



## Modifiye Mann-Kendall Yaklaşımıyla SPI ve SPEI Tabanlı Sivas İlindeki Kuraklık Eğilimlerinin Karşılaştırmalı Analizi

*Comparative Analysis of SPI and SPEI Based Drought Trends In Sivas Province Using The Modified Mann-Kendall Approach*

Sefa Furkan Selçuk\* 

Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye

### Öz

Kuraklık analizi, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve tarımsal planlama için kuraklık dönemlerinin şiddetini, süresini ve sıklığını belirleyerek önleyici ve iyileştirici stratejiler geliştirilmesine olanak sağlar. Bu çalışma, Sivas ilindeki meteorolojik kuraklık olaylarını Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) kullanarak analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada 1980-2020 yılları arasında Sivas ilinde bulunan altı meteorolojik istasyondan elde edilen veriler, 3 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde değerlendirilmiştir. Kuraklık eğilimlerinin analizi için Modifiye Mann-Kendall ve Sen'in Eğilim testi kullanılmıştır. SPI ve SPEI indeksleri, kuraklık koşullarının zamansal değişimlerini ortaya koymuştur. İki indeksle yapılan hesaplamalarda, özellikle 2010'lu yıllarda başlayan ve 2014 ile 2017 yıllarında uç değerlere ulaşan kuraklık dönemleri dikkat çekmiştir. Bu kuraklıklar için SPI daha şiddetli, SPEI ise daha uzun süren kuraklık dönemlerini göstermiştir. Bu durum bölgede ciddi yağış eksiklikleri yaşandığını ve bu eksikliğin kuraklığın başlıca itici gücü olduğunu göstermiştir. Modifiye Mann-Kendall trend analizi ve Sen'in Eğilim testleri, tüm istasyonlarda kuraklık olaylarının istatistiksel olarak anlamlı bir artış trendi içinde olduğunu göstermiştir. Bu eğilim, Sivas ilindeki su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve tarımsal planlamanın giderek daha önemli hale geldiğini vurgulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kuraklık, Modifiye Mann-Kendall, Sivas, SPEI, SPI

### Abstract

Drought analysis enables the development of preventive and remedial strategies by determining the severity, duration, and frequency of drought periods, which are critical for the sustainable management of water resources and agricultural planning. This study aims to analyze meteorological drought events in Sivas Province using the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). Data obtained from six meteorological stations in Sivas Province for the period between 1980 and 2020 were evaluated on 3- and 12-month time scales. The Modified Mann-Kendall and Sen's Slope Estimator tests were employed to analyze drought trends. SPI and SPEI indices revealed the temporal variations of drought conditions. In the calculations performed with both indices, drought periods that began particularly in the 2010s and reached extreme values in 2014 and 2017 were noteworthy. For these droughts, SPI indicated more intense droughts, whereas SPEI reflected longer-lasting drought periods. This finding underscores the significant role of rainfall deficiencies as the primary driver of drought in the region. The Modified Mann-Kendall trend analysis and Sen's Slope Estimator tests demonstrated a statistically significant increasing trend in drought events across all stations. This trend emphasizes the growing importance of sustainable water management and agricultural planning in Sivas Province.

**Keywords:** SPI, SPEI, Modified Mann-Kendall, Sivas, Drought

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: [sefafurkan.selcuk@artvin.edu.tr](mailto:sefafurkan.selcuk@artvin.edu.tr)

Sefa Furkan Selçuk  [orcid.org/0000-0002-3700-4377](https://orcid.org/0000-0002-3700-4377)



## 1. Giriş

Kuraklık, genellikle uzun süreli yağış eksikliği sonucu ortaya çıkan, su kaynakları, tarım, ekonomi ve ekosistemler üzerinde derin etkiler bırakan ciddi bir meteorolojik olaydır. Bu, hem yerüstü hem de yeraltı su seviyelerindeki düşüşleri içerir ve geniş çapta su kıtlığına yol açabilir. Kuraklığın farklı disiplinler tarafından yapılmış birçok tanımı bulunmaktadır. Meteorolojik kuraklık, belirli bir bölgede yağış miktarının uzun bir dönem boyunca normalin altında kalması durumunda başlar ve genellikle hidrolojik kuraklığı tetikler; bu da nehirler, göller ve yeraltı su kaynaklarının seviyelerinin düşmesine neden olur (WMO & GWP, 2016; Şener & Şener, 2021; Anisfeld, 2010). Tarımsal kuraklık, toprak nem seviyelerinin düşmesiyle karakterize edilir ve bitki büyümesi ile verimi doğrudan etkileyerek gıda güvenliği sorunlarına yol açabilir (Zhang et al., 2021). Sosyoekonomik kuraklık ise kuraklık koşullarının insan toplulukları üzerindeki etkilerini ifade eder; işsizlik, göç ve gelir kaybı gibi sosyoekonomik stres faktörlerini içerir (Simsek et al., 2024). Öte yandan, aşırı yağış olayları da kısa süre içinde büyük miktarda yağışın düşmesiyle karakterize edilir ve sel, su baskını gibi diğer doğal afetlere yol açarak altyapıya, yerleşim yerlerine ve tarım arazilerine zarar verebilir. İklim değişikliği ve küresel ısınmanın etkileri nedeniyle, bu tür aşırı hava olaylarının sıklığı ve şiddeti artmaktadır (Tabari, 2020). Bu durum, kuraklık ve aşırı yağış olaylarının etkilerini azaltmak ve daha dayanıklı toplumlar oluşturmak için detaylı analizler yapılmasını zorunlu kılar. Bu analizlerle riskli bölgeler belirlenebilir, uyarı sistemleri geliştirilebilir ve etkili su kaynakları yönetimi ile afet risk azaltma stratejileri uygulanabilir. Bu nedenle, kuraklık ve aşırı yağış olaylarının analizi, günümüzde ve gelecekteki nesiller için hayati önem taşımaktadır, zira bu analizler sayesinde gerekli önlemlerin zamanında ve etkin bir şekilde alınması mümkün olabilir ve böylece bu tür doğal afetlerin neden olduğu maddi ve manevi zararlar asgariye indirilebilir.

Kuraklık ve aşırı yağış olaylarının analiz edilebilmesi için araştırmacılar tarafından geliştirilmiş birçok kuraklık indeksi geliştirilmiştir. Söz konusu kuraklık indekslerinden en önemlileri arasında Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) (McKee et al., 1993), Palmer Kuraklık İndeksi (Palmer, 1965), China Z indeksi (Wu et al., 2001), etkili kuraklık indeksi (Byun & Wilhite, 1999) ve keşif kuraklık indeksi (Tsakiris et al., 2007) gibi birçok indeks sayılabilir. SPI, Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından kuraklık olaylarının izlenmesinde ve araştırılmasında kullanılması gereken temel meteorolojik kuraklık indeksi olarak önerilmiştir (Hayes

et al., 2011). Meteorolojik kuraklık analizi çalışmalarında sıklıkla kullanılan ve güvenilirliği kanıtlanmış bir yöntemdir (Lee et al., 2017; Keskin & Hezarani, 2019; Bong & Richard, 2020; Tuğrul & Hınıs, 2023). Bununla birlikte SPI indeksinde sıcaklığın dikkate alınmıyor olması eksiklik olarak değerlendirilmektedir.

Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi (SPEI) ise SPI'ye benzer ancak hem yağış miktarını hem de potansiyel evapotranspirasyonu hesaba katarak iklimsel su dengesini değerlendirir. SPI'daki yağışı, aylık yağış ile potansiyel evapotranspirasyon arasındaki farkla değiştirir. Hesaplama sıcaklık verilerini de içerdiğinden, artan sıcaklıkların evapotranspirasyon üzerindeki etkilerini dikkate alır. SPEI ve SPI mevcut araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır ve kuraklığa eğilimli alanlarda zaman ve mekandaki kuraklık özelliklerini ortaklaşa değerlendirebilmektedir (Gao et al., 2017). Ancak SPEI, SPI'ya göre daha fazla veri ve daha karmaşık hesaplamalar gerektirir.

Kuraklık analizinde farklı zaman ölçekleri, kuraklık olaylarının çeşitli yönlerini anlamak için kullanılır. Bu çalışmada 3 ve 12 aylık periyotlar üzerinde çalışılmıştır. Çeşitli zaman periyotlarının eklenmesi, analizlerin daha yoğun ve karmaşık hale gelmesine neden olabilir. Bu da, her bir periyot için yapılan değerlendirmelerin derinliğini ve doğruluğunu azaltabilir. Çalışmada, derinlemesine ve kapsamlı bir analiz yapabilmek amacıyla, en anlamlı ve etkili zaman dilimlerine odaklanma tercih edilmiştir. 3 aylık periyot, kısa vadeli kuraklıkların özellikle tarım faaliyetleri üzerindeki etkilerini anlamak için kritiktir. Tarımsal üretim, kısa dönemlerde meydana gelen yağış eksikliklerine karşı oldukça hassastır. Bu nedenle, 3 aylık birikim dönemleri, tarım sektörünün su taleplerine ve kısa vadeli su yönetimine yönelik uygun stratejilerin geliştirilmesine olanak tanır. 12 aylık periyot ise daha uzun vadeli kuraklık eğilimlerini ve su kaynaklarının yıllık döngülerde nasıl etkilendiğini değerlendirmek için kullanılır. Bu, su rezervuarlarının doluluk oranlarını ve yeraltı su seviyelerini anlamak açısından önemlidir. 3 ve 12 aylık periyotlar, literatürde yaygın olarak kullanılan ve kabul gören kuraklık analiz zaman ölçekleridir. Bu periyotlar, iklimsel su dengesinin farklı boyutlarını yansıtmak için standart olarak kullanılır, bu da elde edilen sonuçların diğer çalışmalarla kıyaslanabilir olmasını sağlar. Bu periyotlar, hem kısa hem de uzun vadeli kuraklık eğilimlerini değerlendirmede yeterli derinlikte bilgi sağlayarak, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi ve tarımsal planlama için uygun bir temel oluşturur. Diğer zaman ölçekleri (1, 6, 24 ve 48 ay) hesaplanabilir olmakla birlikte, çalışmanın kapsamını odaklı



Sivas, coğrafi konumu nedeniyle stratejik bir öneme sahiptir. İlde yer alan Kızılırmak Nehri, Türkiye'nin en uzun nehri olup, geniş bir drenaj alanına sahiptir. Bu nehir ve yan kolları, bölgenin su kaynakları açısından zengin olmasını sağlar. Aynı zamanda, ilin çeşitli barajları ve su rezervuarları, tarım ve enerji üretimi için önemli kaynaklar sunar.

Sivas'ın iklimi, özellikle tarım ve su kaynakları yönetimi açısından büyük bir öneme sahiptir. İlde yağış miktarları mevsimlere göre önemli farklılıklar göstermektedir. İlkbahar ve sonbahar aylarında yağışlar artarken, yaz aylarında ciddi bir azalma gözlenir. Bu durum, tarım faaliyetlerini ve su kaynaklarının yönetimini doğrudan etkiler. Ayrıca, Sivas'ın farklı coğrafi ve iklimsel özellikleri, çeşitli bitki ve hayvan türlerinin yaşam alanı olmasını sağlar (Sağdıç & Koç, 2012; Selçuk vd., 2022).

Bu çalışmada, Sivas ilindeki meteorolojik ölçüm istasyonlarından elde edilen veriler kullanılarak, kuraklık olaylarının analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla il sınırları içerisinde bulunan meteoroloji genel müdürlüğüne ait altı ölçüm istasyonundan iklim verileri temin edilmiştir. İstasyonlara ait bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir. Yapılan analizler, ilin farklı bölgelerinde kuraklık eğilimlerini belirlemeye ve iklim değişikliğinin yerel etkilerini anlamaya yardımcı olacaktır. İstasyonlara ait veriler 1980 - 2020 dönemini kapsamaktadır ve veri sürekliliği kontrol edilmiştir. Sınırlı sayıdaki eksik aylık kayıtlar aynı istasyonun uzun dönem aylık ortalamaları kullanılarak tamamlanmıştır.

## 2.2. Kuraklık Analizi

Çalışmada kuraklık analizi için SPI ve SPEI indeksleri hesaplanmıştır. SPI yönteminde tek girdi kaynağı uzun vadeli yağış verileridir. Yöntemde yağış verileri, Denklem 1'e göre önce gama olasılık dağılımına uyarlanmakta, ardından Denklem 2'ye göre standart normal dağılıma dönüştürülmektedir (Edwards & McKee, 1997).

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

Denklem 1'de  $\alpha$  şekil parametresini,  $\beta$  ölçek parametresini,  $\Gamma(\alpha)$  gama fonksiyonunu ve  $x$  yağış miktarını temsil etmektedir.

$$SPI_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j} \quad (2)$$

Denklem 2'de  $x_{ij}$  yağışı,  $\bar{x}_j$  ortalama yağışı ve  $\sigma_j$  ise  $i$  yılının  $j$  ayındaki standart sapmayı temsil etmektedir.

SPEI ise yağış ve PET arasındaki fark hesaplanarak belirlenir. Bu çalışmada PET tahmininde yüksek doğruluğuyla bilinen Hargreaves modeli kullanılmıştır (Wang et al., 2021; Mendicino & Senatore, 2013; Hargreaves & Samani, 1982). Çalışma kapsamındaki bazı meteorolojik ölçüm istasyonlarında güneşlenme süresi ve güneşlenme şiddeti verileri bulunmadığından, daha fazla veri talep eden Penman-Monteith gibi yöntemlerin uygulanması mümkün olmamıştır. Hargreaves yöntemi, yalnızca maksimum ve minimum sıcaklık verilerine ihtiyaç duyması ve veri eksikliği durumlarında yüksek doğrulukla kullanılabilir bir PET tahmincisi olarak literatürde yaygın biçimde önerilmesi nedeniyle tercih edilmiştir (Mousavi et al., 2023). PET değerleri Denklem 3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$PET = 0.0023 * (T_{ort} + 17.8) * \sqrt{T_{maks} - T_{min}} * (R_a) \quad (3)$$

Burada; PET potansiyel evapotranspirasyonu,  $T$  sıcaklığı ve  $R_a$  net güneş ışınımını temsil etmektedir. SPEI hesaplanması için ikinci adım olarak, Denklem 4 kullanılarak günlük yağış ve PET arasındaki fark hesaplanmaktadır.

**Çizelge 1.** Meteorolojik ölçüm istasyonları ile ilgili bilgiler.

İstasyon Adı	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Yükseklik (m)	Ort. Yağış (mm/ay)	Ort. Maks. Sıcaklık (°C)	Ort. Min. Sıcaklık (°C)
Sivas/Merkez	39.744	37.002	1294	35.82	15.8	3.7
Gemerek	39.185	36.081	1182	31.08	17.3	2.6
Suşehri	40.162	38.075	1164	33.88	16.1	5.7
Zara	39.893	37.747	1338	41.91	15.2	2.4
Divriği	39.362	38.114	1121	31.69	17.7	5.8
Kangal	39.243	37.389	1521	32.79	14.6	-0.7

$$D_i = P_i - PET_i \quad (4)$$

Burada;  $D_i$  yağış ile potansiyel buharlaşma arasındaki farkı,  $P_i$  günlük yağışı ve  $PET_i$  potansiyel evapotranspirasyonu temsil etmektedir. Hesaplanan "D" değerleri, farklı zaman ölçeklerinde Denklem 5'teki gibi hesaplanır;

$$D_i^k = \sum_{i=1}^{k-1} P_{n-1} - PET_{n-1} \quad (5)$$

Burada,  $n$  hesaplanan ay,  $k$  (ay) zaman ölçeğidir. SPEI değerini elde etmek için elde edilen  $D$  serisinin standartlaştırılması gerekmektedir. Standartlaştırma için Denklem 6'da verilen üç parametrelili bir log-lojistik olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılmaktadır.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[ 1 + \left( \frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-2} \quad (6)$$

burada  $\alpha$  ölçek,  $\beta$  şekil ve  $\gamma$  orijin parametrelerini ifade eder.  $D$  serisi için olasılık dağılım fonksiyonu Denklem 7 ile hesaplanmaktadır

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x-\gamma} \right)^{\beta} \right]^{-1} \quad (7)$$

SPEI ise Denklem 8'de gösterildiği üzere  $F(x)$ 'in standartlaştırılmış değerleri olarak bulunmaktadır (Vicente-Serrano et al., 2010; Pei et al., 2020).

$$SPEI = \begin{cases} P \leq 0,5 \text{ için } w = \sqrt{-2 \ln(p)} \\ SPEI = w - \frac{C_0 + C_1 w + C_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3} \\ P > 0,5 \text{ için } w = \sqrt{-2 \ln(p)} \\ SPEI = -w + \frac{C_0 + C_1 w + C_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3} \end{cases} \quad (8)$$

Denklem 8'de  $P$ , belirli bir dönemdeki su dengesi değerinin teorik bir olasılık dağılımına göre hesaplanan kümülatif olasılık değeridir. Denklem 8'deki sabitler,  $c_0=2.515547$ ,  $c_1=0.802853$ ,  $c_2=0.010328$ ,  $d_1=1.432788$ ,  $d_2=0.189269$ ,  $d_3=0.001308$  olarak alınmıştır (Pei et al., 2020).

Bu yöntemler, uzun vadeli ölçekte yağıştaki değişikliklerle birlikte kuraklık veya anormal yağış olaylarının dönemlerini ve derecelerini belirlemek için kullanılır. Analiz edilen birikim dönemi için toplam yağış değerinin ortalamadan sapmalarını gösterir. Pozitif değerler ortalamadan daha fazla yağışı, negatif değerler ise ortalamadan daha az yağışı göstermektedir. -1'den küçük veya eşit değerler kuraklığa işaret eder (McKee et al., 1993). SPI ve SPEI değerlerine göre belirlenen kuraklık sınıflandırmaları Çizelge 2'de listelenmiştir. Ortalamadan sapmanın büyüklüğü, anormalliğin önemini olasılıksal bir ölçüsüdür.

**Çizelge 2.** Kuraklık sınıflandırmaları (McKee et al., 1993; Shekhar & Shapiro, 2019).

Kuraklık Değeri (X)	Kuraklık Sınıfı
$0 \geq X > -1$	Az Kuraklık
$-1.0 \geq X > -1.5$	Orta Şiddetli Kuraklık
$-1.5 \geq X > -2.0$	Şiddetli Kuraklık
$-2.0 \geq X$	Çok Şiddetli Kuraklık

Anormalliklerin geleceğe yönelik etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla 1, 3, 6, 12, 24 ve 48 aylık birikim dönemleri için hesaplamalar yapılabilmektedir. Kısa birikim dönemlerine ilişkin hesaplamalar, anomalinin toprak nemi üzerindeki etkilerine ilişkin bir gösterge sağlarken, uzun birikim dönemlerine ilişkin hesaplamalar, yeraltı suyu ve su rezervleri üzerindeki etkilere ilişkin bir gösterge sağlar. Çalışmada 3 ve 12 aylık birikim dönemleri için hesaplamalar yapılmıştır.

### 2.3. Trend Analizi

Modifiye Mann-Kendall ve Sen'in Eğilim testleri, hidrolojik, meteorolojik ve klimatolojik zaman serilerindeki yukarı veya aşağı yönlü eğilimleri belirlemek için yaygın olarak kullanılan parametrik olmayan istatistiksel analiz yöntemleridir (Merabti et al., 2018; Zhang et al., 2012; Lornezhad et al., 2023). Hesaplanan SPI ve SPEI zaman serilerinin eğilimlerini analiz etmek için çalışmada bu yöntemler kullanılmıştır. Modifiye Mann-Kendall test istatistiği Denklem 9'a göre hesaplanır (Mann, 1945; Kendall, 1975; Hamed & Rao, 1998).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (9)$$

Denklemden  $n$  veri sayısını temsil eder. Pozitif  $S$  değerleri yükseliş eğilimlerini, negatif  $S$  değerleri ise düşüş eğilimlerini temsil eder.  $S$  değerinin varyansı Denklem 10'a göre hesaplanır. Denklem 11 ve 12'de standartlaştırılmış değiştirilmiş  $S$  değerinin varyansını vermektedir. Mann-Kendall istatistikleri ise Denklem 13'e göre hesaplanır.

$$\text{Var}(S) = 1/18[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)] \quad (10)$$

$$\text{Var}(S)^* = \text{Var}(S) \frac{n}{n^*} \quad (11)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum (n-k) \quad (12)$$

$$(n-k-1)(n-k-2)r_k^R$$

Burada  $\frac{n}{n^*}$  düzeltme faktörünü temsil eder,  $r_k^R$  lag- $k$  seri korelasyon katsayısını,  $m$  veri setindeki göreceli grup sayısını ve  $t_i$  ise  $m$  uzunluğundaki bir dizideki bağlantılı gözlemleri temsil eder.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)^*}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)^*}}, & S < 0 \end{cases} \quad (13)$$

$Z$ -değeri, Mann-Kendall testinde hesaplanan  $S$  değerinin varyansına göre standartlaştırılmasıyla elde edilen ve eğilimin hem yönünü hem de istatistiksel anlamlılık düzeyini gösteren normalleştirilmiş trend istatistiğidir.

Kuraklık olaylarındaki eğilim Sen'in eğilim yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Yönteme göre ortalama trendin tahmini Denklem 14 ve 15 kullanılarak yapılır (Sen, 1968).

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (i = 1, \dots, N) \quad (14)$$

$$N = n(n-1)/2 \quad (15)$$

Burada  $n$ ,  $x_j$  ve  $x_k$ 'nin  $j > k$  olması koşuluyla, zaman periyotlarının sayısını ve  $j$  ve  $k$  zamanlarındaki verileri temsil eder.  $Q_i$ 'nin  $N$  değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanır ve eğer

$N$  çift sayı ise  $Q_{ort}$  Denklem 16'ya göre  $N$  tek sayı ise Denklem 17'ye göre hesaplanır. Burada  $Q_i$  Sen'in Eğilim değerini temsil etmektedir.

$$Q_{ort} = Q_{(N+1)/2} \quad (16)$$

$$Q_{ort} = \frac{1}{2}(Q_{N/2} + Q_{(N+2)/2}) \quad (17)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Kuraklık Analizi

Sivas ilinde bulunan 6 meteorolojik ölçüm istasyonu için hesaplanan SPI-3 ve SPEI-3 değerlerinin grafikleri, kuraklık ve nemlilik koşullarının zamansal değişimini ortaya koymaktadır. Şekil 2'de verilen bu grafikler üzerinden yapılan değerlendirmelerle kuraklık değerleri analiz edilmiştir. SPI-3 ve SPEI-3 değerlerinin -1.5'in altına düştüğü dönemler önemli kuraklıklar olarak belirlenmiştir. Bu eşik, hem meteorolojik hem de tarımsal açıdan ciddi etkiler yaratabilecek kuraklık şiddetlerini ifade etmektedir. Yaşanan kuraklığın şiddeti ve süresi dikkate alındığında özellikle 1994, 2001, 2012 ve 2014 yılları kritik kuraklık dönemleri olarak öne çıkmaktadır.

1994 yılında, istasyonların çoğunda SPI-3 ve SPEI-3 değerleri genellikle negatif değerler almıştır. Bu durum, yılın genelinde kuraklık yaşandığını açıkça göstermektedir. Özellikle Suşehri ve Kangal, kuraklık etkisinin en şiddetli hissedildiği bölgeler olmuştur. Bu bölgeler için hesaplanan en az bir kuraklık indeksi 3 ay boyunca çok şiddetli kuraklık kategorisinde kalmıştır. Suşehri istasyonunda, SPI-3 değeri Mayıs ayında -3.46'ya kadar düşerken, SPEI-3 değeri Haziran ayında -2.49 ile en düşük seviyesine ulaşmıştır. Benzer şekilde, Kangal istasyonunda da Haziran ayında kuraklık göstergeleri zirve yapmış, SPI-3 değeri -3.16'ya, SPEI-3 değeri ise -1.95'e kadar gerilemiştir. Öte yandan, Gemerek ve Divriği, 1994 yılı boyunca kuraklıktan en az etkilenen bölgeler olmuştur. Bu istasyonlarda SPI-3 değerleri hiçbir zaman çok şiddetli kuraklık seviyesine ulaşmamıştır. SPEI-3 değerleri açısından değerlendirildiğinde ise yalnızca Divriği istasyonunda Haziran ayında indeks değeri -2'nin altına düşmüştür.

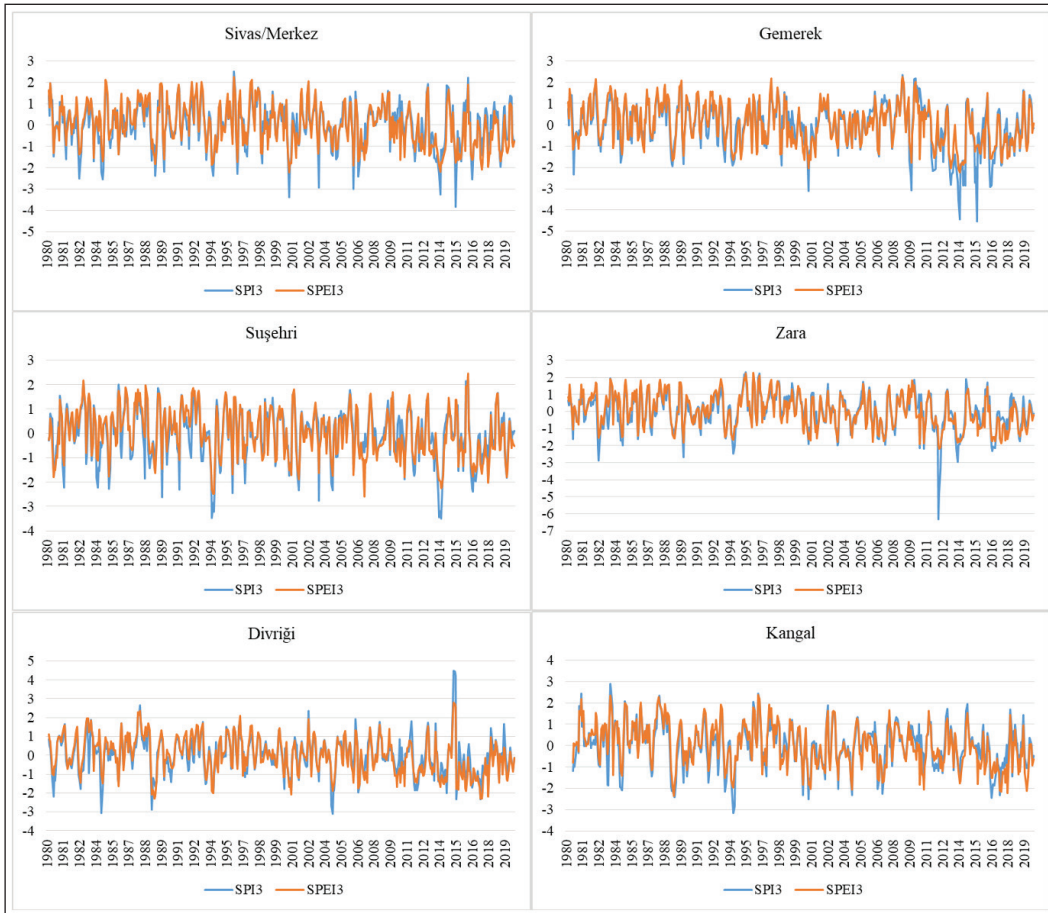
2001 yılı, birçok bölgede belirgin kuraklık koşullarının yaşandığı bir yıl olmuştur. SPI-3 ve SPEI-3 değerleri, özellikle Sivas/Merkez ve Gemerek istasyonlarında oldukça düşük seviyelere ulaşarak kuraklık etkisinin bu bölgelerde daha fazla hissedildiğini göstermiştir. Sivas/Merkez istasyon-

larında, SPI-3 değeri Şubat ayında -3.39'a kadar gerileyerek yılın en düşük seviyesini kaydetmiştir. Aynı istasyonda SPEI-3 değeri ise Mart ayında -2.23 ile kuraklık şiddetini bir kez daha ortaya koymuştur. Gemerek'de de benzer şekilde kuraklık etkisi gözlemlenmiş, SPI-3 değeri Ocak ayında -3.11'e düşmüştür. SPEI-3 indeksi ise -2 sınırına ulaşmıştır. Bu iki istasyon, 2001 yılında kuraklığın en şiddetli yaşandığı bölgeler olarak öne çıkmıştır. Öte yandan, Zara ve Divriği, yıl boyunca kuraklık etkilerinden en az etkilenen bölgeler olmuştur. Bu istasyonlarda SPI-3 değerleri hiçbir zaman -2'nin altına düşmemiştir. SPEI-3 değerleri açısından da benzer bir tablo gözlemlenmiş, özellikle Divriği'de su dengesi genel olarak korunmuştur.

2012 yılı, kuraklığın yalnızca şiddetiyle değil, aynı zamanda süresinin uzunluğuyla da dikkat çektiği bir yıl olmuştur. Zara bölgesinde, kuraklığın etkisini hem yoğun hem de kalıcı bir şekilde hissedilmiştir. SPI-3 değerleri, Kasım ve Aralık ayları hariç tüm aylarda kuraklık olduğunu göstermektedir. 5 ay boyunca SPI-3 değeri -1.5'in altında kalmıştır. Bu değer Nisan ayında -6.35'de pik yapmıştır. Bu istasyonda SPEI-3 değerleri ise sadece Aralık ayında pozitif

değere çıkmıştır. SPEI-3'e göre kuraklığın şiddeti Nisan ayından itibaren "şiddetli" seviyesine çıkmış ve 4 ay boyunca bu seviyenin altına düşmemiştir. Değerler Mayıs ayında -2.18'de pik yapmıştır. Diğer istasyonlarda ise kuraklığın süresi daha kısa ve şiddeti daha düşük olmuştur.

2014 yılında yaşanan kuraklık, incelenen dönemde yaşanan en şiddetli ve en uzun süreli kuraklıktır. Bu kuraklık tüm istasyonlarda 2013 yılının mart ayında başlamış ve istasyonların genelinde aralıksız olarak 2014 yılının temmuz ayına kadar devam etmiştir. Gemerek, bu dönemde kuraklığın etkili olduğu bölge olmuştur. Gemerek istasyonunda SPI-3 değeri 2014 yılı Mart ayında -4.44 ile en düşük seviyeye ulaşmış ve 17 ay boyunca -1.4'ün üzerine çıkmamıştır. SPEI-3 değerleri SPI-3 değerlerine göre çok daha düşük olsa da bu indeks de uzun süren şiddetli kuraklık olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, Divriği ve Kangal bölgeleri kuraklık etkilerinin en az hissedildiği bölgeler olmuştur. Bu bölgelerde SPI-3 ve SPEI-3 değerleri -2'nin üzerinde kalmış ve aşırı kuraklık kategorisine düşmemiştir. Genel duruma aksi olarak Gemerek istasyonunda SPEI-3 değerleri SPI-3 değerlerinden daha düşük çıkmıştır.



Şekil 2. SPI-3 ve SPEI-3 indekslerinin zaman serileri.

Zamansal değişimlere bakıldığında, SPI-3 ve SPEI-3 değerlerinin yıllar boyunca dalgalı bir seyir izlediği, ancak özellikle 2000'li yıllarla birlikte kuraklık şiddetinin arttığı dikkat çekmektedir. 1980'lerin ortaları ve 1990'ların ilk yarısı daha dengeli iklim koşullarını yansıtırken, 2000 sonrası dönem, kuraklıkların daha sık ve şiddetli olduğu bir süreç olarak öne çıkmaktadır.

Şekil 3'teki grafiklerde her bir istasyon için SPI-12 ve SPEI-12 zaman serileri görülmektedir. Uzun vadeli kuraklık analizleri bu grafikler üzerinden yapılmıştır. Grafikler incelendiğinde özellikle 1994, 2012, 2014 ve 2017 yılları kuraklık açısından dikkat çekici dönemler olarak göze çarpmaktadır. Bu dönemler 3 aylık zaman adımı için hesaplanan kuraklık dönemleriyle benzerlik göstermektedir.

1994 yılı, Sivas/Merkez, Suşehri ve Kangal istasyonlarında SPI-12 değerlerinin -2'nin altına düşmesi nedeniyle dikkat çeken bir kuraklık yılı olmuştur. Bu yıl Mayıs ayında başlayıp yaz aylarında uç değere ulaşan ve 2015 yılının ortalarına kadar süren bir kuraklık yaşanmıştır. Suşehri bölgesinde kuraklık etkisini daha şiddetli ve daha uzun göstermiştir. SPI-12 değerleri -2.46'ya kadar düşmüştür. SPEI-12 değerlerine göre de 1994 yılı uzun süren bir kuraklık yaşanmış olsa da kuraklığın şiddeti SPI-12'ye göre düşük kalmıştır. SPEI-12'ye göre Sivas/Merkez, Suşehri ve Kangal istasyonlarında kuraklık şiddeti "Çok Şiddetli" seviyesine hiç çıkmamış diğer istasyonlarda ise "Şiddetli" seviyesine hiç çıkmamıştır. 2 numaralı istasyonda ise her iki indeks değerinin de -1'in altına düşmemiş olması dikkat çekmektedir.

2012 yılı ile çoğu istasyon için önemli bir kuraklık yılı olsa da özellikle Zara istasyonunda SPI-12 değerleri -3.16'ya kadar düşerek çok daha ciddi seviyelere ulaşmıştır. Süre açısından incelendiğinde ise 9 ay boyunca "Çok Şiddetli" derecede kuraklık yaşanmış olması kuraklığın bölgede su dengelerini etkileyecek düzeyde önemli boyutlara ulaştığını göstermektedir. SPEI-12 indeksine göre kuraklık şiddeti daha az olsa da süresi daha uzun olmuştur. Bu indekse göre Suşehri istasyonunda kuraklık seviyesi 10 ay boyunca "Şiddetli" düzeyde sürmüş ve indeks değerleri 2015 yılının ortalarına kadar negatif değerler almıştır.

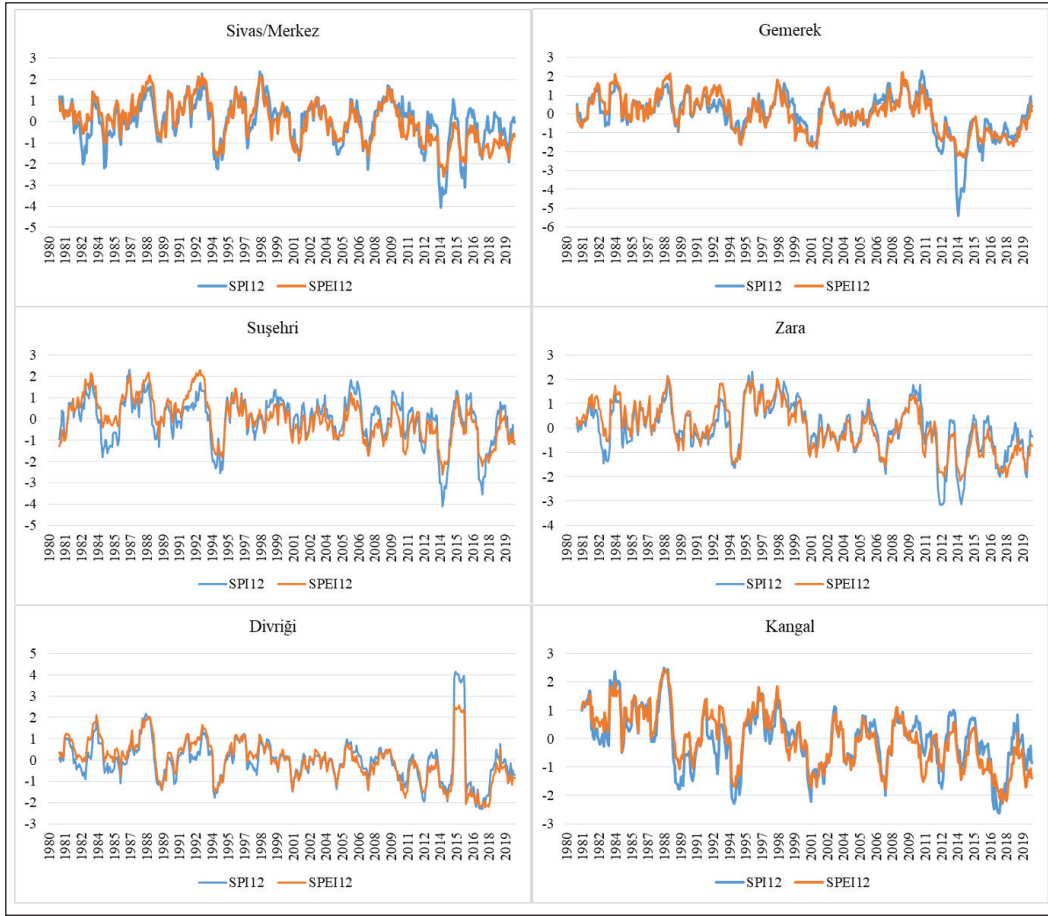
2014 yılı ise inceleme dönemi boyunca yaşanmış en önemli kuraklık olayının yaşandığı yıl olmuştur. Bu yıl sadece Kangal bölgesinde kuraklık şiddeti önemli düzeye çıkmamıştır. Ancak bu istasyonda da indeks değerleri yıl boyunca negatif seyretmiştir. Kuraklığın en çok etkili olduğu istasyon ise Gemerek istasyonu olmuştur. Bu istasyonda hem SPI-12 hem de SPEI-12 indeksine göre yıl boyunca kuraklık şidde-

ti "Şiddetli" düzeyinin altına inmemiştir. SPI-12 indeksine göre kuraklık hem daha uzun hem de daha şiddetli geçmiştir. İndeks değeri Şubat ayında -5.38'e kadar düşmüştür. Bu kuraklık değerleri 2015 Ocak ayında -1'e yaklaşmış olsa da SPI-12 ve SPEI-12 değerleri 2020' yılına kadar negatif değerler almıştır. Bu durum istasyonun bulunduğu bölgede su rezervlerinin ve yeraltı su kaynaklarının ciddi şekilde etkilenmiş olabileceğini göstermektedir.

2017 yılında pik değerlere ulaşan kuraklık değerleri Sivas/Merkez ve Gemerek hariç tüm istasyonlarda oldukça etkili olmuştur. Kuraklık şiddeti açısından Suşehri kuraklıktan en çok etkilenen bölge olmuştur. Bu istasyonda SPI-12 değeri 2017 Eylül ayında -3.54'e kadar düşmüştür. Ancak süre açısından incelendiğinde Divriği'nin kuraklıktan daha fazla etkilendiği görülmektedir. Bu istasyonda kuraklık SPI-12 değerleri 2016 yılından itibaren 24 ay "Şiddetli" düzeyin üstünde kalmıştır. Suşehri'nde ise 12 sonunda SPI-12 değerleri -1.5'in altına düşmüştür. Bu yıl için hesaplanan indeks değerlerinde dikkat çekici bir diğer nokta ise SPI-12 ve SPEI-12 değerlerinin genel durumun aksine birbirine oldukça yakın olmalarıdır. Özellikle Divriği'de çoğu ay SPEI-12 değeri daha düşük çıkmıştır.

Çizelge 3, belirli istasyonlarda kısa (3 ay) ve uzun (12 ay) süreli kuraklık dönemlerinin analizini sunmaktadır. Analiz sonuçlarına göre, kuraklık sınıfları ve geçen ay sayıları istasyonlar arasında belirgin farklılıklar göstermektedir. SPI-3 indeksi baz alındığında, orta şiddetli kuraklık dönemlerinin en fazla görüldüğü istasyon 44 dönem ile Divriği'dir. SPEI-3 indeksi ise bu kategoride 56 dönem ile Gemerek ve Divriği'nde eşit yükseklikte değerler tespit etmiştir. Bu durum, SPEI indeksinin SPI'ya kıyasla daha fazla orta şiddetli kuraklık tespit ettiğini göstermektedir. Şiddetli kuraklık kategorisinde SPI-3'e göre en yüksek değer 26 dönem ile Zara'da görülürken, SPEI-3'e göre ise bu istasyon 35 dönem ile yine aynı kategoride öne çıkmaktadır. Çok şiddetli kuraklık için SPI-3, 26 dönem ile Gemerek'i en yüksek değer olarak gösterirken, SPEI-3 bu kategoride 8 dönem ile Divriği ve Kangal'da eşit değerler tespit etmiştir.

SPI-12 ve SPEI-12 indeksleri kullanılarak yapılan uzun vadeli (12 aylık) değerlendirmelerde de benzer bir eğilim gözlenmiştir. Orta şiddetli kuraklık kategorisinde SPI-12'ye göre en yüksek değer 42 dönem ile Sivas/Merkez'de görülürken, SPEI-12 bu kategoride 56 dönem ile Kangal'da en yüksek değeri tespit etmiştir. Bu sonuç, SPEI indeksinin uzun vadeli kuraklıkları daha fazla tespit etme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Şiddetli kuraklık kategorisinde SPI-12 için en yüksek değer 28 dönem ile Kangal'da



Şekil 3. SPI-12 ve SPEI-12 indekslerinin zaman serileri.

iken, SPEI-12 için bu kategori 32 dönem ile Zara'da zirve yapmıştır. Çok şiddetli kuraklık kategorisinde SPI-12, 26 dönem ile Suşehri'nde en yüksek değeri tespit ederken, SPEI-12 13 dönem ile Divriği'nde en yüksek değeri göstermektedir.

Analiz sonuçları, istasyonlar arasındaki farklılıkların coğrafi konum, iklim özellikleri ve hidrolojik koşullara bağlı olarak değişiklik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Örneğin, Sivas/Merkez istasyonu, orta şiddetli kuraklıklar açısından diğer istasyonlara kıyasla daha fazla dönem sayısına sahiptir. Buna karşılık, Divriği ve Kangal istasyonları hem kısa hem de uzun vadeli çok şiddetli kuraklıklar açısından öne çıkmaktadır. Bu durum, her bir istasyonun bulunduğu bölgenin iklimsel ve hidrolojik özelliklerine göre farklı kuraklık dinamikleri sergilediğini göstermektedir. SPI ve SPEI indeksleri açısından bir kıyaslama yapıldığında; SPI indeksi "çok şiddetli" düzeyinde kuraklıkların SPEI indeksine göre daha uzun süreceğini göstermektedir. SPEI indeksi ise "orta şiddetli" ve "şiddetli" düzeydeki kuraklıkların SPI indeksine

göre daha uzun süreceğini göstermektedir. Toplam kurak geçen dönemler incelendiğinde ise SPEI indeksine göre önemli düzeyde kurak geçen dönem sayısı daha fazladır. Bu durum Divriği ve Kangal bölgelerinde daha bariz bir farkla görülmektedir.

### 3.2. Trend Analizi

Çizelge 4, 1980-2020 yılları arasında farklı istasyonlarda kuraklık eğilimlerini değerlendiren Modifiye Mann Kendall (MMK) ve Sen'in Eğilim analizi sonuçlarını göstermektedir. Çizelge, SPI ve SPEI indekslerinin 3 aylık (SPI-3 ve SPEI-3) ve 12 aylık (SPI-12 ve SPEI-12) değerlendirilmelerine göre istasyonlarda kaydedilen trendleri ve bu trendlerin eğilim değerlerini içermektedir. Her bir periyot ve istasyon için Z-istatistikleri, trendin varlığı ve Sen Eğilimi değerleri sunulmuştur. Alpha değeri her durumda 0.05 olarak belirlenmiştir ve bu %95 güven seviyesini temsil etmektedir.

SPI-3 ve SPEI-3 indekslerine göre kısa vadeli kuraklık eğilimleri tüm istasyonlarda negatif bir yön göstermektedir. Bu, kuraklık seviyelerinin zamanla arttığını ifade etmekte-

**Çizelge 3.** Kurak geçen ay sayısı.

	Kuraklık Sınıfı	Sivas Merkez	Gemerek	Suşehri	Zara	Divriği	Kangal
<b>SPI-3</b>	Orta Şiddetli	37	30	33	33	44	29
	Şiddetli	23	23	24	26	18	23
	Çok Şiddetli	18	26	21	16	9	18
	<b>Toplam</b>	<b>78</b>	<b>79</b>	<b>78</b>	<b>75</b>	<b>71</b>	<b>70</b>
<b>SPEI-3</b>	Orta Şiddetli	52	56	51	41	56	55
	Şiddetli	31	25	22	35	21	23
	Çok Şiddetli	3	5	7	2	8	8
	<b>Toplam</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>80</b>	<b>78</b>	<b>85</b>	<b>86</b>
<b>SPI-12</b>	Orta Şiddetli	42	36	27	28	46	27
	Şiddetli	19	24	15	18	18	28
	Çok Şiddetli	20	16	26	18	7	15
	<b>Toplam</b>	<b>81</b>	<b>76</b>	<b>68</b>	<b>64</b>	<b>71</b>	<b>70</b>
<b>SPEI-12</b>	Orta Şiddetli	52	55	35	48	42	56
	Şiddetli	21	23	29	32	23	21
	Çok Şiddetli	8	9	11	4	13	6
	<b>Toplam</b>	<b>81</b>	<b>87</b>	<b>75</b>	<b>84</b>	<b>78</b>	<b>83</b>

dir. Z-değerleri incelendiğinde, özellikle SPEI-3 indeksinde Divriği (-12.613), Suşehri (-13.410) ve Kangal (-17.673) istasyonlarında çok güçlü negatif eğilimler gözlemlenmiştir. SPI-3’de ise Z-değerleri genel olarak daha düşük bir aralıkta (-3.7354 ile -6.7159 arasında) kalmış ancak yine tüm istasyonlarda kuraklığın artışı işaret etmiştir. Sen Eğilimi değerleri de bu eğilimi desteklemekte ve zaman içinde kuraklığın belirgin şekilde arttığını göstermektedir. SPEI-3 için Sen Eğilimi değerleri -0.0021 ile -0.0027 arasında değişirken, SPI-3 için bu değerler -0.0008 ile -0.0014 arasında daha düşük seviyelerde kalmıştır.

SPI-12 ve SPEI-12 indekslerine göre uzun vadeli kuraklık trendleri de tüm istasyonlarda anlamlı bir şekilde negatif eğilim göstermektedir. Z-değerleri SPI-12 için -3.5442 ile -8.5936 arasında değişirken, SPEI-12 için -7.6185 ile -17.058 arasında daha güçlü negatif eğilimler tespit edilmiştir. Özellikle SPEI-12 indeksinde Suşehri (-15.933) ve Kangal (-17.058) istasyonları en yüksek negatif Z-değerlerine sahip olup, bu istasyonlarda uzun vadeli kuraklık seviyelerinin ciddi şekilde arttığına işaret etmektedir. Sen Eğilimi değerleri incelendiğinde, SPEI-12 indeksinde -0.0036 ile -0.0045 arasında değişen daha yüksek eğilim değerleri, kuraklığın şiddetli bir şekilde artışı ortaya koymaktadır. SPI-12 indeksinde ise bu değerler -0.0016 ile -0.0026 arasında kalmıştır. Çizelgedeki bu sonuçlar, tüm istasyonlarda, hem

kısa hem de uzun vadeli kuraklık seviyelerinin belirgin şekilde arttığını ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Özellikle Kangal ve Divriği gibi istasyonlarda daha güçlü negatif eğilimler dikkat çekmekte, bu da bölgesel farklılıkların ve kuraklık şiddetinin istasyonlar arasındaki dağılımını anlamak açısından önemli bir bulgu sunmaktadır.

Bu sonuçlar, SPEI indeksinin Z-değerleri ve Sen Eğilimi değerlerinin SPI indeksine kıyasla daha yüksek olduğunu göstermektedir. SPEI indeksinde kaydedilen daha güçlü negatif eğilimler, bu indeksin kuraklık artışlarını daha belirgin bir şekilde ortaya koyduğunu göstermektedir.

### 3. Tartışma

Bu çalışma, Sivas ilindeki meteorolojik kuraklıkların analizinde SPI ve SPEI indekslerini kullanarak önemli bulgular ortaya koymuştur. SPI ve SPEI indekslerinin sonuçları, belirli dönemlerde Sivas’ta hem kurak dönemlerin varlığını göstermektedir. Özellikle 2000’li yılların başında ve 2010’ların ortasında belirgin kuraklık dönemleri dikkat çekmektedir. Bu bulgular, iklim değişikliğinin yerel etkilerini vurgulamaktadır.

Genel olarak, Sivas ilindeki 6 istasyondan elde edilen veriler, kuraklık koşullarının yıllar içinde önemli dalgalanmalar

Çizelge 4. Trend analizine ait değerler.

		Sivas Merkez	Gemerek	Suşehri	Zara	Divriği	Kangal
SPEI-3	Z-değeri	-3.8021	-3.7354	-5.85224149	-3.82391	-6.3026	-6.7159
	p değeri	0.0001	0.0002	≈0	0.0001	≈0	≈0
	Trend	Var	Var	Var	Var	Var	Var
	Sen Eğilimi	-0.0008	-0.0014	-0.00088381	-0.00109	-0.0013	-0.0012
SPEI-3	Z-değeri	-8.8434	-8.413	-13.4097332	-9.90582	-12.613	-17.673
	p değeri	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0
	Trend	Var	Var	Var	Var	Var	Var
	Sen Eğilimi	-0.0021	-0.002	-0.00204845	-0.00242	-0.0027	-0.00265
SPEI-12	Z-değeri	-3.5442	-4.5761	-4.53781946	-4.13145	-8.5936	-7.0294
	p değeri	0.0004	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0
	Trend	Var	Var	Var	Var	Var	Var
	Sen Eğilimi	-0.0016	-0.0026	-0.00163637	-0.00231	-0.002	-0.0025
SPEI-12	Z-değeri	-7.6185	-8.2674	-15.9332273	-8.64205	-15.481	-17.058
	p değeri	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0	≈0
	Trend	Var	Var	Var	Var	Var	Var
	Sen Eğilimi	-0.0038	-0.0036	-0.00395159	-0.00415	-0.00405	-0.0045

gösterdiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak SPI indeksi SPEI'ya göre daha şiddetli ancak daha kısa süren kuraklıklar göstermiştir. Bu durum bölgede ciddi yağış eksiklikleri yaşandığını ve bu eksikliğin kuraklığın başlıca itici gücü olduğunu göstermektedir (Tirivarombo et al., 2018). Bununla birlikte SPI'nın sadece yağış eksikliğine odaklanması ve SPEI'nın düşük buharlaşma gibi su kaybını telafi eden durumları hesaba katması dikkate alındığında, SPI'nın bölgedeki kuraklığı gerçek hidrolojik veya tarımsal etkilerine göre yüksek gösterdiği söylenebilir (Lotfirad et al., 2022; Vicente-Serrano et al., 2010).

Sivas ilinin kuraklık analizinde elde edilen bulgular, bölgenin coğrafi ve topografik özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. İl genelinde yer alan meteorolojik istasyonların bulunduğu alanlar, farklı topografik yapılar, rakım farkları ve su kaynaklarına olan yakınlıkları açısından çeşitlilik göstermektedir. Bu coğrafi farklılıklar, kuraklık olaylarının şiddetini ve sıklığını etkileyen önemli faktörler olarak öne çıkmaktadır. Özellikle yüksek rakımlı bölgelerde kuraklık olaylarının şiddetinin daha az olabileceği gözlemlenmiştir. Literatüre göre genel olarak yükseklik arttıkça sıcaklığın düşmesi ve yağış miktarının artması beklenmektedir (Fairbridge & Oliver, 2005; Çiçek & Ataol, 2009). Bu bölgelerde, su buharlaşma

oranlarının düşük olması ve yerel iklim koşullarının daha serin olması da kuraklık olaylarının şiddetinin daha az olmasına etki eden faktörler arasında yer almaktadır. Buna karşılık, daha alçak ve açık alanlarda, özellikle vadilerde ve tarım arazilerinin yoğun olduğu bölgelerde, su kaybı ve evapotranspirasyon oranlarının yüksek olması kuraklık şiddetini artırmıştır. Sivas ilinin batı ve doğu kesimleri arasındaki coğrafi farklılıklar, bu bölgelerdeki kuraklık desenlerinde belirgin farklar yaratmıştır. Batıdaki istasyonlar, daha yüksek rakım ve daha yoğun bitki örtüsü nedeniyle nispeten daha nemli koşullar sergilerken, doğudaki istasyonlar, kuraklık şiddetinin daha belirgin olduğu alanlar olarak öne çıkmıştır. Bu bulgular, coğrafi özelliklerin kuraklık olaylarının mekânsal dağılımı üzerinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

Yapılan MMK trend analizi sonuçlarına göre tüm istasyonlarda kuraklık olayları istatistiksel olarak anlamlı artış trendi içinde olduğu görülmüştür. Karabalut (2020), SPI yöntemiyle Sivas ilinde kuraklık analizi yapmış ve benzer bir şekilde son yıllarda kuraklık olaylarında artış yaşandığı sonucuna ulaşmıştır. Bununla birlikte Sivas için yağış verilerine trend analizi yapmış bazı çalışmalar istatistiksel olarak anlamlı bir trend olmadığını sonucuna ulaşmıştır (Kartal, 2024; Terzi &

İlker, 2021; Ercan & Yüce, 2017). SPI değerleri yağış verisi üzerinden hesaplandığı için yağış verilerinin de azalma eğiliminde olması beklenmektedir. Söz konusu çalışmalar incelendiğinde trend analizi için Mann-Kendall yöntemini kullandıkları görülmektedir. Çalışma sonuçlarıyla literatür sonuçlarındaki çelişkinin kullanılan yöntemin farklılığından olduğu düşünülmektedir. Klasik Mann-Kendall yöntemi; otokorelasyon, mevsimsel değişkenlik ve doğrusal olmayan trendler gibi faktörleri etkili bir şekilde ele almadığından, yağış verilerinin analizinde yanlış sonuçlar gösterebilir. Modifiye Mann-Kendall (MMK) testi hidro-meteorolojik verilerdeki eğilimleri analiz etmek daha uygun bir yöntem olduğu literatürde de vurgulanmıştır (Lornezhad et al., 2023; Hamed & Rao, 1998).

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Sivas ilinde bulunan altı meteorolojik ölçüm istasyonundan elde edilen iklim verileri kullanılarak kuraklık analizi yapılmıştır. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) kullanılarak yapılan analizler, 3 ve 12 aylık periyotlarda kuraklık koşullarının zamansal değişimlerini ortaya koymuştur. Çalışma ile ulaşılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- SPI indeksi daha şiddetli, SPEI indeksi ise daha uzun kuraklık dönemlerini işaret etmektedir.
- Bölgede yaşanan kuraklıklardaki ana itici güç yağış eksikliğidir, sıcaklığa bağlı buharlaşmanın etkisi kısıtlıdır.
- SPEI'nın bölgedeki düşük buharlaşmayı da dikkate alması kuraklığın hidrolojik ve tarımsal etkisini daha gerçekçi gösterebilir.
- 1980-2020 yılları arasında SPI ve SPEI indeksleri, 3 ve 12 aylık periyotlarda belirgin kuraklık dönemlerini göstermiştir. Özellikle 2010'lu yıllarda başlayan, 2014 ve 2017 yıllarında uç değerlere ulaşan kuraklık dönemleri dikkat çekmektedir.
- Modifiye Mann-Kendall (MMK) trend analizi sonuçlarına göre, tüm istasyonlarda kuraklık olaylarında istatistiksel olarak anlamlı bir artış trendi bulunmuştur. Bu, bölgedeki kuraklık şiddetinin ve süresinin zamanla arttığını göstermektedir.
- Sen'in Eğilim analizi ile elde edilen eğilim değerleri, kuraklık seviyelerinin artışı desteklemektedir. Kısa vadeli (3 aylık) ve uzun vadeli (12 aylık) kuraklık göstergelerinde belirgin artışlar tespit edilmiştir.

- SPI-3 ve SPEI-3 indeksleri, tarım faaliyetleri ve su yönetimi açısından kısa vadeli kuraklıkların etkilerini anlamak için kritiktir. Bu periyotlarda ani kuraklık ve nemlilik değişimleri, tarımsal üretimi ve su kaynaklarının kısa vadeli yönetimini doğrudan etkileyebilir.
- SPI-12 ve SPEI-12 indeksleri, yeraltı su kaynakları, baraj doluluk oranları ve uzun vadeli su yönetimi açısından önemlidir. Uzun vadeli kuraklıklar, su rezervlerini ve yeraltı su seviyelerini ciddi şekilde etkileyebilir.

Sonuç olarak, Sivas ilinde kuraklık olaylarının izlenmesi ve değerlendirilmesi, bölgenin su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve tarımsal faaliyetlerin planlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu sonuçlar, kuraklık şiddetinin artması ve süresinin uzaması gibi önemli bulgulara işaret etmektedir. Kuraklık trendlerinin bu şekilde devam etmesi durumunda, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve planlaması kritik bir öneme sahiptir. İklim değişikliğinin etkilerinin daha net anlaşılması ve bu doğrultuda politikalar geliştirilmesi, bölgede yaşayan insanların ve ekosistemlerin geleceği için hayati öneme sahiptir.

**Yazar katkısı:** Makale kapsamındaki tüm çalışmalar yazar tarafından yapılmıştır.

**Etik onay:** Etik kurul izni gerektirmeyen bir çalışma olup, herhangi bir kurumdan etik kurul izni alınmamıştır.

#### Kaynaklar

- Anisfeld, S.C., (2010). Water Resources. Island Press, USA, 352pp.
- Bong, C.H.J., & Richard, J. (2020). Drought and climate change assessment using standardized precipitation index (SPI) for Sarawak River Basin. *Journal of Water and Climate Change*, 11(4):956-965. <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.036>
- Byun, H.R., & Wilhite, D.A. (1999). Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of climate*, 12(9):2747-2756. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<2747:OQODSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2747:OQODSA>2.0.CO;2)
- Çirci Selçuk, B., & Irmak, M.A. (2022). A study on the adequacy and requirement of urban active green areas in Sivas. *Fresenius Environmental Bulletin*, 31(02):2209-2220.
- Edwards, D.C., & McKee, T.B. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report 97-2*, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins CO.
- Ercan, B., & Yüce, M.I. (2017). Trend analysis of hydro-meteorological variables of Kızılırmak Basin. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (ICOCEE 2017 Özel Sayı): 333-340.

- Gao, X., Zhao, Q., Zhao, X., Wu, P., Pan, W., Gao, X., & Sun, M. (2017).** Temporal and spatial evolution of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in the Loess Plateau under climate change from 2001 to 2050. *Science of the Total Environment*, 595:191-200. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.226>
- Hamed, K.H., & Rao, A.R. (1998).** A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of hydrology*, 204(1-4):182-196. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X)
- Hargreaves, G.H., & Samani, Z.A. (1982).** Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the irrigation and Drainage Division*, 108(3):225-230. <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0001390>
- Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N., & Widhalm, M. (2011).** The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(4):485-488.
- Hu, Z., Liu, S., Zhong, G., Lin, H., & Zhou, Z. (2020).** Modified Mann-Kendall trend test for hydrological time series under the scaling hypothesis and its application. *Hydrological Sciences Journal*, 65(14):2419-2438. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1810253>
- Karabulut, M. (2020).** Standart yağış indeksi kullanılarak Sivas il'inde kuraklık analizi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 13(71):2017-230.
- Kartal, F. (2024).** Sivas İlinin Ortalama Sıcaklık ile Toplam Yağış Verilerinin Trend Analizi ve SSP İle 2100 Yılı Modellemesi. *EKEV Akademi Dergisi*, (98):111-123.
- Kendall, M.G. (1975).** Rank correlation methods. Griffin, Scotland, 202pp.
- Keskin, A.Ü., & Hezerani, A.B. (2019).** Analysis of Basin drought for URMIA Lake in Iran with Standardized Precipitation Index method SPI. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(2), 167-176. <https://doi.org/10.7212/zkufbd.v9i2.1224>
- Kisi, O., & Ay, M. (2014).** Comparison of Mann-Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey. *Journal of Hydrology*, 513:362-375. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.005>
- Lee, S.H., Yoo, S.H., Choi, J.Y., & Bae, S. (2017).** Assessment of the impact of climate change on drought characteristics in the Hwanghae Plain, North Korea using time series SPI and SPEI: 1981-2100. *Water*, 9(8):579. <https://doi.org/10.3390/w9080579>
- Li, L., She, D., Zheng, H., Lin, P., & Yang, Z.L. (2020).** Elucidating diverse drought characteristics from two meteorological drought indices (SPI and SPEI) in China. *Journal of Hydro-meteorology*, 21(7):1513-1530. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0290.1>
- Lornezhad, E., Ebrahimi, H., Rabieifar, H.R. (2023).** Analysis of precipitation and drought trends by a modified Mann-Kendall method: a case study of Lorestan province, Iran. *Water Supply*, 23(4):1557-1570. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.068>
- Mann, H.B. (1945).** Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 13(3):245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- McKee, T.B., Doesken, N.J., & Kleist, J. (1993).** The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, pp. 179-183, USA.
- Mendicino, G., & Senatore, A. (2013).** Regionalization of the Hargreaves coefficient for the assessment of distributed reference evapotranspiration in Southern Italy. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(5):349-362. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000547](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000547)
- Merabti, A., Martins, D.S., Meddi, M., & Pereira, L.S. (2018).** Spatial and time variability of drought based on SPI and RDI with various time scales. *Water resources management*, 32:1087-1100. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1856-6>
- Mousavi, R., Johnson, D., Kroebel, R., & Byrne, J. (2023).** Analysis of historical drought conditions based on SPI and SPEI at various timescales in the South Saskatchewan River Watershed, Alberta, Canada. *Theoretical and Applied Climatology*, 153(1), 873-887. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04495-0>
- Palmer, W.C. (1965).** Meteorological drought. US Department of Commerce, Weather Bureau, USA, 65pp.
- Pei, Z., Fang, S., Wang, L., & Yang, W. (2020).** Comparative analysis of drought indicated by the SPI and SPEI at various timescales in inner Mongolia, China. *Water*, 12(7):1925. <https://doi.org/10.3390/w12071925>
- Sağdıç, M., & Koç, H. (2012).** Yukarı Kızılırmak Havzası'nın İklimi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (58):1-20.
- Selçuk, S.F., Cebeci, M.S., Cerit, O., Selçuk, B.Ç., & Karagözoğlu, M.B. (2022).** Sivas ilinin iklim değişikliği projeksiyonları. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(3), 522-533.
- Sen, P.K. (1968).** Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324):1379-1389.
- Shekhar, A., & Shapiro, C.A. (2019).** What do meteorological indices tell us about a long-term tillage study?. *Soil and Tillage Research*, 193:161-170. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.06.004>
- Simsek, O., Yildiz Bozkurt, S., & Gumus, V. (2024).** Analysis of meteorological drought with different methods in the Black Sea region, Turkey. *Acta Geophysica*, 72(3):1927-1943.

- Şener, E., & Şener, Ş. (2021).** SPI ve CZI kuraklık indislerinin CBS tabanlı zamansal ve konumsal karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1):41-58. <https://doi.org/10.21324/dacd.800036>
- Tabari, H. (2020).** Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific reports*, 10(1):13768.
- Terzi, Ö., & İlker, A. (2021).** Yağış verilerinin trend analizi: Kızılırmak havzası örneği. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 9(2):371-377.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., & Vangelis, H. (2007).** Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water resources management*, 21:821-833.
- Tuğrul, T., & Hıms, M.A. (2023).** Konya Apa Barajı Havzasında Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Trend Analizi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 13(1), 151-163. <https://doi.org/10.7212/karaelmasfen.1203887>
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., & López-Moreno, J.I. (2010).** A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7):1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Wang, Q., Zeng, J., Qi, J., Zhang, X., Zeng, Y., Shui, W., ... & Cong, J. (2021).** A multi-scale daily SPEI dataset for drought characterization at observation stations over mainland China from 1961 to 2018. *Earth System Science Data*, 13(2):331-341. <https://doi.org/10.5194/essd-13-331-2021>
- World Meteorological Organization (WMO), & Global Water Partnership (GWP) (2016).** Handbook of Drought Indicators and Indices. M. Svoboda, B.A. Fuchs (Eds.), Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2.
- Wu, H., Hayes, M.J., Weiss, A., & Hu, Q.I. (2001).** An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 21(6):745-758. <https://doi.org/10.1002/joc.658>
- Zhang, Q., Li, J., Singh, V.P., & Bai, Y. (2012).** SPI-based evaluation of drought events in Xinjiang, China. *Natural Hazards*, 64:481-492. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0251-0>
- Zhang, Y., Hao, Z., Feng, S., Zhang, X., Xu, Y., & Hao, F. (2021).** Agricultural drought prediction in China based on drought propagation and large-scale drivers. *Agricultural Water Management*, 255, 107028. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107028>