

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN SICAK HAVA DALGALARI ÜZERİNE ETKİSİ (Türkiye’de 1980-2024 Yılları Arasında Meydana Gelen Sıcak Hava Dalgası Olayları)

Barış Özgün¹, Edanur Gözet², Batuhan Ateş Yılmaz²

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 06120 Kalaba, Keçiören, Ankara

²Meteoroloji 11. Bölge Müdürlüğü, 61080 Kalkınma, Ortahisar, Trabzon

bozgun@mgm.gov.tr, egozet@mgm.gov.tr, bayilmaz@mgm.gov.tr

Özet

Meteorolojik faktörler insan yaşantısı ve faaliyetlerinde çok etkili bir olgudur. Meteorolojik parametrelerde meydana gelen değişikliklere insanoğlu hem doğal yapısı hem de teknolojisiyle birlikte uyum sağlayabilmektedir. Ancak uyum çalışmalarının yetersiz kaldığı bazı şartlar da zaman zaman görülebilmektedir. Sıcaklık değişkeninde meydana gelen değişimlere uyum sağlanabilmesi için insanoğlu süreç içerisinde ısınma ve soğutma gereçleriyle birlikte çeşitli korunma yöntemleri geliştirmiştir. Ancak iklim değişikliği nedeniyle yüksek sıcaklık etkilerinin daha sıklıkla görülmesi nedeniyle zaman zaman korunma şartlarının yetersiz kaldığı ve yüksek sıcaklıkların zarar verici etkileri gözlemlenebilmektedir. İklim değişikliğinin sonuçlarından biri olan sıcak hava dalgalarının insan sağlığına etkileri incelendiğinde, ölüm ve hastalıklara doğrudan sebep olması nedeniyle son derece önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de 1980-2024 yılları arasında gerçekleşen sıcak hava dalgalarının görülme sıklığını değerlendirmektir. Günlük maksimum sıcaklığın, ard arda 5 gün boyunca uzun yıllar ortalama maksimum sıcaklığının 5°C üzerinde gerçekleşmesi “sıcak hava dalgası”, uzun yıllar ortalama maksimum sıcaklığın 10 °C üzerinde gerçekleşmesi durumunda ise “ekstrem sıcak hava dalgası” olarak adlandırılmaktadır. Uluslararası alanda sıcak hava dalgasının standardize edilmiş bir tanımı bulunmamakta olup ülkelerin yerel şartlarına göre yerel tanımlamalar yapılmıştır. Yapılan literatür taramasında bazı çalışmalarda 3 gün ard arda devam eden dönemler sıcak hava dalgası olarak tanımlanmıştır. Yapılan bu çalışmada 81 il merkezinin günlük maksimum hava sıcaklıkları ile (Tmax) uzun yıllar anomalisi hesaplanmıştır. Hesaplanan sıcak hava dalgası sayıları ile ekstrem sıcak hava dalgası sayılarının 45 yıllık periyottaki değişimi Mann-Kendall Trend Analizi yöntemi ile analiz edilmiştir. Mann-Kendall trend analizinin sonuçlarına göre, yıllık sıcak dalga sayılarında son 45 yılda belirginleşen artış eğilimi istatistiki olarak tüm istasyonlarda anlamlıdır. Ekstrem sıcak dalga sayılarında ise Bitlis, Balıkesir, Tokat ve Çorum istasyonu hariç tüm artan trend gözlenmektedir. Sıcak hava dalgası sayılarında kuzey kesimlerde daha belirgin olmak üzere genel bir artış olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Sıcak Hava Dalgası, Türkiye, İstatistik.

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON HEAT WAVES (Heat wave events that have occurred in Turkey between 1980 and 2024)

Abstract

Meteorological factors play a highly influential role in human life and activities. Human beings are able to adapt to changes in meteorological parameters through both their natural characteristics and technological means. However, there are certain conditions where these adaptation efforts prove to be insufficient. In response to temperature fluctuations, humans have developed various protective methods over time, including heating and cooling systems. Nevertheless, due to the increasing frequency of high-temperature events caused by climate change, there are times when protective measures are inadequate, and the harmful effects of extreme heat become apparent. One of the consequences of climate change, heatwaves, has been shown to have significant impacts on human health, particularly due to their direct links to mortality and illness. The aim of this study is to assess the frequency of heatwaves that occurred in Turkey between the years 1980 and 2024. A “heatwave” is defined as a period during which the daily maximum temperature exceeds the long-term average maximum temperature by 5°C for at least 5 consecutive days. If the daily maximum temperature exceeds the long-term average by 10°C, it is defined as an “extreme heatwave.” There is no standardized global definition for heatwaves; instead, countries adopt localized definitions based on their specific climatic conditions. According to the literature review, some studies have defined heatwaves as periods of 3 consecutive days with high temperatures. In this study, daily maximum temperatures (Tmax) from 81 provincial centers in Turkey were used to calculate long-term anomalies. The changes in the number of heatwave and extreme heatwave events over the 45-year period were analyzed using the Mann-Kendall Trend Analysis method. According to the results of the Mann-Kendall trend analysis, the increasing trend in annual heatwave frequency over the past 45 years is statistically significant across all stations. For extreme heatwaves, an increasing trend was observed at all stations except for Bitlis, Balıkesir, Tokat, and Çorum. The data also indicate a general increase in the number of heatwave events, especially more prominently in the northern regions of the country.

Keywords: Climate Change, Heat Wave, Türkiye, Statistics.

Sorumlu Yazar: Batuhan Ateş Yılmaz

Geliş Tarihi: 10 Nisan 2025

Kabul Tarihi: 24 Mayıs 2025

Yayın Tarihi: 30 Haziran 2025

Atf Şekli: Özgün, B., Gözet, E., Yılmaz, B.A. (2025). İklim Değişikliğinin Sıcak Hava Dalgaları Üzerine Etkisi (Türkiye’de 1980-2024 Yılları Arasında Meydana Gelen Sıcak Hava Dalgası Olayları), *Atmosfer ve İklim Dergisi*, 1(2), 13-27.

Makale Tipi: Araştırma Makalesi

e-ISSN: 3023-8560

GİRİŞ

İklim sanayileşmeden bu yana insan faaliyetlerinden kaynaklı büyük değişikliklere uğramıştır (Zhang vd., 2017). IPCC, 2023 raporuna göre küresel yüzey sıcaklığı 2011- 2020’de, 1850-1900’e göre yaklaşık 1,1 °C artmıştır. 1970’ten bu yana son 50 yıllık periyottaki yükseliş önceki dönemlere göre daha hızlı bir artış olarak kendini göstermektedir. Türkiye’de, Akdeniz Havzası’ndaki konumu ve kuzeye doğru genişleyen çöl iklimi nedeniyle Aşırı sıcak hava dalgalarının 1950’lerden bu yana daha sık ve daha yoğun hale geldiği belirtilmektedir (Kuglitsch vd., 2010; Kanat vd., 2018; ÇŞİDB, 2022). Küresel iklim modellerinin öngördüğü gibi sıcaklık artışının meydana gelmesi halinde; küresel ısınmaya bağlı olarak aşırı sıcak hava kaynaklı olayların daha sık, aşırı soğuk hava kaynaklı olayların daha az yaşanacağı düşünülmektedir (Gürkan vd., 2017; Chen vd., 2020). Sıcak/soğuk hava dalgasının kabul edilmiş ortak bir tanımı olmamakla birlikte atmosfere bağlı uzun süreli ve ekstrem yüksek/düşük ısı stresi olarak açıklanmaktadır (Robinson, 2001). Sıcak hava dalgalarının (heat waves) uluslararası meteoroloji sözlüğündeki tanımına bakıldığında; “Havanın belirgin şekilde ısınması veya geniş bir alan üzerinde yılın sıcak döneminde yerel iklim koşullarına göre en az iki ardışık gün boyunca (birkaç günden birkaç haftaya kadar sürebilir) bir bölge üzerinde belirgin şekilde olağandışı sıcak havanın istilası” şeklinde tanımlanmıştır (WMO, 1992). Günlük maksimum sıcaklığın, ard arda 5 gün boyunca uzun yıllar (en az 30 yıl) ortalama maksimum sıcaklığının 5°C üzerinde gerçekleşmesi “sıcak hava dalgası” olarak adlandırılmaktadır (WMO, 2011; Frich vd., 2002). Sıcak hava dalgaları tanımında dünya çapında bir fikir birliği olmamakla birlikte ülkeler kendi coğrafi ve iklim özelliklerine göre kendilerine özgü sıcak hava dalgası tanımlaması yapmaktadırlar. ABD Ulusal Hava Durumu Servisine göre, 2 günden uzun süren aşırı sıcak hava dönemi; NOAA’ya göre, 2 veya daha fazla günden daha fazla süren sıcak ve nemli hava dönemi; İngiltere Meteoroloji Ofisine göre, yılın o döneminde beklenen hava koşullarına kıyasla uzun süreli sıcak ve nemli dönem olarak tanımlanmaktadır (Bunting vd., 2024). Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2000’li yıllardan itibaren gelişen teknolojiye uyum sağlamak ve gözlem ağındaki hataları en aza indirebilmek için elektronik tabanlı ve uzaktan algılama teknolojilerine sahip ölçüm ağını yaygınlaştırmıştır (Yılmaz ve Darende, 2021). Meteorolojik ölçümlerin otomatik olarak yapılıp kaydedilmesiyle veri kaybını en aza inmiş ölçüm hassasiyeti artmıştır. Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonlarının sayısında artış sağlanmasıyla birlikte insanlı ölçüm dönemlerinde il ve ilçe merkezlerinde bulunan ölçüm noktaları da artarak araziye yayılmış ve iklim verisi bakımından alanın daha verimli temsil edilmesi sağlanmıştır. Ülkemizde günlük maksimum sıcaklığın, uzun yıllar ortalama maksimum sıcaklığının 5 derece üzerinde gerçekleşmesi, “sıcak hava dalgası”, 5-9 derece üzerinde gerçekleşmesi “kuvvetli sıcak hava dalgası”, 10 derece üzerinde gerçekleşmesi durumu ise “ekstrem sıcak hava dalgası” olarak tanımlanmaktadır. Ülkelerin meteoroloji servisleri günler öncesinde bu sıcaklık artışlarını tahmin ederek “doğal afet” olarak tanımlamaktadır. (MGM, 2012).

İklim değişikliğinin insan sağlığına doğrudan etkileri arasında en önemli yeri, ölüm ve hastalıklara neden olan sıcak hava dalgaları almaktadır (MGM, 2012). Aşırı sıcaklıklar ve ölüm oranları arasındaki ilişkiyi saptayabilmek için geçmişten günümüze birçok araştırma yapılmıştır. Bouchama (2004) ve Thommen (2005) yapmış oldukları çalışmada; İsviçre’de 2003 yılının yaz döneminde gerçekleşen sıcak hava dalgaları sebebiyle gerçekleşen yüksek sıcaklıklar ile ölüm oranları arasındaki ilişkiyi analiz etmeye çalışmışlardır. Bu dönemde gündüz sıcaklığının 35°C’ nin ve gece sıcaklığının 20°C’ nin üzerinde olması ve yaklaşık 9 gün devam etmesi ölüm oranlarındaki bölgesel farklılıkları kısmen açıklamaktadır. Kuglitsch vd. (2010) yapmış oldukları çalışmada sıcak hava dalgalarının sayısı, uzunluğu ve yoğunluğunu belirleyebilmek amacıyla günlük maksimum ve minimum sıcaklıklarının 3 gün veya daha fazla sürede (daha iyi ve güvenilir bir şekilde karşılaştırması amacıyla) konuma bağlı (her meteorolojik istasyon kendi içerisinde değerlendirildiğinde) sıcaklık yüzdelerini aştığı sıcak hava olaylarını incelemişlerdir. Barnett vd. (2012) yapmış oldukları çalışmada 14 yıllık zaman periyodunda (1987-2000) ABD’nin 99 şehrinde, sıcak ve soğuk hava dalgalarını 2 gün veya daha fazla sürede soğuk ve sıcak hava eşik değerlerinin üstünde ve altında sıcaklıklar kullanarak tanımlamışlardır. Sıcak hava dalgasının yoğunluğundaki değişimin, sıcak hava dalgasının zamanlaması ve süresine kıyasla daha yüksek riskli olduğu sonucuna varmışlardır. Piticar vd. (2018) yapmış oldukları çalışmada; Romanya’da 55 yıllık zaman periyodunda (1961-2015) meydana gelen sıcak ve soğuk hava dalgalarını sayısı, sıklığı, süresi, büyüklüğü ve genliği açılarından üç referans dönemi baz alınarak (1961–1990, 1971–2000 ve 1981–2010) hesaplanmış ve

trend analizi yapılmış olup sıcak hava dalgaları daha sık, daha uzun ve daha yoğun hale gelirken, soğuk hava dalgaları daha seyrek hale gelmiştir.

Türkiye’de meydana gelmiş olan sıcak hava dalgaları üzerine yapılan çalışmalar için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün yıllık olarak yayınladığı İklim Raporları incelendiğinde; 2014 yılında çoğu ilk 4 ayda olmak üzere 105 istasyonda sıcak hava dalgası, 12 istasyonda ise hem sıcak hem soğuk hava dalgası olduğu ortaya koyulmuştur (MGM, 2014). 2017 yılında, WMO tarafından günlük maksimum sıcaklıkların 5 günden fazla ve ortalama maksimum sıcaklığın 5°C üzerinde seyretmesi durumu olarak tanımlanan sıcak hava dalgasına uyan 143 lokasyonda 379 adet sıcak hava dalgası tespit edilmiştir (MGM,2017). 2023 yılında Ağustos ayında Türkiye’de geniş bir alanda sıcak hava dalgası yaşandığı ve Türkiye’nin orta ve iç batı kesimlerindeki 22 istasyonda 1991-2020 ortalamasının 5°C ve üzerinde süren ve 5-10 gün arasında değişen sürelerde devam eden sıcak hava dalgaları meydana geldiği ortaya koyulmuştur (MGM, 2024). 2024 yılında daha çok batı kesimlerde olmak üzere tüm Türkiye’de sıcak hava dalgası görülmüş olup, en fazla 6 adet ile Dursunbey’de (Balıkesir) görülmüştür. Aynı rapora göre 2024 yılında Türkiye genelinde sıcak hava dalga sayısının normallerine göre arttığı ortaya koyulmuştur (MGM, 2024).

Erlat ve Doğucanlı (2011) yapmış oldukları çalışmada; Ege Bölgesi’nin ekstrem sıcaklıklarını 1939-2008 yılları arasında 10 meteoroloji istasyonunda 6 sıcaklık indisi ve parametrik olmayan Mann-Kendall sıra korelasyon testi kullanarak araştırmıştır. Türkiye ‘de sıcaklık ekstremlerinde artış olduğu ve termal koşulların daha sıcak koşullara doğru meylettğini ortaya koymuşlardır. Bölük vd. (2013) yapmış oldukları çalışmada, Temmuz ayında Türkiye’de gerçekleşen sıcak hava dalgası olayını incelemiş ve sıcak hava dalgasının Güney Doğu Anadolu, İç Anadolu, Doğu Karadeniz ve Marmara bölgesinin Trakya kesiminde etkili olduğu ve İç Anadolu Bölgesinde 17 gün sürdüğü sonucuna varmışlardır. Kuba vd. (2016) yapmış oldukları çalışmada, Türkiye’de 1960-2010 döneminde oluşan sıcak hava dalgalarının klimatolojik ve meteorolojik analizini incemişlerdir. Maksimum sıcaklıklardaki en yüksek artışın Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde olmasına rağmen Akdeniz ve Kıyı Ege’deki artışın da bir hayli dikkat çekici olduğu ve Tropikal gün sayılarındaki artışların Karadeniz bölgesinde yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Gönençgil (2020) yapmış oldukları çalışmada, Türkiye’de sıcaklık ekstremlerindeki değişkenlikleri ortaya koymak için 156 meteoroloji istasyona ait, maksimum ve ortalama sıcaklıkları kullanmışlardır. Sonuç olarak Türkiye geneli sıcaklık ekstremlerinde (yaz günü, tropikal gece, ekstrem sıcaklık aralığı vb.) anlamlı bir artış bulunmuştur.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de 1980-2024 yılları arasında il merkezlerinde gerçekleşen sıcak hava dalgalarının görülme sıklığını değerlendirmek ve sıcak hava dalgalarındaki eğilimleri ortaya koymaya çalışmaktır. İklim değişikliği sonucunda kent merkezlerinde daha çok görülebileceği düşünülen sıcak hava dalgası hadiselerinin zamansal değişimi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Sıcak hava dalgası gelişmelerindeki artış ile ilgili olarak insan sağlığı üzerinde de etkileri nedeniyle disiplinler arası yapılacak çalışmalarda kullanılabilmesi amaçlanmıştır.

VERİ VE ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı 36°-42° Kuzey enlemleri ile 26°-45° Doğu boylamları arasında yer alan 1.600 kilometre uzunluğu ve 800 km genişliği bulunan Türkiye için gerçekleştirilmiştir. Türkiye’deki uzun yıllar verisi olan (1980-2024 yılları arasında kapsayan) 81 il merkezinin günlük maksimum sıcaklıkları (Tmax) ve uzun yıllar aylık maksimum sıcaklık ortalamaları verileri kullanılmıştır. 81 il merkezine ek olarak İstanbul’da iki ayrı yakada iklim farklılıkların daha anlaşılır şekilde ortaya konulması amacıyla Florya istasyonu da çalışmada kullanılan bir diğer istasyondur. Çalışmada kullanılan veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün Meteorolojik Veri Bilgi, Satış ve Sunum Sisteminden (MEVBİS) sağlanmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü yapılan ölçümler neticesinde veri tabanı oluşturma aşamasında verilerin mantıksal ve istatistiksel kontrolden geçirmekte olup MEVBİS veri tabanında bu kalite kontrol aşamalarından geçirilmiş veriler bulunmakta ve kullanıcılara sunulmaktadır. Ölçüm noktalarının günlük maksimum sıcaklık verileri ile istasyonların uzun yıllar maksimum sıcaklık ortalamalarının farkları alınmıştır. Ortalama değerler ile maksimum sıcaklıklar arasında +5 derece ve +10 derece olduğu günler

tespit edilmiştir. Tespit edilen sıcak/soğuk günler ayrıca ardışık olarak 3 gün ve 5 gün devam eden dönemler olarak saydırılarak istatistikleri çıkarılmıştır. Ardışık olarak devam eden 3 ve 5 günlük dönemleri kapsayan “Sıcak Hava Dalgaları”nın sayısı hesaplanmış olup, istasyonlardaki sıcak hava dalgalarının uzun yıllardaki değişimi ve eğilimleri Mann-Kendall (MK) trend analizi ile hesaplanarak analiz edilmiştir. Ayrıca coğrafi bölgelere göre nüfusu yüksek olan iller dikkate alınarak seçilen 16 istasyondaki (Adana, Ankara, Antalya, Bursa, Diyarbakır, Bursa, İstanbul, İzmir, Kayseri, Konya, Malatya, Samsun, Sivas, Trabzon, Van, Zonguldak) yıllık toplam sıcak hava dalga sayısı ile yıllar arasındaki ilişki pearson korelasyon analizi aracılığıyla belirlenmiştir. Bu çalışmada il merkezlerinin kullanılmasının amacı hem insan faaliyetlerini temsiliyet olarak en fazla etkileşimin olduğu sahaları kullanmak hem de veri seti bağlamında en az kaybın ve değişikliğin olduğu istasyonları kullanmaktır (Şekil 1.).



Şekil 1. Çalışmada Kullanılan İstasyonlar

MATERYAL VE YÖNTEM

Veri Analizi

Sıcak hava dalgalarının tespit ve analizinde birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Sıcak/soğuk hava dalgası analizleri, günlük maksimum ve minimum sıcaklıkların aylık ortalama maksimum ve minimum sıcaklıklarındaki değişimlere bağlı olarak belirli eşik değerlerin üzerindeki sayım serileri ile belirlenmektedir (Diffenbaugh vd., 2007; Kuglitsch vd., 2010). Uzun yıllar ortalama maksimum sıcaklığı 5°C geçen ardışık 10 günü sıcak hava dalgası olarak tanımlanmaktadır (Frich vd., 2002). Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından sıcak hava dalgası, günlük maksimum sıcaklık değerinin, ard arda 5 gün boyunca uzun yıllar (en az 30 yıl) ortalama maksimum sıcaklığının 5°C üzerinde gerçekleşmesi olarak adlandırılmaktadır. (WMO,2011).

Bu çalışmada, sıcak hava dalgalarının tespitinde, 81 il merkezinin günlük maksimum hava sıcaklıkları ile (T_{max}) uzun yıllar maksimum sıcaklık anomalileri hesaplanmıştır. Çalışmada günlük maksimum sıcaklık değerleri ile uzun yıllar aylık maksimum sıcaklık ortalamalarının farkları alınmıştır. Böylece günlük maksimum sıcaklığın aylık maksimum sıcaklık ortalamasından ne kadar yüksek veya düşük olduğu tespit edilmiştir. Fark değerleri 5°C ve üzerinde olan ard arda en az 3 gün ve 5 gün kesintisiz olarak devam eden sıcak gün sayıları hesaplanmış ve bu değerler “sıcak hava dalgası” olarak değerlendirilmiştir. Fark değerlerinin 10°C ve üzerinde olan ard arda 3 gün ve 5 gün devam eden sıcak gün sayıları hesaplanmış ve bu değerler “ekstrem sıcak hava dalgası” olarak isimlendirilmiştir. Ardışık devam eden günler içerisinde meydana gelen sıcak hava dalgaları ne kadar tekrar ederse etsin tek bir sıcak hava dalgası olarak değerlendirilmiştir. Örneğin; En az 3 gün devam eden sıcak hava dalgası analizi yapılırken ardışık 3 gün devam eden yüksek sıcaklıklar da ardışık 10 gün devam eden yüksek sıcaklıklar da tek bir sıcak hava dalgası olarak kabul edilmiştir. Hesaplanan sıcak hava dalga sayıları ile ekstrem sıcak hava dalga sayılarının 45 yıllık periyottaki değişimi Mann-Kendall Trend Analizi yöntemi ile analiz edilmiştir.

Çalışmada yapılan hesaplamalar ve veri dönüşümleri, Rstudio programında, tidyverse (Wickham, 2023), dplyr (Wickham, 2023) paketi kullanılarak hesaplanmıştır. Görseller ggplot2 (Wickham, 2024) paketi ile oluşturulmuştur. Mann-Kendall Trend analizleri ise trend (Pohlert, 2023) ve kendall (McLeod, 2022) paketi ile hazırlanmıştır.

Mann-Kendall (MK) Trend Analizi

Mann-Kendall Metodu (MK), Hidroloji ve klimatoloji gibi alanlarda zaman serilerinin trendinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından da önerilen bir yöntem olan parametrik olmayan bir istatistiksel test yöntemidir. Bu yöntem ilk kez Mann (1945) tarafından önerilmiştir. Daha sonra Kendall (1975) ve Hirsch (1991) tarafından geliştirilmiştir. MK testi Kendall'ın tau istatistiği olarak da literatürde geçmektedir. Eksik verilerin varlığına müsaade etmesi ve verileri belirli bir dağılıma uymak zorunluluğu olmaması nedeniyle avantajlı bir yöntemdir. (Katipoğlu vd., 2022) Mann-Kendall istatistiği (S); Denklem 1'deki gibi hesaplanır.

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

normal bir dağılıma sahip olan verilerde S'nin varyansı Denklem 2'de verildiği gibi hesaplanmakta,

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{Eğer } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{Eğer } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{Eğer } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

zaman serilerinde bağ durumu olması durumunda ise Denklem 3'de verildiği gibi hesaplanmakta,

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3)$$

S'nin varyansının hesaplanması Z anlamlılık seviyesinin bulunması için önemlidir. Aşağıdaki formüle göre yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen Z değeri tabloda okunur. İkiyle çarpılır. Bu işlem sonucunda p değeri elde edilir. Elde edilen p değeri başta seçilen α anlamlılık seviyesinden küçük ise trend var, büyük ise trend yok demektir. Başka bir deyişle; p, 0.01'den küçük ise 0.01 seviyesinde, 0.01 ile 0.05 aralığında ise 0.05 (%95) seviyesinde, 0.05 ile 0.1 aralığında ise 0.1 seviyesinde anlamlılık vardır. P değerinin 0.1'den büyük olduğu durumlar istatistiksel olarak anlamlı değildir (Efe ve Gözet, 2021). Ayrıca S değeri pozitif olduğunda artan trend, negatif olduğunda ise azalan trendin varlığı söz konusudur (Kumar vd., 2014).

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S > 0 \\ 0 & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Pearson Korelasyon Analizi

Coğrafi bölgeleri temsil etmesi amacıyla nüfusu yüksek olan iller dikkate alınarak seçilen 16 istasyondaki (Adana, Ankara, Antalya, Bursa, Diyarbakır, Bursa, İstanbul, İzmir, Kayseri, Konya, Malatya, Samsun, Sivas, Trabzon, Van, Zonguldak) yıllık toplam sıcak hava dalga sayısı ile yıllar arasındaki ilişki Denklem 5'te ifade edilen pearson korelasyon analizi aracılığıyla belirlenmektedir. Bu analiz ile sürekli olan iki değişken arasında doğrusal olarak anlamlı bir ilişki olup olmadığı araştırılmaktadır. N veri sayısını, r korelasyon değerini ve ifade etmektedir ve bu r değeri +1 ile -1 arasında değer almaktadır. Katsayının (+) ya da (-) olması parametreler

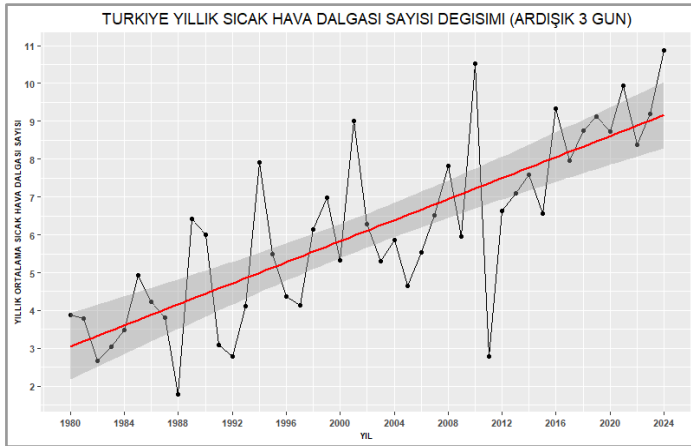
arasındaki ilişkinin doğru ya da ters orantılı doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir (Pearson, 1894; Bayazıt ve Yegen, 2005; Duru ve Parlakay, 2021).

$$r_{x,y} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{N S_x S_y} \quad (5)$$

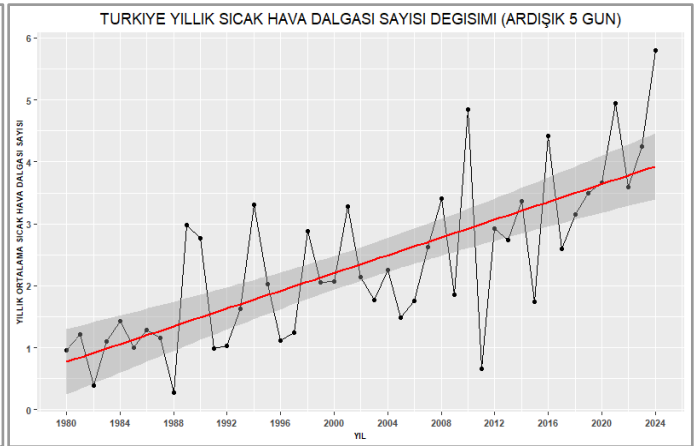
BULGU VE DEĞERLENDİRMELER

Sıcak Hava Dalgalarının Analizi

Yapılan analizler neticesinde uzun yıllar Tmax verilerinin anomalileri değerlendirildiğinde; 1980-2024 periyodunda ardışık 3 gün devam eden sıcak dalga sayısı ülke geneli ortalaması yaklaşık 6 adet iken ardışık 5 gün devam eden sıcak hava dalga sayısı ortalaması 2-3 adet civarındadır. Meteorolojik çalışmalara göre son 10 yıllık dönem küresel bazda en sıcak 10 yıllık dönem olarak kayıtlara geçmiştir. Şekil 2.'de görüldüğü üzere son dönemlerdeki sıcak hava dalgaları sayısı belirgin şekilde artmıştır. Çalışma periyodunu içeren 45 yıllık dönemde hem 3 günlük (Şekil2a.) hem de 5 günlük (Şekil2b.) sıcak hava dalgası sayılarında belirgin bir artış olduğu gözlenmiştir. Özellikle 2010'lu yıllardan itibaren her iki grafikte de ortalamanın üzerinde değerler oldukça dikkat edilmesi gereken bir olgu olarak tespit edilmiştir. 2024 yılı, yaklaşık 11 adet (ardışık 3 gün) ve yaklaşık 6 adet (ardışık 5 gün) sıcak hava dalgasıyla rekor yıl olarak hesaplanmıştır.

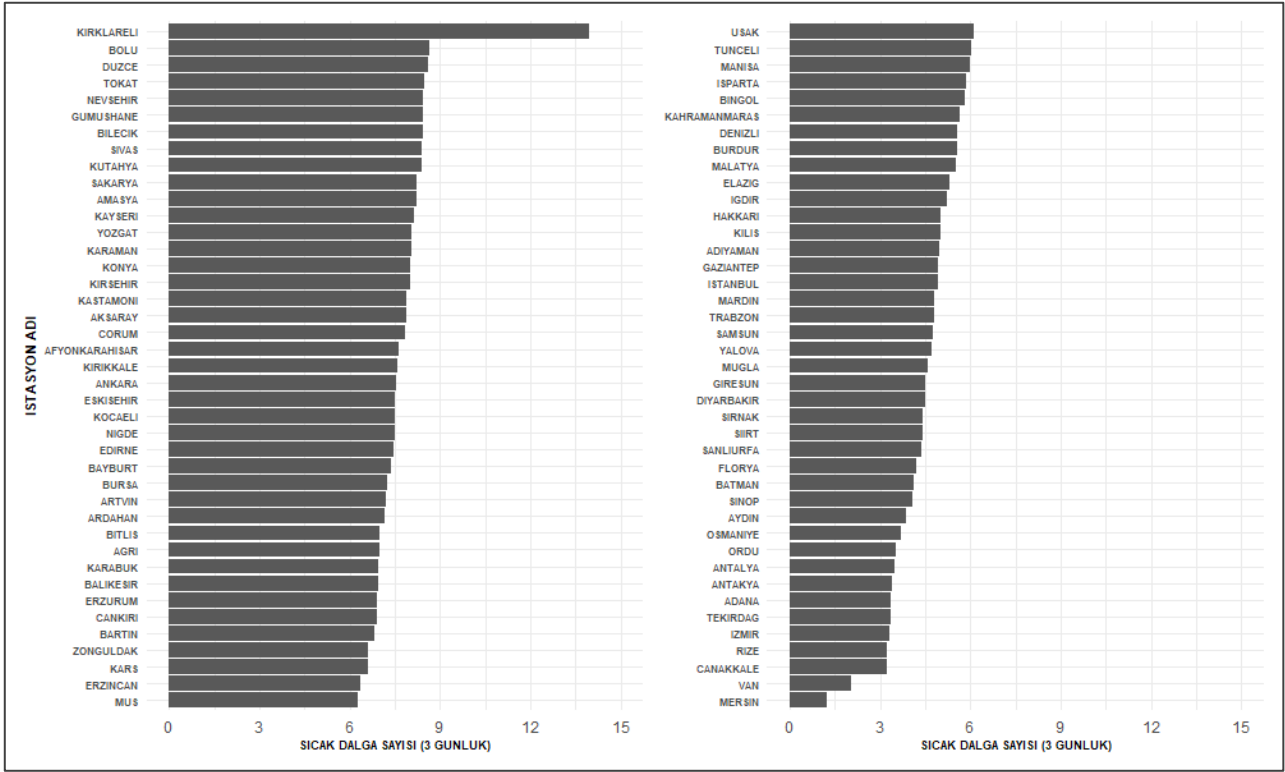


Şekil 2a. Yıllık sıcak hava dalgası sayılarının değişimi (ardışık 3 gün)

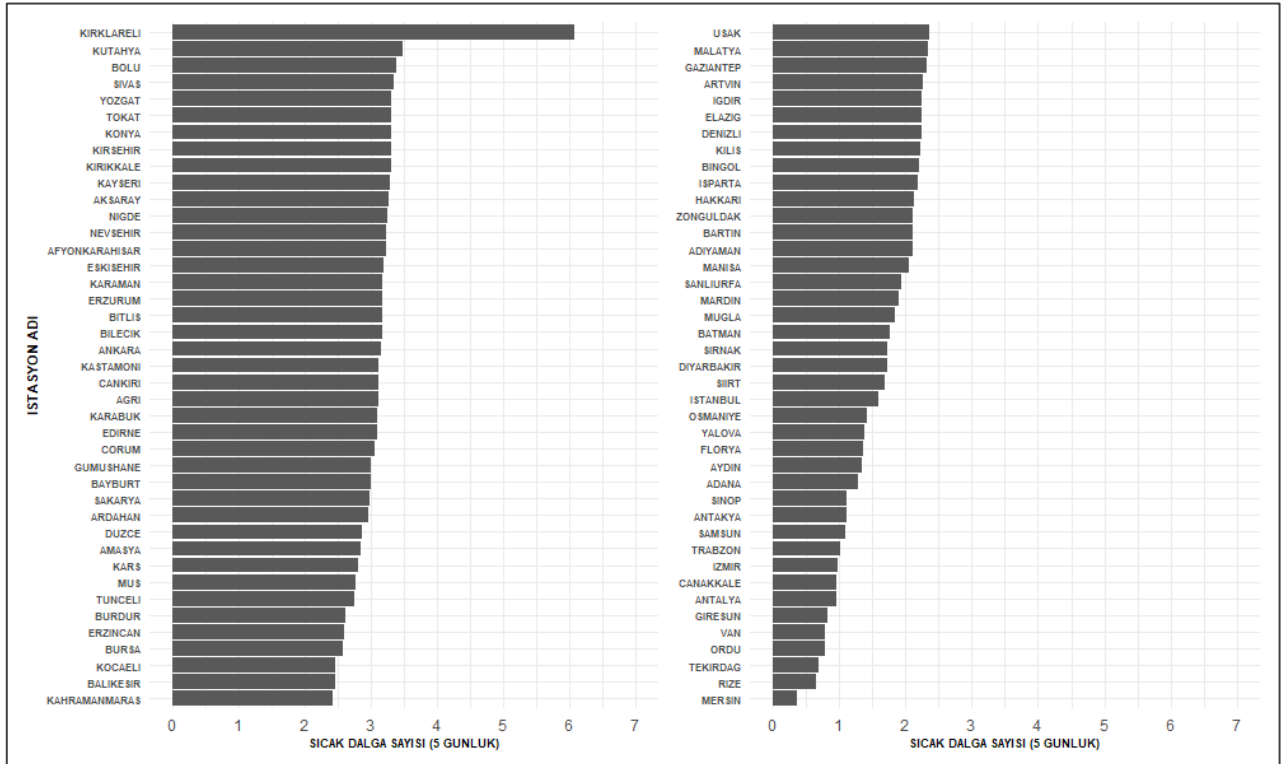


Şekil 2b. Yıllık sıcak hava dalgası sayılarının değişimi (ardışık 5 gün)

Çalışmada kullanılan 81 il merkezinin 45 yıllık (1980-2024) sıcak dalga sayılarının uzun yıllar ortalamaları incelendiğinde, Kırklareli istasyonu yaklaşık 14 adet (ardışık 3 gün) ve 6 adet ile (ardışık 5 gün) ile en yüksek sayıda sıcak hava dalgası gerçekleşen istasyondur. Mersin istasyonu ise yılda ortalama 1 adet ile en düşük sayıda sıcak hava dalgası gerçekleşen istasyondur. İstasyonlar ayrı ayrı değerlendirildiğinde; genel olarak Türkiye'nin kuzey kesimlerinde yer alan istasyonların toplam sıcak hava dalgası sayılarının (Kırklareli, Bolu, Düzce, Tokat, Gümüşhane, Bilecik, Sivas, Sakarya, Amasya ...), Türkiye'nin güney kesimlerinde yer alan istasyonların (Mersin, Van, Şırnak, Osmaniye, Adana, Hatay, Antalya, İzmir ...) toplam sıcak hava dalga sayılarına göre daha fazla olduğu söylenebilir (Şekil 3a. ve Şekil 3b).



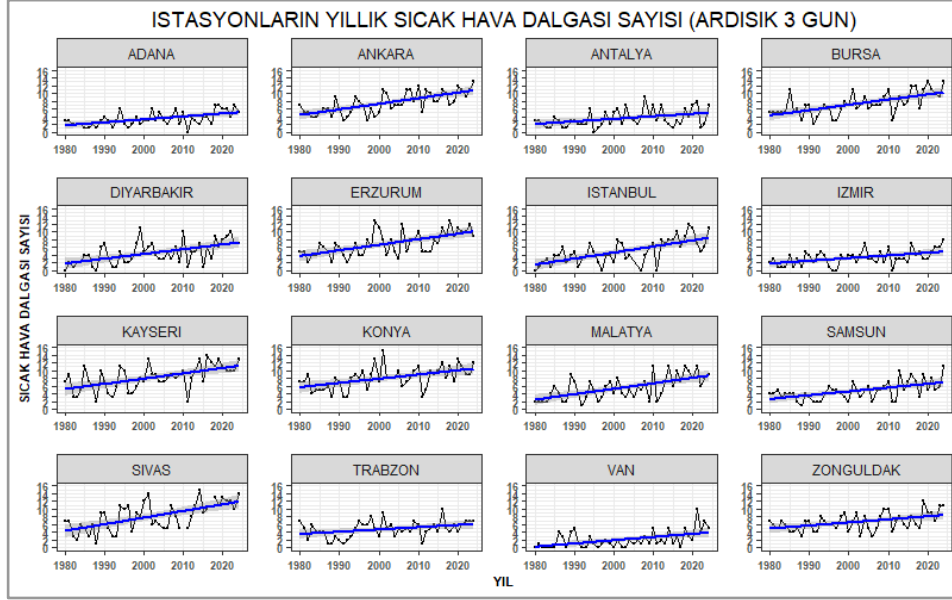
Şekil 3a. Çalışmada kullanılan istasyonların sıcak dalga sayılarının uzun yıllar ortalamaları (ardışık 3 gün)



Şekil 3b. Çalışmada kullanılan istasyonların sıcak dalga sayılarının uzun yıllar ortalamaları (ardışık 5 gün)

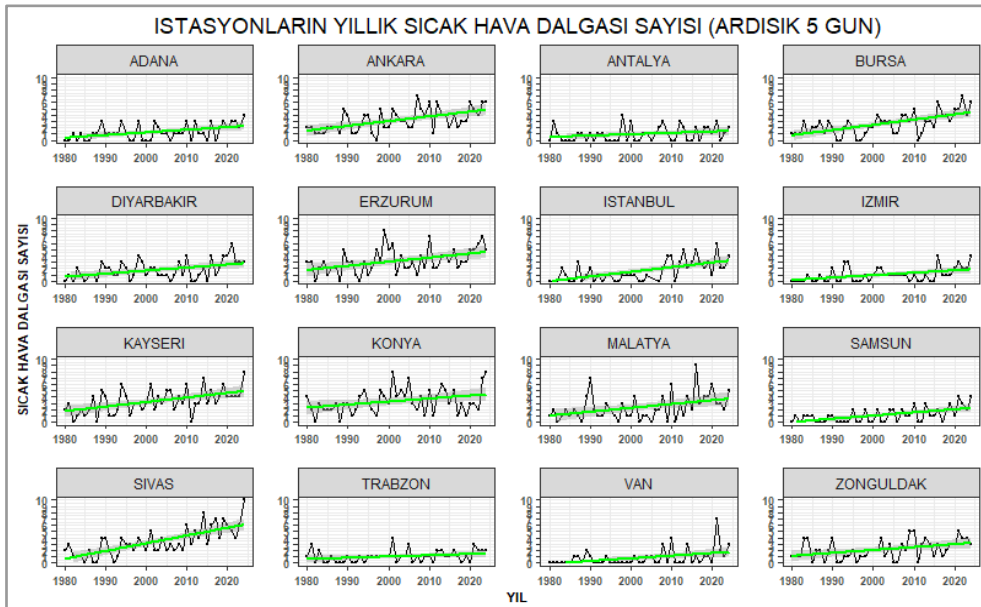
Seçilen 16 il merkezinin ardışık 3 gün boyunca devam eden yıllık sıcak hava dalga sayıları ayrı ayrı incelendiğinde, 2024 yılında gerçekleşen en yüksek sıcak hava dalgası sayısı (14 adet) Sivas ilinde meydana gelmiş iken, en düşük sıcak hava dalga sayısı (5 adet) Van ve Adana istasyonlarında meydana gelmiştir. Adana, Van, İzmir, Trabzon, Antalya istasyonlarında, diğer istasyonlara göre oldukça düşük seviyelerde sıcak hava

dalgası gerçekleşmiştir. Pearson korelasyon testi analizi sonucu elde edilen değerler göz önüne alındığında (+0.3) Trabzon, Antalya, Zonguldak ve İzmir istasyonlarının yıllara göre artışı zayıf seviyede olarak gözlenmiştir. Ankara, İstanbul, Sivas, Bursa, Malatya ve Erzurum istasyonlarının (+0.6 ve üzeri) yıllara göre artışı güçlü olarak gözlenmiştir (Şekil 4.).



Şekil 4. Seçilen Büyük Şehirlerin Yıllık Sıcak Dalgası Sayıları (Ardışık 3 Gün)

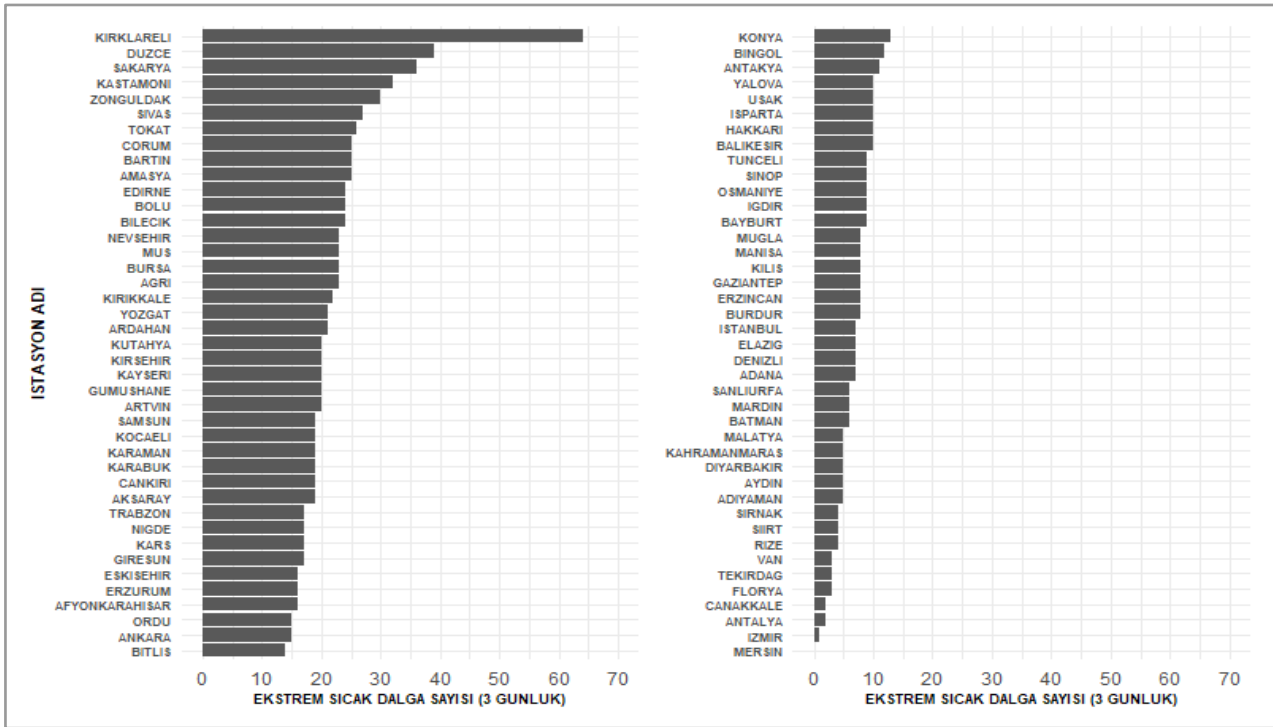
Seçilen 16 il merkezinin ardışık 5 gün boyunca devam eden yıllık sıcak hava dalgası sayıları ayrı ayrı incelendiğinde, 2024 yılında gerçekleşen en yüksek sıcak hava dalgası sayısı (10 adet) Sivas ilinde meydana gelmiş iken, en düşük sıcak hava dalgası sayısı (2 adet) Antalya ilinde meydana gelmiştir. Adana, Van, İzmir, Diyarbakır istasyonlarında, diğer istasyonlara göre oldukça düşük seviyelerde sıcak hava dalgası gerçekleşmiştir. Pearson korelasyon testi analizi sonucu elde edilen değerler göz önüne alındığında (+0.2 ve +0.3) Trabzon, Antalya, Konya, Zonguldak ve Malatya istasyonlarının yıllara göre artışı zayıf seviyede olarak gözlenmiştir. Sivas (+0.7), Bursa, İstanbul, Samsun (+0.6 ve üzeri) yıllara göre artışı güçlü olarak gözlenmiştir (Şekil 5.).



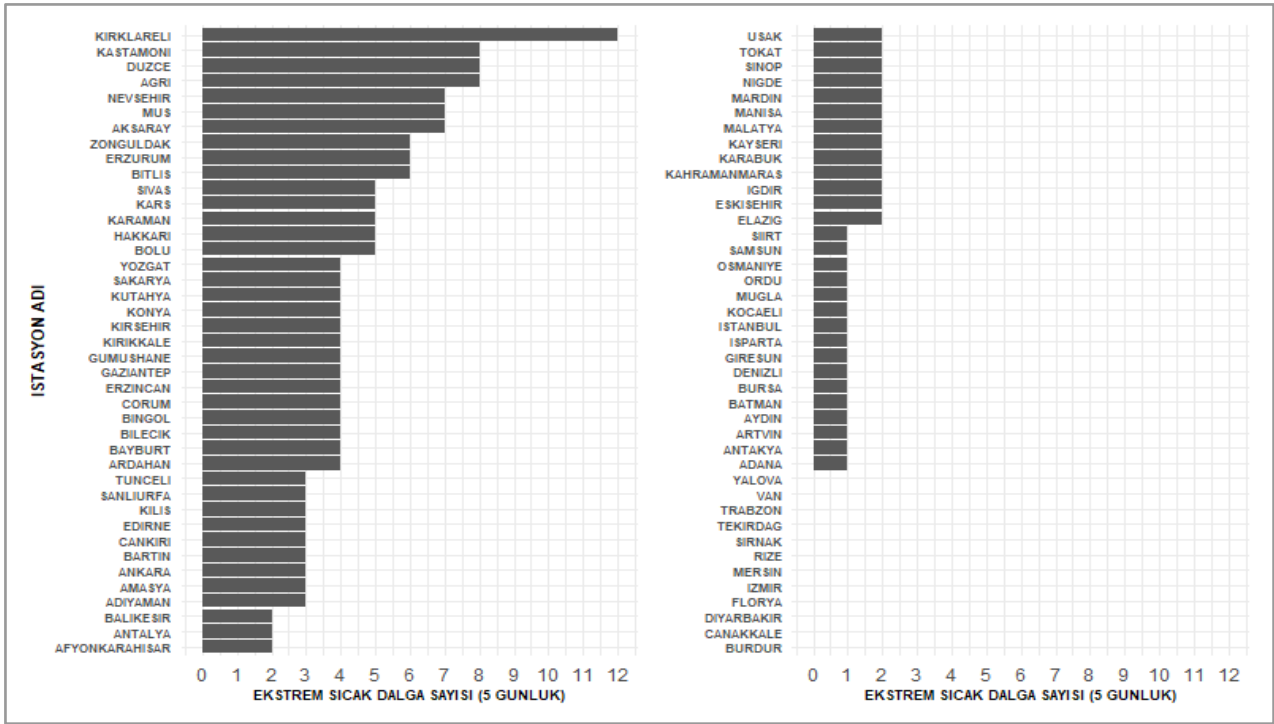
Şekil 5. Seçilen Büyük Şehirlerin Yıllık Sıcak Dalgası Sayıları (Ardışık 5 Gün)

Ekstrem Sıcak Hava Dalgalarının Analizi

81 il merkezinin 45 yıllık (1980-2024) ekstrem sıcak hava dalgası sayıları (günlük maksimum sıcaklık ile uzun yıllar aylık maksimum sıcaklık ortalamaları arasındaki fark 10°C ve üzerinde olan, ard arda en az 3 gün veya en az 5 gün devam eden sıcak gün sayıları) toplamı incelendiğinde; Kırklareli istasyonu 64 adet (ardışık 3 gün) ve 12 adet ile (ardışık 5 gün) ile en yüksek sayıda sıcak hava dalgası gerçekleşen il merkezi olarak kayıtlara geçmiştir. Düzce, Sakarya, Kastamonu, Zonguldak ve Ağrı istasyonları diğer yüksek sıcak hava dalgası sayısını toplamına sahip olan istasyonlardır. Mersin istasyonunda hem 3 günlük hem de 5 günlük ekstrem sıcak hava dalgası gerçekleşmemiş olup Burdur, Çanakkale, Diyarbakır, İstanbul, İzmir, Rize, Şırnak, Tekirdağ, Trabzon, Van ve Yalova istasyonlarında; bu istasyonların maksimum sıcaklığı zaten yüksek olduğu için ardışık 5 gün devam eden ekstrem sıcak hava dalgası olayı gerçekleşmemiştir. Ekstrem sıcak hava dalgası gerçekleşmesi daha az görülen bir hava olayı olması nedeniyle gerçekleşme sayıları gösterilirken 45 yıllık periyodun toplam sayıları üzerinden gidilmiştir (Şekil 6a. ve Şekil 6b.).



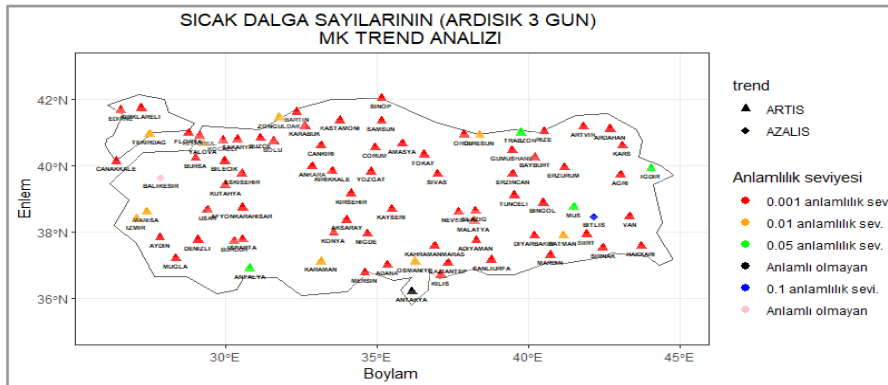
Şekil 6a. Çalışmada kullanılan istasyonların 45 yıllık ekstrem sıcak dalga sayılarının toplamaları (ardışık 3 gün)



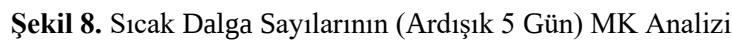
Şekil 6b. Çalışmada kullanılan istasyonların 45 yıllık ekstrem sıcak dalga sayılarının toplamaları (ardışık 5 gün)

Mann-Kendall (MK) Trend Analizi Sonuçları

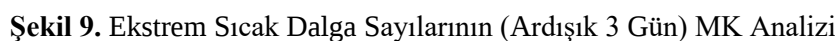
Ardışık en az 3 gün ve ardışık en az 5 gün devam sıcak hava dalgalarının MK analizleri incelendiğinde il merkezlerimizin yaklaşık olarak hepsi anlamlı artan trende sahipken (Antakya istasyonu hariç), büyük bölümünde yüksek güven aralığında bir artış trendinden söz edilebilmektedir. Özellikle Batı Karadeniz ve İç Anadolu Bölgesinde yer alan illerin birçoğunun (kırmızı renk ile gösterilen iller) en az 3 gün ve en az 5 gün devam eden sıcak hava dalgalarının eğilimi çok yüksek güven aralığında (0.001 anlamlılık seviyesinde) artan trende sahiptir. Dolayısı ile bu illerde sıcak hava dalgası hadisesinin biraz daha belirgin bir risk barındırdığı ve yerleşim yerleri için yapılacak planlamalarda bu anlamda risk gruplarının göz önünde bulundurulması gerektiği ortaya çıkmaktadır. MK analizleri il bazlı olarak incelendiğinde bazı illerde 3 günlük artışların, bazılarında da 5 günlük artışların daha anlamlı olduğu görülebilmektedir. Örneğin, Muş istasyonu ardışık 3 günlük sıcak hava dalgalarında 0.05 anlamlılık seviyesinde artan trende sahipken ardışık 5 günlük sıcak hava dalgalarında 0.01 anlamlılık seviyesinde artan trende sahiptir. Bir başka örnekle Konya istasyonu ardışık 3 günlük sıcak hava dalgalarında 0.001 anlamlılık seviyesinde artan trende sahipken ardışık 5 günlük sıcak hava dalgalarında 0.1 anlamlılık seviyesinde artan trende sahiptir. Ayrıca, Bitlis istasyonu dışında herhangi bir anlamlılık seviyesinde azalan trende sahip istasyon bulunmamaktadır. 3 günlük sıcak dalga sayılarında Bitlis ve Balıkesir istasyonu, 5 günlük sıcak dalga sayılarında yalnız Bitlis istasyonu azalan trend eğilimi göstermektedir (Şekil 7. ve Şekil 8.).

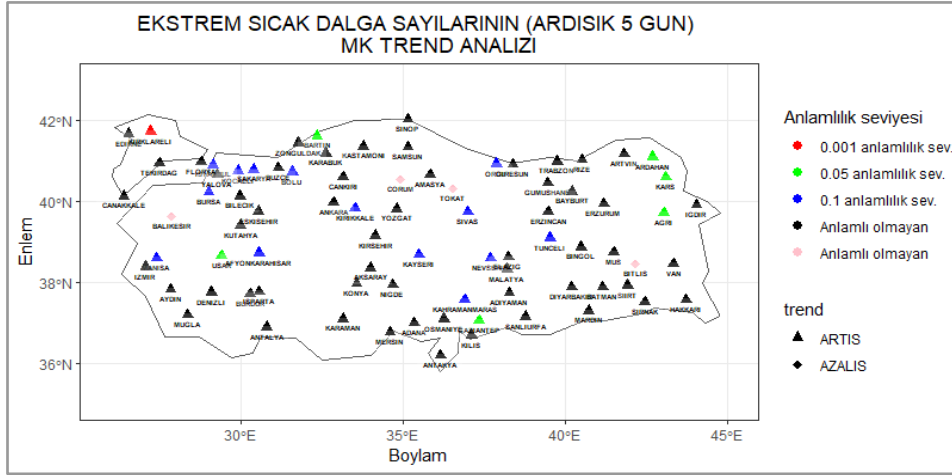


Şekil 7. Sıcak Dalga Sayılarının (Ardışık 3 Gün) MK Analizi



Şekil 10.'da belirtilen MK analizlerinde Bitlis, Balıkesir, Tokat ve Çorum istasyonu hariç tüm istasyonlarda ekstrem sıcak dalga sayılarında (ardışık en az 5 gün) artan trend gözlenmektedir. İstasyonların birçoğunda artan trendlerin hiçbir seviyede anlamlı olmadığı sonucu bulunmaktadır. Doğu kesimlerde yer alan Ardahan, Kars ve Iğdır istasyonlarındaki artan trend eğilimi diğer istasyonlara göre daha yüksek güven düzeyindedir (0.05 anlamlılık seviyesi). Kuzeybatı kesimlerinde yer alan Bursa, İstanbul, Kocaeli, Sakarya ve Bolu istasyonları ile İç Anadolu bölgesinde yer alan Kırıkkale, Sivas, Kayseri, Tunceli, Nevşehir ve Kahramanmaraş istasyonlarında 0.1 anlamlılık seviyesinde artan trend görülmektedir.





Şekil 10. Ekstrem Sıcak Dalga Sayılarının (Ardışık 5 Gün) MK Analizi

SONUÇLAR

Yeryüzünde meydana gelen önemli afetlerin büyük kısmı meteoroloji ve iklim kaynaklı hadiselerden meydana gelmektedir. Bu hadiseler ve afetler farklı coğrafyalarda farklı etkiler gösterebildiği gibi farklı coğrafyalarda önem sıraları da değişmektedir.

Yapmış olduğumuz çalışmada en dikkat çekici sonuç, Türkiye'nin kuzey kesimlerinde yer alan istasyonların (Kırklareli, Bolu, Düzce, Tokat, Gümüşhane, Bilecik, Sivas, Sakarya, Amasya ...) 45 yıllık (1980-2024) toplam sıcak hava dalgası sayılarının Türkiye'nin güney kesimlerinde yer alan istasyonların (Mersin, Van, Şırnak, Osmaniye, Adana, Hatay, Antalya, İzmir ...) toplam sıcak hava dalga sayılarına göre daha fazla olduğu ortaya koyulmuştur. Bunun sebebinin ülkemizin coğrafi konumu nedeniyle güney kesimlerinin daha sıcak olması ve ortalama sıcaklık değerlerinin daha yüksek olması dolayısı ile ülkemizi etkileyen sıcak hava dalgalarında göreceli olarak daha az etkilendiği düşünülmüştür. Yine özellikle deniz kıyısı olan kesimlerde sıcak hava dalgası sayılarının karasal alanlara göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Türkiye genelinde 45 yıllık dönem içerisinde meydana gelen ardışık 3 gün devam eden sıcak dalga sayılarının ortalaması ülke genelinde 6 adet iken ardışık 5 gün devam eden sıcak dalga sayısı 2 adet civarındadır. Çalışma periyodunu içeren 1980 yılından 2024 yılına kadar hem 3 günlük hem de 5 günlük sıcak hava dalgası sayılarında belirgin bir artış trendi olduğu görülmüştür. 2024 yılı, yaklaşık 11 adet (ardışık 3 gün) ve yaklaşık 6 adet (ardışık 5 gün) sıcak hava dalgasıyla rekor yıl olarak hesaplanmıştır. 2010 yılı da yaklaşık 10 adet (ardışık 3 gün) ve yaklaşık 5 adet (ardışık 5 gün) sıcak hava dalgasıyla en çok sıcak hava dalgası gerçekleşen ikinci yıl olmuştur. Yapmış olduğumuz çalışmada ayrıca seçilen 16 Büyükşehir merkezlerinin (Adana, Ankara, Antalya, Bursa, Diyarbakır, Bursa, İstanbul, İzmir, Kayseri, Konya, Malatya, Samsun, Sivas, Trabzon, Van, Zonguldak) ardışık 3 gün boyunca devam eden yıllık sıcak hava dalga sayıları ayrı ayrı incelendiğinde, 2024 yılında gerçekleşen en yüksek sıcak hava dalgası sayısı (14 adet) Sivas ilinde meydana gelmiş iken, en düşük sıcak hava dalga sayısı (5 adet) Van ve Adana istasyonlarında meydana gelmiştir. Adana, Van, İzmir, Trabzon, Antalya istasyonlarında, diğer istasyonlara göre oldukça düşük seviyelerde sıcak hava dalgası gerçekleşmiştir. Ardışık en az 3 gün ve ardışık en az 5 gün devam eden sıcak hava dalgalarının Mann-Kendall trend analizleri incelendiğinde, il merkezlerimizin yaklaşık olarak hepsi anlamlı artan trende sahipken (Antakya istasyonu hariç), büyük bölümünde yüksek güven aralığında bir artış trendinden söz edilebilmektedir. Seçilen 16 il merkezinin ardışık 3 gün ve 5 gün boyunca devam eden yıllık sıcak hava dalga sayıları ile yıllar arasındaki Pearson korelasyon testi analizleri incelendiğinde istasyonların tümünde pozitif doğrusal bir ilişki gözlenmiştir. Bu değerlendirmeler göz önünde bulundurulduğunda sıcak hava dalgalarının hangi şehirler için daha belirgin bir risk oluşturabileceği tespit edilebilecektir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar yapılan diğer bazı çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Demirtaş (2017) yapmış olduğu çalışmada, 2003 yılının Haziran-Temmuz-Ağustos (HTA) döneminde meydana gelen sıcak hava dalgalarının toplam süresini hesaplamış, özellikle Avrupa'nın iç kesimlerinde bu sürenin 70-80 güne varan

uzunlukta olduğunu, yurdumuzda ise Ege ve çevresinde 40-50 güne vardığı sonucunu ortaya koymuştur. İlgili dönemde meydana gelen toplam sıcak hava dalgası sayısı dağılımına bakıldığında, Batı Avrupa’da 5-6, Balkanlar’da 7-8 kadar olduğu, ülkemizde Marmara civarında 6-7 sayılarına vardığı not edilmiştir. 2012 HTA döneminde özellikle etkisini gösteren sıcak hava dalgaları, Güneydoğu Avrupa’da, bazı Akdeniz ülkelerinde ve yurdumuzda etkili olmuştur. Türkiye’de en yüksek sıcaklıklar Haziran ve Temmuz döneminde kaydedilmiş ve en yüksek sıcaklık 49,5°C ile Sarıcakaya, Eskişehir’de gerçekleşmiştir. Sıcak hava dalgası toplam sayısı hesaplamaları, en yüksek değerlerin (7-8 tane) Güney Avrupa’da olduğunu ve yurdumuz üzerinde ise Marmara ve Batı Karadeniz’de 5-6 tane olduğunu göstermektedir. 2015 HTA döneminde gerçekleşen sıcak hava dalgalarının toplam süresine bakıldığında, Türkiye’de en çok etkilenen bölgelerin 40-60 gün, diğer bölgelerin ise 20-30 gün sıcak hava dalgasının etkisi altında kaldığı not edilmektedir. Bu dönemde, yurdumuz üzerinde görülen en yüksek sıcak hava dalga sayısı 5 iken, Avrupa’da oldukça geniş bir alanda 6-8 arasındadır. HTA dönemlerinde gerçekleşen toplam sıcak hava dalga sayısı analizleri, 2003 ve 2012’de oldukça fazla sayıda olduğunu göstermiştir.

Dünya Sağlık Örgütü’nün tahminlerine göre 1998-2017 arasında 166.000’den fazla insan sıcak hava dalgaları nedeniyle hayatını kaybetmiştir. Aynı zamanda ülkemizde afetlerde meydana gelen can kaybı, yaralanma ve zararların çeşitli şekillerde kayıtları tutulsa da sıcak hava dalgası veya soğuk hava dalgası kaynaklı meydana gelen zarar ve can kayıplarının kayıtları tutulmamaktadır. Can kayıpları bağlamı dışında özellikle tarımsal üretimde meydana getirdiği etkiler göz önünde tutulduğunda ekonomik etkileri de kayıtlanmamaktadır.

Ülkemizde sıcak hava dalgası ve soğuk hava dalgası hadiseleri meteorolojik açıdan uyarı sınıflandırmasında bulunmaktadır. Ancak ülkemizde ne yazık ki sağlık sistemi ve meteoroloji alanındaki etkileşim istenilen düzeyde değildir. Ülkemizde “Tıbbi Meteoroloji” alanında yapılan çalışmalar oldukça düşük düzeyde olup meteorolojik parametrelerdeki değişimlerin insanlar üzerindeki etkileri tam olarak raporlanmamaktadır. Sıcak hava dalgası da bunlardan biridir. Özellikle yaşlılık, tansiyon hastalığı, solunum zorluğu bulunan hastalar, kalp hastalıkları diyabet ve böbrek hastalıkları gibi rahatsızlığı bulunan hastaların sıcak hava dalgası dönemlerinde başvurdukları sağlık birimlerinde rahatsızlığın veya can kaybının tetiklenmesinde sıcak hava dalgasının raporlanması gerektiği düşünülmektedir. Çalışma yapılırken incelenen literatür taramasında yurtdışında bu şekilde örneklerin olduğu görülmüş ve herhangi bir alanda meydana gelen sıcak hava dalgası sonucu can kaybı veya ekonomik kayıpların raporlandığı görülmüştür. Ancak ne yazık ki ülkemizde bu şekilde bilgilere ulaşamamıştır.

İklim değişikliğinin en önemli etkilerinden biri de meydana gelen sıcak hava dalgalarının sıklığının genliğinin ve şiddetinin artacağı yönündedir. İklim değişikliğinden etkilenebilirlik ve iklim uyum çalışmalarında yapılan değerlendirmelerde sıcak hava dalgasının da bir risk olarak sayılması ve alınabilecek tedbirler bağlamında çalışma yapılması gerekmektedir. Çalışmamız bizlere göstermiştir ki 2010’lu yıllardan sonra sıcak hava dalgalarının sayılarında belirgin bir artış bulunmakta olup önümüzdeki dönemde de olası yanlış imar çalışmaları sıcak hava dalgalarının şehir yaşamındaki etkisini daha da arttıracaktır.

Bahse konu sıcak hava dalgalarının meydana gelişleri etki alanları ve etki süreleri açısından ele alınarak meteorolojik oluşum şartlarının incelenmesinin bundan sonra meydana gelebilecek sıcak hava dalgalarının tahmininde faydalı olacağı düşünülmektedir. Yine aynı şekilde çalışmada görüleceği üzere sıcak hava dalgalarının meydana gelme sayılarındaki artış nedeniyle etkilenebilirlik bağlamında tıbbi meteoroloji çalışmalarının yapılarak kırılgan grupların tespiti ve uyarı mekanizmasında iletişimin nasıl sağlanacağını belirlenmesi de sağlık açısından alınacak tedbirler bağlamında önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmada kullanılan Meteorolojik Veri Bilgi, Satış ve Sunum Sisteminden (MEVBİS) elde edilen istasyon verileri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Barnett, A. G., Hajat, S., Gasparrini, A. & Rocklöv, J. (2012). Cold and heat waves in the United States. *Environmental Research*, 112, 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.12.010>
- Bayazıt, M., ve Yeğen Oğuz, E. B. (2005). *Mühendisler için istatistik* (s. 197). Birsan Yayınevi.
- Bouchama, A. (2004). The 2003 European heat wave. *Intensive Care Medicine*, 30(1), 1–3. <https://doi.org/10.1007/s00134-003-2062-y>
- Bunting, E. L., Tolmanov, V. & Keellings, D. (2024). What is a heat wave: A survey and literature synthesis of heat wave definitions across the United States. *PLOS Climate*, 3(9), e0000468. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000468>
- Bölük, E., Akçakaya, A. ve Arabacı, H. (2013). 2012 Temmuz ayında yaşanan sıcak hava dalgası. *6th Atmospheric Science Symposium*, İstanbul.
- Demirtaş, M. (2017). Şiddetli sıcak hava dalgaları: Dinamik-fiziksel etkenler ve bu sıcak hava dalgalarının özellikleri. *Sakarya University Journal of Science*, 21(2), 257–267.
- Diffenbaugh, N. S., Pal, J. S., Giorgi, F. & Xuejie, G. (2007). Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot. *Geophysical Research Letters*, 34(L11706). <https://doi.org/10.1029/2007GL030000>
- Duru, S. ve Parlakay, O. (2021). Türkiye’de iklim değişikliğinin bal verimine etkisi: ARDL sınır testi yaklaşımı. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3), 791–800.
- Efe, B. ve Gözet, E. (2021). Samsun ilinin turizm iklim indeksi değerlerinin trend analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(4), 1164–1176.
- Erlat, E. ve Doğucanlı, D. (2011). Ege Bölgesi’nde sıcaklık ekstremlerinde gözlenen değişim ve etmenlerin değerlendirilmesi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*.
- Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. M. G. & Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19, 193–212. <https://doi.org/10.3354/cr019193>
- Gönençgil, B. (2020). Türkiye sıcaklık ekstremlerindeki değişkenlikler. *Journal of Geography*.
- Gürkan, H., Eskioglu, O., Yazıcı, B., Şensoy, S., Kömüşçü, A. Ü. ve Çalık, Y. (2017). İklim değişikliğinin etkisi altında sıcak ve soğuk hava dalgalarında öngörülen eğilimler. *8. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu Bildiri Kitabı*, İstanbul, 1–4 Kasım, 111–122.
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*.
- Kanat, Z. ve Keskin, A. (2018). Dünyada iklim iklimi üzerine yapılan iklimlendirme ve Türkiye’de mevcut durum. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 49, 67–78.
- Katipoğlu, O. M., Yeşilyurt, S. N. ve Dalkılıç, H. Y. (2022). Yeşilirmak havzasındaki hidrolojik kuraklıkların Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen yöntemi ile trend analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 422–442.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods (4th ed.)*. Charles Griffin.
- Kuba, E. B., Deniz, Z. A. ve Öztürk, B. (2016). Türkiye’de 1960–2010 döneminde oluşan sıcak hava dalgalarının klimatolojik ve meteorolojik analizi. *TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*.
- Kuglitsch, F. G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P. M., Zerefos, C. S., Türkeş, M. & Luterbacher, J. (2010). Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960. *Geophysical Research Letters*, 37, 1–5. <https://doi.org/10.1029/2009GL041841>
- Kumar, R., Singh, S., Randhawa, S. K. K., Singh, J. C. & Rana, N. (2014). Temperature trend analysis in the Glacier region of Naradu Valley, Himachal Himalaya, India. *Geoscience*, 346(9–10), 213–222.
- Mann, H. B. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245–259.
- McLeod, A. (n.d.). *Kendall: A Grammar of Data Manipulation* (R package Version 2.1.0). <https://cran.r-project.org/web/packages/Kendall/index.html>
- MGM - Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2012). *İklim değişikliğinin sağlık üzerine etkileri*. https://mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/16_iklim-saglik-etki.pdf
- MGM - Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2017). *2017 yılı iklim değerlendirmesi*. <https://www.mgm.gov.tr/files/iklim/yillikiklim/2017-iklim-raporu.pdf>
- MGM - Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2023). *2023 yılı iklim değerlendirmesi*. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2023-iklim-raporu.pdf>
- MGM - Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2024). *2024 yılı iklim değerlendirmesi*. <https://mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2024-iklim-raporu.pdf>
- Pearson, K. (1894). Contributions to the mathematical theory of evolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. A, 185, 71–110.
- Pitaric, A., Croitoru, A. E., Ciupertea, F. A. & Harpa, G. V. (2018). Recent changes in heat waves and cold waves detected based on excess heat factor and excess cold factor in Romania. *International Journal of Climatology*, 38(4), 1777–1793.
- Pohlert, T. (n.d.). *Trend: A Grammar of Data Manipulation* (R package Version 1.1.6). <https://cran.r-project.org/package=trend>
- Robinson, P. J. (2001). On the definition of a heat wave. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 40(4), 762–775.
- Thommen, O. (2005). Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Medical Weekly*, 135(13–14), 200–205.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2011). *Türkiye’nin ulusal iklim değişikliğine uyum stratejisi ve eylem planı 2011–2023*.
- Wickham, H., Francois, R., Henry, L. & Müller, K. (n.d.). *Dplyr: A Grammar of Data Manipulation* (R package Version 1.1.4). <https://cran.r-project.org/package=dplyr>

- Wickham, H., Chang, W., Henry, L., Pedersen, T. L., Takahashi, K., Wilke, C., Woo, K., Yutani, H. & Dunnington, D. (n.d.). *Ggplot2: Grammar of Data Manipulation* (R package Version 3.5.1). <https://cran.r-project.org/package=ggplot2>
- WMO - World Meteorological Organization. (1992). *International meteorological vocabulary* (WMO-No. 182).
- WMO - World Meteorological Organization (WMO). (2011). *Weather extremes in a changing climate: Hindsight on foresight* (WMO-No. 1075).
- Yılmaz, E. ve Darende, V. (2021). Türkiye’de yağış ölçümü yapılan manuel-otomatik meteoroloji gözlem istasyonu verilerinin karşılaştırılması. *Türkiye Coğrafya Dergisi*, 77, 53–66.
- Zhang, R., Chen, Z. Y., Ou, C. Q. & Zhuang, Y. (2017). Trends of heat waves and cold spells over 1951–2015 in Guangzhou, China. *Atmosphere*, 8(2), 37. <https://doi.org/10.3390/atmos8020037>