. Marmara Bölgesi 1990-2020 yılları arası ETo değerleri zamansal ve alansal değişimi (devamı)



Şekil 4.3. Marmara Bölgesi 1990-2020 yılları arası ETo değerleri zamansal ve alansal değişimi (devamı)

Çalışmada, IDW enterpolasyon yöntemi kullanılarak hazırlanan Marmara Bölgesi uzun yıllar (1990-2020) yıllık ortalama ETo haritası Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekilde de belirtildiği gibi, uzun yıllar ortalama ETo değerleri 872 mm (Şile istasyonu) ile 1107 mm (İpsala istasyonu) arasında değişim göstermiştir.



**Şekil 4.4.** Marmara Bölgesi uzun yıllar (1990-2020) yıllık ortalama ETo haritası

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 4.4). Ayrıca Kırklareli, Tekirdağ'ın doğusu, Kocaeli ve Sakarya'da uzun yıllar ortalama ETo değerleri düşük bulunurken (Şekil 4.4), bu illerde ki meteoroloji istasyonları verilerinden hesaplanan yıllık toplam ETo değerlerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde artış eğilimleri belirlendiği unutulmamalıdır.

Güler (2014), Türkiye'nin kuzeyinde 8 farklı enterpolasyon yöntemi kullanarak aylık ETo alansal değişimini belirlemek için yaptığı çalışmada, ETo haritalarının oluşturulması için ETo hesaplamasında Hargreaves yönteminin kullanımının daha kolay olduğunu ve LR (dorsal regresyon modeli) kullanımının diğer enterpolasyon

yöntemlerine göre daha güvenilir olduğu belirlemiştir. Karaca ve ark. (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 gereksinimin belirlenmesinde bu haritaların kullanılabilirliğini bildirmişlerdir. Yıldırım ve ark. (2019), Gediz Havzası'nda FAO Penman Monteith yöntemi kullanılarak uzun yıllar iklim verilerinden Nisan-Eylül ayları için aylık ve yıllık ETo değerlerini hesapladıkları çalışmalarında, CBS ile iki farklı yöntem kullanarak ETo haritaları üretmişler, Co-Kriging yöntemi ve Spherical modelin ETo haritalamada güvenilir olduğunu bildirmişlerdir.

Xu ve ark. (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'nin kuzeyde güneye göre daha yüksek değerlerde açık bir mekansal dağılım gösterdiğini belirlemiştir. 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. Hindistan'da ETo değerlerinin mekânsal dağılım özelliklerini anlamak için IDW ve Kriging yöntemlerinin kullanıldığı diğer bir çalışmada, ETo'nin mekânsal enterpolasyonu için IDW önerilmiş ve ETo değerlerinin bilinmediği yerlerde yeterince doğru tahminler elde etmek için ETo haritaları geliştirilmiştir (Hodam ve ark., 2017). Zhang ve ark. (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 mekansal dağılım eğilimi ile aynı dağılımı gösterdiği dağlık alana göre daha yüksek olduğunu belirlemiştir.

## 5. 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 değerlendirilmiş, sonuçlar ise aşağıda özetlenmiştir.

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.



## KAYNAKLAR

- Adoko, K.F. (2020). *Estimation Par Teledetection De La Variabilite Spatiotemporelle De L'evapotranspiration Dans Le Bassin Moyen Du Fleuve Oueme Au Benin*. Liege Universit , Faculte Des Bioingenieurs, Liege. Gestion de l'Environnement.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. *Crop Evapotranspiration*, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, p. 299.
- Altalib, A. A., M. T. Mahmood, and A.A. M. Al-Ogaidi. (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, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Anlı, A.S. (2014). *Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Referans Bitki Su Tüketiminin (ETo) Zamansal Değişimi ve RDI (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 Dağılışının Cođ-rafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Haritalanması ve Analizi*. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(Ek Sayı 1): 202-2014.
- Anonim, (2002). *MAKESENS 1.0, Finnish Meteorological Institute*, <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/makesens>, (Erişim Tarihi: 29.06.2021).
- 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: 29.06.2021).
- Anonim, (2012) . *Introduction to GIS Using ArcGIS Desktop 10*. University of Maryland Libraries, U.S. Government Information, Maps & GIS Services, McKeldin Library, College Park, p. 47, MD, USA.
- Anonim, (2021a). *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Marmara Bölgesi Coğrafi Özellikleri*, <https://mthmm.csb.gov.tr/bolgemiz-i-85694>, (Erişim Tarihi: 27.06.2021).
- Anonim, (2021b). *Türkiye İklimi. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü*, [https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yayinlar/turkiye\\_iklimi.pdf](https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yayinlar/turkiye_iklimi.pdf), (Erişim Tarihi: 27.06.2021).
- Bayramoğlu,(E.2013).*Trabzon İlinde İklim Değişikliğinin Mevsimsel Bitki Su Tüketimine Etkisi: Penman-Monteith Yöntemi*. Orman Fakültesi Dergisi, 13(2): 300-306.

Bigéard, G.(2014). *Estimation spatialisée de l'évapotranspiration à l'aide de données infrarouge thermique multi-résolutions*. Thèse en vue de l'obtention du Doctorat de l'Université de Toulouse Délivrée III Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier), Discipline ou spécialité : Télédétection et modélisation de la biosphère. Toulouse.

Çetin, S. (2018). *Kızılırmak Havzasında Alansal Yağış İle Buharlaştırma Terleminin İzleme Ve Değerlendirilmesinde Uydu Görüntülerinin Kullanılması*. (yayınlamamış Doktora Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

Doğan, H.M., Yılmaz, D.S., Kılıç, O.M. (2013). *Orta Kelkit Havzası'nın Bazı Toprak Özelliklerinin Ters Mesafe Ağırlık Yöntemi (IDW) ile Haritalanması ve Yorumlanması*. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 6: 46-54.

Güler, M.(2014). *A Comparison Of Different Interpolation Methods Using The Geographical Information System For The Production Of Reference Evapotranspiration Maps İn Turkey*. Journal Of The Meteorological Society of Japan. 92(3): 227–240.

Gilbert, R.O. (1987). *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. Van Nostrand Reinhold, New York.

Hamad, T.A.H. (2016). *Determining Thermal Comfort Zones for Outdoor Recreation Planning: A Case Study of ERBİL – IRAQ*. M.Sc. Thesis, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Bioengineering and Sciences, Kahramanmaraş.

Hodam, S., Sarkar, S., Areor, G.R.M., Bandyopadhyay., A., Bhadra., A. (2017). *Spatial Interpolation Of Reference Evapotranspiration İn India: Comparison Of IDW And Kriging Methods*. Original Contribution, 98(4):511–524.

İlker, A., Terzi, Ö., Şener, E. (2019). *Yağışın Alansal Dağılımının Haritalandırılmasında Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Akdeniz Bölgesi Örneği*. Teknik Dergi, Yazı 540: 9213-9219

Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K., Lucas N. (2001). *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. ESRI, Redlands, CA, USA, p. 300.

Jerin,J.N.,AbuReza.M.D.,Islam,T.,AlMamun,A.,NurMozahidM.D.Sobhy,M., Ibrahim.(2021). *Climate change effects on potential evapotranspiration in Bangladesh*. Arabian Journal of Geosciences, 14:682

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.

Mubialiwo, A., Onyutha, C., Abebe, A. (2020). *Historical Rainfall and Evapotranspiration Changes over Mpologoma Catchment in Uganda*. Advances in Meteorology, Volume 2020, Article ID 8870935, 19 p.

- 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.
- 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
- Raes, D. (2012). *The ET Calculator, Reference Manual - ETo calculator (Version 3.2, September 2012)*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Division, Rome, Italy.
- 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.
- 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*. J. Hydrol, 524: 708–717.
- Tural, S. (2011). *Gerçek zamanlı meteoroloji verilerinin toplanması, analizi ve haritalanması* (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Vural, E. (2021). *Güneydoğu Anadolu Bölgesi İllerinin CBS Kullanarak Hava Kalitesinin Mekânsal Değişiminin İncelenmesi (2007-2019)*. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(1): 124-135.
- Yıldırım, Y.E., Taş, İ., Özyayın, 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., Sarnin, S.S. (2016.) *Haze monitoring based on air pollution index (API) and geographic information system (GIS)*, in: Proc. IEEE Conf. Syst., Process Control, Dec. 2016, pp. 7–11.
- Yürekli, K., Ünlükara, A., Safi, S. (2010). *Kayseri İlinde Mevsimsel Bitki Su Tüketimindeki (ETo) Değişimin Saptanması*. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 3(2): 21-25.

Yürekli, K., Ünlükara, A., Cömert, M.M. 2017. *Holt Yaklaşımı ile Referans Bitki Su Tüketiminin Mevsimsel Değişiminin Saptanması*. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 6(Özel Sayı): 75-81.

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.

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 4<sup>th</sup> International Conference on Water Resource and Environment, IOP Conf. Ser, Earth Environ.

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*. Hydrol. Process, 26(8), 1149–1160.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Charifa Arabi  
Doğum Yeri ve Tarihi : Cezayir - 21/12/1994  
Yabancı Dil : Fransızca, İngilizce ve Türkçe

### Eğitim Durumu

Lise : Lycee Blhajkasem Noureddine Chlef  
Lisans : Hassıba Benbouali Chlef Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak ve Su Bölümü  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

İletişim (e-posta) : charifaara@yahoo.com

Yayınları : Arabi, C. Candoğan, B.N. 2020. Standart yağış indeksi ve standart yağış evapotranspirasyon indeksi yöntemleri ile Ain Defla'da (Cezayir) kuraklık analizi. 3<sup>rd</sup> International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences Abstract Book (Oral Presentation), March 19-20, Ankara, Turkey