

# Ceyhan Havzasının Kuraklık Risk Haritasının SPI ve SPEI Metotları ile Belirlenmesi

Mehmet İshak YÜCE<sup>1</sup>, Musa EŞİT<sup>1,2</sup>

Yazışma yazarı:  
Musa EŞİT,  
mesit@adiyaman.edu.tr

<sup>1</sup>Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şehitkamil, Gaziantep, Türkiye.  
ORCID: 0000-0003-4509-7283  
<sup>2</sup>Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Altınşehir, Adiyaman, Türkiye.  
ORCID: 0000-0002-6267-9528

Referans:  
Yüce, M., Esit, M., (2020), Ceyhan Havzasının Kuraklık Risk Haritasının SPI ve SPEI Metotları ile Belirlenmesi, Su Kaynakları, 5, (2) 1-8

Makale Gönderimi : 29 NİSAN 2020  
Online Kabul : 24 AĞUSTOS 2020  
Online Basım : 25 EYLÜL 2020

**Özet** SPI (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) ve SPEI (Normalleştirilmiş Yağış-Buharlaşma İndeksi), Ceyhan Havzasının aylık meteorolojik verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Veri kümesinin bütünlüğüne ve uzunluğuna göre, bu çalışmada 1963'ten 2016'ya kadar 8 meteoroloji istasyonunun aylık verileri kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, SPI ve SPEI 1- ve 3-aylık zaman serilerinde  $0.83 < r < 0.96$  aralığında değişen çok güçlü korelasyon elde edilmiştir. 2007-2009 yılları arası yapılan kuraklık sınıfları değerlendirilmesinde, her iki indisin hem kuru dönemde hem de nemli dönemdeki performansı benzerlik göstermektedir. Ancak, SPEI yönteminin SPI'ya göre, kurak dönemlerdeki performansı daha yüksek değerler gösterirken, nemli dönemlerde bu değerler daha az olarak ölçülmüştür. Kuraklık indisleri nispi frekans değerleri ayrıca 1986-1995, 1996-2005 ve 2006-2011 yılları arasında "normal" ve "şiddetli" kuraklık sınıflandırmasına göre karşılaştırılmıştır. Kuraklık sınıflandırmasında en yüksek kuraklık tipinin "normal" olarak en düşük değer %20 oranında SPI, %23 oranında SPEI yöntemi için ölçüldüğü belirlenmiştir. Farklı zaman dilimleri için her iki metodun performansı havza üzerinde alansal değerlendirilmiş olup, SPI ve SPEI normal kuraklık kategorisindeki performansları benzerlik gösterirken, aynı durum şiddetli kuraklık kategorisinde gözlemlenmemiştir. Bu çalışmanın sonuçları, Ceyhan Havzasında yapılacak su temini, su yapıları, vb. projelerinin planlamasına fayda sunması beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** SPI, SPEI, Ceyhan Havzası, Korelasyon

## Determination of the Drought Risk Map of Ceyhan Basin by SPI and SPEI Methods

**Abstract** SPI (Standardized Precipitation Index) and SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) were calculated using the monthly meteorological data of Ceyhan Basin. According to the length and integrity of the dataset, this study was performed monthly data from 8 meteorology stations between 1963 to 2016. The results showed that very strong correlations were obtained in the SPI and SPEI 1- and 3-month time series, ranging from  $0.83 < r < 0.96$ . In evaluating the drought classes between 2007-2009, the performance of both indices indicated similar for dry and wet period. However, while the performance of the SPEI method in the dry periods showed higher values compared to the SPI, these values were measured less in the wet periods. Drought indices relative frequency values were also compared between 1986-1995, 1996-2005 and 2006-2011 according to the "normal" and "severe" drought classification. In drought classification, the highest drought type was measured as "normal" for the SPI and SPEI methods with the lowest value of 20% and 23% respectively. The performance of both methods for different time periods was evaluated spatially on the basin, whereas SPI and SPEI were similar in the normal drought category, the same was not observed in the severe drought category. The results of this study are expected to benefit the planning of projects such as water supply, water structures and etc. on Ceyhan Basin.

**Keywords:** SPI, SPEI, Ceyhan Basin, Correlation

## 1. Giriş

Kuraklıklar, tarım, su temini, ekonomik, sosyal ve ekosistem gibi birçok sektörü etkileyen, yaygın ve tekrar eden doğal olaylardır (Heim, 2002). Kuraklıklar, çevresel bir felaket olarak görülmüş olup, çevreciler, ekolojistler, hidroloji uzmanları, meteorologlar, jeologlar ve tarım bilimcilerinin dikkatini çekmiştir (Mishra ve Singh, 2010; Çetin ve ark., 2018). Kuraklıklar, yüksek ve düşük yağış alanları gibi neredeyse tüm iklim bölgelerinde görülmekte olup, çoğu zaman mevsim veya bir yıl gibi uzun bir süre boyunca alınan yağış miktarındaki azalma ile ilgilidir. Kuraklığa sebep olan parametreler genel olarak; sıcaklıklar, kuvvetli rüzgâr, düşük bağıl nem, yağışlı günlerin dağılımı, yağmur yoğunluğu ve süresi, toprağın nem içeriği, bitki su tüketimi, yer altı suyu şeklinde sınıflandırılabilir.

Nüfus artışı, tarım, enerji ve sanayi sektörlerinin genişlemesi nedeniyle su talebi çok artmakla beraber, su kıtlığı dünyanın birçok yerinde neredeyse her yıl görülmektedir. İklim değişikliği ve su kaynaklarının kirlenmesi gibi diğer faktörler, su kıtlığına daha fazla katkıda bulunmaktadır. Son yıllarda seller ve kuraklık, daha yüksek pikler ve şiddet seviyeleri ile yaşanmaktadır. Bu değişimlerin sebebi aşırı hidrolojik olaylar olarak görülmektedir (Lettenmaier ve diğ., 1996; Aswathanarayana, 2001; Eris ve diğ., 2019). Genel bir kuraklık tanımlaması yapmak zordur. Çünkü bölgeden bölgeye kuraklığın karakteristiğini etkileyen parametreler değişiklik göstermektedir. Hidro-meteorolojik değişkenlerdeki farklılıklar ve sosyoekonomik faktörler ile dünyanın farklı bölgelerindeki su taleplerinin stokastik niteliği, kuraklığın kesin bir tanımının yapılmasına engel teşkil etmektedir (Mishra ve Singh, 2010). Gilette (2010) kuraklık, yavaş yavaş ilerleyen bir doğal afet olarak nitelendirmiştir. Yevjevich (1967), kuraklık tanımlarının çok çeşitli görüşlerinin olmasından kaynaklı olarak, kuraklık araştırmalarının başlıca engellerinden biri olduğunu belirtmiştir. Bir kuraklık tanımlanırken kavramsal ve işlemsel tanımları birbirinden ayırmak önemlidir (Wilhite ve Glantz, 1987). Kuraklığın kavramsal tanımında genel ifadeler yer almaktadır. Örneğin Türk Dil Kurumunda yağışsızlık diye ifade edilirken, the American Heritage Dictionary sözlüğünde, kuraklığın "özellikle ekim sezonunda yağmurun olmadığı uzun bir dönem" olarak tanımlanır. Kavramsal tanımlama, insanların kuraklık hakkında genel bir çıkarımda bulunmalarına yardımcı olmaktadır. Dünya meteoroloji örgütü (WMO, 1986), kuraklık için, sürekli ve uzun süreli yağış eksikliği anlamına geldiğini belirtmiştir. Kuraklık ve Çölleşme ile Mücadeleye Yönelik Birleşmiş Milletler Sözleşmesindeki tanımlamada kuraklık, yağışın normal kaydedilen seviyelerin önemli ölçüde altına düştüğü zaman ortaya çıkan ve toprak kaynaklarının üretim sistemlerini olumsuz yönde etkileyen ciddi hidrolojik dengesizliklere neden olan doğal oluşum olayı olarak tanımlanmaktadır (UNCCD, 1994).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO,1983) kuraklığı, bitkilerin nem eksikliği nedeniyle büyüme başarısız olduğu yıl yüzdesi olarak ifade etmiştir. İklim ve hava ansiklopedisi (Schneider, 1996), bir bölge için istatistiki çok yıllık ortalamayla ilişkili olarak, yağış miktarı az olan, mevsim, yıl veya birkaç yıl- uzun bir süre- olarak tanımlamıştır. McMahon ve Diaz Arenas (1982) kuraklığı, insanın suyun kullanımına göre nem eksikliğinin çağrıştırıldığı ciddi bir hidrolojik dengesizliğe neden olan yağışın olmaması nedeniyle yeterince uzun süre anormal derecede kuru hava dönemi olarak tanımlamışlardır. Beran ve Rodier (1985) kuraklığın başlıca özelliği, belirli bir dönemde ve belirli bir alanda su kullanımının azalması olarak belirtmişlerdir. Palmer (1965) kuraklık üzerine çok kapsamlı çalışmalar yapmış olup, kuraklık bir alanın normal hidrolojik koşullarından belirgin bir sapma olarak tanımlamıştır. Linsely ve diğ., (1959) kuraklığı önemli miktarda yağış olmadan süren zaman dilimi olarak ifade etmiştir.

Kuraklık değerlendirmesi su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Değerlendirme için, kuraklık önlemlerinin bölgeler arasında ve geçmiş kuraklık olaylarıyla karşılaştırılabilmesi için bazı sayısal standartlara ihtiyaç vardır. Bunun için, son yıllarda çok sayıda kuraklık indeksi geliştirilmiş, kuraklık etkilerini ölçmek için yeni teknolojik ilerlemelere dayanan yeni indeksler oluşturulmuştur. Her bir indeksin kendine özgü avantajları ve sınırlılıkları vardır. Popüler olarak kullanılan indeksler farklılık göstermektedir. Örneğin, meteorolojik kuraklık için kullanılan indeksler; Palmer Kuraklık Şiddeti İndeksi (PDSI), Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI), Normalleştirilmiş Yağış-Buharlaşma İndeksi (SPEI) Deciles İndeksi (DI), Normal Yüzde (PN), Çin-Z İndeksi (CZ), Normal Z İndeksi (ZI), Tarımsal kuraklık için kullanılan indeksler; Kuruluk İndeksi (AI), Nem Yeterlilik İndeksi (MAI), Mahsul Nem İndeksi (CMI), hidrolojik kuraklık için kullanılan indeksler ise; Standartlaştırılmış Su Seviyesi İndeksi (SWLI), Yüzey Su Temini İndeksi (SWSI) vb. gibi sınıflandırılmıştır (Wable ve diğ., 2019).

Bu çalışmada, literatürde yaygın olarak tercih edilen, SPI ve SPEI kuraklık indekslerini kullanarak Ceyhan havzasının kuraklık risk haritasını ortaya çıkarıp, elde edilen sonuçlar ile havza için ışık tutacak değerlendirmeler yapılacaktır.

## 2. Kuraklık İndekslerinin Tanımı

### 2.1 Standartlaştırılmış yağış indeksi (SPI)

Yağış açığının yeraltı suyu, rezervuar depolaması, toprak nemi, kar örtüsü ve akış akışı üzerinde farklı etkileri olduğu gerçeğinin anlaşılması, Standartlaştırılmış Yağış İndeksinin (SPI)

geliştirilmesine yol açmıştır (McKee ve ark., 1993; McKee, 1995). Dünya çapında kabul görmüş ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından meteorolojik kuraklıkları izlemek için birincil meteorolojik indeks olarak önerilmektedir (Hayes ve ark., 2012; Aksoy ve ark., 2018). SPI'nin ana avantajı, farklı zaman ölçeklerinin (1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık) yanı sıra kuraklıkların şiddetini ve büyüklüğünü değerlendirebilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, iklimsel verilere uyan en iyi dağılım gama yoğunluk dağılımı olup (Ganguli ve Reddy, 2014), SPI indeks değerleri bu dağılım ile elde edilmiştir. Ancak, veri uzunluğu en az 30 yıl ve eksiksiz olması gerekmektedir. Teorik olarak, SPI istatistiklerde kullanılan Z-puanına eşdeğer olup, genel formülü aşağıda verilmiştir.

$$SPI = \frac{X_{ij} - X_{im}}{\sigma} \quad (1)$$

Burada,  $X_{ij}$ ,  $X_{im}$  ve  $\sigma$  sırasıyla aylık yağış miktarı, ortalama yağış ve standart sapmayı ifade etmektedir. SPI değerlerine dayanarak kuraklık sınıfı şu şekilde yapılabilir;  $SPI \geq 2$  için "Olağanüstü Nemli", 1.50 ~ 1.99 için "Çok Nemli", 1.00 ~ 1.49 için "Orta Nemli", 0.99 ~ 0 için "Normal", 0 ~ -0.99 için "Normal Kurak", -1.00 ~ -1.49 için "Orta Kurak", -1.50 ~ -1.99 için "Şiddetli Kurak" ve son olarak  $\leq -2$  olması halinde "Olağanüstü Kurak" olarak değerlendirilmektedir.

## 2.2 Normalleştirilmiş yağış-buharlaşma indeksi (SPEI)

Normalleştirilmiş Yağış-Buharlaşma İndeksi (SPEI), Vicente-Serrano ve diğ., (2010) tarafından geliştirilen, PDSI'nin buharlaşma parametresi hassasiyetini ve SPI'nin farklı zaman ölçeklerde hesaplanması avantajlarını birleştirmektedir. Yağışa ek, sıcaklığa bağlı olarak değerlendirilen potansiyel buharlaşmayı içerdiğinden, SPEI'nin hesaplama adımları SPI ile aynıdır. SPEI, küresel ısınmanın kuraklık durumu üzerindeki etkilerini tespit etmek ve izlemek için uygundur. Kümülatif yağış ve potansiyel evapotranspirasyon arasındaki haftalık veya aylık fark olarak hesaplanan basit bir iklimsel su dengesini temsil etmektedir. Matematiksel olarak şu şekilde ifade edilmektedir.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (2)$$

İlk olarak, potansiyel evapotranspirasyon (PET) bu çalışmada kullanılan Thornthwaite ve Penman-Monteith yöntemi olmak üzere iki şekilde hesaplanmaktadır. Bir giriş parametresi olarak sadece hava sıcaklığına ihtiyaç duyan Thornthwaite yöntemi, eşitlik 3'teki gibi hesaplanmaktadır.

$$PET = 16k \left( \frac{10T}{I} \right)^m \quad (3)$$

Burada, T, aylık hava sıcaklığı (° C), k, ölçme istasyonunun enlemine göre değerlendirilen bir faktör, I yıllık ısı indeksi ve m, I ile ilgili bir katsayıdır (Yu ve diğ., 2014). Hesaplanan "D" değerleri, farklı zaman ölçeklerinde şu şekilde toplanır;

$$D_i^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-1} - PET_{n-1}) \quad (4)$$

Burada, k (ay) toplamın zaman ölçeği ve n hesaplama ayıdır.

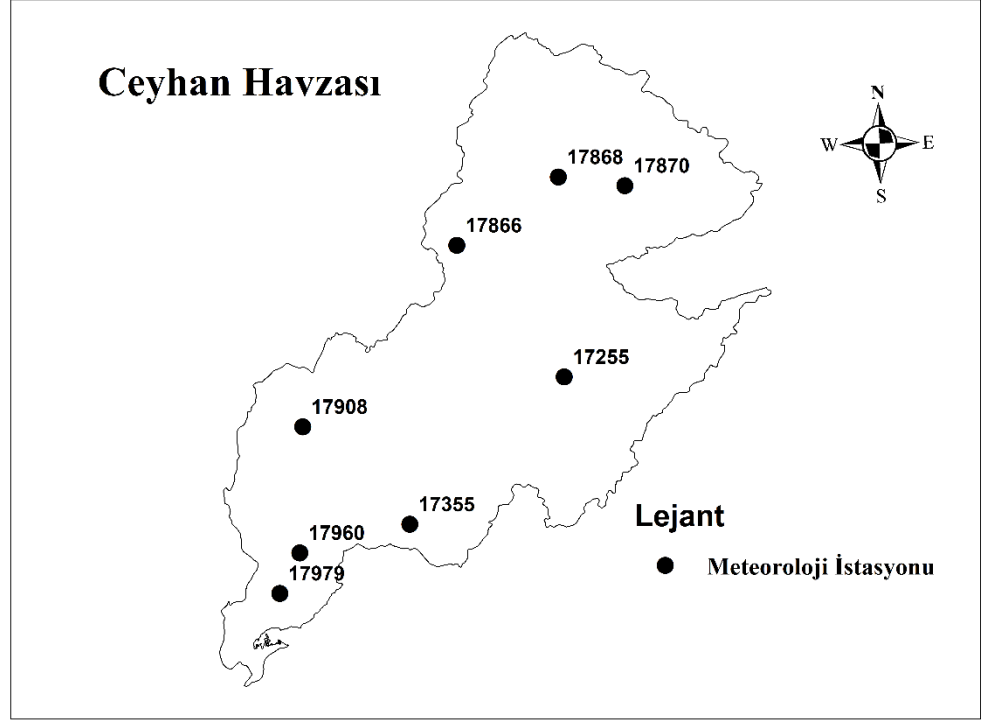
## 3. Çalışma Alanı ve Veri

Ceyhan Havzası Türkiye'nin 26 hidrolojik havzalarından bir tanesi olup, 26.875 km<sup>2</sup> yağış alanı ile Türkiye yüzölçümünün yaklaşık olarak %3.4'ünü kapsamaktadır. Geniş alüvyon tabanlar ve sarp dağlıklardan oluşan Ceyhan Havzası, İç Anadolu'ya İskenderun Körfezinden bağlanmaktadır. Adana ilinin Yumurtalık ve Ceyhan ilçeleri ve Kozan ilçesinin bir bölümü havza içerisinde yer alırken, Osmaniye ve Kahramanmaraş ilinin tamamı havza içerisinde yer almaktadır. Ceyhan Nehri ilk olarak Elbistan ilçesinden akmaktadır. Ceyhan Havzası güneyden Asi, kuzey ve doğudan Fırat ve son olarak batıdan Seyhan havzası ile komşudur (Şekil 1). Ceyhan havzasının iklimsel özelliklerine bakıldığında, karasal iklim ve akdeniz iklimi arasında bir geçiş iklimine sahiptir. Yaz aylarında kuraklık hissedilirken, kış aylarında ise sert geçmesinin yanında, yıllık toplam yağışın çoğunluğu bu aylarda düşmektedir (Yuce ve ark., 2019).

Yıllık yağışlar değerlendirildiği zaman, genel olarak kış aylarında yüksek seviyelere çıktığı, havzada 0 ile 130 mm aralığında değiştiği ve yaz aylarında ise yağışların neredeyse hiç olmadığı görülmüştür. En fazla yağışın aldığı ilçe Kozan olarak saptanmıştır. Buharlaşma, yağışın tersine, genel olarak yaz aylarında pik değerlere çıktığı, 0 ile 325 mm aralığında olduğu, kış aylarında ise çok düşük seviyelere indiği incelenmiştir. İklim değişikliğinin önemli parametrelerinden biri olan sıcaklık ise yıllık ortalama olarak elde edilen bulgulara göre 15 ° C olarak saptanmıştır. Afşin ve Elbistan ilçelerinde ortalama sıcaklık kış aylarında 0° C altındadır

(OSİB, 2018).

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden elde edilen 8 istasyonun uzun süreli verilerinden faydalanılmıştır. İstasyonlar genel olarak havza üzerinde farklı kollar üzerinde olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 1). Bu sebeple, elde edilen sonuçların havzada homojen olarak dağılmasını sağlayacaktır. Bu veriler uzun süreli yağış ve sıcaklık verilerinden oluşmaktadır. SPI metodu yalnız yağış verilerini kullanırken, SPEI hem yağış hem de sıcaklık verilerini girdi parametresi olarak kullanmaktadır.



Şekil 1. Kullanılan meteorolojik istasyonların Ceyhan Havzası üzerinde gösterimi.

## 4. Sonuç

### 4.1 Kuraklık indekslerinin korelasyon analizi

Ceyhan Havzası için belirlenen istasyonların her biri için; SPI ve SPEI kuraklık indislerinin 1-aylık ve 3-aylık zaman serisine Spearman korelasyon analizi uygulanarak, bu kuraklık indisleri arasındaki ilişki hesaplanmıştır. Yapılan korelasyon analizi sonucunda, kuraklık indisleri arasında güçlü bir ilişki bulunmuştur. Genel olarak 17255 istasyonu 1 aylık zaman serisi hariç, diğer bütün istasyonlar Spearman korelasyon katsayısı 0.85'ten büyük çıkmıştır. 17908 istasyonu hem 1-aylık hem de 3-aylık zaman serisi için korelasyon katsayısı 0.95'ten büyük bir oranla istasyonlar arasındaki en güçlü bağı göstermiştir. Her iki zaman serisi için hesaplanan korelasyon matrisi Tablo 1'de gösterilmiştir

**Tablo 1.** Kuraklık indislerin her bir istasyon için korelasyon matrisi.

17255	1 aylık		3 aylık		17355	1 aylık		3 aylık			
	SPI	SPEI	SPI	SPEI		SPI	SPEI	SPI	SPEI		
SPI	1,00	0,83	SPI	1,00	0,85	SPI	1,00	0,94	SPI	1,00	0,95
SPEI	0,83	1,00	SPEI	0,85	1,00	SPEI	0,94	1,00	SPEI	0,95	1,00

17866	1 aylık		3 aylık		17868	1 aylık		3 aylık			
	SPI	SPEI	SPI	SPEI		SPI	SPEI	SPI	SPEI		
SPI	1,00	0,94	SPI	1,00	0,96	SPI	1,00	0,88	SPI	1,00	0,89
SPEI	0,94	1,00	SPEI	0,96	1,00	SPEI	0,88	1,00	SPEI	0,89	1,00

17870	1 aylık		3 aylık		17908	1 aylık		3 aylık			
	SPI	SPEI	SPI	SPEI		SPI	SPEI	SPI	SPEI		
SPI	1,00	0,87	SPI	1,00	0,85	SPI	1,00	0,96	SPI	1,00	0,95
SPEI	0,87	1,00	SPEI	0,85	1,00	SPEI	0,96	1,00	SPEI	0,95	1,00

**Tablo 1. Devam**

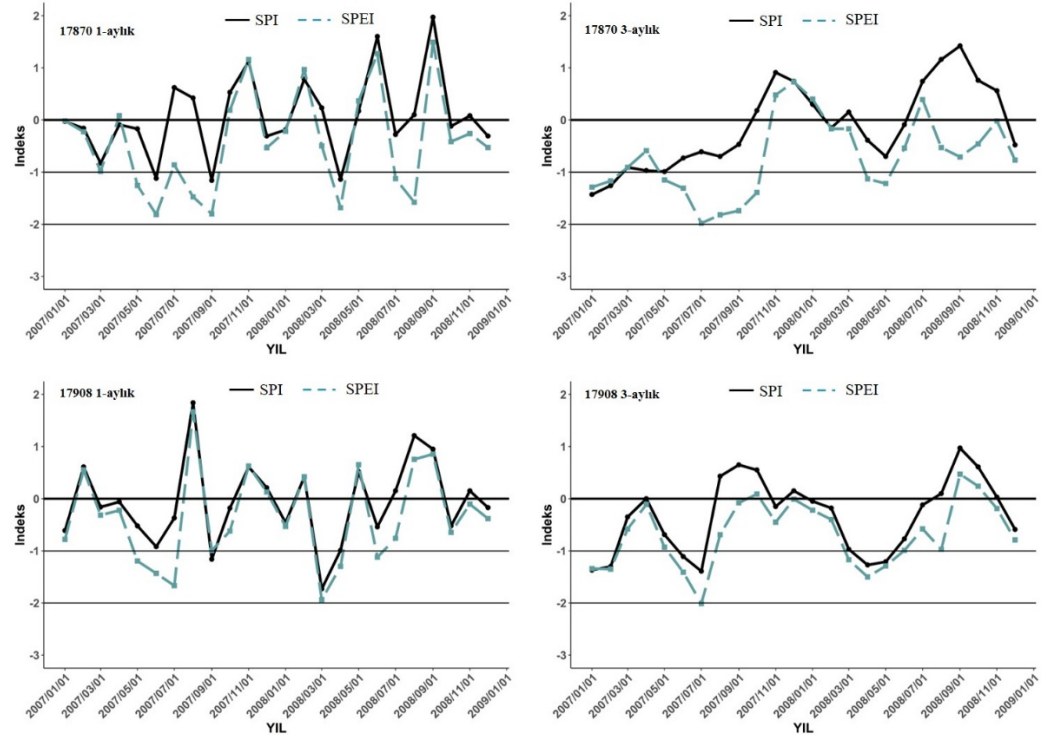
17960	1 aylık		3 aylık		
	SPI	SPEI	SPI	SPEI	
SPI	1,00	0,93	SPI	1,00	0,93
SPEI	0,93	1,00	SPEI	0,93	1,00

17979	1 aylık		3 aylık		
	SPI	SPEI	SPI	SPEI	
SPI	1,00	0,93	SPI	1,00	0,93
SPEI	0,93	1,00	SPEI	0,93	1,00

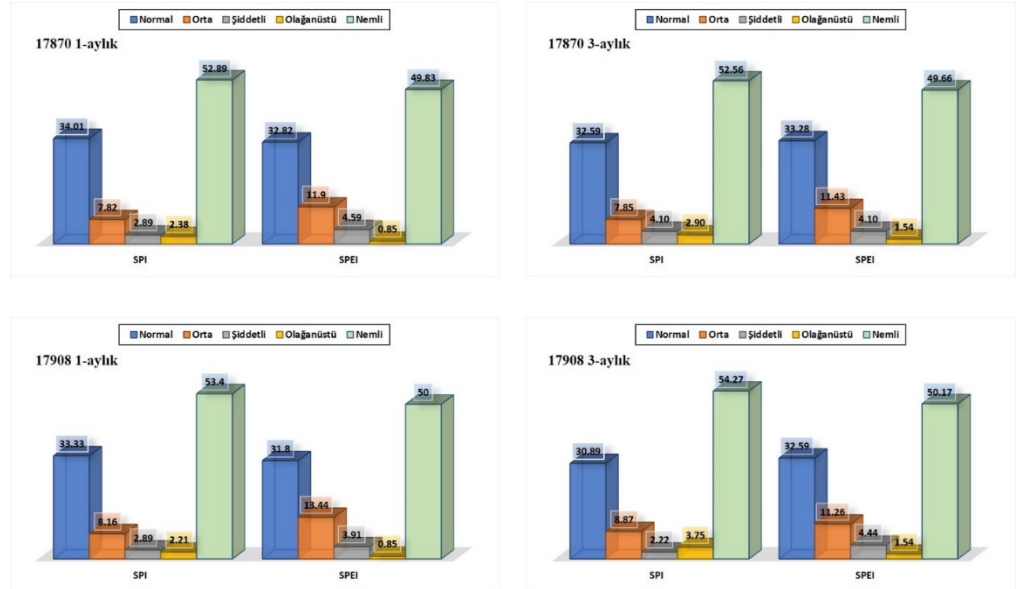
Bu sonuçla, kullanılan kuraklık indislerin korelasyon sonucuna göre, Ceyhan Havzası için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Havzaların klimatolojik, hidrolojik ve topoğrafik özellikleri birbirinden farklı olduğundan dolayı bir havza için belirlenen en uygun kuraklık indisi, başka bir havza için uygunluk göstermeyebilir. Bu sebeple tek bir kuraklık indisi uygulamak yerine birden çok indisin uygulanması gerekmektedir.

## 4.2 Kuraklık sınıflandırılmasının alansal dağılımı

Seçilen meteorolojik kuraklık indekslerinin (SPI ve SPEI) 1 ve 3 aylık ölçekte performansını değerlendirmek için, tarihsel kuraklıklara göre 2007-2009 dönemi zaman serileri dikkate alınmıştır. Şekil 2'de 17870 ve 17908 istasyonları örnek olarak gösterilmiş olup, kuraklık sınıflandırması genel olarak incelendiğinde, her iki kuraklık indisi benzer bir ilişki göstermektedir. Daha detaylı olarak bakıldığında, SPEI, SPI metoduna göre kurak zamanlarda daha yüksek değerler gösterirken, nemli zamanlarda daha az hassasiyet gösterdiği belirlenmiştir. Bu istasyonların nispi frekansları Şekil 3'te gösterilmektedir. Nispi frekans, dikkate alınan kuraklık olayı sırasında belirli kuraklık şiddet sınıfında kalan kuraklık indeksinin yüzdesini gösterir. İki istasyonu ele aldığımızda, yüzde 50'ye yakın nemli olarak yani kurak geçmediği anlamına gelmektedir. Normal kuraklık %30'dan yüksek bir oranla, orta, şiddetli ve olağanüstü kuraklık sınıflandırmasına göre daha çok gerçekleşmiştir. Hem 1-aylık hem de 3-aylık zaman serilerinde, kurak geçen nispi frekans az bir oranda incelenmiştir.



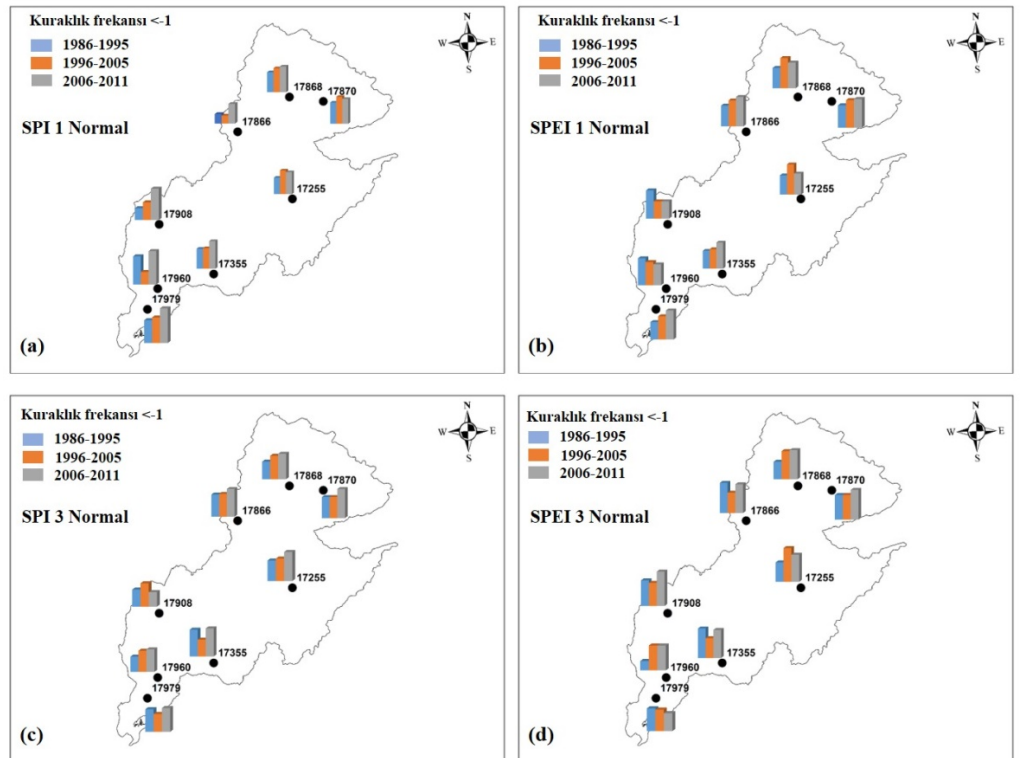
Şekil 2. Kuraklık indislerin 17870 ve 17908 istasyonlarında 2007-2008 yılları arasındaki 1-aylık ve 3-aylık zaman serisi.



Şekil 3. SPI ve SPEI'ye göre, 17870 ve 17908 istasyonlarının nispi frekans dağılımları.

Kuraklık indislerinin havza üzerindeki etkilerini ve farklılıklarını anlama için 1986-1995, 1996-2005 ve 2006-2011 yılları arasındaki normal ve şiddetli kuraklık sınıfına göre araştırılmıştır. Şekil 4'te (a-d) SPI ve SPEI'nin 1 ve 3-aylık zaman ölçeklerindeki belirlenen zaman aralığındaki normal kuraklık kategorisine göre Şekil 5'te (a-d) ise yine iki kuraklık indisi şiddetli kuraklık kategorisine göre performansları değerlendirilmiştir.

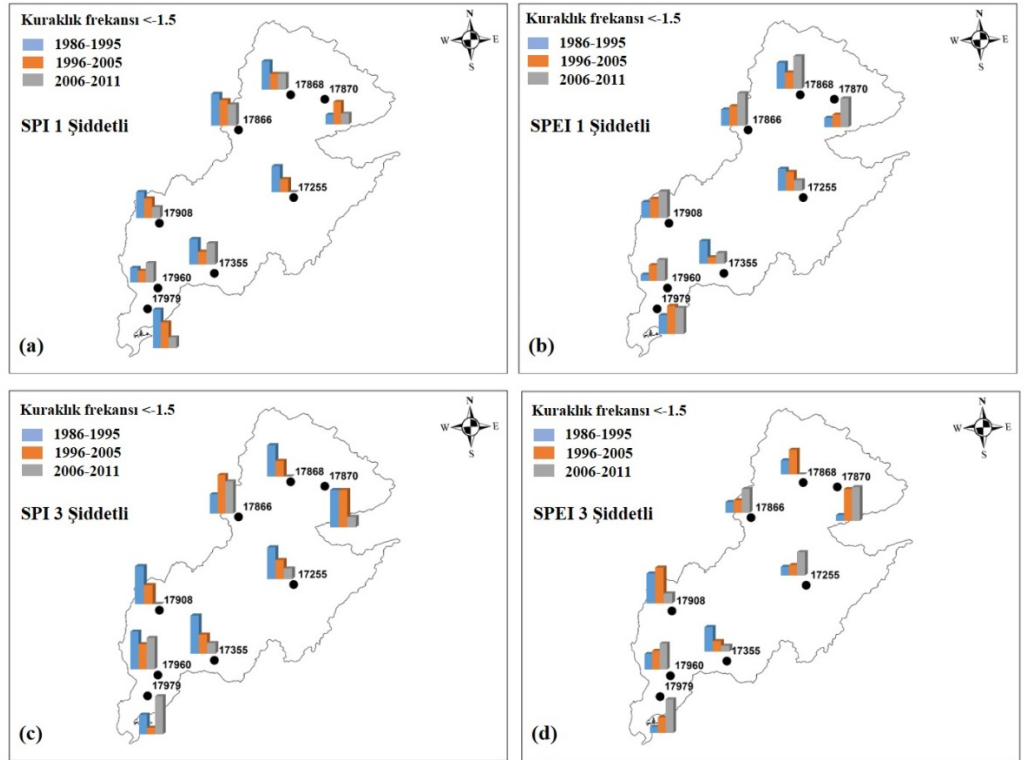
Normal kuraklık kategorisi dikkate alındığında, SPI 1-aylık zaman serisinde tüm istasyonlarda kuraklık eğrisi 1986'dan 2011'e gelindiğinde yükseliş gösterdiği görülmüştür. Sadece 17866 ve 17960 istasyonlarında kuraklık süresinde 1986-1995 yılları arasından 1996-2005 yılları ile kıyasla azaldığı saptanmıştır. Aynı zaman aralığı SPEI 1-aylık zaman serisi için incelendiğinde, 17866, 17868, 17870, 17355, 17979, 17255 istasyonların pozitif bir artış görülürken, 17908 ve 17960 istasyonlarında kuraklık aylarında azalma olduğu belirlenmiştir. SPEI 1-aylık zaman serisi için genelleme yapılırsa, en uzun kuraklık aylarının 2006-2011 yılları arasında gözlemlenmiştir.



Şekil 4. SPI ve SPEI'nin normal kuraklık kategorisine göre havza üzerindeki alansal dağılımı.

3-aylık zaman serisi her iki kuraklık indisi için incelendiğinde, en uzun kuraklık döneminin SPI 1-aylık zaman serisindeki gibi, SPI 3-aylık zaman serisinde de 17908 istasyonu hariç, 2006-2011 yılları arasında olduğu gözlemlenmiştir. 17908 istasyonu en uzun kuraklık dönemi 1996-2005 yılları arasında görülmüştür. SPEI 3-aylık zaman serisinde, 17979 istasyonu hariç diğer

istasyonlarda normal kuraklık pozitif yönde artış göstermiştir. Ancak SPEI 1-aylık zaman serisinde olduğu gibi, 17255 istasyonunda en uzun kuraklık döneminin 1996-2005 yıllarında olduğu, 17979 istasyonu ise, SPEI 1-aylık zaman serisinde farklı olarak, kuraklık eğiliminin negatif yönde ve en yüksek kuraklığın 1986-1995 yılları arasında gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Şekil 4 (a-d)).



Şekil 5. SPI ve SPEI'nın şiddetli kuraklık kategorisine göre havza üzerindeki alansal dağılımı.

Şiddetli kuraklık kategorisi sonucuna göre (Şekil 5.), SPI 1-aylık zaman serisi göz önüne alındığında, 17960 ve 17870 istasyonu hariç, diğer istasyonlarda takip eden yıllarda azalış gösterdiği görülmüştür. Üç dönem için en yüksek şiddetli kuraklığın yaşandığı yıl 1986-2005 yılları arasında olduğu saptanmıştır. 17960 ve 17979 istasyonlarında en uzun şiddetli kuraklığın yaşandığı dönem sırasıyla, 2006-2011 ve 1996-2005 dönemleridir. 17255 istasyonunda 2006-2011 dönemlerinde, SPI-1 aylık sonucuna göre şiddetli kuraklık yaşanmamıştır. SPEI 1-aylık zaman serisi, SPI 1-aylık zaman serisine göre, tam tersi sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak 17255 ve 17355 istasyonları hariç, şiddetli kuraklığın takip eden dönemlerde artış gösterdiği görülmüştür. Ancak diğer kuraklık kategorilerine kıyasla bu artışlar çok küçük değerlere sahiptir. Örneğin en uzun kuraklık şiddeti 17870 istasyonunda 2006-2011 yılları arasında %15.27 dilimlik paya sahip iken, 17255 istasyonunda bu değer %2.77 olarak hesaplanmış olup, diğer kuraklık kategorilerine kıyasla daha az yüzdelerle sahiptir.

SPI 3-aylık zaman serisi sonuçları 1-aylık zaman serisi sonuçları ile paralellik göstermektedir. Ancak, 17979 istasyonu en şiddetli kuraklık dönemini 2006-2011 döneminde gerçekleştirmiş olup aynı dönem SPEI 3-aylık zaman serisinde de saptanmıştır. 17908 istasyonunda ise 2006-2011 döneminde her iki kuraklık indeksi sonucuna göre hiç şiddetli kuraklık yaşanmamıştır. SPEI 3-aylık zaman serisi için genel bir kaniya varılacak olursa, 17355, 17908 ve 17868 istasyonlarında eğilim negatif yönünde iken, şiddetli kuraklık diğer istasyonlarda pozitif yönde artış olduğu gözlemlenmiştir.

## 5. Tartışma

Bu çalışmanın temel amacı, Ceyhan Havzasındaki kuraklıkların izlenmesinde SPI ve SPEI metodlarının performanslarını karşılaştırmaktır. SPI endeksi sadece yağış verilerini dikkate alırken, SPEI yağış verisinin yanında sıcaklık etkisini yansıtmak için Thornthwaite yöntemine göre PET değerini hesaplayarak tahmin etmektedir. Bu iki yöntem arasında farklı zaman ölçeklerinde Spearman korelasyon yöntemi kullanılarak çok güçlü korelasyon değerleri elde edilmiştir. 2007-2008 yılları arasındaki indeks değerleri karşılaştırıldığında, hem nemli dönem hem de kuru dönemler arasındaki eğilimler benzer göstermiştir. Ancak SPEI, SPI yöntemine göre kurak zamanlarda daha yüksek değerler gösterirken, nemli zamanlarda daha az hassasiyet gösterdiği gözlemlenmiştir. Her iki kuraklık indeksinin farklı kuraklık dönemlerindeki nispi frekans değerleri birbirine yakınlık göstermektedir. Kuraklık sınıflandırmasında en yüksek kuraklık tipinin normal olarak en düşük değer %20 oranında SPI, %23 oranında SPEI yöntemi için ölçüldüğü saptanmıştır. Farklı zaman dilimleri için her iki metodun performansı havza üzerinde alansal olarak hesaplanmıştır.

SPI ve SPEI normal kuraklık kategorisindeki performansları benzerlik gösterirken, aynı durum şiddetli kuraklık kategorisinde gözlemlenmemiştir. Sonuç olarak, normal kuraklık sınıfının her iki metoda göre, üç farklı zaman dilim sonucunda artış göstermiş olup, şiddetli kuraklık sınıfı dikkate alındığında SPI yöntemine göre azalış söz konusu iken, SPEI yöntemine göre ise çoğunluğu artış eğiliminde olduğu saptanmıştır.

### 6. Kaynaklar

- Aksoy, H., Onoz, B., Cetin, M., Yuçe, M. I., Eris, E., Selek, B., ... & Cavus, Y., 2018. SPI-based drought severity-duration-frequency analysis. In Proceedings of the 13th International Congress on Advances in Civil Engineering, Izmir, Turkey (pp. 12-14).
- Assembly, U. G., 1994. Elaboration of an International Convention to Combat Desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa. AC, 241, 27.
- Aswathanarayana, U., 2001. Water resources management and the environment. CRC Press.
- Beran, M. And Rodier, J.A., 1985. Hydrological aspects of drought, Studies and reports in hydrology 39, UNESCO-WMO, Paris, France.
- Çetin, M., Aksoy, H., Önöz, B., Eriş, E., İshak, M., Yüçe, B. S., ... & Orta, S., 2018. Deriving Accumulated Precipitation Deficits from Drought Severity-Duration-Frequency Curves: A Case Study in Adana Province, Turkey. SCIENTIFIC COMMITTEE-BİLİM KURULU, 39.
- Eris, E., Aksoy, H., Onoz, B., Cetin, M., Yuçe, M. I., Selek, B., ... & Karakus, E. U., 2019. Frequency analysis of low flows in intermittent and non-intermittent rivers from hydrological basins in Turkey. Water Supply, 19(1), 30-39.
- Ganguli, P., & Reddy, M. J., 2014. Evaluation of trends and multivariate frequency analysis of droughts in three meteorological subdivisions of western India. International Journal of Climatology, 34(3), 911-928.
- Gillette, H. P., 1950. A creeping drought under way. *Water and sewage works*, 104 (5).
- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wardlow, B. D., Anderson, M. C., & Kogan, F., 2012. Drought monitoring: Historical and current perspectives.
- Heim Jr, R. R., 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8), 1149-1166.
- Lettenmaier, D. P., McCabe, G., & Stakhiv, E. Z., 1996. Global climate change: effects on hydrologic cycle. Water resources handbook, 29-1.
- Linsely Jr., R.K., Kohler, M.A., Paulhus, J.L.H., 1958. Applied Hydrology. McGraw Hill, New York.
- MacMahon, T. A., Arenas, D. A., 1982. Methods of Computation of Low Streamflow. Studies and Reports in Hydrology, 36-94.
- McKee, T. B., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. In Proceedings of 9th Conference on Applied Climatology, Boston, 1995.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J., 1993, January. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Mishra, A. K., & Singh, V. P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı (OSİB), 2018. Ceyhan havzası taşkın yönetim planı. [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6netim%20Planlar%C4%B1/3\)%20CEYHAN%20%20HAVZASI%20TA%C5%9EKIN%20YONETIM%20PLANI.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Y%C3%B6netim%20Planlar%C4%B1/3)%20CEYHAN%20%20HAVZASI%20TA%C5%9EKIN%20YONETIM%20PLANI.pdf)
- Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought, Research Paper No. 45, US Weather Bureau, Washington, D.C., USA.
- Schneider, S.H. (Ed.), 1996. Encyclopaedia of Climate and Weather. Oxford University Press, New York.
- The Food and Agriculture Organization of the United Nations., 1983. The State of Food and Agriculture, World review: the situation in Sub-Saharan Africa Women in developing agriculture, 1-240.
- 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 climate*, 23(7), 1696-1718.
- Yevjevich, V. M., 1967. Objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts, An. Hydrology papers (Colorado State University); no. 23.
- Yu, M., Li, Q., Hayes, M. J., Svoboda, M. D., & Heim, R. R., 2014. Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the standardized precipitation evapotranspiration index: 1951–2010?. *International Journal of Climatology*, 34(3), 545-558.
- Yuçe, M. I., Esit, M., & Karatas, M. C., 2019. Hydraulic geometry analysis of Ceyhan River, Turkey. SN Applied Sciences, 1(7), 763.
- Wable, P. S., Jha, M. K., & Shekhar, A., 2019. Comparison of drought indices in a semi-Arid River Basin of India. *Water resources management*, 33(1), 75-102.
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H., 1985. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, 10(3), 111-120.
- World Meteorological Organization., 1986. Report of the international conference on the assessment of the role of carbon dioxide and of other greenhouse gases in climate variations and associated impacts.