



## Araştırma Makalesi (Research Article)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (2):249-258  
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1412233>

Onur KAYAN<sup>1\*</sup>

Ecmel ERLAT<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı, 35100, İzmir,  
Türkiye

<sup>2</sup> Ege Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi,  
Coğrafya Bölümü, 35100, İzmir, Türkiye

\* Sorumlu yazar (Corresponding author):  
[onur.kayan01@gmail.com](mailto:onur.kayan01@gmail.com)

# Ege Bölgesi'nde Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile kuraklık değerlendirmesi (1951-2022)\*

Evaluation of drought with Standardized Precipitation  
Evapotranspiration Index (SPEI) in the Aegean Region  
(1951-2022)

\* Bu makale 1. Yazarın yüksek lisans tezinden özetlenmiştir.

**Alınış** (Received):30.12.2023

**Kabul Tarihi** (Accepted):13.05.2024

## ÖZ

**Amaç:** İklim değişikliğine bağlı olarak yükselen sıcaklık, artan buharlaşma koşulları ve bazı bölgelerde gözlemlenen yağışlardaki azalma eğilimi kuraklık olaylarının frekansını, şiddetini, süresini ve alansal dağılışını etkilemektedir. Bu çalışmanın amacı, tarımsal verimliliği yüksek olan Ege Bölgesi'nin kuraklık koşullarının zamansal değişimini Standardize Yağış ve Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) yöntemiyle değerlendirmektir.

**Materyal ve Yöntem:** Ege Bölgesi'ni kapsayan 8 grid hücrenin 1951- 2022 dönemine ait SPEI verileri kullanılmıştır. Ege Bölgesi'ndeki meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların zamansal değişimini belirlemek için 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğine ait SPEI değerleri incelenmiştir. Aylık SPEI değerinin -1'e eşit veya daha düşük olduğu dönem kuraklık olarak tanımlanmıştır.

**Araştırma Bulguları:** Zaman serileri Ege Bölgesi'nde kuraklık olaylarının 1980'li yılların ortalarından itibaren arttığını ve daha kurak koşullara doğru kaydığını göstermektedir. SPEI-3-6 ve 12 zaman ölçeğinde ortak olarak bölgede 2001, 2007, 2008, 2016 ve 2021 yıllarının belirgin şekilde kurak yıllar olarak öne çıktığı görülmüştür.

**Sonuç:** Bölgede daha kurak koşullara doğru kayma eğilimi başta toprakta depolanan nem miktarı ve yerüstü/yer altı su kaynaklarında önemli değişimlere neden olacaktır. Bu durum tarımsal verim ve üretimi doğrudan etkileyecektir. Kuraklaşma eğilimi bölgesel ekonomiyi olumsuz etkilerken özellikle kırsal bölgelerdeki gelir düzeyinde ciddi azalmalar yaşanacağı söylenebilir.

## ABSTRACT

**Objective:** Rising temperatures due to climate change, increasing evaporation conditions and the decreasing trend in precipitation observed in some regions affect the frequency, severity, duration and spatial distribution of drought events. The aim of this study is to evaluate the temporal change of drought conditions in the Aegean Region, which has high agricultural efficiency, with the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) method.

**Material and Methods:** SPEI data for the period 1951-2022 of 8 grid cells covering the Aegean Region were used. SPEI values of 3, 6 and 12 months time scales were examined to determine the temporal changes of meteorological, agricultural and hydrological droughts in the Aegean Region. A period in which the monthly SPEI value was equal to or lower than -1 was defined as drought.

**Results:** Time series show that drought events in the Aegean Region have increased since the mid-1980s and have shifted towards drier conditions. It has been observed that the years 2001, 2007, 2008, 2016, and 2021 stand out as significantly dry years in the region on the SPEI-3-6 and 12 time scales.

**Conclusion:** The tendency to shift towards drier conditions in the region will cause significant changes in the amount of moisture stored in the soil and surface/underground water resources. This situation will directly affect agricultural efficiency and production. While the aridification trend negatively affects the regional economy, it can be said that there will be serious decreases in the income level, especially in rural regions.

**Anahtar sözcükler:** Evapotranspirasyon, iklim değişikliği, kuraklık indisleri, kuraklık şiddeti, zaman dizisi analizi

**Keywords:** Evapotranspiration, climate change, drought indices, drought severity, time-series analysis

## GİRİŞ

Kuraklık, hemen hemen tüm iklim bölgelerinde doğal olarak oluşan ve çoğunlukla bir mevsim veya bir yıl gibi geçici bir süre boyunca alınan yağış miktarındaki azalmayla ilişkili olarak ortaya çıkan iklim olaylarından biridir. Evrensel olarak kabul edilmiş bir kuraklık tanımı bulunmamakla birlikte kuraklığa ilişkin farklı tanımlamaların “yağış eksikliği”, “uzun bir süre devam etmesi” ve “olumsuz etkilerin ortaya çıkması” noktalarında birleştikleri görülmektedir (Mishra & Singh, 2010). Yüksek hava sıcaklıkları, kuvvetli rüzgârlar, düşük bağıl nem ve yağışların zamanlamasında gözlenen değişimler oluşan kuraklıkların şiddet, süre ve alansal dağılışı üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır.

Kuraklık olayları meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik olmak üzere dört temel yaklaşıma göre sınıflandırılmaktadır (Wilhite & Glantz, 1985). İlk üç yaklaşım kuraklığı fiziksel bir olay olarak ölçerken sonuncu yaklaşım kuraklığı suya olan arz ve talep açısından değerlendirmektedir. Bir bölgede belirli bir dönemde yağışların, uzun yıllar ortalamasının altına düşmesi meteorolojik kuraklık olarak tanımlanmaktadır. Tarımsal kuraklık, toprak neminin büyük ölçüde azalması sonucu bitkilerin büyüüp gelişebilmeleri için ihtiyaç duydukları en düşük su kapasitesine ulaşamadıkları koşullarda ortaya çıkmaktadır (Wingley & Atkinson, 1977). Hidrolojik kuraklık, yağış açığına bağlı olarak yer altı ve yerüstü sularında görülen azalmadır. Sosyo-ekonomik kuraklık ise diğer kuraklık çeşitlerinin bir sonucu olarak iklim koşullarından kaynaklanan su arzındaki eksiklik nedeniyle ekonomik bir mala olan talebin arzı aşması durumunda ortaya çıkmaktadır (Wilhite & Glantz, 1985).

Kuraklıklar süresi, şiddeti ve etkili olduğu alana bağlı olarak çevresel, sosyal ve ekonomik olarak yıkıcı etkiler oluşturabilmektedir. Kuraklıkların çevresel etkilerine örnek olarak orman ağaçlarında büyüme oranının azalması hatta ölüm olaylarını tetiklemesi, toprağın karbon depolamasında azalma ve toprak yapısının bozulması gösterilebilir (Robinson et al., 2016). Kuraklığın sosyal ve ekonomik etkileri ise istihdamdaki düşüşler ve iş kayıpları veya rekreasyon faaliyetlerinin askıya alınması gibi dolaylı etkilere bağlı olarak ortaya çıkabilmektedir (Freire-González et al., 2017).

Kuraklık doğal olarak meydana gelmesine rağmen insan kaynaklı iklim değişikliği genel olarak hidrolojik süreçleri hızlandırarak kuraklık olaylarının daha hızlı başlamasına ve daha şiddetli hale gelmesine yol açmıştır. Gözlemler Güney Amerika'nın büyük bir kısmında, Amerika Birleşik Devletleri'nin Ortabatısında ve Doğu Avrupa'dan Doğu Asya'ya uzanan bir kuşakta kurak koşulların daha sık ve şiddetli yaşandığını göstermektedir. Akdeniz bölgesi de küresel ortalamaya göre daha hızlı ısınma eğilimi ve azalan yağış miktarı ile kuraklaşma eğiliminin yüksek olduğu alanlardan biridir (Lionello & Scarascia, 2018; Chiang et al., 2021). Yapılan çalışmalar Akdeniz havzasında yer alan Türkiye'nin büyük bir bölümünün yarı kurak iklim koşullarının etkisi altında olduğunu ve küresel ölçekte daha kurak koşullara doğru kayma eğiliminde olduğunu göstermektedir (Dabanlı et al., 2017; Topçu, 2022; Jamal et al., 2022). Örneğin Türkiye'de 250 meteoroloji istasyonunun verileri 12 aylık Standardize Yağış İndisine göre incelendiğinde, 1931-2010 döneminde ekstrem, şiddetli ve orta şiddetteki kuraklıkların Trakya ve Ege Bölgesi'nde 1990'lı yılların ilk yarısında gözlemlendiği belirtilmiştir (Dabanlı et al., 2017).

Ege Bölgesi Türkiye'nin kuraklaşma eğiliminin gözlemlendiği bölgelerimizin başında gelmektedir. Örneğin Ege Bölgesi'nde 1971-2001 dönemine ait 14 gözlem istasyonunun yağış verilerinden yararlanılarak yapılan çalışmada, Standardize Yağış İndisi sonucuna göre kuraklık analizinde özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında istasyon bazında normal seviyenin üzerinde kuraklık yaşandığı belirlenmiştir (Pamuk vd., 2004). Yukarı Gediz Havzası'nda yer alan 6 meteoroloji istasyonunun 1960-2017 yılları arasındaki aylık, mevsimlik ve yıllık yağışları Standardize Yağış İndisine göre değerlendirildiğinde mevsimsel kuraklıklarda Aralık ayı yağışlarının belirleyici olduğu, kuraklığın en sık kış mevsiminde görüldüğü ve bu mevsimin yağışlarında azalmaya bağlı olarak 1972, 1992 ve 2008 yıllarında çok şiddetli kuraklıkların yaşandığı belirlenmiştir. Yukarı Gediz Havzası'nda 1984 ve öncesi yıllarda nemli dönemlerin daha hakim olduğu fakat bu tarihten

sonra kuraklıkların daha sık, daha şiddetli ve daha uzun süreli gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır (Kumanlioglu & Fıstıkoğlu, 2019). Küçük Menderes havzasında 5 meteoroloji istasyonunun verilerine göre 1960-1985 döneminde havzada kuraklığın şiddetinin arttığı, sıklığının ise zamanla azaldığı saptanmıştır. 3 aylık SPEI değerlerine göre en uzun kurak dönem 28 ay ile 2016-2018 döneminde, 6 aylık SPEI değerlerine göre 30 ay süre ile 2016-2018 döneminde, 12 aylık SPEI değerlerine göre 40 ay ile 1991-1994 döneminde gözlenmiştir (Eriş et al., 2020). Ege Bölgesi'nde bulunan 29 meteoroloji istasyonunun 1975-2014 yılları arasındaki 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde SPEI değerleri incelendiğinde, bölgede kısa zaman ölçeğinde 2007 yılı, uzun zaman ölçeğinde 2008 yılı çok şiddetli kurak yıllar olarak belirlenmiştir. Ege Bölgesi'nde uzun zaman ölçeğinde 1985-1995 yılları arasındaki 10 yıllık dönem sürekli ardıl orta dereceli ve şiddetli, 2007-2009 yılları arası ise çok şiddetli kurak bir dönem olarak saptanmıştır. 2011 yılından sonra ise şiddeti düşük kurak dönemlerin ardıl olarak gerçekleştiği belirlenmiştir (Özçelik & Akkuzu, 2023).

Bu çalışmada meteoroloji istasyonu gözlemleri yerine gridli veri kullanılarak Ege Bölgesi'nde uzun döneme ait 3-6-12 aylık zaman ölçeklerinde kuraklık koşullarının zamansal değişimi Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) yöntemiyle değerlendirilmiştir.

## MATERYAL ve YÖNTEM

### Materyal

Bu çalışmada Ege Bölgesi'ni (36°16'-39°54' Kuzey enlemleri ile 26°12'-31°44' Doğu boylamları arasında) kapsayan 8 grid hücresinin 1951-2022 dönemine ait SPEI verileri kullanılmıştır (Çizelge 1). Küresel SPEI veritabanı SPEIbase, 0.5 derecelik uzaysal çözünürlük ve aylık zaman çözünürlüğü ile küresel ölçekte kuraklık koşulları hakkında uzun süreli veri sunmaktadır (SPEI Global Drought Monitor, 2023).

**Çizelge 1.** Çalışmada kullanılan grid hücreleri ve coğrafi koordinatları

**Table 1.** Grid cells and geographical coordinates used in the study

Sıra	İstasyon	İstasyon Enlemi	İstasyon Boylamı	Kullanılan Grid Enlemi	Kullanılan Grid Boylamı
1	İzmir	38.39	27.08	38.25	27.25
2	Aydın	37.84	27.84	37.25	27.25
3	Manisa	38.62	27.40	38.75	27.25
4	Muğla	37.21	28.37	37.25	28.25
5	Denizli	37.76	29.09	37.75	28.75
6	Uşak	38.67	29.40	38.75	29.25
7	Kütahya	39.42	29.99	39.75	29.75
8	Afyonkarahisar	38.74	30.55	38.75	30.25

### Yöntem

Kurak dönemleri şiddet, süre ve coğrafi kapsam açısından nesnel bir şekilde ölçmek oldukça zordur. Bu nedenle kuraklığın izlenmesi ve analizi, çeşitli gösterge ve indisler sayesinde yapılmaktadır (WMO, 2016). Literatürde en sık kullanılan kuraklık indisleri arasında Standardize Yağış İndisi (SPI), Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI), Eriş Kuraklık İndisi (Im), Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (PDSI) gelmektedir (Mishra & Singh, 2010; Türkeş & Tatlı, 2010). Bunlardan SPEI, Vicente-Serrano et al., (2010) tarafından geliştirilmiş, SPI indisinin değiştirilmiş halidir. SPEI'nin hesaplama yöntemi SPI ile oldukça benzer olmakla birlikte, farklı olarak yağışın yanında hava sıcaklığı parametresinin kullanılması ve bitki örtüsünün terleme-buharlaşma dengesinin de hesaba katılmasıdır.

Ege Bölgesi'ndeki kuraklıkların zamansal dağılımının belirlenmesinde sıcaklık ve potansiyel evapotranspirasyon değerlerini de dikkate alan Standardize Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) yararlanılmıştır. SPEI Küresel Kuraklık Monitörü veri seti SPEI hesaplamasında East Anglia Üniversitesi

İklim Araştırma Birimi'nden alınan aylık yağış ve potansiyel buharlaşma-terleme verileri kullanılmakta ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) tahmin etmek için Thornthwaite denklemini temel almaktadır (SPEI Global Drought Monitor, 2023).

Çalışmada Ege Bölgesi'ndeki meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların zamansal değişimini belirlemek için 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeğine (SPEI-3, SPEI-6 ve SPEI-12) ait SPEI değerleri incelenmiştir. Kuraklık, aylık SPEI değerinin -1'e eşit veya daha düşük olduğu dönem olarak tanımlanmıştır. SPEI göre nemlilik/kuraklık sınıflandırılması ve indis değerleri Çizelge 2'de yer almaktadır.

**Çizelge 2.** Standardize Yağış-Evapotranspirasyon İndisinde indis değerleri ve indis değerlerinin olasılıklarının sınıflandırması (Vicente-Serrano et al., 2010)

**Table 2.** Classification of index values and probabilities of index values in the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (Vicente-Serrano et al., 2010)

Sınıflandırma	SPEI indis değerleri	Olasılık
Ekstrem nemli	$\geq 2.0$	0.02
Çok nemli	1.50 to 1.99	0.06
Orta nemli	1.49 to 1.00	0.10
Normal	0.99 to -0.99	0.65
Orta kurak	-1.00 to -1.49	0.10
Şiddetli kurak	-1.50 to -1.99	0.06
Ekstrem kurak	$\leq 2.00$	0.02

## ARAŞTIRMA BULGULARI veTARTIŞMA

### 3 aylık SPEI İndis Değerlendirmesi

Ege Bölgesi'ni kapsayan 8 grid verisinin ortalamasına göre 3 aylık SPEI indis değerlerinde 1951-2022 yılları arasındaki 72 yıllık sürede %91.3 normal ve %8.7 oranında orta kurak koşullar egemen olmuştur.

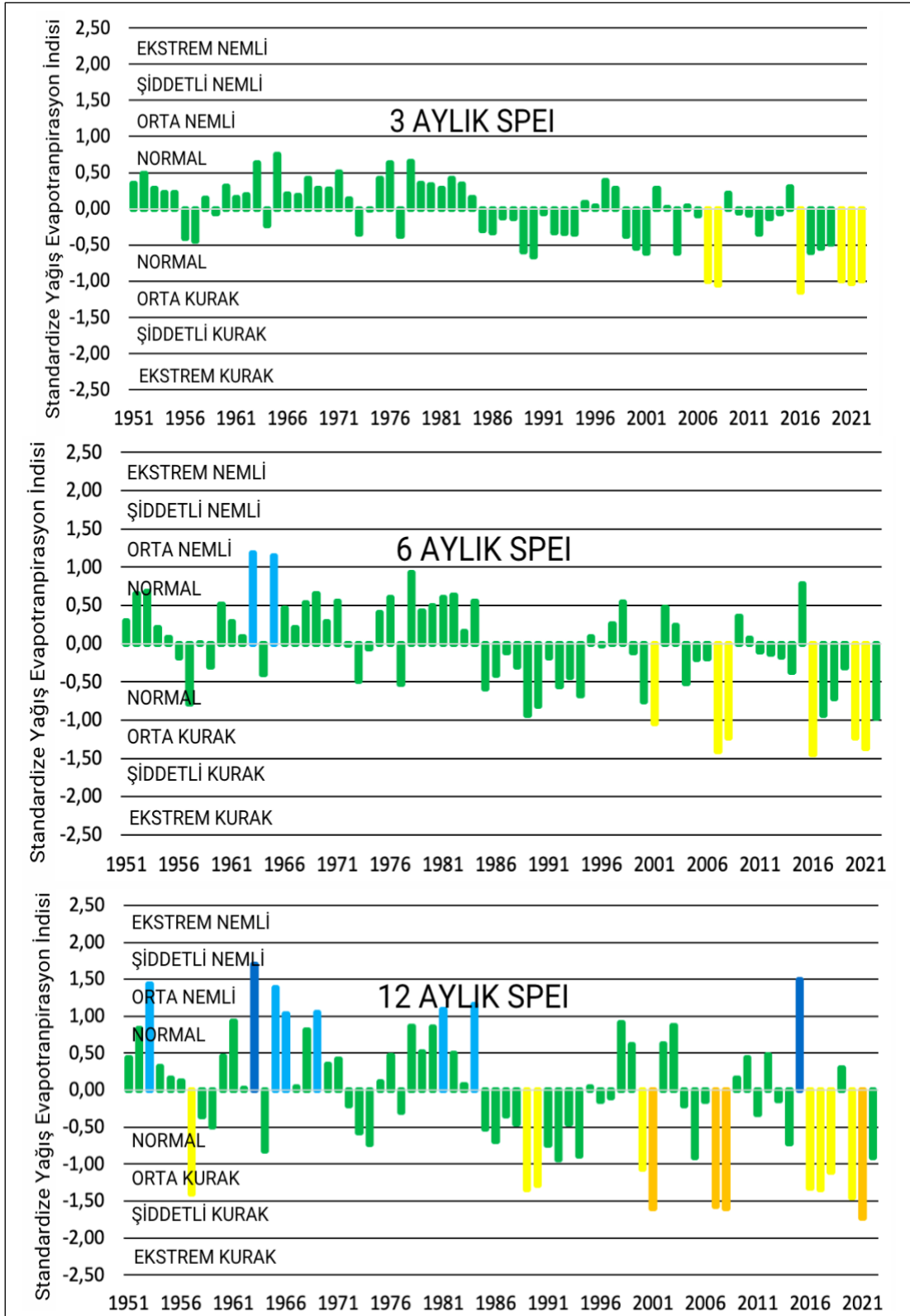
Ege Bölgesi'ne ait 3 aylık SPEI grafiği incelendiğinde, SPEI değerlerinin 1985 yılına kadar pozitif anomali gösterdiği göze çarpmaktadır. 1985 yılından itibaren ise negatif anomali değerlerinin ağırlık kazandığı görülmektedir. 3 aylık SPEI indis değerlerine göre 2000'li yıllardan itibaren meteorolojik kuraklıklar daha sık gözlenmeye başlamış ve kuraklığın şiddeti artmıştır. Nitekim 1951 yılından bu yana orta şiddette kurak yıllar 2007, 2008, 2016, 2020, 2021 ve 2022 yıllarında gözlenmiştir (Çizelge 3 & Şekil 1).

1-3 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanan SPEI değerlendirmeleri meteorolojik kuraklığı tanımlamada yardımcı bir gösterge olduğundan, Çizelge 3'de belirtilen yıllarda azalan yağış/ yükselen sıcaklık ve artan buharlaşma koşullarına bağlı olarak meteorolojik kuraklık yaşandığı söylenebilir.

**Çizelge 3.** Ege Bölgesi'ndeki 8 grid hücresi ortalamasına göre 1951-2022 dönemi 3 aylık SPEI verileri ( $-1 \leq$ )

**Table 3.** 3-month SPEI data for the period 1951-2022 according to the average of 8 grid cells in the Aegean Region ( $-1 \leq$ )

SIRA	YIL	SPEI-3	İNDEKS SINIFI
1	2007	-1,00	ORTA KURAK
2	2008	-1,04	ORTA KURAK
3	2016	-1,14	ORTA KURAK
4	2020	-1,00	ORTA KURAK
5	2021	-1,03	ORTA KURAK
6	2022	-1,00	ORTA KURAK



Şekil 1. Ege Bölgesi'ni kapsayan 8 grid verisi ortalamasına göre 1951-2022 dönemi SPEI-3, SPEI-6, SPEI-12 zaman serisi.

Figure 1. SPEI-3, SPEI-6, SPEI-12 time series for the period 1951-2022, based on the average of 8 grid data covering the Aegean Region.

Ege Bölgesi'nde kıyı kuşağında kuraklık şiddetinin daha fazla olduğu, bölgenin iç kısımlarına doğru kuraklık şiddetinin azaldığı görülmektedir. İzmir, Manisa ve Aydın'ın yer aldığı grid hücrelerinde orta kurak indis sınıfına dâhil koşulların oranı %7-8 iken bu değer Afyonkarahisar'ın yer aldığı grid hücresinde %3'ün altına düşmektedir (Çizelge 4).

**Çizelge 4.** Ege Bölgesi'ndeki 8 grid hücresinin 1951-2022 dönemi 3 aylık SPEI kuraklık frekansı (%)

**Table 4.** 3-month SPEI drought frequency of 8 grid cells in the Aegean Region for the period 1951-2022

Sıra	Grid Hücresi	Enlem	Boylam	Orta Kurak %	Şiddetli Kurak %	Aşırı Kurak %
1	İzmir	38.39	27.08	8.7	0.0	0.0
2	Aydın	37.84	27.84	7.2	1.4	0.0
3	Manisa	38.62	27.40	8.7	0.0	0.0
4	Muğla	37.21	28.37	5.8	0.0	0.0
5	Denizli	37.76	29.09	4.3	0.0	0.0
6	Uşak	38.67	29.40	4.3	0.0	0.0
7	Kütahya	39.42	29.99	0.0	0.0	0.0
8	Afyonkarahisar	38.74	30.55	2.9	0.0	0.0

### 6 aylık SPEI İndis Değerlendirmesi

Ege Bölgesi'ni kapsayan 8 grid verisinin ortalamasına göre 6 aylık SPEI indis değerlerinde 1951-2022 yılları arasındaki 72 yıllık sürenin %87,0 normal, %4,3 orta nemli ve %8,7 oranında orta kurak indis sınıfı içinde kaldığı görülmektedir. Ege Bölgesi'ne ait 6 aylık SPEI grafiği incelendiğinde, SPEI değerlerinin 3 aylık SPEI grafiğinde olduğu gibi 1985 yılına kadar pozitif anomali gösterdiği göze çarpmaktadır. 1985 yılından itibaren ise negatif anomali değerlerinin ağırlık kazandığı görülmektedir. SPEI indis değerlerinin 2001, 2007, 2008, 2016, 2020 ve 2021 yıllarında orta kurak seviyelerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 1 & Çizelge 5). 3-6 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanan SPEI değerlendirmeleri tarımsal kuraklığı tanımlamada yardımcı bir gösterge olduğundan, Çizelge 5 de belirtilen yıllarda azalan yağış/ yükselen sıcaklık ve artan buharlaşma koşullarına bağlı olarak tarımsal kuraklık yaşandığı söylenebilir.

**Çizelge 5.** Ege Bölgesi'ndeki 8 grid hücresi ortalamasına göre 1951-2022 dönemi (-1≤) 6 aylık SPEI verileri

**Table 5.** 6-month SPEI data for the period 1951-2022 according to the average of 8 grid cells in the Aegean Region (-1≤)

SIRA	YIL	SPEI-6	İNDEKS SINIFI
1	2001	-1,04	ORTA KURAK
2	2007	-1,41	ORTA KURAK
3	2008	-1,23	ORTA KURAK
4	2016	-1,44	ORTA KURAK
5	2020	-1,23	ORTA KURAK
6	2021	-1,37	ORTA KURAK

İzmir, Manisa ve Aydın'ın yer aldığı grid hücrelerinde şiddetli kurak indis sınıfına dahil koşulların oranı %4-5 iken bu değer diğer grid hücrelerinde %3'ün altına düşmektedir (Çizelge 6).

**Çizelge 6.** Ege Bölgesi'ndeki 8 grid hücresinin 1951-2022 dönemi 6 aylık SPEI kuraklık frekansı (%)

**Table 6.** 6-month SPEI drought frequency of 8 grid cells in the Aegean Region for the period 1951-2022

Sıra	Grid Hücresi	Enlem	Boylam	Orta Kurak	Şiddetli Kurak %	Aşırı Kurak %
1	İzmir	38.39	27.08	7,2	5,8	0,0
2	Aydın	37.84	27.84	11,6	4,3	0,0
3	Manisa	38.62	27.40	7,2	5,8	0,0
4	Muğla	37.21	28.37	8,7	1,4	0,0
5	Denizli	37.76	29.09	10,1	1,4	0,0
6	Uşak	38.67	29.40	10,1	1,4	0,0
7	Kütahya	39.42	29.99	10,1	0,0	0,0
8	Afyonkarahisar	38.74	30.55	5,8	2,9	0,0

## 12 aylık SPEI İndis Değerlendirmesi

Ege Bölgesi'ni kapsayan 8 grid verisine göre 12 aylık SPEI indis değerlerinde 1951-2022 yılları arasındaki 72 yıllık sürenin 71,0 normal, %2,9 çok nemli, %8,7 orta nemli, %11,6 orta kurak, %5,8 oranında şiddetli kurak indis sınıfı içinde kaldığı görülmektedir.

Ege Bölgesi'ne ait 12 aylık SPEI grafiği incelendiğinde, SPEI değerlerinin 3-6 aylık SPEI grafiklerinde olduğu gibi 1985 yılına kadar pozitif anomali gösterdiği göze çarpmaktadır. 1985 yılından itibaren ise negatif anomali değerlerinin ağırlık kazandığı görülmektedir. SPEI indis değerlerinin 1957, 1989, 1990, 2000, 2016, 2017, 2018, 2020 yıllarında orta kurak seviyelerine ve 2001, 2007, 2008, 2021 yıllarında şiddetli kurak seviyelerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 1 & Çizelge 7). 12 aylık ve daha uzun zaman ölçeklerinde hesaplanan SPEI değerlendirmeleri hidrolojik kuraklığı tanımlamada yardımcı bir göstergedir. 12 aylık SPEI verileri Ege Bölgesi'nde 1980'li yılların sonlarından itibaren azalan yağış/ yükselen hava sıcaklık ve artan buharlaşma koşullarına bağlı olarak daha sık ve şiddetli hidrolojik kuraklıkların yaşandığı göstermektedir.

**Çizelge 7.** Ege Bölgesi'ndeki 8 grid hücresi ortalamasına göre 1951-2022 dönemi (-1≤) 12 aylık SPEI verileri

**Table 7.** 12-month SPEI data for the period 1951-2022 according to the average of 8 grid cells in the Aegean Region (-1≤)

SIRA	YIL	SPEI-12	İNDEKS SINIFI
1	1957	-1,40	ORTA KURAK
2	1989	-1,34	ORTA KURAK
3	1990	-1,28	ORTA KURAK
4	2000	-1,07	ORTA KURAK
5	2001	-1,60	ŞİDDETLİ KURAK
6	2007	-1,57	ŞİDDETLİ KURAK
7	2008	-1,60	ŞİDDETLİ KURAK
8	2016	-1,33	ORTA KURAK
9	2017	-1,34	ORTA KURAK
10	2018	-1,11	ORTA KURAK
11	2020	-1,45	ORTA KURAK
12	2021	-1,73	ŞİDDETLİ KURAK

İzmir, Manisa, Aydın ve Uşak'ın yer aldığı grid hücrelerinde Şiddetli kurak indis sınıfına dâhil koşulların oranı %13-8 iken bu değer diğer grid hücrelerinde %7 in altına düşmektedir (Çizelge 8).

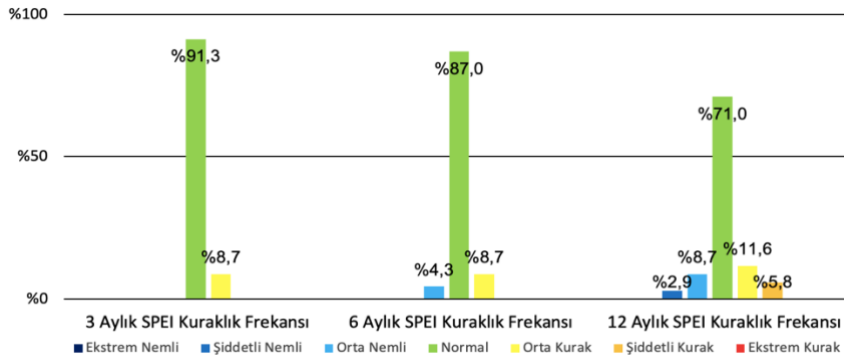
**Çizelge 8.** Ege Bölgesi'ndeki 8 grid hücresinin 1951-2022 dönemi 12 aylık SPEI kuraklık frekansı

**Table 8.** 12-month SPEI drought frequency of 8 grid cells in the Aegean Region for the period 1951-2022

Sıra	Grid Hücresi	Enlem	Boylam	Orta Kurak %	Şiddetli Kurak %	Aşırı Kurak %
1	İzmir	38.394873	27.081854	15,9	8,7	1,4
2	Aydın	37.840239	27.837905	11,6	13,0	0,0
3	Manisa	38.615329	27.404940	15,9	8,7	1,4
4	Muğla	37.209486	28.366834	18,8	5,8	0,0
5	Denizli	37.762027	29.092075	13,0	7,2	0,0
6	Uşak	38.671233	29.404040	7,2	8,7	1,4
7	Kütahya	39.417085	29.988148	11,6	7,2	0,0
8	Afyonkarahisar	38.737904	30.554277	14,5	2,9	1,4

Ege Bölgesi'ndeki 8 grid hücresinin ortalamasına göre 1951-2022 yılları arasındaki 3-6 ve 12 aylık SPEI verileri değerlendirildiğinde, 3 ve 6 aylık dönemde % 8.7 ile sadece orta şiddette kuraklıkların gözlemlendiği görülmektedir. Bu durum Ege Bölgesi'nde meteorolojik ve tarımsal kuraklıkların oranının son 72 yıl içinde %10'un altında kaldığını ortaya koymaktadır. Buna karşılık hidrolojik kuraklıkların göstergesi olan 12 aylık SPEI değerleri incelendiğinde, son 72 yılda orta şiddetteki kuraklıkların oranının % 11.6'ya yükseldiği ve % 5.8 oranında ise şiddetli kuraklıkların gözlemlendiği ortaya çıkmaktadır (Şekil 2).





Şekil 2. Ege Bölgesi'ni kapsayan 8 grid verisinin ortalamasına göre 1951-2022 dönemi SPEI kuraklık frekansı.

Figure 2. SPEI drought frequency for the period 1951-2022 according to the average of 8 grid data covering the Aegean Region.

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmada 1951-2022 yılları arasında gridli veri kullanılarak Ege Bölgesi'nde SPEI değerlerinin 3 aylık (SPEI-3), 6 aylık (SPEI-6) ve 12 aylık (SPEI-12) zaman ölçeklerinde oluşturulan zaman serileri ile kuraklık olaylarının zamansal dağılımı ve şiddeti değerlendirilmiştir.

8 gridin ortalamasına göre oluşturulan zaman serileri Ege Bölgesi'nde yıllık olarak kuraklık olaylarının 1980'li yılların ortalarından itibaren arttığını ve daha kurak koşullara doğru kaydığını göstermektedir. SPEI-3-6 ve 12 zaman ölçeğinde ortak olarak bölgede 2001, 2007, 2008, 2016 ve 2021 yıllarının belirgin şekilde gerek zaman serileri üzerinde gerekse kuraklık sınıflarına göre orta ve/veya şiddetli kurak yıllar olarak öne çıktığı görülmüştür. Standartlaştırılmış Yağış İndisi veya normalleştirilmiş yıllık yağış ve kuraklık indisleri gibi farklı yöntemlere göre yapılan çalışmaların sonuçları da Ege Bölgesi'nde yıllık olarak 1980 sonrasında kurak dönemlerin nispeten şiddetinin arttığını, özellikle 2007-2008 sonrası daha şiddetli ve uzun kuraklık olaylarının yaşandığını ortaya koymaktadır (Türkeş, 2011; Kumanlioglu & Fıstıkoğlu, 2019; Özçelik & Akkuzu 2023). Örneğin hem uydu hem de 23 adet meteoroloji istasyonunun verileriyle 1980-2018 yılları aralığında yapılan bir çalışma, Ege Bölgesi'nde 1989-1990 yıllarının en şiddetli kurak yıllar olarak öne çıktığını, 2000-2001 ve 2007-2008 yıllarının orta/şiddetli kurak, 2016 yılının da şiddetli kurak sınırına yakın bir orta/şiddetli kurak yıl olduğunu göstermiştir (Kocaaslan Karamzadeh, 2022). Bölgedeki daha kurak koşullara doğru kayma eğilimi, yıllık yağış miktarındaki azalma eğiliminden çok, yükselen sıcaklık ve buna bağlı şiddetlenen evapotranspirasyon değerleri ile ilişkili gözükmektedir. Nitekim Ege Bölgesi'nde incelenen 14 meteoroloji istasyonunun verilerine göre 1973-2020 döneminde tüm istasyonlarda yıllık ortalama sıcaklığın 0.20-0.35°C/on yıl aralığında arttığı, istasyonlarda yıllık sıcaklıklarda ani değişimin 2007 yılında gerçekleştiği belirlenmiştir. Buna karşılık istasyonların yıllık toplam yağış değerlerinde 4.2-7.9 mm/yıl artış, büyük bölümünde ise istatistiki olarak anlamlı artış veya azalış eğilimi belirlenmemiştir (Mersin vd., 2022).

Ege Bölgesinde kuraklık şiddetinin alansal dağılışında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Özellikle bölgenin batısında yer alan ve tipik Akdeniz makroklima bölgesinin özelliklerini yansıtan alanda bölgenin doğusuna göre kuraklık olaylarının daha şiddetli yaşandığı görülmektedir. Örneğin son 72 yılda 3, 6 ve 12 aylık SPEI indis değerlendirmesine göre, Aydın, İzmir ve Manisa'yı kapsayan grid hücrelerinde orta kuraklık seviyelerinin diğer gridlere göre frekansı daha yüksektir.

8 grid hücresinin ortalamasına göre 1950 yılından bu yana Ege Bölgesi'nde gözlenen en şiddetli kuraklık olayı 3 ve 6 aylık SPEI zaman ölçeklerinde 2016 yılına aittir. 12 aylık SPEI zaman ölçeğinde ise 2021 yılında -1.73 indis değeri ile bölgede "şiddetli kurak" koşullar egemen olmuştur. Türkiye ortalamasına göre 1951-2022 döneminde en şiddetli ve uzun kuraklıkların SPEI 3, 6 ve 12 zaman ölçeklerinde 2020-2021 su yılına ait olduğu belirlenmiştir. SPEI-12 esas alındığında, 2020-2021 su yılında, Aralık 2020-Kasım 2021 tarihleri arasında birbirini izleyen 12 ay boyunca "şiddetli kurak" koşullar devam etmiş, aynı dönem içinde 4 ayda ise "ekstrem kurak" koşullar gözlenmiştir (Erlat & Güler, 2023).



BMÇSS tarafından önerilen Aridite İndisi (Kuraklık İndisi-Kİ) temel alındığında, günümüz koşullarında Ege Bölgesi'nde 11 istasyonun 7'sinin (% 63.6) çölleşmeye açık (0.79-0.65) olduğu görülmektedir (Türkeş, 2012). Ege Bölgesi'ne ilişkin oluşturulan iklim modellerinin sonuçları da bölgede insan kaynaklı iklim değişikliğine bağlı olarak kuraklıkların şiddetleneyeceğini ve süresinin uzayacağını göstermektedir (Çamalan vd., 2018). HadGEM2-ES modelinin RCP4.5 senaryosuna göre Ege Bölgesi'nde, 1971-2015 döneminde normal sınıfın "Hafif Nemli" bölümünde yoğunlaşan SPEI kuraklık şiddet frekans olasılıklarının, 2016-2040 döneminde "Hafif Kurak", 2041-2070 periyodunda ise "Orta Kurak" sınıfına doğru kayma eğilimi göstermesini öngörmektedir. Ayrıca bölgede yüzyılın sonundaki kuraklık süresinin ve şiddetinin doğrudan sıcaklık artışıyla ilişkili olacağını ortaya koymaktadır (Çamalan vd., 2018).

Bölgede 1980'li yılların ortalarından itibaren daha kurak koşullara doğru kayma eğiliminin gelecek de devam etmesi başta toprakta depolanan nem miktarı ve yerüstü/yer altı su kaynaklarında önemli değişimlere neden olacaktır. Bu durum tarımsal verim ve üretimi de doğrudan etkileyecektir. Kuraklaşma eğilimi bölgesel ekonomiyi olumsuz etkilerken özellikle kırsal bölgelerdeki gelir düzeyinde ciddi azalmalar yaşanacağı söylenebilir. Son 72 yıldaki kuraklık koşullarındaki değişim ve geleceğe yönelik öngörüler dikkate alınarak, Ege Bölgesi'nde ürün desenlerinin yeniden belirlenmesi, yeraltı ve yer üstü su kaynaklarının korunarak tarımda damlama sulama sistemine bir an önce geçilmesi sağlanmalıdır.

#### **Veri Kullanılabilirliği**

Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

#### **Yazar Katkıları**

Çalışmanın konsepti ve tasarımı: EA; verilerin analizi ve yorumlanması: OA; istatistiksel analiz: OA; görselleştirme: OA; makalenin yazımı: OA, EA.

#### **Çıkar Çatışması**

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### **Etik Beyan**

Bu araştırma için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan ederiz.

#### **Finansal Destek**

Bu çalışmada finansal destek kullanılmamıştır.

#### **Makale Açıklaması**

Bu makale Konu Editörü Dr. İlkay ALKAN tarafından düzenlenmiştir.

### **KAYNAKLAR**

- Chiang, F., O. Mazdiyasi & A. AghaKouchak, 2021. Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity. *Nature Communications*, 12 (1): 2754. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22314-w>
- Çamalan, G., H. Ayvaci, S. Akgündüz, S. Çetin, H. Arabacı & M. Coşkun, 2018. "Ege Bölgesi kuraklık projeksiyonları, 2-4. Türkiye Ulusal Jeodezi Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi, Ankara, 4 s.
- Dabanlı, İ., A. K. Mishra & Z. Şen, 2017. Long-term spatio-temporal drought variability in Turkey. *Journal of Hydrology*, 552: 779-792. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.038>
- Eriş, E., Y. Çavuş, H. Aksoy, H. İ. Burgan, H. Aksu & H. Boyacıoğlu, 2020. Spatiotemporal analysis of meteorological drought over Kucuk Menderes River Basin in the Aegean Region of Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 142 (3-4): 1515-1530. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03384-0>

- Erlat, E. & H. Güler, 2023. Türkiye’de standardize yağış evapotranspirasyon indisine (SPEI) göre kuraklıkların zamansal değişimi (1951-2022). *Ege Coğrafya Dergisi*, 32 (Cumhuriyet’in 100. Yılı Özel Sayısı): 77-90. <https://doi.org/10.51800/ecd.1332424>
- Freire-González, J., C. Decker & J. W. Hall, 2017. The economic impacts of droughts: A framework for analysis. *Ecological Economics*, 132: 196-204.
- Jamal, R., S. J. Hadi & M. Tombul, 2022. The Trends of the Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI) in Turkey. *Geography and Natural Resources*, 43 (1): 87-95. <https://doi.org/10.1134/s1875372822010139>
- Kaeamzadeh Kocaaslan, S., 2022. Uzaktan Algılama Verileri Kullanılarak Kuraklık Olaylarının Alansal, Zamansal ve Frekans Analizleri: Ege Bölgesi Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı Coğrafi Bilgi Teknolojileri Doktora Programı, (Basılmamış) Doktora Tezi, 110 s.
- Kumanlioglu, A. & O. Fıstıkoğlu, 2019. Yukarı Gediz Havzası yağışlarının meteorolojik kuraklık analizleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21 (62): 509-523. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2019216216>
- Lionello, P. & L. Scarascia, 2018. The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change*, 18: 1481-1493. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1290-1>
- Mersin, D., G. Tayfur, B. Vaheddoost & M. J. S. Safari, 2022. Historical Trends Associated with Annual Temperature and Precipitation in Aegean Turkey, Where Are We Heading? *Sustainability* 14: 13380. <https://doi.org/10.3390/su142013380>
- Mishra, A. K. & V. P. Singh, 2010. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391 (1-2): 202-216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Özçelik, Ş. & E. Akkuzu, 2023. Ege Bölgesinde Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) ile kuraklık değerlendirmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 60 (3): 515-528. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.1286331>
- Pamuk, G., M. Özgürel & K. Topçuoğlu, 2004. Standart yağış indeksi (SYI) ile Ege Bölgesinde kuraklık analizi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41 (1) : 99-106.
- Robinson, D. A., S.B Jones, I. Lebron, S. Reinsch, M.T. Dominguez, A.R. Smith, D.L. Jones, M.R. Marshall & B.A Emmett, 2016. Experimental evidence for drought induced alternative stable states of soil moisture. *Science Report* 6, 20018. <https://doi.org/10.1038/srep20018>
- SPEI Global Drought Monitor, 2023. <https://spei.csic.es/map/maps.html#months=1#month=5#year=2023>
- Topçu, E., 2022. Appraisal of seasonal drought characteristics in Turkey during 1925-2016 with the standardized precipitation index and copula approach. *Natural Hazards*, 112: 697-723.
- Türkeş, M. & H. Tatlı, 2010. “Kuraklık ve yağış etkinliği indislerinin çölleşmenin belirlenmesi, nitelenmesi ve izlenmesindeki rolü, 245-263”. *Çölleşme ile Mücadele Sempozyumu (17-18 Haziran Çorum) Tebliğler Kitabı*, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı.
- Türkeş, M., 2011. Akhisar ve Manisa yörelerinin yağış ve kuraklık indisi dizilerindeki değişimlerin hidroklimatolojik ve zaman dizisi çözümlemesi ve sonuçların çölleşme açısından coğrafi bireşimi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 9 (1) : 79-99. [https://doi.org/10.1501/Cogbil\\_0000000119](https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000119)
- Türkeş, M., 2012. Türkiye’de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4 (2): 1-32. [https://doi.org/10.1501/Csaum\\_0000000063](https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000063)
- Vicente-Serrano, S. M., S. Beguería & J. I. López-Moreno, 2010. A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index SPEI. *Journal of Climate*, 23: 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería & J.I. López-Moreno, 2022. Spei global drought monitor. (Web sayfası: <https://spei.csic.es>) (Erişim tarihi: Mart 2023)
- Wigley, T.M.L. & T.C. Atkinson, 1977. Dry years in south-east England since 1698. *Nature*, 265: 431-434.
- Wilhite, D. A. & M. H. Glantz, 1985. Understanding of the drought phenomenon: the role and defination. *Water International*, 10 (3) : 111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: Handbook of Drought Indicators and Indices (Eds. M. Svoboda & B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva, 52 pp.