



Research Article

## Drought Analysis with SPI and SPEI Indices Using Different Time Periods

Cansu Bozkurt<sup>1</sup> \*

<sup>1</sup> Department of Construction, Ardahan Vocational School of Technical Sciences, Ardahan University, 75002, Ardahan, Türkiye

\* Correspondence: [cansubozkurt@ardahan.edu.tr](mailto:cansubozkurt@ardahan.edu.tr)

Received: 24 October 2023; Accepted: 26 November 2023; Published: 30 June 2024

**Abstract:** Drought refers to a situation of insufficient moisture due to lack of precipitation over a certain period of time. Different drought indices are applied to determine temporal and spatial drought characteristics. Determining the drought index and monitoring its changes is of great importance in terms of planning and management of usable water resources such as stream flow, lake and reservoir levels, snow cover, soil moisture and groundwater, and solving problems related to environmental, ecological and economic systems. In this study, Standard Precipitation Index (SPI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) analysis was carried out using monthly precipitation and monthly average temperature data recorded between the hydrological years 1980-2022 at Ardahan meteorology station no. 17046 in the Eastern Anatolia Region. Drought evaluations were made for different time periods such as 1, 3, 4, 6, 9 and 12 months, and the effects of indices on drought analysis were examined. Accordingly, it has been seen that the SPI index has the advantage of being calculated more practically in cases where only precipitation data is obtained, but is more stable for long periods of time, while the SPEI method can effectively evaluate drought for all time periods. Analysis results show that drought has tended to increase in Ardahan province, especially in the last 6 years, due to the decrease in precipitation and the increase in temperature.

**Keywords:** Drought, drought analysis, standardized precipitation index, precipitation, hydrology

Araştırma Makalesi

## Farklı Zaman Periyotları Kullanılarak SPI ve SPEI İndisleri ile Kuraklık Analizleri

**Öz:** Kuraklık belirli bir zaman periyodunda yağış eksikliği nedeniyle yetersiz nem durumunu ifade etmektedir. Zamansal ve alansal kuraklık özelliklerinin belirlenmesinde farklı kuraklık indisleri uygulanmaktadır. Kuraklık indisinin belirlenmesi ve değişimlerin izlenmesi akarsu akışı, göl ve rezervuar seviyeleri kar örtüsü, toprak nemi ve yeraltı suları gibi kullanılabilir su kaynaklarının planlaması ve yönetimi, çevresel, ekolojik ve ekonomik sistemlere yönelik sorunların çözümü açısından büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan 17046 no'lu Ardahan meteoroloji istasyonunda 1980-2022 hidrolojik yılları arasında kaydedilen aylık yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılarak Standart Yağış İndisi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) analizi gerçekleştirilmiştir. 1, 3, 4, 6, 9 ve 12 ay gibi farklı zaman periyotları için kuraklık değerlendirmesi yapılmış ve indislerin kuraklık analizi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Buna göre SPI indisinin sadece yağış verilerinin elde edildiği durumlarda daha pratik biçimde hesaplanmasından dolayı avantaj taşıdığı ancak uzun zaman periyotları için daha kararlı olduğu, SPEI yönteminin ise tüm zaman periyotları için kuraklığı etkili bir şekilde değerlendirebildiği görülmüştür. Analiz sonuçları Ardahan ilinde yağışın azalması ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak özellikle son 6 yıl içerisinde kuraklığın artış eğiliminde olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kuraklık, kuraklık analizi, standart yağış indisi, yağış, hidroloji.

**Citation:** C. Bozkurt, "Drought Analysis with SPI and SPEI Indices Using Different Time Periods", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 13-23, Jun 2024, doi: 10.63063/jsat.1380592

## 1. Giriş

Kuraklık, belirli bir zaman periyodunda buharlaşma ve terleme oranının yağış oranını geçmesi durumunda meydana gelmekte ve küresel iklimin sürekli ısınması ile kuraklık sıklığı ve yoğunluğu da artış göstermektedir. Bu da toplumun sürdürülebilir kalkınmasını önemli ölçüde etkilemektedir [1]. Kuraklık genellikle meteorolojik, hidrolik, tarımsal ve sosyo-ekonomik faktörlere bağlı olarak sınıflandırılmaktadır [2]. Meteorolojik kuraklık ciddi yağış eksikliği sonucu oluşmakta ve kuraklık analizi için yağış eksikliğin miktarı ve süresi incelenmektedir. Hidrolojik kuraklık ise akarsu ve nehirler üzerindeki meteorolojik kuraklığın etkisini yansıtmakta ve kuraklık analizinde yağışın yetersiz olduğu periyotlarda yüzey ve yeraltı su kaynakları üzerindeki etkileri incelemektedir [3], [4], [5], [6]. Uzun periyotlarda görülen meteorolojik kuraklığın tarımsal ve sosyo-ekonomik faktörler üzerinde de ciddi etkileri bulunmaktadır [7], [8]. Kümülatif artış gösteren, başlangıç ve bitişi belirsiz olan ve aynı anda birçok kaynak üzerinde etkisi olan kuraklık diğer doğal afetlere kıyasla daha çok insanı etkilemesi nedeniyle dünyanın en maliyetli doğal afetidir. 2008 yılında yapılan bir araştırmada küresel olarak kuraklığın etkisi yıllık 6-8 milyar ABD dolarına eşdeğer bulunmuştur [9]. Kuraklığın etkileri ve yaygınlığı göz önüne alındığında, erken tespitin sağlanabilmesi ve çeşitli önlemlerin alınabilmesi amacıyla kuraklık olaylarının süre, etki alanı, frekans ve şiddetinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kuraklığın yoğunluğu ve şiddetini belirlemek ve izlemek için çeşitli indisler geliştirilmiştir. Mevcut literatürde meteorolojik kuraklık analizinde yaygın olarak kullanılan yöntemler; Standart Yağış İndisi, Normalin Yüzdesi İndisi, Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi, Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (PDSI), De Martonne-Gotmann İndisi, Thornthwaite Yöntemi İndisi, Erinç Kuraklık İndisi, Bagnauls-Gaussen İndisi, Modifiye Fournier İndisi şeklindedir [5], [9], [10], [11], [12].

Kuraklık indisleri meteoroloji istasyonlarından elde edilen yağış, sıcaklık ve buharlaşma gibi parametreleri kullanarak hesaplanmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları sadece yağış verisini kullanırken bazıları hem yağış hem de sıcaklık verilerini kullanmaktadır. SPI indisi sadece yağış verisini kullanması, kolay hesaplanması ve güvenilir sonuç vermesi nedeniyle en yaygın olarak kullanılan kuraklık indisidir [13]. SPI ve SPEI meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklıkları izlemek için kullanılabilir. Yu vd. [3], Çin'de 1951-2010 dönemi için kuraklığın uzun vadeli eğilimleri, yoğunluk, süre, sıklık ve etkilenen alanın yüzdesi gibi çeşitli özelliklerini araştırmışlardır. Aylık yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak SPEI kuraklık indisi hesaplanmış, özellikle yağışların azalması ve sıcaklığın artması nedeniyle kuruma eğilimleri tespit edilmiştir [3]. Vicente-Serrano vd. [12] yaptıkları çalışmada kuraklığın hidrolojik, tarımsal ve ekolojik parametreler üzerindeki etkilerini izlemek amacıyla farklı kuraklık indislerinin performanslarını değerlendirilmiştir. Bu amaçla çalışmada SPI, PDSI ve SPEI yöntemleri uygulanmıştır. Parametrelerin kurak üzerindeki etkilerini değerlendirmede PDSI'nin üstün bir yeteneği olduğu, SPEI'nin ise yaz aylarındaki kuraklık etkilerini belirlemede daha yüksek kapasiteye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kuzey Zambiya'da yer alan Kafue havzasının kuraklığını için 1960-2015 yılları arasında farklı zaman periyotları kullanılarak SPI ve SPEI yöntemleri ile elde edilen zaman serileri kıyaslanmıştır. Havzada yağış yetersizliğinden dolayı çeşitli kuraklıklar yaşandığı ve kuraklığın artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir [8]. Qaisrani vd. [14], çalışmalarında Pakistan'ın Belucistan eyaletinde bulunan kurak bir bölgenin kuraklık dönemleri 38 yıllık 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık farklı zaman periyotlarında SPI ve SPEI kullanarak araştırmıştır. Sonuçlar kısa zaman periyotlarında dalgalanmalar olduğunu göstermektedir. Türkiye'de de kuraklık indisleri kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin Yüce vd. [15], Samsun ili için SPI ve SPEI yöntemlerini kullanarak 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman periyotlarında kuraklığı belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada, kuraklığın zamansal ve mekânsal etkilerini belirlemek amacıyla 31 yıllık sıcaklık ve yağış verilerini kullanarak De Matonne-Gottman ve SPI yöntemleri ile kuraklık analizi gerçekleştirmiştir. Batan [10], kurak bir iklimde bulunan Batman ilinin kuraklığını değerlendirmek için çeşitli kuraklık indisleri kullanarak kurak bölgeler için en uygun indisler değerlendirilmiştir. Topçu ve Karaçor [17], Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Erzurum ilinin kuraklığını analiz etmek için SPEI ve Bütünleşik Kuraklık İndisi yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmada, 1975 ve 2008 yılları arasında 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık periyotları için yağış, sıcaklık, nispi nem, buharlaşma ve güneşlenme süreleri verileri ile kuraklık incelenmiştir. Sonuçlar istasyonda sıklıkla hafif kuraklığın yaşandığını aşırı kuraklığın ise az olduğunu göstermektedir. Çelik [18], Doğu Anadolu Bölgesi'nde 1967 ve 2017 yılları arasındaki kuraklık eğilimini belirlemek amacıyla 14 il için SPI analizi uygulanmış, ayrıca iklim sınıflandırma yöntemlerinden faydalanılmıştır. Araştırmada, Türkiye'de mevsimlik

kuraklıklar incelendiğinde Doğu Anadolu Bölgesinde son yıllarda yağış azalmasına bağlı olarak hissedilir kuraklık eğilimi dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada Ardahan il merkezinde bulunan 17046 numaralı meteoroloji istasyonundan 1980 ve 2022 hidrolojik yılları arasında kaydı alınmış aylık ortalama yağış verileri kullanılarak SPI, aylık ortalama yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılarak SPEI yöntemleri kullanılarak kuraklık analizi yapılmış, sıcaklık verisinin kuraklık üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek amacıyla bu iki yöntem tercih edilmiştir. İstasyonun her iki yöntemle elde edilen kuraklık indislerinin 1, 3, 4, 6, 9 ve 12 aylık zamansal değişimleri izlenmiş, yöntemlerin kuraklık değerlendirme kapasiteleri karşılaştırılmış, kuraklık karakteristikleri incelenmiştir. Çalışmanın kuraklık eğilimi gösteren Ardahan ili için kuraklığın etkilerini azaltmak amacıyla erken uyarı sisteminin kurulması, gerekli planlamaların yapılması, su kaynaklarının korunması ve su yapılarının projelendirilmesi konuları kapsamında referans oluşturacağı düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

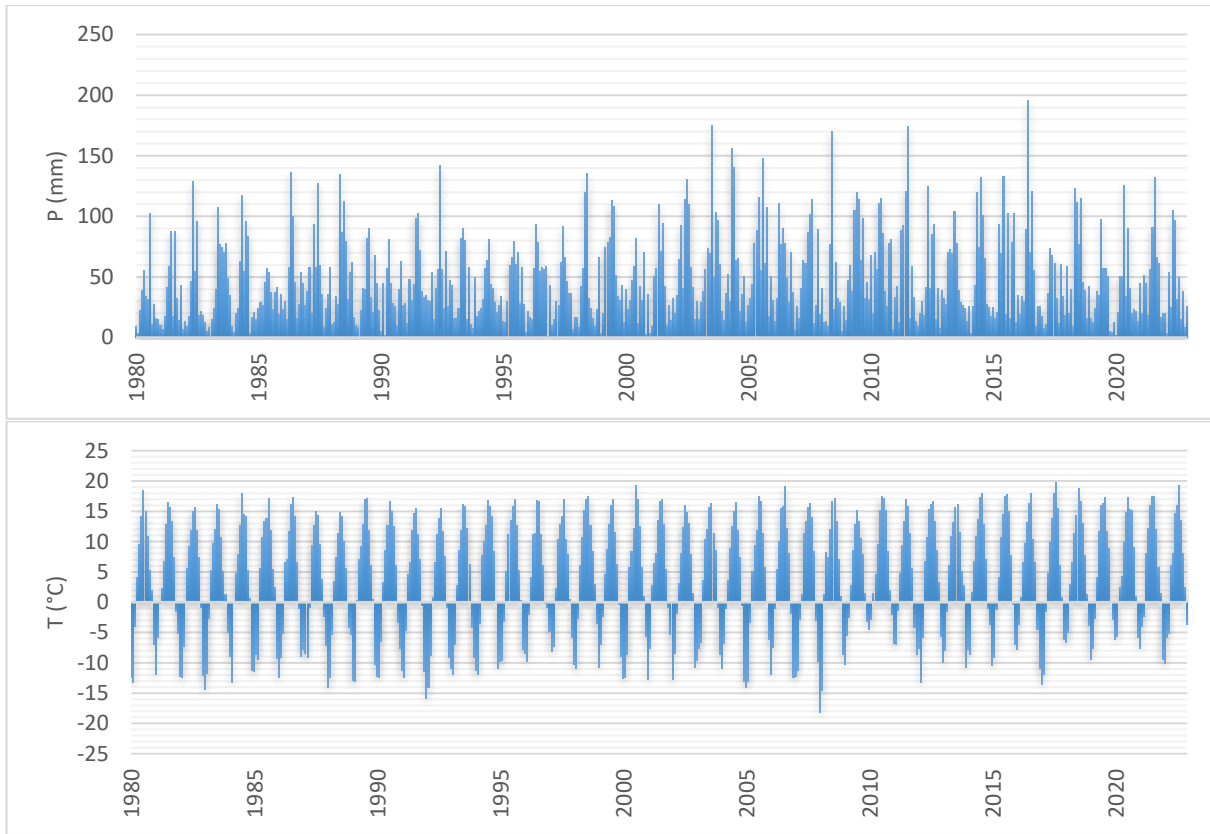
### 2.1. Çalışma Alanı ve Veriler

Bu çalışmada Türkiye'nin kuzey doğusunda Doğu Anadolu Bölgesi ve kısmen Doğu Karadeniz'de coğrafi konum olarak 41° 6' 36" Kuzey enlemleri, 42° 42' 12" Doğu boylamları arasında bulunan toplam 4.934 km<sup>2</sup> yüzölçümü ve 1900 m rakıma sahip Ardahan ilinin farklı zaman periyotlarında kuraklık analizi hesaplanmıştır. Ardahan il haritası ve konumu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Ardahan İl Haritası (<https://www.ardahanvakfi.org/>)

1827 m rakıma sahip 41.1061 enlem ve 42.7055 boylamında bulunan 17046 numaralı Ardahan Merkez istasyonundan 1980 ve 2022 hidrolojik yılları arasında kaydedilen aylık yağış ve aylık ortalama sıcaklık verilerinin yıllara göre değişimi Şekil 1'de grafik halinde verilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü MEVBİS sistemi üzerinden temin edilmiştir.



**Şekil 2.** Aylık ortalama yağış P(mm) ve sıcaklık değerleri T (°C) (1980-2022)

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 2016 yılında yapılan iklim sınıflandırması çalışmasına göre Ardahan iklimi Köppen-Geiger Dfb sınıfında yer almaktadır [19]. Güncel bir konu olan iklim değişikliği ile iklim sınıflandırma çalışmaları devamlı olarak güncellenme ve düzenleme gerektirmektedir. Tablo 1’de 1980 ve 2022 yılları arası Ardahan iklim özellikleri sunulmuştur.

**Tablo 1.** Ardahan İklimi (1980-2022)

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>En yüksek sıcaklık (°C)</b>	-4,5	-2,9	3	8,2	12,2	16	19,2	19,8	15,4	9,1	3,2	-0,9
<b>Ortalama sıcaklık (°C)</b>	-10,7	-9,4	-2,9	4,7	9,4	13,2	16,3	16,4	12,4	6,8	-0,2	-7,5
<b>En düşük sıcaklık (°C)</b>	-18,2	-14,6	-9,4	-0,8	6,6	11,1	13,8	13,3	9,6	3,7	-4,5	-13
<b>En yüksek yağışlar (mm)</b>	67,9	57,8	74,5	110,4	155,7	195,6	174,8	147,6	103,2	107,7	102	65,8
<b>Ortalama yağış (mm)</b>	21,9	21,2	33,5	52,2	84,9	93,1	72,7	62,8	35,6	40,4	31,8	23,8
<b>En düşük yağışlar (mm)</b>	1,4	3	1,9	8,8	18,1	33,5	11,3	15,5	3,6	4,7	0,5	4

1980 ve 2022 yılları arasında aylık ortalama sıcaklık verileri incelendiğinde maksimum sıcaklıkların 19,8 ve 19,2 °C ile ağustos ve temmuz aylarında, minimum sıcaklıkların -18,2 ve -14,6 °C ile ocak ve şubat aylarında olduğu, yıllık ortalama sıcaklıkların ise 6,76 °C ile 2010 yılında maksimum ve 1,525 °C ile 1992 yılında minimum olduğu görülmektedir. Maksimum yağışlar sırası ile 195,6, 174,8 ve 147,6 mm ile haziran, temmuz ve ağustos aylarındadır. Aylık ortalama yağış bazında ise en yüksek yağışlar sırası ile 93,12, 84,93 ve 72,66 mm ile haziran, mayıs ve temmuz aylarındadır. Yıllık yağış miktarları incelendiğinde 824,7 mm ile 2005 yılında maksimum ve 365,4 mm ile 1980 yılında minimum yağış görülmektedir.

## 2.2. Kuraklık İndisleri

### 2.2.1. Standart Yağış İndisi (SPI)

SPI yöntemi, 1993 yılında McKee vd. [20] tarafından belirli zaman periyotları için yağış eksikliğini ölçme amacıyla geliştirilmiştir. Suyun varlığı ve kullanımının analizinde zaman periyotlarının önemini tanıyan bir kuraklık göstergesi olarak tasarlanmıştır. Yağışın ( $X_i$ ), ortalama yağıştan ( $\bar{X}$ ) farkının standart sapmaya ( $s$ ) oranı şeklinde eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{s} \quad (1)$$

Eşitlikte  $X_i$ ; belli bir periyot için toplam yağışı (mm),  $\bar{X}$ ; aynı periyot için ortalama yağışı (mm),  $s$  ise yağışların standart sapmasını ifade etmektedir. SPI analizinde en az 30 yıllık yağış verisi 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman periyotları için değerlendirilmektedir. Ancak 12 ay ve daha kısa olan zaman periyotlarında yağış verileri normal dağılıma uymayabilir bu durumda her bir veri seti için gama fonksiyonu uygulanır [17], [21].

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, \quad x > 0 \quad (2)$$

Burada  $\alpha$  şekil parametresini,  $\beta$  ölçek parametresini,  $x$  yağış miktarını,  $\Gamma$  gama fonksiyonunu ifade etmektedir. Gama fonksiyonu eşitlik 3 ile hesaplanmaktadır.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (3)$$

$\alpha$  ve  $\beta$  için en iyi değerler maksimum olabilirlik yöntemi ile tahmin edilmektedir. Bunun için 4, 5 ve 6 numaralı eşitlikler kullanılmaktadır.

$$\alpha = \frac{1}{4A} + \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right) \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (5)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (6)$$

Burada  $n$  yağış seri sayısıdır. Belirli bir ay için kümülatif olasılık eşitlik 7 ile hesaplanmaktadır.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (7)$$

$G(x)$ ,  $\Gamma$  fonksiyonuna bağlı yağış olasılık dağılımını ifade etmektedir.

Gama fonksiyonunda yağış dağılımının 0 değeri içermesi nedeniyle tanımsız olduğu durumlarda ise toplam olasılık eşitlik 8 ile hesaplanmaktadır.

$$H(x)q + (1 - q)G(x) \quad (8)$$

Eşitlik 8'de  $q$ ,  $x$ 'in 0 değeri alma olasılığını ifade etmektedir ve eşitlik 9 ile hesaplanabilir.

$$q = \frac{m}{n} \quad (9)$$

Burada  $m$ , bir yağış serisinde bulunan yağışsız günleri,  $H(x)$  toplam olasılığı ifade etmektedir.

SPI ise şu şekilde hesaplanır.

$$SPI = S \frac{t - (c_2 t + c_1 0) + c_0}{[(d_3 t + d_2) t + d_1] t + 1.0} \quad (10)$$

$$t = \sqrt{\ln \frac{1}{G(x)^2}} \quad (11)$$

Burada  $S$  pozitif veya negatif katsayıdır.  $G(x) > 0.5$  durumunda  $S=1$  ve  $G(x) \leq 0.5$  durumunda  $S=-1$  değerini almaktadır. Denklemdaki sabitler ise:

$c_0=2.5155$ ,  $d_1=1.4327$ ,  $c_1=0.8028$ ,  $d_2=0.1892$ ,  $c_2=0.0103$ ,  $d_3=0.0013$ 'tür.

Bu çalışmada SPI sırasıyla 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık gözlemlenen yağış toplamalarına karşılık gelen zaman periyotları için hesaplanmıştır. Bu periyotlardan kısa olanlar toprağın nem koşullarını yansıtırken uzun olanlar yeraltı sularını, nehir akışı ve göl suyu seviyelerini yansıtmaktadır.

### 2.2.2. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI)

Standartlaştırılmış bir ölçek olan SPEI, çeşitli bölgesel ve zamansal ölçeklerdeki kuraklıkları karşılaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Vicente-Serrano vd. [12] tarafından geliştirilen SPEI, Yağış ile potansiyel buharlaşma ve terleme (PET) arasındaki fark ile hesaplanır ve iklimsel su değişimini belirlemede etkilidir. PET ise Penman-Monteith yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu yöntemde yağış, sıcaklık, rüzgar hızı, güneş ışığı miktarı gibi çeşitli iklim değişkenleri de hesaba katılmaktadır [6].

SPEI, çeşitli zaman periyotlarında su seviyelerinin yanı sıra kuraklık olasılığının ciddiyetini değerlendirmekte etkilidir. SPEI aşağıdaki işlem adımları ile hesaplanmaktadır:

$$D_i = P_i - PET_i \quad (12)$$

Burada D fark, i zaman periyodu (ay), P aylık yağıştır (mm) ve PET Potansiyel Evapotranspirasyon [22] yöntemine göre aylık ortalama sıcaklık ve değerlendirilen bölgenin coğrafi konum verileri kullanılarak hesaplanır.

$$PET = 16k\left(\frac{10T}{I}\right)^m \quad (13)$$

T aylık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}C$ ), k meteorolojik istasyonun enlemi ve ayın bir fonksiyonu olarak hesaplanan bir düzeltme katsayısı, I 12 aylık sıcaklık indis değerlerinin toplamı ve m, I ile ilişkili bir katsayıdır. Farklı zaman periyotları için D değerleri şu şekilde hesaplanır [3].

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-i} - PET_{n-i}), n \geq k \quad (14)$$

Burada k (ay), toplam zaman periyodunu ve n hesaplanan ayı ifade etmektedir.  $k > n$  olması durumunda D değerleri tanımsızdır bu nedenle D serisini standartlaştırmak için üç parametrelili bir dağılıma ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle, Kolmogorov-Smirnov testi kullanılarak üç parametrelili log-lojistik dağılımının tüm zaman periyotlarında SPEI için daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir [23]. D ve log-lojistik olasılık yoğunluğu aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanır.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-2} \quad (15)$$

Burada  $\beta$  ve  $\alpha$  ölçek, şekil ve orjin parametrelerini ifade etmektedir [24]. D serisinin olasılık dağılım fonksiyonu şu şekilde verilir:

$$f(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x} - \gamma\right)^{\beta}\right]^{-1} \quad (16)$$

Böylece SPEI,  $f(x)$ 'in standartlaştırılmış değerleri kullanılarak kolaylıkla elde edilebilmektedir.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (17)$$

Burada;

$$P \leq 0.5 \quad W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad P, \text{ belirli bir D değerinin üzerine çıkma olasılığıdır.}$$

$P > 0.5$  SPEI'nin işaretinin tersi kullanılır. W, P'nin PET'ten yüksek veya düşük olmasına bağlı katsayıdır. Denklemdeki sabitler:

$$C_0 = 2.515517, d_1 = 1.432788, C_1 = 0.802853, d_2 = 0.189269, C_2 = 0.010328, d_3 = 0.001308.$$

SPI ve SPEI indis değerleri için tanımlanan kuraklık sınıfları Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 2.** SPI ve SPEI indis değerleri ve iklim özellikleri [25].

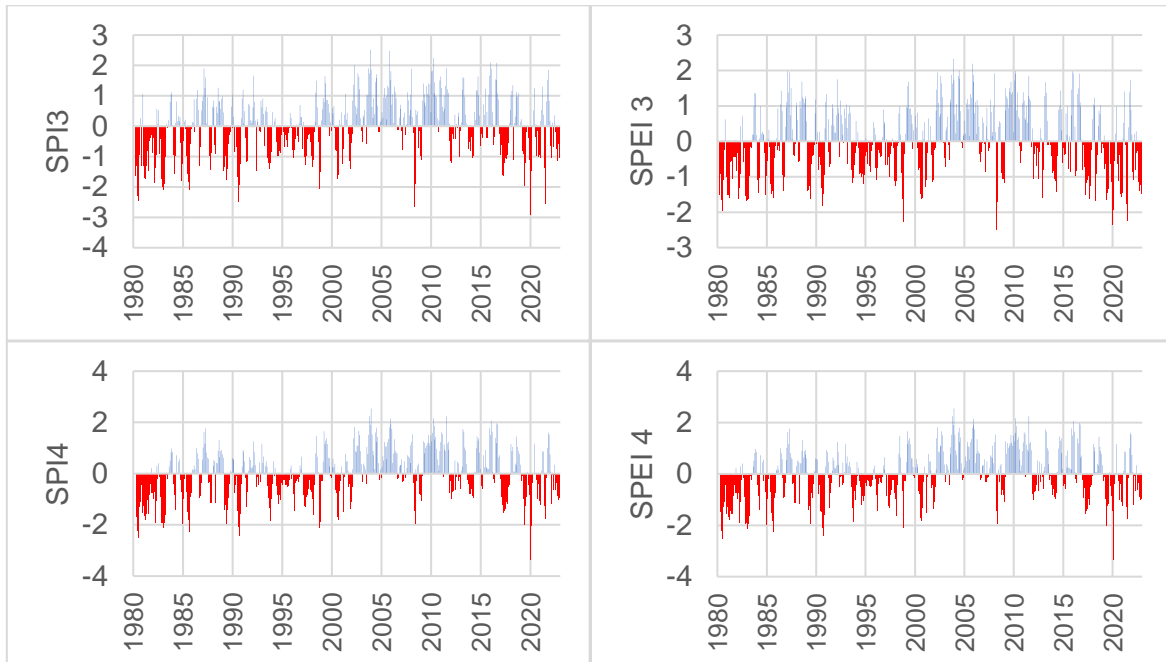
Aşırı nemli	Çok nemli	Orta nemli	Normal	Orta kurak	Şiddetli kurak	Aşırı kurak
$\geq 2$	1.5, 1.99	1.0, 1.49	0.99,-0.99	-1.0,-1.49	-1.5,-1.99	$\leq -2.0$

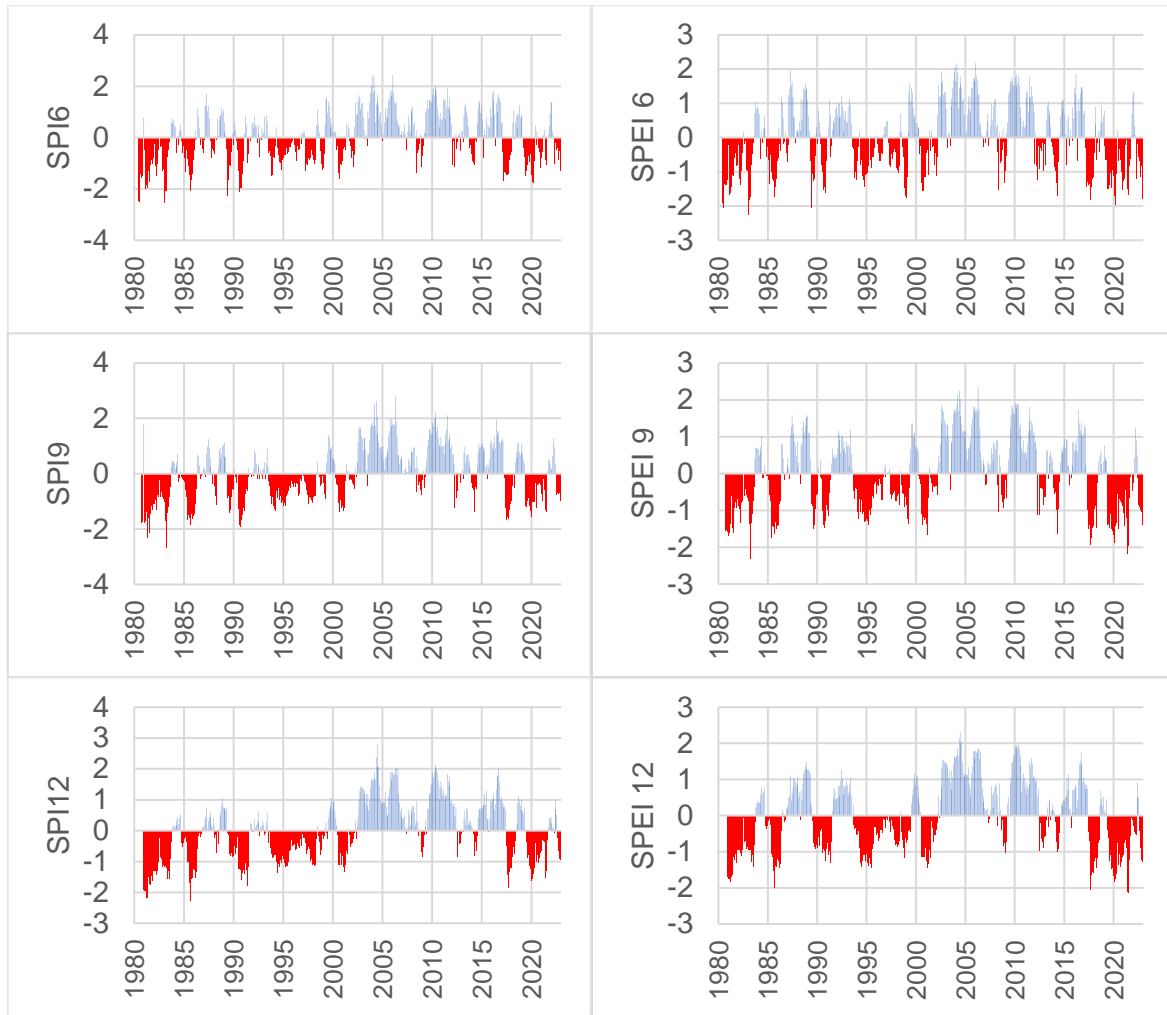
Kurak periyotlar negatif değerler ile nemli periyotlar pozitif değerler ile gsterilmekte, 0,99 ve -0,99 aralığı ise normal sınıfı temsil etmektedir.

### 3. Analiz ve Tartışma

Kuraklık analizi ve izlenmesinde zaman periyotlarının kullanımı oldukça 3nemlidir. 3rneğin belirli bir zaman aralığında 1 aylık periyotlardaki yağış miktarının toplam yağış miktarı ile tarihsel karşılaştırmasını içeren 1 aylık zaman periyodu için hesaplanan indisler meteorolojik kuraklığın belirlenmesinde kullanılmaktadır. Kısa d3nemi temsil eden 3 ve 4 aylık periyotlarda hesaplanan indisler nem koşullarının etkilerini değerlendirmek ve mevsimsel değişimleri izlemek ve tarımsal kuraklığı belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Kısa periyotlarda su kaynakları etkileri g3r3lmezken toprak nemi ani bir şekilde etkilenebilmektedir. 6 aylık indisler yağış ve sıcaklık verilerinin orta vadeli eğilimlerini belirlenmesi ve yıl içinde yağış değişimlerini tespit etmede etkilidir. 9 ve 12 aylık uzun d3nem periyotlarda hesaplanan indisler hidrolojik kuraklık etkilerinin tespit edilmesi ve y3zey suyu kaynaklarının izlenmesinde etkilidir. 3nk3 yağış eksikliğinin su kaynakları 3zerindeki etkisi belirli bir s3re sonra ortaya çıkabilmektedir. Kuraklığın en baskın bileşenlerinin belirlenmesi için 12 aylık SPI ve SPEI indisleri kullanılmaktadır. Daha uzun periyotlar için hesaplanan indisler ise kuraklığın sosyo-ekonomik ve çevresel etkilerinin belirlenmesinde oldukça 3nemlidir [6], [14], [26].

Çalışmada sadece yağış verisini girdi parametresi olarak kullanan SPI ve hem yağış hem de sıcaklık verilerini girdi parametresi olarak kullanarak buharlaşmanın etkisini de g3z 3n3nde bulunduran SPEI indisleri ile kuraklık analizi gerçekleştirilmiş ve sıcaklığın kuraklık analizi 3zerindeki etkisi indisler karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. SPI indisi istatistiksel bir hesaplama aracı olan R4.3.1. RStudio yazılımı SPI paketi 1.8.1 s3r3m3 kullanılarak, SPEI indisi ise SPEI yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. 1980-2022 hidrolojik yılları arasında 1, 3, 4, 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotlarında hesaplanan SPI ve SPEI indislerinin yıllara g3re değişimini g3steren grafikler şekil 2’de sunulmuştur. Grafikte kırmızı ile belirtilen eksi değerler kurak d3nemleri temsil etmektedir. Tablo 3’te ise her iki y3ntem için elde edilen kurak ayların sayısı ve değişimi sunulmuştur.





Şekil 3. 3, 4, 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotlarında SPI ve SPEI indisleri dağılımı

Tablo 3. SPI ve SPEI yöntemlerine göre kurak aylar sayısı

İndisler	Aşırı nemli	Çok nemli	Orta nemli	Normal	Orta kurak	Şiddetli kurak	Aşırı kurak
	$\geq 2$	1.5, 1.99	1.0, 1.49	0.99,-0.99	-1.0,-1.49	-1.5,-1.99	$\leq -2.0$
SPI 3	6	28	54	342	53	20	11
SPEI 3	3	28	58	336	57	28	4
SPI 4	6	28	51	350	43	25	10
SPEI 4	5	29	64	326	58	26	5
SPI 6	5	26	56	343	56	17	8
SPEI 6	3	34	61	319	62	29	3
SPI 9	7	29	47	343	59	20	3
SPEI 9	4	33	54	330	64	21	2
SPI 12	10	27	39	340	66	20	3
SPEI 12	3	32	56	319	73	17	5

Şekil 2 ve Tablo 3'te 1980 ve 2022 hidrolojik yılları arasında farklı zaman periyotlarında hesaplanan SPI değerleri incelendiğinde;

Mevsimleri ifade eden 3 aylık SPI analizine göre 11 ayda aşırı kuraklık, 20 ayda şiddetli kuraklık ve 53 ayda orta kuraklık ve toplamda 84 ayda kuraklık gözlenmiştir. Zamansal olarak incelendiğinde son 6 yılda 14 ayın orta kurak, 3 ayın şiddetli kurak ve 3 ayın da aşırı kurak geçtiği gözlenmiştir. 4 aylık SPI analizinde 10 ayda aşırı kuraklık, 25 ayda şiddetli kuraklık ve 43 ayda orta kuraklık olduğu belirlenmiştir. Son 6 yılda 14 ayın orta kurak, 2 ayın şiddetli kurak ve 3 ayın da aşırı kurak olduğu belirlenmiştir. 6 aylık SPI değerlerine göre, 8 ayın aşırı kurak, 17 ayın şiddetli kurak ve 56 ayın orta kurak geçtiği görülmekte, aşırı kurak ayların 1980 ve 1990 yılları arasında dağılım gösterdiği son 6 yılda ise 16 ayın orta kurak ve 3 ayın aşırı kurak geçtiği



görülmektedir. 9 aylık SPI değerleri incelendiğinde 3 ayın aşırı kurak 20 ayın şiddetli kurak ve 59 ayın orta kurak olduğu ve bunlardan 16 orta kurak geçen ay ve 4 şiddetli kurak geçen ay son 6 yıl içerisinde. Son olarak yıllık (12 aylık) değerler incelendiğinde 3 ayın aşırı kurak, 20 ayın şiddetli kurak ve 66 ayın orta kurak olduğu görülmekte ve bunlardan 13 orta kurak ay ve 4 şiddetli kurak ayın son 6 yılda gerçekleştiği görülmektedir. Tüm zaman periyotlarında SPI değerleri incelendiğinde 1980 ile 1986 yılları arasında ve 2017 ile 2022 yılları arasında kuraklığın yoğunluk gösterdiği gözlemlenmiştir.

Şekil 2 ve Tablo 3'te 1980 ve 2022 yılları arasında farklı zaman periyotlarında hesaplanan SPEI değerleri incelendiğinde; 3 aylık SPEI analizine göre 4 ayın aşırı kurak, 28 ayın şiddetli kurak ve 57 ayın orta kurak geçtiği gözlemlenmiştir. 4 aylık SPEI analizinde 5 ayın aşırı kurak, 26 ayın şiddetli kurak ve 58 ayın orta kurak geçtiği gözlemlenmiştir. 6 aylık SPEI değerlerine göre, 3 ayın aşırı kurak 29 ayın şiddetli kurak ve 62 ayın orta kurak olduğu, 9 aylık SPEI, 2 ayın aşırı kurak 21 ayın şiddetli kurak ve 64 ayın orta kurak olduğu belirlenmiştir. 12 aylık SPEI, 5 ayın aşırı kurak, 17 ayın şiddetli kurak ve 73 ayın orta kurak geçtiği aşırı kurak aylardan 4 tanesinin de 2017-2022 yılları arasında gerçekleştiği, şiddetli kurak aylardan 4 tanesinin 2017, 1 tanesinin 2019 ve 4 tanesinin de 2020 yılında gerçekleştiği, orta kurak ayların da 21 tanesinin yine son 6 ayda gerçekleştiği tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Kuraklığın izlenmesi, karakteristiklerinin belirlenmesi ve etkilerinin azaltılması su kaynaklarının planlanması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada Ardahan ili 17040 numaralı merkez istasyonundan elde edilen 1980-2022 hidrolojik yılları arası kaydedilen yağış ve sıcaklık verileriyle farklı zaman periyotları (1, 3, 4, 6, 9 ve 12 aylık) için SPI ve SPEI kuraklık indisleri hesaplanmıştır. 42 yıllık meteorolojik veriler incelendiğinde yağışların azalma sıcaklıkların ise artma eğiliminde olduğu görülmektedir. 3 aylık zaman periyotları için hesaplanan indisler incelendiğinde ilkbahar ve yaz mevsimlerinde nemliliğin hâkim olduğu, sonbahar mevsiminde kuraklıkların arttığı ve kış mevsiminde ise kurak ve nemli dönemlerin bulunduğu görülmektedir. Sadece yağış parametresini girdi değişkeni olarak kullanan SPI ve hem yağış hem de sıcaklık parametrelerini girdi değişkeni olarak kullanan SPEI indisleri ile hesaplanan değerler incelendiğinde SPI'da kısa zaman periyotlarında daha fazla kuraklık görülmüş ve uzun zaman periyotları ile kıyaslandığında dalgalanmalar gözlemlenmiştir. SPEI indisinde ise kararlılık düzeyi daha yüksek ve özellikle yaz aylarında kuraklık belirleme kapasitesinin daha gelişmiş olduğu tespit edilmiştir. Yağış parametresi kuraklığın izlenmesinde temel göstergedir fakat sıcaklığın buharlaşma-terleme ve nem parametrelerini kontrol etmesi, kuraklığın oluşması ve izlenmesinde oldukça önemli bir parametre olduğu gözlemlenmektedir. Elde edilen bulgular neticesinde SPI indisinin uzun zaman periyotlarında SPEI ile yakın sonuçlar oluşturduğu ve bu nedenle uzun zaman periyotlarında etkili bir araç olarak kullanılabileceği, SPEI indisinin ise tüm zaman periyotlarında kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada izlenen kuraklık değişimleri neticesinde Ardahan ilinin kuraklık eğiliminde olduğu ve erken uyarı sistemlerinin planlanması gerektiği ve aynı zamanda çalışmanın nem koşullarının değişimi ile tarımsal kuraklık, uzun dönem periyotlardaki değişimlerin izlenmesi ile hidrolojik kuraklık analizlerinde, yüzey suyu kaynaklarının korunması ve su yapılarının projelendirilmesi gibi konularda referans olacağı düşünülmektedir.

#### Kaynakça

- [1] M. A. H. Mondol, X. Zhu, D. Dunkerley, and B. J. Henley, "Observed meteorological drought trends in Bangladesh identified with the Effective Drought Index (EDI)," *Agric. Water Manag.*, vol. 255, no. May, p. 107001, 2021, doi: 10.1016/j.agwat.2021.107001.
- [2] D. Paton, L. Smith, and J. Violanti, "Disaster response: Risk, vulnerability and resilience," *Disaster Prev. Manag. An Int. J.*, vol. 9, no. 3, pp. 173–179, 2000, doi: 10.1108/09653560010335068.
- [3] M. Yu, Q. Li, M. J. Hayes, M. D. Svoboda, and R. R. Heim, "Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the standardized precipitation evapotranspiration index: 1951-2010?," *Int. J. Climatol.*, vol. 34, no. 3, pp. 545–558, 2014, doi: 10.1002/joc.3701.
- [4] V. Gumus and H. M. Algin, "Meteorological and hydrological drought analysis of the Seyhan–Ceyhan River Basins, Turkey," *Meteorol. Appl.*, vol. 24, no. 1, pp. 62–73, 2017, doi: 10.1002/met.1605.

- [5] M. J. Uddin, J. Hu, A. R. M. T. Islam, K. U. Eibek, and Z. M. Nasrin, "A comprehensive statistical assessment of drought indices to monitor drought status in Bangladesh," *Arab. J. Geosci.*, vol. 13, no. 9, 2020, doi: 10.1007/s12517-020-05302-0.
- [6] I. Isia *et al.*, "Drought Analysis Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index and Standardized Precipitation Index in Sarawak, Malaysia," *Sustain.*, vol. 15, no. 1, 2023, doi: 10.3390/su15010734.
- [7] D. P. Ariyanto, A. Aziz, Komariah, Sumani, and M. Abara, "Comparing the accuracy of estimating soil moisture using the standardized precipitation Index (SPI) and the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI)," *Sains Tanah*, vol. 17, no. 1, pp. 23–29, 2020, doi: 10.20961/stjssa.v17i1.41396.
- [8] S. Tirivarombo, D. Osupile, and P. Eliasson, "Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardised Precipitation Index (SPI)," *Phys. Chem. Earth*, vol. 106, pp. 1–10, 2018, doi: 10.1016/j.pce.2018.07.001.
- [9] R. P. Pandey, B.B.Dash, S. K. Mishra, and R. Singh, "Study of indices for drought characterization in KBK districts in Orissa (India)," *Hydrol. Process.*, vol. 22, no. November 2008, pp. 1895–1907, 2008, doi: 10.1002/hyp.
- [10] M. Batan, "Çeşitli Kuraklık İndisleri ile Batman İlinin Kuraklık Analizi ve Kontur Haritalarının Çıkarılması," *Doğal Afetler ve Çevre Derg.*, vol. 7, no. 2, pp. 252–265, 2021, doi: 10.21324/dacd.817903.
- [11] I. Livada and V. D. Assimakopoulos, "Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI)," *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 89, no. 3–4, pp. 143–153, 2007, doi: 10.1007/s00704-005-0227-z.
- [12] S. Vicente-Serrano *et al.*, "Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications," *Earth Interact.*, vol. 16, no. 10, pp. 1–27, 2012, doi: 10.1175/2012EI000434.1.
- [13] S. Dogan, A. Berktaş, and V. P. Singh, "Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey," *J. Hydrol.*, vol. 470–471, pp. 255–268, 2012, doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.09.003.
- [14] Z. N. Qaisrani, N. Nuthammachot, K. Techato, and Asadullah, "Drought monitoring based on Standardized Precipitation Index and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index in the arid zone of Balochistan province, Pakistan," *Arab. J. Geosci.*, vol. 14, no. 1, 2021, doi: 10.1007/s12517-020-06302-w.
- [15] İ. H. Yüce, M. İ., Aksoy, H., Aytekin, A., Eşit, M., Uğur, F., Yaşar, İ., Şimşek, A., & Değer, "Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences," *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 25, no. 3, pp. 285–295, 2022.
- [16] İ. Dursun and A. A. Babalık, "De Martonne-Gottman ve Standart Yağış İndeksi yöntemleri kullanılarak kuraklığın belirlenmesi: Isparta ili örneği," *Turkish J. For. | Türkiye Orman. Derg.*, vol. 22, no. 3, pp. 192–201, 2020, doi: 10.18182/tjf.944195.
- [17] E. Topçu and F. Karaçor, "Erzurum İstasyonunun Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi Ve Bütünleşik Kuraklık İndeksi Kullanılarak Kuraklık Analizi," *Politek. Derg.*, vol. 24, no. 2, pp. 565–574, 2021, doi: 10.2339/politeknik.682168.
- [18] M. Ali Çelik *et al.*, "Doğu Anadolu Bölgesi'nin Mevsimlik Kuraklık Analizi," *Atatürk Üniversitesi Sos. Bilim. Enstitüsü Derg. Eylül*, vol. 22, no. 3, pp. 1741–1761, 2018.
- [19] Erdoğan Bölük, "Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi," *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*, p. 18, 2016.
- [20] N. B. Guttman, "Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index," *J. Am. Water Resour. Assoc.*, vol. 34, no. 1, pp. 113–121, 1998, doi: 10.1111/j.1752-1688.1998.tb05964.x.

- [21] U. G. Bacanlı, M. Firat, and F. Dikbas, “Adaptive Neuro-Fuzzy inference system for drought forecasting,” *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, vol. 23, no. 8, pp. 1143–1154, 2009, doi: 10.1007/s00477-008-0288-5.
- [22] C. W. Thornthwaite, “An Approach toward a Rational Classification of Climate,” *Geogr. Rev.*, vol. 38, no. 1, p. 55, 1948, doi: 10.2307/210739.
- [23] S. M. Vicente-Serrano, S. Beguería, J. I. López-Moreno, M. Angulo, and A. El Kenawy, “A new global 0.5° gridded dataset (1901-2006) of a multiscalar drought index: Comparison with current drought index datasets based on the palmer drought severity index,” *J. Hydrometeorol.*, vol. 11, no. 4, pp. 1033–1043, 2010, doi: 10.1175/2010JHM1224.1.
- [24] V. P. Singh, H. Guo, and E. X. Yu, “Stochastic Hydrology and Hydraulics Parameter estimation for 3-parameter log-logistic distribution (LLD3) by Pome,” *Stoch. Hydrol. Hydraul.*, vol. 7, pp. 163–177, 1993.
- [25] M. Eşit and M. İ. Yüce, “Çok Değişkenli Kuraklık Frekans Analizi ve Risk Değerlendirmesi: Kahramanmaraş Örneği,” *Doğal Afetler ve Çevre Derg.*, vol. 8, no. 2, pp. 368–382, 2022, doi: 10.21324/dacd.1066958.
- [26] B. Bera, P. K. Shit, N. Sengupta, S. Saha, and S. Bhattacharjee, “Trends and variability of drought in the extended part of Chhota Nagpur plateau (Singbhum Protocontinent), India applying SPI and SPEI indices,” *Environ. Challenges*, vol. 5, no. June, p. 100310, 2021, doi: 10.1016/j.envc.2021.100310.