

SPEI ve SPI İndisleri Kullanılarak İstanbul-Damlıca Deresi Havzasında Kuraklık Şiddetlerinin Analizi

Fatih BAKANOĞULLARI*

Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü, Kırklareli

*Sorumlu yazar e-mail (Corresponding author e-mail): fbakanogullari@gmail.com

Geliş tarihi (Received) : 16.05.2019

Kabul tarihi (Accepted): 20.08.2019

DOI: 10.21657/topraksu.566693

Öz

Klimatolojik kaynaklı afetlerin içinde kuraklık en karmaşık ve hasar veren bir olaydır. Kurak ve yarı kurak bölgelerde yağış, tarımsal üretimi kontrol eden en önemli faktördür. Türkiye'de de bazı bölgelerde kuraklık sorunu kendini özellikle tarım sektöründe ve ekosisteme yaptığı etkiler ile göstermektedir. Bu çalışmanın amacı İstanbul-Büyükçekmece içme suyu havzasında yer alan Damlıca deresi havzasında 1982-2006 yılları arası havzada ölçülmüş meteorolojik veriler kullanılarak kuraklığın sıklığı ve şiddetinin Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile belirlenmesi ve Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) ile karşılaştırılmasıdır. SPEI kuraklık indisi evapotranspirasyonu Thornthwaite eşitliği ile tahmin etmektedir. 25 yıllık veri seti ile yıllık SPEI ve SPI İndeksleri arasındaki regresyon analizinde, ikinci derece polinoma göre yıllık SPI ve SPEI kuraklık indeksleri arasında determinasyon katsayısı (R^2) 0.977 olarak belirlenmiş ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ancak aylık, mevsimlik ve 6 aylık kuraklık değerlendirmelerinde kuraklık şiddetleri arasında farklar görülmüştür. Yıllık değerlendirme sonuçlarına göre; SPEI indisi ile havzada 4 yıl orta kurak (1983, 1989, 2004, 2006), 7 yıl hafif kurak (1982, 1992, 1993, 1994, 1999, 2000, 2003), SPI indisi ile ise 2 yıl şiddetli kurak (1983, 1989), 3 yıl orta kurak (1982, 2004, 2006) ve 2 yıl hafif kurak (1992, 1993) yıl olarak tespit edilmiştir. Tarımsal üretim açısından yağış, sıcaklık ve evapotranspirasyon verileri ile hesaplanan SPEI kuraklık indisi tarımsal üretim ve kuraklık değerlendirmelerinde daha hassas sonuçlar verdiği için kuraklığın azaltılması politikalarında karar vericilere daha sağlıklı sonuçlar verebilir.

Anahtar Kelimeler: Damlıca deresi havzası, kuraklık, standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indisi (SPEI), standartlaştırılmış yağış indisi (SPI), İstanbul

Analysis of Drought Intensity Using SPEI and SPI Indices in Damlica Watershed-Istanbul, Turkey

Abstract

Drought is the most complex and damaging event in climatic disasters. Precipitation is the most important factor to control agricultural production in arid and semi-arid regions. The problem of drought in some regions in Turkey shows itself especially effect on the ecosystem and agriculture. The aim of this study is to determine the frequency and severity of drought with Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and compare with Standardized Precipitation Index (SPI) using meteorological data measured between 1982 and 2006 in Damlica creek basin located in

Istanbul-Buyukcekmece drinking water basin. The SPEI drought index estimates evapotranspiration with Thornthwaite equation. In the regression analysis between the 25-year data set and the annual SPEI and SPI indices, the coefficient of determination (R^2) between the annual SPI and SPEI drought indices according to the second order polynomial was found to be 0.977 and found to be statistically significant. However, there were differences between drought severities in monthly, seasonal and 6-month drought periods. According to the annual evaluation results; SPEI Index was determined as 4 years of moderate drought (1983, 1989, 2004, 2006), 7 years of mild drought (1982, 1992, 1993, 1994, 1999, 2000, 2003), and SPI index was found as 2 years of severe drought (1983, 1989), 3 years of moderate drought (1982, 2004, 2006) and 2 years of mild drought (1992, 1993). The SPEI drought index calculated by precipitation, temperature and evapotranspiration data may give healthier results to policy makers in drought mitigation policies in terms of giving more accurate results in agricultural production and drought assessments.

Keywords: Damlıca creek watershed, drought, İstanbul, standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI), standardized precipitation index (SPI)

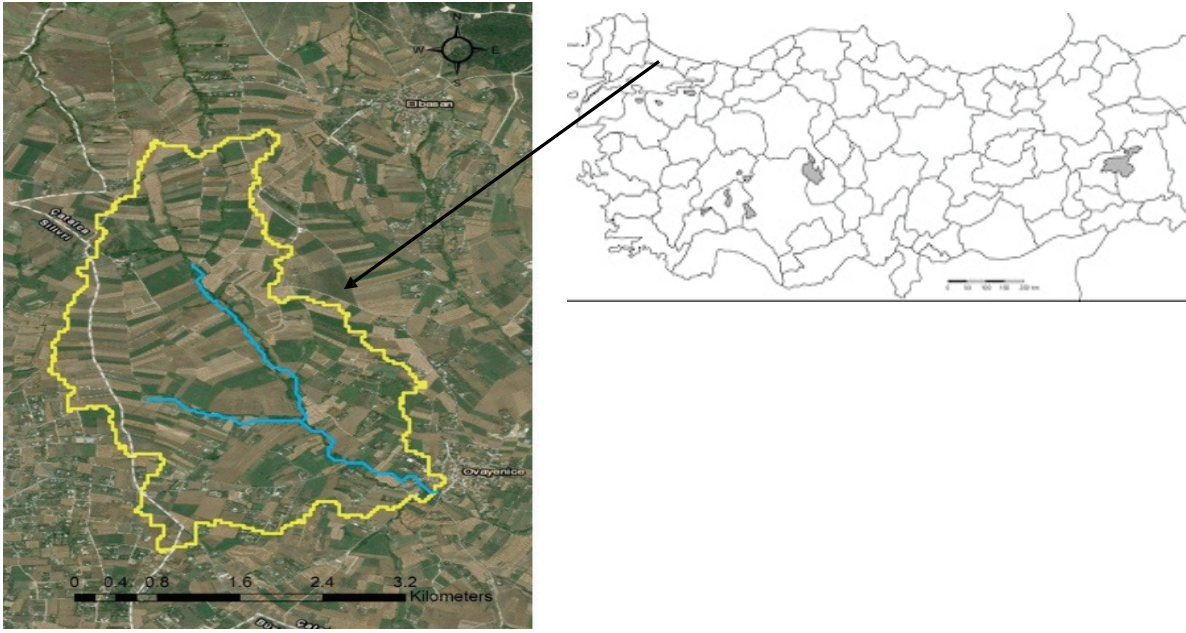
GİRİŞ

Çevre koşullarından özellikle yağış miktarı ve yetiştirme mevsimi içindeki dağılışında yıldan yıla görülen değişimler Trakya Bölgesi'nde bitkisel üretimde ve verimlerinde önemli değişimlere neden olmaktadır. Toplam yağış yeterli olsa bile yağış dağılımının düzensiz olması verim potansiyeli yüksek genotiplerin de performanslarının düşmesine neden olabilmektedir. Mevcut su kaynaklarının yetersizliği ve küresel ısınmanın gözlenen ve beklenen olumsuz etkileri Trakya Bölgesi'nde tarımı yapılacak genotiplerin seçiminde kurağa dayanıklılık ve etkin su kullanım yeteneğinin temel özellikler olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Kuraklık etkisi nedeniyle kalite ve verimde ortaya çıkacak azalma ve bozulmalar özeldir bölge ve genelde ülke ekonomisini olumsuz etkileyecektir. Bitkisel üretimde birim alandan elde edilecek gelirin azalması Trakya topraklarının tarım dışı amaçlarla kullanılmasını daha da hızlandıracaktır. Böylece, var olan çevre sorununun boyutu daha da genişleyecektir. Kuraklık her yıl dünyada fazla sayıda insanı etkileyen ve dünyanın en maliyetli afetlerindedir (Wilhite, 2000). Aynı zamanda, Kuraklıklar çevresel bir felaket olarak belirtilmektedir. Bazı çalışmalarda yağışlardaki eksikliklerin elverişli su kullanım kapasitesinde de azalmalara sebep olduğundan bahsedilmektedir (Rossi, 2000; Wilhite, 2000; Koustroulis, vd., 2011). Kuraklığın yağışa, toprak nemine ya da potansiyel evapotranspirasyona dayalı değişik tanımları vardır (Wilhite, 1985; Heim, 2002; Svoboda vd., 2002; Türkeş, 2014; Türkeş, 2017; Türkeş, 2019).

Genel olarak kuraklık, bir yörede yağışın, yer altı veya yüzey sularının, iklim olarak beklenen miktardan (ortalamadan) daha az olduğu süreler olarak

tanımlanmaktadır. Kuraklıksıcaklık artışı ile doğru, yağış artışı ile ters orantılıdır (Çaldağ vd., 2004). Kuraklık; meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik olarak sınıflandırılmaktadır. Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI) meteorolojik kuraklığın şiddetini belirlemek için genel olarak kullanılmaktadır. SPI, uzun dönem yağış kayıtlarının normal dağılıma dönüştürülmesi ve uygulanması temeline dayanmakta ve bu indeks ile farklı zaman dilimlerinde kurak ve nemli süreler hesaplanmaktadır (Dai, 2011). Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) bitkinin bulunduğu ortamdaki evapotranspirasyonu ve meteorolojik kuraklığı dikkate alarak tarımsal kuraklık şiddetinin değerlendirilmesi için geliştirilmiştir (Vicente-Serrano, 2010). Meteorolojik ve Tarımsal kuraklığın belirlenmesinde SPI ve SPEI indeksleri kullanılarak farklı araştırmacılar tarafından kuraklığın yersel ve zamansal dağılımının analizi, izlenmesi, indekslerin karşılaştırılması gibi konularda çalışmalar yürütülmüştür (Wilhite vd., 2007; Türkeş ve Tatlı, 2009; Kwak vd., 2013; Yürekli ve Ünlükara, 2013; Nedealcov vd., 2015; Stagge vd., 2015; Gümüş vd., 2016; Keskiner vd., 2016; Çamalan vd., 2017; Tong vd., 2017; Aksoy vd., 2018; Bae vd., 2018; Chen vd., 2018; Çetin vd., 2018, Keskiner vd., 2019).

Bu çalışmada; İstanbul-Büyükçekmece gölü su toplama havzasında yer alan uzun yıllar (1982-2006) hidrolojik ve meteorolojik ölçümlerin yapıldığı Damlıca deresi araştırma havzasında (Şekil 1) iki kuraklık İndeksi ile meteorolojik ve tarımsal kuraklığın farklı zaman dilimlerinde (aylık, mevsimlik, 6 aylık ve yıllık) kuraklık şiddetlerini belirlenmiş ve analizi yapılmıştır.



Şekil 1. Damlıca deresi havzası haritası ve ülkesel konumu
Figure 1. Damlıca creek watershed map and location of country

MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma havzası, Çatalca ile Kumburgaz yolu üzerinde, Kumburgaz'a 9 km, İstanbul'a ise 51 km mesafededir. Havza alanı 8.26 km² dir. Havzanın

topoğrafik haritası incelendiğinde, suyolları açısından, iki tane 2. dereceden kolun Damlıca Deresine bağlandığı ve Damlıca Deresinin 3

Çizelge 1. Damlıca deresi havzası aylık ortalama yağış (mm) verileri.

Table 1. Monthly average rainfall (mm) data of Damlıca creek watershed.

Yıl	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
1982	84.8	24.4	59.7	85.7	36.6	11.5	48.8	21.5	5.9	31.6	35.7	112.3
1983	77.9	49.5	5.5	21.5	33.8	82.1	47.5	53.8	9.0	38.7	60.7	39.5
1984	99.2	62.1	96.0	80.3	21.9	47.5	38.8	74.9	2.1	58.4	38.3	44.5
1985	189.9	83.4	52.0	39.5	1.3	24.7	11.3	1.1	13.5	109.4	137.2	64.1
1986	158.9	69.8	21.2	51.6	0.4	45.6	6.6	0.0	25.3	116.4	43.6	96.7
1987	159.7	34.6	241.2	74.0	33.8	25.3	54.0	35.0	21.4	37.7	107.3	182.0
1988	33.7	53.8	61.0	76.3	15.0	65.1	52.6	0.0	23.8	75.6	194.6	184.9
1989	25.7	5.4	72.1	10.4	77.4	30.4	0.0	15.0	8.7	38.3	107.9	115.6
1990	13.6	44.2	12.4	53.3	58.4	47.1	0.0	6.7	60.3	58.7	117.3	203.5
1991	23.4	42.0	51.3	105.8	109.2	18.7	44.6	27.6	99.8	206.7	47.3	46.7
1992	14.6	12.3	80.3	53.0	18.4	46.3	69.4	3.7	11.6	72.5	72.2	137.0
1993	66.8	77.7	47.5	40.4	77.3	2.1	3.4	32.6	26.3	3.7	140.1	98.2
1994	47.5	37.4	37.9	31.4	48.6	66.3	86.1	4.2	0.0	65.4	92.9	119.6
1995	154.7	59.5	94.0	43.2	12.5	33.6	106.7	12.9	72.1	32.3	111.8	85.7
1996	35.3	116.0	133.4	81.4	12.0	4.0	0.0	97.6	105.3	38.5	47.3	148.0
1997	34.3	75.0	67.4	94.1	16.6	51.5	73.8	31.6	5.8	144.5	47.9	187.7
1998	46.1	82.5	156.0	39.2	119.7	28.3	9.6	0.0	69.8	158.5	134.6	104.0
1999	81.3	103.2	97.7	26.0	8.8	37.6	1.1	32.3	14.6	23.6	105.6	120.3
2000	70.5	98.8	79.4	76.9	58.0	18.6	11.2	6.7	22.5	105.2	36.9	62.9
2001	102.6	75.1	39.1	98.3	53.9	13.6	1.1	9.2	45.1	7.8	180.9	141.1
2002	29.2	43.8	54.6	46.9	47.5	38.6	0.0	142.1	115.3	64.4	122.5	92.2
2003	117.5	92.4	34.1	82.2	1.1	0.8	7.4	1.0	1.0	137.1	79.6	93.5
2004	105.5	41.8	76.6	14.1	40.7	74.0	3.0	24.7	0.9	71.0	53.3	69.7
2005	93.2	78.5	39.9	21.9	131.1	28.8	24.3	10.4	45.6	56.7	56.8	183.8
2006	83.2	87.2	104.3	6.7	14.8	20.9	0.0	17.5	52.2	64.9	72.4	44.8

numara olarak Tepecik Deresine (4) katıldığı, bu derenin de Büyükçekmece Gölüne dökülmekte olduğu görülür. Havza çıkışı, 41° 06' 04'' Kuzey enlem, 28° 25' 00'' Doğu boylamlarında olup, denizden yüksekliği 110 m'dir. Havza içinde ve havzaya çok yakın olmak üzere 3 adet yağış istasyonu, havza çıkışında da akımı ölçmek üzere 1 adet akım ölçme savağı tesis edilmiştir. Havzaya ait 3 yağış istasyonunun 25 yıllık (1982-2006) yağış verileri Thiessen Poligon yöntemi hesaplanarak, havzaya ait ortalama aylık yağışlar Çizelge 1. de, aylık ortalama sıcaklık verileri de Çizelge 2. de verilmiştir (Bakanoğulları, 2008).

Standartlaştırılmış yağış indisi (SPI)

SPI, McKee vd. (1993) tarafından kuraklığı tanımlamak ve izlemek amacıyla geliştirilmiştir. Sadece yağış değerlerine bağlı olarak hesaplanan

indis yardımıyla kurak dönemin yanı sıra nemli dönemler de izlenebilir. SPI belirlenen bir zaman dilimi içinde, yağışın ortalama olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir.

$$SPI_{i,j} = \frac{X_{i,j} - X_j^{ort}}{Q_j} \quad \text{Eşitlik 1}$$

Eşitlik 1'de, $X_{i,j}$, i yılının j ayındaki yağışı (mm) , X_j^{ort} j ayındaki ortalama yağışı (mm) ve Q_j ise yine j ayındaki yağışın standart sapmasını göstermektedir. SPI değerleri farklı periyodlar (1, 3, 6, 9, 12, 24, 48 ay gibi) için hesaplanabilir. Ancak yağış verileri 12 ay ve daha kısa dilimlerde normal dağılıma uymayabilir. Bu nedenle her bir veri seti Gamma fonksiyonuna uydurulur (Türkeş ve Tatlı, 2008, Tatlı ve Türkeş, 2011 a.b., Aksoy vd., 2018).

Çizelge 2. Damlıca deresi havzası aylık ortalama sıcaklık (°C) verileri.

Table 2. Monthly average temperature (°C) data of Damlıca creek watershed.

Yıl	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
1982	5.4	3.8	6.2	9.9	14.6	20.6	21.7	22.4	21.4	16.4	10.9	9.7
1983	5.2	4.9	7.7	12.5	17.5	19.5	23.4	21.5	19.7	14.2	9.7	8.4
1984	7.1	6.1	6.9	9.5	18.1	20.0	21.8	21.4	21.0	17.3	11.9	7.3
1985	6.3	1.3	5.8	12.0	17.7	20.7	22.1	23.5	19.0	13.7	12.2	9.0
1986	7.7	5.9	6.2	12.8	15.1	22.1	23.2	24.5	20.5	14.6	8.7	6.4
1987	5.2	6.5	3.5	9.5	15.2	20.7	23.7	22.1	20.4	14.1	11.9	7.0
1988	6.9	5.9	8.3	10.6	15.8	21.4	25.3	24.2	19.8	14.3	7.4	6.8
1989	4.4	6.2	8.9	14.7	16.0	20.4	23.4	24.1	20.3	14.6	9.6	7.1
1990	4.8	6.5	9.0	13.1	15.6	20.8	24.1	23.8	19.2	16.0	14.1	9.6
1991	6.2	5.2	6.6	10.8	15.5	21.0	24.3	24.8	20.5	17.1	13.2	5.8
1992	5.7	3.8	6.9	11.7	14.3	21.2	21.9	24.8	19.2	17.9	11.3	4.6
1993	4.1	3.0	6.3	11.2	15.5	21.1	22.5	23.6	19.9	17.6	9.2	8.7
1994	7.8	5.9	8.2	14.1	18.0	20.9	24.4	24.7	23.7	17.9	10.1	6.8
1995	6.3	7.4	8.7	11.7	17.0	22.8	24.3	24.2	20.6	14.8	8.8	7.5
1996	4.3	4.9	4.9	9.7	18.5	21.2	24.0	23.7	19.2	14.4	12.3	9.7
1997	6.5	5.4	6.1	8.8	16.3	21.5	24.0	22.0	18.1	14.7	12.1	8.6
1998	6.7	6.4	5.6	13.6	16.3	22.2	23.9	25.1	20.2	16.4	11.0	5.7
1999	6.2	5.8	8.6	13.6	17.1	22.0	25.4	24.7	21.0	16.3	11.4	10.4
2000	3.4	5.9	7.2	13.9	16.3	20.8	24.9	24.4	20.7	15.2	13.3	9.3
2001	8.2	7.6	11.7	13.2	17.1	21.7	26.9	25.9	22.1	17.3	10.4	4.7
2002	4.5	8.1	9.1	10.8	16.9	22.6	26.5	24.2	20.4	16.6	12.9	6.4
2003	7.6	2.1	4.6	9.5	17.9	23.2	25.0	25.6	19.8	16.2	10.8	7.5
2004	4.8	5.4	8.2	11.9	16.3	21.2	23.8	23.5	20.8	17.0	12.0	8.7
2005	6.7	5.7	7.0	12.1	16.6	20.8	24.5	25.3	21.0	14.8	10.0	8.1
2006	4.1	5.3	8.0	12.4	17.0	22.0	24.3	26.0	20.5	16.7	10.5	7.7

Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indisi (SPEI)

SPEI ilk olarak Vicente Serrano vd. (2010) tarafından bitki evapotranspirasyonu ve meteorolojik kuraklığı dikkate alarak tarımsal kuraklık şiddetinin değerlendirilmesi için geliştirilmiştir, hesaplanması kolaydır ve standart yağış indisi (SPI) hesaplama temeline dayanır. SPEI aylık veya haftalık potansiyel evapotranspirasyon (PET) ile yağış (P) arasındaki fark (D) olarak ifade edilir. Bu fark (D) analiz edilen ay (i) için su fazlası veya eksikliğidir ve Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanır.

$$D_i = P_i - PET_i \quad \text{Eşitlik 2}$$

Thorntwaite (1948) yöntemine göre potansiyel ve gerçek evapotranspirasyonu hesaplamak için aşağıdaki adımlar izlenmelidir

a) Her ayın ortalama sıcaklığına göre aylık sıcaklık indeksleri belirlenir.

$$i = \left(\frac{t}{5}\right) 1.514 \quad \text{Eşitlik 3}$$

Eşitlik 3`de; i, aylık sıcaklık indisi, t; ortalama aylık sıcaklık (°C) `dır.

b) Her aya ait sıcaklık indeksleri toplanarak yıllık sıcaklık indisi bulunur.

$$I = \sum_{k=1}^{12} i_k \quad k = 1-12 \quad \text{Eşitlik 4}$$

Eşitlik 4`de; I, yıllık sıcaklık indisi; i, aylık sıcaklık indisi k, işlem yapılan aydır.

c) Potansiyel Evapotranspirasyon,

$$PET = 16 * (10 * I / I)^a \quad \text{Eşitlik 5}$$

Eşitlik 5`de; PET, potansiyel evapotranspirasyon (mm/ay); t, ortalama aylık sıcaklık (°C); I, yıllık sıcaklık İndeksi; a, katsayı`dır ve Eşitlik (6) da hesaplama yöntemi verilmiştir.

$$a = (0.000000675 * I^3) - (0.000077$$

$$* I^2) + (0.01792 * I) + 0.49239 \quad \text{Eşitlik 6}$$

d) Düzeltmiş Potansiyel Evapotranspirasyon (DPET, mm/ay), bulmak için, her aya ait evapotranspirasyon ile enlem düzeltme katsayısını çarpmak yeterli olmaktadır. Enlem düzeltme katsayısı (G), ortalama güneşlenme sürelerine göre değişen bir değerdir ve çizelge biçiminde Thorntwaite tarafından hazırlanmıştır.

$$DPET = (PET * G) \quad \text{Eşitlik 7}$$

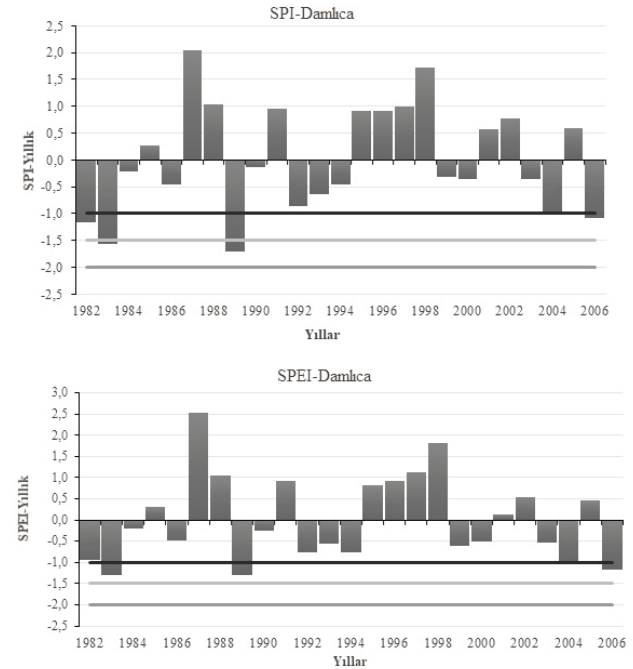
Araştırma havzasında her iki yöntem (SPEI ve SPI) ile bulunan sonuçlar Çizelge 3. de verilen kuraklık kategorilerine göre sınıflandırmıştır.

Çizelge 3. SPEI ve SPI kuraklık kategorisi
Table 3. Drought categories of SPEI and SPI

SPEI & SPI Değerleri	Kuraklık Kategorisi	Sembol
≥ -2.00	Aşırı Nemli	AN
1.50 - 1.99	Çok Nemli	ÇN
1.00 - 1.49	Orta Nemli	ON
0.50 - 0.99	Hafif Nemli	HN
-0.49 - 0.49	Normale Yakın	NY
-0.99 - -0.50	Hafif Kurak	HK
-1.49 - -1.00	Orta Kurak	OK
-1.99 - 1.50	Şiddetli Kurak	ŞK
≤ -2.00	Aşırı Kurak	AK

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; Damlıca deresi havzasında 25 yıllık (1982-2006) iklimsel veriler ile SPI ve SPEI indisi ile yapılan kuraklık çalışmasında yıllık kuraklık analizleri yapılmıştır (Şekil 2). Her iki indeks ile üç ve altı aylık kuraklık analiz sonuçları Şekil 4 ve 5 de verilmiştir. Her iki yöntem ile aylık kuraklık analizleri kuraklık şiddet kategorisine göre renk dağılımı ile Çizelge 4 ve 5 de ayrıntılı olarak verilmiştir.

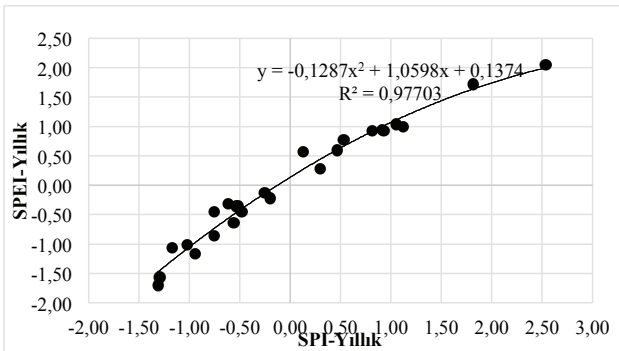


Şekil 2. Damlıca deresi havzası SPI ve SPEI yıllık zamansal değişkenlikler

Figure 2. SPI and SPEI annual temporal variability of Damlıca Watershed

SPI indisi yıllık kuraklık analizinde (Şekil 2) Damlıca deresi havzasında 7 yıl kurak 10 yıl ıslak 8 yıl yıl normal yıl olarak belirlenmiştir. Kurak yılların açılımı şöyledir; 1992 ve 93 yılları hafif kurak, 1982, 2004 ve 2006 yılları orta kurak, 1983 ve 1989 yılları şiddetli kurak yıl kategorisinde yer almıştır. SPEI indisine göre ise yıllık tarımsal kuraklık yönünden incelendiğinde; 11 yıl kurak, 8 yıl nemli ve 6 yıl normal yıl olarak belirlenmiştir. Kurak yılların açılımı şöyledir; 1982, 1992, 1993, 1994, 1999, 2000 ve 2003 yılları hafif kurak, 1983, 1989, 2004 ve 2006 yılları orta kurak, yıl kategorisinde yer almıştır. Çamalan vd. (2017) Ülkesel ölçekte 123 meteoroloji istasyonuna ait (1971-2015) veri seti ile SPEI indisi kullanılarak 1, 3 ve 12 aylık dönemde kuraklık analiz yapmış ve bu veriler ile küresel ölçekteki HadGEM2-ES modelinin RCP4.5 senaryosunun 2016 – 2098 periyodu bölgesel iklim kuraklık çıktıları ile ileriye dönük projeksiyonlar yapmıştır. Damlıca havzası gibi küçük ölçekte yapılan bu çalışmalar yaygınlaştırılarak bölgesel tarımsal kuraklık projeksiyonları yapılabilir.

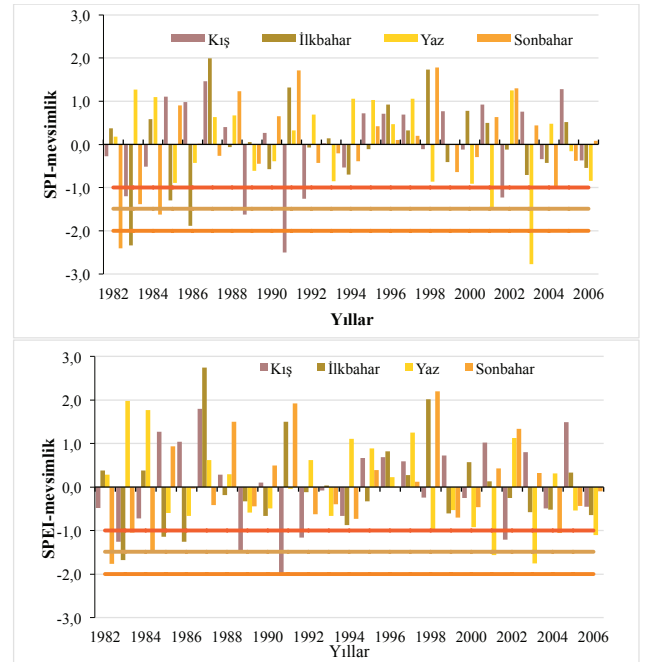
Havzanın 25 yıllık meteorolojik verileri ile yapılan yıllık SPI ve SPEI kuraklık verileri arasında yapılan değerlendirmede eğrisel korelasyon analiz sonuçları Şekil 3 de verilmiş, ikinci derece polinoma göre yıllık SPI ve SPEI kuraklık indeksleri arasında determinasyon katsayısı (R^2) 0.98 olarak belirlenmiş ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Tong vd. (2017) Çin'in kuzey bölgesindeki Xilingol otlaklarında 1961-2015 zaman periyodunda SPEI ve NDVI (Bitki vejetasyon indisi) ile aylık, mevsimlik, altı aylık ve yıllık kuraklık analizleri yapmışlar yıllık SPEI ile NDVI arasında %98 pozitif korelasyon bulmuşlar kurak ve yarı kurak bölgelerde meteorolojik kuraklığın bitki vejetasyonu gelişimine olumsuz etki yaptığının belirtmişlerdir.



Şekil 3. Damlıca deresi havzası yıllık SPI-SPEI regresyon eğrisi ve denklemi

Figure 3. Regression plot of annual SPI versus annual SPEI for Damlıca watershed

Mevsimsel kuraklık değerlendirmelerinde SPI indisine göre (Şekil 4); 1987,1988, 1995, 1996, 1997 ve 2005 yıllarında dört mevsimin hiç birinde kuraklık görülmemişken gözlem yapılan diğer yılların hepsinde en az bir mevsim kurak geçmiştir. Kurak yıllarda 7 yıl kış, 7 yıl ilkbahar, 8 yıl yaz ve 5 yıl sonbahar mevsiminde kuraklık belirlenmiştir. SPEI indisine göre (Şekil 4); 1987,1988, 1995, 1996 ve 1997 yıllarında dört mevsimin hiç birinde kuraklık görülmemişken gözlem yapılan diğer yılların hepsinde en az bir mevsim kurak geçmiştir. Kurak yıllarda 7 yıl kış, 7 yıl ilkbahar, 8 yıl yaz ve 5 yıl sonbahar mevsiminde kuraklık belirlenmiştir. Nedealcov vd. (2015) 1980-2014 ölçüm periyodu için SPEI ve SPI indeksleri ile Moldova için kuraklığın 3 ve 6 aylık dilimlerde zamansal ve mekânsal dağılımlarını karşılaştırmışlardır. Zamansal dağılımlarda her iki indisinde benzer şekiller verdiği, fakat kuraklık süre ve şiddetleri açısından SPEI değerlerinin sadece yağış değil evapotranspirasyonu da kullanması sebebiyle farklar olduğunu belirtmişlerdir. Keskiner vd. (2019) Seyhan havzasında 63 meteoroloji istasyonuna ait uzun dönem (1950-2006) aylık ve yıllık yağış verileri ile SPI ve Normalin Yüzdesi İndisi (PNI) kuraklık indeksleri ile 5 ve 10 tekrarlıma sürelerinde meteorolojik kuraklık haritaları oluşturmuşlardır. Böyle havza bazında kuraklık analizi çalışmalarına SPEI indisinin eklenmesi, meteorolojik kuraklığın



Şekil 4. Damlıca deresi havzası mevsimlik SPI ve SPEI zamansal değişkenlikler

Figure 4. Seasonal SPI and SPEI temporal variability of Damlıca Watershed

Çizelge 4. Damlıca deresi havzası SPI aylık kuraklık şiddetleri
Table 4. SPI monthly intensity of drought in Damlıca watershed

Yıl	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
1982	0.43	-1.11	0.06	0.90	0.32	-0.67	0.83	0.44	-0.55	-0.61	-1.54	0.24
1983	0.31	-0.09	-2.97	-0.98	0.27	1.10	0.82	0.88	-0.31	-0.38	-0.52	-1.89
1984	0.63	0.24	0.66	0.81	-0.03	0.61	0.74	1.04	-1.16	0.07	-1.41	-1.64
1985	1.50	0.66	-0.12	-0.15	-1.95	0.02	0.24	-0.99	-0.07	0.77	1.06	-0.90
1986	1.26	0.41	-1.25	0.21	-2.76	0.57	0.02	-2.15	0.30	0.84	-1.16	-0.06
1987	1.27	-0.61	1.83	0.70	0.27	0.04	0.87	0.68	0.20	-0.41	0.59	1.22
1988	-0.81	0.03	0.09	0.74	-0.28	0.89	0.86	-2.15	0.26	0.36	1.74	1.25
1989	-1.17	-3.29	0.30	-1.97	0.84	0.21	-1.68	0.27	-0.33	-0.39	0.60	0.30
1990	-2.02	-0.25	-1.93	0.26	0.64	0.60	-1.68	-0.12	0.81	0.08	0.76	1.45
1991	-1.30	-0.33	-0.13	1.19	1.07	-0.23	0.79	0.56	1.10	1.48	-1.00	-1.54
1992	-1.93	-2.10	0.43	0.25	-0.15	0.59	0.97	-0.41	-0.16	0.32	-0.18	0.64
1993	0.11	0.56	-0.23	-0.12	0.83	-2.20	-0.25	0.64	0.32	-3.00	1.10	-0.03
1994	-0.35	-0.50	-0.52	-0.47	0.52	0.91	1.06	-0.35	-2.94	0.20	0.31	0.37
1995	1.23	0.18	0.63	-0.03	-0.41	0.30	1.14	0.20	0.91	-0.58	0.67	-0.31
1996	-0.75	1.14	1.08	0.83	-0.44	-1.62	-1.68	1.17	1.13	-0.39	-1.00	0.80
1997	-0.79	0.51	0.21	1.03	-0.22	0.68	1.00	0.63	-0.56	1.08	-0.98	1.28
1998	-0.39	0.65	1.28	-0.16	1.13	0.14	0.17	-2.15	0.89	1.19	1.03	0.08
1999	0.37	0.97	0.68	-0.72	-0.65	0.40	-0.71	0.64	-0.02	-0.93	0.56	0.38
2000	0.18	0.91	0.42	0.76	0.64	-0.23	0.23	-0.12	0.23	0.73	-1.48	-0.94
2001	0.68	0.51	-0.48	1.09	0.59	-0.52	-0.70	0.03	0.64	-2.17	1.60	0.70
2002	-1.00	-0.27	-0.05	0.08	0.50	0.42	-1.68	1.35	1.19	0.18	0.84	-0.16
2003	0.86	0.81	-0.65	0.85	-2.05	-3.07	0.06	-1.04	-1.57	1.02	0.01	-0.13
2004	0.72	-0.33	0.37	-1.56	0.40	1.01	-0.30	0.51	-1.68	0.29	-0.77	-0.73
2005	0.55	0.58	-0.45	-0.96	1.20	0.16	0.55	0.09	0.64	0.04	-0.65	1.24
2006	0.40	0.73	0.76	-2.58	-0.30	-0.13	-1.68	0.34	0.72	0.19	-0.18	-1.63

yanı sıra tarımsal kuraklığın da izlenmesine katkı sağlayacaktır.

Havzanın her iki kuraklık indisi yapılan 6 aylık kuraklık analizinde (Şekil 5); her iki yöntemde de yaz-sonbahar dönemlerinde kurak geçen yıl sayısı fazla olmuştur. Kış-ilkbahar dönemleri daha az kurak geçmiştir.

Damlıca deresi havzasında aylar bazında SPI indisine göre (Çizelge 2) kuraklık değerlendirilmesinde; en şiddetli kurak ay 1989 yılı şubat ayı olmuştur. Bu ayı 2003 yılı haziran ve 1993 yılı ekim ayı takip etmiştir. Gözlem periyodunda kasım ayı 10 (1982, 1983, 1984, 1986, 1991, 1996, 1997, 2000, 2004, 2005) kez olmak üzere en fazla kurak geçen ay olmuştur. Bu ayı 8 kez kuraklık tekrarı ile ocak ayı, 7 şer kez temmuz ve aralık ayları takip etmiştir. Nisan ve mayıs ayları ise en az kuraklık belirlenen aylar olmuştur. SPEI indisine göre (Çizelge 3) aylık kuraklık değerlendirilmesinde; en şiddetli kurak ay, Şubat 1989, bu ayı 2003 yılı haziran ve 1989 yılı nisan



Şekil 5. Damlıca deresi havzası SPI-6 ve SPEI-6 zamansal değişkenlikler
Figure 5. SPI-6 and SPEI-6 temporal variability of Damlıca Watershed

Çizelge 5. Damlıca deresi havzası SPEI aylık kuraklık şiddetleri
Table 5. SPEI monthly intensity of drought in Damlıca watershed

Yıl	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
1982	0.14	-1.21	-0.21	1.11	0.06	-0.85	0.98	0.10	-0.95	-0.89	-1.16	-0.10
1983	0.01	-0.42	-1.34	-1.12	-0.39	2.35	0.65	1.09	-0.65	-0.59	-0.57	-1.49
1984	0.37	-0.05	0.46	1.01	-0.76	0.82	0.70	1.69	-0.99	-0.41	-1.15	-1.33
1985	2.26	0.93	-0.33	-0.51	-1.25	-0.32	-0.17	-0.61	-0.43	0.87	0.91	-1.03
1986	1.56	0.23	-0.94	-0.21	-0.90	0.25	-0.49	-0.79	-0.28	0.96	-0.86	-0.24
1987	1.68	-1.05	3.41	0.78	-0.11	-0.32	0.77	0.49	-0.40	-0.61	0.29	1.44
1988	-0.96	-0.32	-0.29	0.77	-0.62	1.23	0.47	-0.74	-0.23	0.16	2.41	1.52
1989	-1.01	-2.00	-0.11	-1.68	0.96	0.04	-0.70	-0.32	-0.70	-0.60	0.46	0.11
1990	-1.26	-0.66	-1.25	-0.16	0.56	0.68	-0.82	-0.48	0.89	-0.28	0.41	1.78
1991	-1.13	-0.67	-0.37	1.67	1.86	-0.58	0.43	-0.09	1.81	2.59	-1.03	-1.21
1992	-1.30	-1.62	0.15	-0.07	-0.36	0.47	1.56	-0.74	-0.51	-0.19	-0.41	0.64
1993	-0.17	0.66	-0.45	-0.39	1.00	-1.35	-0.46	0.21	-0.19	-1.55	1.15	-0.33
1994	-0.68	-0.83	-0.68	-0.89	0.03	1.51	1.64	-0.68	-1.37	-0.27	0.16	0.24
1995	1.56	-0.20	0.34	-0.31	-0.81	-0.38	2.24	-0.38	1.03	-0.71	0.60	-0.49
1996	-0.81	1.88	1.28	1.03	-1.06	-1.27	-0.82	1.94	2.11	-0.58	-0.98	0.64
1997	-0.94	0.43	-0.06	1.48	-0.67	0.61	1.31	0.43	-0.54	1.50	-0.98	1.48
1998	-0.68	0.65	1.70	-0.65	2.04	-0.46	-0.50	-0.87	1.02	1.69	0.96	-0.05
1999	0.08	1.43	0.44	-0.99	-0.87	0.03	-1.02	0.07	-0.58	-0.98	0.35	0.08
2000	-0.05	1.25	0.15	0.46	0.47	-0.50	-0.64	-0.57	-0.35	0.72	-1.24	-1.03
2001	0.44	0.37	-0.86	1.26	0.32	-0.86	-1.33	-0.75	0.13	-1.35	2.02	0.75
2002	-0.93	-0.77	-0.42	-0.05	0.14	-0.10	-1.29	3.08	2.28	-0.19	0.61	-0.30
2003	0.74	1.22	-0.60	1.11	-1.22	-1.87	-0.78	-0.93	-0.83	1.27	-0.19	-0.34
2004	0.61	-0.68	0.03	-1.20	0.01	1.68	-0.68	0.05	-0.97	-0.12	-0.82	-0.87
2005	0.28	0.56	-0.61	-1.00	2.28	-0.10	-0.19	-0.63	0.24	-0.23	-0.63	1.45
2006	0.18	0.89	0.58	-1.47	-0.73	-0.70	-0.85	-0.56	0.50	-0.21	-0.32	-1.32

ayı takip etmiştir. Gözlem periyodunda temmuz ayı 12 kez, 1986, 1989, 1990, 1996, 1998, 1999, 2000, 2001, 2003, 2005, 2006 yıllarında olmak üzere en fazla kurak geçen ay olmuştur. Bu ayı 11 kez kuraklık ile ağustos ayı, 10 kez kuraklık tekrarı ile ocak, mayıs, eylül ve kasım ayları takip etmiştir. SPEI indisine göre tarımsal kuraklığın gözleendiği ay sayısı, SPI indisindeki meteorolojik kuraklık ay sayılarından oldukça fazla belirlenmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, İstanbul Büyükçekmece içme suyu havzasında yer alan Çatalca- Damlıca deresi havzasında 1982-2006 yılı arası 25 yıllık meteorolojik veriler kullanılarak havzada meteorolojik ve tarımsal kuraklık indekslerinde olan SPI ve SPEI indeksleri ile aylık, mevsimlik, 6 aylık ve yıllık kuraklık analizleri yapılmış ve iki indeks değerleri karşılaştırılmıştır. 25 yıllık veri seti ile yıllık SPEI ve SPI İndeksleri arasındaki önemli bir korelasyon ($r=0.977$) bulunmuştur. Yıllık değerlendirme sonuçlarına göre; SPEI indisi

ile havzada 4 yıl orta kurak, 7 yıl hafif kurak. SPI indisi ile ise 2 yıl şiddetli, 3 yıl orta kurak ve 2 yıl hafif kurak yıl olarak tespit edilmiştir. SPEI indisine göre yıllık on yıllık süreler dikkate alındığında yıllık kuraklıklar daha ziyade 1990'lı yıllarda görülürken, aylık kuraklıkların 2000'li yıllarda daha sıklıkla oluştuğu görülmüştür. Bu iklimsel döngülerdeki değişimin bir göstergesi olabilir.

SPEI indisi aylık, 3 aylık, 6 aylık analizlerinde kuraklık kategori şiddetlerinde SPI indisi şiddet verilerine göre azalma görülmüştür. Ancak, bu indekste, sıcaklık ve evapotranspirasyon verilerinin de kullanılması ile daha hassas sonuçlar elde edilmiştir. Kuraklığın tarımsal yönden incelenmesi ve azaltılması açısından SPEI indisinin aylık, mevsimlik ve altı aylık kuraklık analizleri ile bölgede ekimi yapılan bitkilerin vejetasyon dönemlerine göre kuraklık analizlerinin yapılması daha gerçekçi ve sağlıklı sonuçlar verecektir. Her iki yöntemde de en az kuraklık görülen ay mart ayı olmuştur.

SPEI indisi sonuçları ile SPI indisinin zayıf yönü olan toprak su bütçesi ile buharlaşma / potansiyel buharlaşma ısı (ET/PET) sorunu giderilmeye çalışılmıştır. Bu sayede havza bazında tarımsal kuraklıkların belirlenmesi ve gelecek kuraklık projeksiyonları için, bölgesel karar vericilerin daha doğru politikalar oluşturulmasında bu yöntemin kullanılması yerinde olacaktır.

KAYNAKLAR

Aksoy H, Eriş E, Çetin M, Önöz B, Yüce Mİ, Selek B, Aksu H, Burgan Hİ, Eşit M (2018). Gediz havzasında kuraklık analizi. Uluslararası Katılımlı "Türkiye Ulusal Jeodezi Jeofizik Birliği (TUJJB) Bilimsel Kongresi", p. 28-31, 30 Mayıs-02 Haziran, İzmir-Türkiye.

Bae S, Lee SH, Yoo SH, Kim T (2018). Analysis of drought intensity and trends using the modified SPEI in South Korea from 1981 to 2010. *Water*: 10, 327, doi:10.3390/w10030327.

Bakanoğulları F (2008). Çatalca-Damlıca deresi havzası yağış ve akım karakteristikleri. T.C. Tarım ve Köyşleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, No: Tagem-BB-Topraksu-2008/64, Kırklareli.

Chen S, Zhang L, Liu X, Guo M, She D (2018). The use of SPEI and TVDI to assess temporal-spatial variations in drought conditions in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin, China. *Hindawi, Advances in Meteorology*, Article ID 9362041, p.11, <https://doi.org/10.1155/2018/9362041>.

Çaldağ B, Şaylan L, Toros H, Bakanoğulları F (2004). Drought analysis in northwest Turkey. *Agroenvironment*, p.169-179, 20-24 October, Udine-Italy.

Çamalan G, Akgündüz AS, Ayvaci H, Çetin S, Arabacı H, Coşkun M (2017). SPEI indisine göre Türkiye geneli kuraklık değişim ve eğilim projeksiyonları. IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TİKDEK 5-7 Temmuz, İstanbul.

Çetin M, Aksoy H, Önöz B, Eriş E, Yüce Mİ, Selek B, Aksu H, Burgan Hİ, Eşit M, Çavuş Y, Orta S (2018). Deriving accumulated precipitation deficits from drought severity-duration frequency curves: A case study in Adana province, Turkey. 1st International Congress on Agricultural Structures and Irrigation, Proceedings and Abstracts Book, ISBN 978-605-81136-0-2: 39-48, 26-28 September 2018, Antalya-Turkey.

Dai A (2011). Drought under global warming: A review. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* 2: 45-65.

Gümüş V, Başak A, Oruç N (2016). Standartlaştırılmış yağış indisi (SYİ) yöntemi ile Şanlıurfa istasyonunun kuraklık analizi. *Harran University Journal of Engineering* 01: p.36-44.

Heim RR (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 83: 1149-1165.

Keskiner AD, Çetin M, Uçan M, Şimşek M (2016). Coğrafi bilgi sistemleri ortamında standardize yağış indisi yöntemiyle olasılıklı meteorolojik kuraklık analizi: Seyhan Havzası Örneği.

Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 31: 79-90.

Keskiner AD, Cetin M, Simsek M, Akin S, Cetiner I, (2019). Probabilistic regional meteorological drought analysis with standardized precipitation index and normal precipitation index methods in geographic information systems environment: A case study in Seyhan basin. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28 (7): 5675-5688.

Koutroulis AG, Vrochidou AEK, Tsanis IK (2011). Spatiotemporal characteristics of meteorological drought for the island of Crete. *J. Hydrometeorol.*, 12: 206-226.

Kwak JW, Lee, S.D., Kim, Y.S., Kim, H.S. (2013). Return period estimation of droughts using drought variables from standardized precipitation index. *J. Korean Water Resour. Assoc.* 46: 795-805. McKee TB, Doesken NJ, Kleist J (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society, Boston, MA: 179-184.

Nedealcov M, Raileanu V, Sirbu R, Cojocari R (2015). The use of standardized indicators (SPI and SPEI) in predicting droughts over the Republic of Moldova Territory. doi 10.1515/pesd-2015-0032 *Pesd*, Vol. 9 (2): 149-157.

Rossi G (2000). Drought mitigation measures: A comprehensive framework. In *drought and drought mitigation in Europe*; Voght, J., Somma, F., Eds.; Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, the Netherlands, p.233-246.

Stagge JH, Tallaksen LM, Gudmundsson L, Loonc AFV, Stahl K (2015). Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*. 35: 4027-4040, doi: 10.1002/joc.4267.

Svoboda MD, LeComte D, Hayes M, Heim R, Gleason K, Angel J, Miskus D (2002). The drought monitor. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 83: 1181-1190.

Tatlı H, Türkeş M (2011a). Palmer kuraklık şiddeti ve standartlaştırılmış yağış indislerinin Türkiye üzerinde karşılaştırılması. In: *5th Atmospheric Science Symposium Proceedings Book*, p.231-239, 27-29 April 2011, İstanbul.

Tatlı H, Türkeş M (2011b). Türkiye'nin kurak ve nemli koşullarının model çıktı istatistiği (MOS) ile incelenmesi. In: *5th Atmospheric Science Symposium Proceedings Book*, p.219-229, 27-29 April 2011, İstanbul.

Thornthwaite CW (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38: 55-94.

Tong S, Bao Y, Te R, Ma Q, Ha, Lusi A (2017). Analysis of drought characteristics in Xilingol grassland of Northern China based on SPEI and Its Impact on vegetation. *Hindawi, Mathematical Problems in Engineering*, p. 11, <https://doi.org/10.1155/2017/5209173>.

Türkeş M, Tatlı H (2008). Türkiye'de kuraklık olasılıklarının standartlaştırılmış yağış indisi (SPI) kullanılarak saptanması ve iklimsel değişkenlik açısından değerlendirilmesi. *Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (Ed. Ünal Akkemik), p.55-62. Türkiye Ormanlıklar Derneği Marmara Şubesi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, 13-14 Aralık 2007, Bahçeköy - İstanbul.

Türkeş M, Tatlı H (2009). Use of the standardized precipitation index (SPI) and modified SPI for shaping the drought probabilities over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29: 2270–2282. DOI: 10.1002/joc.1862.

Türkeş M (2014). Türkiye'deki 2013-2014 kuraklığının ve klimatolojik/meteorolojik nedenlerinin çözümlenmesi. *Konya Toprak Su Dergisi* 2: 20-34.

Türkeş M (2017). Türkiye'nin iklimsel değişkenlik ve sosyo-ekolojik göstergeler açısından kuraklıktan etkilenebilirlik ve risk çözümlemesi. *Ege Coğrafya Dergisi* 26 (2): 47-70.

Türkeş M (2019). Climate and drought in Turkey, Chapter 4. In Harmancioglu N B, Altınbilek D (Ed), *Water Resources of Turkey*. World Water Resources, 2. Springer, Cham, p.85-125. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11729-0_4.

Vicente-Serrano SM, Beguería S, López-Moreno JI (2010). A multiscale drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Clim.* 23: 1696-1718.

Wilhite DA, Glantz MH (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water Int.*, 10: 111-120.

Wilhite DA (2000). Drought as a natural hazard: Concept and definitions. In *Drought: A Global Assessment*; Wilhite, D. A., Ed.; Routledge: London, UK, pp: 3-18.

Wilhite DA, Svoboda MD, Hayes MJ (2007). Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resour. Manag.* 21: 763-774.

Yürekli K, Ünlükara A (2013). Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indisi (SPEI) ile Tokat ilinin kuraklık analizi, III. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, p.511-515, 1-4 Eylül, Tokat-Türkiye.