



Ege Coğrafya Dergisi 27 (2), 2018, 135-148, İzmir-TÜRKİYE
Aegean Geographical Journal, 27 (2), 2018, 135-148, İzmir-TURKEY

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

TÜRKİYE'DE SICAKLIK EKSTREMLERİNİN SÜRELERİNDE GÖZLENEN DEĞİŞİM VE EĞİLİMLER (1950-2017)

Variability and trends in the duration of extreme temperatures of Turkey (1950-2017)

Ecmel ERLAT¹

*Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi
Coğrafya Bölümü
ecmel.erlat@ege.edu.tr*

Hakan GÜLER

*Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü
Coğrafya Anabilim Dalı
hakan.k.guler@gmail.com*

*(Teslim: 1 Kasım 2018; Düzeltme: 30 Kasım 2018; Kabul: 20 Aralık 2018)
(Received: November 1, 2018; Revised: November 30, 2018; Accepted: December 20, 2018)*

Abstract

In this study, by using daily temperature observations of 77 stations, the changes and trends in the duration of the extreme temperatures during the period 1950-2017 are examined. Extreme events were defined using two temperature indices proposed by the Commission for Climatology/Climate Variability and Predictability Project's Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices. Selected indices are the Cold Spell Duration Index (annual count of days with at least 6 consecutive days when $TN > 10^{\text{th}}$ percentile) and the Warm Spell Duration Index (annual count of days with at least 6 consecutive days when $TX > 90^{\text{th}}$ percentile). For the study period, the results of the linear trend indicated that cold spell duration tended to decrease in 67 stations, 28 of which were statistically significant. Linear trend analysis of nationally averaged time series showed that the CSDI has the decrease rate of -0.71 days per decade over the study period. The largest decreasing trend ranges were found in stations at Southeastern Anatolia and Mediterranean regions. The longest annual number of cold periods in Turkey in the first half of 1950's, while the shortest cold periods have been observed in recent years, as was the case in 2010. Linear trend analysis of nationally averaged time series showed that Warm Spell Duration Index is mostly characterized with a generally increasing trend (+2.4 days per decade) for the entire period of 68 years. A statistically significant increasing trend for WSDI is detected at 76 stations, 45 of which are at the 0.01 significance level. In the last 68 years, the most significant increase in the annual warm spell duration is observed in the Mediterranean

¹ Sorumlu Yazar/ Corresponding author: Ecmel ERLAT / emel.erlat@ege.edu.tr

and the Black Sea regions. Examination of anomalies in time-series of WSDI of Turkey reveal that the annual warm spell duration was characterized with a strong positive trend after 1993, and particularly during the years of 2010, 2012 and 2016 which anomalies exceeded $+3\sigma$ at many stations of Turkey. It would be worth noting that the summer of 2010 was the longest one in Turkey that exhibited the highest positive anomalies ($+7.8\sigma$) in the annual warm spell duration over the whole study period beginning from 1950 to 2017.

Keywords: Cold spell duration index, the warm spell duration index, climate change and variability, Turkey.

Öz

Bu çalışmada 77 meteoroloji/klimatoloji istasyonunun günlük maksimum ve minimum sıcaklık gözlemleri kullanılarak 1950-2017 döneminde ekstrem sıcaklıkların etkili oldukları sürelerinde (uzunluğunda) gözlenen değişim ve eğilimler incelenmiştir. Bu amaçla İklim Değişikliği Tespiti, İzleme ve İndisler Konusunda Klimatoloji Uzman Ekibi (ETCCDMI) tarafından önerilen 27 indisten ekstrem sıcaklıkların süreleri (uzunluğu) ile ilgili olan Soğuk Dönem Süresi (en az 6 ardışık gün boyunca günlük minimum sıcaklığın 10. persantilin altında olduğu gün sayısı) ile Sıcak Dönem Süresi İndisi (en az 6 ardışık gün boyunca günlük maksimum sıcaklığın 90. persantilin üzerinde olduğu gün sayısı) seçilmiştir. Analiz sonuçları, 1950-2017 döneminde yıllık soğuk dönem süresinin 28'inde istatistiki olarak anlamlı olmak üzere 67 istasyonda azalma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Türkiye ortalamasına göre soğuk dönem süresindeki azalma her on yıl için -0.71 gündür. Yıllık soğuk dönem süresinde en belirgin azalma eğilimi Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde görülmektedir. 1956, 1950 ve 1953 yılları olmak üzere Türkiye'deki en uzun soğuk dönem süreleri 1950'li yılların ilk yarısında gözlenmiştir. Buna karşılık soğuk dönem süresi 1998 yılından 2017 yılına kadar olan dönemde belirgin şekilde kısalarak, referans dönemi ortalamasının altında kalmıştır. Türkiye'de 1950-2017 döneminde sıcak dönem süresi uzama eğilimi ($+2.4$ gün/on yıl) göstermiştir. 76 istasyonda gözlenen artış eğilimi, 61 istasyonda istatistiki olarak anlamlıdır. Son 68 yılda yıllık sıcak dönem süresinde en belirgin artma eğilimi Akdeniz ve Karadeniz bölgelerinde görülmektedir. 1950-1992 yılları arasındaki dönemde sıcak dönem süreleri genellikle referans dönemi ortalamasının altındadır. 1993 yılından sonra belirgin şekilde uzayan sıcak dönem süreleri, son 25 yılda kesintisiz pozitif anomali göstermiştir. Türkiye'de ortalama 6.7 gün olan sıcak dönem süresinin 49.6 güne ulaştığı 2010, son 68 yıl içinde sıcak dönem süresi açısından en dikkat çekici yıldır.

Anahtar Kelimeler: Soğuk dönem süresi indisi, sıcak dönem süresi indisi, iklim değişimi ve değişkenliği, Türkiye

1. Giriş

Ekstrem hava/iklim olayları, istatistiksel dağılıma göre meteorolojik değişkenlerin gözlenen değer aralığının üst /alt uçlarında veya bu uç değerlere yakın bir eşik değerinin üzerinde bir aşamaya ulaşması ile ortaya çıkmaktadır (IPCC, 2012).

Ekstrem hava/iklim olayları iklim sisteminin kendi doğal değişkenlik ve kaotik özellikleriyle bağlantılı olup doğal olarak, durağan iklim koşulları içinde oluşabilmektedir. Ancak antropojenik kökenli küresel iklim değişikliğine bağlı olarak atmosferin sıcaklık ve nem içeriğinin artması, ekstrem hava /iklim olaylarının frekans, şiddet ve süresinde bazı değişmelere neden olmaktadır. Her yıl

meteorolojik/klimatik kökenli afetlerin sayısında gözlenen artış ve bu artışın oluşturduğu sosyal ve ekonomik kayıplar, antropojenik kökenli iklim değişikliğinin ekstrem hava/iklim olayları belirleyici olduğunu göstermektedir. Örneğin 1970'den 2012 yılına kadar Türkiye'nin de içinde değerlendirildiği Avrupa'da başta seller (% 38) ve fırtınalar (% 30) olmak üzere kuraklık, aşırı sıcaklıklar ve orman yangınları gibi doğrudan meteorolojik ve hidrolojik koşullara bağlı 1352 afet gerçekleşmiştir. Bu durum 149 959 kişinin hayatını kaybetmesine ve 375.7 milyar ABD doları ekonomik kayba yol açmıştır. Meteorolojik/klimatik kökenli afetlerin oluşturduğu ekonomik kayıplarda seller ve

fırtınalar ilk sıraya yerleşirken, can kayıplarının % 94’ü ekstrem sıcaklıklara bağlı olarak gerçekleşmiştir. Örneğin 2003 yılında Avrupa’ya etkileyen sıcak dalgası 72 210, etkisini daha çok Rusya ve Doğu Akdeniz’de hissettiren 2010 yılı sıcak dalgası ise 55 736 kişinin ölümü ile sonuçlanmıştır (WMO, 2014).

İstatistiksel yöntemler ve iklim modellerinin kullanıldığı çok sayıdaki araştırma, tüm dünyada özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren sıcaklık ekstremlerinin frekansı, şiddeti, süre ve zamanlamasında bazı değişmelerin yaşandığını, bu değişmelerin nedeninin son elli yılda yaklaşık 0.5 °C’yi bulan sıcaklık artışına atfedilebileceğini göstermektedir (Örn. Alexander vd., 2006; Della-Marta vd., 2007; Donat vd., 2013). Ekstremlerin süreleri ile ilgili çalışmalar esas alındığında, küresel olarak 20. yüzyılın ortalarından itibaren sıcak ekstremlerin sürelerinin arttığı, soğuk ekstremlerin ise azaldığı görülmektedir. Örneğin küresel ölçekte dağılışı gösteren 2223 istasyonda yapılan sıcaklık gözlemleri 1951-2003 döneminde sıcak dönem süresinin incelenen istasyonların % 5 seviyesinde anlamlı olmak üzere % 28.8’inde uzama, % 0.6’sinde kısalma, soğuk dönem süresinin ise % 26’sında kısalma, % 10.2’sinde uzama eğilimi içinde olduğunu göstermiştir (Alexander vd., 2006). Batı Avrupa’daki 54 istasyonun sıcak dalgalarının süresi (yaz mevsiminde günlük maksimum sıcaklığın 95. persantili aştığı ardışık günlerin maksimum sayısı) üzerine yapılan bir çalışma, 1880 yılından 2005 yılına kadar olan dönemde sıcak dalgalarının süresinin yaklaşık 1.4 günden 3 güne uzadığını ve bunun yaklaşık % 111 ± 36 artışa karşılık geldiğini ortaya koymuştur (Della-Marta vd., 2007). 1951-2010 dönemine ait küresel ortalamalar dikkate alındığında, 20. yüzyılın ortalarından bu yana sıcak dönem süresinin yaklaşık 8 gün uzadığı ve bu artışın büyük bir çoğunluğunun 1980’li yıllardan itibaren gerçekleştiği görülür. Aynı dönemde soğuk dönem süresi ise yaklaşık 4 gün kısalmıştır (Donat vd., 2013). Karpatlar bölgesinde 1961-2010 döneminde sıcak ve soğuk hava dalgalarının trendleri, kış mevsiminde soğuk hava dalgalarının sürelerinin 2010 yılında 1961 yılına göre yaklaşık 2 gün (- 0.46 gün/on yıl) kısaldığını, yaz mevsiminde ise sıcak hava dalgalarının süresinin 2010 yılında 1961 yılına göre 4 gün uzadığını (0.8

gün/on yıl) ortaya koymaktadır (Spinoni vd., 2015).

Türkiye’de 100 istasyon için 27 iklim indisine göre 1971-2004 dönemi için ekstrem sıcaklık ve yağışların ele alındığı bir çalışmanın sonuçları, soğuk dönem süresinin özellikle Türkiye’nin doğusunda olmak üzere istasyonların çoğunda % 5 seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı şekilde azaldığını (12 gün/100 yıl) göstermektedir (Şensoy vd., 2008). Türkiye’nin batısında sıcak dalgalarının süresi ise 1965’den 2006 yılına kadar olan dönemde uzamıştır. En belirgin değişim 1998 yılı sonrasında gözlenmiştir. 2000 ve 2001 yıllarında ortalama 4 gün olan sıcak dalgalarının süresi 2006 yılında 6 güne çıkmıştır (Ünal, vd. 2013).

Ekstrem hava/iklim olaylarının en önemli bileşen ve etki faktörlerinden birinin zaman boyutu (süresi) olduğu göz önüne alınarak, bu çalışmada, Türkiye’de 20. yüzyılın ikinci yarısından günümüze kadar olan dönemde sıcaklık ekstremlerinin sürelerinde gözlenen eğilim ve değişimler incelenmiştir.

2. Yöntem

Bu çalışmada 77 meteoroloji/klimatoloji istasyonun günlük maksimum ve minimum sıcaklık gözlemleri kullanılarak 1950-2017 döneminde ekstrem sıcaklıkların etki sürelerinde (uzunluğunda) gözlenen değişim ve eğilimler incelenmiştir. 59 istasyonun rasat süresi 68 yılı, 18 istasyonun 1960 yılı sonrasını kapsamaktadır (Şekil 1).

Tüm dünyada ekstrem hava ve iklim olaylarının incelenmesi için 2001 yılında Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından koordine edilen bir iklim komisyonu oluşturulmuştur. İklim Değişikliği Tespiti, İzleme ve İndisler Konusunda Klimatoloji Uzman Ekibi (ETCCDMI) olarak adlandırılan bu komisyon 27 indis önermiştir. ETCCDMI tarafından önerilen indisler öncelikle sıcaklık ve yağış olaylarının şiddet, sıklık ve süresi ile değişiklikleri temsil etmektedir (Peterson vd., 2001; Alexander vd. 2006). İndisler, yüzdellik tabanlı (persantil) endeksler, mutlak, belli bir eşik değerine ve süre ile ilgili ve diğer ölçütlere bağlı olmak üzere 5 farklı kategoriye ayrılabilir. Ekstremlere ait 27 indisten, Soğuk Dönem Süresi İndisi (CSDI), Sıcak Dönem Süresi İndisi (WSDI), Büyüme Mevsimi Uzunluğu (GSL), Ardışık Kuru

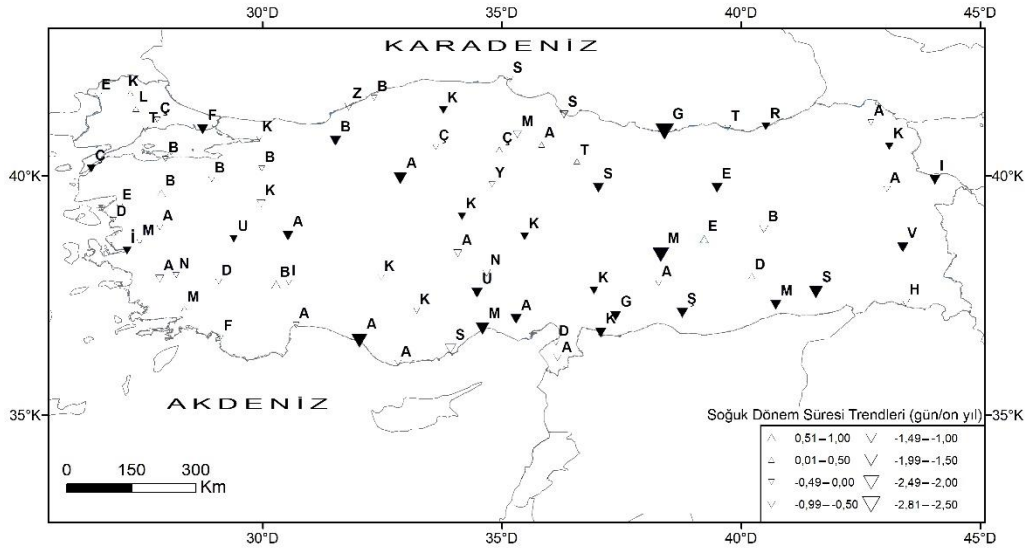
3. Bulgular

3.1. Soğuk Dönem Süresi İndisi

Soğuk dönem, en az 6 ardışık gün boyunca günlük minimum sıcaklığın 10. persantilin altında olduğu gün sayısı olarak tanımlanmıştır. Soğuk dönemlerin süreleri insanların sağlık koşulları yanında, tarım ve enerji sektörlerini de etkilemektedir. Örneğin soğuk dönem sürelerinin uzaması, kalp/solunum ile ilgili hastalıkların görülme olasılıklarını arttırmaktadır.

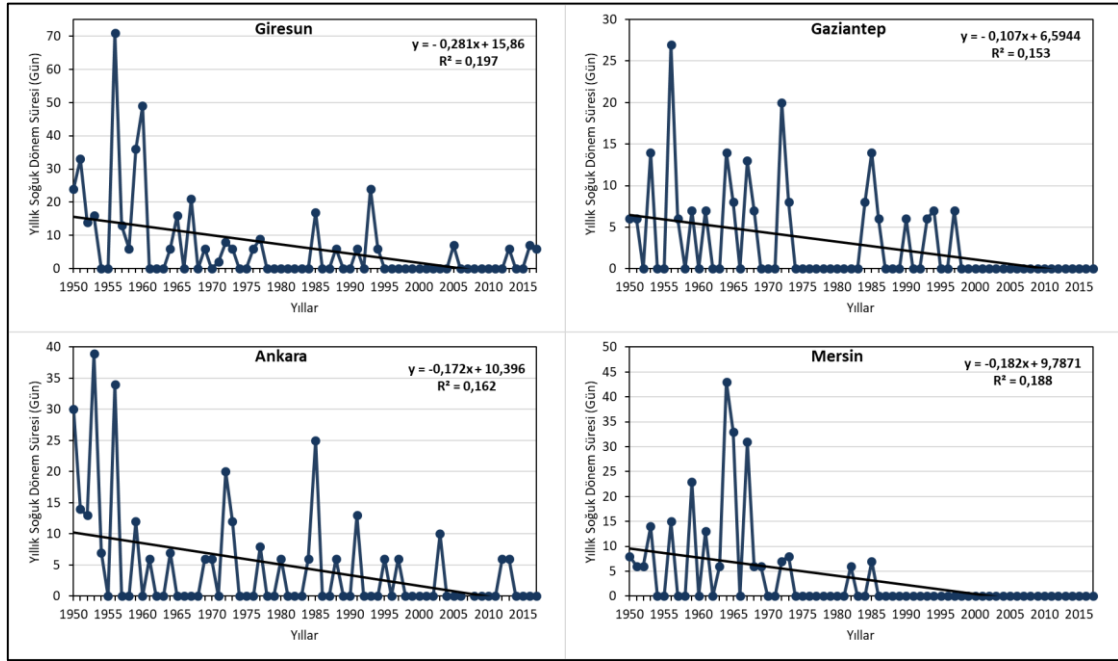
1950-2017 döneminde basit doğrusal regresyon analizi ile soğuk dönem süresinin zaman içinde gösterdiği eğilimler incelendiğinde, 77 istasyondan 67’sinde soğuk dönem süresinin azalma eğilimi gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Bu azalma eğilimi 14 istasyonda % 5, 14 istasyonda ise % 1 düzeyinde olmak üzere toplam 28 istasyonda anlamlıdır. Soğuk dönem süresindeki azalma

eğilimleri Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin güneyi, Akdeniz ve Karadeniz bölgesinin doğusunda belirginleşmektedir. Bu azalma eğilimi yılın soğuk döneminde daha yüksek sıcaklıklara sahip Ege, Batı Akdeniz ve Marmara bölgelerinde daha zayıftır (Şekil 2). Örneğin yıllık soğuk dönem süresi % 1 düzeyinde anlamlı olmak üzere, her on yıl için Giresun’da 2.8, Gaziantep’te 1.1, Ankara’da 1.7 ve Mersin’de 1.8 gün kısalmıştır (Şekil 3). 10 istasyonda (Kırklareli, Lüleburgaz, Balıkesir, Muğla, Amasya, Tokat, Çorum, Burdur, Diyarbakır, Elazığ) ise aynı dönemde istatistiki olarak anlamlı olmayan artış eğilimi belirlenmiştir. Türkiye ortalamasına göre 1950-2017 döneminde yıllık soğuk dönem süresi % 1 düzeyinde anlamlı olmak üzere, her on yıl için - 0.71 gün kısalmıştır. Son 68 yılda, yıllık soğuk dönem süresinde en belirgin azalma eğilimi Güneydoğu Anadolu bölgesinde (-1.11 gün/on yıl) gözlenmiştir (Tablo 1).



Şekil 2- Türkiye’de yıllık soğuk dönem sürelerinin 1950-2017 dönemine ait trendleri (gün/on yıl). Haritada yukarı yöndeki üçgenler artma, aşağı yöndeki üçgenler azalma eğilimini temsil etmektedir. İçi dolu üçgenler ise % 5 düzeyinde anlamlı artma/azalma eğilimlerini göstermektedir.

Figure 2- Spatial distribution of the trends (days per decade) in cold spell duration indices over the period 1950–2017. Here the downward triangles represent negative and upward triangles represent positive trends, respectively. Solid triangles represent the statistically significant trends at the 5% level of significance.



Şekil 3- Türkiye’de seçilen dört istasyonun yıllık soğuk dönem sürelerinde 1950-2017 döneminde gözlenen yıllar arası değişimler ve istatistiksel açıdan anlamlı doğrusal azalış eğilimi.

Figure 3- Inter-annual variations and linear trend line of the least-squares regression (bold solid line) in the time series of annual cold spell duration observed during the period of 1950–2016 for some stations.

Tablo 1- Coğrafi bölge ortalamalarına göre 1950–2017 döneminde soğuk dönem sürelerinde en küçük kareler yöntemi ile belirlenen trend analizinin test istatistikleri. Regresyon katsayısı β ’nın istatistiksel anlamlılığı (n-2) serbestlik dereceli Student t testi ile sınıandı (Sınama örneklem değerlerinde istatistiksel olarak % 1 düzeyinde anlamlı olanlar *, % 5 olanlar ** işareti ile gösterilmiştir).

Table 1 - Results of the linear regression for the cold spell duration in the period of 1950 ile 2017 according to the geographical regions and the national average (statistically significant trends at the 1% level showed *, 5% **).

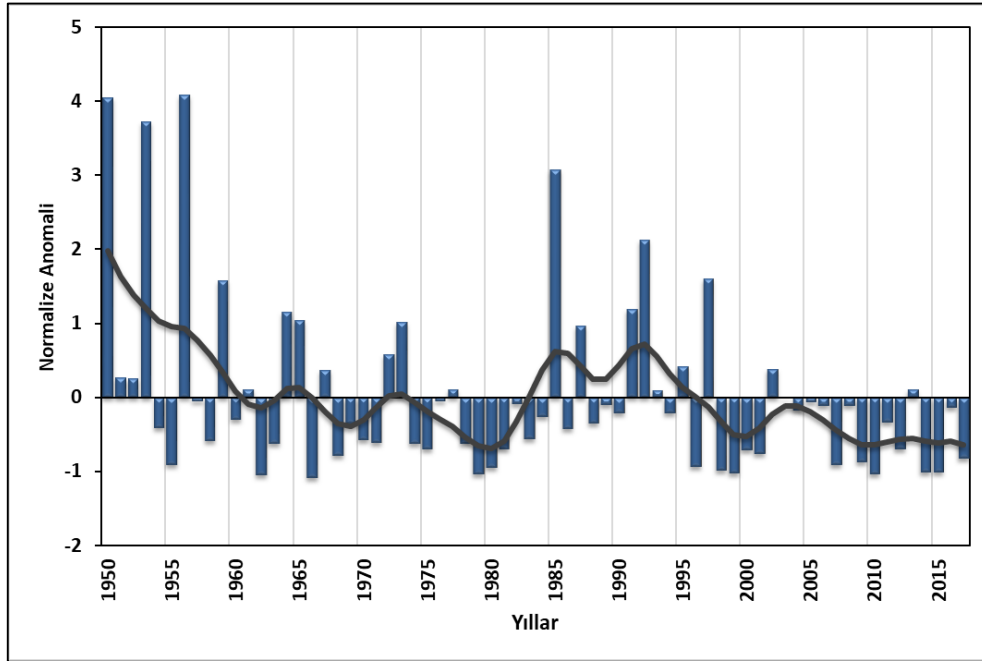
SOĞUK DÖNEM SÜRESİ İNDİSİ				
BÖLGE	İstasyon sayısı	Eğim katsayısı (gün/on yıl)	Student t	α
Karadeniz	13	- 0.83	-2.50	*
Marmara	12	- 0.25	-1.12	
Ege	12	- 0.60	- 2.61	**
Akdeniz	12	- 0.68	-3.08	**
Güneydoğu Anadolu	7	- 1.11	-3.21	**
İç Anadolu	11	- 0.89	-2.82	**
Doğu Anadolu	10	- 0.95	-2.50	*
TÜRKİYE	77	- 0.69	-2.86	**

Türkiye’de yıllık soğuk dönem süresinin referans dönemine (1971-2000) göre gösterdiği anomaliler göz önüne alındığında belirli dönemler ayırt etmek mümkündür (Şekil 4). Bunlardan 1950-1984

dönemini karakterize eden en önemli özellik soğuk dönem sürelerinin yıllar arası değişkenliğinin yüksek olmasıdır. Türkiye ortalamasına göre yıllık en uzun soğuk dönemler 1956 (+ 4.10) , 1950 (+

4.05) ve 1953 (+ 3.73) yıllarında olduğu gibi 1950’li yıllarda kümelenmiştir. Son 68 yıl içinde soğuk dönem süresi açısından en dikkat çeken yıl, 13 istasyonda rasat süresindeki en uzun soğuk dönem sürelerinin gözleendiği 1956 yılıdır. 1956 yılının Şubat ayında Kuzey Atlantik ve Rusya üzerinde oluşan sırtlar ve orta troposferde bloke olan jet akımları nedeniyle ortaya çıkan sinoptik desen, Batı ve Güney Avrupa üzerinde polar hava kütlelerinin etkili olmasına yol açmıştır. Bu alanda rekor düşük sıcaklıkların kaydedilmesi yanında 23 güne ulaşan (1 ile 23 Şubat) etki süresi nedeniyle 20. yüzyılın en kötü soğuk hava dalgası olarak tanımlanmıştır (Dizerens vd., 2017). Türkiye’de en çok rekor düşük sıcaklık 63 rekor ile 1950 ve 1953 yıllarında kaydedilmiştir. 1956 yılında kaydedilen rekor düşük sıcaklık sayısı ise 29’dur (Erlat ve Türkeş, 2015a). Bu durum Türkiye’de 1956 yılının kış mevsiminde etkili olan soğuk hava dalgasının şiddetinden çok süresi ile etkili olduğunu göstermektedir. 1950-2017 döneminde soğuk dönem süresi ile dikkat çeken bir diğer yıl

1950’dir. 1950 yılı, Türkiye’de en düşük günlük sıcaklıkların kaydedildiği yıl olma özelliğini göstermektedir. Bu durum 1950 yılının Ocak ve Şubat aylarında yaşanan soğuk hava dalgalarının hem şiddet hem de uzun süresi ile karakterize olduğunu göstermektedir. Söz konusu yılın Ocak ve Şubat aylarında, 500 hPa jeopotansiyel yükseklik düzeyinde gözlenen ve Avrupa Rusya’sı, Karadeniz ve Hazar Denizi havzaları, Türkiye, Kafkaslar, İran ve Mezopotamya bölgelerini kapsayan geniş alanlı bir siklonik anomalinin birleşimi sonucu oluşan kuvvetlenmiş ve uzun süreli kuzeyli soğuk hava akımlarının etkisi ile İç, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yer alan 21 istasyonda son 68 yılın en düşük sıcaklık değerleri kaydedilmiştir (Erlat ve Türkeş, 2015a). Buna karşılık Türkiye’de en kısa soğuk dönem süreleri de 1950-1983 dönemi içinde gözlenmiştir. 1966 (-1.09), 1962 (-1.06) ve 1979 (-1.04) tüm istasyonlarda soğuk dönem sürelerinin azaldığı yıllar olma özelliğini taşımaktadır.

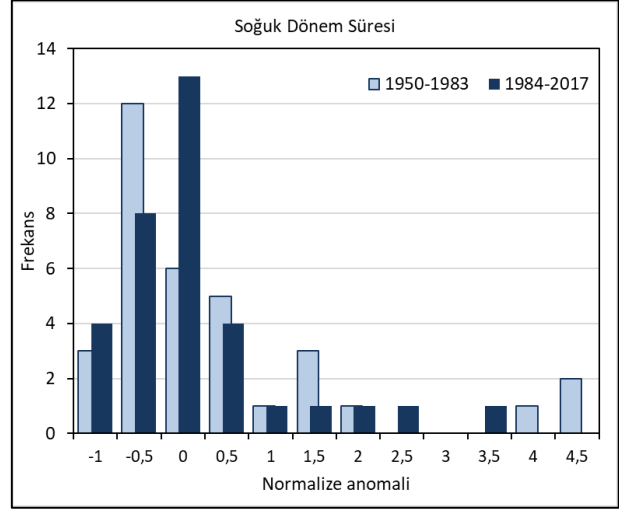


Şekil 4- Türkiye’de soğuk dönem süresinin (gün) 1971-2000 referans dönemine göre standartlaştırılmış yıllık anomalilerindeki uzun süreli dalgalanma ve yıllararası değişimler. Yıllık anomali dizilerindeki yıllararası değişkenlik 9 noktalı Gauss filtresi (—) ile düzgünleştirildi.

Figure 4- Long-term fluctuations and year-to-year variability in standardized annual anomalies of cold spell duration in Turkey relative to standard deviation of 1971–2000 reference period. Bold solid curve shows the 9-point Gaussian smoothing (—).

Türkiye’de soğuk dönem süresi açısından ayırt edilen bir başka dönem 1985-1997 yılları arasındır. 13 yıllık dönemde yıllık soğuk dönem süresi belirgin şekilde uzayarak genellikle referans dönemi ortalamasının üzerinde kalmıştır. Bu dönem içinde 1985 (+ 3.08) pozitif anomali değeri ile Türkiye’de soğuk dönem süresinin uzadığı tipik yıllardan birisidir. Bu yılın Şubat-Mart aylarında merkezi Orta Asya üzerinde yer alan bir sırt boyunca Sibirya antisiklonundan doğu Akdeniz’e polar hava kütlelerinin adveksiyonu, soğuk dönem süresinin belirgin şekilde uzaması ile sonuçlanmıştır (Saaroni vd. 1996). Doğu Akdeniz havzasında olduğu gibi, doğu Avrupa’da da özellikle Karpatlarda 1960 yılından bu yana etkili olan en uzun ve şiddetli soğuk hava dalgası, 1985 kış mevsimine aittir (Spinoni vd., 2015). 1985-1997 döneminde soğuk dönem süresi açısından dikkat çeken bir başka yıl 1992 (+2.14)’dir. Yapılan çalışmalar, Türkiye’de tropikal kuşakta gerçekleşen kuvvetli bir volkanik püskürmeyi izleyen ilk iki yıl boyunca ortalama maksimum ve minimum hava sıcaklıklarının azaldığını göstermiştir (Erlat ve Türkeş, 2015). Bu nedenle Türkiye’de birçok istasyonda soğuk dönem süresinde 1992 yılında gözlenen kuvvetli pozitif anomaliler, Pinatubo volkanının 1991 yılındaki püskürmesinin yarattığı soğuma etkisine bağlanabilir. Türkiye’de soğuk dönem süreleri bakımından ayırt edilen son dönem 1998-2017 yılları arasını kapsamaktadır. Bu dönemde soğuk dönem süreleri belirgin şekilde kısalarak, ortalamalar göre 2002 yılı hariç 19 yıl boyunca negatif anomali göstermiştir. Örneğin 2010 yılında İzmir, Çanakkale ve Adıyaman istasyonları dışında 74 istasyonda soğuk dönem saptanmamıştır. Türkiye’de soğuk dönem süresindeki değişimleri daha iyi anlayabilmek için 68 yıllık inceleme dönemi 34 yıllık iki döneme ayrılarak histogramları elde edilmiştir (Şekil 5). Belirlenen iki döneme ait histogramlar incelendiğinde, bu dönemlere ait soğuk dönem ortalamalarının önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. 1950-1983 döneminde ortalama 4.5 gün olan soğuk dönem süresi, 1984-2017 döneminde kısalarak 3.5 güne düşmüştür. İlk dönemde en yüksek frekansa, referans dönemine göre -0.5 anomali gösteren değerler sahip olmasına rağmen ortalamadan + 3 anomali değerini aşan 3 yıl bulunmaktadır. İkinci dönemde dağılımın değişerek, soğuk dönem

sürelerinin ortalama etrafında toplandığı gözlenir. 1984 yılından sonra + 3 anomali değerini aşan 1 yıl bulunması, soğuk dönem süresindeki değişkenliğin de azaldığını göstermektedir.



Şekil 5- Soğuk Dönem Süresi İndisinin 1950-1983 ve 1984-2017 dönemlerine ait frekans histogramlarının karşılaştırılması. (Sınıf aralıkları 1971-2000 referans dönemi anomali değerlerine göre düzenlenmiştir)

Figure 5- Comparison of the frequency histograms of cold spell duration for the 1950-1983 and 1984-2017 periods. Class ranges were arranged according to the anomalous values of the 1971-2000 reference period.

3.2. Sıcak Dönem Süresi İndisi

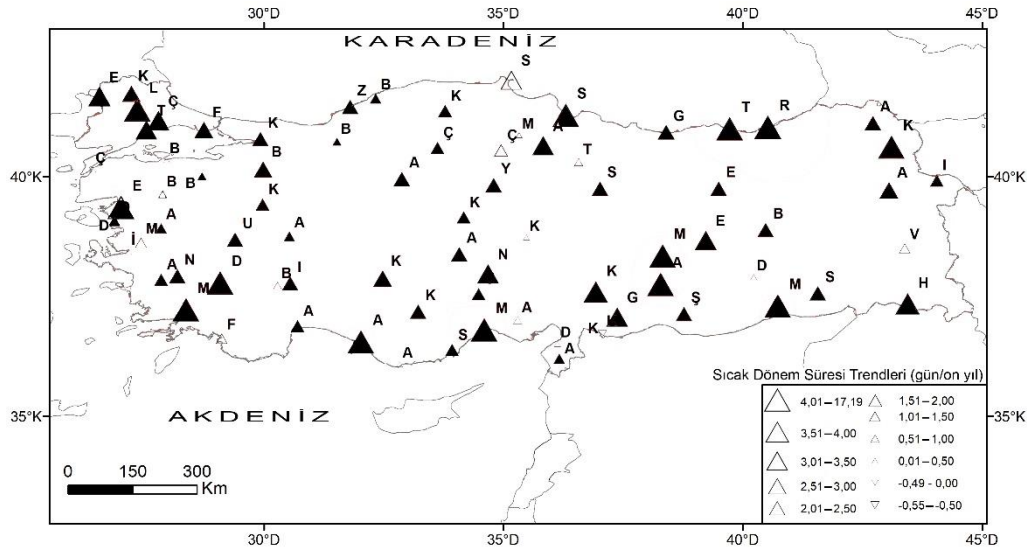
Sıcak dönem süresi indisi, en az 6 ardışık gün boyunca günlük maksimum sıcaklığın 90. persantilin üzerinde olduğu gün sayısı olarak tanımlanmaktadır. Sıcak dönem süresindeki değişimler, insanlarda ölüm oranları, kuraklık ve zararlılara bağlı tarımsal ürün kayıpları, soğutma için gerekli enerji tüketimi ve orman yangını riski gibi birçok çevresel koşul üzerinde belirleyicidir. Basit doğrusal regresyon analizine göre Türkiye’de sıcak dönem süresinin 1950-2017 döneminde gösterdiği eğilimler incelendiğinde, 77 istasyondan 76’sında sıcak dönem süresinin uzadığı gözlenir. Söz konusu artma eğilimi 16 istasyonda % 5, 45 istasyonda % 1 olmak üzere toplam 61 istasyonda istatistiki olarak anlamlıdır. Sıcak dönem süresindeki artış eğilimi Doğu Akdeniz, Güneydoğu Anadolu’nun batısı, Doğu Karadeniz, Trakya ve Ege bölgesinin güneyindeki istasyonlarda çok belirgindir (Şekil 6). Örneğin yıllık sıcak dönem süresi % 1 düzeyinde anlamlı

olmak üzere, her on yıl için Giresun’da 2.4, Gaziantep’te 3.3, Ankara’da 2.6 ve Mersin’de 1.7 gün uzamıştır (Şekil 7). Daha çok denizel etkilere açık olan kıyılarda gözlenen bu kuvvetli artış eğilimi, son yıllarda Doğu Akdeniz havzasında deniz suyu sıcaklıklarındaki artış eğilimi ile paralellik göstermektedir. Buna karşılık sıcak dönem süresi 1 istasyonda (Kilis) istatistiki olarak anlamlı olmayan azalma eğilimi göstermiştir.

1950-2017 döneminde Türkiye’de yıllık sıcak dönem süresi her on yıl için 2.41 gün olmak üzere uzama eğilimi göstermiştir. Coğrafi bölgeler dikkate alındığında, son 68 yıl içinde sıcak dönem süresinin en hızlı artış eğilimi, her on yıl için 3.4 gün ile Akdeniz Bölgesi’nde gözlenmiştir (Tablo 2; Şekil 7).

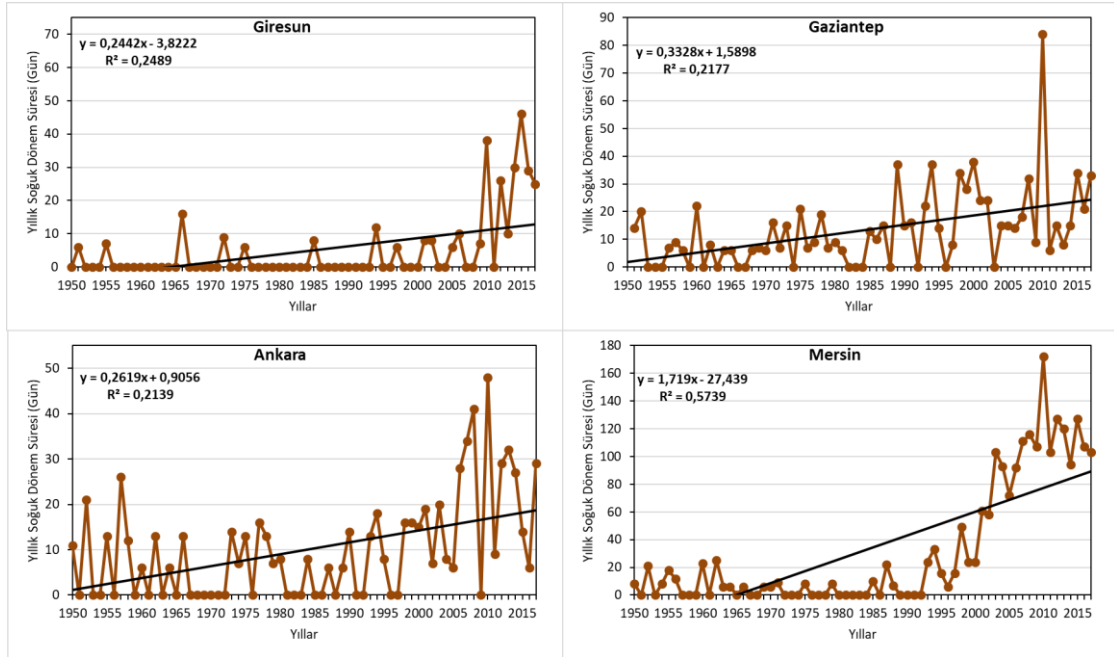
Türkiye ortalamasına göre yıllık sıcak dönem sürelerinin 1950-2017 döneminde gösterdiği değişimler incelendiğinde üç dönem ayırt

edilebilir (Şekil 8). Bunlardan 1950-1966 döneminde, sıcak dönem süreleri genellikle referans dönemi ortalamasının üzerinde kalmıştır. Buna karşılık 1967-1992 yılları arasındaki 26 yıllık dönemde ise 3 yıl dışında sıcak dönem süreleri kısalarak negatif anomali göstermiştir. 77 istasyonun ortalamasına göre Türkiye’de en kısa sıcak dönem süresi 1967 yılına aittir. Bu yılda Yozgat, Çorum ve Merzifon dışında 74 istasyonda sıcak dönem süresi gözlenmemiştir. 1967-1992 yılları arasındaki sıcak dönem süresinin azaldığı diğer yıllar 1982 ve 1983’dür. Bu yıllarda gözlenen sıcak dönem süresindeki kısalma, 1982 yılında faaliyete geçen El Chichón volkanı ve 1982 yılında yaşanan kuvvetli El Niño olayına bağlanabilir. Yapılan çalışmalar şiddetli volkanik püskürmeleri izleyen ilk ve ikinci yaz mevsiminde Türkiye’de maksimum sıcaklıkların azaldığını göstermektedir (Erlat ve Türkeş, 2015b).



Şekil 6- Türkiye’de yıllık sıcak dönem sürelerinin 1950-2017 dönemine ait trendleri (gün/on yıl). Haritada yukarı yöndeki üçgenler artma, aşağı yöndeki üçgenler azalma eğilimini temsil etmektedir. İçi dolu üçgenler ise % 5 düzeyinde anlamlı artma/azalma eğilimlerini göstermektedir.

Figure 6- Spatial distribution of the trends (days per decade) in warm spell duration indices over the period 1950–2017. Here the downward triangles represent negative and upward triangles represent positive trends, respectively. Solid triangles represent the statistically significant trends at the 5% level of significance.



Şekil 7- Türkiye’de seçilen dört istasyonun yıllık sıcak dönem sürelerinde 1950-2017 döneminde gözlenen yıllar arası değişimler ve istatistiksel açıdan anlamlı doğrusal artış eğilimi.

Figure 7- Inter-annual variations and linear trend line of the least-squares regression (bold solid line) in the time series of annual warm spell duration observed during the period of 1950–2016 for some stations.

Tablo 2- Coğrafi bölge ortalamalarına göre 1950–2017 döneminde sıcak dönem sürelerinde en küçük kareler yöntemi ile belirlenen trend analizinin test istatistikleri. Regresyon katsayısı β ’nın istatistiksel anlamlılığı (n-2) serbestlik dereceli Student t testi ile sınıandı (Sınama örneklem değerlerinde istatistiksel olarak % 1 düzeyinde anlamlı olanlar *, % 5 olanlar ** işareti ile gösterilmiştir).

Table 2- Results of the linear regression for the warm spell duration in the period of 1950-2017 according to the geographical regions and the national average (statistically significant trends at the 1% level showed *,. 5% **).

SICAK DÖNEM SÜRESİ İNDİSİ				
BÖLGE	İstasyon sayısı	Eğim katsayısı (gün/on yıl)	Student t	α
Karadeniz	13	2.67	5.46	**
Marmara	12	2.15	4.09	**
Ege	12	2.18	4.29	**
Akdeniz	12	3.36	5.52	**
Güneydoğu Anadolu	7	2.23	3.61	**
İç Anadolu	11	1.85	3.80	**
Doğu Anadolu	10	2.19	3.17	**
TÜRKİYE	77	2.41	4.98	**

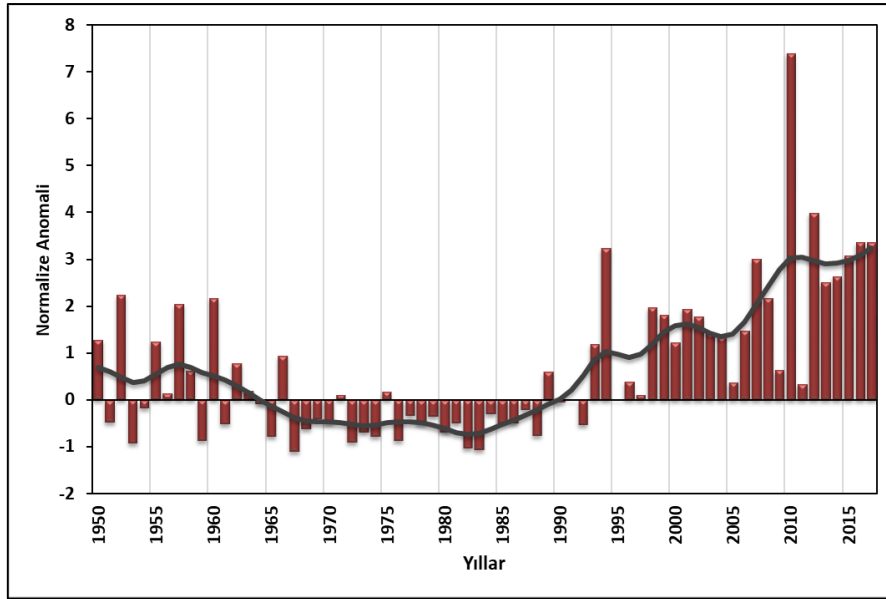
Türkiye’de sıcak dönem süresi Pinatubo volkanının 1991 yılındaki püskürmesinin oluşturduğu soğuma etkisinin azaldığı 1993 yılından sonra tekrar belirgin bir artış eğilimine girmiştir. Son 25 yılı kapsayan bu dönem boyunca

sıcak dönem süreleri referans dönemi ortalamasına göre kesintisiz pozitif anomali göstermiştir. Türkiye’de ortalama 6.7 gün olan sıcak dönem süresinin 49.6 güne ulaştığı 2010, son 68 yıl içinde sıcak dönem süresi açısından en dikkat çekici

yıldır. 2010 yılında 77 istasyonun 41’inde rasat süresindeki en uzun sıcak dönem süresi gözlenmiştir. Bunu 2012 (+ 3.98) ve 2016 (+ 3.37) yılları izlemektedir. 2010 yılında sıcak dönem süresinin uzaması, Doğu Avrupa ile Rusya üzerinde Haziran ayı sonundan Ağustos başlarına kadar devam eden jet akımlarındaki bloke durumu ilişkilidir. Doğu Akdeniz üzerinde gelişen antisiklonik koşullara bağlı olarak Türkiye’nin batısında sıcak hava dalgasının süresi 50-60 gün, orta Anadolu’da 40-50 güne kadar uzamıştır (Demirtaş, 2017).

20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren ekstrem sıcaklıkların frekans, şiddet ve süresinde gözlenen değişimler, kuvvetlenen sera etkisine bağlı olarak atmosfer dinamiği ve buna bağlı olarak büyük ölçekli atmosfer dolaşımındaki değişimlerle ilişkilendirilmektedir. Buna göre, özellikle son yıllarda kuzey kutbunun dünyanın diğer bölgelerine göre daha hızlı ısınması ve buna bağlı

olarak Arktikte deniz buzlarının kapladığı alanda gözlenen hızlı kayıp, orta ve subtropikal enlemlerdeki jet akımlarının bloke olmasına yol açmaktadır. Bu durum üst troposferde kutuplara doğru çıkıntı oluşturan sırtlar ile ekvatora doğru sokulan olukların bir bölge üzerinde kalış süresinin uzaması ve belli bir hava desininin uzun süre etkili olması anlamına gelmektedir. Buna bağlı olarak yaz mevsiminde sıcak, kış mevsiminde ise soğuk hava dalgalarının riski artmaktadır (Screen ve Simmonds, 2014; Kug vd. 2015). Örneğin, 1980-1997 dönemi ile karşılaştırıldığında 1998-2015 döneminde Güneydoğu Avrupa üzerinde 500 hPa seviyesinde zonal hava akımlarının hızında gözlenen azalma ve buna bağlı olarak jet akımlarında bloke durumunun daha uzun süre devam etmesi, Güneydoğu Avrupa kentlerinde sıcak hava dalgalarının şiddet ve süresinde artışa yol açmıştır (Morabito vd., 2017).



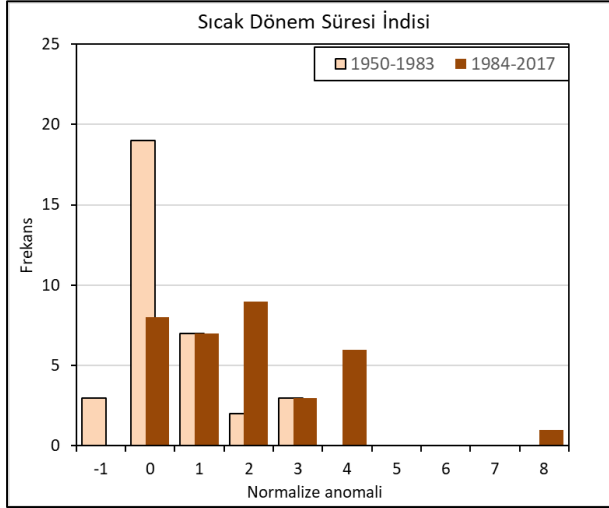
Şekil 8- Türkiye’de sıcak dönem süresinin (gün) 1971-2000 referans dönemine göre standartlaştırılmış yıllık anomalilerindeki uzun süreli dalgalanma ve yıllararası değişimler. Yıllık anomali dizilerindeki yıllararası değişkenlik 9 noktalı Gauss filtresi (—) ile düzgünleştirildi.

Figure 8- Long-term fluctuations and year-to-year variability in standardized annual anomalies of warm spell duration in Turkey relative to standard deviation of 1971–2000 reference period. Bold solid curve shows the 9-point Gaussian smoothing (—).

Sıcak dönem süresi indisine ait histogram incelendiğinde, 1950-1983 döneminde ortalama 6.3 gün olan sıcak dönem süresinin 1984-2017 döneminde 15.0 güne uzadığı görülür. İlk dönemde

en yüksek frekansa, referans dönemine göre 0 ile -1 anomali gösteren değerler sahipken, ikinci dönemde dağılımın değişerek ortalamadan +1 ile +4 anomali değeri gösteren aralığa doğru kaydığı

gözlenir (Şekil 9). 1984-2017 döneminde sıklık dağılımının basıklık oranındaki artış, yıllık sıcak dönem süresinin ortalamadan uzaklaştığını ve daha değişken hale geldiğini de göstermektedir.



Şekil 9: Sıcak dönem süresinin 1950-1983 ve 1984-2017 dönemlerine ait frekans histogramlarının karşılaştırılması. (Sınıf aralıkları 1971-2000 referans dönemi anomalî değerlerine göre düzenlenmiştir).

Figure 9: Comparison of the frequency histograms of warm spell duration for the 1950-1983 and 1984-2017 periods. Class ranges were arranged according to the anomalous values of the 1971-2000 reference period.

4. SONUÇ

Bu çalışmada Türkiye’de iki indis ele alınarak sıcaklık ekstremlerinin sürelerinde Türkiye’de 77 istasyonun 1950-2017 dönemine ait gözlenen değişim ve eğilimler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1-Yıllık soğuk ve sıcak dönem süreleri incelendiğinde, yıllar arası değişkenliğe rağmen soğuk dönem sürelerinin kısalma, sıcak dönem sürelerinin ise uzama eğiliminde olduğu görülür.

2-Basit doğrusal regresyon analizi sonuçlarına göre, son 68 yılda soğuk dönem süreleri istatistiki olarak anlamlı olmak üzere 28 istasyonda azalma, sıcak dönem süreleri ise 61 istasyonda artma eğilimi göstermiştir. Bu durum Türkiye’de sıcak dönem süresindeki değişimin, soğuk dönem

süresine göre çok daha yaygın ve ciddi boyutlarda gerçekleştiğini göstermektedir.

3-Türkiye’de incelenen istasyonlarda en uzun soğuk dönem süreleri 1950’li yıllara aittir. 1950’li yılların aynı zamanda rekor minimum hava sıcaklıkları frekansının en yüksek sayıya ulaştığı dönemlerden biri olması, bu dönemde Türkiye’yi etkileyen soğuk hava dalgalarının hem uzun hem de şiddetli olduğunu göstermektedir. Türkiye’de soğuk dönem süresinde en belirgin değişim 1990’lı yılların ikinci yarısından itibaren gözlenmiştir. Özellikle 1998 yılından itibaren soğuk dönem süreleri belirgin şekilde kısalmış ve son 19 yıl boyunca referans dönemi ortalamasının altında kalmıştır. Bu durum 21. yüzyılın başından itibaren Türkiye’de soğuk hava dalgalarının etki süresinin azaldığını göstermektedir.

4-Türkiye’de yıllık sıcak dönem süreleri 1960’lı yılların sonu ile 1990’lı yılların ilk yarısında kısalarak referans dönemi ortalamasına göre negatif anomalî göstermiştir. Ancak 1993 yılından itibaren sıcak dönem sürelerinde belirgin bir uzama eğilimi gözlenmiştir. Türkiye ortalamasına göre sıcak dönem sürelerinin yaklaşık % 64’ünün son 25 yılda toplanması ve bu dönem içinde referans dönemi ortalamasına göre 3 standart sapmayı aşan 7 yılın bulunması, sıcak dönem süresindeki dramatik artışı göstermektedir. Bu artışın en dikkat çeken örneği ise referans dönemi ortalamasına göre + 7.4 anomalî gösteren 2010 yılıdır. 2010 yılının yaz mevsiminde yaşanan sıcak dalgası, kaydedilen rekor maksimum hava sıcaklıkları frekansı dikkate alındığında şiddetinden çok, son 68 yılda Türkiye’yi etkileyen en uzun süreli sıcak hava dalgası olarak kayıtlara geçmiştir.

5- Elde edilen sonuçlar antropojenik etkilere bağlı olarak tüm dünyada 20. Yüzyılın ikinci yarısında daha belirgin olmak üzere sıcak ekstremlerin sürelerinde gözlenen artış, soğuk ekstremlerin sürelerindeki azalma eğilimi ile uyumludur. 21. yüzyılda ekstrem sıcaklıklara ilişkin öngörüler dikkate alındığında, Türkiye’de soğuk ve sıcak dönem süresinde gözlenen bu değişimin devam etmesi ve bu durumun tarım, sağlık ve enerji sektörlerini olumsuz etkilemesi beklenebilir.

REFERANSLAR

- Alexander, L. V. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *Journal of Geophysical Research*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
- Della-Marta, P. M., Haylock M. R., Luterbacher J., Wanner H. 2007. Doubled length of western European summer heat waves since 1880, *Journal of Geophysical Research*, 112, D15103, doi: 10.1029/2007JD008510.
- Demirtaş, M. 2017. High impact heat waves over the Euro-Mediterranean region and Turkey - in concert with atmospheric blocking and large dynamical and physical anomalies. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A- Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 18 (1), 97 – 114.
- Dizerens, C., Lenggenhager S., Schwander, M., Buck A., Foffa S. 2017. The 1956 Cold Wave in Western Europe. In: Brönnimann, S. (Ed.) Historical Weather Extremes in Reanalyses. *Geographica Bernensia G92*, p. 101-111, DOI: 10.4480/GB2017.G92.09
- Donat, M. G., Alexander, L. V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Dunn, R. J. H., Willett, K. M., Aguilar, E., Brunet, M., Caesar, J., Hewitson, B., Jack, C., Klein Tank, A. M. G., Kruger, A. C., Marengo, J., Peterson, T. C., Renom, M., Oria Rojas, C., Rusticucci, M., Salinger, J., Elayah, A. S., Sekele, S. S., Srivastava, A. K., Trewin, B., Villarroel, C., Vincent, L. A., Zhai, P., Zhang, X., 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*, 118, 2098-2118.
- Erlat, E., Türkeş, M. 2015 (a). Türkiye rekor maksimum ve minimum hava sıcaklıklarının frekanslarında 1950-2014 döneminde gözlenen değişimler ve atmosfer koşullarıyla bağlantıları. *Ege Coğrafya Dergisi*, 24(2), 29-55.
- Erlat, E., Türkeş, M. 2015 (b). 20. Yüzyılın İkinci Yarısında Tropikal Kuşakta Gerçekleşen Volkanik Püskürmelerin Türkiye’de Yaz Hava Sıcaklıklarına Etkisi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 24(1),1-14.
- IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., et al., (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 582 pp.
- Kug, J. S., Jeong, J.H., Jang, Y.S., Kim, B.M., Folland, C.K., Min, S.K., Son, S.W. 2015. Two distinct influences of Arctic warming on cold winters over North America and East Asia. *Nature Geoscience*, 8, 759–62.
- Morabito, M., Crisci, A., Messeri, A., Messeri, G., Betti, G., Orlandini, S., Raschi, A., Maracchi, G. 2017. Increasing Heatwave Hazards in the Southeastern European Union Capitals. *Atmosphere* 8, 115; doi:10.3390/atmos8070115.
- Peterson, T.C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., Plummer, N. (2001). Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Reporters 1998-2001. WMO, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneve, Switzerland, 143 s.
- Saaroni, H., Bitan, A., Alpert, P., Ziv, B. 1996. Continental polar outbreaks into the Levant and eastern Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 16, 1175–1191.
- Screen, J. A., Simmonds, I. 2014. Amplified mid-latitude planetary waves favour particular regional weather extremes. *Nature Climate Change*, 4(8), 704-709.
- Şensoy, S., Demircan, M., Alan, Ü. 2008. Trends in Turkey climate extreme indices from 1971 to 2004. IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu (25-28 Mart 2008) Bildiri Kitabı 453-460.

- Spinoni, J., Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S., Vogta, J., Antofiea, T. 2015. Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010. *International Journal of Climatolology*, 35, 4197–4209.
- Ünal, Y.S., Tan, E., Menteş, S.S. 2013. Summer heat wave over western Turkey between 1965 and 2006. *Theoretical and Applied Climatology*, 112 (1–2), 339–350.
- World Meteorological Organization. 2014. Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2012). WMO-No. 1123. ISBN 978-92-63-11123-4.
- Zhang, X., Yang, F. 2004. RCLimDex (1.0) User Guide. Climate Research Branch Environment Canada. Downsview (Ontario, Canada), 22s.
- <http://etccdi.pacificclimate.org>