



Received: 8 April 2023 | Revised: 16 June 2023 | Accepted: 19 June 2023

TÜRKİYE’NİN EN UZUN METEOROLOJİ/KLİMATOLOJİ GÖZLEMLERİNE SAHİP OLAN KANDİLLİ RASATHANESİ’NİN SICAKLIK EKSTREMLERİNDE GÖZLENEN DEĞİŞİM VE EĞİLİMLER (1912-2021)

Observed Variations and Trends in Temperature Extremes of The Longest Meteorological/Climatological Observation Station (Kandilli Observatory) in Turkey (1912-2021)

Nami YURTSEVEN 

*İzmir Bakırçay Üniversitesi Coğrafya Bölümü,
İzmir-Türkiye
nami.yurtseven@bakircay.edu.tr*

Abstract

In this study, the changes and trends of extreme temperatures in Kandilli (Istanbul) Observatory, which has the longest meteorological/climatological observations (1912-2021) in Turkey were analysed. The 14 extreme temperature indices recommended by the Expert Team on Climatology for Climate Change Detection, Monitoring and Indices were used. Mann-Kendall rank correlation coefficient test was used to determine possible trends in extreme indices and the statistical significance of trends. Sen's Slope Estimation method was used to determine the magnitude of trends. As a result, cold days and cold nights showed significant decreasing trend of -0.96, -1.04 days/decade, respectively, while warm days and warm nights showed significant increasing trend of +0.44, +0.58 days/decade, respectively. The lowest daytime, the lowest night-time, the highest daytime, and the highest night-time air temperatures were determined to have increasing trends of +0.10, +0.18, +0.05, +0.14 °C/decade, respectively. Frost days (-0.93 days/decade) was found significant decreasing trends and summer days (+3.13 days/decade), tropical nights (+3.23 days/decade) were found significant increasing trends. The warm spell duration was determined an increasing trend, while the cold spell duration (-1.37 days/decade) showed significant decreasing trend. These results show that the frequency, duration, and intensity of warm extremes have increased, and cold extremes have decreased over time during observation period, and that both daily maximum and daily minimum air temperatures have shown a warming trend. In addition, daily minimum air temperatures show a faster warming trend than daily maximums. All these results are an important indicator of anthropogenic climate change associated with the increase in the concentration of anthropogenic greenhouse gases in the atmosphere. The fact that the warming in daily minimum air temperature is faster than the warming in daily maximums can be explained by urban heat island due to existence of a "mega" city like Istanbul and/or changes in urban/regional land use.

Keywords: Kandilli (Istanbul) Observatory, Extreme Temperature Indices, Climate change and Variability, Urban Heat Island, Temperature Extremes

Öz

Bu çalışmada; Türkiye'nin en uzun meteoroloji/klimatoloji gözlemlerine sahip olan Kandilli (İstanbul) Rasathanesi'nde ekstrem hava sıcaklıklarının 1912-2021 dönemindeki değişim ve eğilimleri analiz edilmiştir. Çalışmada İklim Değişikliği Tespiti, İzleme ve İndisler Konusunda Klimatoloji Uzman Ekibi (ETCCDMI) tarafından önerilen 14 ekstrem sıcaklık indisi kullanılmıştır. Ekstrem sıcaklık indislerinde olası eğilimleri belirlemede ve eğilimlerin istatistiksel olarak anlamlılığını denetlemede parametrik olmayan Mann-Kendall (M-K) sıra ilişki katsayısı testinden yararlanılmıştır. Eğilimlerin büyüklüğünü belirlemek için de parametrik olmayan Sen'in Eğim Tahmin (Sen's Slope Estimation) yöntemi kullanılmıştır. Analizler sonucunda; soğuk gün ve gece sayılarında her on yıl için sırasıyla -0.96, -1.04 gün olmak üzere anlamlı azalma eğilimleri, sıcak gün ve gece sayılarında sırasıyla +0.44 gün/on yıl, +0.58 gün/on yıl olmak üzere anlamlı artma eğilimleri saptanmıştır. En düşük gündüz, en düşük gece, en yüksek gündüz ve en yüksek gece hava sıcaklıklarında her on yıl için sırasıyla +0.10, +0.18, +0.05, +0.14 °C olmak üzere artma eğilimleri belirlenmiştir. Minimum hava sıcaklığı rekorlarındaki artma eğilimleri istatistiksel olarak anlamlı olmuştur. Don olaylı gün sayılarında -0.93 gün/on yıl olmak üzere anlamlı azalma eğilimi, yaz günü ve tropikal gece sayılarında sırasıyla +3.13 gün/on yıl, +3.23 gün/on yıl olmak üzere anlamlı artma eğilimleri tespit edilmiştir. Sıcak dönem süresinde artma eğilimi, soğuk dönem süresindeyse -1.37 gün/on yıl olmak üzere anlamlı azalma eğilimi saptanmıştır. Bu bulgular, 1912-2021 döneminde zaman içinde sıcak ekstremlerin sıklığı, şiddeti ve süresinin arttığını, soğuk ekstremlerinse azaldığını göstermiş ve hem günlük minimum hem de günlük maksimum hava sıcaklıklarının ısınma eğiliminde olduğunu ortaya koymuştur. Bunların yanında günlük minimum hava sıcaklıklarındaki ısınmanın günlük maksimumlardaki ısınmadan daha hızlı olduğunu göstermiştir. Tüm bu sonuçlar, antropojenik sera gazlarının atmosfer birikimindeki artışla ilişkili olarak Kandilli'nin (İstanbul) antropojen iklim değişikliğinden önemli ölçüde etkilendiğinin göstergeleridir. Diğer taraftan günlük minimum hava sıcaklığındaki ısınmanın günlük maksimumlardan daha hızlı olması İstanbul gibi "mega" bir kentin varlığından kaynaklı kentsel ısı adasıyla ve/veya kentsel/bölgesel arazi kullanımındaki değişimlerle açıklanabilir.

Anahtar Kelimeler: Kandilli (İstanbul) Rasathanesi, Ekstrem Sıcaklık İndisleri, İklim Değişikliği ve Değişkenliği, Sıcaklık Ekstremleri, Kentsel Isı adası.

1. GİRİŞ

İklim sistemi, geçmişten günümüze kendi iç dinamiğinde meydana gelen değişimlere, dışsal zorlama ve etmenlerine bağlı olarak doğal nedenlerle birçok kez değişmiştir (Le Treut vd., 2007; Türkeş, 2012). 18. yüzyılda Sanayi Devrimi'yle birlikte atmosferde sera gazı birikimlerindeki artış, atmosferin doğal sera etkisini kuvvetlendirmiştir. Atmosferin kuvvetlenen sera etkisinin dünyanın enerji bilançosuna yapmış olduğu pozitif etki nedeniyle, doğal nedenli değişikliklerin yanı sıra insan kaynaklı/antropojenik değişiklikler ortaya çıkmıştır. Antropojen iklim değişikliği en başta küresel olarak hava sıcaklıklarında artışa neden olmuştur. Aletli meteorolojik/klimatolojik gözlemlerin yapılmaya başlandığı 1880'li yıllardan 20. yüzyılın ikinci yarısına doğru küresel ortalama hava sıcaklığında artış eğilimi gözlenmiş ve söz konusu artış eğilimi 1980'li yıllarda daha da belirginleşerek günümüze doğru artarak devam etmiştir. Nitekim 21. yüzyılda hemen her yıl bir önceki yıla göre daha sıcak olmak üzere, küresel hava sıcaklığı rekorları kırılmıştır. Çeşitli veri setlerine göre değişmekle birlikte küresel ortalama hava sıcaklıklarının 1850-1900 dönemine göre 2011-2020 döneminde $1.09\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.95\text{-}1.20$) daha yüksek olduğu belirtilmiş ve bu değer kara yüzeylerinde $1.59\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1.34\text{-}1.83$), deniz yüzeylerinde ise $0.88\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.68\text{-}1.01$) olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda çok modellenmiş iklim simülasyonlarına göre küresel ortalama hava sıcaklığının 21. yüzyıl boyunca artmaya devam edeceği ifade edilmiştir (IPCC, 2021).

1950'li yıllardan itibaren küresel ortalama hava sıcaklığında gözlenen artış eğiliminin yanı sıra, bu artışın termodinamik bir sonucu olarak ekstrem hava sıcaklıklarının sıklığı, şiddeti ve süresinde bazı değişimler görülmüştür (IPCC, 2013; Ning vd., 2015; IPCC, 2021). Bu değişimler neredeyse dünyanın hemen her bölgesinde sıcak ekstremlerde artma, soğuk ekstremlerdeyse azalma eğilimi şeklinde olmuştur (Donat vd., 2013; Alexander vd., 2016; Wang vd., 2020). Örneğin; Dunn vd.'nin (2020) 1901-2018 dönemi için İklim Değişikliği Tespiti, İzleme ve İndisler Konusunda Klimatoloji Uzman Ekibi (ETCCDMI) tarafından önerilen ekstrem sıcaklık indislerini küresel gridli veri seti şeklinde (HadEX3) oluşturdukları çalışmada; sıcak ekstremlerden sıcak gündüz ve gece sayılarında (TX90p, TN90p) artma; soğuk ekstremlerden soğuk gündüz ve gece sayılarında (TX10p, TN10p) ise azalma eğilimleri ortaya konmuştur. Diğer taraftan çalışmada rekor hava sıcaklıklarının tamamında da (en yüksek gündüz hava sıcaklıkları (TXx), en düşük gündüz hava sıcaklıkları (TXn), en yüksek gece hava sıcaklıkları (TNx), en düşük gece hava sıcaklıkları (TNn)) artma eğilimleri belirlenmiştir. Söz konusu artma eğilimlerinin minimum hava sıcaklıklarından hesaplanan indislerde (TN10p, TN90p, TNn, TNx) maksimum hava sıcaklıklarındakine (TX10p, TX90p, TXn, TXx) göre daha hızlı olduğu belirtilmiştir.

Küresel ölçekte yapılmış olan çalışmaların sonuçlarıyla uyumlu olarak, iklim değişikliğine karşı dünyanın en hassas/duyarlı bölgelerinden biri olan Akdeniz Havzası'nda da (Giorgi, 2006) sıcak ekstremlerin sıklığı, şiddeti ve süresi artmakta, soğuk ekstremlerinse azalmaktadır (El Kenawy vd., 2013; Donat vd., 2014a; Fioravanti vd., 2016; Erlat & Güler, 2018). Örneğin; birçoğu Kuzey Afrika'da dağılışı gösteren 61 meteoroloji/klimatoloji istasyonundaki günlük hava sıcaklığı gözlemlerinden yararlanılarak yapılan bir çalışmada; sıcak gündüz ve gece sayılarında ve sıcak dönem sürelerinde artma; soğuk gündüz ve gece sayılarında ve soğuk dönem sürelerinde ise azalma eğilimleri belirlenmiştir (Donat vd. 2014b). Akdeniz Havzası'nın dahil edildiği diğer bir çalışmada bölge genelinde 1979-2016 rasat süresinde her 10 yılda sıcak ekstremlerin %1.9 oranında artış gösterdiği, soğuk ekstremlerinse azaldığı belirtilmiştir (Kelebek vd., 2021). Doğu Akdeniz Havzası'nda yapılan başka bir çalışmada da ortalama olarak sıcak hava dalgalarının 1960'lı yıllardan itibaren %8 oranında artış gösterdiği ve sıcak hava dalgalarının sayısının (6.2 ± 1.1), şiddeti (7.6 ± 1.3) ve süresinin (7.5 ± 1.5) faktör olarak arttığı tespit edilmiştir (Kuglitsch vd., 2010).

Akdeniz Havzası'nın doğu bölümünde yer alan Türkiye'de de antropojen iklim değişikliğinin ortalama hava sıcaklıkları, ekstrem hava sıcaklıkları gibi iklim değişkenleri üzerindeki etkisi belirgin bir şekilde görülmektedir (Hadi & Tombul, 2018; Abbasnia & Toros, 2020). Nitekim Türkiye'de 1950'li yıllardan itibaren yıllık ve mevsimlik ortalama, maksimum ve minimum hava sıcaklıkları ısınma eğilimi göstermiştir (Türkeş & Sümer, 2004; Türkeş, 2012; Hadi & Tombul, 2018). Gözlenen ısınma eğiliminin doğal bir sonucu olarak da 1950'li yıllardan itibaren ekstrem hava sıcaklıklarının sıklığı, şiddeti ve süresi değişmiştir (Sensoy vd., 2013). Bu tür değişimler genel olarak Türkiye'de, özellikle 1990'lı yıllardan itibaren don olaylı gün sayılarında azalma ve don olaylı günlerin gözlenmediği dönemin uzunluğunda artma (Erlat & Türkeş, 2012; Erlat ve Türkeş, 2016);

yaz günü ve tropikal gece sayılarında artma (Erlat & Türkeş; 2013; Sensoy vd., 2013; Abbasnia & Toros, 2020); sıcak gün ve gece sayılarında artma, soğuk gün ve gece sayılarında azalma (Sensoy vd., 2013; Abbasnia & Toros, 2020); sıcak dönem süresinde artma; soğuk dönem süresinde azalma (Erlat & Güler; 2018); rekor minimum hava sıcaklıklarının sıklığında azalma; rekor maksimum hava sıcaklıklarında artma (Erlat & Türkeş; 2015); sıcak hava dalgalarının sıklığında, süresi ve şiddetinde artma (Erlat vd., 2021) eğilimleri şeklinde olmuştur. Öte yandan Türkiye'nin en uzun aletsel ve sistematik meteoroloji/klimatoloji ölçümlerine sahip olan Kandilli Rasathanesi'nde yapılmış bir çalışmada da 1912-2014 rasat dönemi içinde tropikal gün sayılarında artma, don olaylı gün sayılarında azalma eğilimleri ortaya konmuştur (Toros vd., 2015). Özetle hem küresel hem de bölgesel sonuçlarıyla uyumlu olarak, Türkiye'de genel olarak sıcak ekstremlerin sıklığı, şiddeti ve süresi artmış, soğuk ekstremlerinse azalmıştır.

Türkiye ve yakın çevresinde ekstrem hava sıcaklıkları üzerine yapılan çalışmalarda, genellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren meydana gelen değişim ve eğilimler incelenmiştir. Ancak bilindiği üzere küresel ve bölgesel ölçekte iklim salınımlarının, iklim değişikliği ve değişkenliğinin bilimsel perspektifte tespit edilmesi, anlaşılması, açıklanması ve tahmin edilmesi için uzun süreli meteorolojik/klimatolojik gözlemlere ihtiyaç vardır. Özellikle de bu gözlemler, Sanayi Devrimi öncesinde ve/veya 20. yüzyılın ilk yarısındaki iklim özelliklerinin belirlenmesinde; bunların değişkenlikleri, değişimleri ve eğilimlerinin ortaya konulmasında, antropojen iklim değişikliğinin anlaşılmasında ve gelecekteki iklim değişikliğinin değerlendirilmesinde önem taşımaktadır.

Bu bağlamda, bu çalışmada Türkiye'nin en uzun aletsel ve sistematik meteoroloji/klimatoloji ölçümlerine sahip olan (110 yıllık) Kandilli Rasathanesi'nin ekstrem hava sıcaklıklarında meydana gelen değişim ve eğilimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. VERİ VE YÖNTEM

Çalışmada, Türkiye'nin en uzun meteorolojik/klimatolojik rasatlarına sahip olan Kandilli (İstanbul) Rasathanesi'nin 1912-2021 rasat süresindeki günlük minimum ve maksimum hava sıcaklığı gözlemleri kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1- Çalışmada gözlemlerinden yararlanılan Kandilli Rasathanesi'nin özellikleri.

Table 1- The characteristics of the Kandilli Observatory.

| İstasyon Adı | Enlem | Boylam | Rasat Dönemi | Kaynak |
|----------------------|-----------|-----------|--------------|--|
| Kandilli Rasathanesi | 41° 05' K | 29° 03' D | 1912-2021 | Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve D.A.E Meteoroloji Laboratuvarı |

Meteoroloji/klimatoloji gözlemlerinin homojenliğini/türdeşliğini denetlemek ve zaman dizilerinde kırılmalar varsa bunları tespit etmek amacıyla Pettitt (Pettitt, 1979), SNHT (Standard Normal Homogeneity Test) (Alexandersson, 1986) ve Buishand (Buishand, 1982) homojenlik testlerinden yararlanılmıştır. Çalışmada, homojenlik testleri, günlük hava sıcaklığı gözlemlerinden hesaplanmış olan yıllık ortalama hava sıcaklığı dizilerine uygulanmıştır. Testlerde sıcaklık dizileri 0.05 (α) anlamlılık düzeyinde kontrol edilmiştir. Homojenlik test sonuçları, maksimum ve minimum hava sıcaklığı dizilerinin 0.05 anlamlılık düzeyinde ($p < 0.05$) homojen olmadığını göstermiştir. Başka bir deyişle test sonuçlarına göre hava sıcaklıklarının zaman dizilerinde belirli tarihlerde kırılmalar vardır. Bu kırılmalar maksimum hava sıcaklığında 1954 yılında; minimum hava sıcaklığında ise Pettitt testine göre 1993 yılında, SNHT ile Buishand testine göre ise 1997 yılındadır (Tablo 2).

Ekstrem sıcaklık indislerinin hesaplanmasında, ETCCDMI tarafından önerilen 14 ekstrem sıcaklık indisi kullanılmıştır. İndisler çalışmada (i) persantil (yüzdeler) tabanlı indisler, (ii) mutlak (rekor) sıcaklık indisleri, (iii) eşik değerine sahip indisler ve (iv) süre (uzunluk) tabanlı indisler olmak üzere 4 farklı gruba ayrılarak

incelenmiştir (Tablo 3). Ekstrem sıcaklık indislerinden don olaylı günler su yılına (1 Ekim-30 Eylül) göre; diğer indisler ise bir yıla göre hesaplanmıştır.

Tablo 2- Kandilli Rasathanesi'nin 1912-2021 rasat dönemi içindeki yıllık ortalama sıcaklık dizilerinin homojenlik test istatistikleri.

Table 2- The homogeneity test statistics of the annual mean air temperature series within the observation period of 1912-2021 by the Kandilli Observatory.

| Homojenlik Testleri | Maksimum Hava Sıcaklıkları | | | Minimum Hava Sıcaklıkları | | |
|---------------------|----------------------------|--------------------|----------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|
| | Test İstatistikleri | Kırılma Tarihi (t) | p-değeri (İki Yanlı) | Test İstatistikleri | Kırılma Tarihi (t) | p-değeri (İki Yanlı) |
| Pettitt Testi | 1965 (K) | 1954 | < 0.0001 | 1910 (K) | 1993 | < 0.0001 |
| SNHT Testi | 36.32 (T0) | 1954 | < 0.0001 | 60.40 (T0) | 1997 | < 0.0001 |
| Buishand testi | 30.98 (Q) | 1954 | < 0.0001 | 30.82 (Q) | 1997 | < 0.0001 |

İndisler, ETCCDMI tarafından R diliyle yazılmış RCLimDEX yazılımına dayanan ClimPACT2 paketi ile hesaplanmıştır (<https://github.com/ARCCSS-extremes/climpact2>; Alexander ve Herold 2016). Pakette aynı zamanda meteoroloji/klimatoloji gözlemlerinin kalite kontrolü de yapılmıştır (Zhang ve Yang, 2004). R dili, kaynak kodu biçiminde Özgür Yazılım Vakfı'nın (FSF) GNU Genel Kamu Lisansı (GNU GPL) şartlarına göre ücretsiz olarak kullanılabilir (https://www.r-project.org/).

Tablo 3- Çalışmada yararlanılan ekstrem sıcaklık indisleri ve tanımlamaları.

Table 3- Extreme temperature indices and definitions used in the study.

| | İndis | İndis Adı | Tanımlama | Birim |
|---------------------------------------|-------|---------------------------------|--|-------|
| Persantil (Yüzdeler) Tabanlı İndisler | TX90p | Sıcak Gün Sayıları | Tmax > 90. Persantil Olduğu Günler | Gün |
| | TX10p | Soğuk Gün Sayıları | Tmax < 10. Persantil Olduğu Günler | Gün |
| | TN90p | Sıcak Gece Sayıları | Tmin > 90. Persantil Olduğu Günler | Gün |
| | TN10p | Soğuk Gece Sayıları | Tmin < 10. Persantil Olduğu Günler | Gün |
| Mutlak (Rekor) Sıcaklık İndisleri | TXx | En Yüksek Gündüz Hava Sıcaklığı | Maksimum Hava Sıcaklığının Maksimum Değeri | °C |
| | TXn | En Düşük Gündüz Hava Sıcaklığı | Maksimum Hava Sıcaklığının Minimum Değeri | °C |
| | TNx | En Yüksek Gece Hava Sıcaklığı | Minimum Hava Sıcaklığının Maksimum Değeri | °C |
| | TNn | En Düşük Gece Hava Sıcaklığı | Minimum Hava Sıcaklığının Minimum Değeri | °C |
| Eşit Değerine Sahip İndisler | FD | Don Olaylı Gün Sayıları | Tmin < 0 °C | Gün |
| | ID | Buzlu Gün Sayıları | Tmax < 0 °C | Gün |
| | SU | Yaz Günü Sayıları | Tmax > 25 °C | Gün |
| | TR | Tropikal Gece Sayıları | Tmin > 20 °C | Gün |
| Süre (Uzunluk) Tabanlı İndisler | WSDI | Sıcak Dönem Süresi | Tmax > 90. Persantil Olduğu En Az 6 Ardışık Gün Sayısı | Gün |
| | CSDI | Soğuk Dönem Süresi | Tmin < 10. Persantil Olduğu En Az 6 Ardışık Gün Sayısı | Gün |

Ekstrem sıcaklık indislerinde olası eğilimleri belirlemede ve eğilimlerin istatistiksel olarak anlamlılığını denetlemede klimatoloji çalışmalarında yaygın olarak kullanılan parametrik olmayan Mann-Kendall (M-K) sıra

ilişki katsayısı testi kullanılmıştır (Sneyers, 1990; Türkeş, 2013). Eğilimlerin büyüklüğünü belirlemek için de parametrik olmayan Sen'in Eğim Tahmin (Sen's Slope Estimation) yönteminden (Sen, 1968) yararlanılmıştır. Ekstrem sıcaklık indislerinin yıllık standardize anomalileri 1981-2010 referans döneminin ortalaması ve standart sapmasına göre oluşturulmuştur. Yıllık standardize anomalilerde uzun süreli dalgalanmaları incelemek amacıyla düşük geçirimli filtre (süzgeç) olarak 9 noktalı Gauss süzgecinden yararlanılmıştır (WMO, 1966; Türkeş vd., 1995). Ayrıca indislerin yıllık zaman dizileri üç alt dönemde histogramlar aracılığıyla incelenmiştir: 1912-1950 (39 yıllık dönem), 1951-1985 (35 yıllık dönem) ve 1986-2021 (36 yıllık dönem). Histogramların sınıf aralıkları anomali değerlerine göre oluşturulmuştur. 20. yüzyılın ilk yarısında meydana gelen değişim ve eğilimleri belirlemek amacıyla ilk dönem 1912-1950 yılı olarak belirlenmiştir. Diğer dönemler ise dönemler arasında karşılaştırma yapabilmek adına iklimin 35 yıllık ortalama özelliği de dikkate alınarak eşit bir şekilde ayrılmıştır.

2. BULGULAR

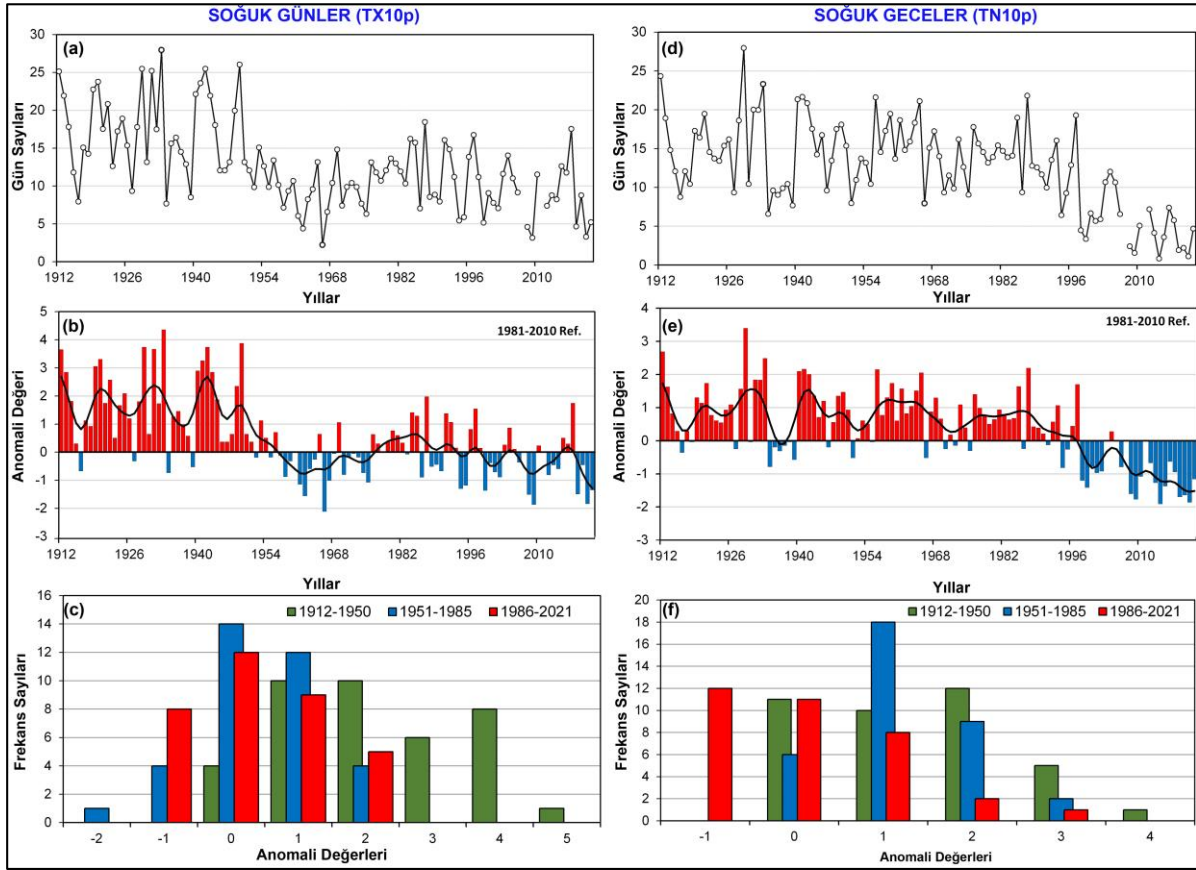
2.1. Persantil (yüzdeler) tabanlı indisler

Kandilli Rasathanesi'nde 1912-2021 döneminde soğuk gün, sıcak gün, soğuk gece ve sıcak gece sayılarının zaman dizilerinde yıllar arasında değişkenlikler görülmekle birlikte artma ve azalma eğilimleri saptanmıştır (Şekil 1; Şekil 2 ve Tablo 4). Genel olarak eğilimler soğuk gün ve gece sayılarında azalma, sıcak gün ve gece sayılarında ise artma şeklinde olmuştur. Soğuk gün ve gece sayılarında gözlenen azalma eğilimi, sıcak gün ve gece sayılarındaki artma eğiliminden daha hızlı ve belirgindir.

M-K test sonuçlarına göre “soğuk gün sayıları” incelendiğinde; 1912-2021 yıllarını kapsayan 110 yıllık dönemde soğuk gün sayılarının her 10 yılda -0.96 gün olmak üzere 0.001 (α) anlamlılık düzeyinde azalma eğilimi gösterdiği görülmüştür (Tablo 4). 1981-2010 referans dönemine göre standardize edilen anomaliler, soğuk gün sayısı açısından en yüksek pozitif anomali değerinin +4.36 değeriyle 1933 yılında; en düşük negatif anomali değerinin ise -2.11 değeriyle 1966 yılında olduğu göstermiştir (Şekil 1b). Anomalilere göre oluşturulan histogramlar incelendiğinde; 1912-1950 döneminde frekansların çoğunlukla $+1 \geq$ anomali değerlerinde yer aldığı, 1951-1985 ve 1986-2021 dönemlerinde ise frekansların $+1 \leq$ anomali değerlerinde toplandığı ve hatta negatif değerlere doğru kaydığı gözlenmiştir (Şekil 1c). Bu bulgular soğuk gün sayılarının ilk döneme göre ikinci ve üçüncü dönemde önemli ölçüde azaldığını göstermektedir.

M-K test sonuçlarına göre “soğuk gece sayıları” incelendiğinde; 1912-2021 yıllarını kapsayan 110 yıllık dönemde soğuk gece sayılarının her 10 yılda -1.04 gün olmak üzere 0.001 anlamlılık düzeyinde azaldığı görülmüştür (Tablo 4). 1981-2010 referans dönemine göre standardize edilen anomalilere bakıldığında; soğuk gece sayısı açısından en yüksek pozitif anomali değeri 1929 yılında (+3.29); en düşük negatif anomali değeri ise 2014 yılında (-1.91) gözlenmiştir (Şekil 1e). Diğer taraftan 1997 yılından sonra anomaliler bir yıl hariç (2003) sürekli negatif değerler göstermiştir (Şekil 1e). Bu durum soğuk gece sayıları açısından 1997 yılının bir kırılma yılı olduğunu göstermektedir. Anomalilere oluşturulan histogramlar incelendiğinde; 1912-1950 döneminde en yüksek frekansın +2 anomali değerinde gözlemlendiği ancak 1951-1985 döneminde anomali değerlerinin +1, 1986-2021 döneminde ise -1 değerlerine doğru kaydığı görülmüştür (Şekil 1f). Bu bulgular, soğuk gece sayılarının ilk döneme göre ikinci ve üçüncü dönemde giderek azaldığını ortaya koymaktadır.

M-K test sonuçlarına göre “sıcak gün sayıları” incelendiğinde; 1912-2021 yıllarını kapsayan 110 yıllık dönemde sıcak gün sayılarının her 10 yılda +0.44 gün olmak üzere 0.001 anlamlılık düzeyinde artış eğilimi gösterdiği görülmüştür (Tablo 4). 1981-2010 referans dönemine göre standardize edilmiş anomaliler incelendiğinde, sıcak gün sayısı açısından en yüksek pozitif anomali değeri +3.11 değeriyle 1960 yılında; en düşük negatif anomali değeri ise -2.14 değeriyle 1924 yılında görülmüştür (Şekil 2b). Anomalilere göre oluşturulan histogramlara bakıldığında; 1912-1950 döneminde en yüksek frekans negatif anomali değerinde (-1) görülürken, 1951-1985 ve 1986-2021 dönemlerinde ise en yüksek frekanslar pozitif anomali değerlerinde ($0 \geq$) görülmüştür (Şekil 2c). Bu bulgular; zaman içinde sıcak gün sayılarının değiştiğini ve özellikle de bu değişimin 1950 yılından itibaren gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 1- Soğuk gün (solda) ve gece (sağda) sayılarındaki yıllar arası değişimler (a-d), anomalilerin uzun süreli dalgalanmaları ve yıllar arası değişimleri (b-e) ve 1912-1950, 1951-1985, 1986-2021 dönemlerine ait histogramlar (c-f). Anomaliler 1981-2010 referans dönemine göre hesaplanmış ve histogramların sınıf aralıkları anomali değerlerine göre düzenlenmiştir.

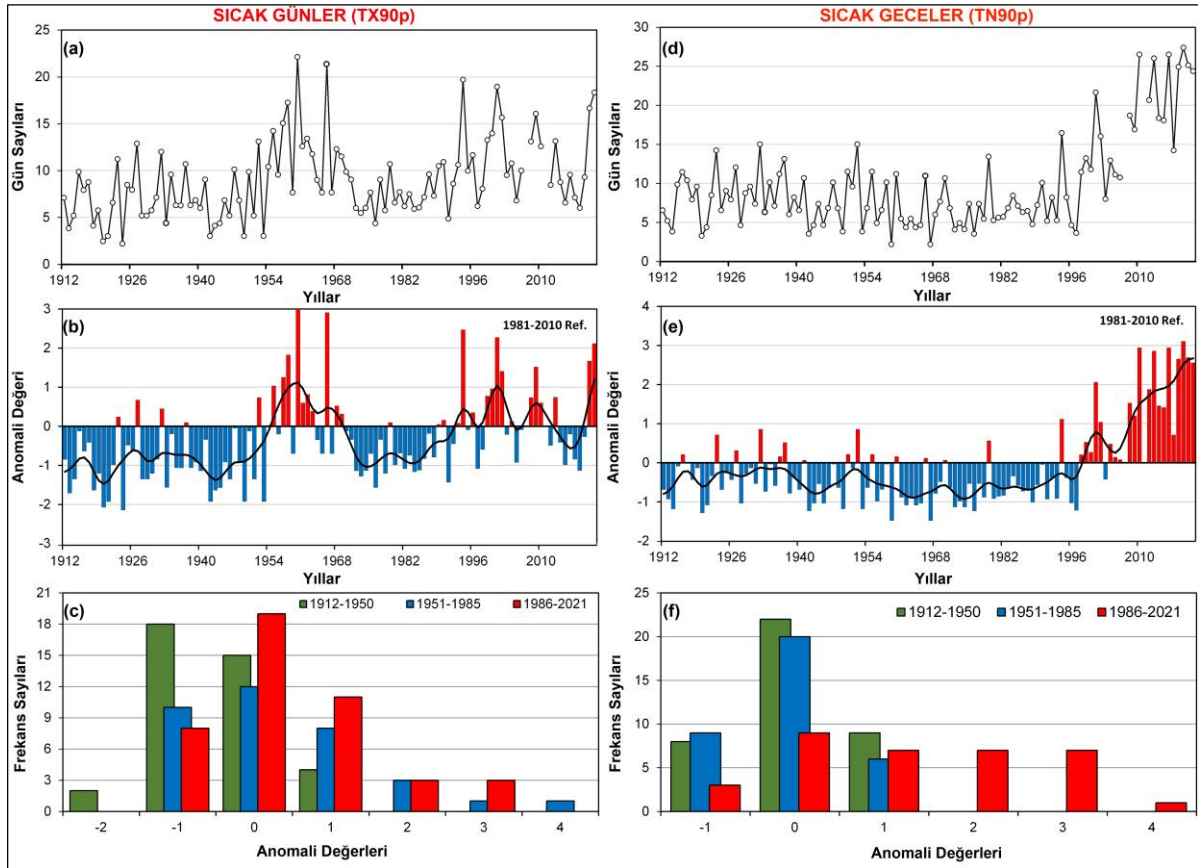
Figure 1- The annual variations of cold days (left) and cold nights (right) (a-d), their long-term fluctuations and annual variations (b-e), and the comparison of histograms for the periods of 1912-1950, 1951-1985, and 1986-2021 (c-f). Anomalies calculated based on 1981-2010 reference period and class ranges of the histograms are arranged according to the anomaly values.

Tablo 4- Ekstrem sıcaklık indislerinde M-K testi ile belirlenen trend analizinin ve Sen'in Eğim Tahmini'nin test istatistikleri (İstatistiksel olarak anlamlılık düzeyi 0.001 olanlar ***, 0.01 olanlar **, 0.05 olanlar * işaretleri ile gösterilmiştir).

Table 4- Test statistics of the trend analysis determined by the M-K test and Sen's Slope Estimation for extreme temperature indices (statistically significant trends are shown as *** at 0.001, ** at 0.01, * at 0.05).

| Persantil Tabanlı İndisler | z değeri | Sen's Slope (gün/on yıl) | Eşik Değerine Sahip İndisler | z değeri | Sen's Slope (gün/on yıl) |
|-----------------------------------|----------|--------------------------|---------------------------------|----------|--------------------------|
| TX10p *** | -5.72 | -0.96 | FD ** | -2.70 | -0.93 |
| TN10p *** | -5.71 | -1.04 | ID | -1.63 | 0.00 |
| TX90p *** | 4.01 | 0.44 | SU *** | 6.03 | 3.13 |
| TN90p *** | 3.67 | 0.58 | TR *** | 6.31 | 3.23 |
| Mutlak (Rekor) Sıcaklık İndisleri | z değeri | Sen's Slope (°C/on yıl) | Süre (Uzunluk) Tabanlı İndisler | z değeri | Sen's Slope (gün/on yıl) |
| TXn | 1.73 | 0.10 | WSDI | 1.93 | 0 |
| TNn ** | 2.74 | 0.18 | CSDI *** | -5.79 | -1.37 |
| TXx | 0.60 | 0.05 | | | |
| TNx *** | 3.61 | 0.14 | | | |

M-K test sonuçlarına göre “sıcak gece sayıları” incelendiğinde, 1912-2021 yıllarını kapsayan 110 yıllık dönemde sıcak gece sayılarının her 10 yılda +0.58 gün olmak üzere artış eğilimi gösterdiği görülmüştür (Tablo 4). 1981-2010 referans dönemine göre standardize edilen anomalilere bakıldığında; sıcak gece sayıları açısından en yüksek pozitif anomali +3.11 değeriyle 2019 yılında, en düşük negatif anomaliye -1.48 değeriyle 1959 ve 1967 yıllarında görülmüştür (Şekil 2e). Diğer taraftan 1997 yılından sonra anomaliler bir yıl hariç (2003) sürekli pozitif değerler göstermiştir (Şekil 1e). Bu durum sıcak gece sayıları açısından 1997 yılının bir kırılma yılı olduğunu göstermektedir. Anomalilere göre oluşturulan histogramlar incelendiğinde, 1912-1950 ve 1951-1985 dönemlerinde $0 \leq$ anomali değerlerine denk gelen frekansların toplamalarının sırasıyla 30 ve 29 olduğu görülmüş, üçüncü dönemdeyse bu toplam 12’ye düşmüştür. Bunun yanında ilk iki dönemde $+2 \geq$ anomali değerlerinde herhangi bir frekans görülmezken, üçüncü dönemde bu değerlere denk gelen frekansların toplamı 15 olmuştur (Şekil 2f). Bu durum; sıcak gece sayılarının ilk iki döneme göre 1986-2021 döneminde belirgin bir şekilde arttığını göstermektedir. Bu artışın asıl nedeninin 1997 yılı sonrasında gözlenen kuvvetli pozitif anomaliler olduğu söylemek mümkündür.



Şekil 2- Sıcak gün (solda) ve gece (sağda) sayılarındaki yıllar arası değişimler (a-d), anomalilerin uzun süreli dalgalanmaları ve yıllar arası değişimleri (b-e) ve 1912-1950, 1951-1985, 1986-2021 dönemlerine ait histogramlar (c-f). Anomaliler 1981-2010 referans dönemine göre hesaplanmış ve histogramların sınıf aralıkları anomali değerlerine göre düzenlenmiştir.

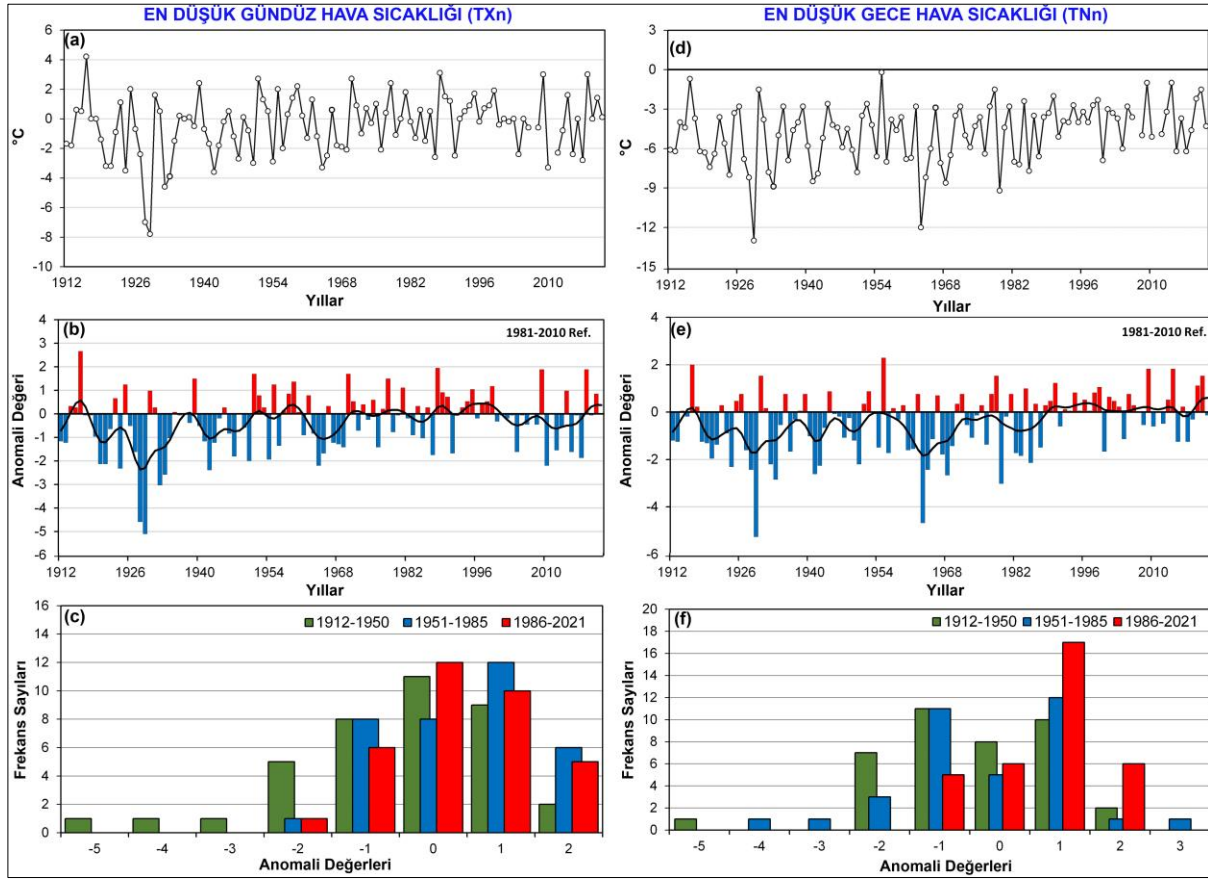
Figure 2- The annual variations of warm days (left) and warm nights (right) (a-d), their long-term fluctuations and annual variations (b-e), and the comparison of histograms for the periods of 1912-1950, 1951-1985, and 1986-2021 (c-f). Anomalies calculated based on 1981-2010 reference period and class ranges of the histograms are arranged according to the anomaly values.

3.2. Mutlak (rekor) sıcaklık indisleri

Kandilli Rasathanesi'nde 1912-2021 döneminde en düşük gündüz, en düşük gece (mutlak minimum hava sıcaklığı), en yüksek gündüz (mutlak maksimum hava sıcaklığı) ve en yüksek gece hava sıcaklıklarının zaman

dizilerinde, yıllar arası değişkenlikler görülmekle birlikte, artma eğilimleri belirlenmiştir (Şekil 3; Şekil 4 ve Tablo 4). Rekor minimumlarda gözlenen artış eğilimleri, rekor maksimumlarda gözlenen azalma eğilimlerinden daha belirgin ve anlamlı olmuştur (Tablo 4).

M-K test sonuçlarına göre “en düşük gündüz hava sıcaklıkları” incelendiğinde; 1912-2021 rasat dönemini kapsayan 110 yıllık dönemde, en düşük gündüz hava sıcaklıklarının istatistiksel olarak anlamlı olmasa da her 10 yılda +0.10 °C olmak üzere artış eğilimi gösterdiği görülmüştür (Tablo 4). 1981-2010 referans dönemine göre standardize edilen anomalilere bakıldığında; 110 yıllık dönemde en düşük gündüz hava sıcaklığının -5.10 anomali değeriyle 1929 yılında olduğu gözlenmiştir. (-7.8 °C - 08/02/1929) (Şekil 3b). Anomalilere göre oluşturulan histogramlar incelendiğinde; 1912-1950 döneminde 1951-1985 ve 1986-2021 dönemlerine göre en düşük gündüz hava sıcaklıklarının daha fazla negatif anomali değerleri gösterdiği görülmüştür. Nitekim bu dönemlerde $0 \leq$ anomali değerine denk gelen frekansların toplamı sırasıyla 27, 17 ve 19’ken; $0 >$ anomali değerlerindeki frekans toplamı ise sırasıyla 11, 18 ve 15’tir. Bu bulgular en düşük gündüz hava sıcaklıklarının 1950 yılı sonrasında arttığını göstermektedir. Diğer taraftan 1912-1950 döneminin diğer dönemlere göre daha soğuk olduğunu ortaya koymaktadır.

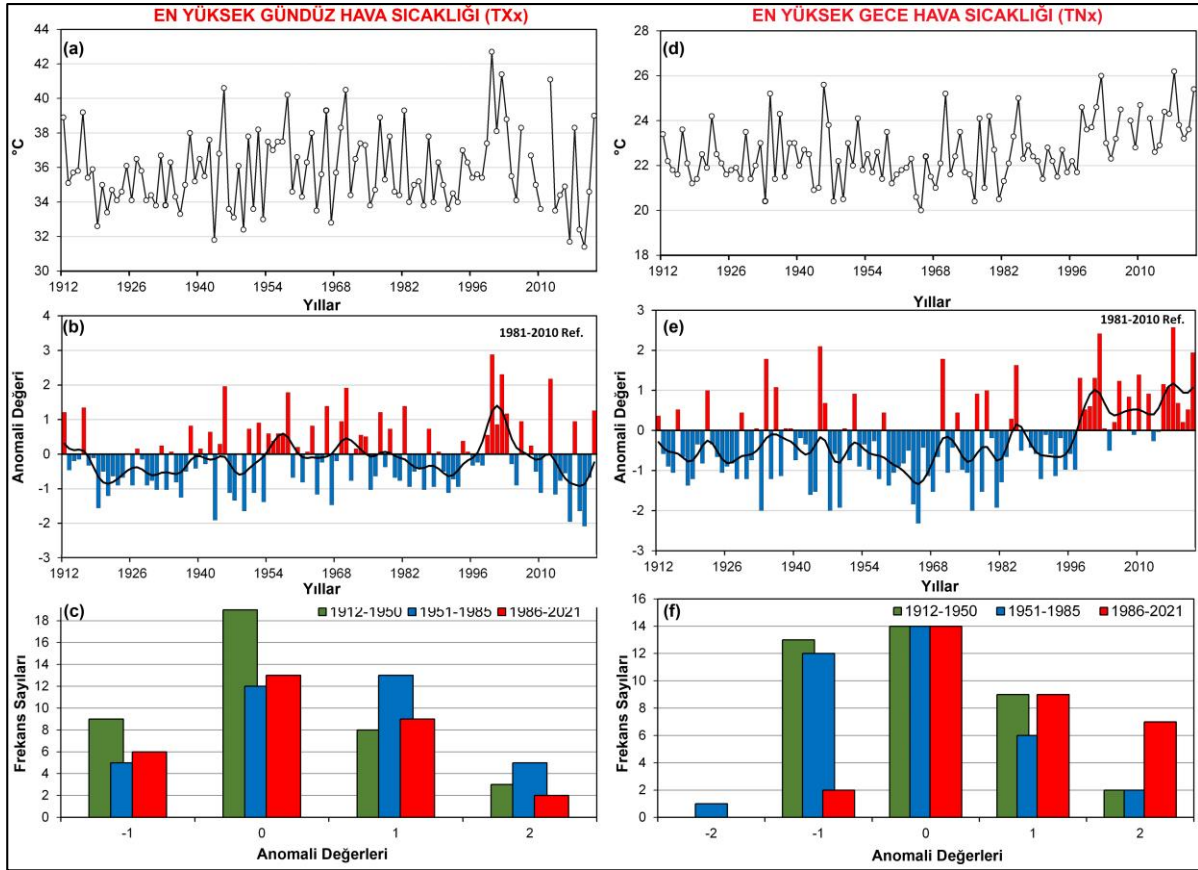


Şekil 3- En düşük gündüz hava sıcaklığı (solda) ve en düşük gece hava sıcaklığındaki (sağda) yıllar arası değişimler (a-d), anomalilerin uzun süreli dalgalanmaları ve yıllar arası değişimleri (b-e) ve 1912-1950, 1951-1985, 1986-2021 dönemlerine ait histogramlar (c-f). Anomaliler 1981-2010 referans dönemine göre hesaplanmış ve histogramların sınıf aralıkları anomali değerlerine göre düzenlenmiştir.

Figure 3- The annual variations of lowest (minimum) daytime air temperature (left) and lowest night air temperature (right) (a-d), their long-term fluctuations and annual variations (b-e), and the comparison of histograms for the periods of 1912-1950, 1951-1985, and 1986-2021 (c-f). Anomalies calculated based on 1981-2010 reference period and class ranges of the histograms are arranged according to the anomaly values.

M-K test sonuçlarına göre “en düşük gece hava sıcaklıkları (mutlak minimum hava sıcaklığı)” incelendiğinde, 1912-2021 yıllarını kapsayan 110 yıllık dönemde, en düşük gece hava sıcaklıkları 0.01 anlamlılık düzeyinde her 10 yılda +0.18 °C olmak üzere artış eğilimi göstermiştir (Tablo 4). 1981-2010 referans dönemine göre standardize edilen anomaliler incelendiğinde; 110 yıllık dönemde en düşük gece hava sıcaklığı -5.27 anomali değeri ile 1929 yılındadır (-13 °C - 09/02/1929) (Şekil 3e). Anomalilere göre oluşturulan histogramlar incelendiğinde, $0 \leq$ anomali değerlerine denk gelen frekansların toplamalarının her dönemde bir önceki döneme göre azaldığı gözlenmiştir (sırasıyla $\sum f$: 27, 21, 11). $0 >$ anomali değerlerindeki frekans toplamaları ise her dönemde bir önceki döneme göre artmıştır (sırasıyla $\sum f$: 12, 14, 23) (Şekil 3f). Bu bulgular, en düşük gece hava sıcaklıklarının zaman içinde arttığını ortaya koymaktadır.

M-K test sonuçlarına göre “en yüksek gündüz hava sıcaklıkları (mutlak maksimum hava sıcaklığı)” incelendiğinde, 1912-2021 yıllarını kapsayan 110 yıllık dönemde, en yüksek gündüz hava sıcaklıklarında anlamlı bir artış eğilimi görülmemiştir (Tablo 4). 1981-2010 referans dönemine göre standardize edilen anomaliler incelendiğinde; 110 yıllık dönemde en yüksek gündüz hava sıcaklığı +2.88 anomali değeri ile 2000 yılındadır (42.7 °C - 13/07/2000) (Şekil 4b). Anomalilere göre oluşturulan histogramlar incelendiğinde; dönemler arasında belirgin farklılıkların olmadığı gözlenmiştir. Yalnızca 1912-1950 döneminde diğer dönemlere göre negatif anomali değerlerine sahip yılların sayıca daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 4c).



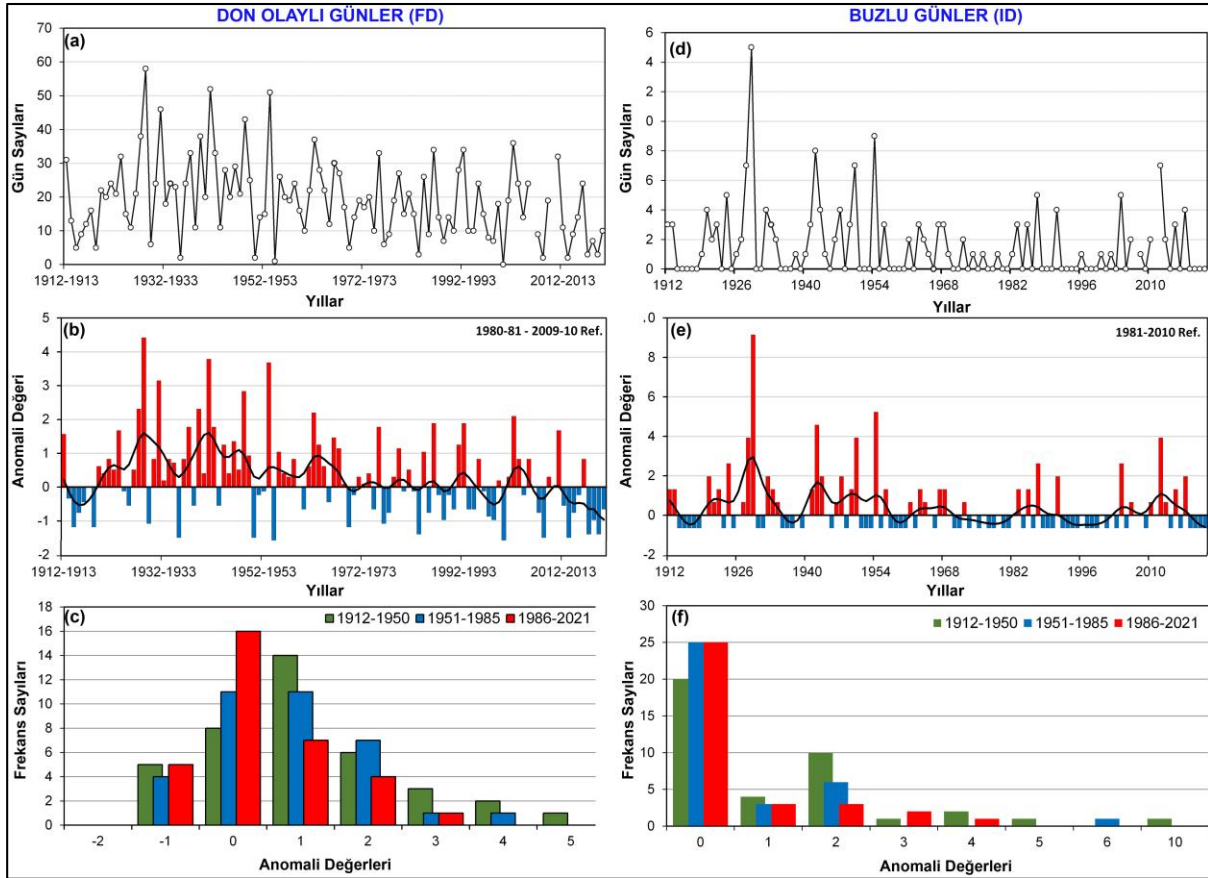
Şekil 4- En yüksek gündüz hava sıcaklığı (solda) ve en yüksek gece hava sıcaklığındaki (sağda) yıllar arası değişimler (a-d), anomalilerin uzun süreli dalgalanmaları ve yıllar arası değişimleri (b-e) ve 1912-1950, 1951-1985, 1986-2021 dönemlerine ait histogramlar (c-f). Anomaliler 1981-2010 referans dönemine göre hesaplanmış ve histogramların sınıf aralıkları anomali değerlerine göre düzenlenmiştir.

Figure 4- The annual variations of highest (maximum) daytime air temperature (left) and highest night air temperature (right) (a-d), their long-term fluctuations and annual variations (b-e), and the comparison of histograms for the periods of 1912-1950, 1951-1985, and 1986-2021 (c-f). Anomalies calculated based on 1981-2010 reference period and class ranges of the histograms are arranged according to the anomaly values.

M-K test sonuçlarına göre “en yüksek gece hava sıcaklıkları” incelendiğinde, 1912-2021 yıllarını kapsayan 110 yıllık dönemde, en yüksek gece hava sıcaklıkları 0.001 anlamlılık düzeyinde her 10 yılda + 0.14 °C olmak üzere artış eğilimi göstermiştir (Tablo 4). 1981-2010 referans dönemine göre standardize edilen anomaliler incelendiğinde; 110 yıllık dönemde en yüksek gece hava sıcaklığı +2.57 anomali değeri ile 2017 yılına aittir (26.2 °C - 01/07/2017) (Şekil 4e). Anomalilere göre oluşturulan histogramlar incelendiğinde; ilk iki dönemde anomalilerin genellikle negatif değerler gösterdiği; üçüncü dönemde ise bu değerlerin pozitif yöne doğru kaydığı gözlenmiştir. Özellikle de üçüncü dönemde 1997 yılından sonra birkaç yıl hariç (2004, 2009 ve 2013) anomali değerleri sürekli pozitif değerler göstermiştir (Şekil 4f). Bu bulgular, en yüksek gece hava sıcaklıklarının ilk iki döneme göre üçüncü dönemde arttığını ortaya koymaktadır. Bu artışın asıl nedeninin 1997 yılı sonrasında gözlenen kuvvetli pozitif anomali değerleriyle ilgili olduğunu söylemek mümkündür.

3.3. Eşik değerine sahip indisler

Kandilli Rasathanesi’nde 1912-2021 rasat dönemi içinde don olaylı ve buzlu gün sayılarında azalma eğilimleri; yaz günü ve tropikal gece sayılarında ise artış eğilimleri görülmüştür (Şekil 5, Şekil 6 ve Tablo 4). Yaz günü ve tropikal gece sayılarında gözlenen artış eğilimleri, don olaylı gün ve buzlu gün sayılarının azalma eğilimlerinden daha belirgin ve istatistiksel olarak daha anlamlıdır (Tablo 4).

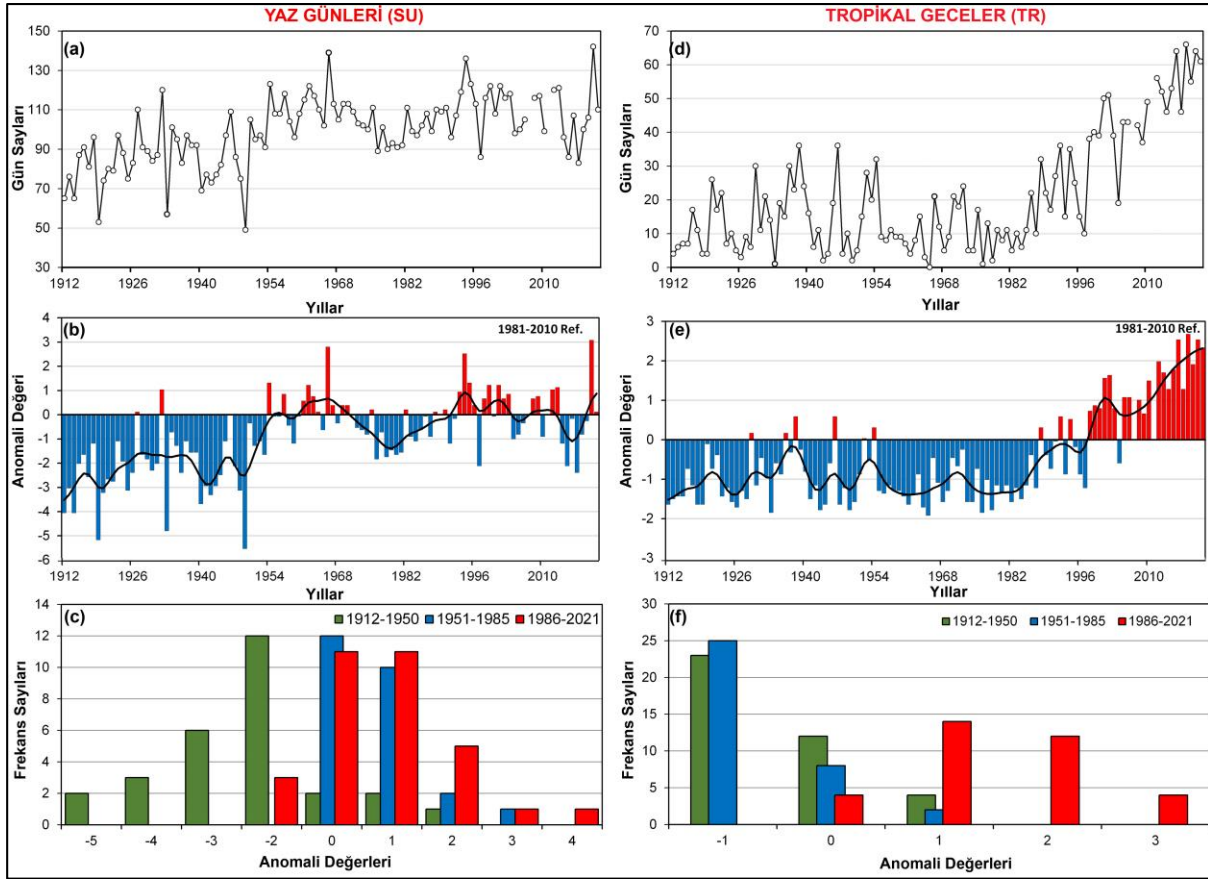


Şekil 5- Don olaylı (solda) ve buzlu gün (sağda) sayılarındaki yıllar arası değişimler (a-d), anomalilerin uzun süreli dalgalanmaları ve yıllar arası değişimleri (b-e) ve 1912-1950, 1951-1985, 1986-2021 dönemlerine ait histogramlar (c-f). Anomaliler 1981-2010 referans dönemine göre hesaplanmış ve histogramların sınıf aralıkları anomali değerlerine göre düzenlenmiştir.

Figure 5- The annual variations of frost days (left) and icing days (right) (a-d), their long-term fluctuations and annual variations (b-e), and the comparison of histograms for the periods of 1912-1950, 1951-1985, and 1986-2021 (c-f). Anomalies calculated based on 1981-2010 reference period and class ranges of the histograms are arranged according to the anomaly values.

M-K test sonuçlarına göre “don olaylı gün sayıları” incelendiğinde, 1912-2021 dönemini kapsayan 109 yıllık dönemde (su yılına göre) don olaylı gün sayıları 0.01 anlamlılık düzeyinde her 10 yılda -0.93 gün olmak üzere azalma eğilimi göstermiştir (Tablo 4). 1980-1981 ve 2009-2010 referans dönemine göre standardize edilen anomaliler incelendiğinde; en fazla don olaylı gün sayısı +4.42 değeri ile 1928-1929 yılındadır (Σ : 58 gün) (Şekil 5b). Anomalilere göre oluşturulan histogramlar incelendiğinde; 1912-1950 döneminde don olaylı gün sayıları 1951-1985 ve 1986-2021 dönemlerine göre daha fazla kuvvetli pozitif anomali değerleri göstermiştir. Nitekim ilk dönemde $+3 \geq$ anomali değerlerine sahip frekansların toplamı 6'ken, ikinci dönemde bu değer 2, üçüncü dönemde ise 1'dir. Diğer taraftan $0 >$ anomali değerlerine sahip frekansların toplamı incelendiğinde de bunlar sırasıyla 26, 20 ve 12'dir. Bu durum don olaylı gün sayılarının ilk döneme göre ikinci ve üçüncü dönemde azaldığını ortaya koymaktadır.

M-K test sonuçlarına göre “buzlu gün sayıları” incelendiğinde, 1912-2021 dönemini kapsayan 110 yıllık dönemde buzlu gün sayıları anlamlı olmasa da azalma eğilimi göstermiştir (Tablo 4). 1981-2010 referans dönemine göre standardize edilen anomalilere bakıldığında; buzlu gün sayıları açısından en yüksek pozitif anomali değeri +9.14 değeriyle 1929 yılındadır (Σ : 15 gün) (Şekil 5e). Anomalilere göre oluşturulan histogramlar incelendiğinde; dönemler arasında belirgin farklılıkların olmadığı gözlenmiştir. Yalnızca 1912-1950 döneminde diğer dönemlere göre negatif anomali değerlerine sahip yılların sayıca daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 5f).



Şekil 6- Yaz günü (solda) ve tropikal gece (sağda) sayılarındaki yıllar arası değişimler (a-d), anomalilerin uzun süreli dalgalanmaları ve yıllar arası değişimleri (b-e) ve 1912-1950, 1951-1985, 1986-2021 dönemlerine ait histogramlar (c-f). Anomaliler 1981-2010 referans dönemine göre hesaplanmış ve histogramların sınıf aralıkları anomali değerlerine göre düzenlenmiştir.

Figure 6- The annual variations of summer days (left) and tropical nights (right) (a-d), their long-term fluctuations and annual variations (b-e), and the comparison of histograms for the periods of 1912-1950, 1951-1985, and 1986-2021 (c-f). Anomalies calculated based on 1981-2010 reference period and class ranges of the histograms are arranged according to the anomaly values.

M-K test sonuçlarına göre “**yaz günü sayıları**” incelendiğinde, 1912-2021 dönemini kapsayan 110 yıllık dönemde yaz günü sayıları 0.001 anlamlılık düzeyinde her 10 yılda +3.13 gün olmak üzere artış eğilimi göstermiştir (Tablo 4). 1981-2010 referans dönemine göre standardize edilen anomaliler incelendiğinde; 110 yıllık dönem içinde yaz günü sayısı açısından en yüksek pozitif anomali değeri +3.07 değeriyle 2020 yılındadır (Σ : 142 gün) (Şekil 6b). Anomalilere göre oluşturulan histogramlara bakıldığında, ilk dönemde en yüksek frekansın -2 anomali değerinde gözleendiği, ikinci ve üçüncü dönemde bunların 0 ve +1 anomali değerlerine doğru kaydığı görülmüştür. Öte yandan $0 >$ anomali değerlerine sahip frekans toplamlarının dönemler arasında zaman için arttığı (sırasıyla Σ f: 3, 13, 18); $0 <$ anomali değerlerine sahip frekans toplamlarının ise azaldığı gözlenmiştir (sırasıyla Σ f: 29, 10, 5) (Şekil 6c). Bu durum yaz günü sayılarının zaman içinde artış gösterdiğini ortaya koymaktadır.

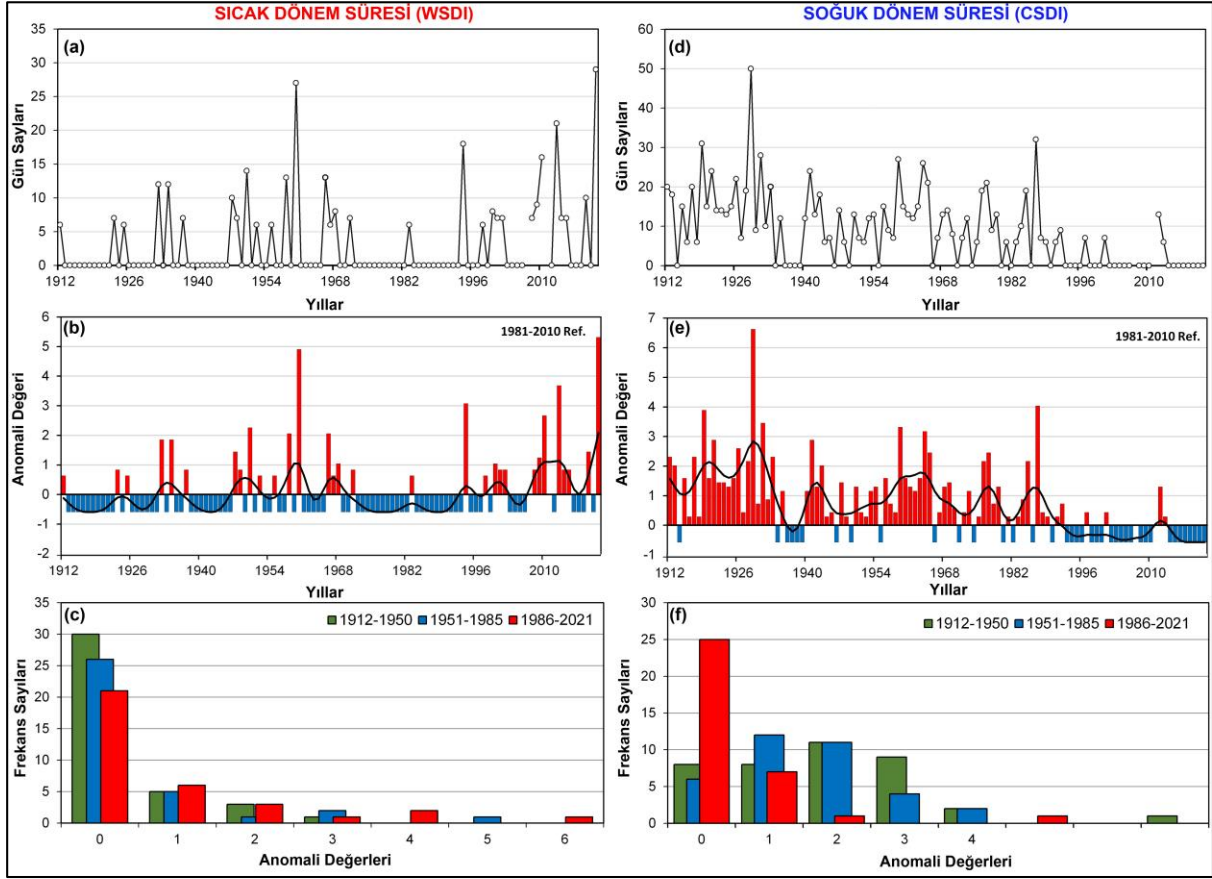
M-K test sonuçlarına göre “**tropikal gece sayıları**” incelendiğinde, 1912-2021 dönemini kapsayan 110 yıllık dönemde tropikal gece sayıları 0.001 anlamlılık düzeyinde her 10 yılda +3.23 gün olmak üzere artış eğilimi göstermiştir (Tablo 4). 1981-2010 referans dönemine göre standardize edilen anomaliler incelendiğinde; 110 yıllık dönem içinde tropikal gece sayıları açısından en yüksek pozitif anomali değeri +3.07 değeriyle 2018 yılındadır (Σ : 66 gün) (Şekil 6e). Diğer taraftan 1997 yılından sonra anomaliler bir yıl hariç (2003) sürekli pozitif değerler göstermiştir (Şekil 6e). Bu durum sıcak gece sayıları açısından 1997 yılının bir kırılma yılı olduğunu göstermektedir. Anomalilere göre oluşturulan histogramlar incelendiğinde; 1912-1950 ve 1951-1985 dönemlerinde en yüksek frekansa sahip anomali değerinin -1 olduğu, üçüncü dönemde ise en yüksek frekansın +1 anomali değerine doğru kaydığı gözlenmiştir. Bunun yanında ilk iki dönemde $+1 \geq$ anomali değerine denk gelen frekansların toplamları yalnızca 6’ken, üçüncü dönemde bu değer 30’dur (Şekil 6f). Bu durum diğer dönemlere göre 1986-2021 döneminde tropikal gece sayısının arttığını ve özellikle de bu artışın 1997 yılından sonra gerçekleştiğini göstermektedir.

3.4. Süre (uzunluk) tabanlı indisler

Kandilli Rasathanesi’nde 1912-2021 rasat dönemi içinde yıllar arası değişkenlik göstermekle birlikte sıcak dönem süresinde artma; soğuk dönem süresinde ise azalma eğilimleri saptanmıştır (Şekil 7; Tablo 4). Soğuk dönem süresindeki azalma eğilimi, sıcak dönem süresindeki artış eğiliminden daha belirgin ve anlamlı olmuştur.

M-K test sonuçlarına göre “**sıcak dönem süresi**” incelendiğinde, 1912-2021 dönemini kapsayan 110 yıllık dönemde sıcak dönem süresi istatistiksel olarak anlamlı olmasa da artış eğilimi göstermiştir (Tablo 4). 1981-2021 referans dönemine göre standardize edilen anomaliler incelendiğinde, sıcak dönem süresi açısından en yüksek pozitif anomali +5.31 değeri ile 2021 yılıdır (Σ : 29 gün) (Şekil 7b). Anomaliler göre hesaplanan histogramlardan da görülebileceği gibi sıcak dönem süreleri açısından dönemler arasında belirgin farklılıklar görülmemektedir.

M-K test sonuçlarına göre “**soğuk dönem süresi**” incelendiğinde, 1912-2021 dönemini kapsayan 110 yıllık dönemde soğuk dönem süresi 0.001 anlamlılık düzeyinde her 10 yılda -1.37 gün olmak üzere azalma eğilimi göstermiştir (Tablo 4). 1981-2021 referans dönemine göre standardize edilen anomaliler incelendiğinde, soğuk dönem süresi açısından en yüksek pozitif anomali +6.62 değeri ile 1929 yılındadır (Σ : 50 gün) (Şekil 7e). Anomalilere göre oluşturulan histogramlar incelendiğinde; $0 >$ anomali değerine sahip frekansların toplamları ilk iki dönemde sırasıyla 31 ve 29’ken, üçüncü dönemde bu değer 9’dur. Bu bulgular 1986-2021 döneminde diğer dönemlere göre soğuk dönem süresinin azaldığını göstermektedir. Özellikle de 1997 yılı soğuk dönem süreleri açısından kırılma yılı olarak dikkat çekmektedir.



Şekil 7- Sıcak dönem (solda) ve soğuk dönem (sağda) sürelerindeki yıllar arası değişimler (a-d), anomalilerin uzun süreli dalgalanmaları ve yıllar arası değişimleri (b-e) ve 1912-1950, 1951-1985, 1986-2021 dönemlerine ait histogramlar (c-f). Anomaliler 1981-2010 referans dönemine göre hesaplanmış ve histogramların sınıf aralıkları anomali değerlerine göre düzenlenmiştir.

Figure 7- The annual variations of warm spell duration (left) and cold spell duration (right) (a-d), their long-term fluctuations and annual changes (b-e), and the comparison of histograms for the periods of 1912-1950, 1951-1985, and 1986-2021 (c-f). Anomalies calculated based on 1981-2010 reference period and class ranges of the histograms are arranged according to the anomaly values.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye'nin en uzun meteorolojik/klimatolojik gözlemlerine sahip olan Kandilli Rasathanesi'nin 1912-2021 rasat süresindeki günlük maksimum ve minimum hava sıcaklıkları gözlemlerinden yararlanılarak 14 ekstrem sıcaklık indisinin zaman içindeki eğilimi ve değişimi incelenmiştir. Bu indisler soğuk günleri (TX10p), sıcak günleri (TX90p), soğuk geceleri (TN10p), sıcak geceleri (TN90p); en yüksek gündüz hava sıcaklıklarını (TXx), en düşük gece hava sıcaklıklarını (TNn), en yüksek gece hava sıcaklıklarını (TNx) ve en düşük gündüz hava sıcaklıklarını (TXn); don olaylı gün sayısını (FD), buzlu gün sayısını (ID), yaz günü sayısını (SU), tropikal gece sayısını (TR), sıcak dönem süresini (WSDI) ve soğuk dönem süresini (CSDI) içermektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1- M-K test sonuçlarına göre, Kandilli Rasathanesi'nde 1912-2021 yıllarını kapsayan 110 yıllık dönemde sıcak gün, sıcak gece, yaz günü ve tropikal gece sayıları ve sıcak dönem süresi artmış, buna karşılık soğuk gün, soğuk gece, don olaylı gün ve buzlu gün sayıları ve soğuk dönem süresi azalmıştır. Ayrıca tüm rekor hava sıcaklıklarında da artış eğilimi görülmüştür. Bu bulgular; istasyonda rasat süresi boyunca zaman içinde sıcak ekstremlerin sıklığı, süresi ve şiddetinin arttığını, soğuk ekstremlerinse azaldığını göstermektedir. Elde edilen bu bilgiler, hem küresel ölçekte (Donat vd., 2013; Dunn vd., 2020) hem Türkiye'de (Sensoy vd. 2013; Erlat & Türkeş, 2011; Erlat & Türkeş, 2017; Erlat & Güler, 2018) hem de Marmara Bölgesi'nde (Toros & Abbasnia,

2017; Abbasnia & Toros, 2018; Baltacı, 2019; Abbasnia & Toros, 2020) yapılmış olan çalışmaların sıcak gün, sıcak gece, yaz günü ve tropikal gece sayılarının ve sıcak dönem sürelerinin arttığı, soğuk gün, soğuk gece, don olaylı gün ve buzlu gün sayılarının ve soğuk dönem sürelerinin ise azaldığı yönündeki sonuçlarıyla da uyumludur.

2- Kandilli Rasathanesi'nde günlük maksimum hava sıcaklıklardan hesaplanan ekstrem sıcaklık indislerinin (sıcak gün, soğuk gün, yaz günü ve buzlu gün sayıları ve sıcak dönem süresi) 1981-2010 referans dönemine göre standardize edilen anomali dizileri, 1912-1950 yıllarının oldukça soğuk bir dönem olduğunu göstermiştir. Nitekim bu dönem küresel olarak 19. yüzyılın sonlarında gözlenen soğuma döneminin son periyoduna denk gelmektedir (Houghton vd., 2001; Erlat, 2019). 1950 yılı sonrasında ise indislerin anomali dizilerine göre maksimum hava sıcaklıkların farklılaştığı üç dönem tespit edilmiştir. Bunlar, referans dönemine göre maksimum hava sıcaklıklarının daha yüksek olduğu 1951-1970, daha düşük olduğu 1971-1990 ve daha yüksek olduğu 1990-2021 dönemleridir. 1951-1970 ve 1971-1990 dönemleri istasyonun bulunduğu Marmara Bölgesi'nde daha önce Türkeş (1995) ve Kadioğlu (1997) tarafından yapılan çalışmalarda da ortaya konmuştur. Üçüncü dönemin başlangıcı olan 1990 yılından sonra maksimum hava sıcaklıklarının günümüze doğru artış eğilimi gösterdiği sıcak bir döneme geçiş yapılmıştır. Aslında son dönemdeki artış eğilimi 1985'li yıllarda başlamış ancak anomalilerin negatife (pozitif) dönmesi 1990'lı yıllardan itibaren gerçekleşmiştir. Nitekim Türkiye'de ortalamalara göre daha sıcak koşulların egemen olduğu bir döneme geçiş (antropojen iklim değişikliği sinyali) bazı istasyonlarda 1980-1985 yıllarında, bazılarında ise 1990'ların başlarında gerçekleşmiştir (Türkeş, 2012). Bu bağlamda bu geçiş günlük maksimum hava sıcaklıkları açısından Kandilli Rasathanesi'nde 1985'li yıllarda başlamış ancak 1990'lı yıllarda belirginleşmiştir.

3- Kandilli Rasathanesi'nde günlük minimum hava sıcaklığından hesaplanan ekstrem sıcaklık indislerinin (sıcak gece, soğuk gece ve tropikal gece sayıları ve soğuk dönem süresi) 1981-2010 referans dönemine göre standardize edilen anomali dizileri, 1912-1997 yıllarında minimum hava sıcaklıklarının, yıllar arası değişkenlik olmakla birlikte, genel olarak referans dönemi göre daha düşük sıcaklıklara sahip olduğunu göstermektedir. 1997 yılından sonra indislerin anomali dizileri, genellikle referans dönemine göre daha kuvvetli pozitif (negatif) anomali değerleri göstermiştir. Örneğin, soğuk gece sayıları açısından en düşük negatif anomali değeri -1.91 değeriyle 2014 yılında; sıcak gece sayıları açısından en yüksek pozitif anomali değeri ise +3.11 değeriyle 2019 yılında olmuştur. Bu durum, antropojen iklim değişikliği sinyali açısından 1997 yılının daha sıcak koşulların egemen olduğu bir döneme geçiş yılı olduğunu göstermektedir. Nitekim çalışmada yıllık ortalama minimum hava sıcaklığı zaman dizilerinde kırılmaları belirlemek amacıyla yapılmış olan SNHT ve Buishand testine göre de 1997 yılı kırılma yılı olarak tespit edilmiştir. Türkiye'de minimum hava sıcaklıklarından yararlanılarak yapılan çalışmalarda da minimumlardaki belirgin değişimin 1997 yılı sonrasında olduğu vurgulanmaktadır (Erlat & Güler, 2018; Çoruk & Acar, 2022).

4- Kandilli Rasathanesi'nde 1912-2021 rasat döneminde sıcak ekstremlerin sıklığı, şiddeti ve süresinin artması, buna karşılık soğuk ekstremlerinse azalması hem günlük maksimum hava sıcaklıklarının hem de günlük minimumların genel bir ısınma eğilimi içinde olduğu göstermektedir. Diğer taraftan genellikle günlük minimum hava sıcaklıklarından hesaplanan indislerdeki değişimlerin maksimumlardaki indislere göre daha hızlı ve belirgin olduğu görülmektedir. Örneğin, soğuk gece ve tropikal gece sayıları ve mutlak minimum hava sıcaklığı sırasıyla -1.04 gün/on yıl, +3.23 gün/on yıl, +0.18 °C/on yıl değişirken; sıcak gün ve yaz günü sayıları ve mutlak maksimum hava sıcaklığı sırasıyla +0.44 gün/on yıl, +3.13 gün/on yıl, +0.05 °C/on yıl olarak değişmiştir. Bu bulgular istasyonda günlük minimum hava sıcaklıklarında gözlenen ısınmanın günlük maksimumlardaki ısınmaya göre daha hızlı olduğunu göstermektedir. Elde edilen bu bilgiler, küresel ve bölgesel ölçekte 20. yüzyıldan itibaren günlük minimum hava sıcaklıklarından elde edilen indislerin günlük maksimumlardan elde edilen indislere göre çok daha hızlı değiştiği yönündeki çalışmaların sonuçlarıyla uyumludur (Donat vd., 2013; Alexander vd., 2016; Abbasnia & Toros, 2019; Dunn vd., 2020).

5- Kandilli Rasathanesi'nde maksimum ve minimum hava sıcaklıklarında gözlenen ısınma eğilimleri küresel, bölgesel ve yerel olarak tüm hava sıcaklıklarında gözlenen ısınma eğilimleriyle uyumlu olarak çok büyük oranda antropojenik sera gazlarının atmosfer birikimindeki artışla ve/veya atmosferdeki sera etkisinin kuvvetlenmesiyle ilişkilidir. Diğer taraftan günlük minimum hava sıcaklıklarında gözlenen ısınmanın günlük

maksimum hava sıcaklıklarında gözlenen ısınma eğiliminden daha hızlı ve belirgin olması, bölgesel ve/veya kentsel arazi kullanımındaki değişikliklerle ve hızlı kentleşme olgusuyla bağlantılı kentsel ısı adasının olası etkisiyle açıklanabilir. Özellikle de istasyonun bulunduğu kentin İstanbul gibi “mega” bir kent yapısında olması bu düşüncenin doğruluğunu kuvvetlendirmektedir. Zaten küresel ve bölgesel ölçekte yapılan birçok çalışmada da kentsel ısı adasıyla bağlantılı günlük minimum hava sıcaklıklarının günlük maksimumlara göre daha hızlı bir ısınma eğiliminde olduğu belirtilmektedir (Mohsin & Gough, 2012; Aykır, 2017; IPCC, 2021).

6- Elde edilen tüm sonuçlar, antropojenik etkilerle ilişki olarak hem küresel hem de bölgesel ölçekte 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren daha belirgin olmak üzere sıcak ekstremlerin sıklığı, şiddeti ve süresinde gözlenen artış, soğuk ekstremlerinde gözlenen azalma eğilimleriyle uyumludur. 21. yüzyılda ekstrem hava sıcaklıklarına ilişkin öngörüler dikkate alındığında, İstanbul gibi mega bir kentte bu değişimlerin devam etmesi sağlık, turizm ve enerji gibi birçok sektörü ciddi anlamda olumsuz etkilemesi beklenebilir.

Teşekkür

Meteorolojik/klimatolojik gözlemlerin temininde kolaylık sağlayan Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve D.A.E Meteoroloji Laboratuvarı'na teşekkür ederim.

| | |
|---|--|
| Çıkar Çatışması / Conflict of Interest | Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir. <i>The authors declared no conflict of interest</i> |
| Finansal Destek / funding conditions | Yazar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir. <i>The author declared that this study has received no financial support</i> |

REFERANSLAR

- Abbasnia, M., & Toros, H. (2019). Analysis of long-term changes in extreme climatic indices: a case study of the Mediterranean climate, Marmara Region, Turkey. *Meteorology and climatology of the Mediterranean and Black Seas*, 141-153.
- Abbasnia, M., & Toros, H. (2020). Trend analysis of weather extremes across the coastal and non-coastal areas (case study: Turkey). *Journal of Earth System Science*, 129(1), 1-13.
- Acar Deniz, Z., & Gönençgil, B. (2015). Trends of summer daily maximum temperature extremes in Turkey. *Physical Geography*, 36(4), 268-281.
- Alexander, L. V. (2016). Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. *Weather and Climate Extremes*, 11, 4-16.
- Alexander, L., & Herold, N. (2016). *ClimPACT2: Indices and software*.
- Alexandersson H, Moberg A. (1997). Homogenization of Swedish temperature data. Part I: homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology* 17: 25–34.
- Aykır, D. (2017). Türkiye’de ekstrem sıcaklık indislerinin eğilimlerinde şehirleşmenin etkisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (69), 47-57.
- Baltacı, H. (2019). Spatiotemporal variability of climate extremes in the Marmara Region (NW Turkey). *International Journal of Global Warming*, 18(3-4), 239-252.
- Buishand TA. (1982). Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology* 58: 11–27.
- Çoruk, B. & Acar (2022). Ekstrem Sıcaklık Analizi: Marmara Bölgesi Örneği. *Disaster Science and Engineering*, 8(2), 25-39.
- 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.

- Donat, M. G., Alexander, L. V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Dunn, R. J., ... & Kitching, S. (2013). Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(5), 2098-2118.
- Donat, M. G., Sillmann, J., Wild, S., Alexander, L. V., Lippmann, T., & Zwiers, F. W. (2014a). Consistency of temperature and precipitation extremes across various global gridded in situ and reanalysis datasets. *Journal of Climate*, 27(13), 5019-5035.
- Donat, M. G., Peterson, T. C., Brunet, M., King, A. D., Almazroui, M., Kolli, R. K., ... & Al Shekaili, M. N. (2014b). Changes in extreme temperature and precipitation in the Arab region: long-term trends and variability related to ENSO and NAO. *International Journal of Climatology*, 34(3), 581-592.
- Dunn, R. J., Alexander, L. V., Donat, M. G., Zhang, X., Bador, M., Herold, N., ... & Bin Hj Yussof, M. N. A. (2020). Development of an updated global land in situ-based data set of temperature and precipitation extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(16), e2019JD032263.
- El Kenawy, A., López-Moreno, J. I., & Vicente-Serrano, S. M. (2013). Summer temperature extremes in northeastern Spain: spatial regionalization and links to atmospheric circulation (1960–2006). *Theoretical and Applied Climatology*, 113(3), 387-405.
- Erlat, E., & Güler, H. (2018). Türkiye’de Sıcaklık Ekstremlerinin Sürelerinde Gözlenen Değişim ve Eğilimler (1950-2017). *Ege Coğrafya Dergisi*, 27(2), 135-148.
- Erlat, E., & Türkeş, M. (2012). Analysis of observed variability and trends in numbers of frost days in Turkey for the period 1950–2010. *International Journal of Climatology*, 32(12), 1889-1898.
- Erlat, E., & Türkeş, M. (2013). Observed changes and trends in numbers of summer and tropical days, and the 2010 hot summer in Turkey. *International Journal of Climatology*, 33(8), 1898-1908.
- 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).
- Erlat, E., & Türkeş, M. (2016). Dates of frost onset, frost end and the frost-free season in Turkey: trends, variability and links to the North Atlantic and Arctic Oscillation indices, 1950-2013. *Climate Research*, 69(2), 155-176.
- Erlat, E., & Türkeş, M. (2017). Türkiye’de Tropikal Gece Sayılarında Gözlenen Değişimler ve Eğilimler. *Ege Coğrafya Dergisi*, 26(2), 95-106.
- Erlat, E., Türkeş, M., & Aydın-Kandemir, F. (2021). Observed changes and trends in heatwave characteristics in Turkey since 1950. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(1-2), 137-157.
- Fioravanti, G., Piervitali, E., & Desiato, F. (2016). Recent changes of temperature extremes over Italy: an index-based analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, 123(3), 473-486.
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical research letters*, 33(8).
- Hadi, S. J., & Tombul, M. (2018). Long-term spatiotemporal trend analysis of precipitation and temperature over Turkey. *Meteorological Applications*, 25(3), 445-455.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, ABD, 1535 s.
- IPCC. (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, 2021.
- Kelebek, M. B., Batibeniz, F., & Önoğlu, B. (2021). Exposure assessment of climate extremes over the Europe–mediterranean region. *Atmosphere*, 12(5), 633.
- 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(4).
- Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson & M. Prather. (2007). *Historical Overview of Climate Change*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC* (Eds. Solomon, et al.). Cambridge University Press: Cambridge.

- MedECC (2020). Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report [Cramer, W., Guiot, J., Marini, K. (eds.)] Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France, 632pp.
- Mohsin, T., Gough, W.A., (2012). "Characterization and Estimation of Urban Heat Island at Toronto: impact of the choice of rural sites". *Theoretical and Applied Climatology* 108, 105-117.
- Ning, L., Riddle, E. E., Bradley, R. S. 2015. 'Projected Changes in Climate Extremes over the Northeastern United States'. *Journal of Climate* 28: 3289–3310.
- Pettitt, A. N. (1979) A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)* 28(2), 126--135.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389.
- Sensoy, S., Türkoğlu, N., Akçakaya, A., Ekici, M., Demircan, M., Ulupinar, Y., & Demirbaş, H. (2013,). Trends in Turkey climate indices from 1960 to 2010. In 6th Atmospheric science symposium (Vol. 24, p. 26).
- Sneyers, R. (1990). On the Statistical Analysis of Series of Observations. WMO Technical Note 43, World Meteorological Organization, Geneva.
- Toros, H., & Abbasnia, M. (2017). Trend analysis of extreme temperature indices for Marmara region of Turkey.
- Toros, H., Tek, A., Solum, Ş., Yeniçeri, D. N., Söğüt, A. S., Oğuzhan, B., & Koyuncu, H. (2015) İstanbul-Kandilli İkliminin 1912-2014 Yılları Arasında Salınım ve Eğilimleri. In 7th Atmospheric Science Symposium (Vol. 28, p. 30).
- Türkeş, M. (1995). Türkiye’de Yıllık Ortalama Hava Sıcaklıklarındaki Değişimlerin ve Eğilimlerin İklim Değişikliği Açısından Analizi. *Çevre ve Mühendis*, 9, 9-15.
- Türkeş, M. (2012). Türkiye’de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişikliği, Kuraklık Ve Çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32.
- Türkeş, M. (2013). Klimatolojik ve Hidrolojik Verilerin Türdeşlik Analizi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi (Coğrafya Bölümü), 2008-2009 Eğitim ve Öğretim Yılı Güz Dönemi Yayınlanmamış Ders Notları, Çanakkale.
- Türkeş, M., & Sümer, U. M. (2004). Spatial and temporal patterns of trends and variability in diurnal temperature ranges of Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 77, 195-227.
- Wang, J., Chen, Y., Tett, S. F., Yan, Z., Zhai, P., Feng, J., & Xia, J. (2020). Anthropogenically-driven increases in the risks of summertime compound hot extremes. *Nature communications*, 11(1), 528.
- WMO. (1966). Climatic Change, WMO, Technical Note, 79.
- Zhang, X., & Yang, F. (2004). RCLimDex (1.0) user manual. Climate Research Branch Environment Canada, 22, 13-14.
- <https://github.com/ARCCSS-extremes/climpact2> (erişim tarihi: 02/06/2023).
- <https://www.r-project.org/> (erişim tarihi: 02/06/2023).

