

Araştırma Makalesi

**Kırsal Havzalarda Kuraklığın İki Yöntem (SPEI ve SPI) Kullanılarak Belirlenmesi: Kumdere Havzası Örneği**

Fatih BAKANOĞULLARI\*

Atatürk Toprak, Su ve Tarımsal Meteoroloji Araştırma Enstitüsü-Kırklareli

\*Sorumlu yazar: [fbakanogullari@gmail.com](mailto:fbakanogullari@gmail.com)

Geliş Tarihi: 18.10.2019

Düzeltilme Geliş Tarihi: 12.12.2019

Kabul Tarihi: 16.12.2019

**Özet**

Atmosfer kaynaklı afetlerin içinde kuraklık en karmaşık ve hasar veren bir olaydır. Kurak ve yarı kurak ülkelerin en önemli sorunlarından biri, bitkilerin gelişimi için ihtiyaç duyulan suyun, yağışın miktar ve dağılımının yetersizliği nedeniyle yeterli miktarda ve gerekli zamanda bulunamamasıdır. Bu ülkelerde tarımsal üretim genelde yağışın doğal dağılımına, miktarına ve sulamaya bağlı olarak değişim göstermektedir. Kısacası kurak ve yarı kurak bölgelerde yağış, tarımsal üretimi kontrol eden en önemli faktördür. Türkiye'de de bazı bölgelerde kuraklık sorunu kendini özellikle tarım sektörüne ve ekosisteme yaptığı etkiler ile göstermektedir. Bu çalışmanın amacı Meriç nehir havzasında yer alan Kumdere havzasında 1985-2009 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 ( $R^2$ ) 0.95 olarak belirlenmiş ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ancak aylık, mevsimlik ve altı aylık kuraklık değerlendirmelerinde kuraklık şiddetleri arasında farklar görülmüştür. Yıllık değerlendirme sonuçlarına göre; SPEI indisi ile havzada 7 yıl hafif kurak (1985, 1986, 1991, 1993, 2001, 2004 ve 2007), 2 yıl orta kurak (2000, 2002), 1 yıl aşırı kurak (2008). SPI indisi ile ise 1 yıl aşırı kurak (2008), 1 yıl orta kurak (2000) ve 8 yıl hafif kurak (1985, 1986, 1991, 1992, 1993, 2001, 2002 ve 2004) yıl olarak tespit edilmiştir. Tarımsal üretim açısından yağış, sıcaklık ve evapotranspirasyon verileri ile hesaplanan SPEI kuraklık indisi kırsal havzalarda bitki gelişme dönemlerinde tarımsal yönden özellikle aylık kuraklık değerlendirmelerinde daha hassas sonuçlar verdiği için kuraklığın azaltılması politikalarında karar vericilere daha sağlıklı sonuçlar verebilir.

**Anahtar kelimeler:** Kuraklık, Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI), Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SPI), Kumdere havzası.

**Defining of Drought Using Two Methods (Spei and Spi) In Rural Watersheds: A Case Study Kumdere Watershed**

**Abstract**

Drought is the most complex and damaging event of atmospheric disasters. One of the most important problems of arid and semi-arid countries is that the water needed for the growing of plants is not available in sufficient amount and at the required time due to insufficient amount and distribution of precipitation. Agricultural production in these countries generally varies depending on the amount and distribution of rainfall, and irrigation. In short, precipitation in arid and semi-arid regions is the most important factor controlling agricultural production. In Turkey, the drought problem in some regions shows itself especially in the ecosystem and agriculture sectors. The aim of this study is to determine the frequency and severity of drought by using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and compare with Standardized Precipitation Index (SPI) using meteorological data measured between 1985-2009 in Kumdere watershed in Meriç river basin. 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 0.95 and found to be statistically significant. However, there were differences between drought severities in monthly, seasonal and six-month drought assessments. According to the annual evaluation results; SPEI index was found to be mild arid in the basin for 7 years (1985, 1986, 1991, 1993, 2001, 2004 and 2007), 2 years was moderate drought (2000, 2002), 1 year was extreme drought (2008). While SPI index was identified as 1 year extreme arid (2008), 1 year moderate arid (2000) and 8 years mild drought (1985, 1986, 1991, 1992, 1993, 2001, 2002 and 2004). The SPEI drought index calculated by precipitation, temperature and evapotranspiration data might give healthier results to the decision makers in drought mitigation policies since the plant growing season in rural watersheds give results that are more accurate especially in monthly agricultural drought assessments.

**Key words:** Drought, Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), Standardized Precipitation Index (SPI), Kumdere watershed.

## Giriş

Meteorolojik hadiselerden özellikle yağış ve sıcaklıkların bitki yetiştirme dönemindeki dağılımında yıldan yıla görülen değişimler Trakya Bölgesi'nde bitkisel üretimde ve verimlerinde önemli değişimlere neden olmaktadır. Toplam yağış yeterli olsa bile yağış dağılımının düzensiz olması, sıcaklıkların günlük ani değişimleri verim potansiyeli yüksek çeşitlerinde performanslarının düşmesine neden olabilmektedir. Mevcut su kaynaklarının yetersizliği ve küresel ısınmanın gözlenen ve beklenen olumsuz etkileri Trakya Bölgesi'nde tarımda kullanılacak çeşitlerin seçiminde kuraklığa dayanıklılık ve etkin su kullanım yeteneğinin temel özellikler olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Kuraklık ve sıcaklık etkisi nedeniyle kalite ve verimde ortaya çıkacak azalma ve bozulmalar özelde 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 (Wilhite, 2000, Koustroulis, ve ark., 2011, Rossi, 2000). Kuraklığın yağışa, toprak nemine ya da potansiyel evapotranspirasyona dayalı değişik tanımları vardır (Türkeş, 2019, Türkeş, 2017, Türkeş, 2014, Heim, 2002, Svoboda ve ark., 2002, Wilhite, 1985).

Genel olarak kuraklık, bir yörede yağışın, yer altı veya yüzey sularının, iklim olarak beklenen miktardan (ortalamadan) daha az olduğu süreler olarak tanımlanmaktadır. Kuraklık sıcaklık artışı ile doğru, yağış artışı ile ters orantılıdır (Çaldağ ve ark., 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 (Keskiner ve ark., 2019, Aksoy ve ark., 2018, Bae ve ark., 2018, Çetin ve ark., 2018, Chen ve ark., 2018, Çamalan ve ark., 2017, Tong ve ark., 2017, Gümüş ve ark., 2016, Keskiner ve ark., 2016, Nedealcov ve ark., 2015, Stagge ve ark., 2015, Kwak ve ark., 2013, Yürekli ve Ünlükara, 2013, Türkeş ve Tatlı, 2009, Wilhite ve ark., 2007).

Bu çalışmada; Meriç nehri su toplama havzasında yer alan uzun yıllar (1985-2009) hidrolojik ve meteorolojik ölçümlerin yapıldığı Kumdere araştırma havzasında (Şekil 1a) iki kuraklık indeksi yöntemi ile meteorolojik ve tarımsal kuraklığın farklı zaman dilimlerinde (aylık, mevsimlik, altı aylık ve oniki aylık) kuraklık şiddetlerini belirlenmiş ve analizi yapılmıştır.

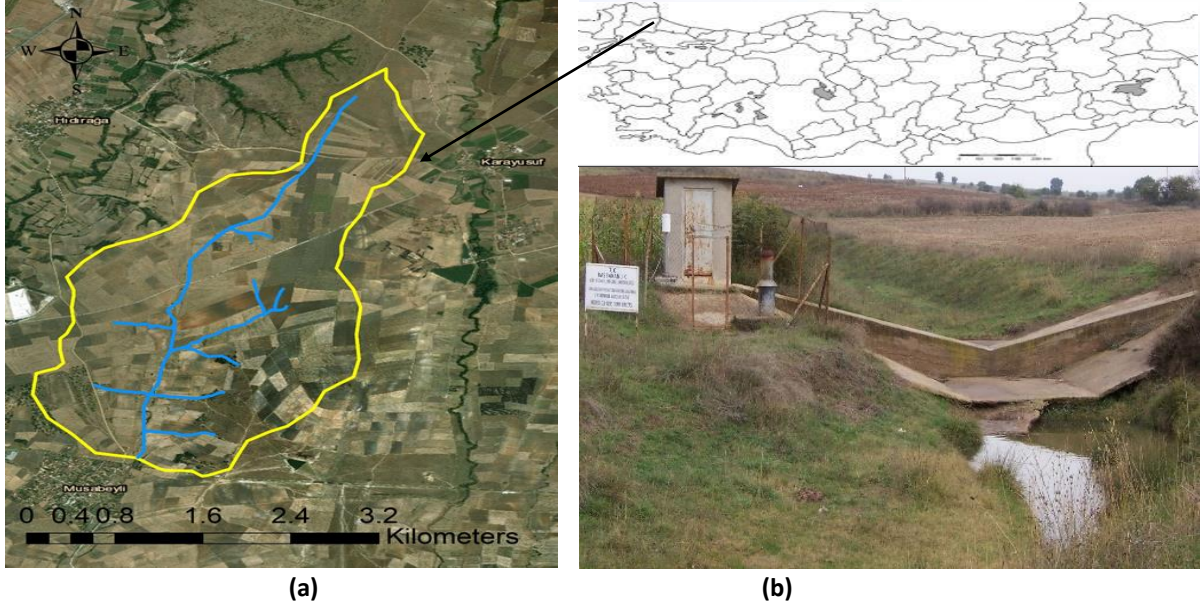
## Materyal ve Yöntem

Araştırma havzası, Mülga TOPRAKSU Genel Müdürlüğü tarafından Trakya bölgesi küçük su kaynaklarının planlanması amacıyla hidrometeorolojik araştırmalar yürütmek için deneme havzası olarak kurulmuştur. Kumdere havzası, Edirne ilinin yaklaşık 10 km kuzeybatısında, merkez ilçeye 10 km mesafededir. Musabeyli, Hıdırağa ve Karayusuf köylerinin sınırları içerisindedir. Havza alanı 4.40 km<sup>2</sup>'dir. Havzanın 1/25000'lik topoğrafik haritası incelendiğinde,

suyolları mertebelendirilmesinde kumderesi 3. dereceden bir kol olarak doğrudan Meriç nehrine dökülmektedir. Havza çıkışı  $41^{\circ} 40' 59''$  Kuzey enlemi ve  $26^{\circ} 40' 09''$  Doğu boylamlarında olup, denizden yüksekliği 115 m'dir.

Havza içinde üç adet yağış istasyonu, havza çıkışında da akımı ölçmek üzere bir adet akım ölçme

savağı tesis edilmiştir (Şekil 1b). Havzaya ait 3 yağış istasyonunun 25 yıllık (1985–2009) yağış verileri Thiessen Poligon yöntemi hesaplanarak, havzaya ait ortalama aylık yağışlar Çizelge 1'de, aylık ortalama sıcaklık verileri de Çizelge 2'de verilmiştir (Bakanoğulları ve Günay, 2011).



Şekil 1. Kumdere havzasının Google Earth görüntüsü ve ülkesel konumu (a), havza çıkış ölçüm savağı (b).

Çizelge 1. Kumdere havzası aylık ortalama yağış verileri.

Yıllar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1985	76.5	88.9	28.6	53.9	8.5	26.6	10.7	24.7	1.2	10.4	94.7	22.4
1986	90.0	114.4	52.8	37.3	4.6	12.7	9.4	6.0	0.0	82.7	18.5	35.3
1987	76.7	37.6	57.5	106.9	28.7	43.7	11.9	19.2	43.6	31.1	162.4	100.8
1988	25.7	66.2	145.9	39.6	21.0	38.1	5.6	0.0	32.1	31.1	131.6	77.5
1989	0.0	7.9	130.3	30.6	56.0	86.5	21.7	90.3	23.1	64.4	66.7	77.9
1990	1.2	11.1	8.5	82.7	93.0	24.8	19.4	3.2	73.7	110.3	55.2	121.0
1991	9.7	39.4	26.6	42.9	74.5	6.8	20.5	14.2	16.1	83.4	83.4	25.8
1992	1.9	28.8	45.0	43.1	52.1	79.2	17.3	5.9	4.8	65.7	99.0	18.8
1993	3.9	27.5	34.4	14.0	109.5	19.3	1.5	40.9	3.6	49.7	87.6	51.4
1994	18.7	15.0	31.9	62.4	16.5	104.5	55.6	11.0	0.4	111.6	58.9	115.4
1995	134.8	34.3	83.9	82.0	19.7	28.4	57.3	103.5	35.0	24.6	120.0	52.9
1996	29.4	127.5	79.6	59.0	6.4	1.9	1.0	54.0	78.7	10.7	104.2	85.0
1997	22.8	20.2	58.7	77.5	41.1	12.8	77.8	47.6	0.5	76.4	76.8	107.5
1998	46.9	93.9	79.1	29.6	168.6	48.4	23.3	4.0	126.4	129.0	129.5	100.0
1999	60.5	93.3	79.2	32.8	71.4	74.8	35.3	80.3	9.5	7.3	44.5	64.7
2000	10.3	30.3	42.8	72.2	20.5	23.7	1.9	20.6	57.4	38.6	51.3	37.3
2001	29.9	22.1	25.8	52.6	36.7	17.3	67.6	3.5	72.5	17.8	60.7	50.0
2002	22.8	24.0	86.8	27.6	14.2	18.9	16.6	7.3	75.6	13.6	66.4	45.7
2003	100.2	39.9	20.1	43.3	71.1	16.6	63.3	5.7	19.8	115.8	5.7	17.9
2004	54.3	8.4	45.4	12.0	59.3	129.5	22.8	22.6	1.0	4.3	27.6	84.7
2005	53.9	106.5	26.7	20.1	66.9	34.9	79.7	86.7	40.5	48.0	98.8	56.9
2006	61.5	47.9	70.9	17.4	23.0	82.4	33.7	20.9	73.2	53.3	26.9	18.9
2007	51.7	48.3	35.8	24.8	18.8	49.0	2.7	13.0	48.2	24.3	81.7	107.9
2008	28.4	9.8	22.4	48.2	16.0	37.2	11.8	8.9	0.7	17.0	29.2	35.6
2009	62.6	68.8	35.0	19.2	39.4	52.6	53.6	40.2	25.6	131.0	31.4	62.8

**Çizelge 2.** Kumdere havzası aylık ortalama sıcaklık verileri.

Yıllar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1985	2.6	-1.2	6.0	14.0	19.7	21.3	23.5	24.5	19.4	11.8	10.1	6.6
1986	5.7	3.0	6.5	15.2	17.8	22.4	23.9	25.2	20.6	13.1	6.0	1.8
1987	1.0	5.3	3.1	10.8	16.7	22.6	25.7	22.3	21.0	12.2	10.4	3.1
1988	4.6	4.7	8.1	11.5	17.4	22.0	26.6	24.9	19.9	12.4	3.7	3.5
1989	1.7	6.0	10.0	15.8	16.3	20.4	23.3	24.1	19.4	12.8	7.0	3.1
1990	0.6	6.2	10.5	13.4	17.1	21.9	24.8	23.7	18.7	13.8	11.6	6.3
1991	2.0	3.5	6.9	11.4	15.9	22.6	24.5	23.4	19.8	14.2	9.1	0.7
1992	2.1	2.9	7.6	12.7	16.0	21.4	22.8	25.7	18.8	16.6	9.2	2.2
1993	1.2	1.2	6.4	12.3	17.2	21.7	23.6	24.2	19.7	16.0	5.5	6.4
1994	5.3	4.4	9.0	14.6	19.1	22.2	25.0	25.8	24.1	15.4	7.0	4.0
1995	2.5	7.7	8.1	12.3	17.7	24.0	24.4	23.4	19.6	12.7	5.7	5.1
1996	1.2	2.1	3.5	11.5	20.6	23.3	25.3	23.8	18.1	13.2	10.1	6.0
1997	3.2	4.3	6.1	9.2	19.0	23.1	24.4	21.6	17.3	12.0	9.3	4.0
1998	4.0	6.0	5.2	14.6	17.7	23.2	25.1	25.6	18.9	14.8	7.6	0.6
1999	3.4	3.6	8.6	14.2	18.3	23.5	25.6	24.9	20.6	15.5	8.7	6.7
2000	0.4	5.6	7.5	15.5	18.4	22.7	26.8	25.2	19.7	13.7	11.6	6.5
2001	5.4	6.5	12.0	13.0	18.3	22.6	27.3	26.5	21.2	15.8	8.2	-1.4
2002	1.8	8.2	9.3	11.7	18.4	23.4	26.7	24.2	19.8	14.7	10.4	3.0
2003	4.7	0.0	5.0	10.4	20.2	24.7	25.3	26.3	19.1	14.1	9.1	3.5
2004	2.2	4.9	8.6	13.2	17.1	22.1	24.6	24.0	20.6	16.5	9.8	5.5
2005	4.4	3.4	8.0	13.4	18.6	21.5	24.5	24.8	20.2	13.5	8.4	4.7
2006	0.3	3.3	8.5	14.0	18.4	22.4	23.8	26.2	19.8	14.7	8.2	3.8
2007	6.6	5.8	8.6	12.6	19.9	25.3	27.8	26.6	19.4	15.0	8.0	2.9
2008	1.2	5.0	11.1	14.4	18.5	23.7	25.5	26.5	19.7	14.9	10.4	6.4
2009	3.1	5.4	8.3	12.9	19.8	23.8	26.1	25.3	19.8	15.1	10.0	7.2

**Standartlaştırılmış yağış indisi (SPI)**

SPI, McKee ve ark. (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 ortalamadan olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir.

$$SPI_{i,j} = \frac{X_{i,j} - X_j^{ort}}{\sigma_j}$$

Eşitlik 1

Eşitlik 1`de,  $X_{i,j}$ , i yılının j ayındaki yağışı (mm),  $X_j^{ort}$  j ayındaki ortalama yağışı (mm) ve  $\sigma_j$  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, 2011a.b., Aksoy ve ark., 2018).

**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.

$$D_i = P_i - PET_i$$

Eşitlik 2

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

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

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

Eşitlik 3

Eşitlik 3`de; i, aylık sıcaklık indisi, t; ortalama aylık sıcaklık (°C)'dir.

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

$$I = \sum_{k=1}^{12} i \quad k = 1-12$$

Eşitlik 4

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

$$PET = 16 * (10 * t) / I^a$$

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.

$$a = \frac{(0.000000675 * I^3) - (0.000077 * I^2) + (0.01792 * I) + 0.49239}{\text{Eşitlik 6}}$$

**d)** Düzeltilmiş Potansiyel Evapotranspirasyon (DPET, mm/ay), bulmak için, her aya ait evapotranspirasyon ile enlem düzeltme katsayısını çarpıp yeterli olmaktadır. Enlem düzeltme

katsayısı (G), ortalama güneşlenme sürelerine göre değişen bir değerdir ve çizelge biçiminde Thornthwaite tarafından hazırlanmıştır.

$$DPET = (PET * G)$$

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 sınıflandırılması.

SPEI ve 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 Tartışma

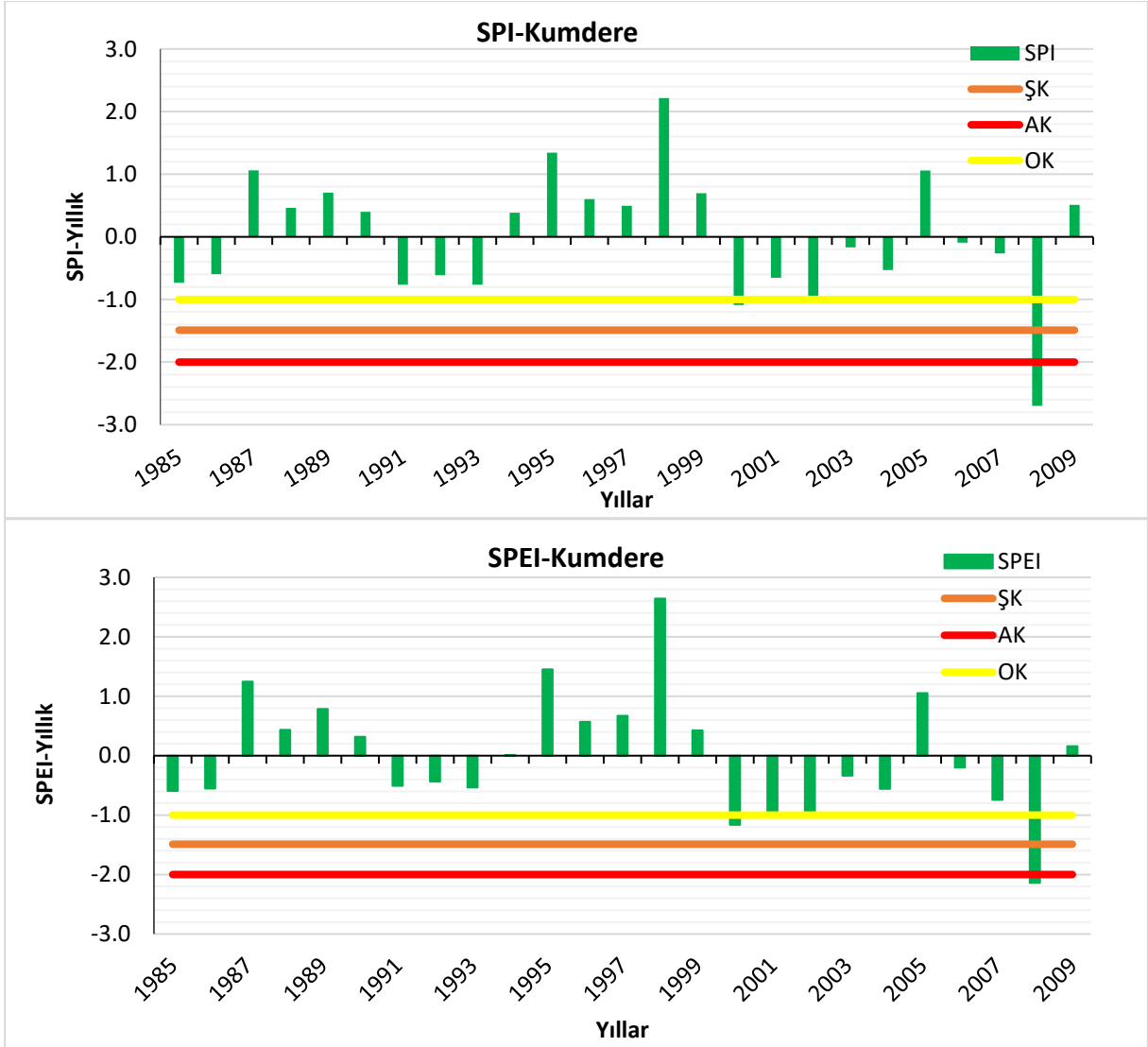
Bu çalışmada; Kumdere havzasında 25 yıllık (1985-2009) iklimsel veriler ile SPI ve SPEI yöntemi ile yapılan kuraklık çalışmasında oniki aylık kuraklık analizleri yapılmıştır (Şekil 2). Her iki indis ile altı ve üç aylık kuraklık analiz sonuçları Şekil 4 ve 5 de verilmiştir. Her iki yöntem ile aylık kuraklık analizleri kuraklık şiddet kategorisine göre renk dağılımı ile Çizelge 2 ve 3 de ayrıntılı olarak verilmiştir.

SPI indisi yıllık kuraklık analizinde (Şekil 2) Kumdere havzasında meteorolojik olarak 10 yıl kurak, 8 yıl ıslak ve 7 yıl normal yıl olarak belirlenmiştir. Kurak yılların şiddet dağılımı şöyledir; 1985, 1986, 1991, 1992, 1993, 2001, 2002 ve 2004 yılları hafif kurak, 2000 yılı orta kurak, 2008 yılı ise aşırı kurak yıl kategorisinde yer almıştır. SPEI indisine göre ise yıllık tarımsal kuraklık yönünden incelendiğinde; 10 yıl kurak, 7 yıl ıslak ve 8 yıl normal yıl olarak belirlenmiştir. SPEI indisine göre kuraklık şiddet dağılımının yıllara göre açılımı şöyledir; 1985, 1986, 1991, 1993, 2001 2004 ve 2007 yılları hafif kurak, 2000 ve 2002 yılları orta kurak, yıl, 2008 yılı ise aşırı kurak yıl kategorisinde yer almıştır. Her iki indisin yıllık kuraklık analizleri birbirine benzer sonuçlar vermiştir. Çamalan ve ark. (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

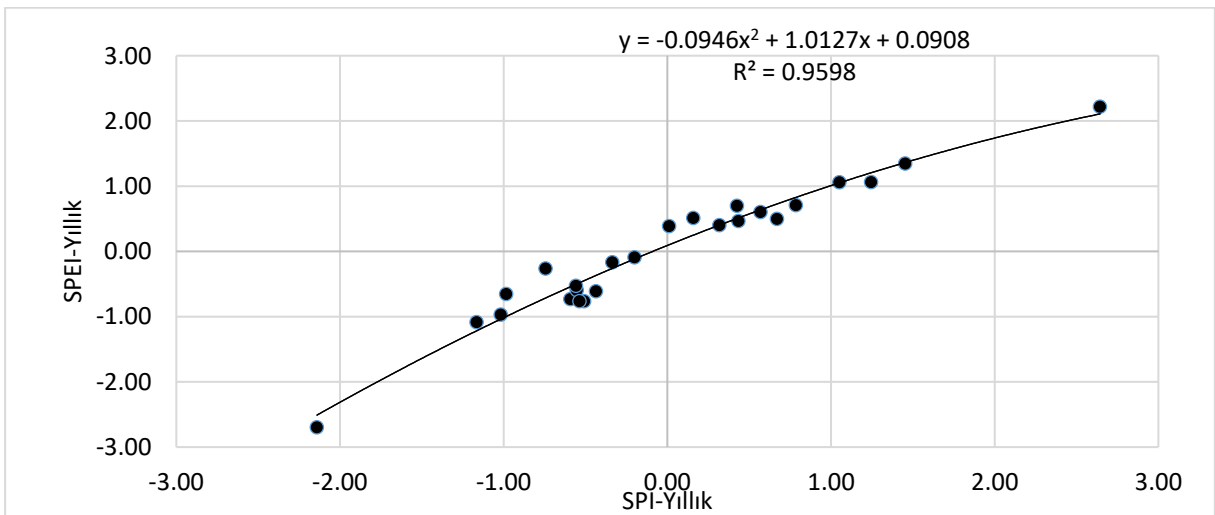
ile küresel ölçekteki HadGEM2-ES modelinin RCP4.5 senaryosunun 2016 – 2098 periyodu bölgesel iklim kuraklık çıktıları ile ileriye dönük projeksiyonlar yapmıştır. Kumdere havzası gibi küçük havzalarda kuraklık çalışmaları yaygınlaştırılarak bölgesel tarımsal kuraklık projeksiyonları yapılabilir.

Havzanın 25 yıllık meteorolojik verileri ile yapılan yıllık SPI ve SPEI kuraklık verileri arasında yapılan değerlendirmede regresyon analiz sonuçları Şekil 3 de verilmiş, ikinci derece polinoma göre yıllık SPI ve SPEI kuraklık indeksleri arasında determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) 0.95 olarak belirlenmiş ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Tong ve ark. (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.

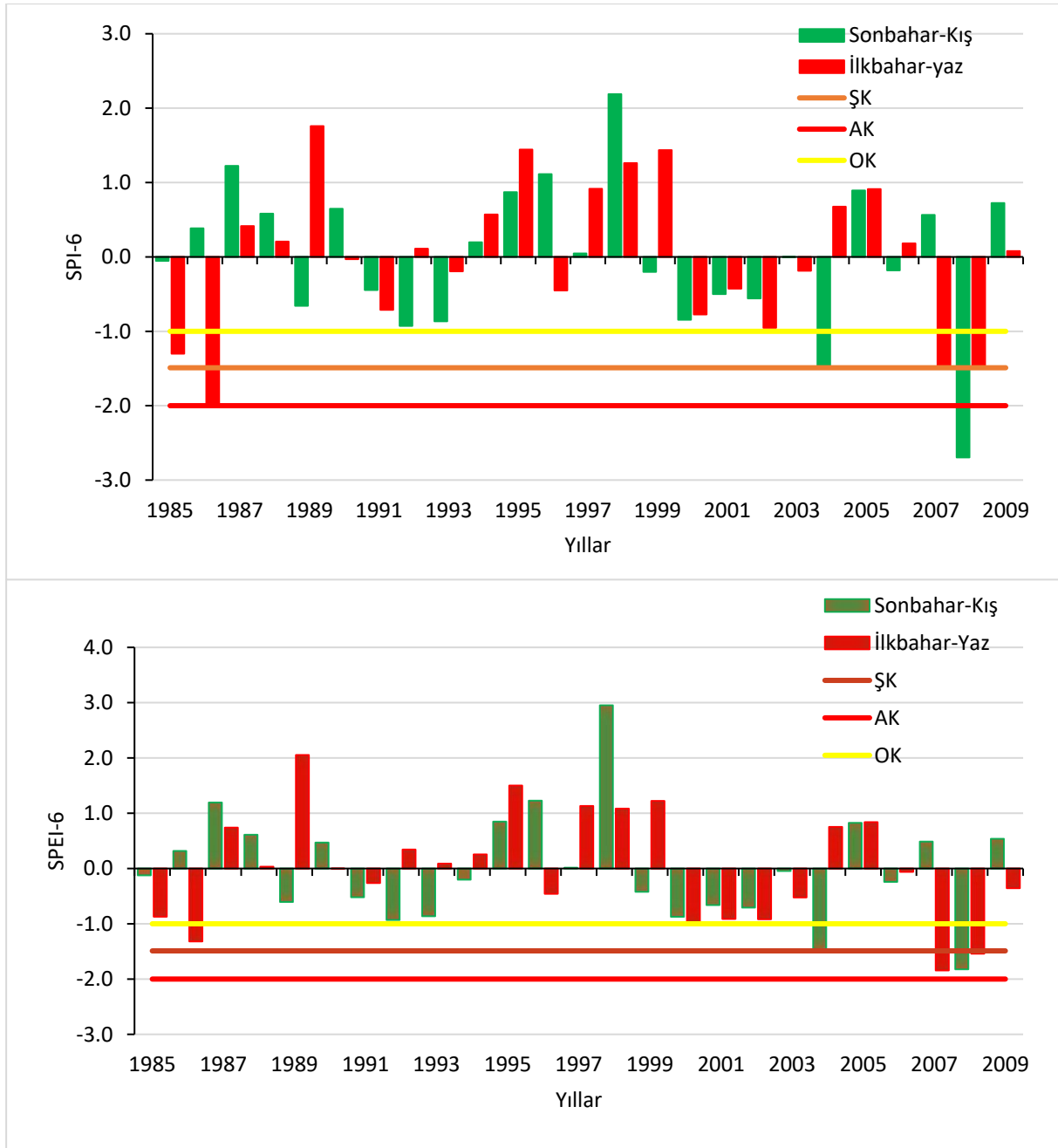
Havzanın her iki kuraklık indisi yapılan sonbahar-kış ve ilkbahar-yaz dönemlerinin altı aylık kuraklık analizinde (Şekil 4); her iki yöntemde de sonbahar-kış dönemlerinde kurak geçen yıl sayısı fazla olmuştur. Toplam kurak geçen yıl sayısı yıllık değerlendirmeye göre artmış SPEI yöntemine göre kurak yıl sayısı 17 yıla çıkmıştır.



Şekil 2. Kumdere havzası SPI ve SPEI indislerine göre oniki aylık kuraklık dağılımları.



Şekil 3. Kumdere havzası yıllık SPI-SPEI indisleri regresyon eğrisi ve denklemini.



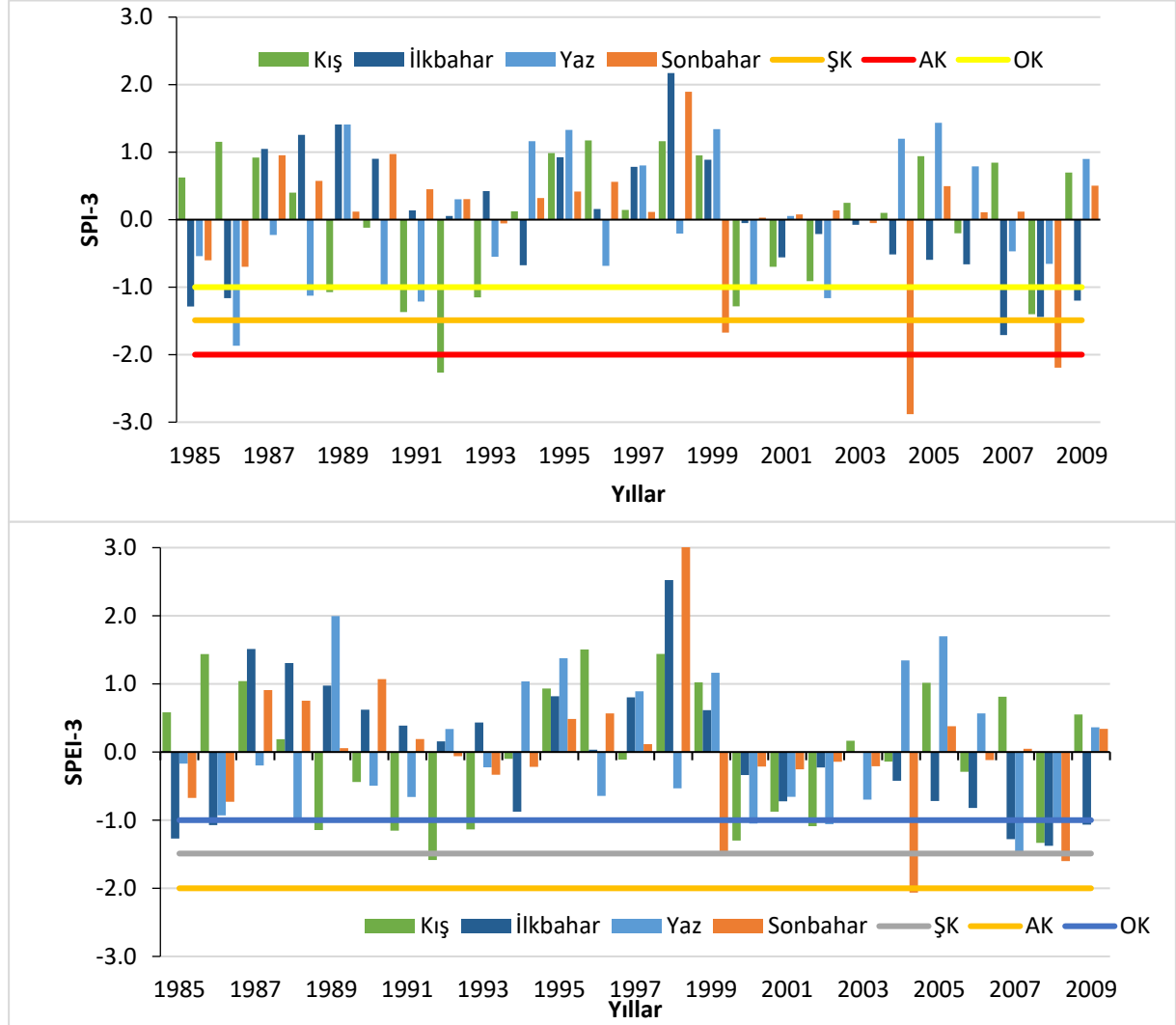
**Şekil 4.** Kumdere havzası SPI ve SPEI indisleri altı aylık kuraklık dağılımı.

Mevsimsel kuraklık değerlendirmelerinde SPI indisine göre (Şekil 5); 1987,1997, 1998 ve 2003 yıllarında dört mevsimin hiç birinde kuraklık görülmemişken gözlem yapılan diğer yılların hepsinde en az bir mevsim kurak geçmiştir. 25 yıllık sürede 8 kış, 10 ilkbahar, 10 yaz ve 5 sonbahar mevsiminde kuraklık belirlenmiştir. SPEI indisine göre (Şekil 5); 1987,1990, 1995 ve 1997 yıllarında dört mevsimin hiç birinde kuraklık görülmemişken gözlem yapılan diğer yılların hepsinde en az bir mevsim kurak geçmiştir. Gözlem yapılan 25 yıllık sürede 8 kış, 9 ilkbahar, 11 yaz ve 5 sonbahar mevsiminde kuraklık belirlenmiştir. Mevsimsel analizlere göre her iki yöntemde benzer sonuçlar

çıkarsa dahi, SPEI indisi ile tarımsal üretimde mevsimsel kuraklıkların önemli olması dolayısıyla daha hassas sonuçlar vermiştir. Örneğin 1998 yılı her iki yöntemde de aşırı ıslak yıl olarak hesaplanmış olmasına rağmen SPEI indisi ile yaz mevsimi kurak geçmiştir. Nedelcov ve ark. (2015) 1980-2014 ölçüm periyodu için SPEI ve SPI indeksleri ile Moldova için kuraklığın üç ve altı aylık dilimlerde zamansal ve mekânsal dağılımlarını karşılaştırmışlardır. Zamansal dağılımlarda her iki indisinde benzer şekiller verdiği, fakat kuraklık süre ve şiddetleri açısından SPEI değerlerinin sadece yağışı değil evapotranspirasyonu da kullanması sebebiyle farklar olduğunu belirtmişlerdir. Keskiner

ve ark. (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 yanı sıra tarımsal kuraklığın da izlenmesine katkı sağlayacaktır.



Şekil 5. Kumdere havzası mevsimlik SPI ve SPEI indisleri mevsimsel kuraklık dağılımı.

Kumdere havzasında aylar bazında kuraklıkların değerlendirilmesinde SPI indisine göre (Çizelge 4); 2008 yılında yedi ayın kurak geçtiği belirlenmiştir. En şiddetli kurak ay 1988 yılı ağustos ayında (-3.35) belirlenmiştir. Bunu 2003 yılı kasım ayı (-3.14) takip etmiştir. Gözlem periyodunda ocak ayı 10 yıl (1988-1994, 1997, 2000, 2002) olmak üzere en fazla kurak geçen ay olmuştur. Temmuz ayı ise en az kuraklık belirlenen ay (5 yıl) olmuştur. Islak yıl olarak belirlenen yıllarda dahi 1987 yılı hariç en az bir ay kurak olarak belirlenmiştir. SPEI indisine göre (Çizelge 5) aylık kuraklık değerlendirilmesinde; en şiddetli kurak ay, Temmuz (-1.86) 2007, bu ayı 1990 yılı Mart (-1.66) ayı takip etmiştir. Gözlem periyodunda ocak ayı 11 kez, (1988-1994, 1999, 2000, 2001, 2002) yıllarında olmak üzere en fazla

kurak geçen ay olmuştur. Gözlem periyodu süresinde her yıl en az bir ay olmak üzere kurak geçen ay belirlenmiş ve 2008 yılı toplam 9 ay kurak ay olarak belirlenmiştir. SPEI indisine göre tarımsal kuraklığın gözlemlendiği ay sayısı, SPI indisindeki meteorolojik kuraklık ay sayılarından oldukça fazla olduğu ve kuraklıkların şiddeti ve kurak geçen ay sayıları 2000 yıllarında artış göstermiştir. Bu iklimsel döngülerdeki değişimin bir göstergesi olabilir.

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.



**Çizelge 4.** Kumdere havzası SPI indisine göre aylık kuraklık şiddetleri.

Yıl	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
1985	0.97	1.08	-0.70	0.56	-1.46	-0.15	-0.36	0.35	-1.13	-1.32	0.63	-1.43
1986	1.36	1.38	0.25	-0.07	-2.14	-0.94	-0.46	-0.60	-2.35	0.82	-1.56	-0.69
1987	0.97	0.06	0.38	1.73	-0.12	0.38	-0.27	0.18	0.64	-0.19	1.35	1.03
1988	-0.50	0.73	1.83	0.03	-0.47	0.23	-0.87	-3.35	0.49	-0.19	1.07	0.60
1989	-1.24	-1.80	1.65	-0.41	0.62	1.10	0.20	1.22	0.32	0.56	0.16	0.61
1990	-1.21	-1.40	-2.59	1.29	1.18	-0.23	0.11	-1.02	0.89	1.11	-0.10	1.33
1991	-0.96	0.11	-0.82	0.17	0.93	-1.61	0.16	-0.02	0.15	0.82	0.46	-1.20
1992	-1.19	-0.26	0.00	0.18	0.54	1.01	0.02	-0.61	-0.45	0.58	0.69	-1.72
1993	-1.13	-0.32	-0.42	-1.75	1.36	-0.49	-1.92	0.69	-0.59	0.29	0.52	-0.07
1994	-0.70	-1.04	-0.53	0.81	-0.73	1.31	0.95	-0.19	-1.67	1.13	-0.01	1.25
1995	2.65	-0.05	0.97	1.28	-0.54	-0.08	0.97	1.31	0.53	-0.43	0.95	-0.02
1996	-0.39	1.51	0.89	0.71	-1.78	-2.97	-2.24	0.87	0.93	-1.29	0.76	0.75
1997	-0.58	-0.68	0.41	1.18	0.27	-0.93	1.22	0.79	-1.56	0.73	0.35	1.14
1998	0.11	1.15	0.88	-0.47	1.83	0.49	0.26	-0.87	1.16	1.27	1.05	1.02
1999	0.51	1.14	0.88	-0.29	0.88	0.95	0.59	1.14	-0.11	-1.69	-0.38	0.31
2000	-0.94	-0.20	-0.08	1.06	-0.49	-0.28	-1.73	0.23	0.77	0.03	-0.19	-0.60
2001	-0.38	-0.58	-0.86	0.52	0.15	-0.61	1.11	-0.96	0.88	-0.77	0.03	-0.12
2002	-0.58	-0.48	1.02	-0.59	-0.90	-0.52	-0.01	-0.47	0.91	-1.04	0.15	-0.26
2003	1.65	0.13	-1.25	0.18	0.88	-0.66	1.05	-0.63	0.25	1.16	-3.14	-1.80
2004	0.33	-1.73	0.01	-2.01	0.68	1.53	0.24	0.29	-1.22	-2.23	-1.03	0.75
2005	0.32	1.30	-0.81	-1.13	0.81	0.14	1.24	1.19	0.60	0.26	0.68	0.10
2006	0.53	0.35	0.71	-1.38	-0.37	1.05	0.55	0.24	0.89	0.36	-1.06	-1.71
2007	0.25	0.36	-0.35	-0.77	-0.59	0.50	-1.45	-0.08	0.68	-0.45	0.43	1.14
2008	-0.42	-1.55	-1.08	0.37	-0.77	0.20	-0.28	-0.34	-1.39	-0.81	-0.95	-0.67
2009	0.57	0.78	-0.39	-1.21	0.23	0.57	0.92	0.67	0.37	1.29	-0.85	0.26

**Çizelge 5.** Kumdere havzası SPEI indisine göre aylık kuraklık şiddetleri.

Yıl	Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
1985	1.01	1.26	-0.55	0.04	-1.19	-0.13	-0.14	-0.07	-0.86	-0.80	0.39	-1.42
1986	1.18	1.81	0.09	-0.80	-0.92	-0.76	-0.30	-0.75	-1.10	0.82	-1.12	-0.68
1987	1.10	-0.37	0.54	2.55	-0.20	0.01	-0.81	0.25	-0.02	-0.37	2.00	1.20
1988	-0.64	0.44	2.56	0.05	-0.48	0.02	-1.32	-0.85	-0.11	-0.37	1.80	0.49
1989	-1.21	-1.19	1.84	-1.22	0.53	1.68	0.30	1.82	-0.28	0.38	-0.03	0.52
1990	-1.12	-1.09	-1.66	1.27	1.32	-0.29	-0.23	-0.46	1.27	1.43	-0.69	1.60
1991	-0.94	-0.19	-0.74	0.14	1.02	-1.00	-0.13	-0.13	-0.55	0.65	0.18	-0.92
1992	-1.17	-0.43	-0.28	-0.09	0.49	1.26	0.30	-0.87	-0.66	-0.08	0.57	-1.20
1993	-1.07	-0.37	-0.45	-1.06	1.63	-0.45	-0.52	0.43	-0.86	-0.40	0.59	-0.55
1994	-0.84	-0.83	-0.72	0.39	-0.78	1.87	1.02	-0.73	-1.72	1.31	-0.15	1.64
1995	2.74	-0.63	0.79	1.42	-0.55	-0.71	1.23	2.36	0.03	-0.56	1.39	-0.37
1996	-0.31	2.20	1.16	0.76	-1.41	-1.27	-1.06	0.90	1.48	-0.96	0.63	0.52
1997	-0.64	-0.76	0.25	1.76	-0.35	-0.97	1.91	1.16	-0.57	0.73	-0.02	1.33
1998	0.05	1.08	1.00	-0.91	3.00	0.04	-0.19	-0.89	2.65	1.75	1.49	1.32
1999	0.52	1.25	0.67	-0.62	0.64	0.72	0.08	1.40	-0.78	-1.27	-0.65	-0.10
2000	-0.84	-0.52	-0.24	0.51	-0.57	-0.47	-1.52	-0.32	0.70	-0.26	-0.75	-0.91
2001	-0.51	-0.78	-1.28	0.41	-0.14	-0.60	0.62	-1.12	0.84	-1.02	-0.19	-0.17
2002	-0.52	-0.90	0.79	-0.30	-0.74	-0.79	-0.96	-0.45	1.15	-1.02	-0.28	-0.41
2003	1.58	-0.02	-0.66	0.47	0.23	-1.19	1.16	-1.02	-0.26	1.53	-1.67	-1.29
2004	0.39	-1.06	-0.34	-1.21	0.54	2.52	-0.04	0.01	-1.04	-1.51	-1.19	0.58
2005	0.23	1.59	-0.82	-1.00	0.42	0.07	2.00	1.58	0.08	-0.07	0.66	-0.21
2006	0.67	0.06	0.39	-1.21	-0.57	1.16	0.60	-0.57	1.05	-0.08	-1.08	-1.28
2007	0.05	-0.04	-0.53	-0.50	-0.87	-0.43	-1.86	-0.88	0.54	-0.74	0.34	1.48
2008	-0.33	-1.00	-1.26	-0.07	-0.67	-0.34	-0.70	-0.97	-0.82	-0.92	-1.16	-0.94
2009	0.60	0.51	-0.54	-0.80	-0.38	0.05	0.56	0.20	-0.17	1.82	-1.08	-0.19

## Sonuç ve Öneriler

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 üretimi yapılan kültür bitkilerinin gelişme dönemlerindeki tarımsal kuraklıkların belirlenmesi, izlenmesi 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, M. İ., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. İ., Eşit, M. 2018. Gediz havzasında kuraklık analizi. Uluslararası Katılımlı "Türkiye Ulusal Jeodezi Jeofizik Birliği(TUJJB) Bilimsel Kongresi", pp:28-31, 30 Mayıs-02 Haziran, İzmir, Türkiye.
- Bae, S., Lee, S.H., Yoo, S.H. and 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/w10030327www.mdpi.com/journal/water.
- Bakanoğulları, F., Günay, S. 2011. *Kumdere havzası yağış ve akım karakteristikleri*. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Yayın No: TAGEM-BB-TOPRAKSU-2011/126 ISBN: 978-975-407-323-2 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*, Volume 2018 11 pages.
- Çaldağ, B., Şaylan, L., Toros, H., Bakanoğulları, F. 2004. Drought Analysis in northwest Turkey. *Agroenvironment*, pp.169-179, 20-24 October, Udine, Italy.
- Çamalan, G., Akgündüz, A.S., Ayvacı, 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, M. İ., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. İ., 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, Antalya, Turkey (www.icası2018.com), 26-28 September, ISBN 978-605-81136-0-2: 39-48.
- Dai, A. 2011. Drought under global warming: A review. *Wiley Interdiscip. Rev. Climate Change*. 2: 45–65.
- Gümüş, V., Başak, A. Oruç, N. 2016. Standartlaştırılmış yağış indisi (SYİ) yöntemi ile Şanlıurfa istasyonunun kuraklık analizi. *H.U. Journal of Engineering*. 01: 36-44.
- Heim, R.R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 83: 1149–1165.
- Keskiner A.D., 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*, cilt.31: 79-90.
- Keskiner, A.D., 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* Vol 28, No 7: 5675-5688.
- Koutroulis, A.G., Vrochidou, A.-E.K., Tsanis, I.K. 2011. Spatiotemporal characteristics of meteorological drought for the island of Crete. *Journal of Hydrometeorology* 12: 206–226.
- Kwak, J.W., 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 Resources Assoc.* 46: 795–805.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., 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, J.H., Tallaksen, L.M., Gudmundsson, L., Loon, A.F. V. and 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, M.D., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Miskus, D. 2002. The drought monitor. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 83: 1181–1190.
- Thorntwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38: 55–94.
- Tong, S., Bao, Y., Te, R., Ma, Q., Ha, S., and 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*. Volume 2017, Article ID 5209173, 11 pages <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), 55-62. Türkiye Ormancılar 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.
- Tatlı, H., Türkeş, M. 2011a. Palmer kuraklık şiddeti ve standartlaştırılmış yağış indislerinin Türkiye üzerinde karşılaştırılması. In: 5th Atmospheric Science Symposium Proceedings Book, s.231-239, 27-29 April: İstanbul, (in Turkish with an English abstract).
- Tatlı, H., Türkeş, M. 2011b. Türkiye’nin kurak ve nemli koşullarının model çıktı istatistiği (MOS) ile incelenmesi (Examination of the dry and wet conditions in Turkey via model output statistics (MOS)). In: 5th Atmospheric Science Symposium Proceedings Book, s.219-229, 27-29 April: İstanbul, (in Turkish with an English abstract).
- Türkeş, M. 2014. Türkiye’deki 2013-2014 kuraklığının ve klimatolojik/meteorolojik nedenlerinin çözülmesi (Analysis of 2013-2014 Drought in Turkey and Its Climatological and Meteorological Reasons). *Konya Toprak Su Dergisi* 2: 20-34. (in Turkish and English).
- Türkeş, M. 2017. Türkiye’nin iklimsel değişkenlik ve sosyo-ekolojik göstergeler açısından kuraklıktan etkilenebilirlik ve risk çözümlemesi (Drought vulnerability and risk analysis of Turkey with respect to climatic variability and socio-ecological indicators). *Ege Coğrafya Dergisi* 26(2): 47-70, (in Turkish with an English abstract, figure and table captions).
- Türkes, M. 2019. Climate and Drought in Turkey, Chapter 4. In Harmancioglu, N. B., Altinbilek, D. (Eds.), *Water Resources of Turkey. World Water Resources*, vol 2. Springer, Cham, pp 85-125.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I. 2010. A multiscale drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climatology*. 23: 1696–1718.
- Wilhite, D.A., Glantz, M.H. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water Int.*, 10: 111–120.
- Wilhite, D.A. 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, D.A., Svoboda, M.D., Hayes, M.J. 2007. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management* 21: 763–774.
- Yürekli, K., Ünlükara, A. 2013. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ile Tokat ilinin kuraklık analizi, III. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, pp.511-515, 1 - 04 Eylül, Tokat, Türkiye.