

2040-2059 yılları için SSP3-7.0 senaryosu kullanılarak Türkiye'nin bazı iklim parametrelerinin tahmin edilmesi

Eser CELIKTOPUZ⁽¹⁾



¹Tarımsal Yapılar ve Sulama

Mühendisliği Bölümü, Ziraat Fakültesi,
Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye

Atıf: Çeliktöpuz, E. (2024). SSP3-7.0 senaryosu kullanılarak 2040-2059 yılları için Türkiye'nin bazı iklim parametrelerinin tahmin edilmesi. Uluslararası Tarım, Çevre ve Gıda Bilimleri Dergisi, 8(1), 62-71

Alındı: 20 Kasım 2023

Kabul edildi: 7 Ocak 2024

Çevrimiçi yayımlandı: 25 Mart 2024

Yazışmalar: Eser CELIKTOPUZ

E-posta: eceliktöpuz@cu.edu.tr

Çevrimiçi olarak <https://dergipark.org.tr/jaefs>
<https://jaefs.com/> adresinde mevcuttur.



Bu makale Creative Commons Attribution-NonCommercial hüküm ve koşulları altında dağıtılan açık erişimli bir makaledir.
(CC BY-NC) 4.0 Uluslararası Lisans
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

Telif hakkı © 2024 yazarlar tarafından.

Özet

Bu çalışma, küresel iklim değişikliğinin Türkiye iklimi üzerindeki çok yönlü etkilerini ortaya çıkarmak için Birleştirilmiş Modeller Arası Karşılaştırma Projelerini (CMIPs) ve CMIPs'in Altıncı aşamasını (CMIP6) kullanmaktadır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Değerlendirme Raporları için temel teşkil eden CMIP6 verileri, özellikle orta-yüksek referans senaryosu SSP3-7 altında gelecekteki iklim senaryolarının öngörülmesine temel oluşturmaktadır. Yenilikçi Multi-Model Ensemble (MME) yaklaşımı da dahil olmak üzere bir dizi küresel iklim modelini kullanan bu çalışma, Türkiye'nin hassas iklim projeksiyonlarını geliştirmek için tahminleri birleştirmektedir. 1951'den 2020'ye kadar uzanan tarihsel veriler, tanımlayıcı istatistikler ve regresyon analizi de dahil olmak üzere titiz istatistiksel analizlere tabi tutulmuştur. Bulgular, Türkiye'nin yıllık ortalama sıcaklığında son yıllarda hızlanan bir artış eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır. Yıllık yağışlarda 1951'den 2020'ye kadar önemli bir uzun vadeli eğilim olmamasına rağmen, yağıştaki değişim oranı hızlanmakta ve bu da gelecekteki potansiyel zorluklara işaret etmektedir. SSP3-7.0 senaryosu kapsamında 2040-2059 yılları için yapılan projeksiyonlar, Türkiye genelinde ortalama sıcaklıkta eşit olmayan bir artışa işaret etmekte olup, en önemli etkiyi güney ve batı bölgeleri görmektedir. Bu ısınma eğilimi, mahsul verimini değiştirerek ve çiftlik hayvanları için ısı stresi riskini artırarak tarım için yakın tehditler oluşturmaktadır. Ayrıca, sıcak günler ve tropik gecelerdeki artışın yanı sıra yağışlarda öngörülen azalma, adaptif önlemlerin aciliyetinin altını çizmektedir. Türkiye iklim değişikliğinin karmaşık ortamında yol alırken, bu çalışma değerli bilgiler sunmakta ve bilinçli karar verme için sağlam iklim modellemesinin önemini vurgulamaktadır. Sonuçlar, Türkiye'nin karşı karşıya olduğu yakın zorlukların altını çizmekte ve hem ulusal hem de küresel ölçekte proaktif iklim eyleminin kritik önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, Değişen iklim koşulları, Yağış

Giriş

Devam etmekte olan iklim krizinin ayırt edici özelliklerinden biri olan küresel sıcaklıklardaki şiddetli artış, dünya genelindeki bölgeler üzerinde derin etkilere sahiptir. Sıcaklık artışları, Akdeniz havzasındaki konumu nedeniyle iklim değişikliğinin etkilerine karşı özellikle savunmasız olan Türkiye üzerinde de büyük bir etkiye sahip olabilir. Tokuşlu'ya (2022) göre, bu bölgedeki ısınmanın küresel ortalamaı aşması ve ülkenin tarım, su kaynakları ve biyolojik çeşitliliği için olumsuz sonuçlar doğurması ihtimali yüksektir.

Artan eşitsizlik ve çevresel bozulmanın yanı sıra sürdürülebilir ekonomik büyümeyi öngören orta-yüksek referans senaryosu SSP3-7 kapsamında Türkiye karmaşık bir zorluklar ağıyla karşı karşıyadır. Öngörülen eğilimler, türetilmiş

Bir dizi küresel iklim modelinden elde edilen veriler, küresel nüfusta bir artışa işaret etmektedir,

ekonomik büyüme ve fosil yakıt kullanımı, tarım ve kentsel gelişimin arazi kullanımına hakim olması. Multi-Model Ensemble (MME) yaklaşımı, farklı modellerden gelen tahminleri birleştirerek gelecekteki iklim tahminlerinin doğruluğunu artırmaktadır.

Acar ve diğerleri (2018) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'deki aşırı sıcaklıklardaki uzun vadeli değişiklikleri analiz etmek amacıyla 156 meteoroloji istasyonundan elde edilen günlük minimum ve maksimum sıcaklıklar incelenmiştir. Çalışma, Mann-Kendall eğilim analizi ve küme analizi kullanarak sıcak ve soğuk günlerdeki eğilimleri incelemektedir. Sıcak günlerin sıklığı artarken soğuk günlerin sıklığının düştüğü tespit edilmiştir. Aşırı sıcak günlerin sıklığı 2000 yılından bu yana artarken, aşırı soğuk günlerin sıklığı 2005 yılından bu yana azalmıştır. Kayıtlara geçen en sıcak yıl 2010'dur. 1951'den 2020'ye kadar olan tarihsel verileri analiz eden bu mevcut çalışma, Türkiye'nin yıllık ortalama sıcaklığında kesin bir artış yörüngesini ortaya koymaktadır. Paradoksal bir şekilde, yıllık yağış miktarı, genel olarak önemli bir uzun vadeli eğilim olmamasına rağmen, son on yıllarda hızlanan bir değişim oranı sergilemektedir. Bu muamma, iklim değişikliğinin yağış modelleri üzerindeki etkilerinin karmaşıklığının altını çizmekte ve gelecekteki potansiyel zorluklara işaret etmektedir.

2040-2059 yılları için yapılan projeksiyonlar endişe verici bir tablo çizmektedir. Türkiye, bölgeler arasında dengesiz bir şekilde dağılan ve tarım ve hayvancılık için yakın tehditler oluşturan ortalama sıcaklıkta bir artış öngörmektedir. Yağışlarda öngörülen azalma, özellikle Ege ve Akdeniz bölgelerinde sıcak günler ve tropik gecelerdeki artışla birleştiğinde, uyum önlemlerinin aciliyetinin altını çizmektedir.

Bu çalışma, iklim değişikliğinin Türkiye üzerindeki etkilerini anlamak için Birleştirilmiş Modeller Arası Karşılaştırma Projelerinden (CMIPs) elde edilen iklim projeksiyon verilerini incelemektedir. IPCC Değerlendirme Raporlarının önemli bir bileşeni olan CMIP6 verileri, gelecekteki iklim senaryolarının değerlendirilmesi için kapsamlı bir temel sağlamaktadır (Hoegh-Guldberg vd., 2019). Bu çalışma, 2040-2059 yılları arasındaki iklim değişikliği senaryolarını inceleyerek bu değişikliklerin Türkiye üzerindeki potansiyel etkilerini anlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca, dünya insan kaynaklı iklim değişikliğinin sonuçlarıyla boğuşurken, bu çalışma sadece Türkiye için yaklaşan zorluklara ışık tutmakla kalmıyor, aynı zamanda hem ulusal hem de küresel ölçekte bilinçli karar verme için sağlam iklim modellemesinin önemini vurguluyor.

MALZEMELER VE YÖNTEMLER

İklim projeksiyonu için veri seçimi

İklim projeksiyon verileri, Dünya İklim Araştırma Programı tarafından denetlenen Birleştirilmiş Modeller Arası Karşılaştırma Projelerinin (CMIPs) küresel iklim modeli derlemelerinden modellenen verilerdir. Sunulan veriler CMIP6 olup, CMIP'lerin Altıncı aşamasından elde edilmiştir. CMIP'ler IPCC Değerlendirme Raporlarının veri temelini oluşturmaktadır. CMIP6, IPCC'nin Altıncı Değerlendirme Raporunu desteklemektedir. Projeksiyon verileri 1.0° x 1.0° (100km x 100km) çözünürlükte sunulmaktadır. İklim Değişikliği Bilgi Portalı (CCKP), üretildikçe ve uygun oldukça yeni, ek göstergeler eklemeye devam etmektedir.

Senaryo seçimi

SSP3-7, ekonomik büyümenin ve teknolojik gelişmenin devam ettiğini, ancak aynı zamanda eşitsizliğin ve çevresel bozulmanın arttığını varsayan orta-yüksek referans senaryosudur. SSP3-7, küresel nüfus, ekonomik büyüme, enerji kullanımı ve arazi kullanımının geleceğine ilişkin bir dizi varsayıma dayanmaktadır (Fujimori vd., 2017). Bu varsayımlar, gelecekteki iklimi simüle etmek için bir dizi küresel iklim modelini yönlendirmek için kullanılır. SSP3-7'nin spesifik varsayımları aşağıdaki gibidir:

- Küresel nüfus 2100 yılında 10,8 milyara ulaşacak.
- Kişi başına düşen küresel Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH) yılda %2,5 oranında artmaktadır.
- Fosil yakıt kullanımı artmaya devam ediyor, ancak yenilenebilir enerji kullanımı da artıyor.
- Arazi kullanımında tarım ve kentsel gelişim hakimdir.

Model seçimi

Multi-Model Ensemble'da (MME) her modelin tahminleri ayrı ayrı hesaplanır ve daha sonra çeşitli yöntemler kullanılarak birleştirilir. En yaygın yöntem, tüm modellerin tahminlerinin ortalamasını almaktır (Kug vd., 2008). MME yönteminin seçimi özel uygulamaya ve mevcut verilere bağlıdır.

Tarihsel veri seçimi ve İstatistiksel analiz

Bu çalışmada kullanılan 1951-2020 dönemine ait tarihsel veriler CCKP'den temin edilmiştir. Bu portal, analizimiz için kritik öneme sahip olan sıcaklık ve yağış kayıtları da dahil olmak üzere kapsamlı iklim verileri sağlamaktadır. Bu veriler kullanılarak, tarihsel referans dönemi 1995'ten 2014'e kadar belirlenmiş ve böylece sağlam bir temel oluşturulmuştur. doğru regresyon modellemesi. Bu verileri işlemek için CMIP6 modellerini içeren MME yaklaşımı uygulanmıştır. Bu

yıllar boyunca iklim modellerinin ayrıntılı bir incelemesini içererek Türkiye'de meydana gelen iklim değişiklikleri hakkında ayrıntılı bilgiler sağlamıştır. Bu çalışmada iklim verilerini analiz etmek için kullanılan regresyon modeli, Phyton'daki iklim eğilimlerini anlamak ve tahmin etmek için tasarlanmış istatistiksel bir araçtır. Bu model, sıcaklık ve yağış gibi çeşitli iklim parametreleri arasındaki ilişkiyi zaman içinde incelemektedir. Model, geçmiş verileri bir araya getirerek örüntüleri ve eğilimleri tanımlar ve bunlar daha sonra gelecekteki iklim koşulları hakkında projeksiyonlar yapmak için kullanılır. Bu modelin gücü, doğru ve güvenilir tahminler sağlayarak büyük ve karmaşık veri kümelerini işleme yeteneğinde yatmaktadır. Metodoloji, gelecekteki projeksiyonların üzerine inşa edildiği temel eğilimleri oluşturmak için geçmiş iklim verilerinin analiz edilmesini içerir. Bu yaklaşım, iklim değişikliğinin Türkiye gibi belirli bölgelerdeki etkilerinin anlaşılmasında özellikle etkilidir. Bu süreç aşağıdaki adımları içermektedir:

Veri Toplama: 1951'den 2020'ye kadar olan tarihsel iklim verileri CCKP'den elde edilmiştir.

Değişken Seçimi: Sıcaklık ve yağış, çalışmanın hedefleriyle olan ilgilerine göre seçilmiştir. **Model Spesifikasyonu:** Zaman içinde bu değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek için bir regresyon modeli oluşturulmuştur. **Veri İşleme:** Toplanan veriler, modele girilmeden önce tutarlılık ve doğruluk için ön işlemden geçirilmiştir.

Model Uydurma: Regresyon modeli, önemli iklim eğilimlerinin ve modellerinin belirlenmesine olanak tanıyacak şekilde geçmiş verilere uydurulmuştur.

Projeksiyon ve Analiz: Model daha sonra gelecekteki iklim senaryolarını öngörmek için kullanılmış ve çeşitli koşullar altında Türkiye'nin iklimindeki potansiyel değişikliklere ilişkin içgörü sağlamıştır.

SONUÇLAR

Güncel Veriler

Türkiye'de Yıllık Ortalama Sıcaklık Eğilimleri (1951-2020)

Türkiye'de 1951-2020 yılları için yıllık ortalama sıcaklık ve farklı zaman dilimleri için sıcaklık eğilim çizgileri Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu grafikte, her biri farklı bir zaman dilimini temsil eden dört farklı eğilim çizgisi bulunmaktadır:

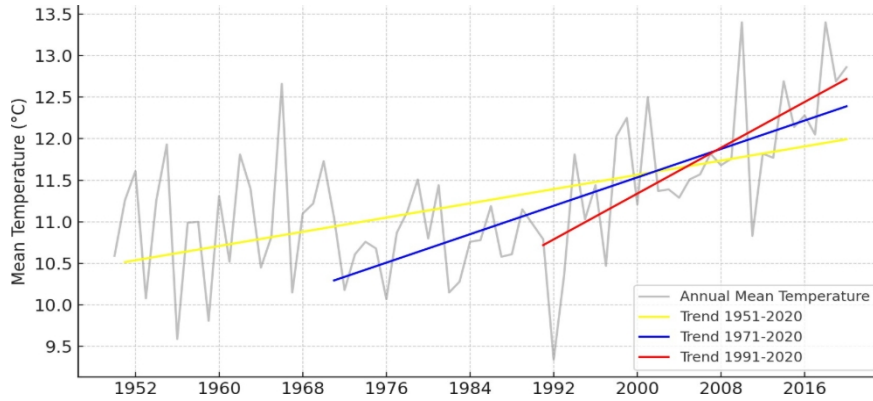
Ortalama Yıllık Sıcaklık: Bu çizgi, Türkiye'nin ortalama yıllık sıcaklığını temsil eder ve trend çizgileriyle karşılaştırma için bir taban çizgisi sunar.

Trend 1951-2020: 1951'den 2020'ye kadar olan trend: Bu eğilim yaklaşık 70 yılı kapsamaktadır. Bu süre zarfında, pozitif eğimle gösterildiği gibi ortalama sıcaklık artmıştır. Isınma oranı eğimin büyüklüğü ile temsil edilmektedir. 1950'ler ile 2020 arasında küresel sera gazı emisyonları artmış, endüstriyel faaliyetlerde artış olmuş ve fosil yakıt kullanımı daha yoğun hale gelmiştir. Bu faktörler küresel ısınma sürecine ve bunu takip eden ortalama hava sıcaklıklarındaki artışa yardımcı olmuş olabilir. Trendin eğimi kabaca yıllık $0,0214^{\circ}\text{C}$ 'dir ve 70 yıl boyunca sıcaklıkta %13,11'lik bir artışa neden olmuştur.

Trend 1971-2020: 1971'den 2020'ye kadar olan trend: Yaklaşık 50 yılı kapsayan bu eğilim de aynı şekilde pozitif bir eğime sahiptir. Bu dönemdeki ısınma oranının 1951-2020 döneminden farklı olma ihtimali vardır. Bu dönemde küresel ısınmanın etkileri yoğunlaşmış, bilimsel araştırmalar ve kamuoyunun iklim değişikliği konusundaki farkındalığı artmıştır. Bu zaman aralığı için eğim kabaca yıllık $0,0427^{\circ}\text{C}$ 'dir, yani 50 yıllık bir süre içinde sıcaklık %18,95 oranında artmıştır.

Trend 1991-2020: 1991'den 2020'ye kadar olan trend: En kısa süreyi (yaklaşık 30 yıl) kapsayan bu eğilim, kendisinden önceki iki döneme kıyasla daha hızlı bir küresel ısınmaya işaret ediyor olabilir. Bu süre zarfında, özellikle son on yılda iklim değişikliğinin hızlanması ve aşırı hava olaylarındaki artış dikkat çekicidir. Bu dönemdeki hızlı ısınma, artan sera gazı emisyonları ve bu gazların atmosferik konsantrasyonları ile doğrudan bağlantılı olabilir. Bu zaman aralığındaki eğim kabaca yıllık $0,0689^{\circ}\text{C}$ olup, 30 yıl boyunca sıcaklıkta %18,51'lik bir artışa neden olmuştur.

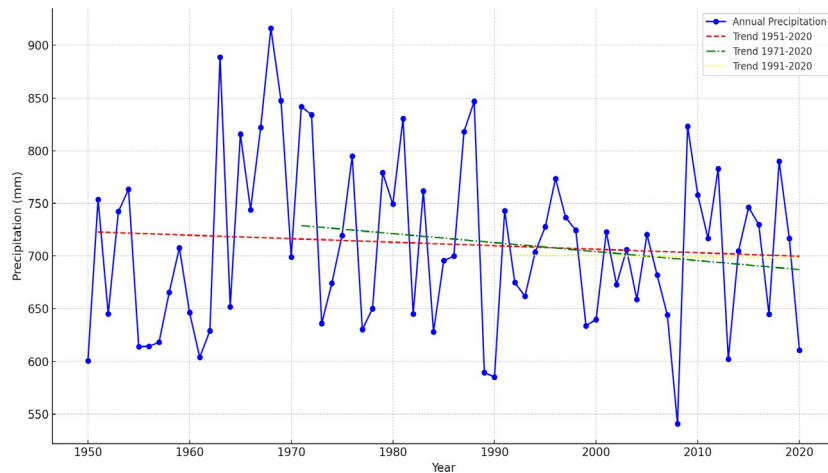
Şekil 1'de gösterilen bilgiler, Türkiye'nin yıllık ortalama sıcaklığının 1951 yılından bu yana artmakta olduğunu açıkça göstermektedir. Bu ısınma eğiliminin hızı son birkaç on yılda artmıştır. Özellikle, 1971 - 2020 trend çizgisi on yılda $0,4^{\circ}\text{C}$ ile daha belirgin bir artışa işaret ederken, 1951-2020 trend çizgisi yıllık $0,2^{\circ}\text{C}$ 'lik bir artış ortaya koymaktadır. En son trend çizgisi, on yılda $0,4^{\circ}\text{C}$ ile en hızlı artış oranını göstermektedir ve 1991-2020 yıllarını kapsamaktadır.



Şekil 1. Ortalama sıcaklık Yıllık Eğilimler (1951'den 2020'ye kadar) ve On Yıllık Eğilimin Önemi, Türkiye.

Türkiye'de Yıllık Yağış Eğilimleri (1951-2020)

Şekil 2, 1951-2020 dönemi için Türkiye'deki yıllık yağış eğilimlerini sunmaktadır. Veriler, bu dönem boyunca yıllık yağışlarda önemli bir eğilim olmadığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, son on yıllarda yıllık yağıştaki değişim oranındaki hızlanma dikkate değer bir gözlemdir. 1971-2020 yılları arasındaki eğilim hafif bir düşüş gösterirken, 1991-2020 yılları arasındaki eğilim yıllık yağışlarda hafif bir artış göstermektedir. İklim değişikliğinin yağış modelleri üzerinde öngörülen etkisi göz önüne alındığında, net bir uzun vadeli eğilimin (1951-2020) olmaması şaşırtıcı olabilir. Bununla birlikte, eğilim çizgilerinin yıllık yağıştaki değişim oranının son yıllarda hızlandığını gösterdiğini belirtmek önemlidir. Bu durum, iklim değişikliğinin yağış modelleri üzerindeki etkilerinin gelecekte daha belirgin hale gelebileceğini göstermektedir. Türkiye'de 1951-2020 döneminde yıllık yağışlarda önemli bir eğilim olmaması, iklim değişikliğinin yağış modelleri üzerinde bir etkisi olmadığı anlamına gelmemektedir. İklim değişikliği, yağış olaylarının yoğunluğu ve sıklığının yanı sıra yağış olaylarının zamanlamasında da değişikliklere neden olmaktadır. Bu değişiklikler Türkiye'nin bazı bölgelerinde halihazırda hissedilmektedir ve gelecekte daha da belirgin hale gelmesi muhtemeldir. Örneğin, Kara ve diğerleri (2016) İstanbul için aşırı yağış olaylarında önemli bir artış olduğunu ve bunun da gelecekte sel risklerinde artışa işaret ettiğini belirtmiştir. Bunu tamamlayan Danandeh Mehr ve diğerleri (2020), Ankara için kuraklık olaylarında beklenen bir azalma gözlemlemiş ve değişen yağış rejimlerine bağlı olarak kuraklık modellerindeki değişikliklere işaret etmiştir. Şen ve diğerleri (2012) de sıcaklıktaki potansiyel artışların ve yağıştaki azalmaların, özellikle Türkiye'nin güneybatısında şiddetli kuraklık koşullarına yol açabileceğini vurgulamıştır. Bu bulgular, iklim değişikliğinin Türkiye'nin farklı bölgelerinde su kaynakları yönetimi açısından yarattığı süregelen ve gelecekteki zorlukların altını çizmektedir.

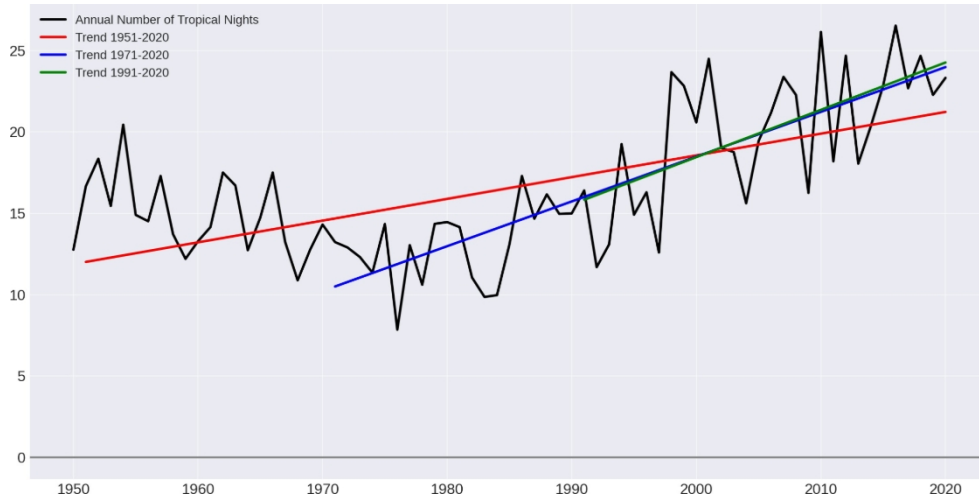


Şekil 2. Yıllık Yağış Eğilimleri Yağış Yıllık Eğilimleri (1951'den 2020'ye) ve On Yıllık Eğilimin Önemi, Türkiye

Türkiye'de Yıllık Tropik Gece Sayısı ($>20^{\circ}\text{C}$) Eğilimleri (1951-2020)

Şekil 3, 1951'den 2020'ye kadar Türkiye'deki yıllık tropikal gece sayısını ($T_{\min} > 20^{\circ}\text{C}$) ve on yıllık eğilimin önemini göstermektedir. Tropikal gecelerin sayısı, on yılda ortalama 1,1 gece artışla son 70 yılda önemli ölçüde artmıştır. Bu eğilim, on yılda ortalama 2,2 gece artışla 1990'lardan bu yana özellikle belirgin hale gelmiştir.

Tropikal gecelerdeki bu artış muhtemelen iklim değişikliği, kentleşme ve arazi kullanımındaki değişiklikler gibi faktörlerin bir araya gelmesinden kaynaklanmaktadır. İklim değişikliği küresel sıcaklıkların artmasına neden olmakta, bu da daha sık ve yoğun sıcak hava dalgalarına yol açmaktadır. Kentleşme de sıcak hava dalgalarına katkıda bulunmaktadır, çünkü kentsel alanlar çevrelerindeki kırsal alanlardan daha sıcak olma eğilimindedir. Ormansızlaşma gibi arazi kullanımındaki değişiklikler de havayı soğutmaya yardımcı olabilecek gölge ve bitki örtüsü miktarını azaltarak sıcak hava dalgalarına katkıda bulunabilir.



Şekil 3. Tropikal Gece Sayısı Tropik Gece Sayısı ($T_{\min}>20^{\circ}\text{C}$) Eğilimleri (1951'den 2020'ye) ve On Yıl Başına Eğilimin Önemi, Türkiye

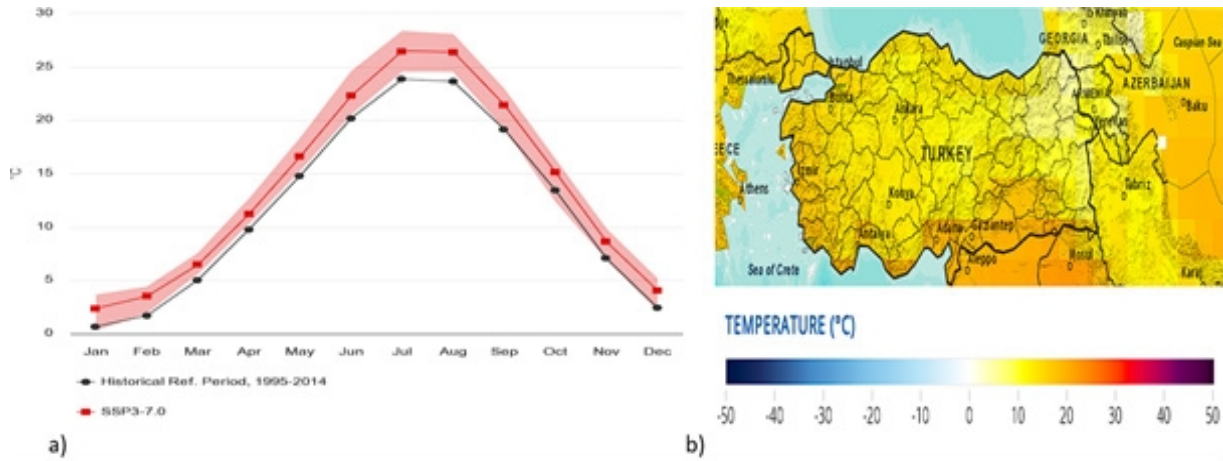
Öngörülen Veriler

Öngörülen Ortalama sıcaklık (2040-2059)

Şekil 4, 2040-2059 döneminde Türkiye için öngörülen ortalama sıcaklığı göstermektedir. Grafik iki bölüme ayrılmıştır:

(a) Grafik: Bu grafik Türkiye geneli için öngörülen ortalama sıcaklığı göstermektedir. Siyah daireler çizgisi 1995-2014 dönemi için tarihsel ortalama sıcaklığı, gölgeli alan ise SSP3-7.0 senaryosu altındaki belirsizlik aralığını temsil etmektedir. Kırmızı dikdörtgenler çizgisi, SSP3-7.0 senaryosu altında 2040-2059 döneminde Türkiye için öngörülen ortalama sıcaklığı temsil etmektedir.

(b) Harita: Bu harita, Türkiye'nin farklı bölgeleri için öngörülen ortalama sıcaklığı göstermektedir. Haritadaki renkler, tarihsel referans dönemine (1995-2014) göre ortalama sıcaklıktaki değişimi temsil etmektedir.



Şekil 4. 2040-2059 Yılları İçin Öngörülen Ortalama Sıcaklık Klimatolojisi (Yıllık Türkiye; (Ref. Dönemi: 1995-2014), SSP3- 7.0, Çoklu Model Topluluğu grafik (a) ve bölgesel harita (b) olarak

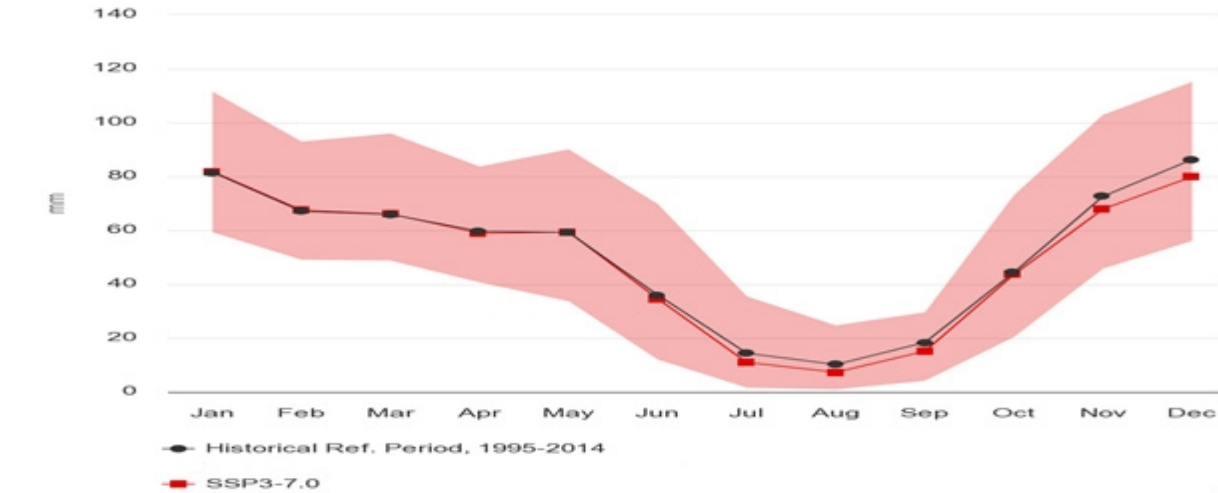
Grafik, Türkiye için tarihsel ortalama sıcaklığın 13,5°C olduğunu göstermektedir. Tarihsel ortalama sıcaklığın altındaki belirsizlik aralığı 13,2°C ila 13,8°C arasındadır. Kırmızı dikdörtgen çizgi, 2040-2059 döneminde Türkiye için öngörülen ortalama sıcaklığın 15,0°C olduğunu ve bunun 1,5°C'lik bir artışı temsil ettiğini göstermektedir. Bu, SSP3-7.0 senaryosu kapsamındaki tarihsel ortalama sıcaklık için belirsizlik aralığı içindedir.

Harita (Şekil 4 (b)), ortalama sıcaklıkta öngörülen artışın Türkiye genelinde eşit olmadığını göstermektedir. Güney ve batı bölgelerinin 2,0°C'ye varan artışlarla ortalama sıcaklıkta en büyük artışı yaşayacağı tahmin edilmektedir. Kuzeydoğu ve doğu bölgelerinin ise 1,0°C'ye varan artışlarla daha küçük bir artış yaşayacağı öngörülmektedir.

Ortalama sıcaklıkta öngörülen artışın Türkiye'de tarım üzerinde önemli bir etkisi olması muhtemeldir. Daha yüksek sıcaklıkların mahsul veriminde değişikliklere yol açması ve ayrıca çiftlik hayvanları için sıcak stresi riskini artırması muhtemeldir.

Öngörülen Yağış Miktarı (2040-2059)

Şekil 5, 2040-2059 döneminde Türkiye için SSP3 kapsamında öngörülen aylık ortalama yağış miktarını göstermektedir. 7.0 senaryosu. Siyah daireler 1995-2014 dönemi için tarihsel ortalama yağış miktarını, gölgeli alan ise SSP3-7.0 senaryosu altındaki belirsizlik aralığını temsil etmektedir. Kırmızı dikdörtgenler, SSP3-7.0 senaryosu kapsamında 2040-2059 döneminde Türkiye için öngörülen ortalama yağış miktarını temsil etmektedir.



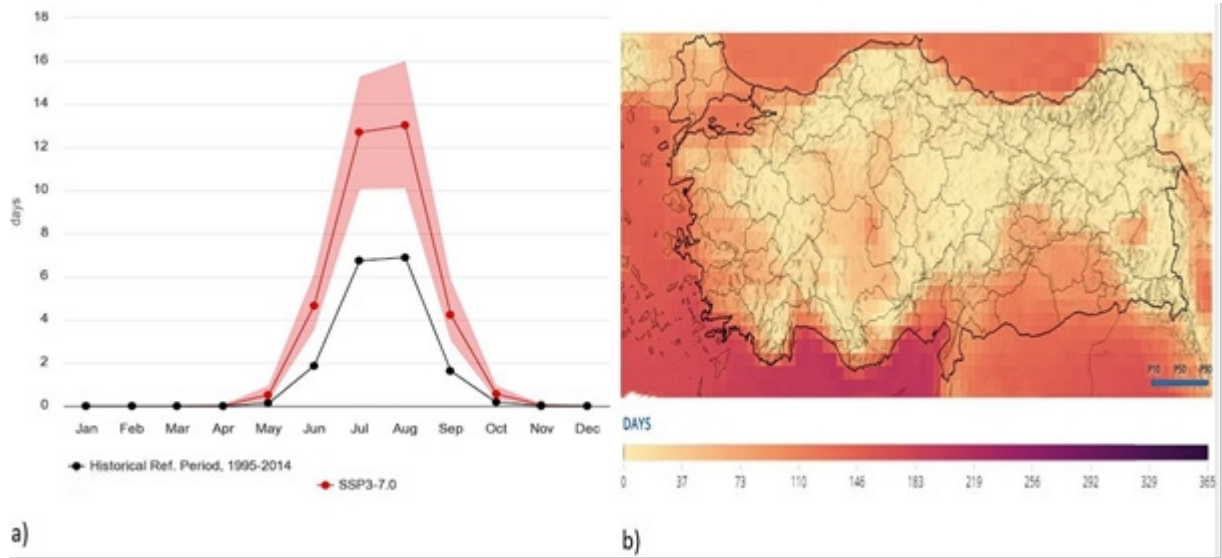
Şekil 5. 2040-2059 Türkiye için 2040-2059 Türkiye için Öngörülen Yağış Klimatolojisi; (Referans Dönemi: 1995-2014), SSP 3-7.0, Multi-Model Ensemble

Grafik, 2040-2059 döneminde Türkiye için öngörülen ortalama yağışın tarihsel ortalama yağıştan önemli ölçüde düşük olduğunu göstermektedir. Belirsizlik aralığı -%10 ile -%20 arasındadır. Bu, Türkiye'nin önümüzdeki on yıllarda yağışlarda önemli bir düşüş yaşama olasılığının yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Yağışlarda öngörülen azalmanın Türkiye'de tarım üzerinde önemli bir etkisi olması muhtemeldir. Kurak koşulların mahsul veriminde değişikliklere yol açması ve kuraklık riskini artırması muhtemeldir.

Öngörülen Sıcak Gün Sayısı ($T_{max}>30^{\circ}C$)

Şekil 6, referans dönemde yılda ortalama 10,4 gün olan sıcak gün sayısında 2040-2059 döneminde yılda ortalama 21,6 gün olmak üzere önemli bir artış olduğunu göstermektedir. Bu da %107'lik bir artışı temsil etmektedir.

Sıcak günlerdeki artışın özellikle Türkiye'nin güneydoğu bölgesinde (Şekil 6b) belirgin olması beklenmektedir; burada sıcak günlerin sayısının %150'ye kadar artması öngörülmektedir.

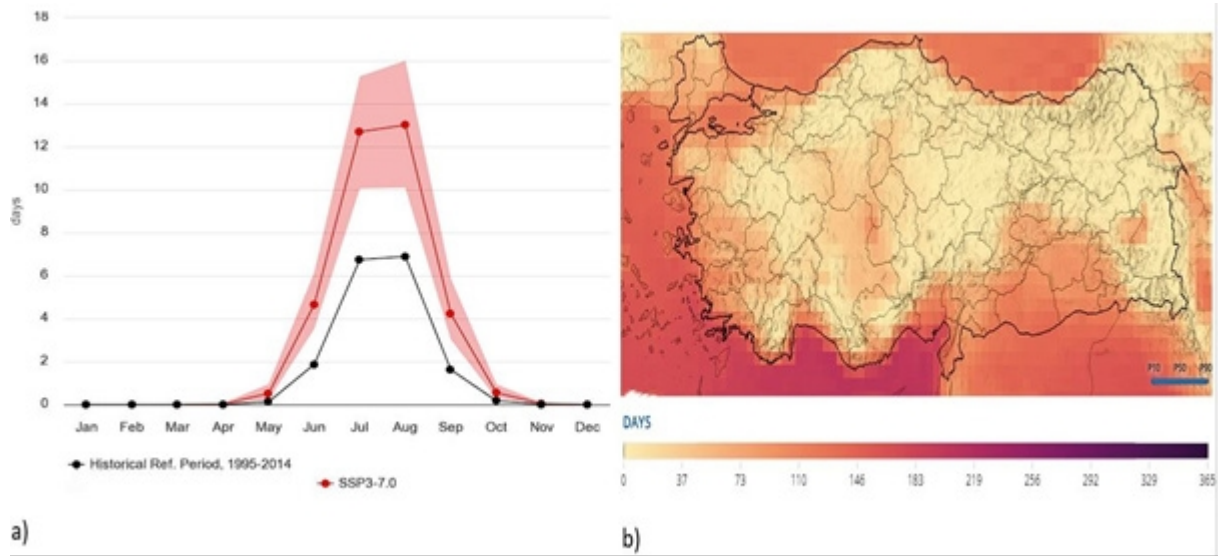


Şekil 6. 2040-2059 Türkiye için aylık grafik (a) ve harita (b) ile öngörülen Sıcak Gün Sayısı ($t_{max}>30^{\circ}C$); (Referans Dönemi: 1995-2014), SSP 3-7.0, Multi-Model Ensemble

Tropikal Gece Sayısı ($T_{min}>20^{\circ}C$)

Şekil 7 (a), SSP 3-7.0, Çoklu Model Topluluğu altında 2040-2059 yılları için öngörülen aylık tropikal gece sayısını ($T_{max}>30^{\circ}C$) göstermektedir. Şekil 7 (b) tropik gece sayısında öngörülen artışın mekansal dağılımını göstermektedir.

Grafiğe göre, öngörülen tropik gece sayısının 2040-2059 yılları arasında yılda 10-20 gece artması beklenmektedir. Artışın en çok Ege ve Akdeniz bölgelerinde belirgin olması beklenmektedir.



Şekil 7. 2040-2059 Türkiye için aylık grafik (a) ve harita (b) ile öngörülen Tropik Gece Sayısı ($t_{max} > 30^{\circ}\text{C}$); (Referans Dönemi: 1995-2014), SSP 3-7.0, Multi-Model Ensemble

TARTIŞMA

Çalışmamızın sonuçları, Türkiye'de iklim değişikliğinin çeşitli etkilerine ilişkin mevcut bilgi durumuyla tutarlıdır. İklim değişikliğinin Türkiye'nin çeşitli bölgelerindeki tarımsal verimlilik ve su kaynakları üzerindeki etkileri Acar ve diğerleri (2018) ile Bağcı ve diğerleri (2021) tarafından yapılan çalışmalarda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Daha açık bir ifadeyle, Bektaş ve Sakarya (2023) sıcaklıklardaki dalgalanmalarda ve aşırı hava olaylarının sıklığında beklenen artışı vurgulamaktadır. İklim değişikliğinin su kaynakları ve tarımsal gelirler üzerindeki olumsuz etkileri Demircan ve diğerleri (2017) ile Pilevneli ve diğerlerinin (2023) çalışmalarında belgelenmiştir. Benzer şekilde, Türkiye'nin su kaynakları üzerindeki etkiler Rüstem ve Gökna'ın (2022) ana odak noktasıdır. Bu çalışmalar, iklim değişikliğinin bölgesel ve küresel etkilerini anlamak ve bunlara hazırlanmak için stratejiler ve politikalar oluşturmada ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. Bu bağlamda, araştırmamız iklim değişikliğinin Türkiye'deki detaylı ve karmaşık etkileri hakkındaki bilgilerimizi geliştirmekte ve bu alanda hâlihazırda yürütülmekte olan tartışmaları zenginleştirmektedir.

Gözlenen sıcaklık artışı, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin insan faaliyetlerinin küresel ortalama yüzey sıcaklığındaki artışa önemli ölçüde katkıda bulunduğu iddiasıyla desteklenen küresel iklim değişikliği olgusuyla uyumludur (Masih, 2018). Bozoğlu ve diğerleri (2019), iklim değişikliğinin Türkiye'de tarım üzerinde halihazırda önemli bir etkisi olduğunu savunmaktadır. Bazı bölgelerde mahsul veriminin arttığına, ancak diğer bölgelerde kuraklık, sıcaklık stresi ve zararlı böcekler nedeniyle verimin azaldığına dair kanıtlar olduğunu belirtmektedirler. Pilevneli ve diğerleri (2023), Türkiye'deki 25 nehir havzasında iklim değişikliğinin tarımsal üretim ve gelirler üzerindeki etkisini araştırmıştır. İklim değişikliğinin çoğu nehir havzasında tarımsal üretim ve gelirlerde düşüşe yol açacağını ve en şiddetli etkilerin ülkenin güneydoğu bölgesinde hissedileceğini bulmuşlardır. Bu çalışmalar, küresel eğilimler belirgin olsa da yerel farklılıkların önemli olduğunu ve politika ve uyum stratejilerinde dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bazı yeni çalışmalar da Türkiye'de ortalama 1,4°C'lik bir sıcaklık artışı öngörmektedir (Tokuslu, 2022) ve 2-3°C'ye kadar artışlar beklenmektedir (Rüstem ve Günel, 2022). Bu değişikliklerin kuraklık, sel ve sıcak hava dalgaları gibi aşırı hava olayları üzerinde doğrudan etkileri vardır (Bektaş ve Sakarya, 2023). Türkiye için öngörülen sıcaklık artışı tahminlerine gelince, öngörülen 1,5°C'lik artış, iklim değişikliğinin Türkiye'deki aşırı yağışlar üzerindeki etkisini araştıran Oruç ve diğerlerinin (2019) bulgularıyla uyumludur. Durağan olmayan iklim modellerinin sonuçlarını ve iklim değişikliği nedeniyle aşırı hava olaylarının potansiyel yoğunlaşmasını vurgulamaktadırlar. Bu projeksiyonların her biri mevcut çalışma ile uyumludur. Bu anlaşma, özellikle aşırı hava olaylarının öngörülmesi ve azaltılması açısından iklim değişikliğinin etkilerinin ele alınmasının ne kadar acil olduğunu vurgulamaktadır.

İklim modelleri, Türkiye'de yıllık yağış miktarında genel bir düşüşe işaret ederek su kaynakları sorunlarını daha da kötüleştirmektedir. Bu sorunları ele almak için yeşil girişimler ve esnek altyapı gibi proaktif önlemler çok önemlidir (Demircan vd., 2017). Yağışlarda öngörülen azalma, kuraklık koşullarına ilişkin iklim değişikliği projeksiyonlarına odaklanan Andrade ve diğerlerinin (2021) bulgularıyla uyumludur. Andrade'nin araştırması, önemli etkilerin ortaya çıkma olasılığını vurgulamaktadır.

Bazı bölgelerdeki kurak koşullar nedeniyle. Yağışlarda öngörülen -%10 ila -%20 aralığı, aşağıdakilerle tutarlıdır

bu endişeleri artırmaktadır. Ayrıca, iklim modelleri ve Andrade ve diğerleri (2021) tarafından yapılan çalışmada öngörüldüğü üzere yıllık yağış miktarında öngörülen azalma, Türkiye'deki su kaynaklarına ilişkin zorlukları artırmaktadır. Bu endişeler doğrultusunda, yağışlarda öngörülen -%10 ila -%20 aralığı, sosyoekonomik ve iklimsel faktörleri dikkate alan kapsamlı bir su kaynakları yönetimi gerektirmektedir. Bu yeni zorlukları proaktif bir şekilde ele almak için, Demircan ve diğerlerinin (2017) vurguladığı gibi, yeşil girişimlere ve dayanıklı altyapıya öncelik verilmesi çok önemlidir. Tropik gecelerin sayısında gözlenen artış, Türkiye'de iklim değişikliği projeksiyonları üzerine yapılan önceki çalışmaların bulgularıyla örtüşmektedir. Demircan ve diğerleri (2017), burada öngörülen tropik gecelerdeki artışla tutarlı olarak ortalama sıcaklıklarda önemli bir artış olduğunu vurgulamaktadır. Bu durum, bölgede daha aşırı sıcaklık koşullarına yol açan daha geniş iklim değişikliği anlayışıyla uyumludur. Yılda 10-20 tropik gece öngörülen artış en çok Ege ve Akdeniz bölgelerinde belirgindir. Bu bölgeler sıcak iklimleriyle bilinmektedir ve bu artışın zaten sıcak olan koşulları daha da kötüleştirilmesi beklenmektedir. Daha ayrıntılı olarak devam etmek gerekirse, Türkiye'de iklim değişikliğine yönelik uyum ve azaltım stratejilerinin, olgunun kendine özgü bölgesel özelliklerine göre özelleştirilmesi gerektiği açıktır. Çalışmamızın da gösterdiği gibi, özellikle Akdeniz ve Ege'nin daha sıcak bölgelerinde tropik gecelerdeki artışın insan sağlığı, tarım ve ekosistemler açısından ciddi endişeleri bulunmaktadır. Şen ve diğerleri (2012) ile Tayanc ve diğerlerinin (2009) bulguları, bölgede daha aşırı sıcaklık koşullarına neden olan iklim değişikliğine ilişkin daha geniş anlayışla tutarlıdır. Yılda 10-20 tropik gecede yaşanacağı tahmin edilen ve en çok bu bölgelerde hissedilecek olan artış nedeniyle daha yüksek gece sıcaklıklarının yarattığı özel zorlukları ele almak için hedefe yönelik bir strateji gerekmektedir.

SONUÇ

Türkiye için mevcut ve öngörülen iklim verilerinin kapsamlı analizi, iklim değişikliğinin yarattığı yakın zorlukların altını çizmektedir. Yıllık ortalama sıcaklıklarda gözlenen artış eğilimi, özellikle de 1990'lardan bu yana hızlanan artış, küresel iklim değişikliği modelleriyle uyumludur. Birçok çalışma tarafından desteklenen bu sıcaklık artışının, mahsul verimindeki potansiyel değişiklikler ve çiftlik hayvanları için artan ısı stresi riskleri ile tarım üzerinde önemli etkileri olması beklenmektedir.

Buna karşın, yıllık yağış eğilimlerinin analizi, Türkiye'de paradoksal bir şekilde önemli bir uzun vadeli eğilimin (1951-2020) olmadığını ortaya koymaktadır. Buna rağmen, son yıllarda değişim oranındaki hızlanma, iklim değişikliğinin yağış modelleri üzerindeki etkilerinin gelecekte yoğunlaşabileceğini düşündürmektedir. Projeksiyonlar, 2040-2059 dönemi için ortalama yağışlarda -%10 ila -%20 arasında bir belirsizlik aralığında önemli bir düşüşe işaret etmektedir. Öngörülen bu azalma tarım için önemli riskler oluşturmada, mahsul veriminde potansiyel değişikliklere ve kuraklık riskinin artmasına yol açmaktadır.

Sıcak günlerin ($T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$) ve tropik gecelerin ($T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$) sayısına ilişkin projeksiyonlar, aşırı hava olaylarının yoğunlaştığını daha da vurgulamaktadır. Özellikle güneydoğu bölgesinde sıcak günlerdeki önemli artış, iklim değişikliğinin neden olduğu sıcak hava dalgalarına ilişkin daha geniş anlayışla uyumludur. Ege ve Akdeniz bölgelerinde yoğunlaşan tropik gecelerdeki artış, insan sağlığı, tarım ve ekosistemler için ek zorluklar oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, mevcut ve öngörülen verilerin sentezi, Türkiye'de kapsamlı stratejilerin ve proaktif önlemlerin aciliyetini vurgulamaktadır. Tarım, su kaynakları ve insan refahı üzerindeki etkilerin ele alınması, yeşil girişimleri, dirençli altyapıyı ve değişen iklim modellerini hafifletmek ve bunlara uyum sağlamak için ortak çabaları gerektirmektedir.

ETİK STANDARTLARA UYGUNLUK

Hakem Değerlendirmesi

Harici olarak hakemli.

Çıkar çatışması

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazar katkısı

Makalede yer alan her bir süreç Eser Çeliktöpez (EC) tarafından yürütülmüştür.

Etik kurul onayı

Etik kurul onayı gerekli değildir.

Finansman

Bu çalışma herhangi bir dış finansman almamıştır.

Veri kullanılabilirliği

Geçerli değil. Katılım

izni Geçerli değil.

Yayın için onay

Makalenin yayınlanması için verilen izin bu bölümde belirtilmelidir

REFERANSLAR

- Acar, Z., Gönençgil, B., Korucu Gümüsoğlu, N. (2018). Türkiye'de Sıcak ve Soğuk Ekstremlerde Uzun Vadeli Değişimler. Coğrafya Dergisi (37), 57-67.
- Andrade, C., Contente, J., Santos, J. A. (2021). İber Yarımadası'ndaki Kuraklık Koşullarına İlişkin İklim Değişikliği Projeksiyonları. Water 2021, 13, 2035. <https://doi.org/10.3390/w13152035>
- Bağcı, S. Ç., Yücel, İ., Düzenli, E., Yılmaz, M. T. (2021). CMIP6 ve CMIP5 iklim projeksiyonlarından elde edilen sıcaklık ve yağışta beklenen değişimin karşılaştırılması: Bir Akdeniz sıcak noktası örneği, Türkiye. Atmospheric Research, 256, 105576. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105576>
- Bektaş, Y., Sakarya, A. (2023). Yapılı Çevre ve İklim Değişikliği Arasındaki İlişki: Türkiye İlleri Örneği. Sustainability, 15(2), 1659. <https://doi.org/10.3390/su15021659>
- Bozoglu, M., Başer, U., Alhas Eroglu, N., Kılıç Topuz, B. (2019). İklim Değişikliğinin Türk Tarımına Etkileri. Uluslararası Çevre Uygulama ve Bilim Dergisi, 14 (3) , 97-103. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jieas/issue/48886/560710> adresinden alındı.
- Demircan, M., Gürkan, H., Eskioğlu, O., Arabacı, H., Coşkun, M. (2017). Türkiye için iklim değişikliği projeksiyonları: üç model ve iki senaryo. Türk Su Bilimi ve Yönetimi Dergisi, 1(1), 22-43. <https://doi.org/10.31807/tjwsm.297183>
- Fujimori, S., Hasegawa, T., Masui, T., Takahashi, K., Herran, D., Dai, H., Hijioka, Y., Kainuma, M. (2017). SSP3: Paylaşılan Sosyoekonomik Yolların AIM uygulaması. Global Environmental Change-human and Policy Dimensions, 42, 268-283. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2016.06.009>
- Hoegh-Guldberg, O., Bindi, M., Allen, M. (2019). 3. Bölüm 3: 1,5 °C küresel ısınmanın doğal ve beşeri sistemler üzerindeki etkileri 2. Küresel ısınma. Küresel ısınma, 1.
- Kara, F., Yücel, İ., Akyurek, Z. (2016). İklim değişikliğinin İstanbul'daki su temin bölgesinin aşırı yağışları üzerindeki etkileri: topluluk iklim modellemesi ve jeo-istatistiksel ölçek küçültme kullanımı, Hydrological Sciences Journal, 61:14, 2481-2495, DOI: 10.1080/02626667.2015.1133911
- Kug, J., Lee, J., Kang, I., Wang, B., Park, C. (2008). Mevsimsel İklim Tahmininde Optimal Çoklu Model Topluluğu Yöntemi. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 44, 259-267.
- Masih, A. (2018). İklim Değişikliğine Bağlı Olarak Gözlenen Artmış Sismik Aktivite: Alaska'dan Ön Sonuçlar. IOP Konferans Serisi: Yer ve Çevre Bilimleri, 167. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/167/1/012018>.
- Mehr, D. A., Sorman, A. U., Kahya, E., Hesami Afshar, M. (2020). SPI ve SPEI kullanılarak iklim değişikliğinin meteorolojik kuraklık üzerindeki etkileri: Ankara, Türkiye örneği. Hydrological Sciences Journal, 65(2), 254-268.
- Oruç, S., Yücel, İ., Yılmaz, A. (2019). İklim Değişikliğinin Aşırı Yağışlar Üzerindeki Etkisinin Araştırılması: Başkent Ankara Örneği. Teknik Dergi, 33(2), 11749-11778. <https://doi.org/10.18400/tekderg.714980>
- Pilevneli, T., Capar, G., Sanchez-Cerda, C. (2023). Türkiye'de iklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkilerinin hacimsel su ayak izi yaklaşımı ile incelenmesi. Sustainable Production and Consumption, 35, 605-623. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.12.013>
- Rüstem, J., Günel, M. (2022). İklim değişikliğinin Türkiye'deki su kaynakları üzerindeki etkileri üzerine bir inceleme. İleri Mühendislik Günleri (AED), 5, 91-93.
- Şen, B., Topçu, S., Türkeş, M., Şen, B., Warner, J. F. (2012). Türkiye'de iklim değişikliği, kuraklık koşulları ve ürün verimliliği projeksiyonu. İklim Araştırmaları, 52, 175-191.
- Tayanç, M., İm, U., Doğruel, M., Karaca, M. (2009). Türkiye'de son yarım yüzyıldaki iklim değişikliği. Climatic change, 94(3-4), 483-502. Doi:10.1007/s10584-008-9511-0
- Tokuşlu, A. (2022). İklim Değişikliğinin Türkiye Havzaları Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi. International Journal of Environment and Geoinformatics, 9(4), 102-112. <https://doi.org/10.30897/ijgeo.1066840>