



Received: 11 April 2023 | Revised: 26 May 2023 | Accepted: 29 May 2023

TÜRKİYE'DE 1950-2022 DÖNEMİNDE ORTALAMA HAVA SICAKLIKLARINDA GÖZLENEN DEĞİŞİM VE EĞİLİMLER

Changes and trends observed in the mean air temperatures in Turkey during the period of 1950–2022

Hakan GÜLER¹ 

*Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü,
İzmir-Türkiye
hakan.k.guler@gmail.com*

Ecmel ERLAT 

*Ege Üniversitesi, Coğrafya Bölümü,
İzmir-Türkiye
ecmel.erlat@ege.edu.tr*

Abstract

In the study, the changes and trends in mean air temperatures in Turkey for the period 1950–2022 were examined annually and seasonally. For this purpose, 8053 grid cell data covering Turkey from the ERA5-Land data set produced by the European Medium-Term Weather Forecasting Center (ECMWF) was used. It has been determined that the increase in Turkey's mean air temperature over the last 73 years is 1.31°C and 1.46°C, respectively, according to the simple linear regression and Sen's slope value at a statistically significant level of 0.001. The results reveal that over the last 73 years, annual mean air temperatures in Turkey have shown a warming trend of 0.20°C per decade, almost 3 times the global average. The warming trend that started in the first half of the 1990s has become even stronger since the 21st century. The highest annual mean air temperatures measured in the last 73 years belong to the period after 2005, except for 2011, and the highest annual average temperatures were observed in 2010, 2018 and 2020, respectively. The strongest increasing trend in seasonal mean air temperatures has been observed in the summer season, with an increase of 1.61°C (1.68°C) over the last 73 years according to the simple linear regression analysis (Sen's slope) at a statistically significant level of 0.001. Summer is followed by the spring and autumn seasons, respectively. According to simple linear regression and Sen's slope estimator analyses, mean air temperatures in Turkey have increased by 1.39°C (1.39°C) in the spring season and 0.88°C (1.10°C) in the autumn season in the last 73 years. These trends in mean air temperatures in Turkey are an important indicator of the magnitude and potential impacts of climate change.

Keywords: Climate change, mean air temperature, Turkey, ERA5, time-series analysis.

Öz

Çalışmada 1950-2022 dönemi için Türkiye'de ortalama hava sıcaklıklarında gözlenen değişim ve eğilimler yıllık ve mevsimlik olarak incelenmiştir. Bu amaçla Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) tarafından üretilen ERA5-Land veri setinin Türkiye'yi kapsayan 8053 grid hücre verilerinden yararlanılmıştır. Son 73 yılda Türkiye'nin ortalama hava sıcaklığındaki artış, basit doğrusal regresyon analizine ve Sen'in eğim değerine göre istatistik olarak 0.001 anlamlılık seviyesinde sırasıyla 1.31°C ve 1.46°C olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar son 73 yıllık dönemde Türkiye'de yıllık ortalama hava sıcaklıklarının her on yıl için 0.20°C olmak üzere küresel ortalamadan neredeyse 3 katına yakın bir ısınma eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. 1990'lı yılların ilk yarısında başlayan ısınma eğilimi 21. yüzyıldan itibaren daha da kuvvetlenmiştir. Nitekim son 73 yılda ölçülen en yüksek yıllık ortalama sıcaklıklar 2011 yılı hariç, 2005 yılından sonraki döneme aittir. 1950-2022 döneminde yıllık ortalama sıcaklıklarda en yüksek değerler sırasıyla 2010, 2018 ve 2020 yıllarında gözlenmiştir. Mevsimlik ortalama hava sıcaklıklarında en kuvvetli artış eğilimi, istatistik olarak 0.001 anlamlılık seviyesinde basit doğrusal regresyon analizine (Sen'in eğim değerine) göre son 73 yılda 1.61 °C (1.68°C) ile yaz mevsiminde gözlenmektedir. Yaz mevsimini sırasıyla ilkbahar ve sonbahar mevsimleri izlemektedir. Son 73 yılda Türkiye'de basit doğrusal regresyon analizine ve Sen'in eğim değerine göre ilkbahar mevsimi ortalama hava sıcaklıkları 1.39°C (1.39°C), sonbahar mevsiminde ise 0.88°C (1.10°C) artmıştır. Türkiye'de ortalama hava sıcaklıklarında gözlenen bu eğilimler, iklim değişikliğinin büyüklüğünün ve olası etkilerinin önemli bir göstergesidir.

Anahtar başlıklar: İklim değişikliği, ortalama hava sıcaklığı, Türkiye, ERA5, zaman dizisi analizi.

¹ Sorumlu Yazar/ Corresponding author

1. GİRİŞ

19. yüzyılın son çeyreğinde gerçekleşen Sanayi Devrimi ile birlikte atmosferde konsantrasyonları artan sera gazlarının, atmosferin doğal sera etkisini kuvvetlendirmesi sonucu atmosferin alt tabakalarında hava sıcaklıkları artmaktadır. İnsan etkisi ile gerçekleşen küresel hava sıcaklıklarındaki artış, 1850-1900 döneminden 2010-2019 dönemine kadar 1.07°C 'dir (0.8°C ile 1.3°C) (IPCC, 2021). Yaklaşık son 170 yılda gözlenen bu ısınma eğilimi, iklim sisteminin iç dinamikleri nedeniyle düzenli bir artış eğilimi yerine on yıllar ölçeğinde dalgalanmalar şeklindedir. Aletli meteorolojik kayıtlarda "Erken Yirminci Yüzyıl Isınması" olarak adlandırılan 1900'lerden 1940'lara kadar olan dönemde, küresel ortalama hava sıcaklıklarında hızlı bir artış eğilimi gözlenmiştir. 1940'lar ile 1970'lere kadar olan dönemde ise küresel hava sıcaklığındaki artış eğilimi yavaşlamış veya kesintiye uğramış ve 1970'lerden 1990'lara kadar olan dönemde ise tekrar hız kazanmıştır. Yaklaşık 1998-2013 yılları arasında küresel ortalama hava sıcaklıklarındaki artış hızında 20. yüzyılın ikinci yarısındaki artışa göre bir duraksama gözlenirse de özellikle 2014 yılından itibaren küresel hava sıcaklıklarında tekrar hızlı bir artış dönemine girilmiştir (Trenberth, 2015; Loeb vd., 2018). 1850 yılından bu yana küresel ortalama sıcaklıklardaki en yüksek değere sahip 7 yılın 2015 sonrasında gözlenmesi ve en sıcak yılların 2016, 2019 ve 2021 yılları olması, bu hızlı artış eğilimini doğrulamaktadır (Dünya Meteoroloji Örgütü, 2022).

19. yüzyılın son çeyreğinden itibaren küresel ortalama hava sıcaklıklarında gözlenen artış eğilimi zamansal olduğu gibi alansal olarak da farklılıklar göstermektedir. Türkiye'nin içinde yer aldığı Akdeniz havzası dünyada en hızlı ısınan alanlardan biridir. Gözlemlere dayalı analizler, Akdeniz havzasında kara-deniz üzerinde yıllık ortalama hava sıcaklıklarının 1860-1890 döneminden günümüze kadar 1.54°C arttığını ortaya koymaktadır ve bu değer küresel ortalama değer 0.4°C (yaklaşık %20) üzerindedir (Lionello ve Scarascia, 2018; Akdeniz İklim ve Çevre Değişikliği Uzmanları, 2020).

Oluşturulan iklim modelleri, yüksek sera gazı emisyonu senaryoları altında Akdeniz havzasında 20. yüzyılda başlayan ısınma eğiliminin devam edeceğine ve 21. yüzyılın sonuna kadar çok daha sıcak ve daha kurak koşulların oluşacağına dair güçlü öngörüler sunmaktadır (Mariotti vd., 2015; Öztürk vd., 2018; Zittis vd., 2019; Akdeniz İklim ve Çevre Değişikliği Uzmanları, 2020). Örneğin Türkiye'yi içine alan Ortadoğu ve Kuzey Afrika için oluşturulan bölgesel iklim modeli simülasyonları, uzak gelecekte (2070–2100) ortalama hava sıcaklıklarında 3°C 'den 9°C 'ye kadar değişen bir artışın gerçekleşeceğini öngörmektedir (Öztürk vd., 2018). "Koordineli Bölgesel Ölçek Küçültme Deneyi (CORDEX) simülasyonları, Akdeniz havzasında yüzyılın sonuna kadar, 1986–2005 referans dönemine göre ortalama hava sıcaklıklarında 1°C ile 5°C arasında bir ısınma eğilimini öngörmekte, bu değer yaz mevsiminde 7°C 'ye kadar çıkmaktadır (Zittis vd., 2019). Çoklu iklim modeli simülasyonları, 21. yüzyılın sonunda düşük (RCP2.6) sera gazı emisyonları için 0.9 ile 1.5°C , yüksek (RCP8.5) sera gazı emisyonları için 3.7 ile 5.6°C aralığında bir sıcaklık artışı öngörülmektedir. Öngörülen bu değerler, Akdeniz Havzasının küresel ortalama değerlerden yıllık olarak %20 ve yaz aylarında ise %50'nin üzerinde daha fazla ısınacağını göstermektedir (Akdeniz İklim ve Çevre Değişikliği Uzmanları, 2020).

Türkiye'de küresel değerler ile uyumlu olarak ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları yıllar/on yıllar arası değişkenliğe rağmen artış eğilimi göstermektedir. 1929'dan 1999'a kadar olan dönemde Türkiye'de ortalama hava sıcaklıkları özellikle güney bölgelerde artış eğilimi gösterirken, kuzey ve iç bölgelerde yaz ve sonbahar mevsimlerinde azaldığı belirlenmiştir. Yıllık, kış, ilkbahar ve yaz maksimum sıcaklıkları, İç Anadolu ve Karadeniz bölgeleri ile kısmen Doğu Anadolu bölgesi dışındaki birçok istasyonda artış eğilimi, sonbahar mevsiminde ise Ege bölgesi hariç, Türkiye'nin büyük bölümünde biraz azalma eğilimi göstermiştir (Türkeş vd., 2002). Türkiye'de 54 istasyonun 1950-2004 dönemine ait sıcaklık gözlemleri esas alındığında, 2000'li yıllardan itibaren kuvvetli bir ısınma eğiliminin gözlemlendiği görülmektedir. Özellikle kentleşmeye bağlı olarak minimum sıcaklıklar ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde tüm bölgelerde önemli ölçüde artmıştır. Alansal analizler, ülkenin kuzey kesimlerindeki bazı istasyonlarda önemli olmayan soğuma eğilimleri dışında özellikle güney ve güneydoğu bölgelerinde ısınma eğiliminin daha kuvvetli olduğunu göstermiştir (Tayanç vd., 2009). Türkiye'de aylık ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları 1950-2010 döneminde kuvvetli olmayan bir artış eğilimi sergilemiştir. 1980 yılından sonra ortalama hava sıcaklıklarında gözlenen artış 0.19°C (13.11 – 12.92°C), maksimum sıcaklıklarda 0.33°C (25.71 – 25.38°C) ve minimum sıcaklıklarda 0.34°C

(1.63–1.29°C) olarak saptanmıştır (Türkeş vd., 2016). 1901–2014 dönemine ait İklim Araştırma Birimi Zaman Serisi (CRU TS V3.23) veri setindeki 81 gride ait aylık ortalama sıcaklıklarının analizi, Türkiye’de yıllık ortalama hava sıcaklığının bir yüzyılda 0.88°C arttığını ortaya koymuştur. Tüm bölgeleri kapsayan hava sıcaklıklarındaki artış eğilimi 1993 yılı sonrası önem kazanmıştır (Hadi ve Tombul, 2018).

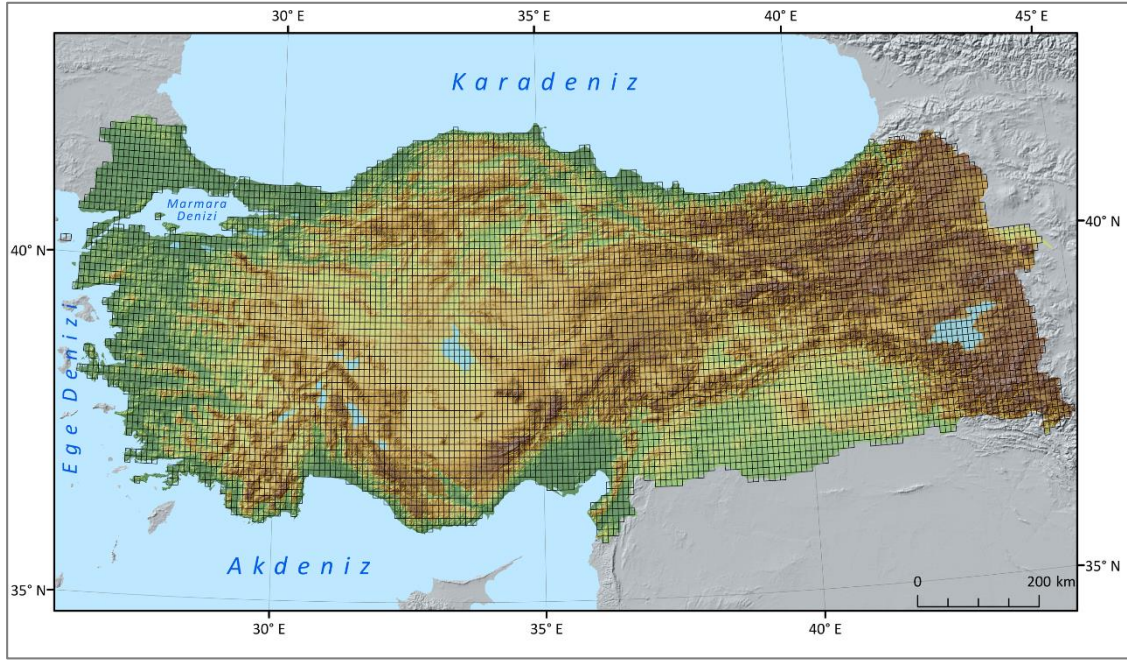
Yukarda görüldüğü gibi, Türkiye’de ortalama hava sıcaklıklarının zamansal değişimi konusunda yaklaşık son on yıllık dönemi kapsayan çalışmaların sayısı çok azdır. Ayrıca Türkiye’de hava sıcaklıklarına ilişkin çalışmaların hemen hemen tümü, sayısı en fazla 244 meteoroloji/klimatoloji istasyonunda kaydedilen aletli meteorolojik gözlemlere dayanmaktadır. Bu çalışmanın amacı aletli meteorolojik gözlemlerin olmadığı alanları da kapsayan 8053 grid hücresinin ortalamasını alarak, Türkiye’de, yıllık ve mevsimlik ortalama hava sıcaklıklarının 1950-2022 döneminde gösterdiği zamansal değişimleri ortaya koymaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Türkiye’de ortalama hava sıcaklığında gözlenen değişim ve eğilimleri incelemek için Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF)’nin, Kopernik İklim Değişikliği Servisi (Copernicus Climate Change Service - C3S) tarafından üretilen, ERA5 (ECMWF Reanalysis v5)’in arazi parametrelerine göre oluşturulmuş ERA5-Land yeniden analiz (reanalysis) veri seti kullanılmıştır (Muñoz-Sabater, 2019, 2021; Kopernik İklim Değişikliği Servisi, 2021). ERA5 veri seti, küresel ölçekte çeşitli atmosfer ve iklim değişkenlerinin, 1950 yılından günümüze kadar olan saatlik tahminlerini kesintisiz sağlamaktadır. Veriler, yaklaşık 31 km (0.25°) alan çözünürlüğünde Gaussian grid olarak, yüzeyden 0.01 hPa’a kadar 137 ayrı basınç seviyesinde atmosferi çözümlenmektedir (Hersbach vd., 2020). ERA5-Land veri seti (0.1°, saatlik) ise ERA5’in arazi parametrelerine göre oluşturulmuş, daha yüksek çözünürlükteki (~9km) bir veri setidir (Muñoz-Sabater vd., 2021). Çalışmada 1950-2022 döneminde, yerden 2 metre yükseklikteki saatlik olarak sunulan ortalama hava sıcaklıklarından elde edilen, ERA5-Land aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. Türkiye’yi kapsayan 8053 grid hücresi, ECMWF C3S Climate Data Store (CDS) üzerinden sunulan küresel ölçekteki verilerden elde edilerek kullanılmıştır (Şekil 1).

Yıllık ortalama hava sıcaklığı zaman serisi, 1950-2022 döneminde Ocak ayından Aralık ayına kadar olan 73 yıllık sıcaklık verilerinin ortalamaları alınarak, mevsimlik ortalama hava sıcaklığı serilerinde ise mevsimi oluşturan üç ayın ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Mevsimlik ortalama hava sıcaklığı zaman serilerinde, 1949 yılı Aralık verisi bulunmadığından analizlerde kış mevsimi 1951 yılından başlatılmıştır. Yıllık, mevsimlik ve aylık hava sıcaklık anomalilerinin belirlenmesinde 1981-2010 yılları arası referans dönem olarak kullanılmıştır.

Çalışmada ortalama hava sıcaklıklarındaki artma veya azalma yönündeki olası eğilimlerin yönü ve büyüklüğünü belirlemek amacıyla, basit doğrusal regresyon analizi ile klimatoloji çalışmalarında sıklıkla kullanılan parametrik olmayan Mann-Kendall sıra ilişki katsayısı (Sneyers, 1990) yöntemlerinden yararlanılmıştır. Mann-Kendall sınamasının ardışık çözümlenmesinden elde edilen $u(t)$ ve $u'(t)$ örneklem değerleri kullanılarak dizilerdeki eğilimler gösterilmiştir (Şekil 2b ve 4b-7b). Bu değerler kritik değer olan 1.96’den büyük olduğunda istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde (0.05 anlamlılık düzeyinde) artış eğilimi tanımlanmaktadır. Bu eğrilerin kesiştiği nokta trendin veya değişimin başladığı yılı, bu eğrilerin sık sık kesişmesi ise zaman dizisinde herhangi bir trendin olmadığını göstermektedir (Türkeş, 2013). Basit doğrusal regresyon analizinde zaman bağımsız değişken ortalama hava sıcaklıkları ise bağımlı değişken olarak kabul edilerek 8053 grid hücresinin yıllık ve mevsimlik ortalamalarına ait zaman dizilerinin eğilimleri hesaplanmıştır. $n-2$ serbestlik dereceli Student t testi ile regresyon katsayısı β ’nin istatistiksel olarak anlamlılığı sınamıştır. Mann-Kendall sıra katsayısı ile elde edilen olası eğilimlerin büyüklüğü Sen’in eğim yöntemi (Sen’s slope estimator) ile belirlenmiştir (Sen, 1968). Tüm test istatistikleri için istatistiksel olarak anlamlılık üç seviyede ($\alpha=0.05$, $\alpha=0.01$, $\alpha=0.001$) test edilmiştir. Yıllık ve mevsimlik ortalama hava sıcaklığı anomali dizilerindeki yıllararası değişkenlik 9 noktalı Gauss filtresi ile düzgünleştirilmiştir (Türkeş, 1995).



Şekil 1- Çalışmada kullanılan 8053 grid hücrenin alansal dağılışı.
Figure 1- Spatial distribution of the 8053 grid cells used in the study.

NetCDF (Network Common Data Form) olarak temin edilen ERA5-Land veri setinin, mevsim ve yıllık analizleri Climate Data Operators (CDO) yazılımı (Schulzweida, 2022) ile yapılmıştır. Türkiye'nin ortalama hava sıcaklığında gözlenen değişim ve eğilimleri belirlemek amacıyla hesaplanan test istatistikleri R yazılımı programı ile hesaplanmış ve görselleştirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Türkiye'de 1950-2022 döneminde yıllık ortalama hava sıcaklıklarında gözlenen zamansal değişim ve eğilimler

Gridli verilere göre, Türkiye'de 1950-2022 döneminde yıllık ortalama hava sıcaklıkları artma eğilimi göstermiştir. Basit doğrusal regresyon analizine (Sen'in eğim değerine) göre bu artış eğilimi her on yıl için 0.18°C (0.20°C) olmak üzere ($R^2 = 0.212$, t testi = 4.37) 0.01 düzeyinde istatistiki olarak anlamlıdır (Tablo 1). Bu artış eğilimine göre son 73 yılda Türkiye'de ortalama hava sıcaklığı 1.31°C (1.46°C) yükselmiştir. Küresel hava sıcaklıklarındaki artış eğilimine ilişkin sonuçlar ile karşılaştırıldığında, Türkiye'nin daha hızlı ısındığı görülmektedir. Nitekim küresel ortalama hava sıcaklıkları 1981-2020 döneminde her on yılda 0.18°C artarken (Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi, 2021), bu değer aynı dönem için Türkiye'de 0.52°C 'dir. Bu durum Türkiye'nin küresel ortalamanın neredeyse 3 katına yakın bir ısınma eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Türkiye'de son 73 yılda ortalama hava sıcaklıklarında gözlenen bu artış eğiliminin iklim sistemindeki doğal nedenlere bağlı olarak doğrusal olmadığı görülmektedir. Yıllık ortalama hava sıcaklıklarının referans dönemi ortalamasına (1981-2010 referans dönemi ortalaması = 10.36°C) göre gösterdiği değişimler esas alındığında, hava sıcaklıklarındaki artış eğiliminin yavaşladığı veya hız kazandığı belli dönemler ayırt etmek mümkündür (Şekil 2a).

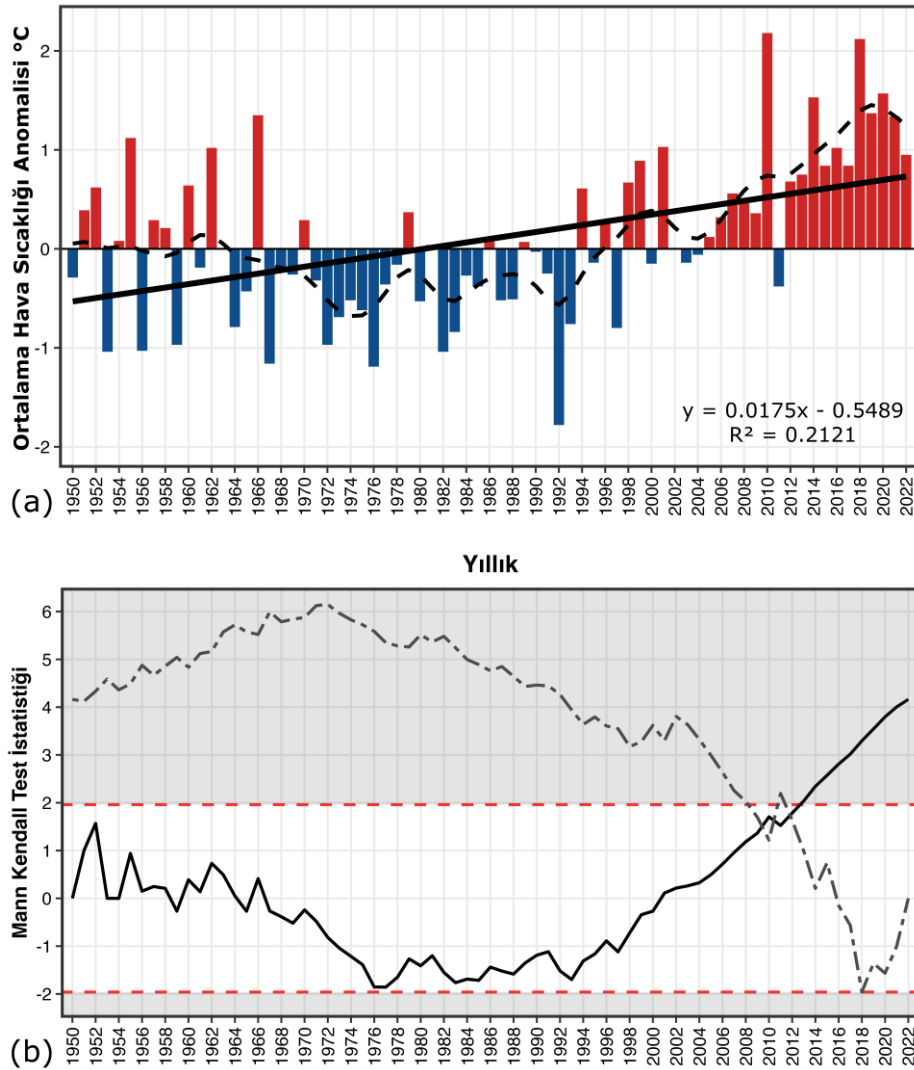
Bunlardan 1950-1966 döneminde, Türkiye'de yıllık ortalama hava sıcaklıklarında değişkenlik yüksektir ve negatif ve pozitif anomali gösteren yıllar birbirini izlemiştir. Ancak bu dönemde her on yıl için 0.15°C olmak üzere hava sıcaklıklarında bir artış eğilimi söz konusudur. 1967-1993 döneminde ise zayıf bir pozitif anomali gösteren beş yıl dışında hava sıcaklıkları referans dönemi ortalamasının altında kalmış ve hava sıcaklıkları 27 yıldan oluşan bu dönemde zayıf bir azalma eğilimi göstermiştir (her on yıl için -0.02°C). Türkiye'de yıllık ortalama hava sıcaklıklarının referans dönemine göre en kuvvetli negatif anomali gösterdiği yıllar 1967-1993

dönemine karşılık gelmektedir. Bunlar sırasıyla 1992 (8.58°C), 1976 (9.17°C) ve 1967 (9.20°C) yıllarıdır. 1994-2022 döneminde Türkiye’de yıllık ortalama hava sıcaklıkları belirgin bir artış göstermiş, 6 yıl dışında yıllık ortalama hava sıcaklıkları referans dönemi ortalamasının üzerinde kalmıştır. 29 yıllık bu son dönemde yıllık ortalama hava sıcaklıkları her on yıl için 0.51°C artış eğilimi göstermiştir. Türkiye’de son 73 yılda ölçülen en yüksek yıllık ortalama hava sıcaklıkları 2011 yılı hariç 2005 yılından sonraki döneme aittir. 2005 yılı sonrası hemen hemen tüm aylarda aylık ortalama hava sıcaklıkları referans dönemi ortalamasının üzerinde kalmıştır (Şekil 3). Türkiye ortalamasına göre 1950-2022 döneminde yıllık ortalama hava sıcaklıklarında en yüksek değerler sırasıyla 12.53°C ile 2010, 12.48°C ile 2018 ve 11.93°C ile 2020 yıllarına aittir. İstasyon bazlı gözlemlerin yapıldığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün 2022 Yılı İklim Değerlendirmesi raporuna göre Türkiye’de yıllık ortalama sıcaklıklar 1981–2010 ortalamasına göre 1998 yılından bu yana (2011 yılı hariç) pozitif anomali değerlerine sahiptir ve 1971-2022 yılından bu yana en yüksek yıllık ortalama sıcaklık 15.5°C ile 2010 yılına aittir.

Çizelge 1- Türkiye’de 8053 gridli veriye göre 1950-2022 dönemine ait ortalama hava sıcaklıklarının basit doğrusal ve Mann-Kendall (M-K) testine göre trend analiz sonuçları. Yıldız işaretleri, istatistiki olarak ‘***’ $p < 0.001$, ‘**’ $p < 0.01$ ve ‘*’ $p < 0.05$ anlamlılık düzeylerini belirtmektedir.

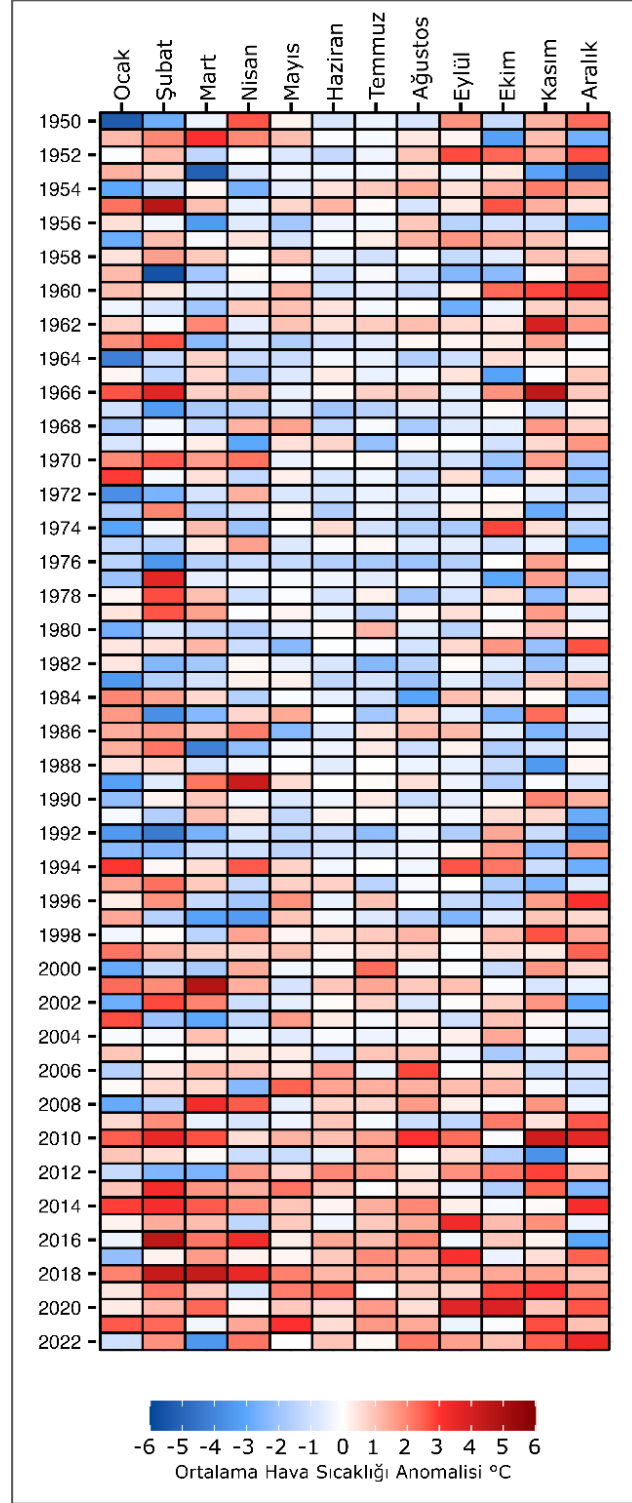
Table 1- Trend analysis results of the mean air temperatures for the period of 1950-2022 in Turkey based on the 8053 gridded data using simple linear and Mann-Kendall (M-K) tests. Asterisks indicate level of statistical significance at ‘***’ $p < 0.001$, ‘**’ $p < 0.01$ and ‘*’ $p < 0.05$.

	Basit doğrusal trend	$\hat{\beta}$ (°C/yıl)	M-K testi Z	Sen’in Eğimi Q (°C/yıl)
Yıllık	4.37	0.018***	4.16	0.020***
İlkbahar	3.31	0.019**	3.09	0.019**
Yaz	5.56	0.022***	4.87	0.023***
Sonbahar	2.12	0.012*	2.40	0.015*
Kış	1.56	0.012	1.53	0.014
Ocak	1.31	0.015	0.96	0.011
Şubat	1.94	0.023	1.83	0.022
Mart	2.25	0.024*	2.20	0.023*
Nisan	1.78	0.016	1.57	0.014
Mayıs	2.95	0.017**	2.53	0.017*
Haziran	4.92	0.020***	4.34	0.021***
Temmuz	4.36	0.022***	4.02	0.022***
Ağustos	3.72	0.023***	3.39	0.025***
Eylül	2.56	0.018*	2.27	0.017*
Ekim	1.65	0.014	1.45	0.015
Kasım	0.47	0.005	0.57	0.006
Aralık	1.22	0.013	0.79	0.011



Şekil 2- 1950-2022 döneminde Türkiye’de yıllık ortalama hava sıcaklıklarının referans dönemine göre gösterdiği anomaliler ve doğrusal trendi. Kalın siyah çizgi basit doğrusal trendi (———), kesik çizgi (- - -) 9’lu gauss süzgecini göstermektedir (a). Mann-Kendall sınavasının ardışık çözümlemesinden elde edilen $u(t)$ ve $u'(t)$ değerlerine göre Türkiye’de yıllık ortalama hava sıcaklıklarında gözlenen uzun süreli eğilimler. Kırmızı kesik çizgi normal dağılımın 0.05 anlamlılık düzeyindeki 1.96 ve -1.96 olan kritik değerleri göstermektedir (b).

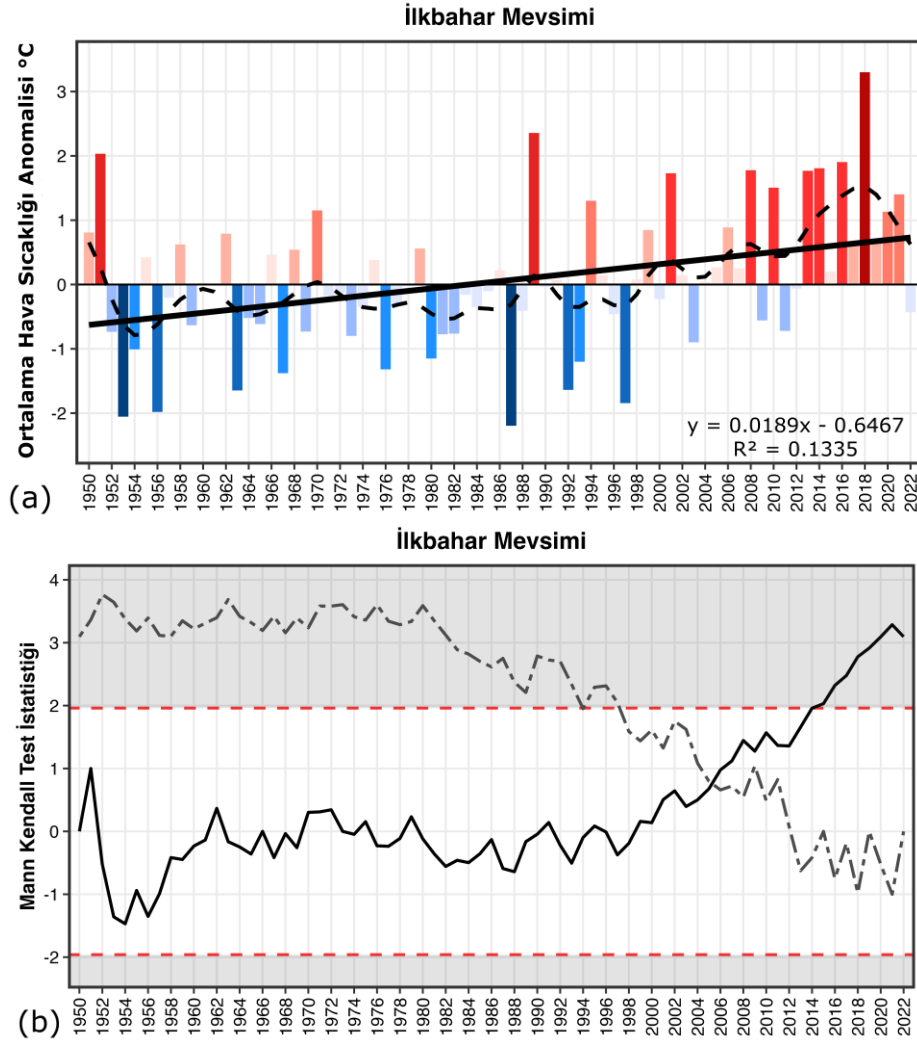
Figure 2- Anomalies and linear trend of annual mean air temperatures in Turkey relative to the reference period during 1950-2022. The thick black line shows the simple linear trend and the dashed line represents the 9-point Gaussian filter (a). Long-term trends observed in annual and seasonal mean air temperatures in Turkey based on the $u(t)$ and $u'(t)$ values obtained from the sequential analysis of the Mann-Kendall test. The red dashed line indicates the critical values of the normal distribution at the 0.05 significance level, which are 1.96 and -1.96 (b).



Şekil 3- Türkiye’de aylık ortalama sıcaklıkların referans dönemine göre gösterdiği değişimler
Figure 3- Changes in monthly mean temperatures in Turkey relative to the reference period.

3.2 İlkbahar mevsimi ortalama hava sıcaklıklarındaki değişim ve eğilimler

Türkiye’de yaz mevsiminden sonra ortalama hava sıcaklıklarında en kuvvetli artış eğilimi ilkbahar mevsimine aittir. 1950-2022 döneminde ilkbahar mevsimi ortalama hava sıcaklıkları, istatistiki olarak 0.01 düzeyinde anlamlı olmak üzere basit doğrusal trend analizi (Sen’in eğim değeri) sonuçlarına göre her on yıl için 0.19°C (0.19°C) artış göstermektedir (Tablo 1). Bu artış eğilimine göre, son 73 yılda Türkiye’de ilkbahar mevsimi ortalama hava sıcaklıkları 1.39°C (1.39°C) yükselmiştir. 2014 yılı ve sonrasındaki artış eğilimi istatistiksel olarak anlamlıdır (Şekil 4b). İlkbahar mevsimindeki ısınma eğilimi doğrusal olmayıp iki döneme ayrılmaktadır. 1950-2000 dönemi genellikle referans dönemi ortalamasına göre negatif anomaliler göstermiş, artma veya azalma yönünde bir eğilim gözlenmemiştir. Bu dönem içerisinde sırasıyla 1987, 1953 ve 1956 yılları olmak üzere en düşük sıcaklık ortalamaları gözlenmiştir. Bunlardan 1987 ilkbahar mevsiminin başlarında, Kuzey Avrupa’da üst atmosferde oluşan blok etkinliği nedeniyle, Orta-Güney Avrupa ve Batı Anadolu’da alçak basınç koşulları uzun süre bölgede etkili olarak, kuzeyli soğuk hava akımlarının alçak enlemlere ulaşmasına olanak sağlamıştır (Tayanç vd., 1998; Twardosz ve Kossowska-Cezak, 2019). İlkbahar mevsimi ortalama hava sıcaklıkları 2000 yılı sonrası oldukça belirgin bir şekilde artış göstermiş ve oldukça zayıf negatif anomali gösteren beş yıl dışında hava sıcaklıkları referans dönemi ortalamasının üzerinde kalmıştır. M-K sınamasının ardışık çözümlmesine göre en önemli değişiklik 2005 yılıdır (Şekil 4b). Özellikle 2018 yılı ilkbahar mevsimi, referans dönemi ortalamasına göre 3.30°C bir pozitif anomali göstererek son 73 yılın en sıcak ilkbahar mevsimi olmuştur (Şekil 4a).



Şekil 4- Şekil 2 ile aynı ancak ilkbahar mevsimi için.

Figure 4- Same as Figure 2 but for spring

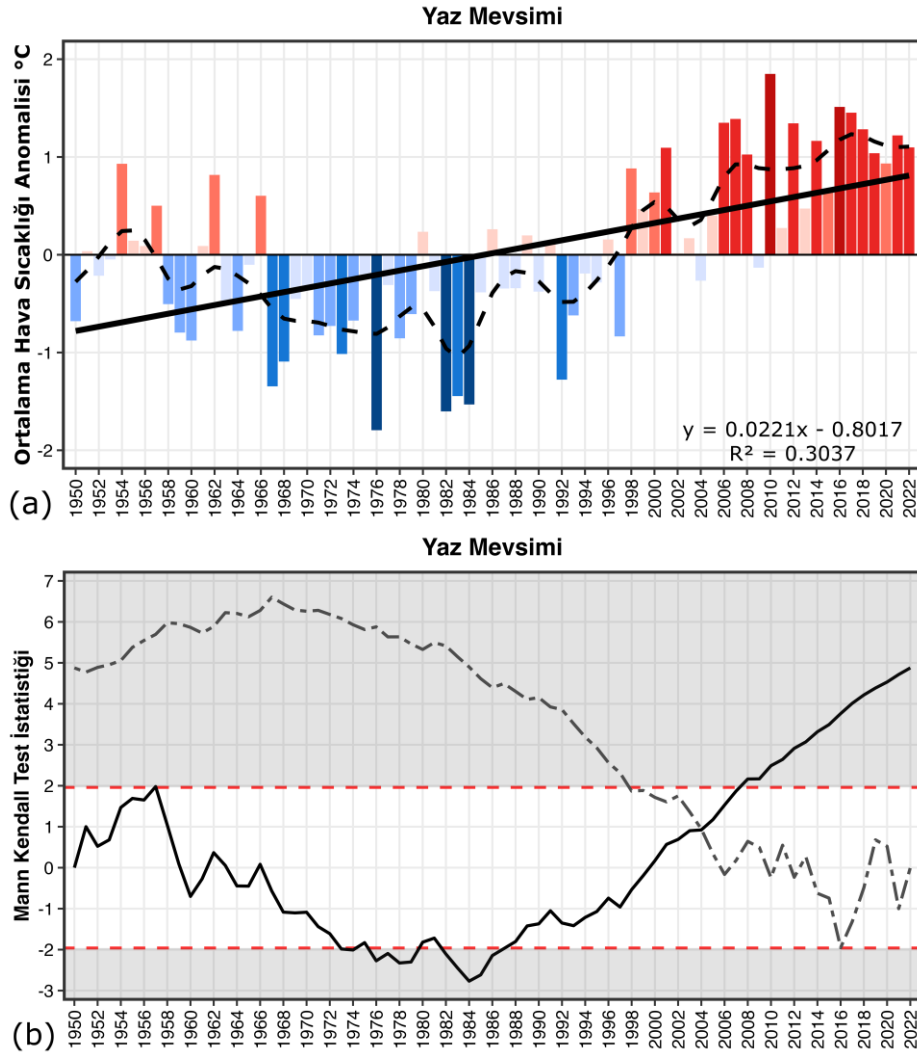
İlkbahar mevsiminde aylık ortalama hava sıcaklıkları incelendiğinde, Mart ayında basit doğrusal trende (Sen’in eğim değerine) göre 0.05 (0.05) ve Mayıs ayında 0.01 (0.05) düzeyinde istatistiki olarak anlamlı bir artış eğilimi vardır. İlkbahar mevsiminde en güçlü sıcaklık artışı Mart ayına aittir. Mart ayı ortalama hava sıcaklıkları 1950-2022 döneminde her on yıl için 0.24°C (0.23°C) artış göstermiş, özellikle 2001 yılından itibaren bu eğilim daha belirgin bir duruma gelmiştir. 2001 yılı Mart ayı referans dönemine göre 4.8°C pozitif anomali göstererek son 73 yılın en sıcak Mart ayı olmuştur. Türkiye’de Nisan ayında aylık ortalama hava sıcaklıkları 1950-2022 döneminde her on yıl için 0.16°C (0.14°C) artış göstermiştir. Bu ayda 2008 yılı itibari ile ısınma eğilimi kuvvetlenmiştir. İlkbahar mevsiminde ısınma eğiliminin gözlemlendiği bir diğer ay Mayıs’tır. 1950-2022 döneminde ortalama aylık hava sıcaklıklarının her on yıl için 0.17°C (0.17°C) artış gösterdiği Mayıs ayında, son 73 yılda en yüksek değerler 2003 yılı sonrası görülmüştür. Mayıs ayında 2021, 2007 ve 2013 yıllarında ise aylık ortalama hava sıcaklıkları 16°C’nin üzerine çıkmıştır. 2021 yılı Mayıs ayı, 16.9°C ile referans dönemine göre 3.05°C pozitif anomali değeri göstererek son 73 yıldaki en sıcak Mayıs ayı olmuştur (Şekil 3).

3.3 Yaz mevsimi ortalama hava sıcaklıklarındaki değişim ve eğilimler

Türkiye’de ortalama hava sıcaklıklarındaki en kuvvetli artış eğilimi yaz mevsimine aittir (Şekil 5a). Basit doğrusal trend analizinin (Sen’in eğim değerinin) sonuçları Türkiye’de yaz mevsiminde ortalama hava sıcaklıklarının 1950-2022 döneminde, istatistiki olarak 0.01 düzeyinde anlamlı olmak üzere her on yıl için 0.22°C (0.23°C) yükseldiğini göstermektedir (Tablo1). Bu artış eğilimi, son 73 yılda Türkiye’de yaz mevsiminde ortalama hava sıcaklıklarının 1.61°C (1.68°C) arttığını göstermektedir.

Yıllık ortalama hava sıcaklıklarında olduğu gibi, yaz mevsimindeki ısınma eğilimi doğrusal olmayıp, üç dönem ayırt etmek mümkündür. Bunlardan 1950-1966 döneminde yaz mevsiminde ortalama hava sıcaklıkları genellikle referans dönemi ortalamasına göre zayıf bir pozitif anomali göstermiş, artma veya azalma yönünde bir eğilim gözlenmemiştir. 1967-1997 arasındaki 31 yıllık ikinci dönemde ise 5 yıl hariç değerler referans dönemine göre negatif anomali göstermiştir. Türkiye’de son 73 yılda yaz mevsiminde en düşük sıcaklık ortalamaları sırasıyla 1976, 1982 ve 1984 olmak üzere bu dönem içinde gözlenmiştir. Bunlardan 1976 yılı, “1976-1977 iklim kayması” olarak tanımlanan ekvatorial Pasifik’in orta ve doğusunda deniz yüzeyi sıcaklığının yükseldiği ve Pasifik Onyıllık Salınım indisinin 1951-75 dönemini kapsayan 25 yıllık ağırlıklı olarak negatif değerlerinden, 1977-2001 dönemi için ağırlıklı olarak pozitif değerlere kayma gösterdiği bir yıla karşılık gelmektedir (Trenberth ve Hurrell, 1994; Ding vd., 2013). 1982 ve 1984 yaz mevsimlerinde ortalama sıcaklıklardaki belirgin azalma tropikal kuşakta gerçekleşen bir volkanik püskürmenin iklim sistemi üzerindeki etkisi ile ilişkili gözükmektedir. Bu dönemde Meksika’daki El Chichón volkanının 29 Mart, 3-4 Nisan 1982 tarihindeki püskürmesi, püskürmeyi izleyen 36 ay boyunca Türkiye üzerinde özellikle yaz mevsiminde aylık ortalama maksimum sıcaklık değerlerinde önemli azalmalara yol açmıştır (Erlat ve Türkeş, 2019). Nitekim Türkiye’de 1982, 1983 ve 1984 yaz mevsimi ortalama hava sıcaklığı değerleri de kuvvetli negatif sıcaklık anomalileri ile karakterize olmaktadır.

Öte yandan, Türkiye’de ortalama hava sıcaklıkları 1998 yılından itibaren kuvvetli artış eğimi göstermiş olup, 2010 yılından sonra kesintisiz pozitif anomali değerleri gözlenmiştir. M-K sınamasının ardışık çözümlenmesine göre en önemli değişiklik 2004 yılıdır (Şekil 5b). Son 73 yılda en yüksek ortalama değerler sırasıyla 2010, 2016 ve 2017 yılları olmak üzere bu döneme aittir. Türkiye’de en yüksek yaz sıcaklıklarının gözlemlendiği 2010 yılı, merkezi Rusya olmak üzere Türkiye’yi de içine alan mega sıcak hava dalgası ile açıklanabilir (Barriopedro vd., 2011). Ayrıca 2010 yılı 1950-2018 yılları arasında kapsayan dönemde Türkiye’de en yüksek sıcak hava dalgası sayısı, frekansı ve süresine sahip yıldır. Türkiye ortalamasına göre 2010 yılı yaz mevsiminde ilk kez sıcak hava dalgalarının sayısı 6’ya, sıcak hava dalgasının etkili olduğu gün sayısı (frekansı) 25 güne ve kesintisiz sıcak hava dalgasının etkili olduğu gün sayısı yaklaşık 10 güne yükselmiştir. Benzer şekilde 2017 yılı Türkiye’de 24 gün ile en yüksek sıcak hava dalgası frekansına sahip ikinci yıl olarak kayıtlara geçmiştir (Erlat vd., 2021).



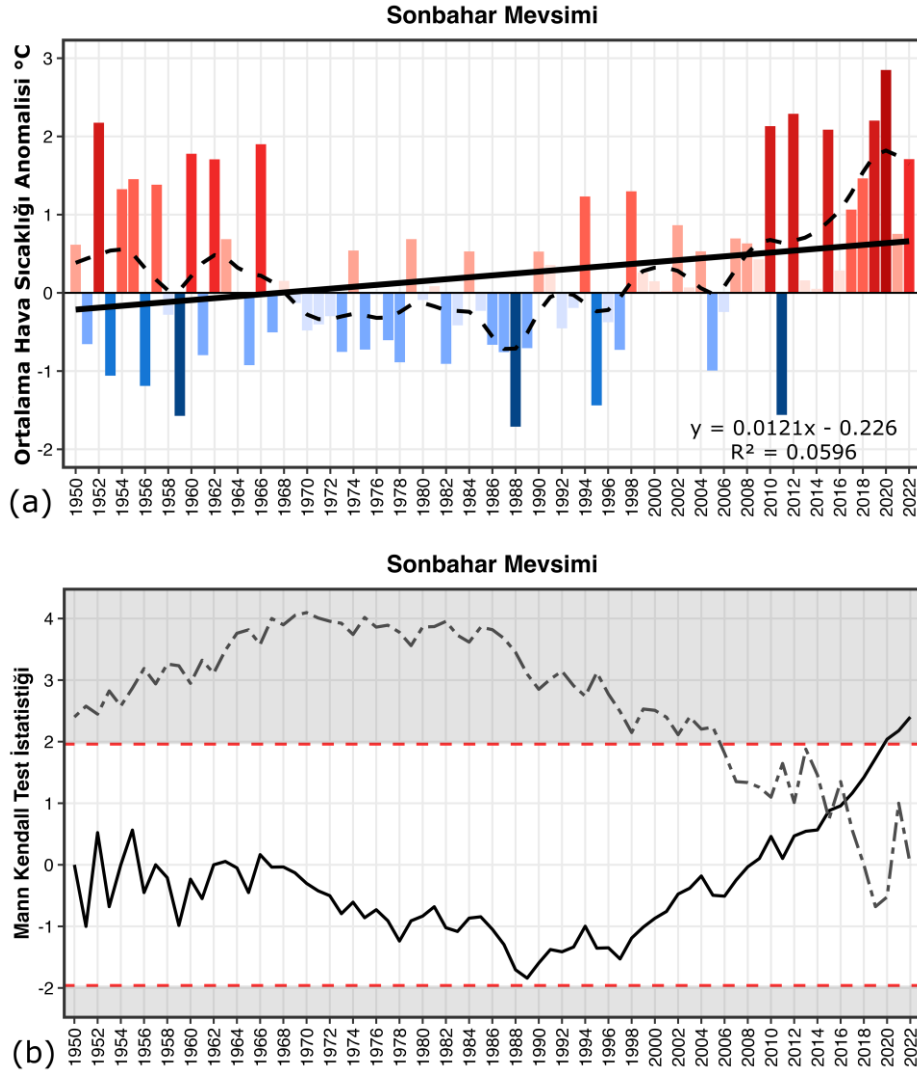
Şekil 5: Şekil 2 ile aynı ancak yaz mevsimi için
Figure 5: Same as Figure 2 but for summer

Yaz mevsiminde en belirgin sıcaklık artışı Haziran ayına aittir. Aylık ortalama hava sıcaklıklarının 1950-2022 döneminde her on yıl için 0.21°C arttığı bu ayda özellikle 2000’li yılların ortalarından itibaren sıcaklıklarda çok belirgin bir artış gözlenmiştir. Son 73 yılda en sıcak Haziran ayı 20.8°C ile 2019 yılına aittir (Şekil 3). Yaz mevsiminde ısınma eğiliminin kuvvetli olduğu bir diğer ay Temmuz’dur. 1950-2022 döneminde her on yıl için 0.22°C artış gösterdiği Temmuz ayında, en yüksek aylık ortalama sıcaklıklar 2010 sonrasında aittir. Referans dönemine göre 21.9°C olan değerler 2010 yılından sonraki 13 yıl boyunca kesintisiz pozitif anomali göstermiştir. Rasat süresi içindeki en yüksek Temmuz ayı ortalama sıcaklık değeri 24.2°C ile 2000 yılına aittir. Nitekim 2000 yılı Temmuz ayında 500 hPa standart basınç düzeyinde Rusya ve Anadolu’nun doğusunda antisiklonik anomali dolaşım deseninin egemen olması ve buna bağlı olarak Türkiye üzerine doğru hareket eden sıcak/nemli hava kütlesi birçok istasyonda hava sıcaklıklarının 40°C ’nin üzerine çıkmasına, 39 istasyonda rekor yüksek sıcaklık değerinin ölçülmesine yol açmıştır (Erlat ve Türkeş, 2015). Türkiye ortalamasına göre Ağustos ayında son 73 yılda sıcaklıklar her on yıl için 0.23°C artış göstermiştir. Ağustos ayındaki ısınma eğilimi 1980’li yılların ortalarından itibaren belirginleşmiş, incelenen dönem içinde en yüksek değere 25.0°C ile 2010 yılında ulaşılmıştır. Türkiye’de hem yaz mevsiminin hem de Ağustos referans dönemi ortalamasına göre en yüksek değerlere sahip 2010 yılı, merkezi Rusya olan mega sıcak hava dalgası ile karakterize olmaktadır. Türkiye’de 2010 sıcak hava dalgası, rekor sıcaklık değerlerinden çok, sıcak hava dalgasının etkili olduğu gün sayısının

uzunluğu ile dikkat çekmektedir. Sıcak hava dalgasının etkili olduğu dönemde Türkiye’de 88 istasyonun 29’unda sıcak hava dalgası frekansı en yüksek değere ulaşmıştır (Erlat vd., 2021).

3.4 Sonbahar mevsimi ortalama hava sıcaklıklarındaki değişim ve eğilimler

Türkiye’de sonbahar mevsiminde ortalama hava sıcaklıkları 1950-2022 döneminde istatistiki olarak 0.05 anlamlılık düzeyinde olmak üzere basit doğrusal trend analizine (Sen’in eğim değerine) göre her on yıl için 0.12°C (0.15°C) artma eğilimi göstermiştir. Bu artış eğilimine göre, sonbahar mevsiminde Türkiye’de ortalama hava sıcaklıkları son 73 yılda 0.88°C (1.10°C) artmıştır (Tablo 1). Sonbaharda ortalama hava sıcaklıklarının 1950-1966 döneminde yıllar arası değişkenliği yüksek iken, 1967-1997 döneminde genellikle referans dönemi ortalamasının altında kalmıştır. 1998 sonrası sonbahar mevsiminde ortalama hava sıcaklıklarındaki artış eğilimi daha belirgin hale gelmiş ve en yüksek değere 2020 yılında ulaşmıştır (Şekil 6a).



Şekil 6: Şekil 2 ile aynı ancak sonbahar mevsimi için.

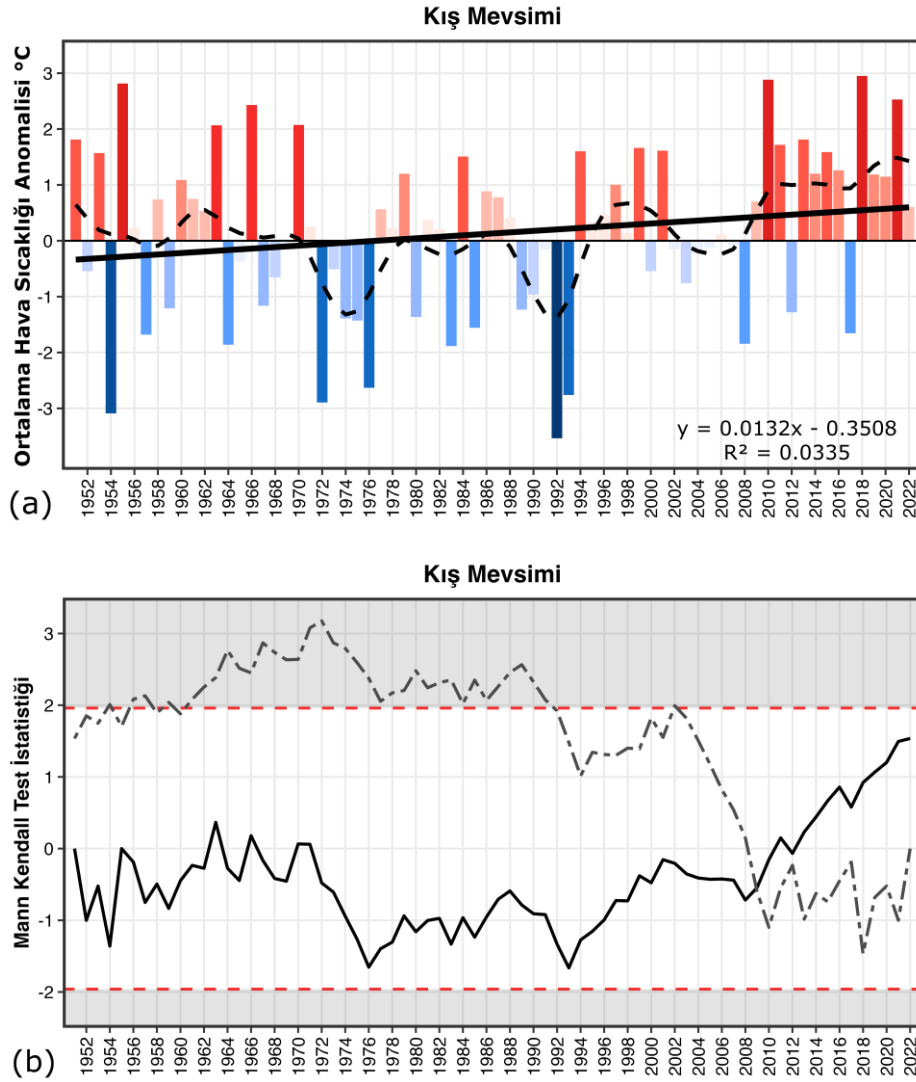
Figure 6: Same as Figure 2 but for Autumn.

Sonbahar mevsiminde aylık ortalama hava sıcaklıkları incelendiğinde, son 73 yılda Eylül ayı istatistiki olarak 0.05 anlamlılık düzeyinde, Ekim ve Kasım aylarında istatistiki olarak anlamlı olmayan bir artış eğilimi görülür. Eylül ayında 1950-1961 döneminde azalma eğilimi gösteren aylık ortalama hava sıcaklıkları, 1962-2009 döneminde genellikle referans dönemi ortalaması olan 18°C’ye yakın değerler almıştır. 2010 yılından itibaren sıcaklıklarda belirgin bir artış eğilimi görülmekte ve 2015, 2017 ve 2020 yıllarına olduğu gibi aylık ortalama değerler 21°C’nin üzerine çıkmaktadır. M-K sınavının ardışık çözümlemesine göre en önemli

değişiklik 2015 yılıdır (Şekil 6b). Türkiye’de son 73 yılda en sıcak Eylül ayı olarak kaydedilen 2020 yılı (Şekil 3), aynı zamanda referans dönemine (1981-2010) kıyasla 0.63°C pozitif anomali değeri ile küresel ölçekte de en sıcak Eylül olarak tarihe geçmiştir. Özellikle 2020 yılı Eylül ayı Türkiye, İsrail ve Ürdün’de yeni yüksek sıcaklık rekorları kırılmıştır (Kopernik İklim Değişikliği Servisi, 2020). Türkiye’de Ekim ayında aylık ortalama sıcaklıklar son 73 yılda düzenli bir artış eğilimi göstermiştir. En yüksek değere 16.3°C ile 2020 yılında ulaşılmıştır. Kasım ayında aylık ortalama sıcaklıklar istatistiki olarak anlamlı olmayan bir artış eğilimi göstermiştir. En yüksek değer 9.6°C ile 1962 yılına aittir.

3.5 Kış mevsimi ortalama hava sıcaklıklarındaki değişim ve eğilimler

Türkiye’de tüm mevsimler içerisinde ortalama hava sıcaklıklarındaki en zayıf artış eğiliminin yanında bu artış eğiliminin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tek mevsim kış mevsimidir. 1951-2022 döneminde kış mevsiminde ortalama hava sıcaklıkları basit doğrusal trend analizi (Sen’in eğim değeri) sonuçlarına göre her on yılda 0.12°C (0.14°C) artış göstermektedir (Tablo 1). Bu artış eğilimine göre son 72 yılda kış mevsiminde Türkiye’de ortalama hava sıcaklıkları 0.86°C (1.01°C) yükselmiştir. Kış mevsimi ortalama hava sıcaklıkları genel olarak, yıllık ortalama hava sıcaklıklarında zamansal olarak gözlenen değişim ve eğilimler ile benzer özellikler göstermektedir. Kış mevsimi ortalama hava sıcaklıklarındaki artış eğilimi doğrusal olmayıp üç ana dönem ile karakterize edilen bir dalgalanma göstermektedir (Şekil 7a).



Şekil 7: Şekil 2 ile aynı ancak kış mevsimi için.

Figure 7: Same as Figure 2 but for winter

1951-1970 yılları arasında kış mevsiminde ortalama hava sıcaklıkları referans dönemi ortalamasına göre -0.2°C ile negatif anomali göstermiştir. Kış mevsiminde bu dönemde değişkenlik oldukça yüksektir, referans dönemine göre kuvvetli pozitif ve kuvvetli negatif anomali gösteren yıllar birbirini takip etmiştir. 1971-1993 döneminde zayıf pozitif anomali gösteren birkaç yıl dışında, ortalama hava sıcaklıkları referans dönemi ortalamasının altında kalmış ve 23 yıldan oluşan bu dönemde ortalama hava sıcaklıkları zayıf bir azalma eğilimi göstermiştir. Kış mevsiminde ortalama hava sıcaklıklarının referans dönemine göre en kuvvetli negatif anomali gösterdiği yıllar bu döneme karşılık gelmektedir. Bunlar sırasıyla 1992, 1954 ve 1972 yıllarıdır. 2 Nisan – 2 Eylül 1991 tarihinde Filipinler’deki Pinatubo volkanının püskürmesinin oluşturduğu etki ile Arktik Salınım İndisi’nin kuvvetli pozitif evrede olması, Türkiye’de 1992 ve 1993 kış mevsimi ortalama hava sıcaklıklarında önemli azalmalara yol açmıştır (Erlat ve Türkes, 2019). 1994 yılı itibarı ile Türkiye’de kış mevsimi ortalama hava sıcaklıklarında belirgin bir artış eğilimi gözlenmektedir. 2002-2008 yılları arası referans dönemi ortalamasına göre oldukça zayıf negatif anomali gösteren 7 yıldan sonra, 2009-2022 döneminde negatif anomali gösteren iki yıl dışında ortalama hava sıcaklıkları referans dönemi ortalamasına göre oldukça güçlü pozitif anomali göstermiştir. Nitekim M-K sınamasının ardışık çözümlenmesine göre en önemli değişiklik 2009 yılında gerçekleşmiştir (Şekil 7b). En sıcak kış mevsimi ortalama hava sıcaklıklarına bu dönem içerisinde rastlanılmaktadır. 2010 yılı kış mevsimi, referans dönemi ortalamasına göre 2.88°C , 2018 yılı ise 2.95°C pozitif anomali ile en sıcak kış mevsimi olmuştur (Şekil 7a).

Kış mevsiminde aylık ortalama hava sıcaklıkları incelendiğinde, tüm aylarda istatistiki olarak anlamlı olmayan bir artış eğilimi bulunmaktadır. 1950-2022 döneminde Aralık ayında ortalama hava sıcaklıkları her on yıl için 0.13°C (0.11°C) artış göstermiştir (Tablo 1). Son 73 yılda en sıcak Aralık ayı 4.5°C ile 2010 yılında aittir. 1951-2022 döneminde Ocak ayı ortalama hava sıcaklıkları her on yıl için 0.15°C (0.11°C) artış göstermiştir. 1972-1983 ile 1999-1993 dönemlerindeki güçlü negatif anomaliler ile ayrılmış soğuk dönemleri dışında 1993 sonrası herhangi bir belirgin bir ısınma veya soğuma eğilimi göstermemiştir. Şubat ayı kış mevsimi içerisindeki en güçlü ısınma eğilimine sahip ay olarak ortalama hava sıcaklıkları 1951-2022 her on yılda 0.23°C (0.22°C) artış göstermiştir. 1951-1993 döneminde belirgin ısınma veya soğuma eğilimi gözlenmeyen bu ayda 1994-2022 döneminde belirgin bir ısınma eğilimi gözlenmektedir. 29 yıllık bu dönemde 5 yıl dışındaki tüm yıllarda ortalama hava sıcaklıkları referans döneminin üzerinde kalmıştır (Şekil 3).

4. SONUÇ

Bu çalışmada 8053 grid hücrenin verisi kullanılarak 1950-2022 döneminde Türkiye’de yıllık ortalama hava sıcaklıklarının zamansal değişimi incelenmiştir. Sonuçlar son 73 yıllık dönemde sıcaklıkların her on yıl için 0.20°C olmak üzere küresel ortalamanın neredeyse 3 katına yakın bir ısınma eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Türkiye’nin içinde yer aldığı Akdeniz Havzası’ndaki yıllık ortalama hava sıcaklıkları, Sanayi Devrimi’nden (1861-1890) bu yana yaklaşık 1.5°C artmıştır (Akdeniz İklim ve Çevre Değişikliği Uzmanları, 2020). Bu durum yapılan çok sayıdaki çalışmanın sonuçları ile uyumlu olarak, Türkiye’nin dünyada en hızlı ısınan alanlardan biri olduğunu göstermektedir (Guiot and Cramer 2016; Lionello ve Scarascia, 2018).

Türkiye’de yıllık ortalama hava sıcaklıkları iklim sistemindeki doğal nedenlere bağlı olarak doğrusal bir yükselme eğilimi göstermemiştir. Referans dönemi ortalaması esas alındığında, son 73 yıl içerisinde yıllık ortalama hava sıcaklıkları için 1950-1966, 1967-1993 ve 1994-2022 olmak üzere üç dönem ayırt edilebilir. İlk dönemde Türkiye’de yıllık ortalama hava sıcaklıklarında değişkenlik yüksektir ve negatif ve pozitif anomali gösteren yıllar birbirini izlemiştir. 1967-1993 yılları arasına karşılık gelen dönemde ise sıcaklıklar referans dönemine göre negatif anomali göstermiştir. Bu duraksama döneminin oluşumu, küresel ölçekte hava sıcaklıklarını etkileyen 1982 yılında El Chichón ve 1991 yılında Pinatubo olmak üzere iki kuvvetli volkanik püskürmenin oluşturduğu soğuma etkisinin yanı sıra Atlantik Çokyıllık Salınımı’nın negatif evresi ve 20. yüzyılın ortalarında antropojenik olarak salınan aerosollerin soğutucu etkisi ile açıklanabilir (Mariotti vd., 2012; Maher vd., 2014; Stolpe vd., 2021). Türkiye’de son 73 yılda yıllık ortalama sıcaklıklarda en düşük değer 20. yüzyılın en şiddetli volkanik püskürmesi olarak kayıtlara geçen 1991 yılındaki Pinatubo volkanının püskürmesini izleyen 1992 yılına aittir. Nitekim Türkiye’de hem maksimum hem de minimum hava sıcaklıkları, kuvvetli volkanik püskürme tarihlerini izleyen 13. ve 14. aylarda en düşük değerini almakta ve hava

sıcaklıklarındaki negatif anomaliler püskürmeyi izleyen 36 ay boyunca etkisini sürdürmektedir (Erlat ve Türkeş, 2019). Türkiye’de ortalama hava sıcaklıkları 1994 yılından sonra hızlı bir artış eğilimi göstermiştir. 46 grid noktasına göre yapılan bir çalışmanın sonucu da Türkiye’de 1993 yılının ortalama hava sıcaklıklarında olası değişimin başladığı tarih olarak işaret edilmektedir (Hadi ve Tombul, 2018). 1994 yılından 2022 yılına kadar geçen son 29 yılda referans dönemine göre 6 yıl dışında tüm değerlerin pozitif anomali göstermesi bu durumu kanıtlamaktadır. Son 73 yılda ölçülen en yüksek yıllık ortalama sıcaklıklar 2011 yılı hariç, 2005 yılından sonraki döneme aittir. Nitekim 1950-2022 döneminde yıllık ortalama sıcaklıklarda en yüksek değerler sırasıyla 2010, 2018 ve 2020 yıllarında gözlenmiştir. M-K sınavasının ardışık çözümlenmesine göre en önemli değişiklik 2010 yılındadır. Bu durum 1990’lı yılların ilk yarısında başlayan ısınma eğiliminin 21. yüzyılın itibaren daha da kuvvetlendiğini kanıtlamaktadır.

Mevsimlik ortalamalar itibarıyla Türkiye’de ortalama hava sıcaklıklarındaki en kuvvetli artış eğilimi önceki çalışmaların sonuçları ile uyumlu olarak (örn. Türkeş vd., 2002; Demir vd., 2008) yaz mevsimine aittir. Bunu ilkbahar ve sonbahar mevsimi izlemektedir. Yaz mevsimindeki ortalama hava sıcaklıkları 1998 yılından itibaren kuvvetli artış eğilimi göstermiş olup, 2010 yılından sonra kesintisiz pozitif anomali değerleri göstermiştir. Bu mevsimdeki kuvvetli ısınma eğilimi Türkiye’nin daha sık ve daha uzun sıcak hava dalgalarına maruz kalması ile uyumludur (Erlat vd., 2021). Yaz mevsiminden sonra ortalama hava sıcaklıklarında en kuvvetli ısınma eğiliminin gözlendiği ilkbahar mevsiminde de hava sıcaklıkları 2000 yılı sonrası oldukça belirgin bir şekilde artış göstermiş ve oldukça zayıf negatif anomali gösteren beş yıl dışında hava sıcaklıkları referans dönemi ortalamasının üzerinde kalmıştır. Türkiye’de istatistiki olarak anlamlı ısınma eğilimi gösteren bir diğer mevsim sonbahardır. Bu mevsimde özellikle 2007 sonrası sıcaklıklarda belirgin bir artışın gerçekleştiği, son 73 yılda en yüksek mevsimlik ortalamaların ise 2010 yılından sonra gözlendiği görülmektedir.

Türkiye’de yıllık ortalama sıcaklıktaki gözlenen eğilimler, 1950 yılından bu yana insan kaynaklı iklim değişikliğinin iklim sistemi üzerindeki etkilerinin önemli bir göstergesidir. Bu hızlı ısınma eğiliminden insan kaynaklı faaliyetler, özellikle hızla artan sera gazı emisyonları ve arazi kullanımındaki değişiklikler büyük ölçüde sorumludur. İklim değişikliğinin ciddi çevresel, ekonomik ve toplumsal etkilerini önlemek için, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ne (UNFCCC) imza atan tüm ülkeler, 2015 Paris Anlaşması’nda küresel sıcaklık artışını uzun vadede Sanayi Devrimi öncesi seviyesinin 2°C altında sınırlamayı hedeflemişlerdir. Ancak Avrupa ve Türkiye’nin de içinde bulunduğu Akdeniz havzasındaki kara alanlarında son on yılda yıllık ortalama sıcaklığın, Sanayi Devrimi öncesi döneme göre 1.94 ile 2.01°C daha yüksek olması, Paris Anlaşması ile uyumlu olabilecek maksimum 2°C’lik artış hedefinin ötesinde bir ısınmanın gerçekleştiğini göstermektedir. CMIP6 modelinden elde edilen projeksiyonlar da Avrupa ve Akdeniz havzasındaki kara alanlarındaki sıcaklıkların bu yüzyıl boyunca küresel ortalamadan daha yüksek bir oranda artmaya devam edeceğini göstermektedir. Avrupa’daki kara sıcaklıklarının SSP1-2.6 senaryosuna göre 1.2 ile 3.4°C ve SSP5-8.5 senaryosuna göre 4.1 ile 8.5°C artacağını öngörmektedir (2071-2100’e kadar, 1981-2010’a göre). En yüksek ısınma kuzeydoğu Avrupa, kuzey İskandinavya ile birlikte Akdeniz havzasında yer alan ülkelerde öngörülmektedir (Masson-Delmotte vd., 2021). Türkiye’nin de içinde yer aldığı Akdeniz havzasında ortalama hava sıcaklıklarındaki artış eğiliminin devam etmesi durumunda, sıcak ekstremler ve sıcak hava dalgalarının sıklığı, süresi ve etkilediği alan artarken, zamanlaması değişecektir. Türkiye’de hava sıcaklıklarında küresel ortalamaların da üzerinde gerçekleşen artış eğilimi, içinde bulunduğumuz bu yüzyılda su kaynakları, gıda güvenliği, karasal ve denizel ekosistemler, enerji kaynakları, güvenlik ve insan sağlığı üzerinde oluşturduğu olumsuz etkileri daha da şiddetlendirecektir. Bu nedenle Türkiye’de hava sıcaklıklarında gözlenen kuvvetli artış eğiliminin önüne geçmek için hızla insan kaynaklı iklim değişikliğinin ana sorumlusu olan fosil yakıtlardan vazgeçmesi gerekmektedir. Nitekim Türkiye’nin sera gazı emisyonu miktarı genel olarak artış eğilimi içerisinde. 27. İklim Zirvesi’nde (COP27), Türkiye sera gazı emisyonunu azaltmaya yönelik 2030 iklim hedefini, yüzde 41 oranında artıştan azaltım olarak açıklamıştır. Verilen hedef kapsamında emisyonlar 2038 yılından sonra azalmaya başlayacaktır (www.birbucukderece.com). Ancak Türkiye’nin sera gazı emisyonu azaltım taahhütleri ve yeni iklim hedefi yetersizdir. Bu nedenle Türkiye’nin iklim değişikliği ile mücadelesinde emisyon azaltma hedefini güncelleyerek daha kuvvetli sera gazı azaltımlarını içeren kararların alınması, özellikle yeni kömürlü termik santrallerin yapımından vazgeçilmesi ve elektrik üretiminde kömür kullanımını aşamalı

olarak sonlandırması bunun yerine elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payını arttırması, enerji kullanımından kaynaklanan emisyonların azaltılması için enerji verimliliğini arttırması ve ormansızlaşmanın önüne geçilmesi gibi önlemleri hayata geçirmesi gerekmektedir.

Çıkar Çatışması / <i>Conflict of Interest</i>	Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir. <i>The authors declared no conflict of interest</i>
Finansal Destek / <i>funding conditions</i>	Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmiştir. <i>The authors declared that this study has received no financial support</i>
Yazar Katkıları/Author Contributions	Yazarlar/Authors
Çalışmanın içeriği ve tasarımı/ <i>Conception/Design of Study</i>	E. Erlat – H. Güler
Metodoloji/ <i>Methodology</i>	H. Güler - E. Erlat
Veri toplama-oluşturma-iyileştirme/ <i>Data Curation</i>	H. Güler
Analiz/ <i>Analysis and interpretation of data</i>	H. Güler - E. Erlat
Görselleştirme/ <i>Visualization</i>	H. Güler
Yazı taslağı/ <i>Writing - Original Draft</i>	E. Erlat – H. Güler
Yazma - İnceleme ve Düzenleme/ <i>Writing - Review & Editing</i>	E. Erlat – H. Güler
Proje yönetimi/ <i>Project administration</i>	E. Erlat – H. Güler

REFERANSLAR

- Akdeniz İklim ve Çevre Değişikliği Uzmanları (2020) Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report [Editörler: Cramer, W., Guiot, J., Marini, K.] Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France, 632pp. ISBN: 978-2-9577416-0-1.
- Barriopedro, D., Fischer, E.M., Luterbacher, J., Trigo, R.M., García-Herrera, R (2011). The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe. *Science*, 332(6026): 220–224.
- Birbuçuk Derece (2023) Güvenli Geleceğimiz İçin Güçlü İklim Hedefi. <https://www.birbucukderece.com/sss>
- Demir, İ., Kılıç, G., Coşkun, M., Sümer, U.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, 13-14 Mart 2008, Ankara.
- Ding, H., Greatbatch, R. J., Latif, M., Park, W., Gerdes, R. (2013). Hindcast of the 1976/77 and 1998/99 climate shifts in the Pacific. *Journal of Climate*, 26:7650-7661.
- Dünya Meteoroloji Örgütü (2022). <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2021-one-of-seven-warmest-years-record-wmo-consolidated-data-shows>
- Erlat, E., Türkeş, M. (2015). Türkiye rekor maksimum ve minimum hava sıcaklıklarının frekanslarında 1950-2014 döneminde gözlenen değişimler ve atmosfer koşullarıyla bağlantıları. *Ege Coğrafya Dergisi*, 24(2): 29-55.
- Erlat, E., Türkeş, M. (2019). Temperature responses of Turkey’s climate to the tropical volcanic eruptions over second half of the twentieth century. *Theoretical and Applied Climatology*, 137:2369–2379.
- Erlat, E., Türkeş, M., Aydın-Kandemir, F. (2021). Observed changes and trends in heatwave characteristics in Turkey since 1950. *Theoretical and Applied Climatology*, 145 (1): 137-157.
- Guiot, J., Cramer, W. (2016). Climate change: The 2015 Paris Agreement thresholds and Mediterranean basin ecosystems. *Science*, 354(6311): 465-468.
- Hadi S. J., Tombul M. (2018). Long-term spatiotemporal trend analysis of precipitation and temperature over Turkey. *Meteorological Applications*, 25: 445–455.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis M., Dragani R., Flemming J., Forbes, R., Fuentes,

- M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R. J., Hólm, E., Janisková M., Keeley S., Laloyaux, P., Lopez P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146 (730):1999-2049.
- IPCC (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Baskıda.
- Kopernik İklim Değişikliği Servisi (Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store) (2021). ERA5-Land monthly averaged data from 1950 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). 10.24381/cds.68d2bb30
- Kopernik İklim Değişikliği Servisi (2020). Surface air temperature for September 2020 <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-september-2020>
- Lionello, P., Scarascia L. (2018). The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change*, 18:1481–1493.
- Loeb, N., Thorsen, T., Norris, J., Wang, H., Su, W. (2018). Changes in earth's energy budget during and after the "Pause" in global warming: An observational perspective. *Climate*, 6: 62.
- Maher, N., Gupta, A. S., England, M. H. (2014). Drivers of decadal hiatus periods in the 20th and 21st centuries. *Geophysical Research Letters*, 41(16), 5978-5986.
- Mariotti, A., Dell'Aquila, A. (2012). Decadal climate variability in the Mediterranean region: roles of large-scale forcings and regional processes. *Climate Dynamics*, 38: 1129–1145.
- Mariotti, A., Pan, Y., Zeng, N., Alessandri A. (2015). Long-term climate change in the Mediterranean region in the midst of decadal variability. *Climate Dynamics*, 44:1437–1456.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, Ö., Yu, R. and Zhou, B., eds., (2021), 'Summary for policymakers', in: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2022) 2021 Yılı İklim Değerlendirmesi İklim ve Zirai Meteoroloji Dairesi Başkanlığı Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Muñoz-Sabater, J., (2019). ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS).
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., Hersbach, H., Martens, B., Miralles, D. G., Piles, M., Rodríguez-Fernández, N. J., Zsoter, E., Buontempo, C., and Thépaut, J.-N. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13(9), 4349-4383.
- Muñoz-Sabater, J., (2021). ERA5-Land monthly averaged data from 1950 to 1980. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS).
- Öztürk, T., Turp, M.T., Türkeş, M., Kurnaz, M.L. (2018). Future projections of temperature and precipitation climatology for CORDEX-MENA domain using RegCM4.4. *Atmospheric Research*, 206: 87-107.
- Schulzweida, U. (2022). CDO User Guide (2.1.0). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7112925>
- Sen, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389.
- Sneyers, R. (1990). On the Statistical Analysis of Series of Observations. WMO Technical Note 43, World Meteorological Organization, Geneva.
- Stolpe, M. B., Cowtan, K., Medhaug, I., Knutti, R. (2021). Pacific variability reconciles observed and modelled global mean temperature increase since 1950. *Climate Dynamics*, 56(1-2), 613-634.
- Tayanç, M., Karaca, M., Dalfes, H. N. (1998). March 1987 cyclone (blizzard) over the eastern Mediterranean and Balkan region associated with blocking. *Monthly Weather Review*, 126(11), 3036-3047.

- Tayanç, M., İm, U., Doğruel, M., Karaca, M. (2009). Climate change in Turkey for the last half century. *Climatic Change*, 94(3-4): 483-502.
- Trenberth, K. E., Hurrell, J. W. (1994). Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Climate Dynamics*, 9, 303-319.
- Trenberth, K. E. (2015). Has there been a hiatus?. *Science*, 349(6249): 691-692.
- Türkeş, M. (1995). Türkiye’de yıllık ve mevsimlik yağış verilerindeki eğilimler ve dalgalanmalar. Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB) Bilimsel Kongresi, 3-5 Mayıs 1995, Ankara.
- Türkeş, M., Sümer, U.M., Demir, İ. (2002). Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929–1999. *International Journal of Climatology*, 22: 947–977.
- Türkeş, M. (2013). Klimatolojik ve Hidrolojik Verilerin Türdeşlik ve İklimsel Değişkenlik Analizi. Yüksek Lisans Ders ve Kurs Notları (yayımlanmamış), Çanakkale.
- Türkeş, M., Yozgatlıgil, C., Batmaz, İ., İyigün, C., Koç, E. K., Fahmi, F. M., , Aslan, S. (2016). Has the climate been changing in Turkey? *Climate Research*, 70 (19): 77-93.
- Twardosz, R., Kossowska-Cezak, U. (2019). Thermal anomalies in the Mediterranean and in Asia Minor (1951-2010). *International Journal of Global Warming*, 18(3-4): 304-322.
- Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (2021). National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2020, <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>.
- Zittis, G., Hadjinicolaou, P., Klanguidou, M., Proestos Y., Lelieveld J. (2019). A multi-model, multi-scenario, and multi-domain analysis of regional climate projections for the Mediterranean. *Regional Environmental Change*, 19: 2621–2635.

