T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN REFERANS EVAPOTRANSPİRASYON ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN BİNGÖL OVASI KOŞULLARINDA İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YUSUF YAVUZ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Sebahattin KAYA

BİNGÖL-2023

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN REFERANS EVAPOTRANSPİRASYON ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN BİNGÖL OVASI KOŞULLARINDA İNCELENMESİ

Prof. Dr. Sebahattin KAYA danışmanlığında, Yusuf Yavuz tarafından hazırlanan bu çalışma 09/02/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Toprak ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan	: Prof. Dr. Ali Rıza DEMİRKIRAN	*İmza*	:
Üye	: Prof. Dr. Sebahattin KAYA	*İmza*	:
Üye	: Prof. Dr. Abdulkadir SÜRÜCÜ	*İmza*	:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun ...../ ...../ ……..….. tarih ve . . . . . / . . . . . nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖNSÖZ

Danışmanlığımı yapan değerli hocam Prof. Dr. Sebahattin KAYA'ya tez çalışmaları sırasındaki yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan anneme, eşime ve aileme özellikle tezin hazırlanması sırasında gösterdikleri sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Yusuf YAVUZ

Bingöl 2023

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
İÇİNDEKİLER ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ iii
ŞEKİLLER LİSTESİ iv
TABLOLAR LİSTESİ v
ÖZET vi
1. GİRİŞ 8
2. KAYNAK ÖZETLERİ 10
3. MATERYAL VE YÖNTEM 20
3.1. Materyal 20
3.2. Yöntem 21
3.2.1. FAO PM Eşitliği 21
3.2.2. HS Eşitliği; 22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 27
4.1. Minimum Sıcaklık Verileri 27
4.2. Maksimum Sıcaklık Verileri 29
4.3. Bağıl Nem Verileri 32
4.4. FAO PM ETo Verileri 34
4.5. HS ETo Verileri 35
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 39
KAYNAKLAR 42

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

CO_2	: Karbon dioksit
CH_4	: Metan gazı
N_2O	: Diazotoksit
O_3	: Ozon gazı
CO	: Karbonmonoksit
IPCC	: Ülkelerarası İklim Değişikliği Paneli
^oC	: Celcius derecesi
ET	: Evapotranspirasyon
ETo	: Referans evapotranspirasyon
ETc	: Bitki su tüketimi
Kc	: Bitki katsayısı
YSA	: Yapay sinir ağları
MAE	: Ortalama mutlak hata
M-K	: Mann-Kendall
R^2	: Determinasyon katsayısı
GRNN	: Genel regresyon sinir ağı
RMBF	: Burkina Faso referans modeli
BC	: Blaney-Criddle yöntemi
HS	: Hargreavse-Samani eşitliği
Km	: Kilometre
Ra	: Ekstraterrestrial radyasyon
Tmax	: Maksimum sıcaklık
Tmin	: Minimum sıcaklık
RHort	: Ortalama bağıl nem
γ	: Psikrometrik sabit
$\leq$	: Küçük eşittir işareti
>	: Büyüktür işareti
<	: Küçüktür işareti

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1. Yıllık ortalama minimum ve maksimum sıcaklık değerleri (^{0}C) 20

Şekil 4.2. Yıllık ortalama bağıl nem değerleri (%) 26

Şekil 4.3. Yıllık ortalama evapotranspirasyon değerleri (mm/gün) 29

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1.	Bingöl İli'ne ait ortalama bazı iklim değerleri (1961-2018).....	13
Tablo 4.1.	Aylık ortalama minimum sıcaklık değerlerinin aylara göre ve ayların ortalaması (yıllık) olarak 60 yıllık dönemdeki ortalama ve uç (en düşük ve en yüksek) değerleri ve uç değerlerin ait olduğu yıllar	21
Tablo 4.2.	Aylık ve yıllık ortalama minimum sıcaklık serilerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenen analiz sonuçları (1961-2020, α=0,05).....	22
Tablo 4.3.	Aylara göre ve yıllık en düşük ve en yüksek aylık ortalama maksimum sıcaklık değerleri ve gözlendiği yıllar	23
Tablo 4.4.	Aylık ve yıllık ortalama maksimum sıcaklık serilerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenen analiz sonuçları (1961-2020, α=0,05).....	24
Tablo 4.5.	Aylara göre ve yıllık en düşük ve en yüksek aylık ortalama bağıl nem değerleri ve gözlendiği yıllar	25
Tablo 4.6.	Aylık ve yıllık bağıl nem serilerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenen analiz sonuçları (1961-2020, α=0,05	26
Tablo 4.7.	Aylara göre ve yıllık en düşük ve en yüksek aylık ortalama FAO PM ETo değerleri ve gözlendiği yıllar	27
Tablo 4.8.	Aylık ve yıllık FAO PM ETo serilerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenen analiz sonuçları (1961-2020, α=0,05)	28
Tablo 4.9.	Aylara göre ve yıllık en düşük ve en yüksek aylık ortalama HS ETo değerleri ve gözlendiği yıllar	29
Tablo 4.10.	Aylık ve yıllık HS ETo serilerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenen analiz sonuçları (1961-2020, α=0,05).....	30

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN REFERANS EVAPOTRANSPİRASYON ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN BİNGÖL OVASI KOŞULLARINDA İNCELENMESİ

ÖZET

İnsan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan sera gazları salımındaki artış küresel ısınmaya bağlı olarak iklim değişikliğini, suyun varlığını ve su döngüsünü büyük ölçüde etkilemektedir. Özellikle bitki su ihtiyacının belirlemesinde ve buna bağlı olarak tarımsal sulama projelerinin planlanması ve bitki deseninin belirlenmesi gibi birçok konuda kullanılan referans evapotranspirasyon (ETo) bir iklim elemanıdır ve iklim değişikliği ile doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla iklim değişikliğinin ETo üzerindeki etkisinin belirlenmesi su kaynaklarının doğru bir şekilde kullanılması için önemli olmaktadır. Bu çalışmada, iklim değişikliğinin ETo değerleri üzerindeki etkisi Bingöl Ovası koşullarında incelenmiştir. ETo değerleri Bingöl İli Merkez ilçede konuşlu Bingöl Sinoptik Meteoroloji İstasyonu'nda 1961 ve 2020 yılları arasında gözlenmiş olan bazı meteorolojik veriler kullanılarak FAO Penman-Monteith ve Hargreaves-Samani yöntemleri ile hesaplanmıştır. Bu araştırmada, küresel ölçekteki iklim değişikliğine bağlı olarak Bingöl İli'nde ETo değerlerinin ve ETo'nun hesaplanmasında kullanılan sıcaklık değerlerinin arttığı sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlar su ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması gözönünde bulundurularak planlamalar yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bingöl, evapotranspirasyon, iklim, iklim değişikliği, küresel ısınma, sıcaklık.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE ON REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN BINGOL PLAIN CONDITIONS

ABSTRACT

The increase in greenhouse gas emissions resulting from human activities greatly affects climate change, the availability of water and the water cycle due to global warming. Reference evapotranspiration (ETo) is a climate element and is directly related to climate change, which is used in many subjects such as the determination of plant water needs and, accordingly, the planning of agricultural irrigation projects and the determination of plant pattern. Therefore, determining the impact of climate change on ETo is important for the correct use of water resources. In this study, the effect of climate change on ETo values was investigated in Bingöl Plain conditions. ETo values were calculated by FAO Penman-Monteith and Hargreaves-Samani methods using some meteorological data observed between 1961 and 2020 at Bingöl Synoptic Meteorology Station of Tturkish State Meteorological Service located in the central district of Bingöl Province. In this study, it has been concluded that the ETo values and the temperature values used in the calculation of ETo have increased in Bingol Province, depending on the global climate change. The results obtained reveal the necessity of making plans considering the efficient use of water and energy resources.

Keywords: Bingol, evapotranspiration, climate, climate change, global warming, temperature.

1. GİRİŞ

Atmosferde meydana gelen olayların günlük değişimi hava durumu, hava durumunun uzun yıllar sonundaki ortalaması iklim olarak tanımlanmaktadır. İklim yerküre tarihi boyunca değişme eğilimine sahip olmuştur. Sanayi devriminin başlangıcı olan 19. yüzyılın ortasına kadar bu değişim doğal etkiler sonucunda meydana gelmiştir. Sonraki değişimlerde insan etkisinin önemli ölçüde payı olmuştur. Sanayi devriminin başlangıcından itibaren, küresel iklim değişimine bağlı olarak çevre kirliliği, çölleşme, erozyon, deniz kirliliği, hayvan ve bitki türlerinin yok olması ve toprakların bozulması gibi sorunlar ortaya çıkmıştır. Günümüzde tarım ve su kaynakları iklim değişikliğinden ve buna bağlı olarak ortaya çıkan sorunlardan en fazla etkilenen kesimlerin başında gelmektedir (Kanber ve ark., 2010).

Yeryüzünün bugünkü sıcaklık derecelerinde kalmasını atmosferde bulunan ve sera etkisi yapan CO_2, CH_4, N_2O, O_3, ve CO gibi gazlar sağlamaktadır. Küresel ısınma olarak adlandırılan ve tüm canlıların yaşamını tehdit eden boyutlara ulaşan olaylar atmosferin troposfer katmanında bulunan bu sera gazlarının atmosferde giderek artması sonucu ortaya çıkmaktadır (Akın, 2017). Yerkürenin ısı dengesini düzenleyen bu sürecin yerküreyi beklenenden daha fazla ısıtmasına doğal sera etkisi denilmektedir (Türkeş ve ark., 2000). Atmosfere salınan sera gazları birikimlerindeki hızlı artışın sonucunda doğal sera etkisi kuvvetlenmekte ve bunun sonucu olarak yerkürenin ortalama yüzey sıcaklığındaki artış günümüzde sözü edilen küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır (Kanber ve ark., 2010).

Günümüzde belirgin olarak gözlenmekte olan iklim değişikliği etkilerinin gelecekte daha da belirgin hale geleceği öngörülmektedir. Sera gazları olarak tanımlanan CO_2, CH_4 ve N_2O gazlarının salımları küresel ısınmanın en önemli nedenidir. Bu gazlardan, özellikle CO_2 salımı önemlidir. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin önlenebilmesi ülkelerin güncel katkılarına bağlı olması nedeniyle belirsizlikler taşımaktadır. Olumsuz etkileri nedeniyle iklim değişikliğinin toplum üzerindeki olumlu veya olumsuz etkilerinin bilinmesi gerekmektedir. Böylece, gelecekte iklim değişikliği yüzünden ortaya çıkabilecek sorunları

ortadan kaldırabilecek stratejilerin oluşturulması gerçekleştirilebilecektir (Kanber ve ark., 2010).

Küresel ısınma nedeniyle, su kaynaklarında azalma, orman yangınları ve kuraklık ve bunların sonucu olarak da ekolojik bozulmalar olacağı beklenmektedir. Ayrıca, akarsu havzalarındaki yıllık akımlarda meydana gelecek azalma sonucunda tarımsal ve kentsel su gereksiniminin artacağı ve kentlerde su sıkıntılarının başlayacağı beklenmektedir. Sonuç olarak su kaynaklarındaki azalma nedeniyle iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerinde olumsuz etkisi olacaktır. Yıllık ortalama sıcaklığın artması sonucunda; kurak ve yarı kurak alanlar genişleyecek, çölleşme, tuzlanma ve erozyon artacak, mevsimlik kar ve kar örtüsünün kapladığı alan azalacak, karla örtülü dönem kısalacaktır. Kar erimesine bağlı olarak ortaya çıkacak olan akış zamanı ve hacmindeki değişiklik, su kaynakları, tarım, ulaştırma ve enerji sektörlerini olumsuz etkileyecektir. Ayrıca, küresel ısınmanın etkisiyle buzulların erimesi, deniz düzeyinin yükselmesi, iklim kuşaklarının kayması gibi değişikliklerin de olacağı öngörülmektedir (Türkeş, 2001, Kanber ve ark., 2010).

İklim değişkenliğinin bir sonucu olan yağış düzensizliği bitkisel üretimi azaltmaktadır. Bu durum dünya üzerinde gıda güvenliği açısından risk oluşturabilmekte ve açlığa sebebiyet verebilmektedir. Daha geniş açıdan bakıldığında iklim değişikliği sürdürülebilir doğal kaynakları ve tarımsal verimi olumsuz etkileyerek ülkelerin ekonomik yapısını bozabilmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Atmosferde meydana gelen olayların uzun süreli etkisi olarak tanımlanan iklim yerkürenin tarihi süresince değişme eğilimi göstermiştir (Kanber ve ark., 2010). Yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun zaman periyodunda gözlenen hava koşullarının ortalama özellikleri olarak tanımlanan iklim, bu tanımının yanı sıra Türkeş (2007) tarafından oluşma sıklıklarının zamansal dağılımlarının, gözlenen uç değerlerin, şiddetli olayların ve tüm değişkenlik tiplerinin bileşimi olarak da tanımlanmıştır. Selçuk (2009) iklim değişikliğini, doğrudan veya dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucu karşılaştırılabilir zaman dilimlerinde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak ortaya çıkan iklim değişikliği olarak tanımlamaktadır. Türkeş (1997) ve Türkeş ve ark., (2000) iklim değişikliğini, genel olarak, herhangi bir nedenle iklim koşullarındaki büyük ölçekli ve önemli yerel etkileri bulunan, uzun süreli ve yavaş gelişen değişiklikler olarak tanımlamaktadır. Yöntem (2007), hava hareketleri, yağışlar, nemlilik gibi diğer iklim unsurlarının küresel ısınma sonucunda, dünya ikliminin uzun jeolojik devirlerdekinin aksine son 15-20 yıl gibi çok kısa dönemde hızla değişmesini küresel iklim değişikliği olarak tanımlamıştır (Karaman ve Gökalp, 2010). Su kaynaklarını olumsuz etkileyen iklim değişikliği, küresel atmosferin içeriğini bozan insan etkileri sonucunda iklimin ortalama durumunda ortaya çıkan değişimler olarak da tanımlanmaktadır (Zwane, 2019).

İnsan etkinlikleri sonucu atmosfere verilen sera gazı birikimlerindeki artışlar, yerküre'nin uzun dalgalı radyasyon yoluyla soğuma etkinliğini zayıflatmakta ve yerküre/atmosfer sisteminin enerji dengesindeki pozitif değişiklikler ile daha fazla ısınmasına neden olmaktadır. Atmosferin enerji dengesinde oluşan bu pozitif katkı, sera etkisi olarak adlandırılmaktadır. Bu durum, yerküre atmosferindeki doğal sera gazları yardımıyla yüz milyonlarca yıldan beri çalışmakta olan doğal sera etkisinin artması olarak tanımlanabilir. Sera etkisine bağlı olarak küresel ısınmanın büyüklüğü, sera gazlarının artış miktarına, gazların ışınımsal özelliklerine, atmosferik yaşam sürelerine ve öteki sera gazlarının birikimlerine bağlıdır (Kanber ve ark., 2010).

İklim değişikliği konusunda Türkiye'de yapılan bilimsel çalışmalar çok eskiye dayanmamaktadır. Genellikle 1990'ların ilk yarısından itibaren başlayan çalışmalarda ülkenin iklim değişikliği konusundaki durumu ve o ana kadar yaşanan eğilimler değerlendirilmiştir (Yılmaz ve ark., 2010). Türkeş ve ark. (1996) ve Türkeş ve Sümer (2004) yaptıkları bu ilk çalışmalarda çoğunlukla 1930 - 1960 ile 1960 - 1990 yılları arasındaki 30 yıllık dönemler için değerlendirmeler yaparak uzun dönemli sıcaklık verilerinde eğilimin büyük ölçüde soğuma yönünde olduğunu belirlemişlerdir (Yılmaz ve ark., 2010). Demir ve ark. (2008), 2000'li yıllarda yapılan çalışmalarda, özellikle 1992 yılında yaşanan soğuk yıldan sonra başlayan genel bir ısınma eğiliminin Türkiye'nin ikliminde kendini gösterdiğini belirtmişlerdir. Türkeş ve ark. (2002) tarafından ülkemizin güney bölgelerinde yıllık, kış ve ilkbahar ortalama sıcaklıklarında artış trendleri tespit edilirken, karasal iç bölgeler ve kuzey kesimleri için yaz ve özellikle sonbahar ortalama sıcaklıklarında azalma trendi belirlenmiştir. Türkiye'nin batı ve doğu bölgelerinde gündüz sıcaklıklarının yıllık ortalama değerlerinde zayıf bir ısınma trendinin var olduğu, bununla beraber Orta Anadolu ve Karadeniz bölgelerinde ise genel bir soğuma trendinin gözlendiği Türkeş ve Sümer (2004) tarafından belirlenmiştir.

Demir ve ark. (2008) iklim değişikliğinn ülkemizdeki etkisi ile ilgili olarak "Türkiye iklim değişikliği birinci ulusal bildiriminde, Türkiye'de 1951-2004 tarihleri arasında yaz ortalama sıcaklıklarında ülke genelinde bir artış olduğu ve bu artışın en çok ülkenin batı ve güneybatı bölgelerinde olduğu belirtilmiştir. Bundan başka kışın maksimum sıcaklıklarda Karadeniz kıyısında ve Orta Anadolu'da önemli ölçüde soğuma eğilimi vardır. Aynı bildirimde, kış mevsimi yağışlarında Türkiye'nin batı bölgelerinde son 50 yılda belirgin ölçüde azalmalar, Orta Anadolu'nun kuzey bölgelerinde sonbahar aylarında artışlar, Ege ve Akdeniz sahillerinde azalma, Karadeniz kıyı kesimlerinde artış gösterdiği belirtilmiştir. İlkbahar ve yaz mevsimlerinde aylık ortalama maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık dizilerindeki değişikliklerin artış yönündedir" şeklinde görüş belirtmişlerdir. Yılmaz ve ark. (2010) iklim değişikliğnin yağışlar üzerindeki etkisi konusunda, "yağış değerlerinde ise Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgelerinde hafif bir artış eğilimi vardır. İlkbahar ve kış yağışlarında Karadeniz'de azalma, sonbahar yağışlarında artışlar gözlenmiştir" ifadesini kullanmışlardır.

1995 yılında yapılmış olan Ülkelerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC, 1995)'nde yapılmış iklim modelleri 2030 yılına kadar Türkiye'nin büyük bir kısmında oldukça kuru ve sıcak bir iklimin görüleceğini ve sıcaklıkların kışın 2 ºC, yazın ise 2 ile 3 ºC artacağını ortaya koymuştur (Kara ve Cemek, 2019).

Ünlükara ve ark. (2011) bu konu ile ilgili olarak "hızlı nüfus artışı, şehirleşme, orman tahribatı ve özellikle sanayi devriminden sonra fosil yakıtların hızla tüketilmesinin bir sonucu olarak atmosfere salınan sera gazlarının artışı hidrolojik döngü üzerinde ciddi etkiye sahip olmuştur. İklim sistemi üzerinde önemli etkiye sahip olan sera gazları (CO_2, CH_4, N_2O) salımları sonucu ortaya çıkan küresel ısınmadan ülkemizin kuraklık şeklinde etkileneceği iklim bilimciler tarafından öngörülmektedir" şeklinde görüş bildirmişlerdir.

Küresel sıcaklıklardaki uzun süreli eğilimleri ve değişim oranlarını incelemek için, küresel ve yarımküresel yıllık ve mevsimlik ortalama yüzey sıcaklığı anomalilerine (1961-1990 normalinden farklarına), en küçük kareler doğrusal regresyon yöntemi ve 13 noktalı binom süzgeci uygulanmıştır. Dizilerdeki uzun süreli ve 10'ar yıllık (her 10 yıldaki) ısınma oranları ise, 13 yıllık binom süzgecine göre hesaplanan doğrusal olmayan eğilimler temel alınarak verilmiştir (Türkeş ve ark., 2000).

Gerçekte, küresel ortalama yüzey sıcaklığında gözlenen ısınma eğilimi, dünya üzerinde eşit bir coğrafi dağılış göstermemiştir; bölgesel farklılıklar belirgindir. Uzun süreli ısınma eğilimi, 40° ve 70° kuzey enlemleri arasındaki anakaralarda en fazladır. Buna karşılık, Atlas Okyanusu'nun kuzeyinde, Doğu Akdeniz ve Karadeniz havzaları ile Türkiye'de, özellikle son 20 yıllık dönemde, ortalama yüzey sıcaklıklarında bir soğuma eğilimi egemen olmuştur (Türkeş ve ark., 2000). Huang et al., (2017), iklim değişikliği bağlamında, kurak ve yarı kurak alanlar genişlemekte olduğunu belirtmişlerdir ve Zhao et al., (2014), "kuru yerler daha kuru, ıslak yerler daha ıslak" deyiminin iklim değişikliğinin bölgesel kurak-nemli değişimleri üzerindeki etki şekli haline geldiğini belirtmişlerdir (Yang et al, 2022).

Hızlı nüfus artışı ve küresel ısınma gibi problemler tarımın en önemli girdi unsuru olan su kaynaklarını olumsuz olarak etkilemektedir. Bu olumsuzluklardan dolayı tarımda kullanılan su miktarı azalmakta ve dünya gıda güvenliği tehlikeye girmektedir (Çakmak ve Gökalp, 2011).

Ateş (2008), küresel ısınmanın su kaynaklarının önemini arttıracağını, dünyanın pek çok bölgesinin çölleşme riski ile karşı karşıya geleceği için suyun petrol gibi değerli olacağını belirtmiştir. Karaman ve Gökalp (2010) küresel ısınmanın su kaynakları ve tarım üzerindeki olası etkilerini "küresel ısınmanın su sağlama üzerinde önemli etkileri olacağı kesindir ve yağış değişkenliğinin artması, tarım sektöründe önemli sorunlar oluşturacaktır. Daha sıcak iklim hidrolojik döngüyü hızlandıracak, yağış ve evapotranspirasyonunun (ET) küresel miktarlarında artış olacaktır" şeklinde belirtmişlerdir.

Küresel ısınma sonucu ortaya çıkan iklim değişikliği nedeniyle sürdürülebilir su kaynakları potansiyelinde azalma meydana geleceği için su kaynaklarının etkin bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Suyun etkin kullanımı, sulama uygulamalarında kaynaktan bitkiye ulaşıncaya kadar olan su kayıplarının azaltılması ve su savurganlığının önüne geçilmesi olarak gerçekleşebilmektedir (Najifar, 2018). Feng et al. (2016), tarımda su tasarrufu sağlamak için su kaynaklarının etkin kullanımının gerekli olduğunu ve bunun başarılmasının öncelikle bitki su tüketimi ve sulama programlarının sağlıklı olarak belirlenmesine bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Bayramoğlu (2013) bu konudaki görüşlerini "su kaynaklarının etkin kullanımı, dünyada olduğu gibi Türkiye'de de gittikçe artan oranda önem kazanmaktadır. Bu nedenle bitki yetiştiriciliğinde kullanılacak sulama suyunun, olanaklar ölçüsünde en az kayıpla sulama alanlarına iletilmesi, alan içinde dağıtılması ve bitki-su gereksinimini istenen düzeyde karşılayacak biçimde bitki kök bölgesine verilmesi bir bakıma zorunlu hale gelmiştir" şeklinde ifade etmiştir.

Bitki su tüketimi, bitkilerin sulanması, sulama projelerinin yapılması ve hidrolojik hesaplamalarda yoğun şekilde kullanılmaktadır. Bitki su tüketiminin %98-99'unu bitki yüzeyinden terleme (transpirasyon) ve topraktan buharlaşma (evaporasyon) ile atmosfere verilen ve evapotranspirasyon olarak tanımlanan su oluşturmaktadır (Kırtan, 2019). Dolayısıyla, evapotranspirasyona (ET) eşdeğer olarak kabul edilen bitki su tüketimi, hidrolojik döngünün en önemli bileşenlerinden biridir (Shiri et al. 2013; Liu et al. 2019; Yassen et al. 2020). Hakgören (1996), iklimsel parametrelere (sıcaklık, nem, rüzgâr ve güneşlenme faktörleri, yağış) bağlı olan evapotranspirasyon miktarının bölgelere göre değişiklik gösterdiğini belirtmiştir (Anlı, 2014).

Bitki su tüketimi (evapotranspirasyon, ET), lizimetreler veya bitki kök bölgesindeki toprak nem değişiminin izlenmesine (su bütçesi tekniğine) dayalı doğrudan yöntemler kullanılarak doğru ve gerçeğe yakın olarak belirlenmektedir. ET'nin doğrudan belirlenmesi kolay değildir. ET'nin belirlenmesi için özel aletler ve çeşitli fiziksel parametrelerin veya lizimetrelerde toprak su dengesinin doğru ölçülmesi gereklidir. Ölçümlerin doğruluğu açısından talep edilen yöntemler genellikle pahalıdır ve sadece iyi eğitimli araştırma personeli tarafından tam olarak kullanılabilir. Bu yöntemler sıradan ölçümler için uygun olmamasına rağmen, daha çok dolaylı yöntemlerle hesaplanmış ET miktarlarının değerlendirilmesi için önemli olmaktadırlar (Allen et al., 1998).

Bitki gelişmesi veya bitki su tüketimi üzerinde hiç bir sınırlamanın olmadığı standart koşullarda bitki su tüketiminin (ETc) tahmin edilmesi için genel yaklaşım ilk önce referans evapotranspirasyonu (ETo) tahmin etmektir. Daha sonra ETo bir amprik bitki katsayısı (Kc) ile çarpılarak ETc elde edilir (Allen et al., 1998).

Suyun kıt olmadığı referans bir yüzeyden oluşan evapotranspirasyon, referans evapotranspirasyon veya referans bitki evapotranspirasyonu olarak adlandırılır ve ETo olarak gösterilir. Referans yüzey özel karakteristikleri olan farazi bir referans çim bitkisidir. Potansiyel evapotranspirasyon gibi diğer adlandırılmaların kullanılması onların tanımlarındaki belirsizliklerden dolayı önerilmemektedir. Referans evapotranspirasyona etki eden faktörler sadece iklim faktörleri olduğu için sonuç olarak ETo bir iklim parametresidir ve hava verilerinden hesaplanabilir. ETo belirli bir yerde ve yılın belirli bir zamanında atmosferin buharlaştırma gücünü ifade eder ve bitki özellikleri ve toprak faktörlerini dikkate almaz (Allen et al., 1998). ETo bir iklim parametresi olarak kabul edildiği için bitki su tüketiminde referans evapotranspirasyon (ETo) bileşeni iklimin etkisini yansıtır. Bu nedenle bitki su tüketiminin de daha doğru şekilde tahmin edilmesi için atmosferin buharlaştırma talebinin doğru şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir (Kırtan, 2019). Bu anlamda küresel ısınmanın ya da diğer faktörlerin iklim elemanları üzerindeki etkisini anlamada referans bitki su tüketimi (ETo) değerlerinin kullanılması daha doğru sonuç vermektedir (Ünlükara ve ark., 2011). Dolayısıyla, İklim değişikliğinin etkisi nedeniyle, referans evapotranspirasyonun (ETo) mekansal dağılımının ve zamansal eğilimlerinin değerlendirilmesi önemli ve gereklidir (Nam et al. 2018).

Referans evapotranspirasyon; hidrolojik modellerde, kuraklık indisi hesaplamalarında ve çeşitli illerin kuraklık değerlendirmelerinde kullanılmaktadır. Konya merkez ilçe referans bitki su tüketimi değişiminin belirlenmesi amacıyla Şimşek ve ark. (2014) aylık ve mevsimsel ETo serilerindeki değişimi incelemek için Kruskal Wallis, varyans analizi yapmak için Levene testi ve değişim noktalarının saptanmasında Pettitt testi uygulamışlardır. Tüm testler aylık ve mevsimsel ETo serilerinde değişim olduğunu ortaya koymuştur. Ünlükara ve Yürekli (2014) Ankara, Konya, Kayseri, Karaman ve Afyon illerinde küresel ısınmanın etkisini belirlemek için iklim parametrelerinin önemli bir kısmını içine alan ETo değerlerine trend analizi uygulamışlardır. ETo değerlerinin istatistik analizinde Mann-Kendal ve Theil-Sen eğim testlerini kullanılmış ve istasyonlarda birçok sezonda %5 önem düzeyinde ve bazı sezonlarda ise %1 önem düzeyinde trend olduğunu belirlenmiştir (Kırtan, 2019).

Şenyiğit ve Akbolat (2010), küresel ısınmanın sebebi olan farklı sulama yöntemlerinin topraktan karbondioksit (CO_2) çıkışı üzerine etkisi üzerine yaptığı çalışma elma bahçesinde yürütülmüştür. Çalışmada damla, yağmurlama ve yüzey sulama yöntemlerinden damla sulama yönteminde CO_2 çıkışı ve buharlaşma değerlerinde azalma eğiliminin olduğunu ifade edilmiştir.

Huo et al. (2013) tarafından iklim değişikliğinin referans bitki su tüketimi üzerindeki etkisinin 1955-2008 döneminde kuzeybatı Çin'in kurak bir iç bölgesinde zamansal değişimleri açısından kapsamlı bir analizi yürütülmüştür. Çalışma sonucunda iklim parametrelerinin önemli derecede bitki su tüketimi üzerine artış eğilimine sahip olduğu belirlenmiştir.

Amarkai (2019), tarafından Konya ovasında iklim parametrelerindeki değişimlerin ovada yetiştirilen bazı bitkilerin su tüketimi üzerine olan etkilerini araştırmak için dört meteoroloji istasyonundan 10 yıllık periyotta toplanan verilerin kullanıldığı çalışmada bölgede yaygın olarak yetiştirilen şeker pancarı, mısır, ayçiçeği, kuru fasulye ve buğday olmak üzere beş farklı ürünün su tüketimi hesaplanmıştır. Standart bir yaklaşım olarak kabul edilen FAO Penman-Monteith yöntemi ile bitkilerin su ihtiyacını belirlemek için meteorolojik verilerin yeterli olmadığı alanlarda radyasyon eşitliği önerilmiştir.

İklim değişikliği altında referans bitki su tüketimindeki değişikliklerin tarımsal üretimin potansiyel etkilerine neden olacağı tahmin edildiğinden, referans bitki su tüketimine bağlı olarak bitki su tüketimi ürün yönetimini iyileştirmek için önemli bir bileşendir. Ayrıca Sulama ve drenaj sistemlerinin projelendirilmesi, sulama planlaması, programlaması, hidrolojik denge çalışmaları, kuraklığın izlenmesi ve havza hidrolojisinde temel olan bitki su gereksinimleri, evapotranspirasyonun tahminine dayandırılarak yapılmaktadır (Jensen et al. 1990; Ferreira et al. 2019; Antonopoulos and Antonopoulos 2017).

ETo'yu belirlemek için sıcaklık, nem, radyasyon, rüzgar hızı, güneşlenme şiddeti gibi çok sayıda meteorolojik veri gerekmektedir (Allen et al. 1998, Falamarzi et al. 2014). Penman-Monteith, Pan evaporation, Hargreaves-Samani, Kimberly-Penman, Blaney-Criddle, FAO Penman-Monteith, Turc, Jensen-Haise, Priestley-Taylor, Thornthwaite metotları referans bitki su tüketimini belirlemek için kullanılan yöntemlerden bazıları olarak sayılabilmektedir (Watanabe et al., 2004). Uçak vd. (2013), sıcaklık, yağış, rüzgâr hızı ve oransal nemin evapotranspirasyona doğrudan etki eden iklim parametreleri olduğunu bildirmişlerdir.

Kişi (2006) yapay sinir ağlarını kullanarak günlük iklim verilerinin farklı birleşimlerinin ETo üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Penman, Hargreaves ve Ritchie yöntemleri ile regresyon sinir ağları yöntemini karşılaştırmıştır. Solar radyasyon, hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr hızı verileri girdi olarak kullanılmış ve çalışma sonucunda (R^2) 0.986 olarak hesaplanmıştır.

Altındağ (2007), dokuz meteoroloji istasyonundan uzun vadeli aylık iklim verilerini (sıcaklık, nem, güneş radyasyonu, rüzgar hızı, güneşlenme süresi ve buharlaşma) kullanarak referans bitki su tüketimi değerlerini hesaplamıştır. ETo değerlerinin yıllar içinde artma eğiliminde olması, GAP bölgesinde santralin su tüketiminin de buna bağlı olarak artacağını bildirmiştir.

Kuzey Irak'ta yer alan Musul Meteoroloji istasyonu'dan alınan 5 yıllık günlük bağıl nem, güneşlenme süresi, rüzgâr hızı ve yağış iklim verilerinin farklı birleşimleri kullanılarak Awchi (2008) tarafından yapay sinir ağları ile ETo hesaplanmıştır ve ağ çıktıları tahmin edilen günlük ETo değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, oluşturulması çok

kolay ve eğitimi de çok daha hızlı olan yapay sinir ağlarının ETo tahmininde etkili bir şekilde kullanılabileceği anlaşılmıştır. Özellikle tüm iklim parametreleriyle ilişkilendirildiğinde, ağ çıktılarının tahmin edilen ETo ile yüksek bir korelasyon gösterdiği anlaşılmıştır.

Traore et al. (2008) tarafından Güney Afrika'nın yarı kurak bölgesinde ETo'yu tahmin etmek içina General Regression Neural Network (GRNN), Burkino Faso Referans Modeli (RMBF) ve Blaney-Criddle (BC) yöntemleri kullanılmıştır. 1996-2006 yılları arasında iklim verilerinin yetersiz olmasından dolayı girdi olarak maksimum ve minimum hava sıcaklıkları kullanılmıştır. Çalışma sonucu olarak, GRNN ile en az iklim değişkeni kullanılarak ETo'yu tahmin etmenin diğer alternatif yöntemlerden daha güvenilir olduğu ve Afrika'nın bu yarı kurak bölgesi için YSA'nın ETo tahmininde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Aksu (2013), 'zaman' ve 'konum' verilerini kullanarak YSA'yla ETo'nun uygulanabilir doğrulukta tahmin edilebilirliğini araştırmıştır. Araştırma sonucunda, 'zaman-konum' girdileriyle eğitilen YSA'nın ETo'yu FAO PM ETo değerleriyle yüksek bir yakınsama gösterecek şekilde tahmin etmiştir. Determinasyon katsayısı (R^2) 0.97, ortalama mutlak hata (MAE) 0.24 mm olarak bulunmuştur.

Bayramoğlu (2013), Penman-Monteith denklemini kullanarak 2009-2012 yılları arasında referans bitki su tüketimini hesaplamak için bir çalışma yapmış ve Trabzon ilinde ETo değerlerindeki değişimleri belirlemiştir. ETo'nun artan sıcaklık ve değerlendirme süresi içinde diğer verilerdeki değişikliklere göre arttığı sonucuna varılmıştır.

Huo et al. (2013) tarafından kuzeybatı Çin'in kurak bir iç bölgesinde 1955-2008 döneminde iklim değişikliğinin referans bitki su tüketimi üzerindeki etkisinin zamansal değişimlerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen araştırma sonucunda iklim parametrelerinin önemli derecede bitki su tüketimi üzerine artış eğilimine sahip olduğu belirlenmiştir.

Nam et al. (2015), Güney Kore'de iklimin bitki su tüketimi üzerine etkisi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada 54 meteoroloji istasyonundan alınan 40 yıllık (1973-2012) iklim verileri kullanılmıştır. Araştırma sonucunda iklim değişikliğinden

etkilenen referans bitki su tüketimi hesaplamalarında yer alan meteorolojik faktörlerin değişikliklerinden dolayı gelecekte su kaynakları ile ilgili mevcut yöntemleri ve politikaları yenilemenin gerekliliği önerilmiştir.

Antonopoulos and Antonopoulos (2017), sınırlı iklim değişkenleri kullanarak Yapay sinir ağları tekniği ile günlük referans evapotranspirasyon tahminleri üzerine yürüttüğü araştırmada yapay sinir ağları (YSA), Priestley-Taylor, Makkink ve Hargreaves yöntemlerini kullanmışlardır. Araştırma sonucunda Priestley-Taylor, Makkink yöntemleri ile Penman-Monteith yöntemi arasında çok iyi bir korelasyonun olduğunu, uyum bakımından bu yöntemleri Hargreaves yönteminin izlediğini belirtmişlerdir.

Yürekli vd. (2017), Türkiye'nin İç Anadolu bölgesindeki Konya, Karaman, Ankara, Kayseri ve Afyon illerinde küresel ısınmanın etkileri üzerine bir çalışa yürütmüşlerdir. 1970-2012 yılları arasında aylık ETo'daki değişimleri belirlemek için minimum ve maksimum ortalama sıcaklık değerleri, bağıl nem, güneş radyasyonu ve rüzgar hızı kullanılmış olup, FAO Penman-Monteith eşitliği kullanılmıştır. Araştırma sonucunda Konya İli ETo değerlerinde artış eğilimi olduğu ifade edilmiştir.

Bitki su tüketimi değerinin belirlenebilmesi için iklim parametreleri tabanlı, çok sayıda metot ortaya atılmıştır (Chen et al. 2020). ETo'nun hesaplanmasında kullanılan yöntemler, sıcaklık, nem, radyasyon, rüzgar hızı, güneşlenme şiddeti gibi birden fazla meteorolojik veri gerektirmektedir (Allen et al. 1998; Falamarzi et al. 2014). Penman-Monteith yöntemi FAO tarafından önerilmiş standart bir yöntemdir (Allen et al., 1998). ETo'nun belirlenmesinde en iyi yöntem olarak FAO Penman-Monteith yöntemi önerilmektedir. Bu yöntem, değerlendirilen lokasyonda çim ETo'yu yakın bir şekilde tahmin ettiği, fiziksel olarak temel aldığı ve hem fizyolojik hem de aerodinamik parametreleri açıkça içerdiği için seçilmiştir (Smith et al., 1991; Smith et al., 1996).

Gao et al. (2007) tarafından doğrusal regresyon yöntemi ve Mann Kendall trend testini kullanılarak yıllık gerçek evapotranspirasyon değerleri trend analizine tabi tutulmuştur. Kuzeydoğu Çin'in kuzey ve batı bölümlerinde artma trendi tespit edilirken, 100° Doğu boylamının doğusundaki alanların çoğunda azalma eğilimi belirlenmiştir.

Elnesr et al. (2010) Arap Yarımadası'ndaki iklim değişimini incelemek için Penman-Monteith eşitliğini kullanarak ETo değerlerini hesaplamışlar ve bu değerler üzerinde Mann-Kendall ve Sen eğim yöntemlerini kullanarak trend analizi yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar yarımadanın kuzey kesimlerinde ETo değerlerinin artış trendi gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu artış trendinin Ekim ve Ocak ayları arasındaki dönemi haricindeki yılın geri kalan kısmında görüldüğü anlaşılmıştır.

Wang et al. (2014), Çin'in Hetao sulama bölgesi için iklim elemanları ve bu elemanlar kullanılarak Penman Monteith yöntemi ile hesapladıkları referans evapotranspirasyon değerlerini Mann-Kendall ve Sen eğim yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir. Nem ve rüzgâr hızında azalma trendi, sıcaklıkta ve evapotranspirasyonda ise artma trendi tespit etmişlerdir (Arslan, 2017).

Shiri et al. (2013) ve Huo et al. (2013), bitki su tüketimi hesaplamaları ile yapılan tarımsal sulamalarda önemli ölçüde tasarruf sağlanabileceğini belirtmişlerdir.

Bu çalışma, özellikle yaz mevsimi kurak geçen Bingöl Ovası'nda referans evapotranspirasyonda meydana gelen değişimin ve bu değişime bağlı olarak gelecekteki referans evapotranspirasyon değerlerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırma alanı olarak ele alınan Bingöl Ovası, Bingöl İli Merkez İlçe sınırları içerisinde yer almaktadır. Bingöl İli, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat bölümünde 38° 27' ve 39°27' kuzey enlemleri 39°54' ve 41°20' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. İlin yüzölçümü toplam 8253 km^2 olup, merkez ilçe alanı 1790 km^2 dir. Bingöl İli, doğuda Muş, kuzeyde Erzincan ve Erzurum, batıda Tunceli ve Elazığ, güneyde ise Diyarbakır ili ile komşudur.

Bingöl İli karasal yağış rejimi göstermesine rağmen yöredeki iklim koşulları bir bütün olarak ele alındığında Akdeniz rejimi ve karasal rejim arasında kendine özgü bir özellik taşıdığı görülmektedir (Soylu, 2010). Bingöl Merkez ilçede konuşlu Bingöl Sinoptik Meteoroloji İstasyonu'nda 1961 - 2018 yılları arası gözlenmiş olan bazı meteorolojik veriler Tablo 3.1'de verilmiştir (Anonim, 2019).

Tablo 3.1. 1961-2018 döneminde Bingöl Meteoroloji İstasyonu'nda gözlenmiş olan bazı iklim değerleri (Anonim, 2019)

Aylar	Ort. Sıc.(°C)	Ort. En Yük. Sıc. (°C)	Ort. En Düş Sıc. (°C)	Ort. Güneşlenme Süresi (saat)	Ort.Yağışlı Günler	Ort.Yağış Mik.(kg/m2)
I	2,4	2,2	-6	3,3	12,8	138,4
II	-1,2	3,7	-5	4,3	12,4	131,9
III	4,1	9,4	-0,2	4,9	13,8	127,5
IV	10,7	16,6	5,7	5,6	14,9	116,5
V	16,1	22,8	10,1	7,1	14	75,9
VI	21,9	29,3	14,7	9,2	5,5	21,3
VII	26,6	34,5	19	9,5	1,7	5,6
VIII	26,4	34,7	18,6	9	1,3	3,1
IX	21,2	29,7	13,6	8,2	2,6	11,5
X	14,2	21,4	8,2	6	8,5	66,7
XI	6,7	12,5	2,2	4,4	9,3	107,3
XII	0,5	5	-2,9	3,1	12,8	137,6
Yıllık	12,1	18,5	6,5	74,6	109,6	943,3

Bingöl Ovası'nda hububat, yem bitkileri (yonca, fiğ), tütün ve bazı sebze türleri (domates, fasulye, kavun, karpuz, bostan v.s) yetiştirilmektedir.

Araştırma alanının da içerisinde yer aldığı Bingöl ovasında yapılan toprak etüdü çalışmalarında ova topraklarının alüvyal ana materyale sahip olduğu, genel olarak toprak bünyesinin killi tın, tuzsuz, az kireçli ve orta düzeyde organik madde içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir (Demir ve Canbolat, 2018; Demir ve Canbolat, 2021).

3.2. Yöntem

ETo'nun belirlenmesinde yukarıda da belirtildiği gibi küresel geçerliliği olan Penman-Monteith eşitliğinin FAO modifikasyonu (FAO PM eşitliği) ve Hargreaves- Samani (HS) eşitliği kullanılmıştır.

3.2.1. FAO PM Eşitliği

FAO PM eşitliği ile ETo'nun hesaplanması için radyasyon, hava sıcaklığı, hava nemi ve rüzgâr hızı verileri gereklidir. İklim verilerinin eksik olması durumunda bile, her koşulda FAO PM yöntemiyle ETo tahmin edilebilir. Önerilen işlemlerin çoğu, maksimum ve minimum hava sıcaklığı ölçümlerine dayanır. Ne yazık ki, eksik olduğunda hava sıcaklığını tahmin etmenin güvenilir bir yolu yoktur. Bu nedenle, maksimum ve minimum günlük hava sıcaklığı verilerinin, FAO PM yöntemini uygulamak için gerekli minimum veri gereksinimleri olduğu önerilmektedir. Veri setinin yalnızca maksimum ve minimum hava sıcaklığını içerdiği durumlarda bile, yine de FAO PM denklemi ile on günlük veya aylık ETo'nun makul tahminlerini elde etmek mümkündür (Allen et al., 1998). FAO PM eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$ETo = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma\left(\frac{900}{T + 273}\right)U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \qquad (3.1)$$

3.2.2. HS Eşitliği;

Allen et al., (1998), güneş radyasyonu verileri, bağıl nem verileri ve/veya rüzgar hızı verileri eksik olduğunda; alternatif olarak, ETo'nun HS ETo eşitliği kullanılarak tahmin edilebileceğini, ancak 3 m/s'den daha yüksek olan rüzgar koşullarında HS eşitliğinin ETo'yu düşük ve yüksek bağıl nem koşullarında ise yüksek olarak tahmin ettiğini belirtmiştir. HS eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$ETo = 0.0023 \cdot Ra\left(T\max - T\min\right)^{0.5} \cdot \left(Tmean + 17.8\right) \qquad (3.2)$$

Eşitliklerde; ETo, referans bitki evapotranspirasyonu (mm/gün); T, 2 m yükseklikteki ortalama sıcaklık (ºC); Rn, net radyasyon (MJ m^2/ gün), G, toprak ısı akısı yoğunluğu (MJ/ m^2/gün); U_2, 2 m yükseklikteki rüzgâr hızı (m/s); (es-ea), havanın buhar basıncı açığı (VPD, kPa); es, doygun buhar basıncı (kPa); ea, gerçek buhar basıncı (kPa); Δ, evaporasyon buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa /°C) ve γ, psikrometrik sabit (kPa /°C) Ra, ekstraterrestrial radyasyon (mm/gün); Tmax, maksimum sıcaklık (º C) ve Tmin,minimum sıcaklık (º C)'tır (Smith et al. 1996; Hargreaves, and Samani, 1985; Kaya ve ark., 2012; Kaya ve ark., 2013).

FAO PM eşitliği ile aylık ortalama ETo değerlerinin belirlenmesi için FAO Su Kaynakları Gelişim ve Yönetim Servisi tarafından geliştirilen CROPWAT 8.0 paket programı kullanılmıştır. CROPWAT 8.0 paket programı ile ETo'nun hesaplanması için minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık, bağıl nem, güneşlenme süresi ve rüzgâr hızı değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. 1961-2020 yılları arası 60 yıllık döneme ait aylık ortalama ETo değerlerinin hesaplanmasında, hesaplamanın yapıldığı aya ait minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık ve bağıl nemin aylık ortalama değerleri kullanılmıştır. 1995 yılından itibaren Bingöl Meteoroloji istasyonunda ölçülmüş olan rüzgâr hızı değerleri önceki yıllarda ölçülmüş olan değerlerden farklı olduğu için, FAO PM eşitliği (CROPWAT 8.0) ile aylık ortalama ETo değerlerinin belirlenmesinde 1961-1994 yılları arasında ölçülmüş olan aylık ortalama rüzgâr hızlarının 34 yıllık ortalaması dikkate alınmıştır. Benzer olarak Bingöl Meteoroloji istasyonunda 1987 yılından önce güneşlenme süreleri ölçülmemiş olduğu için aylık ortalama ETo değerlerinin hesaplanmasında 1987-2020 yılları arası dönemde belirlenmiş olan aylık ortalama güneşlenme süresinin 34 yıllık ortalamaları

dikkate alınmıştır. Yang et al (2011) tarafından yapılan çalışmada da referans bitki su tüketimi hesaplamalarının en duyarlı olduğu iklim parametrelerin sırasıyla bağıl nem, sıcaklık, güneşlenme saatleri ve rüzgâr hızı olduğu bildirilmiştir (Anlı, 2014). Dolayısıyla güneşlenme ve rüzgar hızı verilerinin ETo üzerindeki etkisi bağıl nem ve sıcaklık kadar etkili olmadığından güneşlenme süresi ve rüzgar hızı verilerine ait ortalama değerlerin kullanılmasının bir sakıncası yoktur.

HS eşitliği ile 1961-2020 dönemine ait aylık ortalama ETo değerlerinin hesaplanmasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü Bingöl Meteoroloji istasyonunda ölçülmüş minimum ve maksimum sıcaklık değerlerinin aylık ortalamaları ile Allen et al. (1998)'e göre belirlenmiş olan aylık ortalama ekstraterrestrial radyasyon (Ra) değerleri kullanılmıştır.

Hesaplanmış olan aylık ortalama ETo değerlerinin ve bu ETo değerlerinin hesaplanmasında kullanılan aylık ortalama minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin zaman içerisinde (yıldan yıla) bir değişime sahip olup olmadığı, değişim var ise değişimin artan veya azalan mı olduğu doğrusal eğilim analizi (doğrusal regresyon), non parametrik Mann-Kendal ve Spearman'ın Rho testleri ile belirlenmiştir. FAO PM eşitliği ile ETo'nun belirlenmesi için gerekli olan rüzgâr hızı ve güneşlenme süresine ait 60 yıllık veri bulunmadığından bu iki iklim elemanının 34 yıllık verilerinin ortalaması alınmıştır. Dolayısıyla rüzgar hızı ve güneşlenme süresi verilerinin trend analizi yapılmamıştır. Ayrıca, HS eşitliği ile ETo hesaplanmasında rüzgâr hızı ve güneşlenme süresi verilerine gerek yoktur. İki yöntem (FAO PM ve HS) ile elde edilen her bir aya ait 60 yıllık ETo değerleri ile bu değerlerin elde edilmesinde kullanılan her bir aya ait 60 yıllık minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık ve bağıl nem değerleri trend analizine tabi tutulmuştur. Ayrıca, her bir yıl için ETo ve minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık ve bağıl neme ait 12 ayın değerlerinin ortalaması alınarak 60 adet yıllık ortalama değer belirlenmiş ve bu değerlerinde trend analizi yapılmıştır. Çünkü, Sabziparvar et al., (2010); Tabari, (2010); Sabziparvar and Tabari, (2010) tarafından yapılmış olan çalışmalar, İran'ın kurak ve yarı kurak iklimlerinde referans evapotranspirasyon sürecinin esas olarak hava sıcaklığı, güneş radyasyonu, bağıl nem ve rüzgar hızındaki değişimler tarafından kontrol edildiğini göstermiştir. Bu nedenle, ETo serisindeki artışın veya düşüşün olası nedenleri, maksimum ve minimum sıcaklık ve bağıl nem değişkenlerinin eğilimleri göz önünde bulundurularak araştırılmıştır. Bu durum ile ilgili olarak Yang et al (2011) tarafından Çin Sarı Nehir

havzasında referans bitki su tüketiminin 1961-2006 dönemindeki mekânsal dağılımı ve zamansal değişimininin Kriging, Mann-Kendall ve Doğrusal Regresyon yöntemleri kullanılarak incelendiği bir araştırma yapılmıştır. Araştırma sonucunda referans bitki su tüketiminin mekânsal dağılımının ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde benzer değişim gösterdiği, havzanın yüksek, orta ve alçak bölgelerinde zamansal değişimin geniş olduğu ve referans bitki su tüketimi hesaplamalarına en duyarlı parametrelerin sırasıyla bağıl nem, sıcaklık, güneşlenme saatleri ve rüzgâr hızı olduğu belirtilmiştir (Anlı, 2014).

Regresyon analizi iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılır. Ayrıca, konu ile ilgili tahminler yapmak amacıyla matematiksel bir model oluşturulmasını sağlayan bir yöntemdir. Doğrusal regresyon testinde verilerin normal dağıldığı kabul edilir. *x* ve *y* değişkenleri arasındaki ilişkinin ve doğrusal bir eğilimin olup olmadığı test edilir (Cosun ve Karabulut, 2009). Zaman serilerinde eğilimlerin belirlenmesinde ve analiz edilmesinde kullanılır. Regresyon analizinden elde edilen ana istatistiksel parametre olan eğim, çalışılan değişkenin ortalama zamansal değişimini gösterir. Eğimin pozitif değerleri artan eğilimleri gösterirken, eğimin negatif değerleri azalan eğilimleri gösterir. Gözlemlenen dönemdeki toplam değişim, eğimin yıl sayısıyla çarpılmasıyla elde edilir. (Tabari et al., 2011).

Mann-Kendall testi parametrik olmayan bir testtir ve hidrometeorolojik zaman serilerinde meydana gelen artma veya azalma yönündeki gidişlerin istatistiksel önemini belirlemede kullanılır (Yue and Wang, 2002; Şapolyo ve Topaloğlu, 2020). Kendall'ın Tau olarak bilinen testinin özel bir uygulamasıdır. Bu yöntemde verilerin büyüklüğünden çok sıraları önemlidir. Eksik veri olması durumunda da kullanılabildiği ve verilerin bir dağılıma uyma zorunluluğu olmadığı için özellikle kullanışlıdır (Cosun ve Karabulut, 2009).

Spearman'ın Rho testi parametrik olmayan bir trend testidir ve sıra istatistiğine dayanan iki gözlem serisi arasında korelasyonu hızlı ve kolay olarak belirlemede kullanılır (Beşel ve Kayıkçı, 2016).

Parametrik olmayan testlerde serinin gerçek değeri yerine sıralanmış değerleri kullanılır. Parametrik test varsayımları bu testlerde aranmamaktadır. Bu testlerde verilerin bağımsızlığı ve rasgele seçilmeleri gibi varsayımlar olmasına rağmen bu varsayımlar parametrik testlerdekilerden daha kolay ve azdır (Beşel ve Kayıkçı, 2016).

Mann-Kendall testinde; H_0 hipotezine göre zamana bağlı olarak sıralanmış ($x_1, x_2, \dots, x_n$) gözlem değerleri zamandan bağımsız ve benzer dağılımlı rasgele değişkenlerdir. H_0 hipotezi trendin yok olduğu varsayımı üzerine kurulur. H_1 hipotezine göre ise ($i \neq j$) olmak üzere (i,$j \leq n$) için seri içerisinde x_i ve x_j değerlerinin dağılımı benzer değildir (Beşel ve Kayıkçı, 2016; Büyükkaracığan, 2019). Sıfır (0) ortalamaya ve (5) no'lu eşitlikle hesaplanan varyansa sahip olan Mann-Kendall testi (S) aşağıdaki (3) ve (4) no'lu eşitlikler kullanılarak hesaplanır ve asimptotik olarak normaldir.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} sign(x_j - x_i) \tag{3.3}$$

Burada; n veri uzunluğu (yıl), *sign* işaret fonksiyonudur ve $i = 1, \dots, n-1$'e kadar sıralanmış olan x_i veri setine ve $j = i + 1, \dots, n$'e kadar sıralanmış olan x_j veri setine uygulanır. S değeri $n \geq 8$ olduğunda ortalama ve varyans ile yaklaşık olarak normal dağılım gösterir. Eğer $n \geq 30$ olursa z-testi, t testine yaklaşır (Beşel ve Kayıkçı, 2016). Yukarıdaki formülde belirtilmiş olan sgn işaret fonksiyonu aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibi (x_i) bir referans noktası olarak alınmak suretiyle diğer sıralanmış veri grubu (x_j) ile kıyaslanır.

$$sign(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 \,;\, x_j > x_i \\ 0 \,;\, x_j = x_i \\ -1 \,;\, x_j < x_i \end{cases} \tag{3.4}$$

S'nin varyansı ise,

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{k} t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \tag{3.5}$$

Burada, *k* veri setindeki bağıl gözlemlerin sayısı ve t_i ise *i.* bağlı gözlemdeki veri sayısıdır. Eşitlik (5)'teki toplama terimi sadece veride bağlı gözlem olduğunda kullanılır. Standartlaştırılmış Mann-Kendall istatistiği (Z) Eşitlik (6)'da verildiği gibi

hesaplanabilmektedir. Seride gidiş yoktur sıfır hipotezi (H_0) varsayımı altında ortalaması sıfır, varyansı bir olan standart normal dağılım göstermektedir (Şapolyo ve Topaloğlu, 2020).

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} ; S > 0 \\ 0 ; S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} ; S < 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

Burada %95 (1-0,05) güven düzeyinde bulunan $Ztablo$ değeri ile Mann-Kendall istatistiği Z değeri karşılaştırılır. Eğer P(-$Z_{\alpha/2}$<Z< $Z_{\alpha/2}$) ise H_0 hipotezi kabul edilir. Aksi durumda H_0 reddedilir ve trend olduğu sonucuna varılır. Z değeri pozitif ise trendin artan yönde olduğu, negatif ise azalan yönde olduğuna karar verilir (Tabari et al., 2011; Beşel ve Kayıkçı, 2016; Şapolyo ve Topaloğlu, 2020).

Spearman'ın Rho testinde gözlem serisi $X(X_1,X_2,\ldots,Xn)$ olmak üzere, H_0 hipotezine göre $xi(i=1,2,\ldots,n)$ değerleri bağımsız ve eşit olarak dağılmışlardır. H_1 hipotezine göre bu değerler zamana bağlı olarak artar ya da azalır. Spearman'ın Rho test istatistiği aşağıda verilmiş olan eşitlikle hesaplanır (Beşel ve Kayıkçı, 2016).

$$r_s = 1 - 6 \frac{[\sum_{i=1}^{n} (R(X_i) - i)^2]}{(n^3 - n)} \quad (3.7)$$

Burada $R(Xi)$ verilerin büyükten küçüğe ya da küçükten büyüğe sıralanması sonucu elde edilen sıra numarası, i verilerin gözlem sırası, n ise toplam gözlem sayısıdır. rs'nin test istatistiği Z aşağıdaki gibi hesaplanır (Beşel ve Kayıkçı, 2016).

$$Z = r_s \sqrt{n-1} \quad (3.8)$$

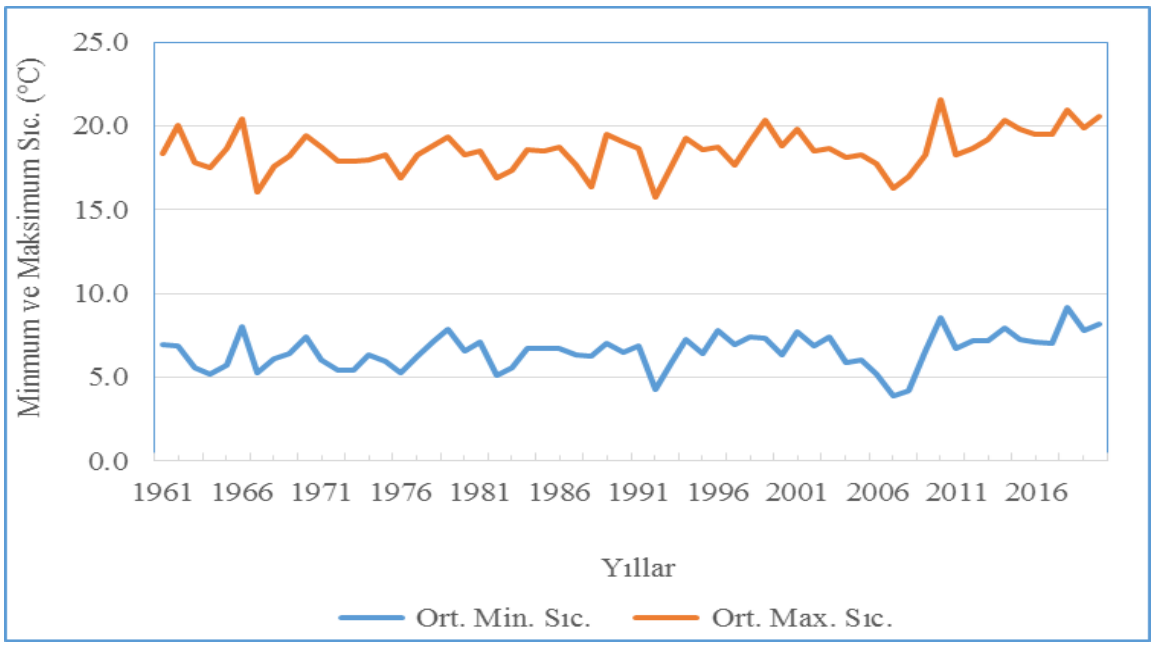
Buradan elde edilen Z değeri %95 güven düzeyine göre alınan $Ztablo$ değeri ile kıyaslanır. Hesaplanan Z değerinin $Ztablo$ değerinden büyük ($|Z| > Ztablo$) olması durumunda H_0 hipotezi reddedilerek belirli bir trendin olduğuna karar verilir (Beşel ve Kayıkçı, 2016).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu araştırmada Bingöl Meteoroloji İstasyonu'nda 1961-2020 yılları arasındaki 60 yıllık dönemde gözlenmiş olan aylık ortalama minimum ve maksimum sıcaklık ve bağıl nem verileri ile bu verilerden elde edilen FAO PM ETo ve HS ETo verilerinin 12 aylık (yıllık) ortalaması Şekil 4.1-4.3'te verilmiştir. Minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık, bağıl nem, FAO PM ETo ve HS ETo'nun 12 ayın her biri için ve 12 ayın ortalaması (yıllık ortalama) olarak 60 yıllık dönemdeki en düşük, en yüksek ve ortalama değerleri belirlenmiş ve trend analizleri yapılmıştır ve analiz sonuçları Tablo 4.1-4.10'da verilmiştir.

4.1. Minimum Sıcaklık Verileri

60 yıllık süre içerisinde gözlenmiş olan yıllık ortalama minimum sıcaklık değerleri Şekil 4.1'de, aylık ve yıllık ortalama minimum sıcaklık değerlerinin uç (en düşük ve en yüksek) ve ortalama değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Yıllık ortalama minimum ve maksimum sıcaklık değerleri (°C)

Tablo 4.1. Aylık ortalama minimum sıcaklık değerlerinin aylara göre ve ayların ortalaması (yıllık) olarak 60 yıllık dönemdeki ortalama ve uç (en düşük ve en yüksek) değerleri ve uç değerlerin ait olduğu yıllar

Aylar	En düşük değer (°C)	En düşük değerin olduğu yıl	En yüksek değer (°C)	En yüksek değerin olduğu yıl	Ortalama değer (°C)
Ocak	-12,8	2008	-0,8	1966	-5,8
Şubat	-11,8	2008	1,2	2018	-4,8
Mart	-7,4	1963	5,4	2018	-0,1
Nisan	0,5	2007	8,6	1989	5,7
Mayıs	5,5	2008	13,2	2003	10,2
Haziran	12,2	2008	17,1	2019	14,8
Temmuz	16,5	1982	20,9	1980	19,0
Ağustos	16,1	1968	20,5	2003	18,7
Eylül	10,6	1963	16,4	2020	13,6
Ekim	4,9	1977	10,8	2018	8,3
Kasım	-2,2	1972-1973	6,7	1998	2,2
Aralık	-9,4	2004	2,7	1996	-2,9
Yıllık	3,9	2007	9,2	2018	6,7

Tablo 4.1 incelendiğinde en düşük aylık ortalama minimum sıcaklık değerinin Ocak, Şubat, Nisan, Mayıs, Haziran ve Aralık ayları için 2004,2007 ve 2008 yıllarında, diğer aylar için 1963,1968, 1972-1973, 1977, 1982 yıllarında görüldüğü anlaşılmaktadır. Aylara göre en yüksek aylık ortalama minimum sıcaklık değerlerinin Ocak ayı haricinde 1980 ve sonraki yıllarda ve özellikle de 2000 yılından sonraki yıllarda görüldüğü anlaşılmaktadır. Minimum sıcaklık değerlerinin yıllık ortalamaları dikkate alındığında en düşük değerin 2007 yılında (3,9 °C), en yüksek değerin ise 2018 yılında (9,2 °C) görüldüğü anlaşılmaktadır.

Aylık ve yıllık minimum sıcaklık serileri için doğrusal regresyon, Mann-Kendal Testi ve Spearman-Rho Testi kullanılarak elde edilmiş olan trend analizi sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir. Her bir ay için hesaplanmış olan Z değeri, $Z_{\alpha/2}$ değeri (%95 güven seviyesine göre Z cetvelinden alınan değer) ile kıyaslandığında; Mart, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında Mann-Kendal testi ve Spearman-Rho testi ile elde edilmiş olan Z değerlerinin cetvel Z ($\pm 1.96 = Z_{\alpha/2}$) değerinden daha büyük, diğer aylara ait Z değerlerinin cetvel Z (± 1.96) değerinden daha küçük olduğu Tablo 4.2'den anlaşılmaktadır. Hesaplanmış olan Z değerinin cetvel Z değerinden büyük olması H_0 hipotezinin reddedildiğini ve H_1 hipotezinin kabul edildiğini ve dolayısıyla istatistiksel olarak önemli bir trendin olduğunu gösteriyor. Ayrıca istatistiksel olarak önemli bir trendin olduğu aylara ait (p) değerlerinin ($\alpha = 0,05$) değerinden küçük olduğu Tablo 4.2'den anlaşılmaktadır.

Tablo 4.2. Aylık ve yıllık ortalama minimum sıcaklık serilerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenen trend analiz sonuçları (1961-2020, α=0,05)

Aylar	Doğrusal Regresyon Eğimi	Mann-Kendal Testi			Spearman-Rho Testi		
		τ	Z	p	ρ	Z	p
Ocak	0,0195	0,088	0,990	0,323	0,139	1,062	0,288
Şubat	0,0280	0,122	1,371	0,170	0,189	1,444	0,148
Mart	0,0456	0,198	2,213	0,027	0,294	2,273	0,023
Nisan	0,0101	0,119	1,330	0,184	0,167	1,275	0,202
Mayıs	0,0004	0,016	0,179	0,858	0,041	0,308	0,756
Haziran	0,0160	0,207	2,318	0,021	0,281	2,170	0,030
Temmuz	0,0164	0,200	2,240	0,025	0,297	2,318	0,021
Ağustos	0,0262	0,273	3,100	0,002	0,433	3,320	0,001
Eylül	0,0205	0,171	1,912	0,056	0,254	1,951	0,051
Ekim	0,0246	0,214	2,388	0,017	0,300	2,327	0,020
Kasım	0,0092	0,056	0,628	0,528	0,098	0,748	0,454
Aralık	0,0200	0,106	1,196	0,233	0,152	1,157	0,247
Yıllık	0,0197	0,271	3,100	0,002	0,383	3,045	0,003

Z değerlerinin pozitif olması ise trendin artış yönünde (artan bir trend) olduğunu göstermektedir. Minimum sıcaklık değerlerinin yıllık ortalamalarının artan bir trende sahip olduğu Tablo 4.2'deki Z ve p değerlerinden anlaşılmaktadır. İstatistiksel olarak önemli bir artış trendinin olduğu aylar dışındaki aylarda ise artan bir trend olmakla birlikte istatistiksel olarak önemli olmadığı da Tablo 4.2'den anlaşılmaktadır. Tablo 4.2'de verilmiş olan Mann-Kendal Testi ve Spearman-Rho Testi ile elde edilen Z ve p değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olması aylara göre elde edilmiş olan trend analizi sonuçlarının her iki yöntem için de geçerli olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.2'de verilmiş olan doğrusal regresyon yöntemine göre belirlenen eğim değerleri de minimum sıcaklık değerlerinin bir artış trendine sahip olduğunu göstermektedir.

4.2. Maksimum Sıcaklık Verileri

60 yıllık süre içerisinde gözlenmiş olan yıllık ortalama maksimum sıcaklık değerleri Şekil 4.1'de, aylık ve yıllık ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin uç ve ortalama değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Aylık ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin aylara göre ve ayların ortalaması (yıllık) olarak 60 yıllık dönemdeki ortalama ve uç (en düşük ve en yüksek) değerleri ve uç değerlerin ait olduğu yıllar

Aylar	En düşük değer (°C)	En düşük değerin ait olduğu yıl	En yüksek değer (°C)	En yüksek değerin ait olduğu yıl	Ortalama değer (°C)
Ocak	-3,9	1983	7,3	1971	2,3
Şubat	-1,8	2008	10,8	2018	3,9
Mart	3,4	1992	15,8	2018	9,5
Nisan	9,9	2007	23,4	1989	16,6
Mayıs	18,6	2008	26,4	2003	23,0
Haziran	26,5	1968	32,3	1966	29,4
Temmuz	31,4	1967	37,3	1980	34,5
Ağustos	31,6	1968	37,1	2010	34,7
Eylül	26,7	1997	33,1	2020	29,8
Ekim	16,0	1965	26,2	2020	21,6
Kasım	6,0	1988	19,0	2010	12,5
Aralık	-1,3	1992	10,7	2010	5,0
Yıllık	15,8	1992	21,6	2010	18,6

En düşük aylık ortalama maksimum sıcaklık değerinin Haziran, Temmuz, Ağustos ve Ekim ayları için 1965,1967 ve 1968 yıllarında, diğer aylar için 1983,1988, 1992, 2007 ve 2008 yıllarında görüldüğü Tablo 4.3'ten anlaşılmaktadır. Mart ve Aralık ayları ile yıllık ortalamaya ait en düşük değerlerin soğuk bir yıl olarak kabul edilen 1992 yılında görülmüştür. Aylara göre en yüksek aylık ortalama maksimum sıcaklık değerlerinin Ocak, Nisan, Haziran ve Temmuz aylarında sırasıyla 1971,1989, 1966 ve 1980 yıllarında, Mayıs ayı için 2003 yılında diğer aylar için 2010, 2018 ve 2020 yılarında görüldüğü anlaşılmaktadır. Maksimum sıcaklıkların yıllık ortalamaları dikkate alındığında en düşük değerin 1992 yılında (15,8 °C), en yüksek değerin ise 2018 yılında (18,6 °C) görüldüğü anlaşılmaktadır.

Aylık ve yıllık maksimum sıcaklık değerlerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenmiş olan trend analiz sonuçları Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4. Aylık ve yıllık ortalama maksimum sıcaklık serilerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenen trend analiz sonuçları (1961-2020, α=0,05)

Aylar	Doğrusal Regresyon Eğimi	Mann-Kendal Testi			Spearman-Rho Testi		
		τ	Z	p	ρ	Z	p
Ocak	-0,0039	-0,002	-0,019	0,985	-0,002	-0,019	0,987
Şubat	0,0285	0,116	1,302	0,193	0,182	1,392	0,164
Mart	0,054	0,214	2,410	0,016	0,316	2,550	0,014
Nisan	0,0363	0,209	2,345	0,019	0,296	2,290	0,022
Mayıs	0,015	0,081	0,905	0,365	0,115	0,875	0,383
Haziran	0,0234	0,177	1,969	0,049	0,256	1,970	0,049
Temmuz	0,0177	0,135	1,515	0,130	0,199	1,523	0,128
Ağustos	0,0205	0,194	2,170	0,030	0,217	2,226	0,026
Eylül	0,0161	0,090	1,005	0,313	0,135	1,028	0,304
Ekim	0,0193	0,095	1,059	0,289	0,151	1,151	0,250
Kasım	0,0106	0,055	0,611	0,540	0,095	0,726	0,468
Aralık	0,0315	0,167	1,867	0,062	0,233	1,786	0,074
Yıllık	0,0224	0,250	2,810	0,005	0,345	2,700	0,007

Tablo 4.4, doğrusal regresyon yöntemine göre Ocak ayı haricindeki 11 ayın tamamına ait aylık maksimum sıcaklık değerlerinde ve yıllık ortalama maksimum sıcaklık değerlerinde artış trendi olduğunu, Ocak ayında ise azalış trendi olduğunu göstermektedir . Mann-Kendal testi ve Spearman-Rho testi sonuçlarına göre Ocak ayı haricindeki 11 ayın tamamında aylık ortalama değerler ve yıllık ortalama değerlerin artış trendine sahip olduğu, Ocak ayında ise azalış trendi olduğu ve bu artış trendlerinin Mart, Nisan, Haziran Ağustos ayları ve yıllık ortalama değerler için istatistiksel olarak önemli ($|Z|>1,96$ ve $p<0,05$) olduğu anlaşılmaktadır. Benzer sonuçlar, Saplıoğlu ve Kilit (2012) tarafından Afyon İli'ndeki iklim değişikliğini araştırmak için sıcaklık ve yağış verilerinin Mann-Kendall yöntemi ile test edilmesi sonucu bulunmuştur. Söz konusu araştırıcılar yıllık bazda yağış ve sıcaklık değerleri için istatistiksel yönden anlamlı bir trendin olmadığını, aylık bazda ise Haziran ve Temmuz aylarında sıcaklık verilerinde istatistiksel olarak önemli bir artış trendi, yağış verilerinde de Mayıs ayında azalış trendi ve Eylül ayında da artış trendi olduğunu tespit etmişlerdir (Arslan, 2017). Yine bu duruma benzer olarak, Şapolyo ve Topaloğlu (2020) tarafından Ege Bölgesi'nde yer alan 13 istasyondan alınan aylık ortalama sıcaklık verilerine Mann-Kendall testi uygulanmıştır. Test sonucuna göre istasyonların %94,87'sinde aylık ortalama sıcaklık değerlerinde artma eğilimi olduğu tespit edilmiştir. Bu artma eğilimlerinin Temmuz ve Ağustos ayları için tüm istasyonlarda %5 ve %1 düzeylerinde istatistiksel olarak önemli olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, anlamlı artma eğilimine sahip istasyon sayısı bakımından Temmuz ve Ağustos aylarını sırasıyla Haziran, Eylül ve Mayıs aylarının takip ettiği belirtilmiştir.

Tokgöz ve Partal (2020), 1960-2015 periyodu için Karadeniz bölgesinde yıllık toplam yağışlar ve yıllık ortalama sıcaklıkların genel olarak artan trende sahip olduğunu belirtmişlerdir.

4.3. Bağıl Nem Verileri

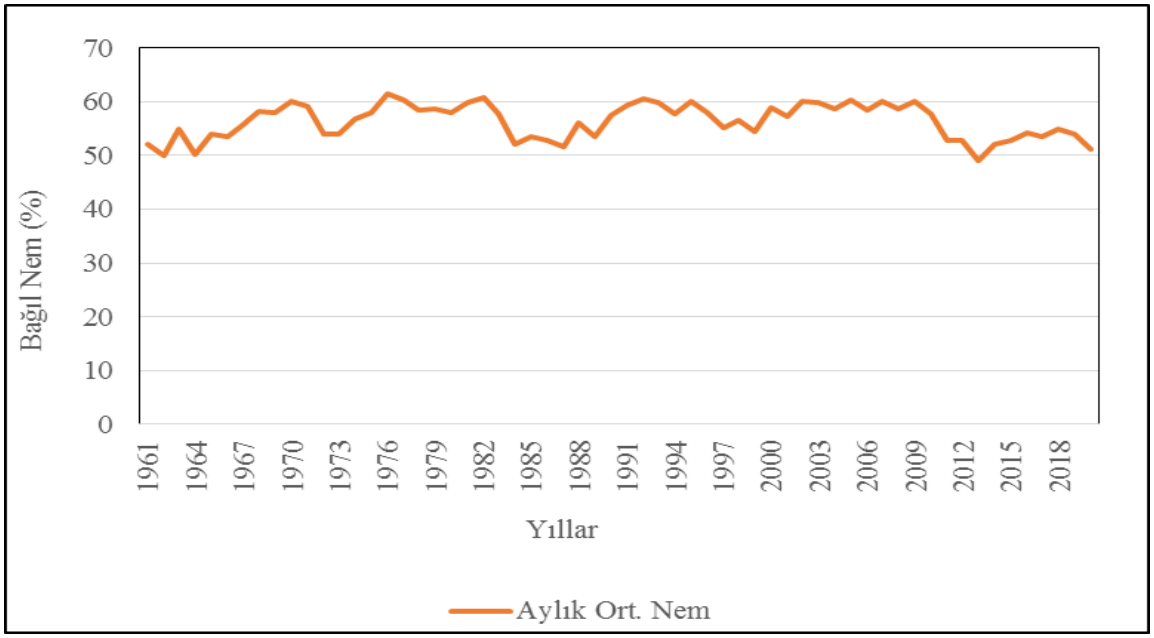
60 yıllık süre içerisinde gözlenmiş olan yıllık ortalama bağıl nem değerleri Şekil 4.2'de, aylık ve yıllık ortalama bağıl nem değerlerinin uç ve ortalama değerleri Tablo 4.5'da verilmiştir.

Tablo 4.5. Aylık ortalama bağıl nem değerlerinin aylara göre ve ayların ortalaması (yıllık) olarak 60 yıllık dönemdeki ortalama ve uç (en düşük ve en yüksek) değerleri ve uç değerlerin ait olduğu yıllar

Tablo 4.5. Aylara göre ve yıllık en düşük ve en yüksek aylık ortalama bağıl nem değerleri ve gözlendiği yıllar

Aylar	En düşük değer (°C)	En düşük değerin ait olduğu yıl	En yüksek değer (°C)	En yüksek değerin ait olduğu yıl	Ortalama değer (°C)
Ocak	39	1964	73	1968-1976-1995	64,3
Şubat	49	2013	77	1975	64,7
Mart	54	1986-1989-2014	72	1969-1976	61,8
Nisan	47	2014	70	1982	58,6
Mayıs	47	1962-2013	65	1993	57,1
Haziran	40	1966	61	1981-2005	51,3
Temmuz	26	2013	60	2006	42,1
Ağustos	24	1962	59	2002	41,5
Eylül	31	1962	61	2000-2009	50,3
Ekim	37	2020	65	1989	57,2
Kasım	54	1987-2016	72	1980	62,1
Aralık	54	1983	73	1969-1970-1974-1993-1994	65,5
Yıllık	49,1	2013	61,5	1976	56,3

Aylar için en düşük aylık ortalama bağıl nem değerinin belirgin bir özellik göstermediği 60 yıllık dönem içerisinde dağıldığı Tablo 4.5'ten anlaşılmaktadır. Aylara göre en yüksek aylık ortalama bağıl nem değerlerinin de en düşük değerlerin dağılımına benzer olarak dağıldığı anlaşılmıştır. Bağıl nemin yıllık ortalamaları dikkate alındığında en düşük değerin 2013 yılında (%49,1), en yüksek değerin ise 1976 yılında (%61,5) görüldüğü anlaşılmıştır.



Şekil 4.2. Yıllık ortalama bağıl nem değerleri (%)

Aylık ve yıllık bağıl nem değerlerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenmiş olan trend analiz sonuçları Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6 Aylık ve yıllık bağıl nem serilerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenen analiz sonuçları (1961-2020, α=0,05)

Aylar	Doğrusal Regresyon Eğimi	Mann-Kendal Testi			Spearman-Rho Testi		
		τ	Z	p	ρ	Z	p
Ocak	-0,0145	-0,134	-1,466	0,142	-0,166	-1,267	0,205
Şubat	-0,0404	-0,092	-1,011	0,312	-0,129	-1,208	0,327
Mart	-0,0595	-0,186	-2,054	0,040	-0,237	-1,824	0,068
Nisan	-0,0501	-0,104	-1,045	0,252	-0,159	-1,215	0,224
Mayıs	-0,0068	-0,016	-0,178	0,858	-0,026	-0,195	0,845
Haziran	0,0477	0,095	1,054	0,292	0,140	1,067	0,286
Temmuz	0,0303	0,065	0,724	0,470	0,082	0,626	0,533
Ağustos	0,111	0,157	1,751	0,080	0,221	1,695	0,090
Eylül	0,0353	0,074	0,824	0,410	0,088	0,674	0,503
Ekim	-0,0052	0,036	0,383	0,700	0,019	0,148	0,888
Kasım	-0-0656	-0,200	-2,199	0,028	-0,264	-2,034	0,042
Aralık	-0,0672	-0,184	-2,024	0,043	-0,260	-2,015	0,045
Yıllık	-0,0071	-0,008	-0,096	0,929	0,026	0,195	0,844

Tablo 4.6, bağıl nem değerlerinin doğrusal regresyon yöntemine ve Mann-Kendal ve Spearman-Rho testlerine göre Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs, Kasım, Aralık aylarında ve yıllık ortalama değerler yönünden azalış trendine sahip olduğunu göstermektedir. Bu

azalış trendinin Mann-Kendal testine göre Mart, Kasım ve Aralık aylarında, Spearman-Rho testine göre ise Kasım ve Aralık aylarında istatistiksel olarak önemli ($|Z|>1.96$ ve $p<0,05$) olduğu anlaşılmaktadır. Diğer aylarda ise bağıl nem değerlerinde artış trendi olduğu ancak istatistiksel olarak önemli olmadığı anlaşılmaktadır.

4.4. FAO PM ETo Verileri

60 yıllık süre içerisinde gözlenmiş olan yıllık ortalama FAO PM ETo değerleri Şekil 4.3'te, aylık ve yıllık ortalama FAO PM ETo değerlerinin uç ve ortalama değerleri Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Aylık ortalama FAO PM ETo değerlerinin aylara göre ve ayların ortalaması (yıllık) olarak 60 yıllık dönemdeki ortalama ve uç (en düşük ve en yüksek) değerleri ve uç değerlerin ait olduğu yıllar

Aylar	En düşük değer (°C)	En düşük değerin ait olduğu yıl	En yüksek değer (°C)	En yüksek değerin ait olduğu yıl	Ortalama değer (°C)
Ocak	0,49	1977	0,82	1997	0,64
Şubat	0,57	2008	1,10	2018	0,86
Mart	1,10	1992	1,95	2018	1,53
Nisan	1,97	2007	3,03	1989	2,51
Mayıs	3,23	2008	3,94	1989	3,60
Haziran	4,44	2008	5,19	2019	4,81
Temmuz	5,16	1982	5,95	1980	5,59
Ağustos	4,78	1983	5,55	2016	5,22
Eylül	4,00	1997	5,01	2017	4,52
Ekim	2,00	1965	2,64	2020	2,24
Kasım	0,98	1988	1,39	2013	1,21
Aralık	0,48	1994	0,95	1983	0,71
Yıllık	2,54	2007	2,90	2020	2,73

Aylar için en düşük aylık ortalama FAO PM ETo değerinin belirgin bir özellik göstermediği 60 yıllık dönem içerisinde dağıldığı Tablo 4.7'den anlaşılmaktadır. Aylara göre en yüksek aylık ortalama FAO PM ETo değerlerinin 1980 yılı ve sonraki yıllarda görüldüğü ve Şubat Mart, Haziran, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ayları için ve yıllık olarak en yüksek değerlerin 2013 yılı ve sonrasında oluştuğu anlaşılmaktadır. FAO PM ETo değerlerinin yıllık ortalamaları dikkate alındığında en düşük değerin 2007 yılında (2.54 mm/gün), en yüksek değerin ise 2020 yılında (2.73 mm/gün) görüldüğü anlaşılmaktadır.

Aylık ve yıllık FAO PM ETo değerlerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenmiş olan trend analiz sonuçları Tablo 4.8'de verilmiştir.

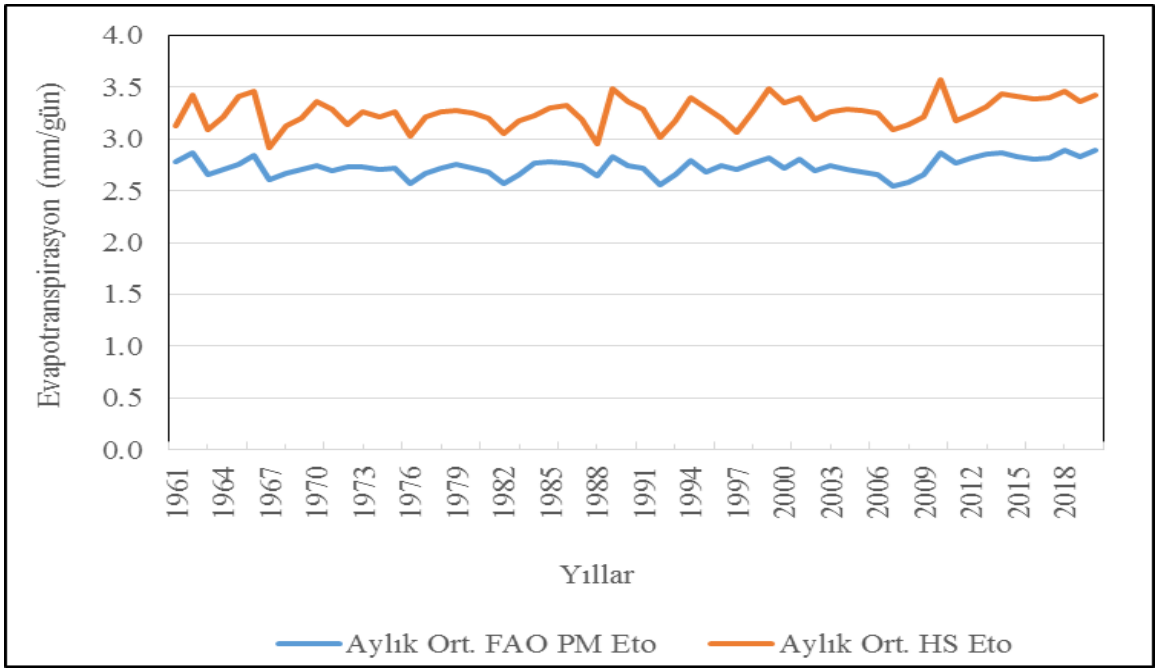
Tablo 4.8. Aylık ve yıllık FAO PM ETo serilerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenen analiz sonuçları (1961-2020, α=0,05)

Aylar	Doğrusal Regresyon Eğimi	Mann-Kendal Testi			Spearman-Rho Testi		
		τ	Z	p	ρ	Z	p
Ocak	0,0004	0,043	0,473	0,636	0,070	0,529	0,595
Şubat	0,0008	0,099	1,103	0,270	0,166	1,267	0,205
Mart	0,0035	0,229	2,575	0,010	0,339	2,650	0,008
Nisan	0,0032	0,210	2,345	0,019	0,301	2,345	0,019
Mayıs	0,001	0,075	0,835	0,403	0,119	0,906	0,365
Haziran	0,0012	0,077	0,856	0,392	0,114	0,859	0,387
Temmuz	0,0014	0,105	1,175	0,240	0,136	1,030	0,301
Ağustos	0,0011	0,079	0,893	0,372	0,124	0,945	0,345
Eylül	0,0012	0,060	0,670	0,503	0,091	0,696	0,489
Ekim	0,0015	0,147	1,597	0,101	0,201	1,539	0,124
Kasım	0,0009	0,125	1,393	0,164	0,177	1,357	0,176
Aralık	0,0012	0,143	1,580	0,114	0,218	1,670	0,095
Yıllık	0,0015	0,207	2,330	0,020	0,299	2,330	0,020

Tablo 4.8, doğrusal regresyon yöntemine göre 12 ayın tamamında ve yıllık ortalama değerler dikkate alındığında FAO PM ETo değerlerinde artış trendi olduğunu göstermektedir. Mann-Kendal testi ve Spearman-Rho testi sonuçlarına göre 12 aylık ve yıllık ortalama FAO PM ETo değerlerinde artış trendi olduğu ve bu artış trendinin Mart, Nisan ayları ve yıllık ortalama değerler için istatistiksel olarak önemli ($|Z|>1.96$ ve $p<0,05$) olduğu anlaşılmaktadır. Dadaşer Çelik ve ark. (2016) tarafından Türkiye'deki 77 meteoroloji istasyonundan alınan 1975 ile 2006 arasındaki döneme ait veriler kullanılarak Penman Monteith yöntemi ile hesaplanan ETo verilerine Mann Kendall trend testi uygulanmıştır. İstasyonların %58'inde artış trendi bulunmuştur ve bu artış trendi istasyonların %32'sinde %5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli çıkmıştır. Ayrıca aylık evapotranspirasyon değerlerinin de artış trendine sahip olduğu belirtilmiştir (Arslan, 2017).

4.5. HS ETo Verileri

60 yıllık süre içerisinde gözlenmiş olan yıllık ortalama HS ETo değerleri Şekil 4.3'te, aylık ve yıllık ortalama HS ETo değerlerinin uç ve ortalama değerleri Tablo 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.3. Yıllık ortalama evapotranspirasyon değerleri (mm/gün)

Tablo 4.9. Aylık ortalama HS ETo değerlerinin aylara göre ve ayların ortalaması (yıllık) olarak 60 yıllık dönemdeki ortalama ve uç (en düşük ve en yüksek) değerleri ve uç değerlerin ait olduğu yıllar

Aylar	En düşük değer (°C)	En düşük değerin ait olduğu yıl	En yüksek değer (°C)	En yüksek değerin ait olduğu yıl	Ortalama değer (°C)
Ocak	0,42	1983	0,98	1971	0,67
Şubat	0,67	1992	1,44	2018	0,99
Mart	1,32	1992	2,45	2001	1,83
Nisan	2,31	2007	4,27	1989	3,14
Mayıs	3,69	1963	5,41	1999	4,58
Haziran	5,28	1972	6,79	1966	5,99
Temmuz	5,95	1967	7,45	1965	6,71
Ağustos	5,53	2002	6,97	1965	6,53
Eylül	4,0	1997	5,01	2017	4,52
Ekim	1,97	1965	3,11	2020	2,56
Kasım	0,82	1988	1,86	1962	1,29
Aralık	0,45	1992	1,02	2010	0,71
Yıllık	2,91	1967	3,57	2010	3,26

En düşük aylık ortalama HS ETo değerinin belirgin bir özellik göstermediği 60 yıllık dönem içerisinde dağıldığı Çzelge 10'dan anlaşılmaktadır. Ancak, Şubat, Mart ve Aralık aylarına ait en düşük değerlerin soğuk bir yıl olarak bilinen 1992 yılında görüldüğü anlaşılmıştır. Aylar için en yüksek aylık ortalama HS değerlerinin belirgin bir özellik göstermediği 60 yıllık dönem içerisinde dağıldığı anlaşılmaktadır. HS ETo değerlerinin yıllık ortalamaları dikkate alındığında en düşük değerin 1967 yılında (2.91 mm/gün), en

yüksek değerin ise 2010 yılında (3.26 mm/gün) görüldüğü anlaşılmıştır. Benzer olarak, Moratiel et al. (2011) İspanya'nın Duero nehir havzası için yaptıkları çalışma sonucunda evapotranspirasyon değerlerinin 50 yıl içerisinde %5 ile %11 arasında artacağını belirtmişlerdir (Arslan, 2017).

Aylık ve yıllık HS ETo değerlerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenmiş olan trend analiz sonuçları Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Aylık ve yıllık HS ETo serilerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenen analiz sonuçları (1961-2020, α=0,05)

Aylar	Doğrusal Regresyon Eğimi	Mann-Kendal Testi			Spearman-Rho Testi		
		τ	Z	p	ρ	Z	p
Ocak	-0,0004	-0,022	-0,239	0,809	-0,034	-0,258	0,795
Şubat	0,0018	0,106	1,195	0,233	0,176	1,348	0,178
Mart	0,0052	0,199	2,240	0,025	0,304	2,365	0,018
Nisan	0,0061	0,193	2,184	0,029	0,291	2,260	0,024
Mayıs	0,0046	0,107	1,205	0,228	0,167	1,274	0,203
Haziran	0,0049	0,188	2,120	0,034	0,260	2,015	0,045
Temmuz	0,0017	0,071	2,033	0,422	0,098	0,746	0,456
Ağustos	0,0026	0,164	2,730	0,064	0,246	1,895	0,058
Eylül	0,0017	0,066	0,739	0,459	0,087	0,659	0,510
Ekim	0,0011	0,032	0,364	0,716	0,060	0,456	0,648
Kasım	0,0003	0,071	0,831	0,407	0,109	0,856	0,392
Aralık	0,0012	0,084	0,950	0,342	0,140	1,068	0,286
Yıllık	0,0026	0,219	2,485	0,013	0,316	2,455	0,014

Doğrusal regresyon, Mann-Kendal ve Spearman Rho yöntemlerine göre Ocak ayı haricindeki aylara ait aylık değerlerde ve yıllık ortalama HS ETo değerlerinde artış trendi olduğu, Ocak ayında ise azalış trendi olduğu Tablo 4.10'dan anlaşılmaktadır. Mann-Kendal ve Spearman-Rho testlerine göre Mart, Nisan ve Haziran ayları aylık değerlerinin ve yıllık değerlerin trend artışlarının istatistiksel olarak önemli ($|Z|>1,96$ ve $p<0,05$) olduğu da Tablo 4.10'dan anlaşılmaktadır. Martin et al. (1989), evapotranspirasyonun gerçekleşmesi için üç gerekli koşulun suyun mevcudiyeti, suyun faz değişimini sürdürecek enerji ve havadaki nem eksikliği olduğunu ve yağmur mevsimi ilerledikçe, artan su varlığı sonucu hava nemi artışına bağlı olarak ETo'nun azalacağını belirtmiştir. Dolayısıyla, ETo'da gözlemlenen bu davranış, sıcaklığın arttığı ve yağışın azaldığı bir iklim değişikliği senaryosunda evapotranspirasyonda bir artışın beklenebileceğini düşündürmektedir.

FAO PM ve HS yöntemlerine göre hesaplanmış olan ETo değerlerindeki trend artışı durumuna benzer olarak, Sabziparvar et al. (2010), son on yılda İran'ın yarı kurak ikliminde yıllık ortalama ETo oranlarının arttığını belirlemişlerdir (Tabari et al., 2011). Ancak yukarıda belirtilen bulguların aksine, Çin Poyang Gölü havzasında referans bitki su tüketimi değişimini doğrusal regresyon ve Mann-Kendall yöntemleriyle araştıran Ye et al. (2013), genel olarak yıllık ETo'nun önemli derecede azalma eğilimi gösterdiğini bildirmişlerdir. Güneşlenme süresi, bağıl nem, rüzgâr hızı ve buhar basıncı parametrelerinin eğilimi azalttığı, ortalama günlük sıcaklığın ise eğilimi önemli derecede arttırdığı söz konusu araştırıcılar tarafından belirtilmiştir (Anlı, 2014). Yine benzer olarak Arslan (2017), Niğde İli'nde potansiyel evapotranspirasyon tahminlerinin trend analizi konusunda yaptığı araştırmada potansiyel evapotranspirasyon değerlerinde bir artış trendi olduğunu ancak istatistiksel olarak anlamlı olmadığını belirtmiştir. Ünlükara ve ark. (2011) tarafından Konya ve Karaman illerinde bitki su tüketimi değişimi konusunda yapılan araştırmada Konya ili için elde edilen 12 aylık kümülatif ETo serilerinin saçılma grafiklerinin artan bir eğime sahip olduğu belirtilmiştir. Karaman iline ait ilk üç aylık kümülatif ETo serileri için elde edilen saçılma grafikleri eğiminin diğer aylardan daha düşük miktarda arttığı belirtilmiştir.

Ancak Güney asya ve Çinde yapılan araştırmalarda yukarıda belirtilenlerin aksine ETo ve pan buharlaşması değerlerinde bir azalma trendi olduğu bir çok araştırmacı tarafından belirlenmiştir. Bu durumla ilgili olarak Liu and Zhang, (2011); Peterson et al, (1995); Ma et al. (2012) son 50 yıldaki küresel ısınma bağlamında, ET0, "pan buharlaşma paradoksu" olarak adlandırılan bir olgu olarak, esas olarak azaldığını belirtmişlerdir (Yang et al. 2022). Benzer olarak Xu et al. (2006) Yangtze Nehir Havzasında Penman Monteith yöntemi ile hesapladıkları ETo değerlerinin önemli azalma trendi gösterdiklerini belirtmişlerdir. Chattopadhyay and Hulme (1997), Hindistan bölgesinde son on yıllarda sıcaklıktaki genel artışa rağmen, hem pan buharlaşmanın (Epan) hem de ETo'nun azaldığını ve bağıl nemdeki artışların ve radyasyondaki azalmaların ETo'daki azalmalar ile ilişkilendirildiğini belirtmişlerdir. (Tabari et al. 2011).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İklim değişikliği yeryüzünü küresel ölçekte etkilemektedir. Dolayısıyla, hidrolojik çevrimin bileşenlerinde oluşan değişimler nedeniyle, dünyanın her bölgesinde iklim değişikliğinin etkileri hissedilmektedir. Farklı iklim tiplerine sahip olan yeryüzünde değişen iklim şartları altında, tarımsal sulama projelerinin planlanması, bitki deseninin seçilmesi ve bitki su ihtiyacının belirlemesi gibi konularda kullanılan referans evapotranspirasyon (ETo) değerlerinin nasıl bir değişime sahip olacağının bilinmesi önemli olmaktadır. Karasal bir iklimin görüldüğü Bingöl İli'nde küresel ısınmanın etkilerinin bilinmesi önemli olmaktadır. Dolayısıyla**,** bu çalışmada, Bingöl Meteoroloji İstasyonu'nda 1961 ve 2020 yılları arasında gözlenmiş olan bazı meteorolojik veriler kullanılarak, Bingöl Ovası koşullarında iklim değişikliğinin ETo üzerindeki etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, ETo'nun hesaplanmasında kullanılan minimum sıcaklık, maksimum sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin de zamansal değişimi incelenmiştir.

1961-2020 yılları arasında gözlenen, aylara göre en yüksek aylık ortalama minimum sıcaklık değerlerinin Ocak ayı haricinde 1980 ve sonraki yıllarda ve özellikle de 2000 yılından sonraki yıllarda görüldüğü anlaşılmaktadır. Minimum sıcaklık değerlerinin yıllık ortalamaları dikkate alındığında en düşük değerin 2007 yılında (3,9 °C), en yüksek değerin ise 2018 yılında (9,2 °C) görüldüğü anlaşılmıştır. Aylık ve yıllık ortalama minimum sıcaklık serilerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenen analiz sonuçlarına göre Minimum sıcaklık değerlerinde artış trendi olduğu ve istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) olduğu anlaşılmaktadır.

1961-2020 yılları arasında gözlenen maksimum sıcaklıkların yıllık ortalamaları dikkate alındığında en düşük değerin 1992 yılında (15,8 °C), en yüksek değerin ise 2018 yılında (18,6 °C) görüldüğü anlaşılmıştır. Aylık ve yıllık ortalama maksimum sıcaklık serilerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenen analiz sonuçlarına göre aylık ve yıllık ortalama Maksimum sıcaklık değerlerinde Ocak ayı haricindeki 11 ayın tamamında ve yıllık ortalama değerler dikkate alındığında maksimum

sıcaklıklarda artış trendi olduğu, Ocak ayında ise azalış trendi olduğu anlaşılmaktadır ve bu artış trendinin Mart, Nisan, Haziran Ağustos ayları ve yıllık ortalama değerler için istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) olduğu anlaşılmaktadır.

1961-2020 yılları arasında gözlenen aylık (ortalama) bağıl nem değerlerinin aylara göre ve yıllık olarak en düşük en yüksek ve ortalama değerleri incelendiğinde aylar için en düşük aylık ortalama bağıl nem değerinin belirgin bir özellik göstermediği 60 yıllık dönem içerisinde dağıldığı anlaşılmaktadır. Bağıl nemin yıllık ortalamaları dikkate alındığında en düşük değerin 2013 yılında (%49,1), en yüksek değerin ise 1976 yılında (%61,5) görüldüğü anlaşılmıştır. Aylık ve yıllık bağıl nem serilerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenen analiz sonuçlarına göre bağıl nem değerlerinin doğrusal regresyon yöntemine ve Mann-Kendal ve Spearman-Rho testlerine göre Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs, Kasım, Aralık aylarında ve yıllık ortalama değerler yönünden azalış trendi gösterdiği anlaşılmıştır. Bu azalış trendinin Mann-Kendal testine göre Mart, Kasım ve Aralık aylarında, Spearman-Rho testine göre ise Kasım ve Aralık aylarında istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) olduğu anlaşılmıştır. Diğer aylarda ise bağıl nem değerlerinde artış trendi olduğu ancak istatistiksel olarak önemli olmadığı anlaşılmıştır.

60 yıllık süre içerisinde gözlenmiş olan aylık (ortalama) FAO PM ETo değerlerinin aylara göre ve yıllık olarak en düşük en yüksek ve ortalama değerleri incelendiğinde, aylık ve yıllık FAO PM ETo serilerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenen analiz sonuçları doğrusal regresyon yöntemine göre 12 ayın tamamında ve yıllık ortalama değerler dikkate alındığında FAO PM ETo değerlerinde artış trendi olduğu anlaşılmaktadır. Mann-Kendal testi ve Spearman-Rho testi sonuçlarına göre 12 aylık ve yıllık ortalama FAO PM ETo değerlerinde artış trendi olduğu, anlaşılmaktadır ve bu artış trendinin Mart, Nisan ayları ve yıllık ortalama değerler için istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) olduğu anlaşılmaktadır.

60 yıllık süre içerisinde gözlenmiş olan aylık ortalama HS ETo değerlerinin aylara göre ve yıllık olarak en düşük en yüksek ve ortalama değerlerine göre, en düşük ve en yüksek aylık ortalama HS ETo değerinin belirgin bir özellik göstermediği 60 yıllık dönem içerisinde dağıldığı anlaşılmaktadır. HS ETo değerlerinin yıllık ortalamaları dikkate alındığında en düşük değerin 1967 yılında (2.91 mm/gün), en yüksek değerin ise 2010 yılında (3.26

mm/gün) görüldüğü anlaşılmıştır. Aylık ve yıllık HS ETo değerlerinin doğrusal regresyon, Mann-Kendal testi ve Spearman Rho testi ile belirlenmiş olan trend analiz sonuçları incelendiğinde doğrusal regresyon, Mann-Kendal ve Spearman Rho yöntemlerine göre Ocak ayı haricindeki aylara ait aylık ortalama ve yıllık ortalama HS ETo değerlerinde artış trendi olduğu, Ocak ayında ise azalış trendi olduğu anlaşılmaktadır. Mann-Kendal ve Spearman-Rho testlerine göre Mart, Nisan ve Haziran ayları ve yıllık trend artışlarının istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) olduğu anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

Akın, G. (2017). Küresel isınma, nedenleri ve sonuçları. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 46(2).

Aksu, N. (2013). *Yapay Sinir Ağları İle Zaman-Konum Bilgileri Kullanılarak Referans Bitki Su Tüketiminin Tahmin Edilmesi*. (Doktora Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements*-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome 300(9), D05109.

Altındağ, M. (2007). *Gap Alanında Farklı Yöntemlere Göre Hesaplanan Referans Bitki Su Tüketimi Değerlerinin Gidiş Analizi.* (Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Amarkaı, P. A. (2019). *İklim Parametrelerindeki Değişimin Bitki Su Tüketimine Etkisi.* Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Anlı, A. S. (2014). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Referans Bitki Su Tüketiminin *(ET_0)* Zamansal Değişimi ve *RDI* (Keşif Kuraklık İndeksi) Yöntemiyle Meteorolojik Kuraklık Analizi, *Tarım Bilimleri Dergisi,* 20, 248-260.

Anonim (2019). Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) (https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m)

Antonopoulos, V. Z., and Antonopoulos, A. V. (2017). Daily reference evapotranspiration estimates by artificial neural networks technique and empirical equations using limited input climate variables. *Computers and Electronics in Agriculture,* 132, 86-96.

Arslan, O. (2017). Niğde İli'ndeki Potansiyel Evapotranspirasyon Tahminlerinin Trend Analizi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6*(2), 602-608.

Ateş, İ. (2008). *Küresel Isınmanın Sebep Olacağı Siyasal ve Ekonomik Gelişmeler ve Muhtemel Türkiye Yansımaları*. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gebze, s. 76.

Awchi, T. A. (2008). Application of Radial Basis Function Neural Networks for Reference Evapotranspiration Prediction, *Al-Rafidain Engineering,* Vol.16, No.1, Water Resources Engineering Department - College of Engineering/ University of Mosul/Iraq.

Bayramoğlu, E. (2013). Trabzon İlinde İklim Değişikliğinin Mevsimsel Bitki Su Tüketimine Etkisi: Penman-Monteith Yöntemi, *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi,* 13, 300-306.

Beşel, C., ve Kayıkçı, E. T. (2016). Meteorolojik Verilerin Zaman Serisi ve Tanımlayıcı İstatistikler ile Yorumlanması; Karadeniz Bölgesi Örneği, TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, 13-14 Ekim 2016, Ankara.

Büyükkaracığan, N. (2019). *Hidrolojik Verilerin Değişkenlik Analizi Ve Uygulamaları,* İksad Yayınları, ISBN: 978-625-7029-03-2, 1-108.

Chattopadhyay, N., Hulme, M. (1997). Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climatic change. *Agric. For. Meteorol.87* (1), 55-74.

Chen, Z., Zhu, Z., Jiang, H., and Sun, S. (2020). Estimating daily reference evapotranspiration based on limited meteorological data using deep learning and classical machine learning methods. *Journal of Hydrology,* 591, 125286.

Cosun, F., ve Karabulut, M. (2009). Kahramanmaraş'ta ortalama, minimum ve maksimum sıcaklıkların trend analizi. *Türk Coğrafya Dergisi,* 53, 41-50.

Çakmak, B., and Gökalp, Z. (2011). İklim değişikliği ve etkin su kullanımı. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences,* 4(1), 87-95.

Dadaşer-Çelik, F., Cengiz, E., and Güzel, Ö. (2016) "Trends in Reference Evapotranspiration in Turkey: 1975-2006", *International Journal of Climatology, 36,* 1733-1743.

Demir, Y., and Canbolat, M. Y. (2018). The Classification of Soils Formed Over Göynük River (Bingöl) Terraces and Determination of Their Physico-Chemical Propertiesa. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 5*(4), 604-612.

Demir, Y., and Canbolat, M. Y. (2021). *Bingöl İli Toprak Bitki ve Su Kaynakları, Bölüm* 5: *Bingöl Ovası Çayağzı Mevkii Topraklarının Bazı Hidrofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi,* Publisher: Gece Publishing, 69-83.

Demir, İ., Kılıç, G., ve Coşkun, M. (2008). Türkiye'de maksimum, minimum ve ortalama hava sıcaklıkları ile yağış dizilerinde gözlenen değişiklikler ve eğilimler. TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 69-84. TMMOB adına TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası, Ankara.

Elnesr, M., Alazba, A., and Abu-Zreig, M. (2010). Analysis of Evapotranspiration Variability and Trends in the Arabian Peninsula". *American Journal of Environmental Sciences, 6*, 535-547.

Falamarzi, Y., Palizdan, N., Huang, Y. F., and Lee, T. S. (2014). Estimating evapotranspiration from temperature and wind speed data using artificial and wavelet neural networks (WNNs). *Agricultural Water Management*, 140, 26-36.

Feng, Y., Cui, N., Zhao, L., Hu, X., and Gong, D. (2016). Comparison of ELM, GANN, WNN and empirical models for estimating reference evapotranspiration in humid region of Southwest China. *J. Hydol*, 536, 376-383.

Ferreira, L. B., da Cunha, F. F., de Oliveira, R. A., and Fernandes Filho, E. I. (2019). Estimation of reference evapotranspiration in Brazil with limited meteorological data using ANN and SVM-A new approach. *J. Hydol*, 572, 556-570.

Gao, G., Chen, D., Xu, C. Y., and Sielton, E. (2007). "Trend of Estimated Actual Evapotranspiration over China during 1960-2002". *Journal of Geophysical Research*, 112, 1-8.

Hargreaves, G. H., and Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Appl. Eng. in Agric. Trans. ASAE, 1*(2), 96-99.

Hakgören, F. (1996). Sulama, Planlama ve Projeleme İlkeleri, Akdeniz Üniversitesi Yayını, Yayın No: 67, Antalya, s 237.

Huo, Z., Dai, X., Feng, S., Kang, S., and Huang, G. (2013). Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China. *Journal of Hydrology*, 492, 24-34.

Huang, J. P., Yu, H. P., Dai, A. G., Wei, Y., and Kang, L. T. (2017). Drylands face potential threat under 2°C global warming target. *Nat. Clim. Chang*, 7, 417-422.

IPCC (1995). IPCC second assessment. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO-UNEP. https://archive.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf

Jensen, M. E. (1990). *Consumptive Use of Water and Ġrrigation Water Requirements.* Irrig. Drain. Div. Report, American Soc. Civil Engineers, 98(IR2), p. 193-201.

Kanber, R., Baştuğ, R., Büyüktaş, D., Ünlü, M., ve Kapur, B. (2010). Küresel iklim değişikliğinin su kaynakları ve tarımsal sulamaya etkileri. Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Bildiriler Kitabı I.Cilt, 539-558, 11-15 Ocak 2010.

Kara, F., ve Cemek, B. (2019). Orta Karadeniz Bölgesi Toprak Sıcaklığının Zaman Serisi Analizi Yöntemiyle Modellenmesi. *Toprak Su ,* Özel Sayı, 115-121.

Karaman, S., ve Gökalp, Z. (2010). Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Su Kaynakları Üzerine Etkileri. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences, 3*(1), 59-66.

Kaya, S, Evren, S, Daşcı E, Bakır, H., ve Adıgüzel, M. C. (2012). Iğdır Pvsası koşullarnda pan evaporasyonu kullanılarak referans evaporasyon eşitliklerinin değerlendirilmesi. *Bingöl Üniv. Fen Biliml. Enst. Türk Doğa ve Fen Dergisi, 1*(2), 7-14.

Kaya, S., Gökdoğan, O, Demir, A. D., ve Malaslı, M. Z. (2013). Sıcaklık verileri kullanılarak referans evapotranspirasyonun belirlenmesi. 3. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi Bildirileri Kitapçığı, 399-407, 22-24 Ekim 2013, Tokat.

Kırtan, A. (2019). *Karadeniz Bölgesi Referans Evapotranspirasyon Hesaplamalarında Güneş Radyasyon Verileri ve Referans Evapotranspirasyon Frekans Analizi.* (Yüksek Lisans Tezi) (Basılmamış). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Ana bilim Dalı, Kayseri.

Kişi, Ö. (2006). Generalized Regression Neural Networks for Evapotranspiration Modelling. *Hydrological Sciences Journal, 51*,6, 1092-1105.

Liu, C. M., and Zhang, D., (2011). Temporal and spatial change analysis of the sensitivity of potential evapotranspiration to meteorological influencing factors in China. *Acta Geograph. Sin. 66*(5), 579-588.

Ma, X. N., Zhang, M. J., Wang, S. J., Ma, Q., and Pan, S., (2012). Evaporation paradox in the Yellow River Basin. *Acta Geograph. Sin. 67*(5), 645-656.

Martin, D. L., Gilley, J. R., and Suppala, R. J., (1989). Evaluation of Irrigation Planning Decisions. *J. Irrig. Drain. Eng.,* 115, 58-77.

Moratıel, R., Snyder, R. L., Dur´an, J. M., and Tarquıs, A. M. (2011) Trends in Climatic Variables and Future Reference Evapotranspiration in Duero Valley (Spain). *Natural Hazards Earth System Sciences, 11*, 1795-1805.

Najifar, P. (2018). *Yapılarda Yağmur Suyu Kullanma Olanakları.* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı, Ankara.

Nam, W. H., Hong, E. M., and Choi, J. Y. (2015). Has climate change already affected the spatial distribution and temporal trends of reference evapotranspiration in South Korea?. *Agricultural Water Management,* 150, 129-138.

Nam, W. H., Tadesse, T., Wardlow, B. D., Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Hong, E. M., Pachepsky, Y. A., and Jang, M. W. (2018). Developing the vegetation drought response index for South Korea (VegDRI-SKorea) to assess the vegetation condition during drought events. *Int. J. Remote Sens., 39*(5), 1548-1574.

Peterson, T. C., Golubev, V. S., and Groisman, P. Y., (1995). Evaporation losing its strength. *Nature 377,* 687.

Sabziparvar, A. A., and Tabari, H. (2010). Regional estimation of reference evapotranspiration in arid and semi-arid regions. *J. Irrig. Drain. Eng., 136*(10), 724-731.

Sabziparvar, A. A., Tabari, H., Aeini, A., and Ghafouri, M. (2010). Evaluation of class A pan coefficient models for estimation of reference crop evapotranspiration in coldsemi arid and warm arid climates. *Water Resour. Manage.,* 24, 909-920.

Saplıoğlu, K., ve Kilit, M. (2012). "İklim Değişikliğinin Afyon İlindeki Yağış ve Sıcaklıklara Etkisinin Araştırılması ve Trendlerinin Belirlenmesi". *e-Journal of New World Sciences Academy,* 7, 696-705.

Selçuk, İ. Ş. (2009). *Küresel Isınma, Türkiye'nin Enerji Güvenliği ve Geleceğe Yönelik Enerji Politikaları*. (Yüksek Lisans Tezi). A.Ü., SBE, İktisat ABD. Ankara, s 166.

Shiri, J., Sadraddini, A. A., Nazemi, A. H., Kisi, O., Fard, P. M. A. F., and Landeras, G. (2013). Evaluation of different data management scenarios for estimating daily reference evapotranspiration. *Hydrol. Res, 44*(6), 1058-1070.

Smith, M., Allen, R. G., Monteith, J. L., Perrier, A., Pereira, L. S., and Segeren, A. (1991). Report of the expert consultationon procedures for revision of FAO guidelines for prodectionof crpo water requirements. UN-FAO, Rome, Italy, p 54.

Smith, M., Allen, R. G. and Pereira, L. S. (1996). *Revised FAO Methodology for Crop Water Requirements*. Proceeding of International Evaporation and Irrigation Scheduling Conference:116-123,3-6 November 1996, San Antonio,TX.

Soylu, H. (2010). Bingöl'ün Coğrafi Özellikleri. III. Bingöl Sempozyumu Bildirileri, 413-435, 17-19 Eylül 2010, Bingöl.

Şapolyo, D., ve Topaloğlu, F. (2020). Ege Bölgesi Aylık Sıcaklık Verilerinin Bölgesel Ortalama Mann-Kendall Testi İle Trend Analizi. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,39*(6), 71-80.

Şenyiğit, U., ve Akbolat, D. (2010). Farklı Sulama Yöntemlerinin Topraktan Karbondioksit (CO_2) çıkışı üzerine etkisi. *Ekoloji*, *19*(77), 59-64.

Şimşek, H., Yürekli, K., and Ünlükara, A. (2014). Konya-Merkez'de referans bitki su tüketimindeki değişimin belirlenmesi. 16-18 Eylül, Konya, 90-96.

Tabari, H. (2010). Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates. *Water Resour. Manage.*, 24, 2311-2337.

Tabari, H., Marofi, S., Aeini, A., Hosseinzadeh Talaee, P., and Mohammadi, K. (2011). Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of lran. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(2011),128-136.

Tokgöz, S., ve Partal, T. (2020). Karadeniz Bölgesinde yıllık yağış ve sıcaklık verilerinin yenilikçi şen ve mann-kendall yöntemleri ile trend analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, *10*(2), 1107-1118.

Traore, S., Wang, Y. M., and Kerh, T. (2008). Modeling reference evapotranspiration by generalized regression neural network in semiarid zone of Africa. *WSEAS Trans. Inf. Sci. Appl*, *6*, 991-1000.

Türkeş M., Sümer U. M., and Kılıç G. (1996) Observed changes in maximum and minimum
temperatures in Turkey. *Int J Climatol 16*, 463-477.

Türkeş, M. (2001). *Hava, iklim, Siddetli Hava Olayları ve Küresel Isınma*. Devlet Meteoroloji İsleri Genel Müdürlügü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi: 1, 187-205, Ankara.

Türkeş, M., ve Sümer, U. M. (2004). Spatial and temporal patterns of trends and variability in diurnal temperature ranges of Turkey. *Theor. Appl. Climatol.*, 77, 195-227.

Türkeş, M., Sümer, U. M., and Demir, İ. (2002). Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929-1999. *Int J Climatol*., 22, 947-977.

Türkeş, M. (1997). Hava ve iklim kavramları üzerine. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, 355*, 36-37.

Türkeş, M., Sümer, U. M., ve Çetiner, G. (2000). *Küresel İklim Değişikliği ve Olası Etkileri*. Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları (13 Nisan 2001, İstanbul Sanayi Odası), 7-24, ÇKÖK Gn. Md., Ankara.

Türkeş, M. (2007). Küresel İklim Değişikliği Nedir? Temel Kavramlar, Nedenleri, Gözlenen ve Öngörülen Değişiklikler. I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi-TİKDEK, İTÜ, İstanbul.

Uçak, A. B., Gençoğlan, C., and Değirmenci, H. (2013). The Effect of Direct and Traditional Seeding Methods and Different Water Levels on the Water-Yield Relationship of Drip Irrigated Corn. *Journal of Food, Agriculture Environment, 11*(3-4), 828-833.

Ünlükara, A., ve Yürekli, K. (2014). Orta Anadolu Bölgesi'nde referans bitki su tüketimi trend analizi, Uluslararası ve Çölleşme Sempozyumu, 16-18 Eylül, Konya, 96-102.

Ünlükara, A., Yürekli, K., Aküzüm, T., Örs, İ., and Safi, S. (2011). Konya ve Karaman İllerinde Bitki Su Tüketimi (ETo) Değişiminin Analizi. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, 4* (1), 1-5.

Wang, X., Liu, H., Zhang, L., and Zhang, R. (2014). Climate Change Trend and Its Effects on Reference Evapotranspiration at Linhe Station, Hetao Irrigation District. *Water Science and Engineering, 7*, 250-266, 2014.

Watanabe, K., Yamamoto, T., Yamada, T., Sakuratani, T., Nawata, E., Noichana, C., Sributta, A. and Higuchi, H. (2004). Changes in seasonal evapotranspiration, soil water content, and crop coefficients in sugarcane, cassava, and maize fields in Northeast Thailand. *Agricultural Water Management, 67*(2), 133-143.

Xu, C., Gong, L., Jiang, T., Chen, D., and Singh, V. P., (2006). Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. J. *Hydrol. 327*, 81-93.

Yang, Z., Liu, Q., and Cui, B. (2011) Spatial distribution and temporal variation of reference evapotranspiration during 1961-2006 in the Yellow River Basin, China. *Hydrological Sciences Journal 56*(6), 1015-1026.

Yang, L., Yaochen, Q., and Peijun, R. (2022). Evolution of potential evapotranspiration and its sensitivity to climate change based on the Thornthwaite, Hargreaves, and Penman-Monteith equation in environmental sensitive areas of China. *Atmospheric Research, 273*,1-17.

Yassen, A. N., Nam, W. H., and Hong, E. M. (2020). Impact of climate change on reference evapotranspiration in Egypt. *Catena*, 194, 104711.

Ye, X. C., Liu, J., and Zhang, Q. (2013)Trends of Estimated Potential Evapotranspiration in the Poyang Lake Basin, China, *Advanced Materials Research*, 726-731, 3299-3302.

Yılmaz, S., Toy, S., ve Yılmaz, H. (2010). Doğu Karadeniz Bölgesi'nde iklim değişikliğinin ve bölgenin bitki örtüsü üzerindeki etkisinin Artvin İli özelinde incelenmesi. 3. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi Bildirileri, IV, 1523-1531, 20-22 Mayıs 2010.

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

Yönten, A. (2007). *Küresel Isınmanın Azaltılması Politikaları ve Stratejileri-Türkiye için bir Yaklaşım*. (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniv. SBE, Kamu Yönetimi ABD, İzmir, 170 s.

Yue, S. and Wang, C.Y. (2002). Regional Streamflow Trend Detection with Consideration of Both Temporal and Spatial Correlation. *International Journal of Climatology, 22*(8), 933-946.

Zwane, E. M. (2019). İklim değişikliğinin Güney Afrika'nın Western Cape kentinde birincil tarım, su kaynakları ve gıda güvenliği üzerindeki etkisi. Jàmbá: *Afet Risk Araştırmaları Dergisi, 11*(1), 1-7.

Zhao, T., Chen, L., and Ma, Z. (2014). Simulation of historical and projected climate change in arid and semiarid areas by CMIP5 models. *Chinese Science Bulletin, 59*, 412-429.