

Batı Anadolu'da Ekstrem Sıcaklıklardaki Zamansal Değişimler

Samet AKSOY¹, **Ercan YEŞİLİRMAK²**

¹Toprak Sulama Birliği, Baklan/DENİZLİ

²Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, AYDIN

Öz: Bu çalışmada, Batı Anadolu'da 1966–1976, 1977–1997, 1998–2018 ile 1966–2018 yılları arasında ekstrem sıcaklık indislerinin yıllık ve mevsimlik ölçeklerde zamansal değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Batı Anadolu'da yer alan 35 meteoroloji istasyonunda, 1966–2018 yılları arasında kaydedilen günlük maksimum ve minimum sıcaklıklar kullanılmıştır. RClimDex yazılımı kullanılarak on yedi ekstrem sıcaklık indisi üretilmiştir. İndislerin zamansal değişimlerinin istatistiksel önem düzeyi Mann–Kendall testi ile değişimlerin büyüklükleri ise Sen'in Eğim testi ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, genel olarak, 1966–1976 döneminde soğuk indislerde artış, sıcak indislerde azalma trendi gözlenmiş, sonraki alt dönemlerde ve tüm dönem boyunca, daha kuvvetli olmak üzere, soğuk indislerde azalış, sıcak indislerde ise artış eğilimi bulunmuştur. Yaz mevsimindeki trendler diğer mevsimlerdekinden daha kuvvetlidir. Batı Anadolu'da ekstrem sıcaklık indislerindeki değişimlerin hem yıllık hem de mevsimsel ölçekte, ortalama sıcaklıklardaki değişimlerle uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Batı Anadolu, Ekstrem Sıcaklık, İklim Değişikliği

Temporal Changes in Extreme Temperatures in Western Anatolia

Abstract: The aim of this study was to examine temporal changes of extreme temperature indices in Western Anatolia over the periods 1966–1976, 1977–1997, 1998–2018 and 1966–2018, both in annual and seasonal scales. Daily maximum and minimum temperatures recorded between 1966 and 2018 at 35 meteorological stations in Western Anatolia were used. Seventeen extreme temperature indices were produced using the software RClimDex. Statistical significances of temporal changes of the indices were determined by Mann–Kendall test, and magnitudes of the changes by Sen's Slope Estimator. The results showed general but weak increases for cold indices, and decreases for hot indices during 1966–1976. These patterns reversed during next subperiods, and during whole period of record, with stronger changes, both in annual and seasonal scales. The trends were stronger in summer than in other seasons. It can be concluded that the changes in extreme temperature indices over Western Anatolia were in comply with the changes in average temperature.

Keywords: Western Anatolia, Extreme Temperature, Climate Change

GİRİŞ

Birleşmiş Milletler Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin 2021 yılı değerlendirme raporuna göre, insan faaliyetleri, 1850–1900 ile 2010–2019 arasındaki dönemde küresel ortalama yüzey sıcaklığında 0.8°C ile 1.3°C arasında bir sıcaklık artışına neden olmuştur (IPCC, 2021). 1880–2020 arasında, en sıcak 7 yılın tamamı 2014 yılından sonra, en sıcak on yıl ise 2005'den sonra gerçekleşmiştir. 2011 ile 2020 yıllar arasını kapsayan on yıllık dönem, 20. Yüzyıl ortalamasından 0.82°C daha yüksek olup en sıcak on yıllık dönem olarak kayıtlara geçmiştir. En sıcak on yıl sırasıyla, 2016, 2020, 2019, 2015, 2017, 2018, 2014, 2010, 2013 ve 2005'dir (NOAA, 2021). Ortalama sıcaklık artışı mekânsal olarak homojen değildir. Örneğin, Kuzey yarıkürede Güney yarıküreden, karalarda okyanuslardan daha fazladır (Jones ve Moberg, 2003; NOAA, 2021). Sıcaklık artış hızı, zamansal olarak da homojen değildir. 20. yüzyılın başından 1940 yıllarına kadar bir "ısınma", ardından 1970'li yılların ortasına kadar bir "soğuma", sonra 1997–1998'deki kuvvetli El-Nino hadisesine kadar "hızlı ısınma", devamında ise 21. Yüzyılın ilk on yılında sıcaklık artış hızında bir "yavaşlama" olmuştur (Meehl, 2015; Gonzalez–Hidalgo ve ark., 2016; Li ve ark., 2015). Batı Anadolu'da, 1950 sonrasında, küresel ortalama sıcaklıklarda görülen zamansal değişim paterninin benzeri yaşanmıştır (Yeşilirmak ve Atatanır, 2021).

Ortalama değerler yanında, ekstrem sıcaklıklardaki değişimler de önemlidir. Çünkü, ekosistemler ve tüm canlılar ekstrem hava sıcaklık olaylarının şiddetine, sıklığına ve süresine hassastırlar (Liu ve ark., 2006). Ortalama sıcaklıklardaki değişime, maksimum ve minimum sıcaklıklardaki artışlar eşlik etmiştir (Wibig ve Glowicki, 2002). Analizler günlük minimum sıcaklığın, günlük maksimum sıcaklıktan daha hızlı arttığını göstermiştir (Brito–Castillo ve ark., 2009).

Ülkemiz geneli veya bölgeleri için ekstrem sıcaklıklardaki uzun dönemli doğrusal değişimler araştırma konusu olmuştur (Şensoy ve ark., 2008; Acar Deniz, 2013; Acar Deniz ve Gönençgil, 2017, Toros ve Abbasnia, 2017; Acar Deniz ve ark., 2018). Ancak, "soğuma", "hızlı ısınma" ve "yavaşlama" dönemleri boyunca veya mevsim ölçeğinde nasıl bir değişim meydana geldiği araştırılmamıştır. Bu boşluğu doldurmak amacıyla, Batı Anadolu'da bazı ekstrem sıcaklık indislerinde meydana gelen uzun dönemli doğrusal değişimlerin, hem yıllık ve mevsimlik ölçekte olmak üzere, küresel "soğuma"

***Sorumlu Yazar:** eyesilirmak@adu.edu.tr Bu çalışma yüksek lisans tez ürünüdür.

Geliş Tarihi: 13 Aralık 2021

Kabul Tarihi: 05 Haziran 2022

dönemine denk gelen 1966–1976, “hızlı ısınma” dönemini kapsayan 1977–1998 ve 2000’li yılların ilk on yılındaki “yavaşlama” dönemini de kapsayan 1998–2018 ile tüm veri periyodu olan 1966–2018 dönemlerinde incelenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma alanı Anadolu’nun batısını kapsamakta olup güneyde Akdeniz, kuzeyde Marmara Denizi ve batıda Ege

Denizi ile çevrelenmiştir. Genel olarak kıyı kesimlerinde Akdeniz ve Marmara iklimleri, iç bölgelere doğru karasal iklim görülmektedir. Kuzeye doğru Marmara iklimi, güney ve batı bölgelerinde Akdeniz iklimi baskındır.

Akdeniz iklimi, yazları sıcak ve kurak, kışları ılıman ve yağışlıdır. Kıyı bölgelerde kar yağışı ve don olayları nadir rastlanırken, iç bölgelerde kışlar karlı ve soğuk geçer (Şensoy ve ark., 2008).

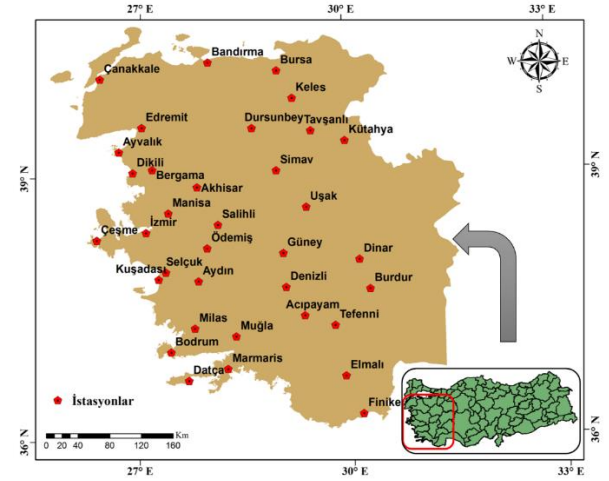
Çizelge 1. Meteoroloji istasyonları ve coğrafi konumları (MGM, 2021)

No	İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (K)	Boylam (D)	Yükselti (m)
1	17890	Acipayam	37.4337	29.3498	903
2	17184	Akhisar	38.9118	27.8233	90
3	17234	Aydın	37.8402	27.8379	53
4	17175	Ayvalık	39.3113	26.6861	9
5	17114	Bandırma	40.3315	27.9965	59
6	17742	Bergama	39.1098	27.1710	52
7	17290	Bodrum	37.0328	27.4398	22
8	17238	Burdur	37.7220	30.2940	966
9	17116	Bursa	40.2308	29.0133	99
10	17112	Çanakkale	40.1410	26.3993	2
11	17221	Çeşme	38.3036	26.3724	8
12	17297	Datça	36.7078	27.6917	36
13	17237	Denizli	37.7620	29.0921	424
14	17180	Dikili	39.0737	26.8880	5
15	17862	Dinar	38.0597	30.1531	863
16	17700	Dursunbey	39.5778	28.6322	642
17	17145	Edremit	39.5895	27.0192	22
18	17952	Elmalı	36.7372	29.9121	1108
19	17375	Finike	36.3024	30.1458	3
20	17824	Güney	38.1515	29.0587	808
21	17220	İzmir	38.3949	27.0819	7
22	17695	Keles	39.9150	29.2313	1055
23	17232	Kuşadası	37.8597	27.2652	22
24	17155	Kütahya	39.4171	29.9891	965
25	17186	Manisa	38.6153	27.4049	67
26	17298	Marmaris	36.8395	28.2452	17
27	17884	Milas	37.3027	27.7804	61
28	17292	Muğla	37.2095	28.3668	647
29	17822	Ödemiş	38.2157	27.9642	112
30	17792	Salihli	38.4831	28.1234	110
31	17854	Selçuk	37.9423	27.3669	17
32	17748	Simav	39.0925	28.9786	809
33	17704	Tavşanlı	39.5384	29.4941	836
34	17892	Tefenni	37.3161	29.7792	1157
35	17188	Uşak	38.6712	29.4040	916

Çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğüne (MGM) ait 35 istasyonda 1966–2018 yılları arasında kaydedilen, günlük maksimum (Tmax) ve minimum sıcaklık (Tmin) verileri kullanılmıştır. İstasyon isimleri Çizelge 1’de verilmiş, çalışma alanındaki konumları Şekil 1’de gösterilmiştir.

Tmax ve Tmin değerleri kullanılarak, Çizelge 2’de verilen ekstrem sıcaklık indisleri türetilmiştir. Bu indisler, Dünya Meteoroloji Örgütü Klimatoloji Komisyonu (CCI) ile İklim Değişikliği ve Tahmini (CLIVAR) projesinin, İklim Değişikliği Tespiti ve İndisleri Uzman Ekibi (ETTCCDI) ortaklığıyla geliştirilmiştir (Klein Tank ve ark., 2009). İndislerin oluşturulmasında R ortamında çalışan RCLimindex paketinden yararlanılmıştır (Zhang ve Yang, 2004). İndisler 1966–1976, 1977–1997, 1998–2018 ve 1966–2018 dönemleri için yıllık ve mevsimlik (kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar) olarak üretilmiştir. İndis serilerinin zamansal değişimlerinin (yani, trendlerinin) istatistiksel önem düzeyi Mann–Kendall testi ile, trend eğimleri ise Sen’in Eğim Testi ile elde edilmiştir (Salmi ve ark., 2002; Partal ve Kahya, 2006). İstatistiksel olarak %95 düzeyinde önemli seri korelasyon içeren serilere TFPW

(Trend-Free Pre-Whitening) yöntemi uygulanmıştır (Yue ve ark., 2002; Burn ve ark., 2004). Diğer taraftan, varyasyon katsayısı çok düşük ($Cv=0.1$) olan serilere ise TFPW uygulanmamıştır (Bayazit ve Önöz, 2007).



Şekil 1. Çalışma alanı ve istasyonların konumları

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan ekstrem sıcaklık indisleri

İndis	İndisin adı	Açıklaması	Birimi
FD0	Donlu Günler (Frost Days)	Günlük minimum sıcaklığın, 0°C'den düşük olduğu günlerin sayısı	Gün
SU25	Yaz Günleri (Summer Days)	Günlük maksimum sıcaklığın, 25°C'den yüksek olduğu günlerin sayısı	Gün
ID0	Buzlu Günler (Ice Days)	Günlük maksimum sıcaklığın, 0°C'den düşük olduğu günlerin sayısı	Gün
TR20	Tropikal Geceler (Tropical Nights)	Günlük minimum sıcaklığın, 20°C'den yüksek olduğu günlerin sayısı	Gün
GSL	Bitki Büyüme Mevsimi Uzunluğu (Growing Season Length)	Günlük ortalama sıcaklığın, ardışık olarak en az 6 gün boyunca 5°C'den yüksek olduğu dönemden, 1 Temmuz'dan sonra günlük ortalama sıcaklığın, ardışık olarak 6 gün boyunca 5°C'den düşük olduğu döneme kadar olan süre	Gün
TXx	Max Tmax	Günlük maksimum sıcaklıkların aylık maksimum değeri	°C
TNx	Max Tmin	Günlük minimum sıcaklıkların aylık maksimum değeri	°C
TXn	Min Tmax	Günlük maksimum sıcaklıkların aylık minimum değeri	°C
TNn	Min Tmin	Günlük minimum sıcaklıkların aylık minimum değeri	°C
TN10p	Soğuk Geceler (Cool Nights)	Günlük minimum sıcaklığın 10uncu persentilden düşük olduğu günlerin yüzdesi	Gün
TX10p	Soğuk Gündüzler (Cool Days)	Günlük maksimum sıcaklığın 10uncu persentilden düşük olduğu günlerin yüzdesi	Gün
TN90p	Sıcak Geceler (Warm Nights)	Günlük minimum sıcaklığın 90ıncı persentilden yüksek olduğu günlerin yüzdesi	Gün
TX90p	Sıcak gündüzler (Warm Days)	Günlük maksimum sıcaklığın 90ıncı persentilden yüksek olduğu günlerin yüzdesi	Gün
WSDI	Sıcak Dönem İndikatörü (Warm Spell Duration Indicator)	Ardışık olarak en az 6 gün olmak üzere günlük maksimum sıcaklığın, 90ıncı persentilden yüksek olduğu günlerin sayısı	Gün
CSDI	Soğuk Dönem İndikatörü (Cold Spell Duration Indicator)	Ardışık olarak en az 6 gün olmak üzere günlük minimum sıcaklığın, 10uncu persentilden düşük olduğu günlerin sayısı	Gün
DTR	Günlük Sıcaklık Aralığı (Diurnal Temperature Range)	Günlük maksimum sıcaklık ile günlük minimum sıcaklık farkının aylık ortalaması	°C
PHSD (SU35)	Bitkiler için Stresli Gün Sayısı (Plant Heat Stress Days)	Günlük maksimum sıcaklığın 35°C'den yüksek olduğu günlerin sayısı	Gün

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yıllık ölçekte, tüm periyotlarda %95 düzeyinde istatistiksel olarak önemli trende sahip istasyon sayıları ile tüm istasyonlardaki trendlerin ortalaması Çizelge 3'de verilmiştir. İlk alt dönem olan 1966–1976 boyunca istatistiksel olarak önemli trende sahip istasyon sayıları, toplam istasyon sayısının yarısının altındadır ve azalış trendleri artış trendlerinden fazladır. En fazla istasyonda azalışın meydana geldiği indisler TMAXmean (13 istasyonda), TMINmean (15 istasyonda), TX90p (8 istasyonda) ve TN90p (14 istasyonda)'dir. Artış trendleri FDO, TN10p ve TX10p gibi soğuk indislerdedir. Bu indisler sırasıyla, sadece 6, 10 ve 2 istasyonda artmıştır. Sıcak indislerde az da olsa genel bir azalma eğilimi söz konusudur. Örneğin, TMAXmean 13 istasyonda, TX90p 8 istasyonda, WSDI 7 istasyonda ve SU35 4 istasyonda azalmıştır. CSDI, ID0, SU25, TNn, TNx, Tx ve Txn indisleri ya hiçbir istasyonda değişim göstermemiş ya da en fazla bir istasyonda azalmıştır. DTR 9 istasyonda artmış, 5 istasyonda azalmıştır; GSL ise 6 istasyonda azalmıştır. İkinci (1977–1997) ve üçüncü (1998–2018) alt dönemlerde, 1966–1976 alt dönemindeki paternin genel olarak tersine döndüğü görülmektedir. Artan yönlü trendler, azalan yöndeki trendlerin önüne geçmiştir. En dramatik ve en belirgin değişim TMAXmean, TMINmean, TN90p, TR20 ve TX10p indislerinde gerçekleşmiştir. İlk

dönemde sırasıyla, 13 ve 15 istasyonda azalış gösteren TMAXmean ve TMINmean, üçüncü alt dönemde yaklaşık yine aynı sayıda istasyonda artış yönüne geçmiştir. İkinci alt dönemde ise, artış ve azalış gösteren istasyon sayıları bir miktar birbirlerine yaklaşmış; 2 istasyon ile 8 istasyon arasında değişmiştir. TN90p, ikinci alt dönemdeki 8 ve üçüncü dönemdeki 20 istasyondaki artan yönlü trendlerle, azalıştan artışa geçmiştir. Benzer şekilde TR20'de ikinci dönemde 20, üçüncü dönemde 17 istasyonda artan yönlü trendlere sahip olmuştur. TX10p, ilk iki dönemde sırasıyla, 2 ve 5 istasyonda artış göstermiş olmasına rağmen, üçüncü dönemde 20 istasyonda azalmıştır. Diğer indislerdeki değişimler daha nispeten daha azdır. Tüm veri aralığı olan 1966–2018 döneminde trend yönlerinin belirginleştiği görülmektedir (Çizelge 3). On indis için (SU25, SU35, TMAXmean, TMINmean, TN90p, TNx, TR20, TX90p, Tx ve WSDI) 23 ile 35 arasında değişen sayıda istasyonda artan yönlü trend söz konusudur. Soğuk indislerde ise azalma söz konusudur. Özellikle TN10p ve TX10p, sırasıyla 32 ve 34 istasyonda azalmış ve hiçbir istasyonda artış göstermemiştir. CSDI 2 istasyonda, FDO 8 istasyonda azalmıştır. GSL 5 istasyonda artarken, ID0 hiçbir istasyonda değişim göstermemiştir.

Çizelge 3. Yıllık ölçekte alt dönemlerde ve tüm dönem boyunca %95 düzeyinde istatistiksel olarak önemli trend saptanan istasyon sayıları ve tüm istasyonların trend büyüklüklerinin (birim/yıl) ortalamaları

İndis (Yıllık)	1966 – 1976			1977 – 1997			1998 – 2018			1966 – 2018		
	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend
CSDI		1	-0.070	3	1	-0.007			0.000	2		-0.017
DTR	9	5	0.026	3	10	-0.011	4	4	-0.007	13	12	-0.002
FDO	6		1.864	5		0.390		3	-0.424		8	-0.120
GSL		6	-1.902			0.191			0.351	5		0.197
ID0		1	0.090			0.013			-0.025			-0.003
SU25		1	-0.169	6		0.370	1		0.243	32		0.368
SU35		4	-0.372	4		0.172	5	1	0.256	32		0.385
TMAXmean		13	-0.082	2	4	0.001	13		0.040	35		0.033
TMINmean		15	-0.110	8	2	0.014	14		0.043	32		0.035
TN10p	10		0.431	1	8	-0.136		4	-0.096		32	-0.170
TN90p		14	-0.567	8		0.116	20		0.487	34		0.304
TNn			-0.050		1	-0.018			0.006	9		0.032
TNx		1	-0.079	7		0.040			-0.003	31		0.048
TR20		2	-0.557	20		0.829	17		0.608	28		0.704
TX10p	2		0.207	5		0.072		20	-0.206		34	-0.116
TX90p		8	-0.454	6		0.102	5	1	0.172	35		0.233
TXn			0.004			0.009			-0.027	3		0.024
TXx			-0.071		1	-0.016		4	-0.051	23		0.038
WSDI		7	-0.185	3		0.026	7		0.455	31		0.246

Kış mevsiminde %95 düzeyinde istatistiksel olarak önemli trende sahip istasyon sayıları ile tüm istasyonların trend büyüklüklerinin ortalamaları Çizelge 4’de verilmiştir. 1966–1976 döneminde, yıllık ölçekte olduğu gibi, genel olarak azalan trendler baskındır. TN90p, TNx ve TXx, sırasıyla, 12, 23 ve 16 istasyonda azalmıştır. Bu indislerin ortalama trend büyüklükleri, sırasıyla, -1.105 gün/yıl, -0.399°C/yıl ve -0.357°C/yıl’dır. Diğer indislerde bu dönemde ya hiç değişim olmamış ya da en fazla 6 istasyonda azalma görülmüştür. 1977–1997 döneminde ise TN90p’nin azalış gösteren istasyon sayısı 8’e, TXx’in ise 1’e düşmüştür. DTR, diğerlerinden farklı olarak 13 istasyonda artmış, bir istasyonda azalmıştır. Diğer indisler hiçbir istasyonda değişim göstermemiştir.

Günümüze daha yakın alt dönem olan 1998–2018 döneminde, azalan yönde trend gösteren istasyon sayısının hemen hemen sıfıra indiği, artan yönlü trende sahip istasyon

sayısının da arttığı görülmektedir. TN90p ve TXx, bu alt dönemde 11 istasyonda artmıştır. Tüm veri dönemi (1966–2018) ele alındığında ise, yine yıllık ölçekte olduğu gibi, artan yönlü trendler oldukça baskındır. TN10p 7 istasyonda, TX10p 1 istasyonda azalış gösterip hiçbir istasyonda artış göstermezken, DTR 6 istasyonda artmış ve 5 istasyonda azalmıştır. Diğer indisler, sayıları 5 ile 32 arasında değişen istasyonda artan trende sahiptir. Örneğin, TX90p 32 istasyonda, TXx 26 istasyonda artmıştır ve bu indislerin tüm istasyonlardaki trend büyüklüklerinin ortalaması sırasıyla, 0.252 gün/yıl ve 0.041°C/yıl’dır.

İlkbahar mevsiminde %95 düzeyinde istatistiksel olarak önemli trende sahip istasyon sayıları ile tüm istasyonların trend büyüklüklerinin ortalamaları, Çizelge 5’te verilmiştir. 1966–1976 döneminde azalan trendler, artan trendlere göre daha baskın olmakla birlikte, herhangi bir indis en fazla dört istasyonda azalmıştır.

Çizelge 4. Kış mevsiminde alt dönemlerde ve tüm dönem boyunca %95 düzeyinde istatistiksel olarak önemli trend saptanan istasyon sayıları ve tüm istasyonların trend büyüklüklerinin (birim/yıl) ortalamaları

İndis (Kış)	1966 – 1976			1977 – 1997			1998 – 2018			1966 – 2018		
	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend
DTR	3		0.099	13	1	0.030	1	1	0.035	6	5	0.004
TMAXmean		1	-0.151			0.001	3		0.067	23		0.026
TMINmean		6	-0.227			-0.017			0.055	10		0.022
TN10p			0.421			0.116			-0.015		7	-0.077
TN90p	1	12	-1.105	1	8	-0.243	11		0.498	15		0.129
TNn			0.013			-0.024			0.006	8		0.028
TNx		23	-0.399			-0.065	1		0.062	6		0.021
TX10p			0.155			0.035			-0.061		1	-0.030
TX90p		6	-0.838			0.011	5		0.504	32		0.252
TXn			0.081			-0.001			-0.032	5		0.019
TXx		16	-0.357		1	-0.050	11		0.113	26		0.041

Çizelge 5. İlkbahar mevsiminde alt dönemlerde ve tüm dönem boyunca %95 düzeyinde istatistiksel olarak önemli trend saptanan istasyon sayıları ve tüm istasyonların trend büyüklüklerinin (birim/yıl) ortalamaları

İndis (İlkbahar)	1966 – 1976			1977 – 1997			1998 – 2018			1966 – 2018		
	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend
DTR	1	1	0.009	1	4	-0.005	5	3	0.011	9	6	0.004
TMAXmean			-0.013			-0.028	11		0.080	32		0.034
TMINmean		3	-0.025			-0.011	21		0.062	27		0.029
TN10p		1	-0.201	2	1	0.054		8	-0.192		28	-0.129
TN90p		4	-0.345	1	1	-0.022	8		0.406	25		0.203
TNn			-0.039			0.025	3		0.130	26		0.049
TNx		4	-0.096	7		0.074	1		0.031	20		0.030
TX10p			-0.035	5		0.273		14	-0.247		25	-0.106
TX90p			-0.297	1		0.081			0.138	29		0.154
TXn			0.128			0.022	6		0.168	12		0.041
TXx			-0.080	1		0.052			0.053	4		0.021

Alt dönem günümüze yaklaştıkça TN10p ve TX10p haricindeki indisler, genel olarak artan yöndeki istasyon sayısı yükselmekte, azalan yönde trende sahip istasyon sayısı ise azalmaktadır. TN10p, 1977–1997 döneminde iki istasyonda artmış ve bir istasyonda azalmış olmasına rağmen, 1998–2018 döneminde hiçbir istasyonda artış görülmemiş, sekiz istasyonda azalmıştır. TX10p ise ilk alt dönem olan 1966–1976 döneminde hiçbir istasyonda değişmezken, 1977–1997 döneminde bir istasyonda artmış fakat 1998–2018'de 14 istasyonda azalmıştır. Diğer yandan, TMAXmean ve TMINmean ilk iki alt dönemde ciddi bir değişim göstermezken 1998–2018'de, sırasıyla, 11 ve 21 istasyonda artmıştır. TMAXmean, TMINmean TN10p ve TX10p'nin 1998–2018 alt dönemindeki trend büyüklüklerinin tüm istasyonlardaki ortalaması sırasıyla, 0.080°C/yıl, 0.062°C/yıl, -0.192 gün/yıl ve -0.247 gün/yıl'dır. Tüm veri döneminde (1966–2018), indisler arasındaki ayırım daha net ortaya çıkmaktadır. TN10p ile TX10p sırasıyla, 28 ve 25, istasyonda azalırken, DTR, TXn ve Tx haricindeki diğer indisler 20 ile 32 arasında değişen sayıda istasyonda artmıştır. TXn ve Tx ise daha az sayıda sırasıyla, 12 ve 4 istasyonda artmıştır. Rakamlar DTR için daha dengelidir; 9 istasyonda artış, 6 istasyonda azalma görülür. Genel bir azalma eğilimi gösteren TN10p ve TX10p için ortalama trend büyüklükleri, sırasıyla, -0.128 ve -0.106 gün/yıl'dır. En çok sayıda istasyonda trend mevcut olan TMAXmean'in ortalama trend büyüklüğü 0.034°C/yıl'dır.

Yaz mevsiminde %95 düzeyinde istatistiksel olarak önemli trende sahip istasyon sayıları ile tüm istasyonların trend büyüklüklerinin ortalamaları Çizelge 6'da verilmiştir. Yaz mevsiminde 1966–1976 döneminde en çok sayıda değişim

gösteren istasyonlar TMAXmean (6 istasyonda azalan), TMINmean (5 istasyonda azalan), TN10p (7 istasyonda artan), TN90p (9 istasyonda azalan) ve TX10p (6 istasyonda artan)'dir. 1977–1997 döneminde ise bu indislerde dramatik değişimler olmuştur. Bir önceki alt dönemde görülen artışlar azalışa, azalışlar da artışa dönüşmüştür. Örneğin TMINmean, 1966–1976 döneminde 5 istasyonda azalma göstermişken 1977–1997'de 28 istasyonda artmıştır. Bir başka örnek ise TN10p'dir. Bu indis ilk alt dönemde 7 istasyonda artmasına rağmen, bir sonraki alt dönem olan 1977–1997'de 25 istasyonda artmıştır. DTR'deki değişim de çok belirgindir, ilk alt dönemde ikiye istasyonda azalma ve artma göstermesine rağmen, 1977–1997 döneminde 18 istasyonda azalmıştır. 1998–2018 alt döneminde geçildiğinde ise bir önceki alt dönemdeki paternin zayıflamakla birlikte, aynen devam ettiği görülmektedir. Örneğin, TMINmean'in artış gösterdiği istasyon sayısı 10'a; TN10p'in azalış gösterdiği istasyon sayısı 5'e ve TN90p'nin arttığı istasyon sayısı 8'e düşmüştür. Tüm çalışma dönemi boyunca (1966–2018) ise, trendlerin bazı indislerde tüm istasyonlara yayıldığı görülmektedir. Başka bir ifadeyle, bazı indislerdeki değişimler tüm istasyonlarda meydana gelmiştir. TMAXmean, TMINmean ve TN90p istasyonlarının tamamında artmış, TN10p ve TX10p'de tüm istasyonlarda azalmıştır. TNx sadece 1 istasyonda artarken, DTR'de 8 istasyonda artmış, 18 istasyonda azalmıştır. Diğer indisler ise en az 24 istasyonda artmış ve hiçbir istasyonda azalma göstermemiştir. TN10p ile TX10p'nin ortalama trend büyüklükleri sırasıyla, -0.266 gün/yıl ve -0.220 gün/yıl; TMAXmean, TMINmean, TN90p ve TX90p'nin ise sırasıyla, 0.051°C/yıl, 0.062°C/yıl, 0.616 gün/yıl ve 0.300 gün/yıl olmuştur.

Çizelge 6. Yaz mevsiminde alt dönemlerde ve tüm dönem boyunca %95 düzeyinde istatistiksel olarak önemli trend saptanan istasyon sayıları ve tüm istasyonların trend büyüklüklerinin (birim/yıl) ortalamaları

İndis (Yaz)	1966 – 1976			1977 – 1997			1998 – 2018			1966 – 2018		
	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend
DTR	2	2	-0.007	18		-0.047	1	10	-0.029	8	18	-0.010
TMAXmean		6	-0.069	9	1	0.028	1	2	0.006	35		0.051
TMINmean		5	-0.073	28		0.074	10		0.035	35		0.062
TN10p	7		0.489		25	-0.551		5	-0.077		35	-0.266
TN90p		9	-0.548	21		0.447	8		0.548	35		0.616
TNn		1	-0.044	2		0.038	7		0.044	30		0.049
TNx			-0.085	7		0.047			-0.003	1		0.050
TX10p	6		0.774	1	6	-0.200	1	1	-0.030		35	-0.220
TX90p		3	-0.152	1	2	0.098	3	2	-0.052	34		0.300
TXn			-0.092			0.061	2		0.008	29		0.057
TXx			-0.074			-0.018		4	-0.059	24		0.038

Sonbahar mevsiminde %95 düzeyinde istatistiksel olarak önemli trende sahip istasyon sayıları ile tüm istasyonların trend büyüklüklerinin ortalamaları, Çizelge 7’de verilmiştir. 1966–1976 döneminde çok az istasyonda değişim söz konusudur. DTR indisi 4 istasyonda artmış, 1 istasyonda azalmıştır. TN10p ise sadece 4 istasyonda artmıştır. Diğer indislerde ya hiçbir istasyonda değişmemiş ya da en fazla 1 istasyonda değişime uğramıştır. Sonraki iki alt dönemde değişim meydana gelen istasyon sayısı 8 veya daha azdır; sadece TNx 1998–2018 döneminde 12 istasyonda artış göstermiştir. Tüm veri döneminde (1966–2018) ise değişimler çok daha belirgindir.

Çizelge 7. Sonbahar mevsiminde alt dönemlerde ve tüm dönem boyunca %95 düzeyinde istatistiksel olarak önemli trend saptanan istasyon sayıları ve tüm istasyonların trend büyüklüklerinin (birim/yıl) ortalamaları

İndis (Sonbahar)	1966 – 1976			1977 – 1997			1998 – 2018			1966 – 2018		
	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend	Artan	Azalan	Trend
DTR	4	1	0.014	1	8	-0.023	2	4	-0.017	5	14	-0.009
TMAXmean			-0.137			0.038	2		0.152	29		0.338
TMINmean			-0.048	7		0.017	5		0.042	30		0.036
TN10p	4		0.627	2	6	-0.117		1	-0.070		23	-0.152
TN90p			-0.098	5		0.173	8		0.472	30		0.272
TNn			-0.465			-0.045	2		0.124	8		0.069
TNx			0.051	6		0.065	12		0.090	31		0.048
TX10p			0.080	5		0.112		6	-0.231		27	-0.130
TX90p			-0.018	1		0.185	1		0.207	27		0.315
TXn		1	-0.462			-0.100	1		0.095			0.017
TXx		1	0.049	2		0.047	3		0.079	29		0.049

Küresel ortalama sıcaklık sanayi devriminden itibaren, atmosfere salınan sera gazları (özellikle, karbondioksit) nedeniyle artmaktadır. Fakat bu artış hem mekânsal hem de zamansal olarak homojen değildir. Dünyanın farklı coğrafyalarında ısınma miktarları farklı olduğu gibi, herhangi bir coğrafyada ısınma miktarları zaman içinde sabit değildir (Bonsal ve ark., 2001). Özellikle yirminci yüzyılda, genel olarak bir artış söz konusu olsa da, belirli dönemlerde soğumanın, yani sıcaklıklarda azalmanın meydana geldiği olmuştur. Yirminci yüzyılın başından 1940'lara kadar bir "ısınma", sonra 1970'lere kadar bir "soğuma", daha sonra 1997/98'deki kuvvetli El-Nino hadisesine kadar "hızlı ısınma", sonrasında da, yirmibirinci yüzyılın ilk on yılında, sıcaklık artış hızında bir "yavaşlama" ("warming hiatus" veya "warming slowdown") söz konusudur (Meehl, 2015; Gonzalez-Hidalgo ve ark., 2016; Li ve ark., 2015). Bu çalışmadaki tüm veri aralığı olan 1966–2018 dönemi, üç alt döneme (1966–1976, 1977–1997 ve 1998–2018) ayrılmıştır. İlki olan 1966–1976, ortalama sıcaklıklardaki yavaş soğuma dönemine denk gelmektedir. Sonraki 1977–1997 hızlı ısınma dönemine denk gelmekte ve en sonuncu alt dönem olan 1998–2018 de ortalama sıcaklık artış hızındaki yavaşlama

TN10p ve TX10p sırasıyla, 23 ve 27 istasyonda azalmıştır. Bu indislerdeki ortalama trend sırasıyla, -0.152 ve -0.130 gün/yıl'dır. TXn hiçbir istasyonda artmamış ve azalmamıştır. TNn sadece 8 istasyonda artmış; DTR ise 5 istasyonda artmış, 14 istasyonda azalmıştır. Diğer indislerde ise, sayıları 27 ile 30 arasında değişen istasyonda olmak üzere, yaygın ve belirgin artış eğilimleri söz konusudur. En fazla sayıda azalmanın meydana geldiği TN10p ve TX10p'nin ortalama trend büyüklükleri sırasıyla, -0.152 ve -0.130 gün/yıl'dır. Artan yönlü trendin meydana geldiği indislerde ise örnek olarak, TNx 0.048°C/yıl, TN90p 0.272 gün/yıl artış eğilimine sahiptirler.

dönemini içine almaktadır. Batı Anadolu'da da ortalama sıcaklıklarda benzer bir zamansal değişim deseni söz konusudur. Yeşilirmak ve Atatanır (2021), Batı Anadolu'da, yıllık ortalama sıcaklıklarda, 1950 ile 1976 arasında zayıf bir soğuma trendi (-0.24 °C/on yıl) ve sonrasında kuvvetli bir ısınma trendi (0.48 °C/on yıl) olduğunu saptamışlardır. Küresel ısınmanın getirdiği olumsuzluklar giderek daha fazla ülkemiz ve dünya kamuoyunu meşgul etmektedir. Genel kabul, ısınmanın getirdiği zararların yararlarından daha fazla olacağı şeklindedir. Ortalama sıcaklıklardaki artış yaygın olarak takip edilmektedir. Diğer yandan, ekstrem hadiselerin (basit olarak, aşırı yüksek ve düşük sıcaklıkların) ne yöne evrildiği de ayrı bir önem arz etmektedir. Ekstrem hadiselerdeki değişimlerin türetilmiş çeşitli indisler yardımıyla araştırılması da ülkemizde ve dünyada pek çok çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmanın ülkemizdeki benzer diğer çalışmalardan farkı, yirminci yüzyılın üçüncü çeyreğindeki hafif soğuma ve ardından gelen hızlı ısınma dönemlerinde ekstrem hadiselerin davranışı ile mevsimler arasında davranış farklılığını ortaya koymaktır. İlk alt dönemde (1966 ile 1976 arası), ortalama sıcaklıklarda görülen soğuma dönemi içindedir ve bu dönemde yıllık

ölçekte "sıcak" indislerde azalış, "soğuk" indislerde ise artış eğilimi meydana gelmiştir. Her bir indiste azalış veya artış trendi gösteren istasyon sayısı, toplam istasyon sayısının %50'sinden azdır. Bu sonuçlar, ekstrem sıcaklıkların ortalama sıcaklıklarda görülen soğuma ile uyumlu bir eğilime sahip olduğunu göstermektedir. Mevsimlik ölçekteki değişimlerin de yıllık ölçekteki benzer olduğu bulunmuştur. Bu dönemde, kış mevsimindeki değişimler, diğer mevsimlerden daha belirgin olup, sıcak indislerde, diğer mevsimlere nazaran daha çok istasyonda azalma meydana gelmiştir. Yaz mevsiminde ise soğuk indislerdeki artışlar daha belirgindir. Bir sonraki alt dönemler olan 1977–1997 ile 1998–2018'de ise yıllık ölçekte ilk alt dönemdeki azalışların yerlerini artışlara bıraktığı görülmektedir. FDO, TN10p ve TX10p gibi soğuk indislerde de azalma vardır. Mevsimlik değerlendirmede ise, yıllık ölçekteki benzer şekilde tüm mevsimlerde sıcak indisler daha çok istasyonda artış göstermiştir. Soğuk indislerdeki azalma ise daha çok ilkbahardadır. Diğer yandan, kış mevsiminde daha az değişim meydana geldiği, diğer mevsimlerde özellikle yaz mevsimindeki değişimlerin ise arttığı görülmektedir. Bunun olası sebebi de 1976 sonrasında yaz mevsimindeki ısınmanın diğer mevsimlerden fazla olmasıdır. Yeşilirmak ve Atatanır (2021), Batı Anadolu'da 1976 ile 2018 arasında yaz mevsimindeki ortalama sıcaklık artışının diğer mevsimlerden daha fazla olduğunu, kış mevsiminin de en düşük artış hızına sahip olduğunu bulmuştur.

Ekstrem sıcaklık hadiselerindeki artışın, sosyo–ekonomik sonuçları olacaktır. Olumsuz etkileri en aza indirme yolunda,

KAYNAKLAR

- Acar Deniz Z (2013) Türkiye'de Yaz Mevsimindeki Sıcak Günler ve Sıcak Günlerin Eğilimleri. *Türk Coğrafya Dergisi* 61: 1-10.
- Acar Deniz Z, Gönençgil B (2017) Türkiye Sıcaklık Ekstremlerindeki Değişkenlikler. *Coğrafya Dergisi* 35: 41-54.
- Acar Deniz Z, Gönençgil B, Gümüšoğlu NK (2018) Long-term Changes in Hot and Cold Extremes in Turkey. *Coğrafya Dergisi* 37: 57-67.
- Bayazit M, Önöz B (2007) To Prewritten or Not To Prewritten in Trend Analysis. *Hydrological Sciences Journal* 52: 611-624.
- Brito–Castillo L, Diaz Castro SC, Ulloa Herrera RS (2009) Observed Tendencies in Maximum and Minimum Temperatures in Zacatecas, Mexico and Possible Causes. *International Journal of Climatology* 29: 211-221.
- Bonsal BR, Zhang X, Vincent LA, Hogg WD (2001) Characteristics of Daily and Extreme Temperatures Over Canada. *Journal of Climate* 14: 1959-1976.

çeşitli önlemlerin alınması gerektiği açıktır. Hem ortalamalardaki hem de ekstremlerdeki değişimler, pek çok diğer sektör yanında tarımı da olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilecektir. Değişen şartlar, mevcut tarım ürünlerinin yetiştirilmesi için daha az uygun olabileceği gibi, halen yetiştirilmeyen başka türlerin yetiştirilmesine olanak tanıyabilecektir. Bu çalışmada elen alınan ekstrem sıcaklık indislerinden FDO, GSL ve SU35 tarımsal açıdan özel bir öneme sahiptir. Günümüze yakın dönem ele alındığında, hafif de olsa, FDO'daki azalma eğilimi ile GSL'deki artış eğilimi, yani daha az don hadisesi ile daha uzun bir bitki büyüme mevsimi çalışma alanındaki tarımsal faaliyetler açısından olumlu görünmektedir. Fakat, SU35'deki daha şiddetli artışların getirdiği zarar, FDO ile GSL'deki değişimin getirdiği faydadan daha fazla olabilir.

SONUÇ

Çalışma sonucunda, Batı Anadolu'da ortalama sıcaklıkların azaldığı hafif soğuma döneminde (1966-1976), ekstrem hadiselerde de değişim meydana geldiği saptanmıştır. Bu dönemde, ortalama sıcaklıklardaki hafif soğumaya, soğuk indislerde artış, sıcak indislerde azalış eşlik etmiştir. Ardından gelen hızlı ısınma dönemlerinde (1977-1997 ve 1998-2018) ise, ortalama sıcaklıklarda artış ile birlikte, sıcak indislerde artış, soğuk indislerde azalış meydana gelmiştir. Mevsimler karşılaştırıldığında ise en fazla değişim yaz mevsiminde, en az değişim ise kış mevsiminde gerçekleşmiştir. Bu sonuç da mevsimler arasındaki asimetrik ısınma eğilimleri ile uyumlu görünmektedir.

Burn DH, Cunderlik JM, Pietroniro A (2004) Hydrological Trends and Variability in the Liard River Basin. *Hydrological Sciences Journal* 49: 53-67.

Gonzalez–Hidalgo JC, Angulo DP, Brunetti M, Cortesi N (2016) Recent Trend in Temperature Evolution in Spanish Mainland (1951–2010): From Warming to Hiatus. *International Journal of Climatology* 36: 2405–2416.

IPCC (2021) Summary for Policy Makers. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S, Caud N, Chen Y, Goldfarb L, Gomis MI, Huang M, Leitzell K, Lonnoy E, Matthews JBR, Maycock TK, Waterfield T, Yelekçi O, Yu R, Zhou B (eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. SPM1-SPM41), Cambridge University Press. In Press.

Jones PD, Moberg A (2003) Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate*, 16: 206-223.

- Klein Tank AMG, Zwiers FW, Zhang X (2009) Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation. Geneva, World Meteorological Organization, WMO-TD No.1500
- Li Q, Yang S, Xu W, Wang XL, Jones P, Parker D, Zhou L, Feng Y, Gao Y (2015) China Experiencing the Recent Warming Hiatus. *Geophysical Research Letters* 42: 889-898.
- Liu X, Yin Z-Y, Shao X, Qin N (2006) Temporal Trends and Variability of Daily Maximum and Minimum, Extreme Temperature Events, and Growing Season Length Over the Eastern and Central Tibetan Plateau During 1961–2003. *Journal of Geophysical Research* 111: D19109.
- Meehl GA (2015) Decadal Climate Variability and the Early-2000s Hiatus. *US Clivar*, 13, 1-6.
- NOAA (2021) Global Climate Report 2020–Annual 2020. National Centers for Environmental Information, National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013> [Erişim tarihi: 13/11/2021]
- Partal T, Kahya E (2006) Trend Analysis in Turkish Precipitation Data. *Hydrological Processes* 20: 2011-2026.
- Şensoy S, Demircan M, Alan Ü (2008) Trends in Turkey Climate Extreme Indices from 1971 to 2004. Third International Conference BALWOIS, 453-460.
- Salmi T, Maatta A, Anttila P, Ruoho-Airola T, Amnell T (2002) Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann–Kendall Test and Sen’s Slope Estimates-the Excel Template Application Makesens, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland.
- Toros H, Abbasnia M (2017) Trend Analysis of Extreme Temperature Indices for Marmara Region of Turkey. Eighth Atmospheric Sciences Symposium, 01-04 November, İstanbul, Turkey.
- Wibig J, Glowicki B (2002) Trends of Minimum and Maximum Temperature in Poland. *Climate Research* 20: 123-133.
- Yeşilirmak E, Atatanır L (2021) Variations in Erosion Risk in Western Anatolia (Turkey): Modified Fournier Approach. *COMU Journal of Agricultural Faculty* 9: 179-188.
- Yue S, Pilon P, Phinney B, Cavadias G (2002) The influence of Autocorrelation on the Ability to Detect Trend in Hydrological Series. *Hydrological Processes* 16: 1807-1829.
- Zhang X, Yang F (2004) RClimDex (1.0) User Manual. Climate Research Branch, Environment Canada, Downsview, Ontario, Canada.

